

第四篇

公路工程施工质量 控制与管理

第一章 路基工程施工质量控制与管理

第一节 路基工程概述

一、路基工程的特点

路基是按照路线位置和一定技术要求修筑的带状构造物,是路面的基础,承受由路面传递下来的行车荷载。它贯穿公路全线,与桥梁、隧道相连,构成公路的整体。

作为公路建筑的主体,路基工程具有以下特点:工程数量大、耗费劳力多、涉及面广、投资高等。以平原微丘区三级公路为例,每公里土石方数量约 $8000 \sim 16000\text{m}^3$,而山岭重丘区三级公路每公里土石方数量可达 $20000 \sim 60000\text{m}^3$ 以上,据建国以来的部分资料分析,一般公路的路基修建投资占公路总投资的 $25\% \sim 45\%$,个别山区公路可达 65% 。路基是带状的土工建筑,路基施工改变了原有地面的自然状态,挖、填、借、弃土涉及当地生态平衡、水土保持和农田水利等自然环境。因此,路基设计和施工必须与当地农田水利建设和环境保护相配合。路基工程对工期影响大,在工程地质和水文条件复杂的路段,不但工程技术问题多,施工难度大,增加工程投资,而且常成为影响全线工期的关键。路基工程质量对公路的质量和运营具有十分重要的影响,路基质量差,将引起路面沉降变形和破坏,增加养护维修费用,影响行车舒适、安全和道路的服务水平。因此,对路基的设计和施工质量必须予以重视,确保路基工程质量。

二、路基的一般要求

路基除断面尺寸应符合设计标准外,还应满足下列基本要求:

(一) 具有足够的整体稳定性

路基是直接在地面上填筑或挖去一部分地面建成的。路建成后,改变了原地面的天然平衡状态。在工程地质不良地区,修建路基则可能加剧原地面的不平衡状态;开挖路堑使两侧边坡土体失去支承力,可能导致边坡坍塌或滑坡;天然坡面特别是陡坡面上的路堤,可能因自重而下滑。对于上述种种情况,都必须因地制宜地采取一定措施来保证路基的整体稳定性。

(二) 具有足够的强度

公路上的行车荷载,通过路面传递给路基,对其产生一定压力,路基自重及路面的重量也给予路基和地基一定压力。这些压力都可使路基产生一定的变形,使路面变形而遭到破坏,直接影响路面的使用品质。因此,要求路基应具有足够的强度,以保证外力作用下,不致产生超过容许范围的变形。

(三) 具有足够的水温稳定性

路基在地面水和地下水作用下,其强度将显著地降低。特别是在季节性冰冻地区,由于水温状况的变化,路基将发生周期性冻融作用,使路基强度急剧下降。因此,对路基不仅要求其具有足够的强度,而且还应保证在最不利的水温状况下,强度不至于显著地降低,以使路面处于正常稳定状态,亦即要求路基具有足够的水温稳定性。

三、路基施工的基本内容

从工程性质和结构特点来说,路基是一种由土石修筑而成的土工建筑物。它的结构形式虽然简单,但由于是设在地面之上,暴露于大气中,受地形、地质、水文和气候等自然因素的影响极大,如果设计、施工不当,容易产生各种经常性的病害,导致路面遭到破坏,影响交通和行车安全,或耗费大量投资进行修复。同时,公路建设还与其他人类经济活动密切相关,因此路基施工还必须妥善处理好与周围环境及农田水利基本建设的关系。

为了搞好路基工程,消除病害,路基施工必须做到严格掌握技术标准,精心施工,确保工程质量。其具体内容应包括以下几个方面:

(1) 进行现场调查,研究和核对设计文件。编制施工组织计划,确定施工方案,选择施工方法,安排施工进度。完成施工前的组织、物质和技术准备工作。

(2) 开挖路堑,填筑路堤,修建排水及防护加固结构物,进行路基主体工程及其他工程的施工。

(3) 按照设计要求,对各项工程进行检查验收,绘制路基施工竣工图。

第二节 土质路基施工

一、概述

(一) 路基施工的重要性

理想的设计必需通过施工来实现。再好的设计仅是纸面上的设想,是否可行?效果如何?全靠施工实现和检验。路基工程,涉及范围广,影响因素多,灵活性亦较大,尤其是岩土内部具体变化,设计阶段难以尽善,有待施工过程中进一步完善。“精心设计,精心施工”是一个完整的过程,就耗费人力、资源和财力,以及快速、高效与安全的要求而言,施工比设计更为重要,更为不易。

路基土石方工程量大,分布不均匀,不仅与自身的其它工程与设施,如路基排水、防护与加固等相互制约,而且同公路工程的其它工程项目,如桥涵、隧道、路面及附属设施相互交错。因此,路基施工,在质量标准、技术操作、施工管理等方面具有特殊性,必需予以研究和不断改进,就整个公路工程的施工而言,路基施工往往是施工组织管理的关键。

路基工程的项目较多,如土方、石方及圬工砌体等,在施工方法与技术操作方面各具特点,本节以土质路基施工为主,阐明路基施工的全过程,如施工准备及施工组织管理等。

土质路基包括路堤与路堑在内,基本操作是挖、运、填,工序比较简单,但条件比较复杂,因而施工方法多样化,简单的工序中常常遇到极为复杂的技术和管理方面新课题。

公路施工是野外操作,边远山区自然条件差,运输不便,物质设备及施工队伍的供应与调度难,路基工地分散,工作面狭窄,遇有特殊地质不良现象等,易使一般的技术问题变得复杂化,某些复杂的技术问题,更是难以用一般常规的方法与经验进行解决。城市道路路基施工条件,比公路往往优越,尤其在物质供应、生活条件及通讯运输等方面,比较容易安排,但城市路基施工亦有不利的方面,集中表现在:地面拆迁多、地下管线多、配套工程多、施工干扰多。此外,在路基施工中还存在着:场地布置难、临时排水难、用土处置难、土基压实难等不利的因素。路基的隐蔽工程较多,质量不合标准会给路面及自身留下隐患,一旦产生病害,不仅损害道路使用品质,导致妨碍交通及经济损失,而且往往后患无穷,难以根治。因此,为要确保工程质量,实现快速、高效率安全施工,必需重视施工技术与管理工作,就目前情况而言,首先要有一个稳定的专业施工队伍,配有相应的技术骨干

和机具设备,建立和健全施工技术操作规程与质量检查验收制度,采用现代化的施工管理方法等,这是高速发展公路事业的需要,亦是实现“精心施工”的必由之路。

(二)路基施工的基本方法

路基施工的基本方法,按其技术特点大致可分为:人工及简易机械化、综合机械化、水力机械化和爆破方法等。人力施工是传统方法,使用手工工具、劳动强度大、工效低、进度慢、工程质量亦难以保证,但短期内还必然存在并适用于某些辅助性工作,即使实现机械化施工,亦还有必要保留。为了加快施工进度,提高劳动生产率,实现高标准高质量施工,有条件时对于劳动强度大和技术要求高的工序,应尽量配以机械或简易机械。机械化施工和综合机械化施工,是今后的发展方向,对于路基土石方工程来说,更具有迫切性。实践证明,单机作业的效率,比人力及简易机械施工要高得多,但需要大量人力与之配合,由于机械和人力的效率悬殊过大,难以协调配合,单机效率受到限制,势必造成停机待料,机械的生产率很低,如果对主机配以辅机,相互协调,共同形成主要工序的综合机械化作业,工效才能大大提高。以挖掘机开挖土路堑为例,如果没有足够的汽车配合运输土方,或者汽车运土填筑路堤,如果没有相应的摊平和压实机械配合,或者不考虑相应辅助机械为挖掘机松土和创造合适的施工面,整个施工进度就无法协调,难以紧凑作业,工效亦势必达不到应有的要求,所以实现综合机械化施工,科学地严密组织施工,是路基施工现代化的重要途径。

水力机械化施工,亦是机械化施工中的方法之一,它是运用水泵、水枪等水力机械,喷射强力水流,冲散土层并流运至指定地点沉积,例如采集砂料或地基加固等。水力机械适用于电源和水源充足,挖掘比较松散的土质及地下钻孔等。对于砂砾填筑路堤或基坑回填,还可用来起到密实作用(称为水夯法)。

爆破法是石质路基开挖的基本方法,如果采用钻岩机钻孔与机械清理,亦是岩石路基机械化施工的必备条件。除石质路堑开挖而外,爆破法还可用于冻土、泥沼等特殊路基施工,以及清除地面、开石取料与石料加工等。

上述施工的选择,应根据工程性质、施工期限、现有条件等因素而定,而且应因地制宜和各种方法综合使用。

(三)施工前的准备工作

路基施工的主要内容,大致可归纳为施工前的准备工作和基本工作两大部分。土质路基的基本工作,是路堑挖掘成型、土的移运、路堤填筑压实,以及与路基直接有关的各项附属工程。其工程量大、施工期长,且耗费计划所需人力物力资源的绝大部分,因而必需集中精力,认真对待。但要保证正常施工,施工前的准备工作,极为重要,它是组织施工的第一步,无准备的施工或准备不充分的施工,均使路基施工的基本工作难以顺利进

行。

施工的准备工作的内容较多,大致可归纳为组织准备、技术准备和物质准备三个方面。

1. 组织准备工作

主要是建立和健全施工队伍和管理机构,明确施工任务,制定必要的规章制度,确立施工所应达到的目标等。组织准备亦是做好一切准备工作的前提。

2. 技术准备工作

主要是指施工现场的勘查、核对与必要时修改设计文件,编制施工组织计划,恢复路线,施工放样与清除施工场,搞好临时工程的各项工作等。

现场勘查与核对设计文件,目的是熟悉和掌握施工对象特点、要求和内容,显然这是整个施工的重要步骤,舍此则其它一切工作就失去目标,难以着手。

施工组织计划是具有全局性的大事,其中包括选择施工方案,确定施工方法,布置施工现场(施工总平面布置),编制施工进度计划,拟定关键工程的技术措施等,它是整个工程施工的指导性文件,亦是其它各项工作的依据。在当前强调加强施工管理,实现现代化科学管理的时期,如何抓住施工组织计划这一环节,更具有现实意义。

临时工程,包括施工现场的供电、给水,修建便道、便桥,架设临时通讯,设置施工用房(生活和生产所必需)等,这些均为展开基本工作的必备条件。

路基恢复定线、清除路基用地范围内一切障碍物等,是施工前的技术准备工作,亦是基本工作的一个组成部分,宜协调进行。

3. 物质准备工作

包括各种材料与机具设备的购置、采集、加工、调运与储存,以及生活后勤供应等。为使供应工作能适应基本工作的及时需要,物质准备工作必需制定具体计划,其中有的计划内容,如劳动力调配、机具配置及主要材料供应计划,必需服从与保证上述施工组织计划顺利实施,而且亦常被列为施工组织计划的一个组成部分。

土质路基施工,仅是整个道路工程中的一个工程项目,以上所述的准备工作,主要对整个工程的施工而言,对于某一单项工程,如土质路基、石质路基、路基排水或防护加固,或者路基工程而外的桥涵与路面等,准备工作的具体内容与要求,虽有差别,但基本项目不可缺少。

二、施工要点

(一)基本要求

土质路基的挖填,首先必须搞好施工排水,包括开挖地面水的临时排水沟槽及设法

降低地下水位,以便始终保持施工场地的干燥。这不仅因为干燥状态下易于操作,而且控制土的湿度是确保路堤填筑质量的关键。从有效控制土的含水量需要出发,土质路基的施工作业面不宜太大,以有利于组织快速施工,随挖随运,及时填筑压实成型,减少施工过程中的日晒、雨淋,尽量保持土的天然湿度,避免过干或过湿。一般条件下土的天然含水量,接近最佳值,特殊需要时,才考虑人工洒水或晾干措施。雨季施工,尤应按照施工技术操作规程的有关规定,加强临时排水,确保路基质量。过湿填土,碾压后形成弹簧现象,必需挖除重填,必要时可采取其它相应的加固措施。

路基挖填范围内的地表障碍物,事先应予拆除,其中包括原有房屋的拆迁,树木和丛林茎根的清除,以及表层种植土、过湿土与设计文件或规程所规定之杂物等的清除。在此前提下,必要时按设计要求对路堤基层进行加固。

路基取土与填筑,必须有条不紊,有计划有步骤地进行操作,这不仅是文明施工的需要,而且是选土和合理利用填土的保证。不同性质的路基用土,除按规定予以废弃和适当处治外,一般亦不允许任意混填。

路堑开挖,应在全横断面进行,自上而下一次成型,注意按设计要求准确放样,不断检查校正,边坡表面削齐拍平。路堑底面,如土质坚实,应尽量不扰动,予以整平压实,如果土质较差、水文条件不良,应根据路面强度设计要求,采取加深边沟、设置地下盲沟以及挖松表层一定深度原土层,重新分层填筑与压实或必要时予以换土和加固,以确保路堑底层土基的强度与稳定性,达到规定标准,这对于修筑沥青类路面尤为重要。

土质路堤,应视路基高度及设计要求,先着手清理或地基加固。潮湿地基尽量疏干预压,如果地下水位较高,因工期紧或其它原因无法疏干,第一层填土适当加厚或填以砂性土后再予以压实。一般情况下,路堤填土应在全宽范围内,分层填平,充分压实,每日施工结束时,表层填土应压实完毕,防止间隔期中雨淋或曝晒。分层厚度视压实工具而定,一般压实厚度为20~25cm左右。路堤加宽或新旧土层搭接处,原土层挖成台阶,逐层填新土,不允许将薄层新填土层贴在原路基的表面。

土路堤分层填平压实,是确保施工质量的关键,任何填土和任何施工方法,均应按此要求组织施工。

路基原定设计要求及施工操作规程,是路基施工的依据及质量检验的标准,必需严格执行。遇有特殊情况,无法按原设计和规程实施,需按基建程序中规定的手续,汇同有关单位协商解决。

(二)填挖方案

1. 路堤填筑

土质路堤(包括石质土),按填土顺序可分为分层平铺和竖向填筑两种方案。分层平

铺是基本的方案,如符合分层填平和压实的要求,则效果较好,且质量有保证,有条件时应尽量采用。竖向填筑是在特定条件下,局部路堤采用的方案。

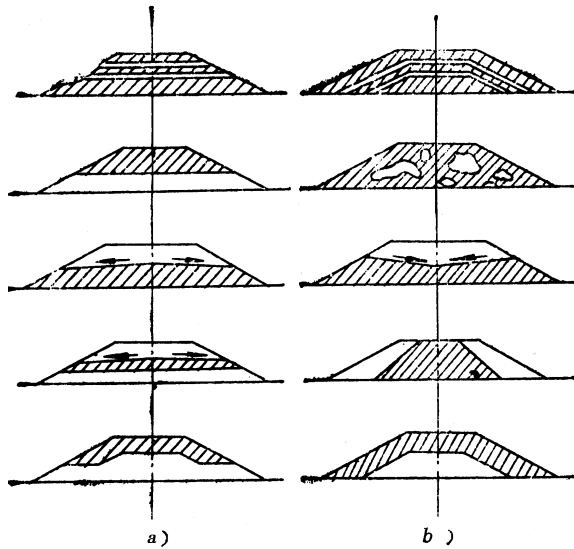


图 4-1-1 土路堤填筑方案示意图

a)正确的, b)不正确的

分层平铺,有利于压实,可以保证不同用土按规定层次填筑。图 4-1-1 所示,为不同用土的组合方案,其中正确方案要点是:不同用土水平分层,以保证强度均匀,透水性差的用土,如粘性土等,一般宜填于下层,表面成双向横坡,有利排除积水,防止水害;同一层次不同用土时,接搭处成斜面,以保证在该层厚度范围内,强度比较均匀,防止产生明显变形。不正确方案主要是指:未水平分层,有反坡积水,夹有冻土块和粗大石块,以及有陡坡斜面等,其基本点亦在于强度不均匀和排水不利。此外,还应注意用土不含有害杂物(草木、有机物等)及未经处治的劣土(细粉土、膨胀土、盐渍土与腐植土等)。桥涵、挡土墙等结构物的回填土,以砂性土为宜,防止不均匀变形,并按有关操作规程回填和夯实。

竖向填筑,指沿路中心线方向逐步向前深填,如图 4-1-2 所示。路线跨越深谷或池塘时,地面高差大,填土面积小,难以水平分层卸土,以及陡坡地段上半挖半填路基,局部路段横坡较陡或难以分层填筑等,可采用竖向填筑方案。竖向填筑的质量在于密实程度,为此宜采用必要的技术措施。如选用振动式或锤式夯击机,选用沉陷量较小及粒径较均匀的砂石填料,路堤全宽一次成型,暂不修建较高级的路面,容许短期内自然沉落。此外,尽量采用混合填筑方案,即下层竖向填筑,上层水平分层,必要时可考虑参照地基加固的注入、扩孔或强夯等措施,以保证填土具有足够的密实程度。

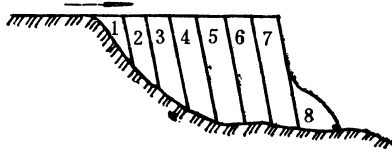


图 4-1-2 竖向填筑方案示意图

2. 路堑开挖

土质路堑开挖,根据挖方数量大小及施工方法的不同,按掘进方向可分为纵向全宽掘进和横向通道掘进两种,同时又可在高度上分单层或双层和纵横掘进混合等(以上掘进方向,依路线纵横方向命名)。

纵向全宽掘进是在路线一端或两端,沿路线纵向向前开挖,如图 4-1-3 所示。单层掘进的高度,即等于路堑设计深度。掘进时逐段成型向前推进,运土由相反方向送出。单层纵向掘进的高度,受到人工操作安全及机械操作有效因素的限制,如果施工紧迫,对于较深路堑,可采用双层掘进法,上层在前,下层随后,下层施工面上留有上层操作的出土和排水通道。

横向通道掘进,是先在路堑纵向挖出通道,然后分段同时向横向掘进,如图 4-1-4 所示。此法为扩大施工面,加速施工进度,在开挖长而深的路堑时用。施工时可以分层和分段,层高等和段长视施工方法而定。该法工作面多,但运土通道有限制,施工的干扰性增大,必需周密安排,以防在混乱中出现质量或安全事故。个别情况下,为了扩大施工面,加快施工进度,对土路堑的开挖,还可以考虑采用双层式纵横通道的混合掘进方案,同时沿纵横的正反方向,多施工面同时掘进,如图 4-1-4b 所示。混合掘进方案的施工干扰性更大,一般仅限于人工施工,对于深路堑,如果挖方工程数量大及工期受到限制时亦可考虑采用。

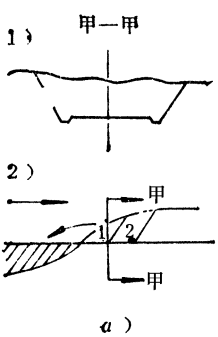


图 4-1-3 纵向掘进示意图

a) 单层 b) 双层

1—横剖面 2—纵剖面 3—平面

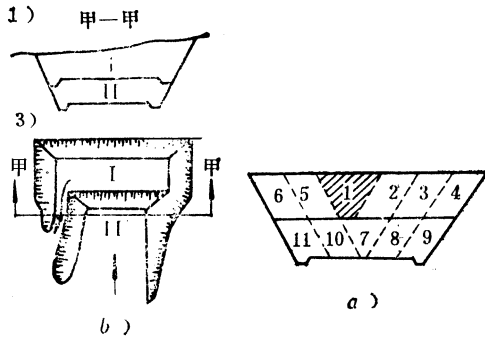
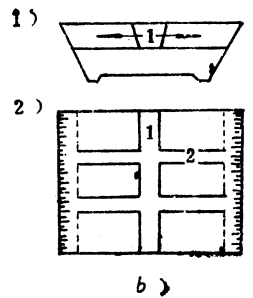


图 4-1-4 横向和混合掘进示意图

a) 双层横向 b) 双层混合

1—横剖面 2—平面



(三) 机械化施工

常用的路基土方机械,有松土机、平土机、推土机、铲运机和挖掘机(配以汽车运土),此外还有压实机具及水力机械等。各种土方机械可进行单机作业,例如平土机、推土机及铲运机等;以挖掘机为代表的主机,需要配以松土、运土、平土及压实等相应机具,相互配合,综合完成路基施工任务。

各种土方机械,按其性能,可以完成路基土方的部分或全部工作。选择机械种类和操作方案,是组织施工的第一步,为能发挥机械的使用效率,必需根据工程性质、施工条件、机械性能及需要与可能,择优选用。

根据以往工程实践经验的总结,几种常用的土方机械适用范围,如表 4-1-1 所列;按施工条件选择土方机械时,则可参考表 4-1-2。

表 4-1-1 常用土方机械适用范围

| 机械名称 | 适用的作业项目 | | |
|-------|---|---|---|
| | 施工准备工作 | 基本土方作业 | 施工辅助作业 |
| 推土机 | 1. 修筑临时道路; 2. 推倒树木,拔除树根; 3. 铲草皮,除积雪及建筑碎屑; 4. 推缓陡坡地形,整平场地; 5. 翻挖回填井、坑、陷穴,坟 | 1. 高度 3m 以内的路堤和路堑土方; 2. 运距 100m 以内土方的挖、填与压实; 3. 傍山坡挖填结合路基土方 | 1. 路基缺口土方的回填; 2. 路基粗平,取弃土方的整平; 3. 填土压实,斜坡上挖台阶; 4. 配合挖掘机与铲运机松土、运土 |
| 铲运机 | 1. 铲除草皮 2. 移运孤石 | 1. 运距 60~700m 以内的挖土、运土、铺平与压实(高度不限) | 1. 路基粗平; 2. 借土坑与弃土堆整平 |
| 自动平地机 | 1. 除草、除雪、松土 | 1. 修筑 0.75m 以内路堤与 0.6m 以内路堑,以及挖填结合路基的挖、运填土 | 1. 开挖排水沟,平整路基,整修边坡 |
| 松土机 | 1. 翻松旧路面、清除树根与废土层翻松硬土 | | 1. III~IV 类土的翻松; 2. 破碎 0.5m 内的冻土层 |
| 挖掘机 | | 1. 半径 7m 以内的挖土与卸土; 2. 装土供汽车远运 | 1. 挖沟槽与基坑; 2. 水下捞土(反向铲土等) |

表 4-4-2 选择土方机械的施工条件

| 路基形式及 施工方法 | 填挖高度 (m) | 土方移运 水平直距 (m) | 主要施工机械名称 | 辅助机械 | 机械施工 运 距 (m) | 最小工作 地段长度 (m) |
|---------------|-------------|---------------------|--------------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| (一) 路堤 | | | | | | |
| 路侧取土 | <0.75 | <15 | 自动平土机 | 80 马力推 土 机 | | 300~500 |
| 路侧取土 | <3.00 | <40 | 80 马力推土机 | | 10~40 | — |
| 路侧取土 | <3.00 | <60 | 100~140 马力推土机 | | 10~60 | — |
| 路侧取土 | <6.00 | 20~100 | 6m ³ 拖式铲运机 | | 80~250 | 50~80 |
| 路侧取土 | >6.00 | 50~200 | 6m ³ 拖式铲运机 | | 250~500 | 80~100 |
| 远运取土 | 不 限 | <500 | 6 m ³ 拖式铲运机 | | <700 | >50~80 |
| 远运取土 | 不 限 | 500~700 | 9~12m ³ 拖式铲运机 | | <1000 | >50~80 |
| 远运取土 | 不 限 | >500 | 9m ³ 以上自动铲运机 | | >500 | >50~80 |
| 远运取土 | 不 限 | >500 | 自卸汽车运土 | | >500 | (5000m ³) |
| (二) 路堑 | | | | | | |
| 路侧弃土 | <0.60 | <15 | 自动平土机 | 80 马力推 土 机 | | 300~500 |
| 路侧弃土 | <3.00 | <40 | 80 马力推土机 | | 10~40 | — |
| 路侧下坡弃土 | <4.90 | <70 | 100~140 马力推土机 | | 10~70 | — |
| 路侧弃土 | <6.00 | 30~100 | 6m ³ 拖式铲运机 | | 100~300 | 50~80 |
| 路侧弃土 | <15.0 | 50~200 | 6m ³ 拖式铲运机 | | 300~600 | >100 |
| 路侧弃土 | >15.0 | >100 | 9~12m ³ 拖式铲运机 | | <1000 | >200 |
| 纵向利用 | 不 限 | 20~70 | 80 马力推土机 | | 20~70 | — |
| 纵向利用 | 不 限 | <100 | 100~140 马力推土机 | | <100 | — |
| 纵向利用 | 不 限 | 40~600 | 6m ³ 拖式铲运机 | | 80~700 | >100 |
| 纵向利用 | 不 限 | <800 | 9~12m ³ 拖式铲运机 | | <1000 | >100 |
| 纵向利用 | 不 限 | >500 | 9m ³ 以上自动铲运机 | | >500 | >100 |
| 纵向利用 | 不 限 | >500 | 自卸汽车运土 | | >500 | (5000m ³) |
| (三) 半挖半 填 | | | | | | |
| 横向利用 | 不 限 | <60 | 80~140 马力斜角推土机 | 1 | 10~60 | — |

注：表中均指 I-II 类土，如土质坚硬时应先用松土机将土疏松。

1 马力 = 735.498W

工程实践证明,再多再好的机械设备,如果使用不当,组织管理不善,配合不协调,机械化施工就显示不出其优越性,甚至适得其反,造成浪费。

各种机具设备,均有其独特性能和操作技巧,应配有专职人员使用与保养,严格执行操作规程。从整个施工组织管理,以及指挥调度方面而言,组织机械化施工,应注意以下几点:

1. 建立健全施工管理体制与相应组织机构。一般宜成立专业化的机械施工队伍,以便统一经营管理,独立经济核算。

2. 对每项路基工程,应有严密的施工组织计划,并合理选择施工方案,在服从总的调度计划安排下,各作业班组或主机,均编制具体计划。在综合机械化施工中,尤其要加强作业计划工作。

3. 在机具设备有限制的条件下,要善于抓重点,兼顾一般。所谓重点,是指工程重点,在网络计划管理中,重点就是关键线路,在综合机械化作业中,重点就是主机的生产效率。

4. 加强技术培训,坚持技术考核,开展劳动竞赛,鼓励技术革新,实行安全生产、文明施工,把提高劳动生产率、节省能源、减少开支等指标具体化、制度化。

以上几点,对非机械化施工,对整个路基工程及公路施工,均具有普遍指导意义,对综合机械化作业具有更重要的指导意义。

三、路基压实

(一)人工压实的意义与机理

路基施工破坏土体的天然状态,致使结构松散,颗粒重新组合。为使路基具有足够的强度与稳定性,必须予以人工压实,以提高其密实程度。所以路基的压实工作,是路基施工过程中一个重要工序,亦是提高路基强度与稳定性的根本技术措施之一。

土是三相体,土粒为骨架,颗粒之间的孔隙为水分和气体所占据。压实的目的在于使土粒重新组合,彼此挤紧,孔隙缩小,土的单位重量提高,形成密实整体,最终导致强度增加,稳定性提高。这一点已为无数试验与实践反复证明,在理论和实践中已成定论。例如,对液限为 60% 和塑性指数为 28 的粘土,通过一系列室内测试,并用数学加工法整理数据,得到该组土的形变模量 E (MPa)、含水量 w (%) 和干容重 γ (kN/m^3) 的下列回归方程

$$E = -123.41gw + 8.66\gamma + 83.7 \quad (4-1-1)$$

按此式可绘得一组关系曲线,如图 4-1-5 所示。图中斜向曲线是 E 与 w 及 γ 的关系,明显可见干容重 γ 对强度 E 的影响,图中曲线 1、2、3 反映出 γ 与 w 的关系,三者关系数值不同,表明击实功能对干容重 γ 的影响,击实功能愈大(曲线 3 大于曲线 2,而曲线 2 大于曲线 1),在相同含水量 w 条件下,所得干容重 γ 愈高;三曲线共同的规律是 γ 随 w 而成“驼峰曲线”变化,而且驼峰顶部所对应的 w 值和 γ 值,依土样试件的击实功能的增大而 w 递减和 γ 递增。

图 4-1-5 的 $V_a = 0$ 曲线,是通过计算而得。土中空气含量为零时,土中仅有土粒和水分,即土体被水饱和,所以 $V_a = 0$ 的曲线,亦就是土的饱和度为 100% 的曲线。利用 $V_a = 0$ 曲线,由图可以分析压实对土基强度与稳定性的影响。例如图中曲线 3 相对应的最大干容重 $\gamma_0 = 15.6\text{kN}/\text{m}^3$,最佳含水量 $w_0 = 25.6\%$,引 γ_0 的水平线与 $V_a = 0$ 曲线相交,在 w 横坐标上得到相应的饱和度 $w_a = 28\%$, $w_a > w_0$,两者之差($28 - 25.5 = 2.5$)表明土体还可增大 2.5% 的含水量,而且密实度愈低(干容重愈小),含水量还可增大之值愈

高。含水量对土基强度的影响很大,超过干容重对强度的影响,含水量越高,土的强度越低。图中的曲线 3, $w_0 = 25.5\%$ ($\gamma = 15.6 \text{ kN/m}^3$) 时, $E = 45 \text{ MPa}$, 浸水饱和时 $w_a = 28\%$ 相应的 $E = 34 \text{ MPa}$, 如果土的密实度 v 更低, 浸水量 ($w_a - w_0$) 增大, 强度降低更明显, 就表明土的强度与稳定性更差。所以压实不仅是提高土基强度的重要手段, 而且亦是保证土基稳定性的必要技术措施。

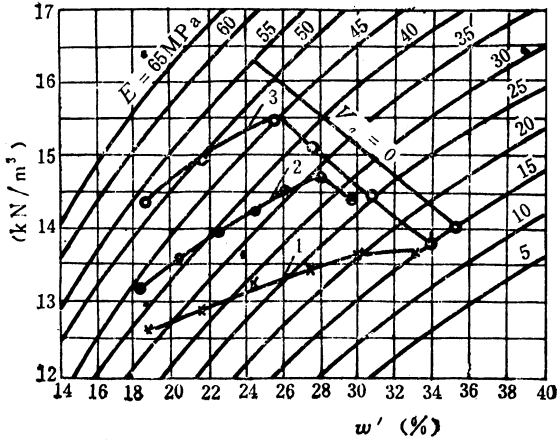


图 4-1-5 某粘土的 E 与 w 及 γ 关系图

- 1—锤重 25N, 落高 30cm, 3 层, 每层击 15 次 2—锤重、落高、层数同上, 每层 40 次 3—锤重 50N, 落高 30cm, 3 层, 每层击 40 次,
 V_a 是土中的空气率, 当 $V_a = 0$ 时, 表明土为水所饱和。

大量试验还证明, 土基压实后, 路基的塑性变形、渗透系数、毛细水作用及隔温性能等, 均有明显改善。

(二) 影响压实效果的主要因素

对于细粒土的路基, 影响压实效果的因素有内因和外因两方面。内因指土质和湿度, 外因指压实功能(如机械性能、压实时间与速度、土层厚度)及压实时的外界自然和人为的其他因素等。图 4-1-5 已经明显表达出土的压实程度(以 γ 或 E 为代表)与湿度(含水量 w)、压实功能(曲线 1~3)的相互关系, 及其变化的基本规律。

为了更简明直观阐明主要因素对压实的影响, 以及为什么选用干容重作为表征土基密实程度的技术指标, 可参见图 4-1-6 的关系曲线。

图 4-1-6 中曲线 1 的驼峰曲线, 表明干容重 γ 随含水量 w 而变的规律性。在同条件下, 一定含水量之前, γ 随 w 增加而提高, 主要原因在于水起润滑作用, 土粒间阻力减小, 施加外力后, 孔隙减少, 土粒易于被挤紧, γ 得以提高。 γ 值至最大值后, w 再继续增大, 土粒孔隙被水分占据, 而水一般不为外力所压缩, 因而 w 增大, γ 随之降低。通常

在一定击实条件下干容重的最大值,称为最大干容重 γ_0 (驼峰曲线的最高点),相应的含水量称为最佳含水量 w_0 。由此可见,压实时,如能控制土的湿度为最佳值 w_0 ,则压实效果为最高,耗费的压实功能为最经济。各种土的 γ_0 与 w_0 ,在一定压实功能情况下基本固定不变,工程上可以查用,而且 w_0 与土的液限 w_L 的关系,大致平均值为 $w_0 = 0.6 w_L$ (介于 0.58 ~ 0.62 之间)。

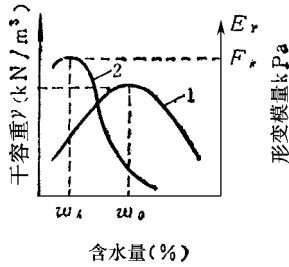


图 4-1-6 土基的 E 、 γ 与 w 关系示意图

1— γ 与 w 关系 2— E 与 w 关系

如果以形变模量 E_γ 代替 γ ,它与 w 亦具有类似的驼峰型曲线关系,而且最高点的 E_k 及其相应之 w_k 值,与 γ_0 及 w_0 有别。曲线 2 表明,土体湿度未达到最佳值之前 ($w_0 > w_k$) 强度已达最高值 E_k ,这是因为土中含水量较少时(指 w_k),土粒间的阻力较高,欲使土粒继续位移,需要最大的外力,所以表现为 E_k 最高。而土中湿度在 w_k 值前后的减少或增加,相应的 E_γ 随之有所降低。

现行路面设计方法是以弹性模量(或回弹模量)为土基的强度指标(弹性模量 E_0 与形变模量 E_γ 两者数值之间,具有比较固定的关系,在相对形变为 0.02 时, E_0 平均为 E_γ 的 2.2 倍,可以互相换算),为什么不直接用模量(即强度)来控制土基压实程度,而用干容重表示压实程度,这一点可通过图 4-1-7 所示的试验来分析说明。图 4-1-7 是饱水前后的压实试验结果对照曲线关系图,曲线 1(实线)表明,饱水后 γ 与 E 均有所降低,而在 w_0 时,两者的降低值 ($v_0 - v_s$ 或 $E'_k - E'_s$) 均最小。换言之,控制最佳含水量 w_0 压实的土基,其强度和稳定性最好,如果以 w_k 为准,尽管相应的 E_k 最高,但饱水后的 E_s 却大大降低,水稳性极差。此乃选用 v_0 及相应的 w_0 作为控制土基压实指标的机理所在。

土质对压实效果的影响亦很大。一般规律是:土质不同, v_0 与 w_0 数值不一样,而且分散性(液限、粘性)较高的土,其 w_0 值较高, v_0 值较低;砂性土的压实效果,优于粘性土,图 4-1-8 是一个示例。其机理在于土料愈细,比面积愈大,土粒表面水膜所需之湿度亦愈多,加之粘土中含有亲水性较高胶体物质所致。砂土的颗粒粗,成松散状态,水分

极易散失,最佳含水量的概念,没有多大的实际意义。

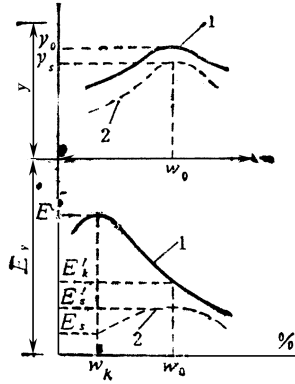


图 4-1-7 饱水前后压实指标对照示意图

1—饱水前 2—饱水后

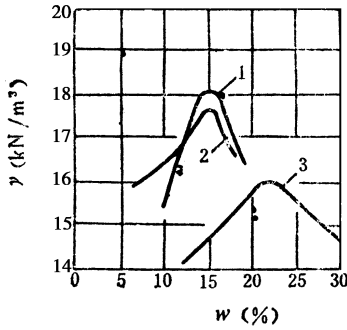


图 4-1-8 几种土质的压实曲线对照图

1—亚砂土 2—亚粘土 3—粘土

压实厚度对压实效果具有明显影响。相同压实条件下(土质、温度与功能不变),实测土层不同深度的密实度(ρ 或压实度)得知,密实度随深度递减,表层 5cm 最高。不同压实工具的有效压实深度有所差异,根据压实工具类型、土质及土基压实的基本要求,路基分层压实的厚度,有具体规定数值。一般情况下,夯实不宜超过 20cm,12~15t 光面压路机,不宜超过 25cm,振动压路机或夯击机,宜以 50cm 为限。

压实功能(指压实工具的重量、碾压次数或锤落高度、作用时间等)对压实效果的影响,是除含水量而外的另一重要因素。图 4-1-9 是压实功能(综合因素)与压实效果的关系曲线,曲线表明:同一种土的最佳含水量 w_0 随功能的增大而减小,最大干容重 γ_0 则随功能的增大而提高,在相同含水量条件下,功能愈高,土基密实度(即 γ)愈高。据此规律,工程实践中可以增加压实功能(选用重碾,增加次数或延长时间等),以达到提高路

基强度或降低含水量。但必须指出,用增加压实功能的办法,赖以提高土基强度的效果,有一定限度,功能增加到一定程度以上,效果提高愈为缓慢,在经济效益和施工组织上,不尽合理,甚至功能过大,破坏土基结构,效果适得其反。相比之下,严格控制最佳含水量,要比增加压实功能收效大得多。当含水量不足,洒水有困难时,适当增大压实功能,可以收效,如果土的含水量过大,此时如果增大压实功能,必将出现“弹簧现象”,压实效果很差,造成返工浪费。所以,土基压实施工中,控制最佳含水量,是首要关键,在此前提下采取分层填土,控制有效土层厚度,必要时适当增大压实功能,乃土基压实工作的基本要领。

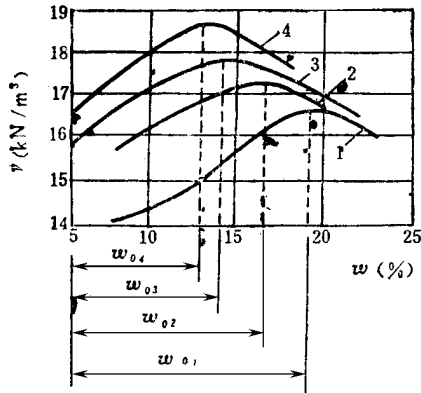


图 4-1-9 不同压实功能的压实曲线对照图

图中 1、2、3、4 曲线的功能分别
为 600、1150、2300、3400 (kN·m)

(三) 机具选择与操作

压实机具的选择,以及合理的操作,亦是影响土基压实效果的另一些综合因素。

土基压实机具的类型较多,大致分为碾压式、夯击式和振动式三大类型。碾压式(又称静力碾压式),包括光面碾(普通的两轮和三轮压路机)、羊足碾和气胎碾等几种。夯击式中除人工作用的石碾、木夯外,机动设备中有夯锤、夯板、风动夯及蛙式夯机等。振动式中有振动器、振动压路机等。此外,运土工具中的汽车及拖拉机,亦可用于路基压实。

不同压实机具,适用于不同条件,土质及土层厚度等条件,这亦是选择压实机具的主要依据,表 4-1-3 所列是几种常用机具的一般技术特性。正常条件下,对于砂性土的压实效果,振动式较好,夯击式次之,碾压式较差;对于粘性土,则宜选用碾压式或夯击式,振动式较差甚至无效。不同压实机具,在最佳含水量条件下,适应于一定的最佳压实厚度以及通常的压实遍数。

表 4-1-3 压路机的技术性能

| 机具名称 | 最大有效压实厚度 (实厚 γ m) | 碾压行程次数 | | | | 适宜的土类 |
|---------------|-----------------------------|--------|-----|-----|-----|---------|
| | | 粘性土 | 亚粘土 | 粉砂土 | 砂粘土 | |
| 人工夯实 | 0.10 | 3~4 | 3~4 | 2~3 | 2~3 | 粘性土与砂性土 |
| 牵引式光面碾 | 0.15 | — | — | 7 | 5 | 粘性土与砂性土 |
| 羊足碾(2个) | 0.20 | 10 | 8 | 6 | — | 粘性土 |
| 自动式光面碾 5t | 0.15 | 12 | 10 | 7 | — | 粘性土与砂性土 |
| 自动式光面碾 10t | 0.25 | 10 | 8 | 6 | — | 粘性土与砂性土 |
| 气胎路碾 25t | 0.45 | 5~6 | 4~5 | 3~4 | 2~3 | 粘性土与砂性土 |
| 气胎路碾 50t | 0.70 | 5~6 | 4~5 | 3~4 | 2~3 | 粘性土与砂性土 |
| 夯击机 0.5t | 0.40 | 4 | 3 | 2 | 1 | 砂性土 |
| 夯击机 1.0t | 0.60 | 5 | 4 | 3 | 2 | 砂性土 |
| 夯板 1.5t 落高 2m | 0.65 | 6 | 5 | 2 | 1 | 砂性土 |
| 履带式 | 0.25 | 6~8 | | 6~8 | | 粘性土与砂性土 |
| 振动式 | 0.40 | — | | 2~3 | | 砂性 |

压实机具对土的施加外力,应有所控制,以防功能太大,压实过度,并防失效、浪费或有害。一般认为,压实时的单位压力,不应超过土的强度极限。不同土的强度极限,与压实机具的重量、相互接触面积、施荷速度及作用时间(遍数)等因素有关。表 4-1-4 所列,是在最佳含水量条件下,土质在几类压实机具作用时的强度,可供选择机具和控制压实功能时参考。

表 4-1-4 压实时土的强度极限

| 土 类 | 土 的 极 限 强 度(MPa) | | |
|-----------------|------------------|---------|-----------------|
| | 光 面 碾 | 汽 胎 碾 | 夯板(直径 70~100cm) |
| 低粘性土(砂土、亚砂土、粉土) | 0.3~0.6 | 0.3~0.4 | 0.3~0.7 |
| 中等粘性土(亚粘土) | 0.6~1.0 | 0.4~0.6 | 0.7~1.2 |
| 高粘性土(重亚粘土) | 1.0~1.5 | 0.6~0.8 | 1.2~2.0 |
| 极粘土(粘土) | 1.5~1.8 | 0.8~1.0 | 2.0~2.3 |

实践经验已经证明,土基压实时,在机具类型、土层厚度及行程遍数已经选定的条件

下,压实操作时宜先轻后重、先慢后快、先边缘后中间(超高路段等需要时,则宜先低后高或相反)。压实时,相邻两次轮迹应重叠轮宽的三分之一,保持压实均匀,不漏压,对于压不到的边角,应辅以人力或小型机具夯实。压实全过程中,经常检查含水量和密实度,以达到符合规定压实度的要求。

(四) 土基压实标准

土基室外施工,受种种条件限制,不能要求达到室内标准击实试验所得的最大干容重 γ_0 , 应予适当降低。令工地实测干容重为 ν , 它与 ν_0 值之比的相对值,称为压实度(亦称为压实系数) K , 已知 ν_0 值, 规定压实度 K , 则工地实测干容重 ν 值,应符合下列要求

$$\nu = K \cdot \nu_0 \quad (4-1-2)$$

压实度 K 就是现行规定的路基压实标准。正确选定 K 值,关系到土路基受力状态、路基路面设计要求、施工条件,必须兼顾需要与可能,讲究实效与经济。

图 4-1-10 是路基受力时,土中应力 σ 随深度 Z 变化的关系曲线示意图,表明路基表层承受行车作用力最大,由顶部向下,受力急剧减小,在一般汽车荷载情况下,其影响深度 $Z = 1.0 \sim 2.0\text{m}$ 范围内, Z 更大时路基主要承受路基本身重量。因此,路基填土的压实度,应是由下而上逐渐提高标准。

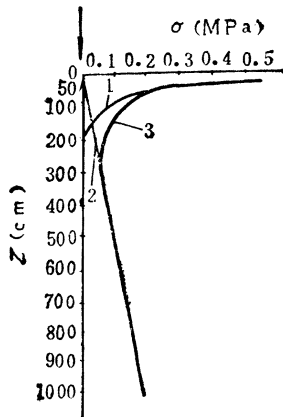


图 4-1-10 路基应力随

深度变化曲线示意图

1—行车荷载 2—路基自重

曲线 3—两者叠加曲线

路面等级愈高,对路基强度要求相应增大;自然条件越差,对路基的强度与稳定性越不利,路基挖填不同,对于路基的强度与稳定性亦有关系。基于上述分析,现行规定的路基压实度 K ,如表 4-1-5 所列。

表 4-1-5 路面压实标准

| 压实度 K 路基类别 | 路面等级 | | 高级 | | 次高级 | | 中级 | | 低级 | |
|--|------|-----------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------------|------|
| | 槽 | 以下的路基深度 (cm) | 80 以内 | > 80 | 80 以内 | > 80 | 80 以内 | > 80 | 80 以内 | > 80 |
| 一般路堤 | | | 0.98 | 0.95 | 0.95 | 0.90 | 0.90 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| 受浸水影响的路堤由设计水位以上 $H = H_2 - 80\text{cm}$ ^① 起算至路槽标高 ^② | | | 0.95 | | 0.90 | | 0.90 | | 0.85 ~ 0.90 | |
| 零填 路堑以下 0 ~ 30cm | | | 0.98 | | 0.95 | | 0.90 | | 0.85 ~ 0.90 | |

注 ① H_2 为中湿时的临界高度 ②同时符合一般路堤要求, $H < 30\text{cm}$

工地压实检查,要求制度化。检查方法要求可靠、简便、快速,一般情况下可根据土质和工地条件,分别选用以下方法:

对于最佳含水量 (1)烘干法——工地有电源,使用手提式烘箱与天平;无电源或缺少烘箱时,用酒精烧干。(2)湿度密度计法(卡瓦列夫仪)。

对于干容重 (1)环刀法——适用于一般粘性土。(2)灌砂法——一般土均可用,尤适用于各种石质土。(3)湿度密度计法。(4)贯入仪法——适用于一般粘性土。(5)圆锥仪法——适用于一般粘性土。

此外,还有放射性同位素法(γ 射线法、快中子法、超声波法)。近年来,国内还研制微波测定仪、圆锥仪等测定方法。

(五)路基压实新方法

以上所述的路基压实机理、方法和标准,均以原室内标准击实试验为依据。实践证明还存在一些急待改进的问题,其中主要是 (1)标准偏低,不适应现代汽车运输的要求;(2)土的破坏为剪切破坏,路基路面设计以弹性模量为强度指标,而土基压实度则以最大干容重为标准,两者之间尚未统一起来,在理论和实践方面未得出令人信服的直接关系。(3)工程中对压实度和含水量的检验方法和控制标准,还有不尽完善之处。为此,科学界和工程单位,曾作过大量科研和探索工作。

关于压实标准,原室内标准击实仪和方法,是始于 30 年代初期,模拟当时的运载工具和碾压设备,汽车一般不超过 40kN,压路机重量低于 60kN。50 年代后,特别是近年来,载重汽车和碾压设备的重量,大为提高,如按原标准压实,势必造成土基强度不能满足路面设计和行车的要求。解决的途径,在我国目前试用加州承载比法(美国加利福尼亚州承载比法,即 CBR 法)或弯沉法等,但主要是着眼于使用重型击实法,并已取得不少成果。

所谓重型击实法,是与原击实法相比较而言,关键是增加室内击实试验的功能,提高

土的最大干容重, 据此而达到提高路基压实标准。重型击实法与原方法(称为轻型击实法)两者差别, 见表 4-1-6, 由于各国标准略有差别, 表中只各列一种, 供作参考。

表 4-1-6 重型与轻型击实法对比表

| 击实方法 | 锤重 (N) | 锤面直径 (cm) | 落高 (cm) | 试筒尺寸 | | | 锤击层数 | 每层锤击数 | 单位击实功 ($\frac{N \cdot cm}{cm^3}$) | 备注 |
|------|-----------|--------------|------------|------------|-----------|------------------|------|-------|--|------------------|
| | | | | 内径 (cm) | 高 (cm) | 体积 (cm^3) | | | | |
| 轻型 | 25 | 5 | 30 | 10 | 12.7 | 997 | 3 | 25 | 56.3 | |
| 重型 | 45 | 5 | 45 | 10 | 12.7 | 997 | 5 | 27 | 274.0 | 土粒最大直径 < 25mm |

重型击实法国外已普遍采用, 我国自 70 年代后期开始, 结合援外工程研究使用, 目前国内公路与城建部门, 广泛试行。结论是: 建立重型压实标准是合理的、必要的、也是可行的。新压实标准(重型击实法)在作用原理和基本规律, 与原标准(轻型击实法)相仿, 它既适用于土基又可用于路面基层和底基层(原标准只用于土基)。重型击实法仍以最大干容重和最佳含水量为控制指标, 但由于击实功能比原方法提高 4.5 倍, 压实标准相应有所不同。

相比之下, 重型击实法所得的最佳含水量减小, 大致是砂性土减小约 1~3%(绝对值)粘性土减小约 3~9%, 而最大干容重则提高, 其中砂性土约高 6~10%, 粘性土约高 10~16%。重型击实新标准, 对提高道路使用品质, 确保高等级公路和城市及工矿企业重要干道的路基质量, 具有重要意义。

关于压实指标, 从强度与稳定性这一根本课题来说, 路基压实与路面设计方法及其使用的强度指标密切相关, 尤其是土基顶部约 80~100cm 的深度范围内, 直接关系到路面结构和使用品质。众所周知, 土基受力极为复杂, 表现在荷载与变形的非线性、变形中存在可恢复的弹性变形和不可恢复的塑性变形、变形受加荷速率及加荷时间影响的徐变性、受自然因素作用强度的蠕动性、以及土体结构的不均匀性等。就压实工作而言, 实地操作还受着仪器设备、工序协调等因素的限制。因而形成压实指标的多样化和方法的复杂化。前人做了大量工作, 取得不少可贵经验, 我国结合路面理论和设计方法, 对土基强度与测试方法提出一些新建议, 其中直接与压实有关的就有: CBR 法、贯入仪法、圆锥仪法、弯沉法及相对含水量测定法等, 经过试验路段和室内的对比实验与数学分析, 相应得到有关应力、应变、强度与干容重的相互换算图表或关系式。其共同特点是方法简便、测试灵活, 具有实用意义。但是, 理论研究工作及仪器改进等, 在路基压实方面还有待加强。

高路堤的土质填方, 以及城市地下管网与支挡结构物的回填土, 由于施工条件的种

种限制,在压实方法、密实度标准及现场检验等,目前还存在一些迫切需要解决的技术性问题。

第三节 石质路基爆破施工

山区公路路基石方工程量大,而且集中,据统计一般约占土石方总量的45~75%。爆破是石方路基施工最有效的方法,亦可用以爆松冻土、淤泥,开采石料等等。在公路工程中采用综合爆破,不但施工技术获得了重大革新,而且对公路选线、设计也有较大的影响。例如,沿溪线经常要遇到悬崖峭壁,施工十分困难,工程量也很大,过去多采用展线翻越或跨河绕避的方案。展线方案,由于急弯陡坡较多,既降低路线的技术标准,又增加公路里程。跨河方案增加桥梁工程,既可能增加工程费用,又可能遇到基础施工等困难。如能采用综合爆破法施工,工效较高,工期较短,占用劳动力较少,成本也可降低,且可考虑采用平缓顺直的沿溪线方案而无需展线或跨河。又如,公路通过鸡爪地形地段时,为了避免施工困难和节省工程量,往往是随地形曲折起伏,如采用综合爆破法施工,可取顺直的路线布置方案。

一、爆破作用原理

(一)药包在无限介质内的作用

为了爆破某一岩体,在其中或表面放置一定数量的炸药,称为药包,按其形状或集结程度的不同,可以分为集中药包、延长药包和分集药包三种。凡药包形状接近球形或立方体,以及高度不超过直径四倍的圆柱体和最长边不超过最短边四倍的直角六面体,均属于集中药包,相反,药包的长度或高度超过上述情况者,属于延长药包。分集药包是提高炸药有效能量利用率的新型装药方式,它是将一个集中药包分为两个保持一定距离集中的子药包,如图4-1-11。

药包在无限介质内爆炸时,炸药在瞬间内通过化学反应转化为气体状态的爆炸产物。由于膨胀作用,体积增加百倍乃至数千倍,而产生静压力,同时产生温度很高、速度高达每秒上千米的冲击波,以动压力的形式作用于药包周围。这种极其巨大的爆炸能,差不多在爆炸的同时自药包中心按球面等量扩展,传递给周围介质,使介质产生各种不同程度的破坏和振动现象。这种现象随着距药包中心的距离增大而逐渐消失。按破坏程度的不同大致分为几个区间,如图4-1-12所示。

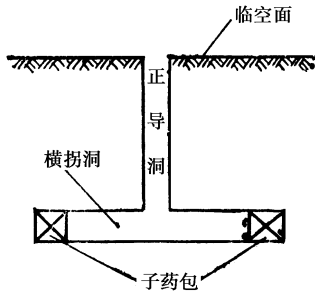


图 4-1-11 分集药包示意图

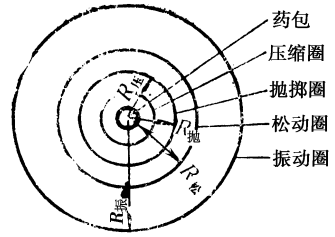


图 4-2-12 爆破作用圈示意图

1. 压缩圈。图 4-1-12 中 $R_{压}$ 表示压缩圈半径,在这个作用圈范围内,介质直接承受药包爆炸,产生极其巨大的作用力。如果介质是可塑性的土,便会遭到压缩形成空腔;如果是坚硬的脆性岩石,便会被粉碎。所以把 $R_{压}$ 这个球形区叫做压缩圈或破碎圈。

2. 抛掷圈。在压缩圈范围以外至 $R_{抛}$ 的区间,所受的爆破作用力虽较压缩圈内小,但介质原有的结构受到破坏,分裂成为不同尺寸和形状的碎块,而且爆破作用力尚有足以使这些碎块获得运动速度的余力。如果在有限介质内,这个区间的某一部分,处在临空的自由条件下,破坏了的介质碎块便会产生抛掷现象,因而叫做抛掷圈。在无限介质内不会产生任何的抛掷现象。

3. 松动圈。在抛掷圈以外至 $R_{松}$ 的区间。爆破的作用力更弱,但能使介质结构受到不同程度的破坏,因而叫做松动圈(即破坏)。

4. 振动圈。松动圈范围以外,微弱的爆破作用力不能使介质产生破坏。这时介质只能在应力波的传播下,发生振动现象,如图 4-1-12 $R_{松}$ 至 $R_{振}$ 所包括的区间,就叫做振动圈。振动圈以外爆破作用的能量就完全消失。

以上现象称为药包的球形爆炸作用。

(二) 药包在有限介质内的爆破作用与爆破漏斗

药包在有限介质内爆炸时,药包的球形爆炸作用,在具有临空面的表面,都会形成漏斗状的爆破坑,这种爆破坑的形状、数量和大小,不但与药包量大小、炸药性能、介质的性质等有关,同时还与临空面的数量和所处的边界条件有关。若在倾斜边界条件下,则会形成卧置的椭圆锥体,如图 4-1-13。 o 为药包中心, ML 表示介质的临空面。 oN 为药包中心至临空面的最短距离,称为最小抵抗线,用 W 表示。药包爆炸时,爆破作用首先沿着 oN 方向阻力最小的地方,使岩(土)产生破坏,隆起鼓包或抛掷出去,这就是作为爆破理论基础的“最小抵抗线原理”。

可以认为 Mf 两点是以 R_{τ} 为半径的球面与临空面的交点, mo 漏斗内的岩石会被破碎成块,并部分抛掷出去,所以称 mo 为抛掷漏斗。在抛掷漏斗之外,还有一个随地面

的临空面上,爆能才能充分发挥出来。而在其他几个临空面上,爆能的作用则显著降低,有的则以冲击波传布的形式,被无限介质所吸收。

以上各边界条件下药包的爆破作用,是药包在无限介质内的球形爆炸作用,通过最小抵抗线原理在有限介质中的体现。

二、炸药及起爆方法

(一)炸药的性质

炸药是一种化学性质不稳定的物质,在外力的作用下(如冲击、摩擦等),易发生爆炸。爆速高达每秒几千米,爆温高达 $1500 \sim 4500^{\circ}\text{C}$,爆炸所产生的气体比原体积大一万倍以上,爆压超过十万个大气压,因而具有极大的破坏力。

炸药的性质取决于它所含的化学元素。其一般的使用特性如下:

1. 氧平衡。炸药的成分中大都含有氧(O)、碳(C)、氢(H)、氮(N)等四种元素。如果炸药爆炸后,其中氧恰好能够使碳、氢完全氧化生成水蒸汽和二氧化碳,无剩余的氧,则称为零氧平衡;如果氧有多或不足,则分别称为正氧平衡或负氧平衡。零氧平衡的炸药,爆破效果和安全性都较好些;否则,爆破效果将降低,同时产生剧毒的一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)和一氧化碳(CO)等气体。因此在配制炸药时,应接近零氧平衡,或具有不大的正氧平衡。例如,自制的铵油炸药在爆炸时有棕红色气体产生,就说明有多余的氧,产生了一氧化氮或二氧化氮气体,应当再加些可燃物,使其达到零氧平衡。

2. 炸药的敏感性。炸药对外界能量的作用有一定的敏感性。特别敏感的炸药,使用时非常危险,而敏感度过低的炸药,在实际使用中又很不方便。

3. 炸药的湿度。炸药内所含水分与炸药重量之比的百分数,称为炸药的湿度。对含有硝酸铵的炸药影响较大。湿度大,爆速低,过大甚至不爆炸(一般称为拒爆)。

4. 爆力。爆力是指炸药破坏一定量介质(岩体)的能力。用一定量炸药放在铅柱孔槽内,以爆炸后体积增大的程度来表示。标准炸药的爆力为300ml。

5. 猛度。猛度是指炸药在裸置情况下爆炸的威力。用一定量炸药放在直径为40mm的铅柱上,以爆炸后压缩铅柱的长度来表示。猛力大对介质的粉碎性就强。标准炸药的猛度为11mm。

(二)炸药种类

炸药的种类繁多,爆破工程中常用的可分下列两类:

1. 起爆炸药

起爆炸药是一种爆炸速度极高的烈性炸药,爆速可达 $2000 \sim 8000\text{m/s}$,用以制造雷

管。起爆炸药又可分为正起炸药和副起炸药。正起炸药对热能和机械冲击能均具有强烈的敏感性,如雷汞、叠氮铅、黑索金、泰安等;副起炸药须由正起炸药起爆,其爆速甚高,可加强雷管的起爆能量,如三硝基甲硝胺、四硝化戊四醇等。

2. 主要炸药

用以对岩石或其他介质进行爆炸的炸药称为主要炸药,它的敏感性较低,要在起爆炸药强力的冲击下才能爆炸。它可分为缓性炸药(爆速为 $1000 \sim 3500\text{m/s}$,如硝铵炸药、铵油炸药等)、粉碎性炸药(爆速为 $3500 \sim 7000\text{m/s}$,如梯恩梯、胶质炸药等)等。道路工程中常用的主要炸药的成分和性能如下:

(1)黑色炸药。它是由硝酸钾(或硝酸钠)、硫磺及木炭所组成的混合物,其配合比以 $75:10:15$ 为最佳。好的黑色炸药为深灰色的颗粒,不沾污手。对火星和碰击极敏感,易燃烧爆炸,怕潮湿,威力低,适用于开采石料。

(2)梯恩梯(三硝基甲苯)。它呈结晶粉末状,淡黄色,压制后呈黄色,熔铸块呈褐色,不吸湿,爆炸威力大。但本身含氧不足,爆炸时产生有毒的一氧化碳(CO)气体,不宜用于地下作业。

(3)胶质炸药。它是由硝化甘油和硝酸铵(有时用硝酸钾或硝酸钠)的混合物,另加入一些木屑和稳定剂制成的。可分为耐冻、非耐冻两种。工业上常用的是硝化甘油及二硝化乙二醇含量各为 62% 和 35% 的耐冻胶质炸药。它对冲击、摩擦和火星都很敏感,如果湿度较高或储存时间过久,容易分解、渗油和挥发。此时对外界的作用更敏感,受冻后尤其危险,它是一种危险性较高的炸药。但胶质炸药威力大,不吸湿,有较大密度和可塑性,适合于水下和坚石中使用。

(4)硝铵炸药。它是硝酸铵、梯恩梯和少量木粉的混合物。道路工程中常用的2号岩石硝铵炸药其配合比例为 $85:11:4$,具有中等威力和一定的敏感性,在8号雷管作用下可以充分起爆,是安全的炸药。但是它有吸湿性与结块性,受潮后敏感性和威力显著降低,同时产生毒气。规程中规定,用于地下爆破时其含水率应小于 0.5% ,露天应小于 1.5% ,若含水率超过 3% ,则可能拒爆。

(5)铵油炸药。它是硝酸铵(NH_4NO_3)和柴油(或加木粉)的混合物,通常两者的比例为 $94.5:5.5$,当加木粉时,其比例为 $92:4:4$ 。这是一种廉价、安全、制造简单、威力比硝铵炸药略低、敏感性低的炸药。它具有结块性和吸湿性,使用时不能直接以8号雷管起爆,须同时用 10% 的硝铵炸药作起爆体,才能使其充分起爆。工地就地拌制的铵油炸药,每千克约 $0.3 \sim 0.5$ 元左右,目前在爆破中应用较多。

(6)浆状炸药。它是以硝酸铵、梯恩梯(或铝、镁粉)和水为主混合而成的一种浆糊状炸药,它的威力大,抗水性强,适用于深孔爆破,但需烈性炸药起爆。

(7)乳化油炸药。它是以硝酸铵、硝酸钠、高氯酸钠等水溶液,石蜡、柴油和失水山梨醇单油酸脂的乳化剂,以及含有微小气泡的物质如空心玻璃微球或膨胀珍珠岩等,混合而成的一种乳胶状抗水炸药,具有中等威力,8号雷管可直接起爆。

(三)起爆材料及其起爆方法

1. 雷管及电力起爆方法

雷管是常用的起爆材料。按照引爆方式分为火雷管和电雷管两种。电雷管又分为即发、延期及毫秒雷管。雷管外壳有纸、铜、铁等几种。工业上依雷管内起爆药量多少,分成10种号码,通常使用6号和8号两种。6号雷管相当于1g雷汞的装药量,8号相当于2g雷汞的装药量。

(1)雷管的构造。雷管由雷管壳、正副装药、加强帽三部分组成,如4-1-5所示。

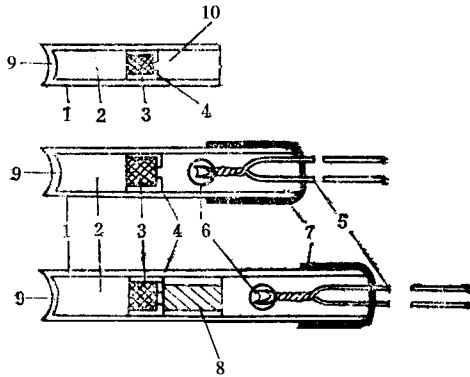


图 4-1-15 雷管的构造

- 1—雷管壳 2—副装药 3—正装药 4—加强帽
5—电气点火装置 6—滴状引燃剂 7—密封胶
和防潮涂料 8—延缓剂 9—窝槽(集能槽);10—帽孔

火雷管与电雷管的不同之处,是在管壳开口的一端,火雷管留出15mm左右的空隙端,以备导火索插入之用;而电雷管则有一个电气点火装置,并以防潮涂料密封端口。延期和毫秒电雷管的特殊点是在点火装置和正装药之间加了一段延缓剂。

电气点火装置的构造,是在脚线(纱包绝缘铜线)的端部焊接一段高电阻的金属丝(一般为康铜丝,也有铬镍合金或铂铱合金丝),称为电桥丝。电桥上滴上一滴引燃剂,通电时灼热的电桥就能点燃引燃剂,使电雷管的正副起爆药发火起爆。

(2)电雷管的主要指标。为了保证电雷管的准爆和操作安全,现将使用电雷管的有关参数介绍如下:

①电阻。一般使用的电雷管,电阻大致为 $0.55 \sim 1.50\Omega$ (2m长铜脚线、康铜桥丝)。按安全规定串联在一起的电雷管,电阻差彼此不能超过 0.25Ω 。

②最大安全电流和准爆电流。所谓最大安全电流,是指在通电 5min 左右而不引起爆炸的最大电流。康铜电桥丝的雷管最大安全电流为 0.3 ~ 0.4A,铬镍合金电桥丝的雷管为 0.15 ~ 0.2A。用来测定电雷管的仪器输出电流,不得超过 0.05A。

所谓最小准爆电流,是指在 2min 左右的时间内,通电而使雷管准爆的最小电流。康铜电桥丝的为 0.5 ~ 0.8A,铬镍合金电桥丝的为 0.4 ~ 0.5A。按照安全规定,成组串联电雷管的准爆电流,直流电为 2A,交流电为 2.5A。若能保证有 2.0 ~ 5.0A 的电流通过每个电雷管,则可充分保证准爆。

③电力起爆法。通过电爆网路实现起爆的方法,称为电力起爆法。电爆网路中,电爆管的联结型式有串联、并联和混合联三种。

2. 导火索及火花起爆法

导火索是点燃火雷管的配置材料,外形为圆形索线,索芯内有黑火药,中间有纱导线,芯外紧缠着一层纱包线或防潮剂。导火索的要求是燃烧完全,燃速恒定。根据使用的要求导火索的正常燃速为 100 ~ 120m/s,缓燃导火索燃速为 180 ~ 210m/s。

导火索在使用前必须进行外观检查,不得有表层破损、拆断、曲折、沾有油脂及涂料不均匀等情况,并应作燃速试验。

火花起爆法是利用导火线燃烧引爆雷管,从而使药包爆炸的一种起爆方法。

3. 传爆线及传爆线起爆法

传爆线又称导爆线,其索芯用高级烈性炸药制成,内有双层棉织物,一层为防潮层,一层为缠绕着的纱线。为与导火索区别,表面涂成红色或红黄相间等色。我国制造的传爆线是用黑索金或泰安为索芯的,爆速 6800 ~ 7200m/s。

传爆线着火较困难,使用时须在药室外的一段传爆线上捆扎一个 8 号雷管来起爆,传爆网路与药包的联结方式有并联、串联、并族联等。

由于传爆线的爆速快,故在大量爆破的药室中,使用传爆线起爆可以提高爆破效果。但必须严格遵守安全规定。

4. 塑料导爆管非电起爆方法

塑料导爆管由高压聚乙烯,制成内外径分别约为 1.4 和 3mm 的软管,内涂有以奥克托金(Homocyclonite)或黑索金为主的混合炸药,药量为 14 ~ 16mg/m。国产导爆管爆速为 1600 ~ 2000m/s。可用雷管、导爆索、火帽、引火头等能产生冲击波的器材激发。很安全,可作为非危险品运输。一个 8 号雷管可激发 30 ~ 50 根导爆管。起爆网路与药包的联结方式有并联、串联、簇联和复式联结法等。该起爆法具有抗杂电、操作简单、作用安全可靠、成本较低等优点,致使有逐渐替代导火索和导爆索起爆法的趋势。

三、药包量计算原理及其性质变化

(一)多边界条件下爆破作用的特性

多边界条件即地形变化条件。在爆破工程中,一般分为平坦地形(地面坡度角 $\alpha = 0 \sim 15^\circ$)、倾斜地形($\alpha > 15^\circ$)、凸形多面临空地形(山包地形)和凹形地形(垭口地形)四类。其中倾斜地形又分为缓坡地形($\alpha = 15 \sim 30^\circ$)、斜坡地形($\alpha = 30 \sim 50^\circ$)和陡坡地形($\alpha > 50^\circ$)。

1. 爆破漏斗的形成过程

根据大量生产性使用的研究和高速摄影的宏观观察得知,药包在多边界条件下的爆破作用特点,可以从倾斜边界条件爆破漏斗的形成过程中得到反映,如图 4-1-16。这一过程可分为五个阶段:

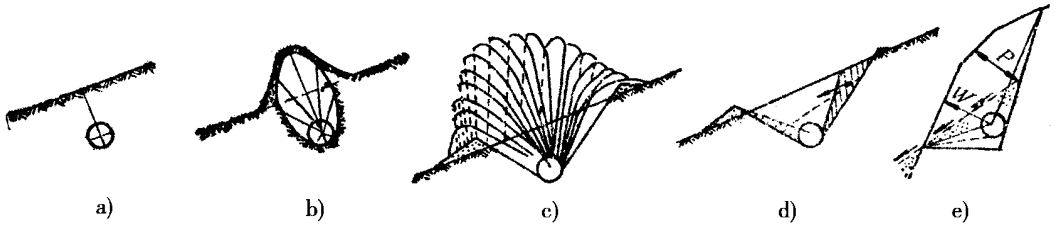


图 4-1-16 倾斜边界条件爆破漏斗形成过程示意图

a) 形成空腔阶段; b) 鼓包阶段; c) 岩土飞扬阶段; d) 崩塌阶段; e) 坍滑阶段(陡坡地形时)

第一阶段:从炸药爆炸瞬间起至压缩波到达临空面时止,介质的运动完全与药包在无限介质中爆炸的运动相似。临空面对药包周围介质运动没有影响,爆炸作用保持球面等量分布,形成空腔,如图 4-1-16a。大量爆能消耗在使药包周围介质产生粉碎或塑性变形,形成压缩圈。

第二阶段:爆炸能量主要消耗于使介质在垂直于临空面方向获得加速度。最后爆能的球形分布被破坏,临空面介质沿最小抵抗线方向逐渐隆起形成“鼓包”,如图 4-1-16b。鼓包壳的厚度,随鼓包上升而拉薄,以至从顶部破坏成碎块。爆炸产物剩余能量将逸散于大气中不做功。

第三阶段:抛掷漏斗内介质,在重力场作用下作弹道飞行如图 4-1-16c)。介质的抛掷距离,由破碎介质中所储藏的动、位能,发射角和空气阻力等因素所决定。

第四阶段:抛掷漏斗以上岩体,具有较大位能,在药包的爆震破坏下,因自重而崩塌下来,堕入抛掷漏斗,减小可见漏斗,形成崩塌漏斗,扩大了爆破量,如图(4-1-16d)。崩塌量由地面坡度、岩性和结构软弱面产状所决定。

第五阶段 :介质由整体经药包的破碎作用变为松散体 ,在其本身所含位能的作用下 ,为达到新的平衡而坍塌出路基 ,最后在漏斗内和坡脚堆积成稳定的岩堆。其坡角为岩石碎块的安息角 ,如图(4-1-16e)。坍塌量由介质所含位能、岩性和地形等所决定。

以上五个阶段 ,并非在任何条件下均可同时出现 ,也不能绝然分开。在倾斜地形条件下 ,当 $\alpha < 45^\circ$ 时 ,坍塌阶段将消失 ,在水平边界条件下 ,崩塌与坍塌两阶段都将消失 ,鼓包和抛掷方向均垂直向上 ,位能的作用趋于零 ;多面临空地 ,变化比较复杂 ,但最终还是由上述五个阶段组合而成。

多边界条件的爆破漏斗体积按下式计算 :

(1) 倾斜、水平和多面临空地 (V)

$$V = \frac{1}{2} n^2 W^3 (\sqrt{A\alpha} + B) \quad (4-1-3)$$

(2) 凹形垭口地形 (V_y)

$$V_y = n W^3 \cos\alpha (\sqrt{A(\alpha_{\perp} n^2 + \sin^2\alpha) - \sin\alpha}) m^3 \quad (4-1-4)$$

式中 A——崩塌系数 ,与岩性有关 ,一般为 0.05 ~ 0.12 ;

B——边界条件系数 ,倾斜地形为 1 ,多面临空地 $B = \frac{2r'}{nW} + 1$ (4-1-5)

r' ——最小抵抗线出口点至山脊的距离 ,m ;

α_{\perp} ——崩塌漏斗附近的地面坡角 ($^\circ$) ;

$$A \cdot \alpha_{\perp} \geq 1$$

其余符号同前。

根据式(4-1-3)(4-1-4)计算 ,倾斜地形爆破漏斗体积比平坦地形大 1 ~ 1.84 倍 ;多面临空地比平坦地形大 1.8 ~ 2.8 倍 ;凹形地形当地面横坡较陡时 ,爆破漏斗体积可能反而比平坦地形爆破漏斗体积小。

2. 药包在多边界条件下的主要作用

(1) 上抛作用。药包爆炸的一个作用是把介质向上升起 ,然后再向四周抛掷出去形成爆破漏斗。抛掷效果取决于所产生的动能 ,用药量愈大 ,抛得愈高 ,则所获得的抛掷量就愈大 ,爆破效果就稳定。若药包埋置较深或抛掷率 $E < 50 \sim 55\%$,被抛起的介质有可能大部分将重新落入爆破漏斗 ,使实际的可见漏斗体积减小 ,甚至与松动爆破的漏斗相似。所以 ,在水平边界条件下 ,抛掷率与药包量大小成正比 ,即 $E_0 \propto Q$ 。上抛作用 ,是平坦地形和凹形地形确定可见漏斗体积的依据。爆破漏斗的主要尺寸(图 4-1-14)一般是 :

$$\text{堆积高度 :} \quad h = (0.32 \sim 0.36) W \quad \text{m} \quad (4-1-6)$$

$$\text{堆积距离 :} \quad L = (0.1E + 1.5) W \quad \text{m} \quad (4-1-7)$$

爆破漏斗体积 V_0 因边界条件为水平, $B = 1$, $\alpha_{\pm} = 0$, $Aa_{\pm} = 1$, 代入式(4-1-3), 得到 $V_0 = n_0^2 W_3$, 当 $n_0 = 1$ 时, 则 $V_0 \approx W^3$ 。

(2) 崩塌作用。在非水平地形条件下, 崩塌漏斗内的岩体由于爆能的作用被破坏, 在本身自重作用下发生崩塌, 明显地扩大了爆破范围, 急剧地增加了爆破量。其体积由下式计算

$$V_{\text{崩}} = \frac{1}{2} n^2 W^3 (\sqrt{A\alpha_{\pm}} - 1) \quad \text{m}^3 \quad (4-1-8)$$

崩塌作用大大降低了单位耗药量。但因崩塌漏斗内大部分岩体抛不出去, 故相应地降低了抛掷率。在缓坡地形最少要降低 30 ~ 40%, 在斜坡和陡坡地形这种不利作用, 将在一定程度上为侧抛作用所克服。但必须指出, 即使在斜坡地形条件下, 由于崩塌作用, 路堑内的岩体亦不能全部抛出路基。

(3) 坍滑作用。岩体因爆能的作用破坏成松散岩块所释放出来的位能, 使岩块向路基外爆破安息角、松散系数等有关。

① 爆破安息角 θ 。在斜坡以上地形, 无论是采用抛掷药包或松动药包, 当药量相差数倍甚至十倍时, 爆后路基面上均残留有三角形的岩堆。其坡角 θ 变化在 23 ~ 40° 之间, 略小于自然安息角, 故称为爆破安息角。它可近似用下式表示

$$\theta = 17 + \frac{\alpha}{4} \quad (^\circ) \quad (4-1-9)$$

若松散岩块的边坡角大于爆破安息角, 则岩块将因自重而坍出路基。

② 坍滑作用力的分析。为了不伤及路基(图 4-1-17), 药包必须提高, 使下破坏作用半径与路基交于有效路基宽度之外。如图(4-1-17a), 设其夹角为 φ 。因为 $R_{\text{T}} = 1.41 W$, 即 $AC = W$, 故 $\angle CAO = 45^\circ = \text{常数}$, α 角为地面坡度角, 则

$$\psi = \alpha - 45^\circ \quad (4-1-9)$$

如图(4-1-17b), 当 ψ 角足够大时, 崩塌或松动的岩石, 将沿 OA 斜面滑坍出路基。

$$H = G \sin \psi$$

$$F = fN = f \cdot G \cos \psi$$

式中 f ——岩石的摩阻系数, $f = \text{tg} \theta$;

θ ——动或静安息角, 一般 $\theta_{\text{动}} = 21^\circ$, $\theta_{\text{静}} = 32^\circ$;

G ——岩块 M 的重量。

若使 M 岩块向下滑动(或滚动), 必须符合下列条件

$$G \sin \psi - f \cdot G \cos \psi > 0 \quad (4-1-11)$$

$$\therefore \text{tg} \psi > f = \text{tg} \theta$$

$$\text{或} \quad \psi > \theta$$

令 $\psi = \theta$,则由式(4-1-10)可得
 $\alpha = \theta + 45^\circ$
 当 $\theta = 21^\circ$ 时 $\alpha = 66^\circ$;
 当 $\theta = 32^\circ$ 时 $\alpha = 77^\circ$.

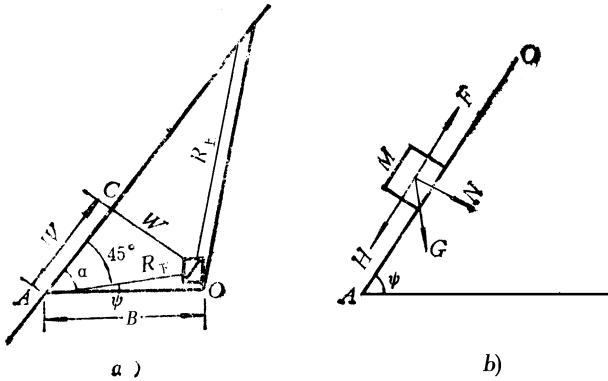


图 4-1-17 横断面药包布置示意图

由此可知,若考虑动摩擦角,当 $\alpha > 66^\circ$ 时,岩块即可沿斜面 AO 坍塌,当 $\alpha > 77^\circ$ 后,一般静止的岩块亦因自重而发生坍塌。这证明,在陡坡地形,岩体一经松动,便会因自重而坍塌出路基。

③ 坍塌作用与抛坍率的关系

药包仅起破碎岩石的作用时,根据破碎岩块的安息角,岩石的松散系数和自然地面坡度的关系(图 4-1-18),可推导出坍塌率的计算公式

$$E_{\text{出}} = 1 - \frac{1}{\xi} \left[\frac{\frac{\operatorname{tg}\theta}{1 - \operatorname{ctg}\psi \cdot \operatorname{tg}\theta} - \frac{\operatorname{tg}\psi}{1 - \operatorname{ctg}\psi \cdot \operatorname{tg}\psi}}{\frac{\operatorname{tg}\alpha}{1 - \operatorname{ctg}\psi \cdot \operatorname{tg}\alpha} - \frac{\operatorname{tg}\psi}{1 - \operatorname{ctg}\psi \cdot \operatorname{tg}\psi}} \right] \quad (4-1-12)$$

式中 $E_{\text{出}}$ ——药包仅起破碎作用时,岩石的坍塌率,以百分率表示;

ξ ——岩石的松散系数,一般采用 1.3;

θ ——岩石的爆破安息角($^\circ$);

φ ——设计的路堑边坡线与水平面所成的角度,一般为 $53 \sim 90^\circ$ 。根据斜坡地形药包布置的基本原则,当 $\alpha \leq 45^\circ$ 时,药包一般可靠近路基顶面布设。因此,可近似地认为 ψ 为零,这样,式(4-1-12)即变成以下形式

$$E_{\text{出}} = 1 - \frac{1}{\xi} \left[\frac{\frac{\operatorname{tg}\theta}{1 - \operatorname{ctg}\psi \cdot \operatorname{tg}\theta}}{\frac{\operatorname{tg}\alpha}{1 - \operatorname{ctg}\psi \cdot \operatorname{tg}\alpha}} \right] \quad (4-1-13)$$

设 $\psi = 90^\circ$ $\xi = 1.3$ 和 1.5 , $\theta = 35^\circ$ 和 40° 根据式 (4-1-12) 计算 , 所得结果如图 4-1-19 所示。

由图 4-1-19 看出 , 在药包仅起炸碎岩石的作用时 , 坍出率将随自然地面坡度的变陡而剧增 , 例如曲线“1” , 当 $\alpha = 40^\circ$ 时其坍出率为 32% , 当 $\alpha = 50^\circ$ 时 , 其坍出率竟高达 59.4% , 相当于斜坡地形率用抛掷爆破的最佳抛掷率。

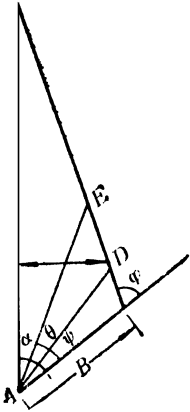


图 4-1-18 岩石的安息角与
自然地面坡度示意图

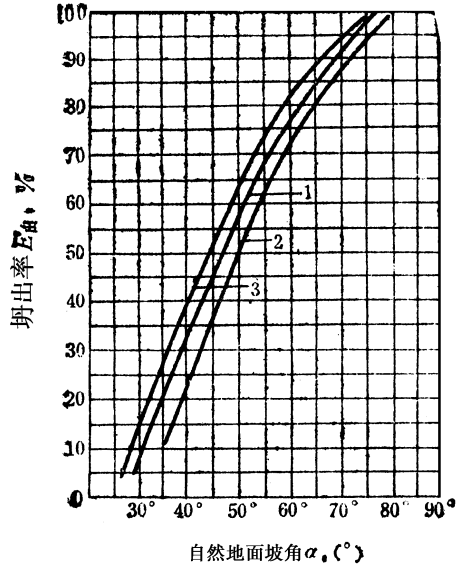


图 4-1-19 药包仅起破碎作用时坍出率
与自然地面坡度的关系曲线

1—为 $\theta = 35^\circ$ $\xi = 1.3$;

2—为 $\theta = 40^\circ$ $\xi = 1.3$;

3—为 $\theta = 35^\circ$ $\xi = 1.5$

这一结果表明 , 在斜坡地形条件下 , 无需采用抛掷爆破。因为 , 岩体本身所含的位能已经代替将岩块抛出路基所需的爆能。

(4) 侧抛作用。由图 4-1-16 可以看出 ; “鼓包”沿最小抵抗线倾斜上升 , 岩体具有一定的位能和有利的抛射角 , 使侧向抛起的岩块不易再落回爆破漏斗。因此只需较小的抛起高度和抛距 , 即可获得较高的抛掷率。这种动位能的共同作用 , 称为“侧抛作用”。在此情况下 , 如药包量不变 , 爆破效果与自然地面坡度成正比 , 即 $Q = \text{常数}$, $E \propto \alpha$ 。侧抛作用的大小 , 可近似地用标准抛掷爆破时 , 抛掷率的增量 ΔE 表示。

$$\Delta E = -77.521g f(\alpha)\%$$

(二) 多边界条件药量计算公式

1. 基本原理与假定

- (1) 能量守恒原理 在倾斜边界条件下, 抛坍一定量同类介质所需的机械能是常数;
- (2) 介质本身潜在位能的作用, 相当于炸药有效爆能的提高。

2. 多边界药量计算公式

根据上述原理可得多边界药量计算公式

$$Q = e \cdot d \cdot K \cdot W^3 \cdot \varphi(E) \cdot f(\alpha) = e \cdot d \cdot K \cdot W^3 F(E, \alpha) \quad \text{kg} \quad (4-1-14)$$

式中 e ——炸药换算系数;

d ——堵塞系数, 与施工条件有关, 一般 $d = 1$;

K ——形成标准抛掷漏斗时, 每方的耗药量 kg/m^3 ;

W ——最小抵抗线, m ;

$F(E, \alpha)$ ——药包性质指数, 经验值: $F(E, \alpha) = \varphi(E) \cdot f(\alpha)$

理论值, $F_{\varphi}(E, \alpha) = \varphi(E) \cdot \varphi(\alpha, E)$,

其中: $\varphi(\alpha, E) = \frac{1}{(\sqrt{0.05\alpha} + 1)(0.5 - \frac{38.76}{E} \lg f(\alpha))}$;

α ——自然地面坡度 ($^{\circ}$);

E ——抛物率 (或抛坍率), %;

$\varphi(E)$ ——抛掷率的函数, 一般按下式计算, 在抛坍爆破中 $\varphi(E) = 1$;

$$\varphi(E) = 0.45 \times 10^{0.0129E} \quad (4-1-15)$$

$f(\alpha)$ ——抛坍系数, 随自然地面坡度按以下规律变化:

(1) 在抛掷爆破中

当 $\alpha = 0 \sim 30^{\circ}$ 时 $f(\alpha) = 1 - \frac{\alpha^2}{7000}$ 或 $\cos \alpha$; (4-1-16)

当 $\alpha = 31^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 时 $f(\alpha) = \frac{26}{\alpha}$ (4-1-17)

(2) 在抛坍爆破中

$$f(\alpha) = \frac{A}{\alpha} + B \quad (4-1-18)$$

其中: A 和 B ——系数, 可自表 4-1-7 查得。

表 4-1-7 抛坍系数内 A、B 系数

| A 和 B | A | B |
|---------------|----|-------|
| 使用条件 | | |
| 一般情况 | 26 | 0 |
| R_T 微向上或低坡脚 | 21 | +0.30 |

为方便起见,药包性质指数 $F(E, \alpha)$ 值,可由图 4-1-20 中查出。

必须指出,目前我国和苏联广泛采用的包列斯柯夫公式: $Q = KW^3(0.4 + 0.6n^3)$ 是多边界药量计算公式在 $\alpha = 0^\circ$ 时的特例。

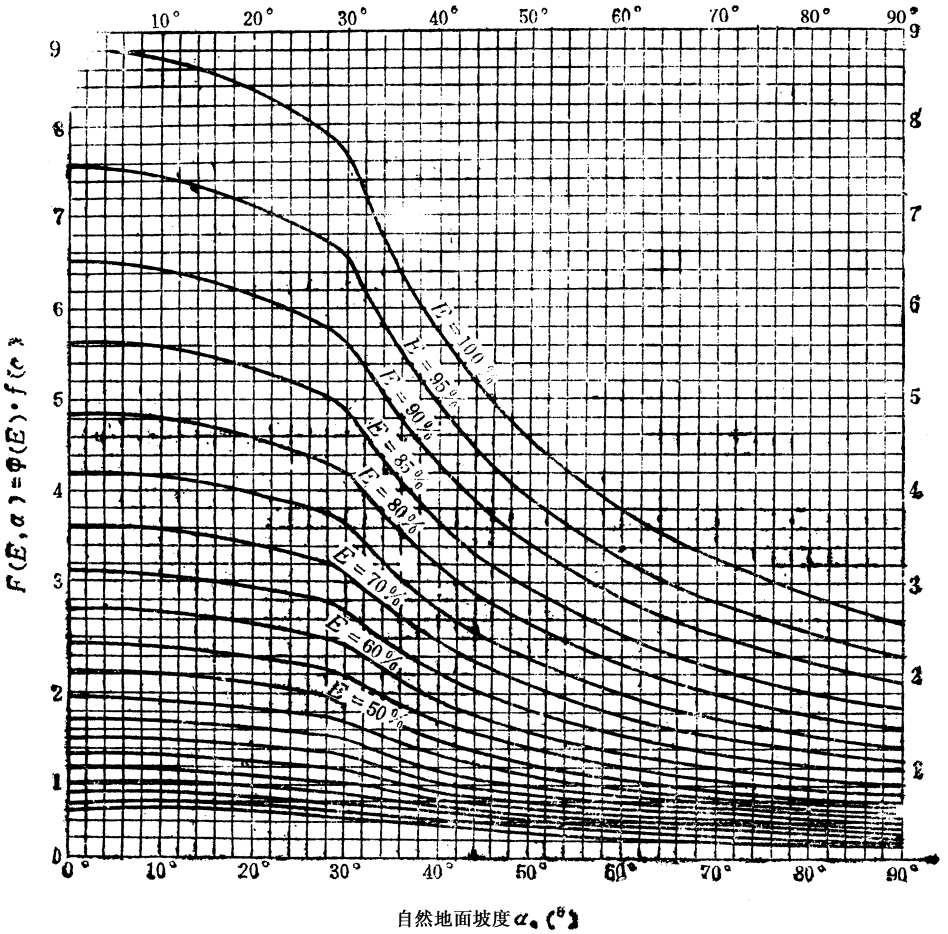


图 4-1-20 药包性质指数 $F(E, \alpha)$ 与 α 的关系曲线

(三) 标准抛掷药包、松散药包和药包性质的变化

1. 标准抛掷药包

根据公式 4-1-4, 当 $\alpha = 0$, $E = 27\%$ 时, 则 $f(\alpha) = 1$, $\phi(E) = 1$, 即 $F(E, \alpha) = 1$, 由此可得:

$$Q = KW^3 \text{ (或 } Q = KV_0) \quad \text{kg} \quad (4-1-19)$$

此式即为标准抛掷药包的计算公式。用标准抛掷药包在介质内爆破, 即形成标准抛掷漏斗。它具有以下特征: 在水平边界条件下, 其抛掷率为 27% 相应的爆破作用指数 $n = r_0 / W = 1$, 漏斗的顶部夹角为直角。

若 $E < 27\%$, $n < 1$,则称为减弱抛掷药包 ;相反 , $E > 27\%$, $n > 1$,则称为加强抛掷药包。标准抛掷药包只作为药量的对比标准 ,在工程上并没有什么实际的作用。

2. 松动药包

根据药包分类的意义 ,松动药包的抛掷率 $E = 0\%$,在水平边界条件下 $\alpha = 0^\circ$,按此条件 ,式(4-1-14)变为

$$Q = 0.45 KW^3 \quad \text{kg} \quad (4-1-20)$$

此式就是在水平地形或拉槽路堑中所用的松动药包计算公式。

在陡坡地形或阶梯地形 ,因有崩塌作用 ,故可采用以下标准松动药包公式

$$Q = 0.33 KW^3 \quad \text{kg} \quad (4-1-21)$$

3. 药包性质的变化

为了与目前国内外其它爆破经验比较 ,根据药包性质指数的变化 ,现列出在水平边界条件下药包性质变化的规律如表 4-1-8。

表 4-1-8 药包性质变化表

| 药包性质指数 $F(E, \alpha)$ | 抛掷率 (E) ,% | 爆破作用指数 (n) | 药包性质 |
|-----------------------|--------------|--------------|--------|
| 0 ~ 0.187(0.125)① | 0 | 0 | 内部作用 |
| 0.187 ~ 0.33 | 0 | < 1(0)② | 减弱松动 |
| 0.33 | 0 | 1(0) | 标准松动 |
| 0.45 | 0 | 1 | 一般松动 |
| 0.45 ~ 0.7 | 0 ~ 10 | 1(0 ~ 0.8) | 加强松动 |
| 0.7 ~ 1.0 | 10 ~ 27 | 1(0.8 ~ 1) | 减弱抛掷 |
| 1.0 | 27 | 1 | 标准抛掷 |
| 1 ~ 2 | 27 ~ 50 | 1 ~ 1.42 | 加强抛掷 |
| 2 ~ 9 | 50 ~ 100 | 1.42 ~ 2.35 | 稳定加强抛掷 |

注 ①括号内为烈性炸药的药包性质指数 ;

②根据包烈斯柯夫公式反算出的“ n ”值 ,实际上并不存在。

(四) 延长药包与分集药包的计算

1. 延长药包的计算

(1)与临空面平行的延长药包(图 4-1-21)按以下公式计算

$$Q = KlW^2 F(E, \alpha) \quad (4-1-22)$$

式中 l ——延长药包的长度。

2. 与临空面垂直的延长药包(图 4-1-22)按下式计算

$$Q = K \left(\frac{5}{6} \right)^3 l^3 F(E, \alpha) \quad (4-1-23)$$

式中 l ——炮眼深度, m;
其余符号同前。

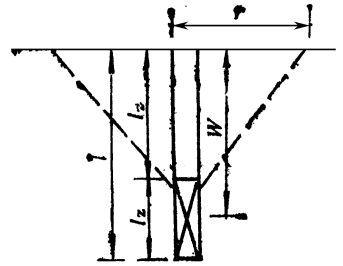
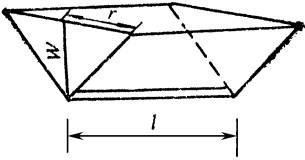


图 4-1-21 与临空面平行的延长药包 图 4-1-22 与临空面垂直的延长药包

在生产中一般不按式(4-1-23)计算,而是用装药长度 l_z 与炮眼深度之间的比值控制,即

$$l_z = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3} \right) l \quad (4-1-24)$$

多临空面和阶梯地形,采用下限;临空面少,夹制力大;采用上限,但最小不得少于 1/5。

(3) 每米长延长(条形)药包按下式计算

$$Q_{\text{条}} = 1.05 \cdot K \cdot W^2 \cdot F(E, \alpha)^{2/3}$$

式中 $Q_{\text{条}} = \frac{Q}{\alpha}$; $Q_{\text{条}} = b \cdot W q_{\text{平}}$ kg/m (4-1-25)

2. 平面药包的药量计算

$$q_{\text{平}} = 1.11 \cdot K \cdot F(E, \alpha)^{1/3} \quad (4-1-26a)$$

或 $q_{\text{平}} = \frac{Q_{\text{条}}}{b \cdot W}$; $q_{\text{平}} = \frac{Q}{a \cdot b \cdot W}$ kg/m³ (4-1-26b)

3. 分集药包的计算

分集药包的药量仍按集中药包的公式计算。当两个子药包的最小抵抗线不等时,取应布置集中药包处的最小抵抗线,按以下联立方程式解出,然后按地形、地质情况作适当调整。

$$\left. \begin{aligned} Q_1 : Q_2 &= W_1^3 \cdot f(\alpha_1) : W_2^3 \cdot f(\alpha_2) \\ Q_1 + Q_2 &= Q \end{aligned} \right\} \quad (4-1-27)$$

式中 Q_1 、 Q_2 , W_1 、 W_2 , α_1 、 α_2 ——分别为两个子药包的药量、最小抵抗线和地面坡

度。

Q ——按集中药包计算出的药量, kg 。

当 $W_1 = W_2$ 时, $Q_1 = Q_2 = \frac{1}{2} Q$ 。

四、设计参数选择及有关数据计算

(一) 单位耗药量 K 值

单位耗药量 K 是在水平边界条件下, 形成标准抛掷漏斗时爆破单位体积介质所需要的炸药用量。它是衡量岩石爆破性能的综合指标。影响单位耗药量的因素很多, 在爆破时, 一般按以下几种方法综合分析选取 K 值。

1. 根据岩石等级, 由表 4-1-9 查出。

除查表外, 亦可根据岩石等级用下式计算各级岩石的平均 K 值。

$$K = 0.1N + b \quad (4-1-28)$$

式中 N ——岩石等级(按 16 级分级法);

b ——系数。当 $N \leq 7$ 级时, $b = 0.7$; 当 $N > 7$ 级时, $b = 0.6$ 。

2. 根据岩石密度(ρ), 由下式计算

$$K = 1.3 + 0.7 \left(\frac{\rho}{1000} - 2 \right)^2 \quad (4-1-29)$$

当最小抵抗线穿过不同岩层时, 可用加权平均的方法计算, 或以占大于 30% 的最小抵抗线的岩性的 K 值, 作为整个药包 K 的值。当所遇岩体节理发育或风化严重时, 可酌情降低岩石等级 1~2 级选用 K 值。

3. 对于松动药包的单位耗药量 K' , 一般可近似取 $K/3$, 并可按下列公式计算:

(1) 在露天钻孔爆破中, 当破碎岩块的平均尺寸为 0.3~0.4m 时

$$K' = 0.8 - 0.018 \left(\frac{\rho \cdot C}{10^5} - 20 \right)^2 \quad (4-1-30)$$

(2) 在地下开采爆破中, 当破碎岩块的平均尺寸为 0.15~0.2m 时

$$K' = 1.05 - 0.002 \left(\frac{\rho \cdot C}{10^5} - 20 \right)^2 \quad (4-1-31)$$

式中 K' ——松动药包单位耗药量, kg/m^3 ;

ρ ——岩石的密度, kg/m^3 ;

C ——岩体的当地声波传播速度, m/s ;

$\rho \cdot C$ ——波阻抗。

表 4-1-9 单位耗药量 K 值表

| 岩石名称 | 岩石等级 N | 坚实系数 f | 岩石密度 γ (kg/m ³) | 标准抛掷单位耗药量 K (kg/m ³) |
|------------|----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|
| 砂 | I | 0.5~0.6 | 1500 | 1.8~2.0 |
| 密实的或潮湿的砂 | — | 0.6~0.8 | 1600* | 1.4~1.5 |
| 重亚粘土、砂质粘土 | III | 0.8~1.0 | 1750 1600(I) | 1.2~1.35 |
| 坚实粘土 | IV | 1.0~1.5 | 2000 | 1.2~1.5 |
| 黄土 | IV~V | 1.0~2.0 | 1800 1600(II) | 1.1~1.5 |
| 白垩土 | V | 1.5~2.0 | 1550 2600(VI) | 0.9~1.1 |
| 石膏(硬石膏) | V~IV | 2.0~4.0 | 2200 2900(VII) | 1.2~1.5 |
| 蛋白石(硅藻土) | V~IV | 2.0~4.0 | 2200 | 1.2~1.5 |
| 泥灰岩 | V~IV | 2.0~4.0 | 1900 2300 | 1.2~1.5 |
| 裂纹喷出岩(凝灰岩) | VI | 2.0~4.0 | 1100 | 1.5~1.8 |
| 重质浮石 | VI | 2.0~4.0 | 1100 | 1.5~1.8 |
| 贝壳—石灰岩 | VI~VII | 4.0~6.0 | 1200 | 1.8~2.1 |
| 钙质砾岩 | VI~VII | 4.0~6.0 | 2200~2800 | 1.35~1.65 |
| 砾岩 | VI~VII | 4.0~6.0 | 2500 | 1.35~1.65 |
| 粘土质砂岩 | VI~VIII | 6.0~8.0 | 2200 | 1.35~1.65 |
| 泥质页岩、石灰岩 | VI~VIII | 6.0~8.0 | 2300 | 1.35~1.65 |
| 泥灰岩 | VII~VIII | 6.0~8.0 | 2500 | 1.35~1.65 |
| 白云岩 | VIII~X | 8.0~12.0 | 2700 2900(XI) | 1.5~1.95 |
| 石灰岩 | VIII~X | 8.0~12.1 | 2700 | 1.5~1.95 |
| 镁质岩 | VIII~X | 8.0~12.0 | 3000 | 1.5~1.95 |
| 钙质砂岩 | VIII~X | 8.0~12.0 | 2600 | 1.5~1.95 |
| 石灰岩 | VIII~XII | 8.0~16.0 | 2900 3100 | 1.5~2.4 |
| 砂岩 | VIII~XII | 8.0~16.0 | 2700 | 1.5~2.4 |
| 花岗岩 | IX~XII | 10.0~15.0 | 2800 3100 3300 | 1.8~2.55 |
| 玄武岩 | XII~VI | 14.0~20.0 | 2700 3100 3300 | 2.1~2.7 |
| 安山岩 | XII~VI | 14.0~20.0 | 2700 3100 | 2.1~2.7 |
| 石英岩 | XIV | 18.0~20.0 | 2800 3300 | 1.8~2.1 |
| 斑岩 | XIV~XV | 18.0~25.0 | 2800 2700 3300 | 2.1~2.55 |

注 ①* * 根据试验得出。

②括号内的罗马字母代表相应容重的岩石等级。

(二)炸药换算系数 e 值

以标准炸药为准,令其换算系数 $e = 1$ 。标准炸药的爆力为 300ml 猛度为 11mm。若所用炸药不是标准炸药,则按下式换算

$$e = \frac{300}{\text{所用炸药的爆力}} \text{ 或 } e = \frac{11}{\text{炸药实际的猛度}} \quad (4-1-32)$$

在换算中,也有采用爆力与猛度同时考虑取其平均值者。大爆破应以爆力为准。一般可按表 4-1-10 选用。

表 4-1-10 炸药换算系数 e 值表

| 炸药名称 | 型号 | 换算系数 | 炸药名称 | 型号 | 换算系数 |
|------|----|------|----------|----|-----------|
| 露天铵梯 | 1 | 1.00 | 3号铵油炸药 | — | 1.05~1.10 |
| 岩石铵梯 | 2 | 0.94 | 62%胶质炸药 | 耐冻 | 0.78 |
| 岩石铵梯 | 1 | 0.85 | 35%胶质炸药 | 耐冻 | 0.93 |
| 硝酸铵 | — | 1.35 | 梯恩梯(TNT) | — | 0.95~1.0 |
| 黑火药 | — | 1.5 | 苦味酸 | — | 0.90 |

(三)堵塞系数 d

从导洞至药室的转弯长度小于 1.5m 或堵塞长度小于 1.2W 时, d 在 1~1.4 范围内选用,一般 $d = 1$ 。

(四)自然地面坡度 α

地面坡度角是指最小抵抗线与下破坏作用半径间的地面坡度,最取方法如下:

1. 最小抵抗线和下破坏作用半径间地面顺直时,直接量取自然地面坡度。
2. 最小抵抗线和下破坏作用半径之间的地面成凸形时(图 4-1-23),可取 \overline{AB} (图中虚线)与水平面的夹角。其中 A 与 B 分别为地面线与最小抵抗线及下破坏作用半径的交点。

3. 阶梯形地面或地面向内凹时(图 4-1-24)地面坡度按下式计算

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + 2\alpha_2}{3} \quad (4-1-33)$$

式中 α ——设计的自然地面坡度,°;

α_1 ——缓和段的地面坡角,°;

α_2 ——陡坡段的地面坡角,°。

采用猫洞炮与药壶炮时,可取主坡角 α_2 。

(五) 抛掷率 E

抛掷率或抛坍率, 不但在爆破设计时的主要参数, 同时也是检验爆破效果的主要指标。应根据地形地质条件, 结合工程单位的要求来确定。

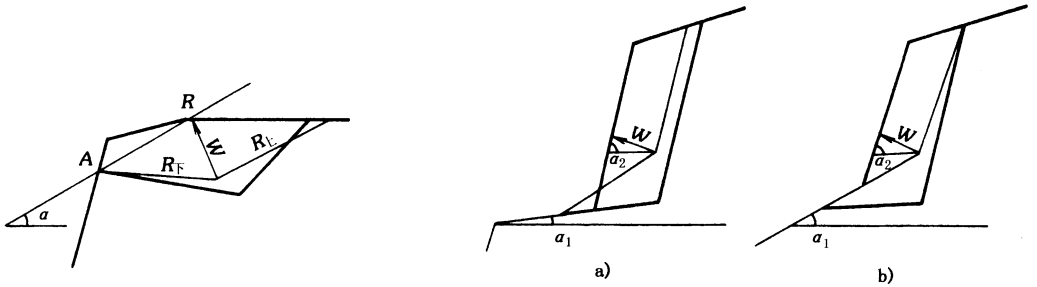


图 4-1-23 凸形地面时 α 值的量取 图 4-1-24 地形变化较大时 α 值的量取
a) 阶梯地形 b) 地面向内凹地形

1. 在平坦地形, 根据实际抛掷每立方米土石所用药量最小的经验, 土的最佳抛掷率 $E = 80\% \sim 95\%$, 岩石的最佳抛掷率 $E = 70\% \sim 85\%$ 。

2. 在斜坡地形和多面临空地, 最佳抛掷率一般 $E = 65\% \sim 75\%$ 。

3. 将式(4-1-15)代入(4-1-14), 且令系数 $e = 1$ 、 $d = 1$ 移项化简即得

$$E = 27 + 77.52 \lg \frac{f(E, \alpha)}{f(\alpha)} \% \quad (4-1-34)$$

4. 斜坡地形的半路堑, 由于坍塌作用, 抛坍率的多少与药包性质关系不大。按抛坍爆破经验, 最佳抛坍率可按下式计算

$$E_{\text{坍}} = 0.014(\alpha - 30)^2 + 48 \% \quad (4-1-35)$$

(六) 爆破作用指数 n 值

爆破作用指数 n 值, 是决定破坏范围大小及抛掷距离远近的主要参数, 可根据抛掷率 E 与地面坡角 α 按下式计算

$$n = \left(\frac{E}{55} + 0.51 \right) \sqrt[3]{f(\alpha)} \quad (4-1-36)$$

在半路堑抛坍爆破中, $n = 1$ 。

(七) 压缩圈半径 $R_{\text{压}}$

对于路堑

$$R_{\text{压}} = 0.062 \sqrt[3]{\mu Q} \text{ m} \quad (4-1-37)$$

式中 μ ——压缩系数, 与岩石性质有关, 对于粘土、坚硬土、松石、次坚石、坚石分别为 250、150、50、20、10。

在试布药包过程中

$$R_{\text{压}} = (0.2 \sim 0.25)W \quad \text{m} \quad (4-1-38)$$

对于半路堑

$$R_{\text{压后}} = 0.16W \quad \text{m} \quad (4-1-39)$$

$$R_{\text{压下}} = 0.185W \quad \text{m} \quad (4-1-40)$$

(八)破坏作用半径 $R_{\text{下}}$ (R) $R_{\text{上}}$

平坦地形爆破漏斗的抛掷作用半径 R (m) 斜坡地形的下破坏作用半径 $R_{\text{下}}$, 以及多面临空地形的弧形作用剖面上的破坏作用半径 $R_{\text{弧}}$ 均用下式计算

$$R_{\text{下}} = W \sqrt{n^2 + 1} \quad \text{m} \quad (4-1-41)$$

上破坏作用半径 $R_{\text{上}}$ ($A\alpha_{\text{上}} \geq 1$)

$$R_{\text{上}} = W \sqrt{A_{\alpha_{\text{上}}} n^2 + 1} \quad \text{m} \quad (4-1-42)$$

对于半路堑:

$$R_{\text{上}} = \psi W \quad \text{m} \quad (4-1-43)$$

式中, 崩塌系数 A 和破裂系数 ψ , 由表 4-1-11 查出。

表 4-1-11 破裂系数 ψ 值和坍塌系数 A 值

| 爆破方法 | 石质 H/W 地面坡度 | ψ | | | | | |
|------|-------------------|----------|----------|-----------|---------|-----------|---------|
| | | 土、软石 | | 次坚石 | | 坚石 | |
| | | <2 | >2 | <2 | >2 | <2 | >2 |
| 抛 | 30~50° | 1.8~2.3 | — | 1.6~2.0 | — | 1.5~1.8 | — |
| | 50~70° | 2.0~2.5 | 2.5~3.0 | 1.8~2.4 | 2.3~3.6 | 1.8~2.0 | 2 |
| 坍 | >70° | — | — | 2.1~2.6 | 2.6~3.2 | 2.0~2.3 | 2.3~3.6 |
| 抛掷 | A 值 | 0.1~0.12 | 0.1~0.08 | 0.08~0.06 | | 0.05~0.06 | |

(九)药包间距 a

为使拟爆破路段一次爆破形成所需要的路堑, 必须采用药包群。如果药包间的距离太远, 爆破后将形成一个互不相联系的爆破漏斗, 其间残留一部分没有破碎的岩梗; 药包距离太近, 则爆破作用的重复性太大, 增加导洞药室开挖工作量, 大量浪费炸药, 影响边坡的稳定性, 飞石安全距离也无法保证。因此, 必须确定一个适合的药包间距, 保证药包爆破时互相产生比较理想的共同作用。在生产中一般按下列公式计算:

1. 同一层药包间距 a (m)

(1) 在抛掷爆破中

$$a = (0.95 \sim 1.0)W \sqrt[3]{F(E, a)} \quad (4-1-44)$$

或

$$a = (0.1\bar{E} + 0.8)\bar{W} \sqrt[2]{f(a)} \quad (4-1-45)$$

式中 \overline{W} 、 \overline{E} ——分别为相邻两药包的最小抵抗线和抛掷率的平均值。

(2) 在抛坍爆破和松动爆破中

$$a = (1 \sim 1.3) \overline{W} \quad (4-1-46)$$

2. 上下层药包间距 b (m)

在一般情况下

$$b \leq 2 W_{\text{下}} \quad (4-1-47)$$

需加大药包间距抛距时

$$b = \overline{n} \overline{W} \quad (4-1-48)$$

式中 \overline{n} ——相邻两层药包的爆破作用指数的平均值。

充分利用崩塌作用时

$$b \leq \psi W \quad (4-1-49)$$

3. 分集药包的药包间距

(1) 子药包间距 c (m)

$$c = 0.5 \overline{n} \overline{W} \sqrt[3]{\sin \alpha + 1} \quad (4-1-50)$$

(2) 分集药包的药包间距 $a_{\text{分}}$ (m)

当纵向分集时(沿路线方向分集),在抛坍爆破中采用

$$a_{\text{分}} = (Z + 0.25 \sqrt[3]{\sin \alpha + 1} \overline{W}) \quad (4-1-51)$$

式中 Z ——系数, $Z = 1.0 \sim 1.3$;

\overline{W} ——两子药包最小抵抗线的平均值。

在抛掷爆破中

$$a_{\text{分}} \leq 1.2 \overline{n} \overline{W} \quad (4-1-52)$$

当一边用分集药包,一边用集中药包时,药包间距采用

$$a = \frac{a_{\text{分}} + a_{\text{集}}}{2} \quad (4-1-53)$$

当采用横向分集药包时,药包间距采用

$$a_{\text{分}} = a_{\text{集}} \quad (4-1-54)$$

采用分集药包,横断面上的破坏作用半径,仍按一般集中药包的公式计算。但在断面上划破坏作用半径时,不是以分集药包中心为圆心,而是以子药包中心为圆心,以破坏作用半径弧与地面线相交的连线,得到设计的爆破漏斗。

(十) 最大可见漏斗深度

最大可见漏斗深度 P 值,是爆破后测出的新地面线与原地面线之间的最大距离。它是在断面图上预先估计爆破效果及清方工作量的一个参数。其值一般与抛掷率和自然

地面坡度有关,其所在位置与边界条件有关。

1. 在抛掷爆破中

$$P = (0.01 \sim 0.012)EW \quad \text{m} \quad (4-1-55)$$

土和高抛掷率($E \geq 70\%$)时,采用上限,其位置在平坦地形与最小抵抗线一致,在斜坡地形路堑一般 $\frac{1}{2}R_{\text{下}}$ 附近,并按爆破安息角堆积。

2. 在抛坍爆破中

根据坍滑作用,最大可见漏斗深度 P 值,可在下破坏作用半径 $R_{\text{下}}$ 与地面线相交处,按爆破安息角作斜线,与压缩圈的切线相交点 C 处直接量取,如图 4-1-25 所示。亦可由下式近似计算。

$$P = (0.004\alpha + 0.5)W \quad (4-1-56)$$

(十一) 岩石的坍散宽度和高度

1. 在抛掷爆破中(图 4-1-26),最大的坍散宽度 x 和高度 y 如下

$$x = (0.1E + 2)W \sqrt[3]{f(\alpha)} \quad \text{m} \quad (4-1-57)$$

$$y = 0.55 \frac{H}{n} \quad \text{m} \quad (4-1-58)$$

式中 α ——坡脚处自然地面坡度角;

H ——如图 4-1-26 所示,其他符号同前。

2. 抛掷爆破时垂直于抛掷方向的最大宽度 B (m)

$$B = \sum a + 2\bar{R}_{\text{压}} + 2(1.5 \sim 3 \bar{n}W) \quad (4-1-59)$$

式中 a ——横向药包间距;

$\bar{R}_{\text{压}}$ 、 \bar{n} 和 \bar{W} ——两头药包的平均值。

3. 在抛坍爆破中,岩堆的坍散高度和宽度(图 4-1-26),可根据爆破时抛坍出来的

岩体,在坡脚下按爆破安息角堆积成三角形岩堆的体积平衡原则,推导出下列公式。

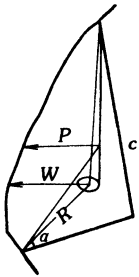


图 4-1-25 爆破漏斗的可见深度图

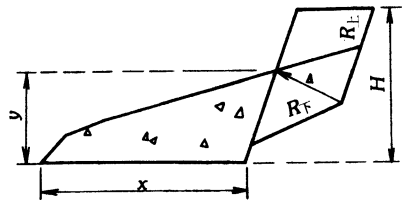


图 4-1-26 抛掷爆破中坍散宽度与高度示意图

当坡脚地面坡度小于 90° 时

$$y = \sqrt{\frac{2F_{\Delta} \operatorname{tg}\alpha_1 \operatorname{tg}\theta}{\operatorname{tg}\alpha_1 - \operatorname{tg}\theta}} \quad (4-1-60)$$

$$x = \sqrt{\frac{2F_{\Delta}(\operatorname{tg}\alpha_1 - \operatorname{tg}\theta)}{\operatorname{tg}\alpha_1 \operatorname{tg}\theta}} \quad (4-1-61)$$

或

$$x = \frac{2F_{\Delta}}{y} \quad (4-1-62)$$

当坡脚地面坡度等于 90° 时

$$y = x \cdot \operatorname{tg}\theta \quad (4-1-63)$$

$$x = \sqrt{2F_{\Delta}/\operatorname{tg}\theta} \quad (4-1-64)$$

式中 y ——岩堆的坍塌高度, m;

x ——岩堆的坍塌宽度, m;

α_1 ——坡脚处自然地面坡角, $^{\circ}$;

θ ——爆破安息角, $^{\circ}$;

F_{Δ} ——在最小抵抗线方向处, 沿路线方向取 1m 长的岩堆方数(即岩堆断面面积), 其值与抛坍方量有关, 可按下式估算

$$F_{\Delta} = (0.8 \sim 1.0)F_{\text{坍}} \quad (4-1-65)$$

(十二) 不逸出半径 ($W_{\text{逸}}$) 的临界值

在抛掷爆破特别是定向爆破中, 为保证爆能集中在主抛方向, 避免对其他临空面造成破坏, 可采用不逸出半径 ' $W_{\text{逸}}$ ' 进行控制。根据药包所在位置和地形地质条件, 有以下几种情况。

1. 为使不逸出方向的岩体不致受到破坏当采用中间性和缓和性炸药时(如硝铵炸药)

$$W_{\text{逸}} \geq 1.75 W_2 \sqrt[3]{F(E_1, \alpha_1)} \text{ m} \quad (4-1-66)$$

如何采用烈性炸药时, 则

$$W_{\text{逸}} \geq 2 W_1 \sqrt[3]{F(E_1, \alpha_1)} \text{ m} \quad (4-1-67)$$

2. 如果不逸出方向为良好的临空面, 在爆破中易遭破坏时(如临河陡坎、山后冲沟很深、山峰高耸、坡度陡峻、山体较薄或地质不良层理外倾等), 为确保侧面或山后不破坏和路基不至炸毁形成坍方, 此时不逸出半径按下式计算

对于中间性和缓性炸药

$$W_{\text{逸}} = (2.1 \sim 2.45) W_1 \sqrt[3]{F(E_1, \alpha_1)} \text{ m} \quad (4-1-68)$$

对于烈性炸药

$$W_{\text{逸}} = (2.4 \sim 2.8) W_1 \sqrt[3]{F(E_1, \alpha_1)} \text{ m} \quad (4-1-69)$$

3. 当不逸出面可以破坏或松动,但不允许抛掷时,用下式计算

$$W_{\text{逸}} \geq 1.3 W_1 \sqrt{\frac{F(E_1, \alpha_1)}{f(\alpha_2)}} \quad \text{m} \quad (4-1-70)$$

以上各式中的 W_1 、 $F(E_1, \alpha_1)$ 均为最小抵抗线方向的有关参数,而 $f(\alpha_2)$ 则为不逸出方向的有关参数。

(十三) 爆破区安全距离的确定

1. 个别飞石的安全距离 $r_{\text{石}}$ (m)

$$r_{\text{石}} = 20 n^2 W K \quad (4-1-71)$$

式中 n 、 W ——采用炮群中最大药包的相应值。

K ——安全系数,对于人, $K = 1.5 \sim 2.0$; 对于机械 $K = 1.0$;

沿最小抵抗线方向,个别飞石距离应增加 50%。

2. 爆破地震的安全距离

(1) 爆破对基岩的破坏范围或爆震对井巷工程的安全距离 $r_{\text{震}}$ 。

$$r_{\text{震}} \geq K W \sqrt[3]{F(E, \alpha)} \quad (4-1-72)$$

式中 K ——系数,对于一般地下建筑和地质条件 $K = 2$; 对于重要的地下建筑 $K = 3$ 。亦可参照不逸出半径公式计算,见式(4-1-66)~(4-1-68)。

(2) 爆震对地面建筑的安全距离 $r_{\text{震}}$ (m)

$$r_{\text{震}} = K a \sqrt[3]{Q} \quad (4-1-73)$$

式中 Q ——总装药量, kg, 如用毫秒差爆破, 延发时间大于 30ms 时, 采用分段的总装药量;

a ——系数,一般等于 1;

K ——系数, 坚石 $K = 3$, 次坚石 $K = 5$, 土 $K = 7 \sim 15$ 。

3. 空气冲击波的安全距离 $r_{\text{气}}$ (m)

$$r_{\text{气}} = K \sqrt{Q} \quad (4-1-74)$$

式中 Q ——总装药量, kg;

K ——系数,对于建筑物采用 3~5, 对于人取 5。

4. 抛掷的最大高度 y_{max} (m)

$$y_{\text{max}} = \frac{\rho \cdot E \cdot W}{30000} \cdot \sqrt{f(\alpha)} \quad (4-1-75)$$

式中 ρ ——岩石的密度, kg/m³。

五、综合爆破方法

(一) 综合爆破的内容及特性

综合爆破是根据石方的集中程度,地质、地形条件,公路路基断面的形状,结合各种爆破方法的最佳使用特性,因地制宜,综合配套使用的一种比较先进的爆破方法。一般包括小炮和洞室炮两大类。小炮主要包括钢钎炮、深孔爆破等钻孔爆破、药壶炮和猫洞炮,洞室炮则随药包性质、断面形状和微地形的变化而不同。用药量 $1t$ 以上为大炮, $1t$ 以下为中小炮。现将各种爆破方法在综合爆破中的作用与特性分述如下:

1. 钢钎炮(眼炮)

在路基工程中,钢钎炮通常指眼炮直径和深度分别小于 $7cm$ 和 $5m$ 的爆破方法。一般情况下,单独使用钢钎炮爆破石方是不大经济的,其原因是(1)炮眼浅,用药少,每次爆破的方数不多,并全靠人工清除,所以功效较低。(2)不利于爆破能量的利用。由于眼浅,爆破时爆炸气体很容易冲出,变成不做功的声波,以致响声大而炸下的石方不多,个别石块飞得很远。因此,在公路工程中,应尽可能少用这种炮型。但是,由于它比较灵活因而它又是一种不可缺少的炮型,在地形艰险及爆破量较小地段(如打水沟、开挖便道、基坑等)仍属必需,在综合爆破中是一种改造地形,为其它炮型服务的辅助炮型。其用药量按式 4-1-24 估算。

2. 深孔爆破

深孔爆破就是孔径大于 $75mm$ 、深度 $5m$ 以上、采用延长药包的一种爆破方法。炮孔需用大型的潜孔凿岩机或穿孔机钻孔,如用挖运机械清方可以实现石方施工全面机械化,是大量石方(万方以上)快速施工的发展方向之一。其优点是劳动生产率高,一次爆破的方量多,施工进度快,爆破时对路基边坡的影响比大炮小。若配合预裂或光面爆破,则边坡平整稳定,爆破效果容易控制,爆破时比较安全。但由于需要用大型机械,故转移工地、开辟场地、修筑便道等准备工作都较复杂,且爆破后仍有 $10\% \sim 25\%$ 的大石块需经第二次爆破改小。

进行深孔爆破,要求先将地面修成台阶,称为梯段。梯段的倾角最好为 $60^\circ \sim 75^\circ$,高度应在 $5 \sim 15m$ 之间。炮孔分垂直孔和斜孔两种,如图 4-1-27 和图 4-1-28 炮孔直径 D 一般为 $80 \sim 300mm$,公路工程中以用 $100 \sim 150mm$ 的为宜。超钻长度 h 大致是梯段高度的 $10\% \sim 15\%$ 。岩石坚硬者取大值。因此,

$$\left. \begin{array}{l} \text{垂直孔的深度} \\ \text{斜孔的深度} \end{array} \right\} \begin{array}{l} l = H + h \\ l = H' + h \end{array} \quad (4-1-76)$$

$$\text{炮孔间距} \quad a = mW \quad (4-1-77)$$

底板抵抗线
$$W = D \sqrt{\frac{7.85 \rho \tau l}{K' m H}} \quad (4-1-78)$$

式中 m ——系数,约为 0.6~1.4,通常取 0.7~0.85;

D ——钻孔直径, m;

ρ ——炸药密度 kg/m^3 ;

K' ——单位耗药量 kg/m^3 , $K' = \frac{1}{3} K$;

τ ——深孔装药系数,当 $H < 10\text{m}$, $\tau = 0.6$; $H = 10 \sim 15\text{m}$, $\tau = 0.5$; $H = 15 \sim 20\text{m}$, $\tau = 0.4$ 。

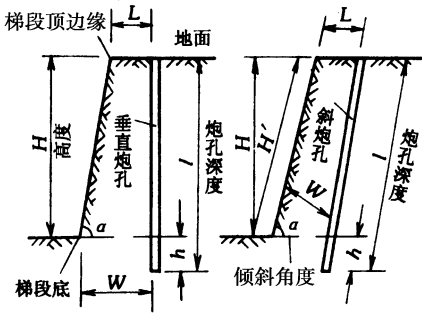


图 4-1-27 垂直和斜炮梯断面

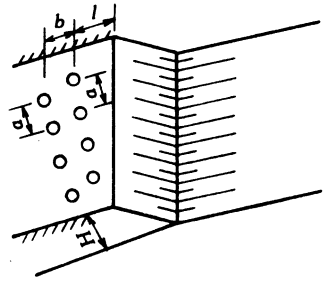


图 4-1-28 炮孔布置立面图

W 值确定后可按下式估算 L 值

$$L = W - H \cdot \text{ctg}\alpha \quad (4-1-79)$$

式中 L ——炮孔与梯段顶边缘的距离,为确保凿岩机作业的安全,此值应大于 2~3m,否则需调整 W 值。

多排孔时,排的间距 b 可取 $b = W$ 。最后按下式计算炸药量

$$Q = e K' W H a \quad \text{kg} \quad (4-1-80)$$

深孔爆破除需正确选用设计参数和布孔外,对装药、堵塞等操作技术要求也比较严格。随着石方施工机械化程度的提高,深孔爆破已开始集中在石方集中,地形较平缓的垭口或深路堑中使用,并获得较好的效果。单位耗药量为 $0.45 \sim 0.75\text{kg/m}^3$,平均每米钻孔爆落岩石 $11 \sim 20\text{m}^3$ 。因此,在有条件时应尽可能采用这种爆破方法。

3. 微差爆破

两相邻药包或前后排药包以毫秒的时间间隔(一般为 $15 \sim 75\text{ms}$)依次起爆,称为微差爆破,亦称毫秒爆破。多发一次爆破最好采用毫秒雷管。当装药量相等时其优点是:可减震 $1/3 \sim 2/3$ 左右,前发药包为后发药包开创了临空面,从而加强了岩石的破碎效果;降低多排孔一次爆破的堆积高度,有利于挖掘机作业;由于逐发或逐排依次爆破,减少了

岩石夹制力,可节省炸药 20%,并可增大孔距,提高每米钻孔的炸落方量。炮孔排列和起爆顺序,根据断面形状和岩性,有如下几种(图 4-1-29)。多排孔微差爆破是浅孔深孔爆破发展的方向。

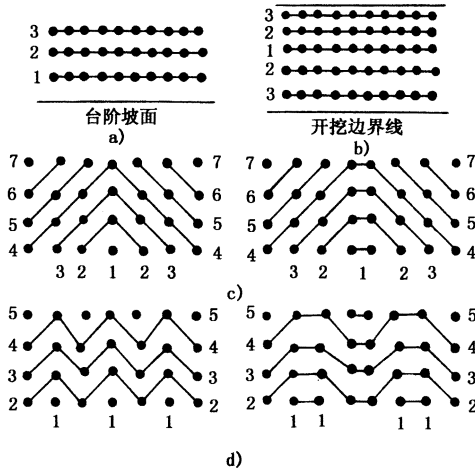


图 4-1-29 微差爆破各种起爆网路图

(图中数字为起爆顺序)

- a) 直排依次顺序起爆法
- b) 直排中心掏槽起爆法
- c) V 形起爆网路
- d) 波形起爆网路

4. 光面爆破和预裂爆破

光面爆破是在开挖限界的周边,适当排列一定间隔的炮孔,在有侧向临空面的情况下,用控制抵抗线和药量的方法进行爆破,使之形成一个光滑平整的边坡。

预裂爆破是在开挖限界处按适当间隔排列炮孔,在没有侧向临空面和最小抵抗线的情况下,用控制药量的方法,预先炸出一条裂缝,使拟爆体与山体分开,作为隔震减震带,起保护和减弱开挖限界以外山体或建筑物的地震破坏作用。光面与预裂爆破后,在边坡壁上通常均留下半个炮孔的痕迹。

进行光面或预裂爆破时,应严格保持炮孔在同一平面内,炮孔间距 a 和抵抗线 W 之比应小于 0.8。装药量应控制适当,并采用合理的药包结构,通常使炮孔直径大于药卷直径 1~2 倍,或采用间隔药包、间隔钻孔装药。预裂炮的起爆时间在主炮之前,光面炮在主炮之后,其间隔时间可取 25~50ms。同一排孔必须同时起爆,最好用传爆线起爆,否则会影响爆破质量。光面和预裂爆破的主要设计参数,归纳如下:

光面炮眼间距 $a_1 = 16d$

预裂炮眼间距 $a_2 = (8 \sim 12)d$

光面炮眼抵抗线 $W = 1.33a_1 = 21.5d$

装药密度 $q' = 9d^2$

式中 d ——钻孔直径 cm ;

q' ——每米钻孔装药量 kg/m ;

a 、 W 单位与 d 同。

5. 药壶炮(烘膛炮)

药壶炮是指在深 $2.5 \sim 3.0m$ 以上的炮眼底部用少量炸药经一次或多次烘膛,使眼底成葫芦形,将炸药集中装入药壶中进行爆破,如图 4-1-30 所示。此法主要用于露天爆破,其使用条件是:岩石应在Ⅺ级以下,不含水分,阶梯高度(H)小于 $10 \sim 20m$,自然地面坡度在 70° 左右。如果自然地面坡度较缓,一般先用钢钎炮切脚,炸出台阶后再使用。经实践证明,药壶炮最好用于Ⅶ~Ⅸ级岩石,中心挖深 $4 \sim 6m$,阶梯高度在 $7m$ 以下。装药量可根据药壶体积而定,一般介于 $10 \sim 60kg$ 之间,最多可超过 $100kg$ 。每次可炸岩石数十方至数百方,是小炮中最省工、省药的一种方法。

6. 猫洞炮(蛇穴炮)

猫洞炮系指炮洞直径为 $0.2 \sim 0.5m$,洞穴成水平或略有倾斜(台眼),深度小于 $5m$,用集中药包在炮洞中进行爆破的一种方法,如图 4-1-31 所示。其特点是充分利用岩体本身的崩塌作用,能用较浅的炮眼爆破较高的岩体,一般爆破可炸松 $15 \sim 150m^3$ 。其最佳使用条件是:岩石等级一般为Ⅸ级以下,最好是Ⅴ~Ⅶ级,阶梯高度最少应大于眼深的两倍,自然地面坡度不小于 50° ,最好在 70° 左右。由于炮眼直径较大,爆破利用率甚差,故炮眼深度应大于 $1.5 \sim 2.0m$,不能放孤炮。猫洞炮功效,一般可达 $4 \sim 10m^3$,单位耗药量在 $0.13 \sim 0.3kg/m^3$ 之间。在有裂缝的软石和坚石中,阶梯高度大于 $4m$,药壶炮药壶不易形成时,采用这种爆破方法,可以获得好的爆破效果。

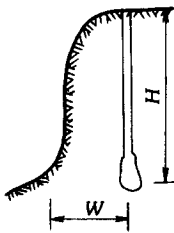


图 4-1-30 药壶炮

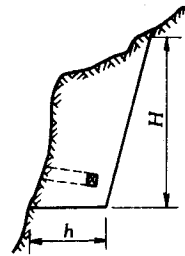


图 4-1-31 猫洞炮

7. 洞室炮

为使爆破设计断面内的岩体大量抛掷(抛坍)出路基,减少爆破后的清方工作量,保证路基的稳定性,可根据地形和路基断面型式,采用以下不同性质的洞室炮爆破法。

(1) 抛掷爆破

①平坦地形的抛掷爆破(亦称扬弃爆破)。自然地脉内坡角 $\alpha < 15^\circ$, 路基设计断面为拉沟路堑, 石质大多是软石时, 为使石方大量扬弃到路基两侧, 通常采用稳定的加强抛掷爆破。抛掷率为 55% ~ 98% ($n = 1.5 \sim 2.2$), 一般在 80% 左右。根据铁道兵经验, 当 $n = 2$ 时 ($E = 83\%$), 抛掷 1m^3 岩石的耗药量为 $1.4 \sim 2.2\text{kg}$ 。炸药费用一般占总工程造价的 80% 左右, 且爆后对路堑边坡的稳定性影响很大, 故在公路工程中很少采用。

②斜坡地形路堑的抛掷爆破。自然地面坡角 α 在 $15^\circ \sim 50^\circ$ 之间, 岩石也较松软时, 可采用抛掷爆破。抛掷率一般设计在 60% 左右, 根据地面坡度的不同, 爆破作用指数在 1 ~ 1.5 之间单位耗药量大于 1kg , 炸药费用占整个工程造价 60% 以上, 对路堑边坡的稳定性有较大的影响。

(2) 斜坡地形半路堑的抛掷爆破。自然地面坡度大于 30° , 地形地质条件均较复杂, 临空面大时, 宜采用这种爆破方法。在陡坡地段, 岩石只要充分被破碎, 就可以利用岩石本身的自重坍塌出路基, 提高爆破效果。

抛掷爆破的抛掷率一般为 45% ~ 85%, 单位耗药量为 $0.1 \sim 0.42\text{kg}/\text{m}^3$ 。炸药费用不到总造价的 40%, 而功效可达 $6 \sim 15\text{m}^3/\text{工日}$, 比小炮功效高 2 ~ 4 倍, 总的路基工程造价可降低 16% 以上, 爆后路堑边坡稳定。

(3) 多面临空地形的爆破。路线通过波浪起伏的峡谷或鸡爪地形地段, 横切山包或山咀时, 临空面较多, 有利于爆破。由于山包或山咀的石质, 一般较周围岩体坚固完整, 因此爆破后可获得较陡的稳定边坡。多面临空地形的爆破抛掷率(抛坍率)约为 60% ~ 80%, 单位耗药量为 $0.2 \sim 0.8\text{kg}/\text{m}^3$, 工效为 $10 \sim 20\text{m}^3/\text{工日}$, 最高可达 $70\text{m}^3/\text{工日}$, 比小炮高 6 ~ 15 倍或更多, 但工程造价只比小炮减少约 5%。

(4) 定向爆破。这是利用爆能将大量土石方按照指定的方向, 搬移到一定的位置并堆积成路堤的一种爆破施工方法。它减少了挖、装、运、夯等工序, 生产率极高。在公路工程中用于以借为填或移挖作填地段, 特别是在深挖高填相间、工程量大的鸡爪形地区, 采用定向爆破, 一次可形成百米以至数百米路基。

(5) 松动爆破。大型松动爆破主要用于不宜采用抛掷爆破的次坚石、软石路基, 或配合机械化清方的地段。在坚石中, 宜采用深孔炮。

大型洞室爆破, 威力大、效率高, 可以缩短工期, 节约劳力, 技术安全可靠性也大, 但使用不当, 则可能破坏山体平衡, 造成路基后遗病害。使用时必须进行现场调查, 摸清当地的工程地质条件及周围环境, 通过技术经济比较来确定。

不宜进行大爆破的工程地质条件是:

- ①岩堆、滑坡体, 坡顶上部堆积的覆盖层较厚而倾向路基的不良地区。
- ②断层破碎带, 侵入体与围岩的接触带, 节理破碎带, 以及具有引起坍塌的地质软弱

面的地段。

③当软弱面通过路基的后方或下方时,爆破不易形成路基的地段。

④层面、错动面以及其它构造软弱面,倾向路基,而其倾角大于临界倾角(B_0),并小于 50° ,层面胶结不良的地段。

⑤山脊较薄,山后有良好临空面,不逸出半径可使整个山头破坏,引起坍方的地段。

⑥多组软弱面,形成坍方体的地段。

此外,对周围环境亦需考虑,如有良田、果树、重要建筑物等,在无法确保其安全时,不宜采用大爆破。

(二) 选用各种爆破方法的基本原则

为了充分发挥各种爆破方法的特点。利用微地形和地质的客观条件,在路基石方工程中采用综合爆破,选用各种爆破方法,组织炮群,有计划有步骤地爆破拟开挖的石方是十分重要的。为此,石方工程的施工方案应按以下原则与步骤进行。

1. 全面规划,重点设计。对拟爆破的路基工程,应根据石方集中的程度、微地形的变化、路基设计断面的形状,以及地质条件所能允许的爆破规模,结合各种爆破方法的特点,进行全面规划,确定哪些地段采用洞室炮、深孔炮,哪些地段采用小炮群(一般,中心挖深大于 6m 时,可采用洞室炮,小于 6m 可采用小炮群),以及各段的开挖顺序。然后对石方集中的点进行重点设计。在生产中,一般可按照爆破方案选择表进行(表4-1-12)。

表 4-1-12 爆破方案选择表

| 编号 | 起讫桩号 | 中心挖深 (m) | 爆破地段 长度(m) | 自然坡度 ($^\circ$) | 断面石方量 (m^3) | 爆破类型 | 备注 |
|----|---------------|-------------|---------------|----------------------|---------------------------|-----------|----------|
| 1 | K1+500~K1+600 | 3~5 | 100 | 30~45 | 3000 | 小炮群 | 软石 |
| 2 | K3+700~K3+900 | 6~9 | 200 | 50~70 | 7000 | 抛坍爆破炮群 | 坚石 |
| 3 | K4+100~K4+140 | 12 | 40 | 40 | 4000 | 多面临空面地形爆破 | 次坚石节理不发达 |

2. 由路基面开挖,形成高阶梯。为了充分利用岩石的崩塌作用,开挖应从路基面开始,逐渐形成高阶梯,为深孔炮、药壶炮或猫洞炮创造有利条件。

3. 综合利用小炮群,分段分批爆破。一般有以下几种方法:

(1)在半挖半填的斜坡地形,采用一字排炮,对自然坡度较缓的地形,应先用钢钎炮切脚,改造地形后,再采用一字排炮。

(2)路线横切小山包时,采用钢钎炮三面切脚,改造地形后,再在中间用药壶爆破。

(3)遇路基加宽,阶梯较高的地形,采用上下互相配合的小炮群,如图4-1-32所示。

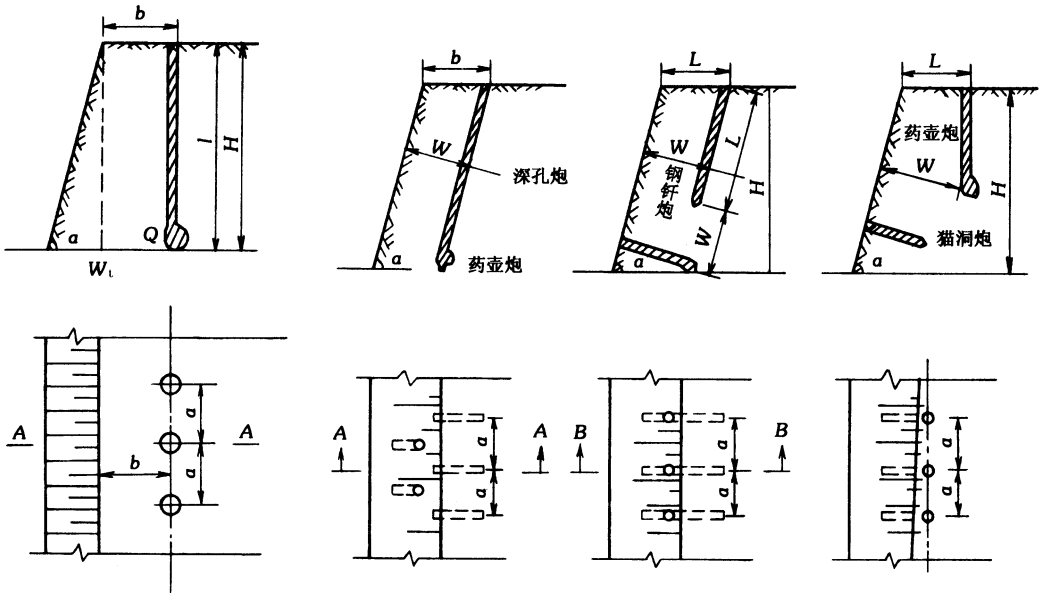


图 4-1-32 上下互相配合的小炮群

(4)对拉沟地堑,采用两头开挖时,可以用竖眼揭盖,平眼搜底的梅花炮,如图 4-1-33 所示。

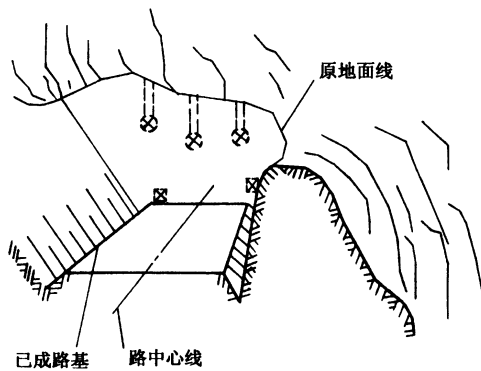


图 4-1-33 拉沟路堑使用的梅花形立眼和平眼的混合炮群(炮数可酌情增减)

(5)机械化清方时,如遇坚石,可采用眼深 2m 以上的钢钎炮,组合成 30~40 个的多层炮群,或采用深孔炮。在坚硬岩石中,为使岩石破碎的程度满足清方的要求,除调整炮群设计参数外,还可以采用微差爆破和间隔药包。遇软石或节理发育的次坚石,可用松动爆破开挖。

由上面的介绍可知,根据不同的客观条件,采用不同的爆破方法,可以使工效提高 2

~ 10 倍, 劳动强度也可大大减轻。但由于单位耗药量都比小炮定额高 2~4 倍以上, 因此工程造价的降低并不显著。为了降低工程造价, 有条件时可在综合爆破中采用铵油炸药。

虽然综合爆破具有不少优点, 但是在快速施工方面仍很不够。目前, 特别严重的是导洞掘进和清方这两道工序很慢, 一般人工开挖导洞就需要 15~30 天, 爆破后虽有 65% 左右的岩体被抛掷(抛坍)出路基, 但剩下岩体若用人工清方, 仍须较长时间。这种两头慢中间快的不协调现象, 只有采用机械化打眼和机械化、半机械化清方的办法才能改变。

六、大爆破设计及施工

(一)大爆破设计

1. 爆破设计文件的内容

大爆破设计文件包括说明书和设计图表。设计说明书的内容如下:

(1)概述。包括设计任务、工程情况、对爆破结果提出的要求, 以及设计中特殊情况的考虑和估计(如有关地面、地下人工建筑物、道路、良田和果树等)。

(2)地形、地质及水文地质资料的分析。

(3)爆破方案的选择, 爆破规模和炮群大小的确定与其依据。

(4)药包布置及选择设计参数的依据。

(5)药包量的计算和导洞、药室布置的设计。

(6)电爆网路选择的依据和计算。

(7)安全范围的规定和计算公式。

(8)预计爆破效果的分析。

2. 抛坍爆破的设计

抛坍爆破是根据斜坡地形、公路横断面的特点和快速施工的要求, 充分利用岩体本身所具有的位能, 在药包的崩塌和坍滑作用下建立起来的。因此仅适用于自然坡度大于 30°的斜坡地形中半路堑的开挖和近距离的定向爆破。耗药量甚少, 爆后边坡稳定, 是山区公路最常用的一种洞室爆破。

(1)药包布置中应注意的问题

①分清高低坡脚。划分高低坡脚, 以爆破后岩块能否自谷底按爆破安息角堆至路基面上, 影响坍滑作用为标准。能堆至路基面的, 或一般从路基底通过药包中心到地表的垂直高度 h_1 大于路基到河谷高度 h_2 称为低坡脚, 如图 4-1-34 所示, 反之称为高坡脚。

②首先在爆破区段内挖切最深、石方最集中的断面上布置控制性的主药包或分集药包, 然后再布置主药包间的药包。当挖切深度在全段内相差不大时, 亦可从任意一端开始布置。

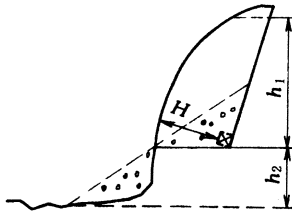


图 4-1-34 低坡角示意图

③在横断面上布置药包,应留足够的保护层,以免影响靠山边坡的稳定、过多超炸和损及路基的有效宽度。在任何情况下,特别是高坡脚时,不但要用压缩圈来控制药包的位置或标高,同时要用上下破坏作用半径来校核,使下作用半径与地面线的交点处于路基有效宽度之外。而上破坏作用半径与地面线的交点,则应在设计边坡范围以内。仅在低坡脚和地面坡角小于 45° 时,如施工允许,才能将药包置于路基面上,甚至在路基面以下。

④布置药包时,应认真考虑爆破的工程地质条件。

(2) 药包布置的步骤

①研究分析路面的纵、横断面图,划分爆破区段,确定主药包和控制药包的大致位置。必要时,设计人员应到现场勘察核对图纸。

②在横断面上布置药包

横断面上布置药包的目的是,使药包的破坏范围尽可能炸除全部拟开挖的路基部分,并且不致伤及边坡和路基的有效宽度。为此,布置药包时,在横断面上必须控制四个点,如图 4-1-35 所示。通常采用逐步逼近法,按以下步骤进行:

a. 在距边坡 $1 \sim 1.5\text{m}$ 的地方,假设 O 为拟布置的药包中心(4-1-36),并量出最小抵抗线 W 值。

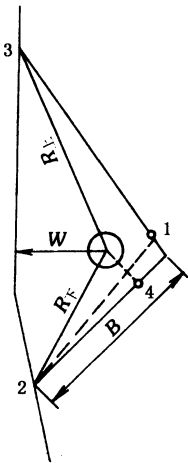


图 4-1-35

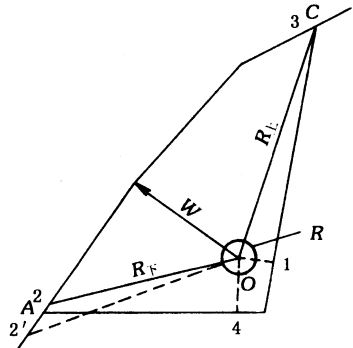


图 4-1-36

b. 按式(4-1-39),用向后的压缩半径 $R_{\text{压后}}$,检查是否会破坏路基边坡。由 O 点作水平线与边坡相交于点 1,若 $\overline{O1}$ 的长度大于 $R_{\text{压后}}$ 值,药包需向内移,反之需向外移,直至 $\overline{O1} \cong R_{\text{压后}}$ 值为止。

c. 用下破坏作用半径 $R_{\text{下}}$ 检查路基有效宽度是否会被炸毁。一般以 $R_{\text{下}} = 1.43 W$ 为半径,以 O 为圆心划弧,使与地面线交于点 2, $\overline{O2}$ 即为下破坏作用半径。若 $\overline{O2}$ 线穿过路基有效宽度(如图 4-1-36 中虚线 $O2'$),说明路基有效宽度将被炸毁,药包布置得太低,应适当提高。相反,若 $\overline{O2}$ 线太高,说明爆破后残留的“炮根”太多,增加了小炮开挖工作量。最恰当的药包位置是 $\overline{O2}$ 线切路基的有效宽度边缘 A 点。

d. 按式(4-1-43)计算上破坏作用半径 $R_{\text{上}}$,检查是否会损伤边坡。以 O 为圆心,以 $R_{\text{上}}$ 为半径划弧,使于地面线交于点 3, $\overline{O3}$ 线就是上破坏作用半径。一般控制点 3 在边坡与地面线的交点 C 以内或附近。若超过太多,说明爆破后将伤及边坡并形成大量超炸。此时,应将药包向外移,若点 3 在断面内,距 C 点较远,则应将药包尽可能靠近边坡。

e. 按式(4-1-40),用向下的压缩圈半径 $R_{\text{压下}}$ 检查是否会伤及路基面。即校核 O 点至其铅垂线与路基面交点 4 之距离是否与 $R_{\text{压下}}$ 接近。当路基可炸松时,此点不必考虑。

当药包位置基本上同时满足上述 4 个点的不同要求时,则 O 点即为拟布置的位置。但这是不多见的,一般应以 1、2 两点为主要控制点,3、4 两点可适当照顾。根据不同的地形有些点的要求也是不存在的,如在斜坡以下地形和路堑,点 2 不需控制;在陡坡地形,点 4 是不易照顾到的。

f. 通过 O 点划出爆破漏斗。如图 4-1-36 所示,以药包中心 O 为圆心,分别以 $R_{\text{下}}$ 和 $R_{\text{上}}$ 为半径划弧,与地面线交于点 2、3,连接 $\overline{O2}$ 和 $\overline{O3}$ 的线即表示爆破漏斗的破坏范围。再取向后的压缩圈为半径划圆,得压缩圈。最后,分别由 2、3 两点向压缩圈作切线,所得的卧置椭圆锥体,即为爆破漏斗。

当路基中心挖得很深(图 4-1-37),布置一层药包,其中心至地表的垂直高度 $H_1 \geq (2 \sim 3)W_{\text{下}}$ 时,应布置两层或多层药包,使各层药包间距 $a' \leq 2W_{\text{下}}$,而最上层药包的位置满足 $W_{\text{上}} > (0.4 \sim 0.6)H_2$ 的要求。

当遇低坡脚时,爆后大量岩块由沟谷堆至路基,清方工作量甚大。为减少清方工作量和炸除爆不到的底部三角形岩底,可在路基面上增设一个翻渣的抛掷药包($E > 60\%$,迟发 6~10s),将堆积于路基上的岩块再次抛出,使半路堑一次爆破成型。

当下破坏作用半径微向上翘(图 4-1-38)时,爆后的路基边缘易形成未爆的石坎(图中阴影部分)。为此,在药包布置时可采用横向分集药包或用小炮将岩坎外缘先切除,使 $R_{\text{下}}$ 不向上翘。

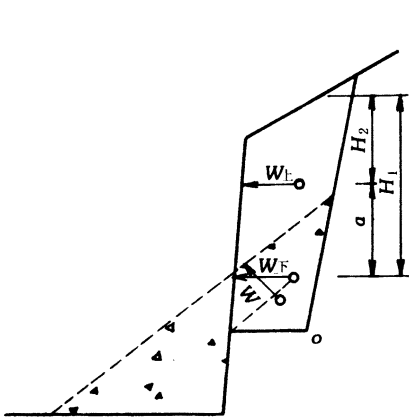


图 4-1-37 多层药包布置示意图

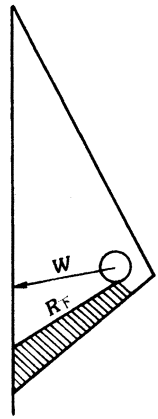


图 4-1-38 因 R_r 微向上, 爆后形成石坎

③沿路线方向布置药包

沿路线方向布置药包的主要目的,是求出各药包间合理的间距,以保证炮群构成一个整体,一次爆破即形成路基雏形,得到顺直稳定的边坡。通常按以下两步进行:

a. 以各横断面图所决定的最小抵抗线 W 值为纵坐标,以路线里程为横坐标,绘成 W 的折线图。据此即可近似地确定其他任意桩号的最小抵抗线 W 值。例如,在爆破区段内,根据原路线测量已有五个横断面,各横断面药包布置的结果列于表 4-1-13。按该表绘制的 W 折线图,如图 4-1-39 所示。

表 4-1-13 沿路线方向药包布置表

| 断面桩号 | 自然地面坡度角 α | 原 W 值 (m) | 断面间距 (m) | 拟采用的药包间距系数 | 计算后药包桩号 | 决定的药包间距 a 值(m) | 决定的 W 值 (m) | 实际的 m 值 |
|------|------------------|-------------|----------|------------|---------|------------------|---------------|-----------|
| 1+31 | 33° | 6 | 10 | 1.10 | 1+33.68 | 7.32 | 6.3 | 1.10 |
| 1+41 | 44° | 7 | | | 1+41.00 | | | |
| 1+50 | 47° | 6 | 9 | 1.15 | 1+48.48 | 7.48 | 6.2 | 1.15 |
| 1+59 | 43° | 6 | 9 | 1.15 | 1+55.50 | 7.02 | 6.1 | 1.15 |
| 1+67 | 39° | 6.6 | 8 | 1.10 | 1+62.50 | 7.0 | 6.3 | 1.10 |

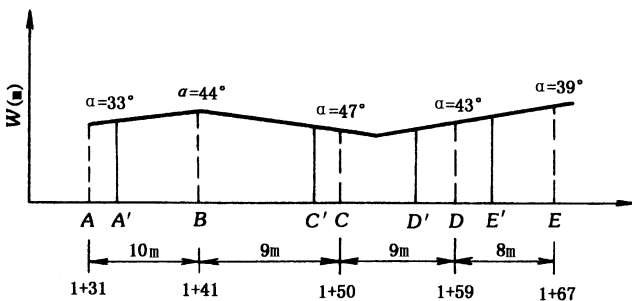


图 4-1-39 最小抵抗的折线图

b. 计算药包间距

在 W 折线图上以 W 最大点为起点,进行药包间距的核算工作。由图 4-1-39 上量得 $W_{\text{最大}}$ 在 B 点,然后由 B 点分别向左右进行计算。

首先根据自然地面坡度和岩性(在本例题中是砂岩,属次坚石),决定药包间距系数 m 。当 $\alpha > 45^\circ$ 时, $m = 1.5$; 当 $\alpha < 45^\circ$ 时, $m = 1.1$ 。

向左进行计算:

$$\text{第一次: } a = m W_{\text{平均}} = 1.10 \times \frac{6 \times 7}{2} = 7.15\text{m}$$

由 B 点向左量 7.15m,得该点的 $W = 6.3\text{m}$

$$\text{第二次: } W_{\text{平均}} = \frac{6.3 + 7}{2} = 6.65\text{m}, \text{得 } a = 1.10 \times 6.65 = 7.32\text{m}$$

由 B 点向左量 7.32m,得该点 $W = 6.3\text{m}$ 。这次所得的 W 与第一次所得的 W 相等,故决定用 $a = 7.32\text{m}$ 。于是,由 B 点向左量 7.32m 得 A' 点。 A' 即为药包 A 调整后的设计位置。

因该地形比较顺直,起伏不大。故桩号 A' 的断面可不另行绘制或补测,而借用桩号 A 的横断面作为药包设计的依据。

向右进行计算

$$a = m \times \frac{W_B + W_C}{2} = m \times W_{\text{平均}}$$

$$\text{第一次: } W_{\text{平均}} = \frac{7 + 6}{2} = 6.5\text{m},$$

$$a = 1.15 \times 6.5 = 7.48\text{m}$$

由 B 点向右量 7.48m 得 C' 点的 $W = 6.2\text{m}$ 。因与 C 点的 W 接近,故决定用 $a = 7.48\text{m}$, $W = 6.2\text{m}$ 将 C 处的药包向左移 1.52m,至 C' 处。 C' 处即为药包 C 调整后的设计位置,该桩号的横断面仍采用 C 处的横断面。

再以 C' 为起点,继续向右进行计算。同理可得到 D 、 E 调整后的位置 D' 和 E' 。计算结果列于表 4-1-13 中。调整后各药包的间距,如图 4-1-40 所示。

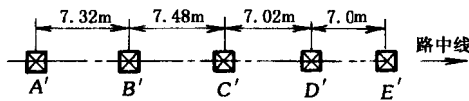


图 4-1-40 沿路线方向药包布置

必须指出,当计算出的药包位置与原药包位置相差甚远时(这种情况一般出现在路线所测横断面较少时),最好到现场补测横断面。当补测不可能时,则可根据相邻两横断面图和纵断面图绘出中间的横断面图,然后在此横断面上布置药包,决定 a 、 W 等有关参

数。其次,药包间距也不能机械地完全根据计算,而必须考虑到地形和地质的情况,在不破坏炮群整体性的条件下,可作适当调整。

3. 分集药包群设计示例

某公路 $K440 + 852 \sim K440 + 913$ 一段需进行爆破,有关资料、设计方案及爆效分析如下:

(1) 地形地质及水文地质情况

爆破工点全长 70 余米,为沿溪线中的一段,路基距河面 $10 \sim 40\text{m}$,自然地面横坡度为 $65^\circ \sim 85^\circ$,陡坡地形,岩石为玄武岩,石质坚硬完整,河岸不时出现倒坡,经鉴定为坚石及特坚石,岩石密度 ρ 为 $2900 \sim 3000\text{kg/m}^3$ 。气候干燥,无地下水。

(2) 设计方案的确定

由路线横断面图看出,这段路基全为半路堑,大部属于低坡脚。将 $\alpha = 65^\circ \sim 85^\circ$ 代入式(4-1-35)得到抛坍率 $E_{\text{坍}} = 65\% \sim 90\%$,所以该段为进行抛坍爆破的最有利地形。又因该爆破工地运输十分困难,炸药需要人运,同时河谷很窄,起炸方量应尽可能减少,以免堵塞河道,增加河道清理工程量。故决定按抛坍爆破设计,抛坍系数按式(4-1-18)计算,其中 A 、 B 分别取值为 26 和 0。

在确保爆破后边坡稳定、抛坍率 $E_{\text{坍}} > 65\%$ 的条件下,为进一步使炸药的爆炸力沿着路线方向,在拟爆破区段内的岩体中均匀分布,尽可能减少炸药用量,决定采用纵向分集的分集药包群。

(3) 在横断面上布置药包及药量计算

① 根据药包布置中应注意的问题,详细研究路线设计所提供的资料,药包尽可能靠近靠山边坡,并保证路基有效宽度。

② 按横断面上药包布置的一般步骤,在各横断面上布置药包。因岩石为坚石,岩体完整、裂缝很少、自然地面横坡大于 70° ,参照表 4-1-14 决定破裂系数 ψ 在 $2.0 \sim 2.3$ 内选取。

压缩圈半径 $R_{\text{压}}$,下破坏作用半径 $R_{\text{下}}$,上破坏作用半径 $R_{\text{上}}$,分别用公式(4-1-39)(4-1-40)(4-1-41)(4-1-42)计算。

横断面上药包位置确定后,即可由式 4-1-9 算出爆破安息角 θ 和由式 4-1-56 算出可见爆破漏斗深度 P ,最后画出爆破后可见的爆破漏斗,以检验爆破效果和估算清方工程量。布置结果,见图 4-1-41。

(4) 沿路线方向布置药包

① 根据横断面上的药包布置绘制“最小抵抗线折线圈”,并标明自然地面坡度角 α 值,如图 4-1-42 所示。

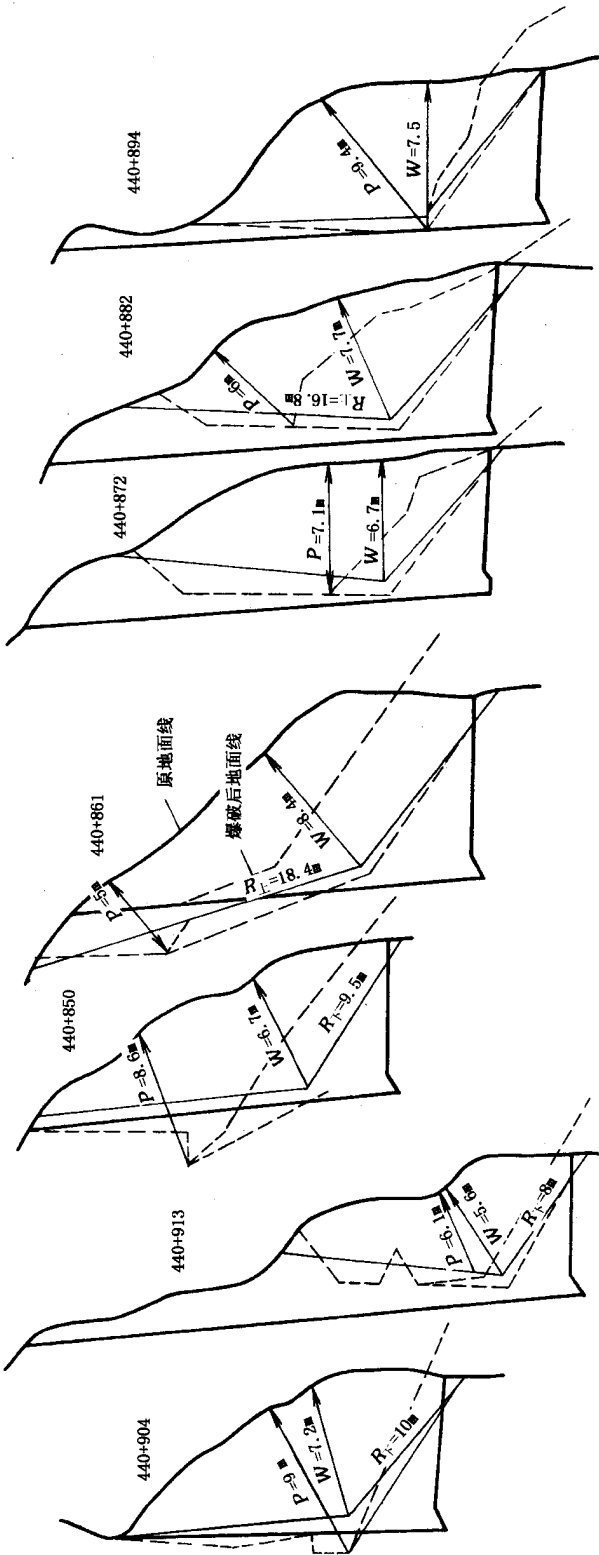


图 4-1-41 横断面上药包的布置及爆破后的断面图

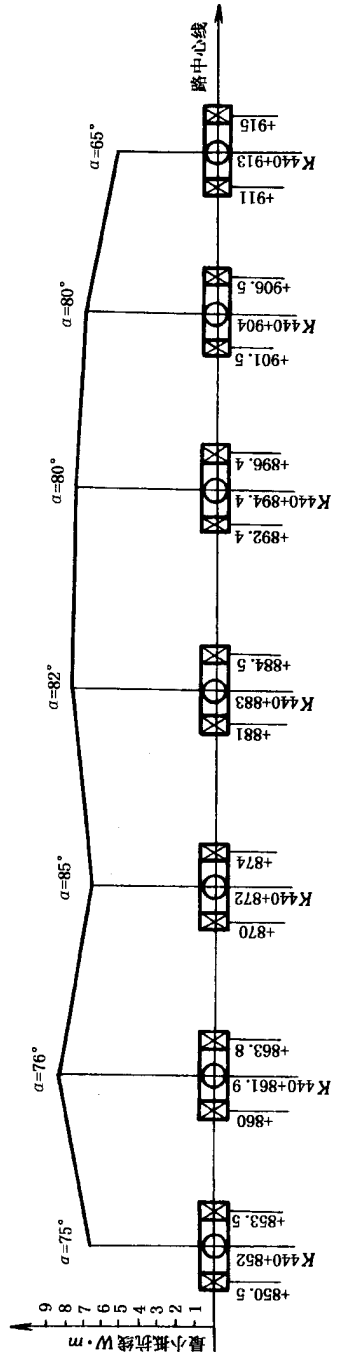


图 4-1-42 纵向分集药包 W 折线图及纵向布置图

②在挖方最大的断面上布设主药包,其里程为 $K440 + 861.5$, $W = 8.4\text{m}$ 。以此为定向左右两侧布置其它药包。

③确定子药包间距。按式(4-1-50)或 $c = (0.5 \sim 0.65)W$ 计算。施工时实际采用 $c = (0.4 \sim 0.757)W$ 。

分集药包间距离按式(4-1-51)或 $a_{\text{分}} = (1.2 \sim 1.5)W_{\text{平均}}$ 计算。计算结果列于表 4-1-14 中。首先根据 $a_{\text{分}}$ 给出分集药包的中心位置,再从此位置按 $\frac{c}{2}$ 将两子药包的位置分别绘于两侧,如图 4-1-42 所示。设计资料及爆后效果分析,列于表 4-1-14 及图 4-1-41 中。

由上述资料看出,7 个分集药包共炸下岩石 7097m^3 ,爆破的单位耗药量为 $0.179\text{kg}/\text{m}^3$,其中抛坍出路基 6034m^3 ,抛坍率高达 85%,抛坍单位耗药量为 $0.21\text{kg}/\text{m}^3$ 。经施工时工料消耗的设计统计资料分析,开挖每米导洞共用炸药 $5 \sim 10\text{kg}$,用工 $10 \sim 15$ 个。总单位耗药量(包括导洞掘进和爆破用炸药)为 $0.2 \sim 0.3\text{kg}$,每工日产量(不计在爆破漏斗中的松动方量)为 $6 \sim 11\text{m}^3$ 。单位耗药量略低于或接近钢钎炮定额,而工效却提高 $5 \sim 9$ 倍。通过实地检验,各药包间均未留埂,边坡顺直,爆破后基本形成路基雏形,其中 $K440 + 872 \sim K400 + 882$ 一段形成反坡,因石质坚硬完整,边坡顶上未发现袭缝,故属于稳定的边坡。

(二)大爆破施工

1. 爆破网路

(1)爆破网路的型式一般有以下几种:一条电爆网路,两条独立电爆网路并联,每条网路具有同样的电阻;一条电爆网路、一条传爆线网路同时使用等。

(2)电爆网路的连接方式,可分为串联、并联和混和联三种。

串联的设计和敷设比较简单,所需总电流少,电线消耗量少。但在网路中有一个电雷管失效,就会使整个网路中断,产生拒爆。为克服这一缺点,在生产中往往采用成对串联的串联线路,如图(4-1-43a)所示。

并联线路(图 4-1-43b),每个电雷管有两根端线,并分别集中联在两根主导线上,此时各个雷管的作用互不相干,即使有个别雷管失效,亦不影响其它雷管的正常起爆。但所需总电流大,丢掉一个电雷管不易发现。

混和联是串联和并联的混合使用,它可以是成组的电雷管之间的并联,而组与组之间采用串联,或者与此相反。混和联可以采用较小的电源,有一定的可靠性。在生产中常采用成对的并串联线路,如图(4-1-43c)所示。该线路接线简单,计算和检查容易,导线消耗较少,电源较少时亦适于采用,因此一般认为是一种比较合理的形式。但也应注意并联的两个电雷管中若有一个失效,则通过另一个雷管的电流要比正常电流大一倍,该雷管点燃时间就会减少而提前起爆,这就容易使其它药包发生拒爆。为确保炮群各药包准爆,最

好采用两条独立的成对串联的线路并联,或采用电爆网路传爆线网路混合使用。

表 4-1-14 纵向分集药包群爆破设计资料及效果分析表

| 药包编号 | 药包桩号 | | 最小抵抗线 W (m) | 药包中心至地表面的垂直高度 | | 自然地面坡度 a (°) | 抛坍系数 f (a) | 设计抛坍率 E _崩 (%) | 岩石单位耗药量 K (kg/m ³) | 药包重量 Q | | 分集药包间距 | | 子药包间距 | |
|------|--------|----------------|-------------|---------------|-----|--------------|------------|--------------------------|--------------------------------|---------|---------|--------------------|---------------------------------|-------|------|
| | 分集药包桩号 | 子药包桩号 | | H(m) | H/W | | | | | 设计 (kg) | 实际 (kg) | a _分 (m) | a _分 /W _{平均} | c(m) | c/W |
| 1 | K440 | K400 +850.5 | 6.7 | 13.4 | 2.0 | 75 | 0.28 | 78 | 1.9 | 159 | 70 | 9.9 | 1.30 | 3.0 | 0.45 |
| | +852 | +853.5 | | | | | | | | 89 | | | | | |
| 2 | +186.9 | +860 | 8.4 | 14.0 | 1.7 | 76 | 0.25 | 78 | 2 | 297 | 130 | 10.1 | 13.4 | 3.8 | 0.45 |
| | | +863.8 | | | | | | | | 167 | | | | | |
| 3 | +872 | +870 | 6.7 | 18.4 | 2.7 | 85 | 0.24 | 90 | 2 | 145 | 73 | 11.0 | 1.53 | 4 | 0.5 |
| | | +874 | | | | | | | | | 72 | | | | |
| 4 | +883 | +881.5 | 7.7 | 16.5 | 2.1 | 82 | 0.22 | 83 | 2 | 201 | 101 | 11.4 | 1.50 | 3 | 0.39 |
| | | +884.5 | | | | | | | | | 100 | | | | |
| 5 | +894.4 | +892.4 | 7.6 | 10.2 | 1.3 | 80 | 0.23 | 83 | 1.9 | 192 | 96 | 9.6 | 1.3 | 4 | 0.53 |
| | | +896.4 | | | | | | | | | 96 | | | | |
| 6 | +904 | +901.5 | 7.2 | 10.2 | 1.4 | 80 | 0.23 | 83 | 1.9 | 162 | 81 | 9.0 | 1.41 | 5 | 0.7 |
| | | +906.5 | | | | | | | | | 81 | | | | |
| 7 | +913 | +911 | 5.6 | 13.6 | 2.4 | 65 | 0.34 | 65 | 1.9 | 113 | 57 | 9.0 | 1.41 | 4 | 0.75 |
| | | +915 | | | | | | | | | 56 | | | | |
| 合计 | | | | | | | | | | 1269 | 1269 | | | | |

| 药包编号 | 下破坏作用半径 R _下 | | 上破坏作用半径 R _上 | | 压缩圈半径 R _压 | | 最大可见漏斗深度 P | | 爆破后岩堆自然安息角 θ(°) | 爆破方量及效果 | | | | | 单位耗药量 | |
|------|------------------------|--------|------------------------|--------|----------------------|--------|------------|--------|-----------------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 设计 (m) | 实际 (m) | 设计 (m) | 实际 (m) | 设计 (m) | 实际 (m) | 设计 (m) | 实际 (m) | | 断面内总方量 (m ³) | 爆破方量 (m ³) | 抛坍方数 (m ³) | 抛坍率 E _崩 (%) | 清方方数 (m ³) | 爆破单位耗药量 (kg/m ³) | 抛坍单位耗药量 (kg/m ³) |
| 1 | 9.5 | | 15.4 | 15.3 | 1.07 | 0.5 | 5.35 | 7.4 | 39 | 1139 | 984 | 782 | 79 | 202 | 0.161 | 0.203 |
| 2 | 12.0 | 12.0 | 18.4 | 18.1 | 1.34 | 0.5 | 6.7 | 5 | 35 | 1603 | 1399 | 1076 | 77 | 323 | 0.222 | 0.276 |
| 3 | 9.6 | 9.4 | 15.4 | 13.4 | 1.07 | 0.7 | 5.6 | 7.2 | 47 | 1367 | 1177 | 937 | 79 | 240 | 0.124 | 0.155 |
| 4 | 11.0 | | 16.8 | 12.3 | 1.23 | 0.6 | 6.4 | 4.2 | 49 | 1232 | 1002 | 858 | 85 | 144 | 0.218 | 0.234 |
| 5 | 10.9 | | 16.5 | 12.8 | 1.22 | 1.1 | 6.2 | 9.2 | 25 | 1187 | 987 | 930 | 94 | 57 | 0.197 | 0.207 |
| 6 | 10.0 | | 15.8 | 11.8 | 1.15 | 2.1 | 5.9 | 8.2 | 20 | 961 | 853 | 846 | 99 | 7 | 0.190 | 0.192 |
| 7 | 8.0 | | 12.0 | 11.6 | 0.91 | 0.5 | 4.3 | 6.1 | 30 | 695 | 695 | 605 | 87.1 | 90 | 0.163 | 0.171 |
| 合计 | | | | | | | | | | 8184 | 7097 | 6034 | 85 | 1063 | 0.179 | 0.210 |

2. 导洞药室的测量定位

按照设计图纸的要求,准确地将导洞进口位置具体确定在工地的桩位上,对于爆破效果的影响很大,如果偏差大,将达不到预期目的。

在公路爆破中,导洞药室一般成“L”或“T”形,由导洞、横拐洞和药室三部分组成。导洞有竖直导洞(竖井)和水平导洞(平洞)两种,药室设在横拐洞的端部,如图4-1-44所示。

在进行导洞药室定位时,应以路基设计中心线为基准线,以地面现有中心桩为基准桩。

首先确定导洞进口桩位,并打中心桩。对于水平导洞,除确定进洞桩位外,还必须依设计要求找出导洞方向和基准线的夹角,并在适当的地方打下方向桩。为避免方向桩、中心桩等丢失,应相应地打上护桩。进行定位测量后,应在洞口钉立指示牌,用示意图标明导洞断面、长度、横拐洞长度、药室尺寸及水平标准等。在开挖过程中应及时检查校正,以保证导洞药室的开挖符合设计要求。

3. 导洞药室开挖

(1) 炮眼的布置

导洞药室的开挖,一般是用眼法掘进。

导洞的断面尺寸,视地质情况和导洞深度而变化,一般为 $1.0 \times 1.2 \sim 1.5 \times 1.8 \text{m}^2$ 。对于风化严重、岩石较破碎的洞口地段,尺寸还要大些。

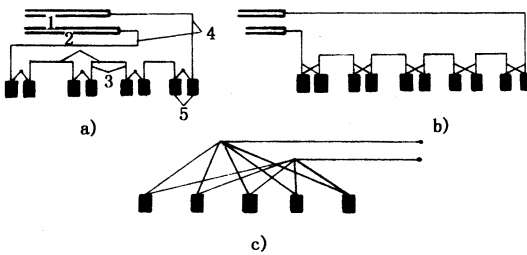


图 4-1-43 纵向分集药包 W 折线图及纵向布置图

a) 成对的单一串联 b) 并联 c) 并串联

1—主导线 2—区域线 3—脚线 4—连接线 5—雷管

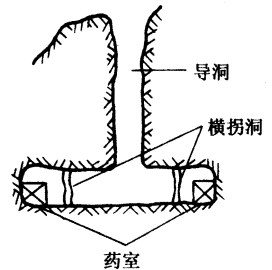


图 4-1-44

导洞开挖时,炮眼的布置数量视石质情况而有增减,坚石一般布置 7~9 个,次坚石一般布置 5~6 个,松石一般布置 3~4 个。炮眼深度 0.6~0.8m,断面大的可以深到 1~1.2m,或者更深,炮眼依其作用和位置分为掏槽眼、边眼。

掏槽眼布置在导洞断面的中央部分,眼口距离一般为 40cm,炮眼与开挖面倾斜角在 $70^\circ \sim 80^\circ$ 左右,使炮眼向断面中心会聚。一般炮眼相距 10cm 左右,掏槽眼的作用是为边

眼爆破创造临空面。

边眼布置在导洞断面四周 深度一致 爆破顺序是掏槽眼在先 边眼在后 见图 4-1-45。

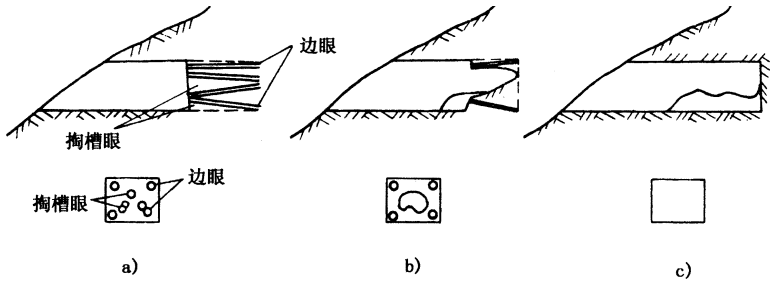


图 4-1-45

a) 在纵剖面和开挖面上的炮眼布置 b) 掏槽眼先爆后的临空面示意 c) 边角爆破后导洞全断面挖成

(2) 炮眼装药与堵塞

炮眼内的装药量 应视炮眼深度和石质情况及炮眼的作用而定。施工中一般是根据炮眼深度确定装药量,当深度为 $0.8 \sim 1.0\text{m}$ 时,装药长度约为眼深的 $2/5 \sim 1/2$ 左右,当眼深为 $0.6 \sim 0.7\text{m}$ 时,装药长度约为眼深的 $1/2 \sim 2/3$ 。由于掏槽眼的作用是创造临空面,故药量应多一些,但装药长度不得过长,而应当留出不少于眼深 $1/2$ 的堵塞长度,否则容易发生冲天炮。

装药前应清除炮眼内的石粉和泥浆等物,对于积水,亦应掏干。为防止炸药受潮,还应垫上油纸,药卷放入后应用炮棍轻轻挤压,起爆药卷应最后放入,并要特别小心,不能撞击,也不能挤压。

起爆方式,如导洞不深于 3m ,可用火花起爆,再深时,宜用电力起爆,或用飞火点火法。

炮眼的堵塞材料,一般为干细砂土、砂、粘土等,最好以一份粘土、三份砂(粗砂)在最佳含水量下混合而成的堵塞料。堵塞时对紧贴起爆药卷的堵塞物不要捣压,以防振动雷管引起爆炸,其余的堵塞物要轻轻捣实,但要注意防止捣坏导火线或雷管脚线。

在导洞掘进过程中,每次爆破后,首先应检查有无瞎眼炮,并作相应处理。在导洞较深的情况下,应进行人工通风,以迅速排除烟尘和有毒气体,然后处理洞壁危石,出渣后即可继续掘进,直至达到设计要求。

对于有经验的炮工,在Ⅸ级以下的岩石掘挖导洞,也成功地采用了“单炮”掘进的方法(采用猫洞炮药壶炮),工效较高。

4. 装药、堵塞和爆破

(1) 起爆体的制作

为了保证洞室炮中全部炸药能迅速准确地完成爆炸反应,应当用烈性炸药制作起爆

体(起炮药包)。起炮体的药量多少,视洞室中总药量多少而不同,一般为 $3\sim 20\text{kg}$ 。根据经验,若以铵油炸药为基本炸药,则每 500kg 须配置 $1\sim 2$ 个 3kg 2号硝铵炸药的起爆体。在生产中,每个洞室中配制的起爆体,一般不得超过4个。

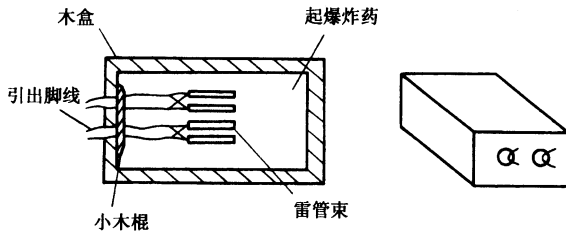


图 4-1-46 起爆体示意图

对于药量不大的药室,起爆体可用纸包装制作,而药量较大的洞室炮,则应当用木盒制作起爆体。其制作过程是,在盒内装入松散的起爆药,并在其中央放入经测试符合要求的雷管束。为了防止可能拉动雷管脚线而带动雷管,或损坏雷管脚线,应把脚线绕在一根固定在起爆体外壳上的小木棍上,如图4-1-46所示。

(2) 装药

装药前应最后一次检查导洞药室内有无残留瞎炮和丢失的雷管,并予以清除,确保装药过程的安全。以铵油炸药为基本炸药的装药过程为:

- ①在药室内垫上一层水泥纸袋。
- ②装入铵油炸药 $2/3\sim 1/2$ (堆成马蹄形)。
- ③然后装入 $1/3\sim 1/2$ 的起爆药(2号硝铵炸药)。
- ④再在上面放入起爆体。
- ⑤在起爆体上再盖起爆炸药。
- ⑥最后把余下的铵油炸药全部放入。

装药的基本要求是:药室四周全是基本炸药,内层为起爆炸药,核心为起爆体,而不能把起爆炸药和基本炸药混起来堆放。炸药的密度应各处相同。装药形状应尽可能集中,避免平铺分散。当药室不规则时,可用石块码放规则后再装药。起爆体多时,应将药按圆形布置在药室中心。

雷管脚线引出后,和外面电路接线要准确,并用竹片或其它材料予以包裹,以免损坏。

(3) 堵塞、接线和爆破

堵塞时,应先在离炸药堆外沿 $10\sim 20\text{cm}$ 外叠一堵石墙,封闭药堆构成药室;然后用土堵塞横拐洞(此时不能用力夯实,直至离洞室 2m 才正式进行夯实);以后可一层石块一层土分层回填。在回填土和夯实过程中应注意保护电爆线路。应设专人检查电路及量

测电阻值,做到随堵塞、随量测、随保护。当堵塞完成后,应量测洞室的总电阻,然后把该洞室各导线接成回路(短路),等待接洞室联线或主导线,以确保安全。

所有线路和主导线的连接,必须在最后进行。一切非有关人员必须撤离现场,才能接主导线。主导线连接完成后,应测定全线路的总电阻。总电阻应符合设计要求,否则就应检查原因并作相应处理。

起爆前,还应检查起爆电源的电压,如果符合要求,即可发出起爆讯号,通知警戒人员开始起爆。起爆后 15min 进行全面技术检查,无问题时再发出解除警报信号。如有瞎炮,必须小心谨慎,由专人负责指挥处理。洞室炮一般只能沿着导洞小心掏取堵塞物,找出电线重新起爆,否则应取出起爆体。对于硝铵炸药的中、小炮可用灌水使炸药失效等较安全的方法处理。

第四节 路堤施工

填方路堤施工是公路工程施工中一个非常重要的环节,需要精心组织,精心施工,确保工程质量。对于高速公路这种特殊的交通功能,对路基施工质量有着更高的要求。因此路堤施工必须从基底处理、填料选择、压实、排水、防护等各方面加以重视,依靠科技进步,采用新技术、新材料、新的检测手段,从而保证路基具有足够的稳定性和耐久性。

一、路堤施工的施工特点

与路堑开挖相比,路堤工程有以下特点:

(一)路堤基底处理

路堤是在天然地基上人为构筑的土体,是破坏原有状态而以一定要求填堆的土体,并与原地面接触而呈结合状态。它对路基质量有着重要的影响,特别是对路基的稳定性影响很大,需要根据地形和土质条件作适当的处理。正式施工前,除了必须进行伐树除根,清除杂草垃圾及不稳定的石块以外,横坡较大时,还需要做表土翻松、开挖台阶或凿毛(石质基底)。特殊土质,如软土、沙滩和有地下水上溢的地段,必须做进一步的稳定处理或换土。

(二)填土要求

路堤对填土要求很严格,使用不适当的土填筑会直接影响路堤的稳定性和强度。例如使用淤泥或腐植质含量较高的土料填筑的路堤,会产生路堤整段或局部的变形,也可

能因自重的原因产生滑坡,严重时 will 影响道路的使用,因此,一般最好采用强度高、水稳定性好的材料作为填料。另外,即使填土材料良好,但由于其所处状态不同,特别是含水量不同,所表现出的结果往往相差很大,解决填土的含水量问题是填筑路堤中一个很重要的环节,在一定程度上左右着工程的施工作业。

(三) 填方压实

路堤的填筑都要通过压实以达到路基土体符合要求的密实度,所以填筑必须是分层作业,同时,由于土的种类,以及其所处状态不同,使施工的作业程序、环节变得复杂起来,铺填土料厚度、填土方式、层间结合及压实机械和压实工艺,都成为施工中必须认真对待的问题,这是路堤填筑的又一特点。

二、基底及填土材料的处理

(一) 路堤基底的处理

路堤基底是指路堤填料与原地面的接触部分。为使两者结合紧密,避免路堤沿基底发生滑动,防止因草皮、树根腐烂而引起路堤沉陷,需视基底的土质、水文、坡度和植被情况及填筑高度采取相应的处理措施。对于一些特殊地基,如软土、冻土等处理时,技术比较复杂。对于一般的基底处理,通常包括以下内容。

1. 伐树除根及表土处理

路堤填筑时,如果不清除结合面上的草木残株等有害于路堤稳定的杂物,路堤成形后,一旦杂物腐烂变质,地基将发生松软和不均匀沉陷等现象。为了预防这种情况,就必须在填土之前做好伐树、除根和表层土壤处理工作。特别当路基填筑高度小于 1.0m 时,应注意将路基范围内的树根、草丛全部挖除。伐树、除根和清除草丛作业可采用人工方法或机械方法作业。

如基底的表层土系腐植土,则须将其表层土清除换填,厚度视具体情况而定,一般应不小于 30cm,并予以分层压实,压实度应符合规范要求。如发现草碳层、鼠洞、裂缝、溶洞等,都必须注意处理好,以防造成日后塌陷。有些清除物(如腐殖土),路堤修筑后,可取回作为护坡保护层使用,也可作为中央分隔带及绿化带的回填土,这时应注意堆弃位置要便于取回。

2. 耕地、水田的处理

路堤通过耕地时,筑填施工之前,必须预先填平压实,如其中有机质含量和其他杂质较多时,碾压时因弹性过大,不易压实,应换填干土。对于稻田,其表面往往存在一层松软薄层,如果直接填土,不但机械通行性很差,难于作业,而且填土也不能充分压实。若填土厚度大,第一层要填至 0.5 ~ 1.0m 厚,施工机械才能通行,以后可以按规定厚度铺

填,能够充分压实时可不必进行其他处理。若填土层较薄时,第一层则不能填得太厚,否则填土无法得以碾压密实,这时,应当在基底挖沟排水,使填土底层保持干燥,再进行填方压实作业。如果水田水位过高,简单地设置排水沟也不能使水充分外排,从而不能保证机械通行,且由于地下水毛细管作用侵入填土,而恶化填土性质,应在原表土和填土之间加砂垫层,以利于水的排出,如图 4-1-47 所示。

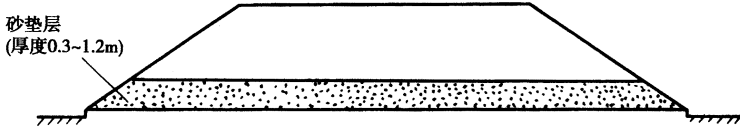


图 4-1-47 砂垫层排水处理

如果填土基底有小池塘或泉眼,就应敷设暗排水管等排水设施,或者用耐水性强的道渣或碎石充填压实到原水位的高度以上,在填土后进行有效排水,防止侵入填土。

3. 坡面基底的处理

填方路堤,如基底为坡面时,在荷载作用下,粒料极易失稳而沿坡面产生滑移,因此在施工前必须注意对基底坡面处理后方能填筑。经验表明,当坡度较小,在 1:10~1:5 之间时,只需清除坡面上的树、草杂物后,将翻松的表层压实后即可保证坡面的稳定,但当坡度较大,在 1:5~1:2.5 之间时,应采取如图 4-1-48 所示的方法将坡面做成台阶形,一般宽度不宜小于 2.0m,高度最小为 1.0m,而且台阶顶面应做成向堤内倾斜 4%~6% 的坡度。如果基底坡面超过 1:2.5 时,则应采用修护墙、护脚等措施对外坡脚进行特殊处理。

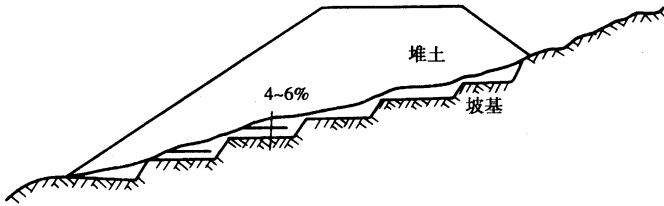


图 4-1-48 横坡较大时台阶形基底

(二) 路堤填料的选择和处理

用于路堤填筑的土料,原则上就地取材或利用路堑挖方土壤,但对填土料总的要求是:具有良好的级配和一定的粘结能力,易于压实稳定;具有基本上不受水浸软化和冻害影响等。淤泥、腐殖质等稳定性较差的土一般不宜作为填土,必须使用时,应根据公路技术规范,有限制地选用。

对于透水性良好的石块、碎(砾)石土、粗砂、中砂和湿度未超过所设计规定极限值的亚砂土、轻亚粘土和粘土等,均可用于填筑路堤。

在特殊情况下,受工程作业现场条件的限制,在路堤填筑工地附近可能没有合适的填土材料,而从远处运来又不经济,这时通常是对附近不符合施工规范要求的土料进行适当处理后,作为填土使用。

1. 含水量调节

一般情况下,如料场土料的自然含水量接近最佳含水量时,这时只要对挖出的土料及吐装卸上堤,及时摊平碾压即可。如果土料含水量过高,应予以翻晒,最好利用松土机或圆盘耙搂翻,增大曝气面,加速蒸发效果。另外,也可在取土场工作面下面挖沟,使地下水位降低,改变土料含水量,这也是一种有效方法。如含水量过低时,常在材料上人工洒水,洒水量可由自然含水量和最佳含水量之差简单地求出,常用的洒水工具有洒水车和水泵等。在实际工作中,土料的人工湿润可在取土场和堤上进行,由于取土场场地宽阔,工作方便,易控制洒水均匀,如有洒水过度,也不影响堤上已有的土体,因而采用较多。在料场湿润土料,可以采取把取土场用水淹没起来的方法进行,宜用于粘土层垂直孔隙较大的情况。作业时,应首先除掉表土植物层,并将土面整平,而后灌水淹没,直至吸够必需水量为止。所需水量由地面至挖深厚度内全部土体计算,淹水后的土壤不宜立即取用,需让水经一定下沉或蒸发后方可使用。

在路堤施工时,也常采用洒水车直接在堤上喷洒,但应配用圆盘耙等机具对土料进行翻拌,使其润湿均匀。还须预计润湿时间,绝不可洒水后立即碾压。

2. 化学稳定处理

即利用石灰或水泥作稳定剂对土壤性质进行改良,达到填土要求。这种方法对含水量大、塑性高的材料(如粘土)或强度不足的其他材料(如含有大量细粒砂的砂质土)都有较好的效果。

化学稳定处理的施工方法,是将土和石灰、水泥等添加材料按一定比例混、拌均匀后铺平压实。一般采用路拌式稳定土拌和机(灰土拌和机)和平地机等进行作业,也可由设于专门场地的厂拌设备制备。

三、路堤的填筑作业

(一)路堤填筑方法

路堤填筑是把填料用一定方式运送上堤进行铺平、碾压密实的过程。路堤填筑分为水平分层填筑法、纵坡分层填筑法、横向填筑法和混合填筑法等四种方法。

(1)水平分层填筑法。填筑时按照横断面全宽分成水平层次,逐层向上填筑,如图4-1-49所示。如原地面不平,应从最低处分层填起,每填一层经过压实符合规定要求后再填上一层。

(2)纵向分层填筑法。宜于用推土机从路堑取料填筑距离较短的路堤,填方侧应按要求人工开挖土质台阶后,依纵坡方向分层,逐层向上填筑碾压密实,如图4-1-50所示。原地地面纵坡大于12%的地段常采用此法。

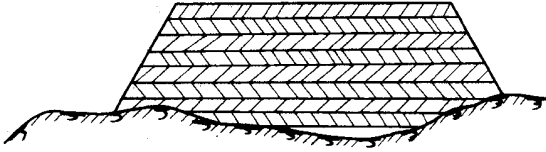


图 4-1-49 水平分层填筑法

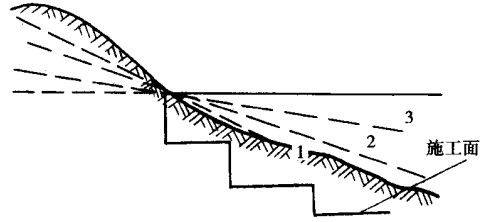


图 4-1-50 纵向分层填筑法
1、2、3 铲土作业顺序

(3)横向填筑法。从路基一端或两端同时按横断面的全部高度,逐步推进填筑,仅用于无法自下而上填筑的深谷、陡坡、断岩、泥沼等运土和机械无法进场的路堤,如图4-1-51所示。横向填筑因填土过厚,不易压实时,施工时需采取下列措施:

- ①选用高效能压实机械;
- ②采用沉陷量较小的砂性土或附近开挖路堑的废石方,并一次填满路堤全宽度;
- ③在底部进行拔土夯实。

(4)联合填筑法。即路堤下层用横向填筑,而上层用水平分层填筑。使上部填料经分层压实获得需要的压实度,如图1-4-52所示。混合填筑法适应于因地形限制或填筑堤身较高,不宜采用水平分层法和横向填筑法自始至终进行填筑的情况。

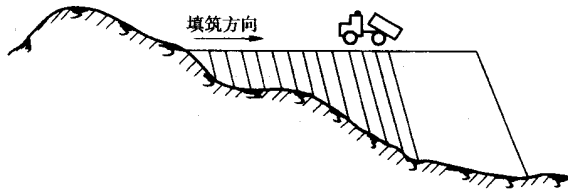


图 4-1-51 横向填筑法

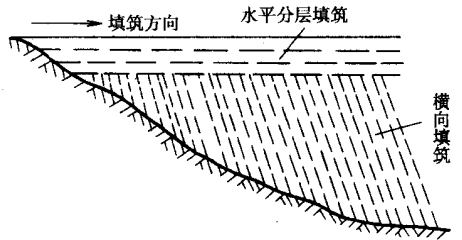


图 4-1-52 联合填筑法

上述方法中(2)(3)(4)路堤施工方法工程质量较难保证,同时也不易检测,因此,除非工程特殊要求外,一般应尽可能采用第(1)种方法施工。

(二)路堤机械化作业

1. 推土机作业

(1)推土机横向填筑

这是一种水平分层填筑方法。推土机在路堤一侧或两侧取土场取土,一般沿线路分段进行,每段距离以 20~40m 为宜,可以单机作业,也可多机作业。多在地势平坦,或两侧有可利用的山地土场的场合采用。

在路堤单侧取土时,在每段,推土机可采用穿梭法进行作业,如图 4-1-53 所示。作业时,推土机铲满土料,推送至路堤的坡脚,卸土后,按原路返回到铲挖位置,如此往复在同一路线上。采用槽式作业法送 2~3 刀就可挖到 0.7~0.8m 深,然后作斜线倒退,向一侧移位,同样方法可推送相邻土料。整个作业区段完成后,可以沿作业时相反方向侧移,可推净遗留土埂,整平取土坑。

当推土机由路堤两侧取土场取土时,每侧作业方法与上述方法相同,所不同的是路堤用土由两侧运来,分别推至路基中心线即可。作业时,为使中心线两侧运土的结合处能充分压实,两侧运来的土料均应推送超过中线。采用这种作业方法时,每个作业区段最好由两侧相同台数的推土机,相向同步作业,可使路堤均衡对称地成形(如图 4-1-54)。

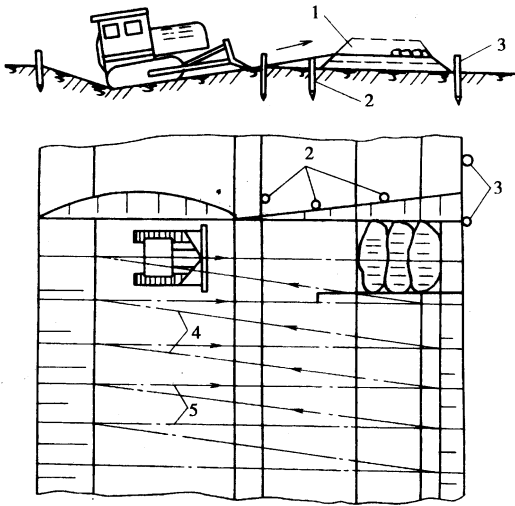


图 4-1-53 推土机单侧取土填筑路堤
1—路堤 2—标控桩 3—间距为 10m 的高标杆;
4、5—推土机作业路线

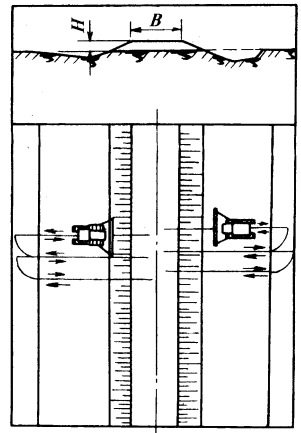


图 4-1-54 推土机从两侧取土填筑路堤
B—路宽 ; H—路基高

用推土机从两侧取土填筑路堤,适宜于取土距离较短、路堤较低的情况,一般在 1m 以下。作业时要分层有序地进行,每层厚视土质及压实特性而定,一般为 20~30cm,并须随时分层压实。

(2) 推土机纵向填筑路堤

用推土机进行移挖填土施工,多采用这种方法(一般多用在丘陵、山地)。可做纵坡分层,只要挖方土壤符合填土要求,即可采用。但以开挖部分坡度不大于 1:2 为限。开

挖中应随时注意复核路基标高和宽度,避免超挖和欠挖。纵向填筑路堤作业,如图 4-1-55 所示。

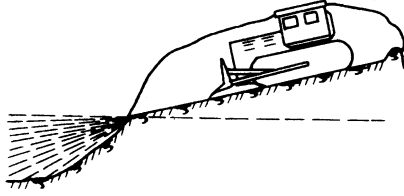


图 4-1-55 推土机移挖填土施工填筑路堤

(3) 综合作业法

这是上述两种方法的综合,即在纵横方向联合作业,宜分段进行,每段 60~80m,每段中部设有横向送土道,用横向作业的方式,将两侧土壤送上路堤,再由另外的推土机纵向推送铺平,同时,分层压实,如图 4-1-56 所示。

2. 铲运机作业

利用铲运机填筑路堤,其基本方法与推土机大致类似,仅以作业现场条件不同而有所区别。最大特点是曲线作业散落料少,故有更灵活的作业路线,并适宜于较远距离取土,一般为 100m 以外,且填筑高度为 2m 以上为宜。其作业的运行路线,在根据地形条件,考虑施工效率时,有以下几种基本方式,可在实际工作中灵活应用。

(1) 椭圆形运行路线

此方法适用于填土高度在 1.5~2.0m 以内,且工作长度在 100m 以下的情况,主要缺点是重载上坡转向角大,转弯半径小;每一循环,铲运机需要转两次 180°大弯。如图 4-1-57 所示。

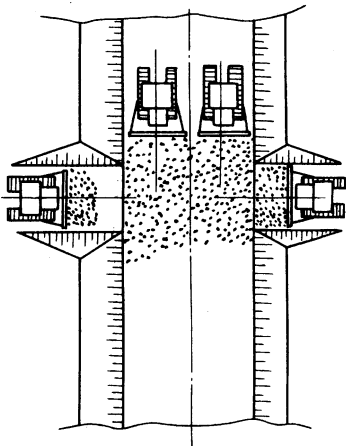


图 4-1-56 综合作业法填筑路堤

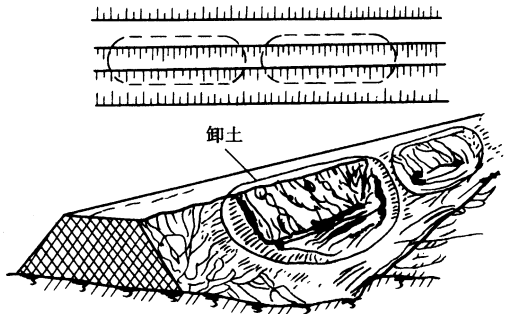


图 4-1-57 铲运机椭圆形运行路线

(2) 8”字形运行路线

实际上是上述椭圆形路线的组合,每一个作业循环,在同样两次 180°大转弯的情况下,可完成两次铲装、运送、卸土的过程,如图 4-1-58 所示。而且可以容纳多机作业,工效比单椭圆形作业路线有一定程度的提高,多用于工作段较长(一般为 300~500m)的填筑作业,要求取土场在路堤两侧。作业区段较长时,可以多个“8”形工作面首尾相连。可在整个区段内连续作业,适宜于群机作业。如果各机间隔适当,可使其互相不受干扰,并且把每次填挖段与上次的错开,作业均衡,但一次循环的时间较长。

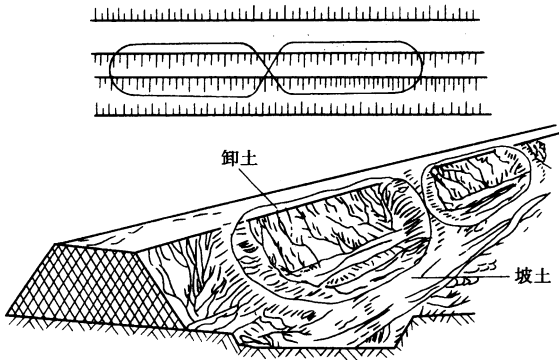


图 4-1-58 “8”字形作业路线

(三) 全堤宽循环作业

上述几种方法,均在路堤单侧取土(指一个循环内),对于两侧取土场同时取土作业时,可采取全堤宽循环作业的方法,即铲运机连续相间地在路堤两侧取土场取土,而在路堤全宽上均匀铺散,其运行路线如图 4-1-59 中所示。这种作业方法,适宜于作业区段较长,且宽度较大的路堤填筑。铲运机每次循环中,多次装卸土壤,运行路线可均匀错开,因此碾压质量较好。

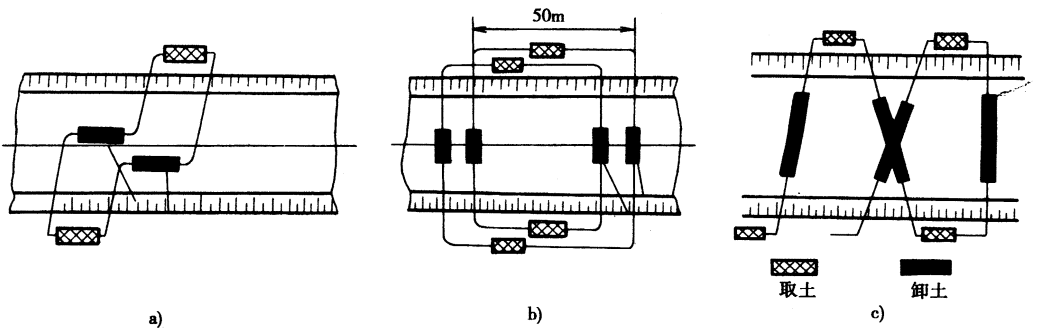


图 4-1-59 全堤宽循环作业
a) 穿梭式 b) 螺旋式 c) 环回式

用铲运机填筑路堤,无论采取何种运行路线,在路堤整个宽度上,应注意从两侧分层向中间填筑,始终保持两侧高于中间,可防止铲运机向外翻车,当两侧填至标高时,再填平中间并按要求修整成一定的拱形。

另外,铲运机进行路堤填筑作业时,经常是利用自重压实的。因此,作业过程中,卸土应均匀分布在堤面上,同时铲运机车轮应使路堤上的卸土都能被压到,以保证路基的压实质量。

当路堤高度在 1.0m 以上,应修筑运行通道,高度大于 2m 时,每隔 50 ~ 60m 修筑一个通道或缺口,最小宽度为 4m,使铲运机转弯半径不小于 6m。上坡通道坡度一般为 15% ~ 20%,下坡极限坡度为 50%。整个填筑作业完成后,所有进出口通道应予封填。

(四) 挖掘机(或装载机)与运输车辆配合作业

用正铲、反铲和抓斗挖掘机或装载机与运输车辆配合进行路堤填筑施工,适用于取土场较远或特殊地形的施工条件下作业。工作过程比较简单,挖掘机或装载机按其基本作业方法进行挖掘装载,由运输车辆将土料送上路堤,然后由推土机或铲运机按规定厚度铺平并由压实机械压实,采用这种作业方法,影响工效的主要因素是,与一定装载能力的挖掘装载机械相配合的运土车辆数及运行路线。

图 4-1-60 所示为正铲挖掘机与自卸卡车配合作业的运行路线图,挖掘机在取土场设有四个掘进道,而汽车运行路线视土质优劣,分两路运行,填土运上路堤按路堤放样边桩分层、有序卸填,弃土直接运往弃土地点。

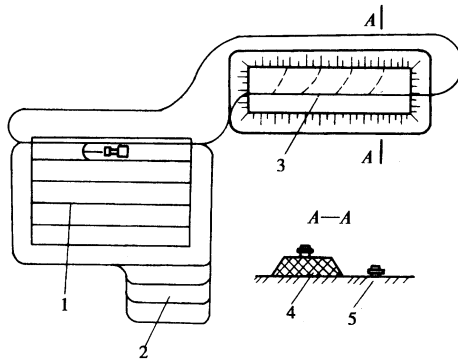


图 4-1-60 正铲挖掘机与运输车辆配合作业

1—取土坑 2—不适用的废弃土 3—重车道 4—路堤 5—汽车

其它挖掘机和装载机作业时,方法与此相同,仅在于各种挖掘装载机械施工条件不同,如拉铲装车较为困难,要求司机操纵技术熟练,由于抓斗对土壤适应性差,一般不作直接挖土工作,这些类型的工作装置进行填土作业时,效率不及正铲。

与挖掘装载机械配合作业的车辆数,除与挖掘机、汽车性能有关外,同时还与运输距

离、道路条件、驾驶员技术素质有关,还受到平整和压实机械生产能力的影响。因此,应尽可能使各种设备,而不仅仅是运输车辆,做到相互平衡、协调,才能既使总的工效最佳,又使各机种利用率和单机效率提高。

四、填土边坡施工

路堤边坡施工是路堤作业中的重要环节,如果注意不够,不但延误工期,降低工程质量,造成经济损失,而且也可能给运输安全带来很大的威胁,施工中务必充分重视。

路堤边坡的要求应符合《公路工程技术标准》(JTJ001—97)中的规定,还要在施工时注意以下几点:

1. 放样。根据线路中桩和设计图表,通过放样,定出边坡的位置和坡度,确定路基轮廓,要求放样准确可靠。
2. 做好坡度式样,按照规定,首先在适当位置做出边坡式样,作为全面施工的参照,以免沿错误边坡延续施工。
3. 随时测量,对高路堤或深路堑,每做一段距离就要抄平打线一次,发现问题,及时纠正,变坡点处,更要注意测量检查。
4. 留有余量。路基修筑(包括路堑、路堤)时,边坡部位要留有一定的余量,以方便进一步修正后,达到设计要求的标准。岩石边坡要尽量一次完成。

此外,边坡附近,如遇打眼放炮时,要严格控制炮眼方向及装药量,防止将边坡震松破坏。

填土边坡面,除了截面符合施工图纸形状,并注意上述各点外,施工中最重要的一点是边坡的压实,如果边坡面层和路堤主体相比不够密实,在遇降雨天气时,很可能在水的作用下发生滑坡等破坏,为了防止这种情况,要对路堤边坡尽可能采用机械压实的方法,达到密实度要求。

施工中,需估计施工过程中降雨的情况,采取必要措施预防因遭雨水洗剥和水渗透而发生边坡滑移。由于填土坡度面的施工程序和压实方法不当,引起的路堤崩溃和路侧下沉的情形是经常发生的。路堤边坡施工应尽量选定既简单又能有效保证路堤边坡安全的方法。

路堤边坡坡度在1:1.8左右时,坡面要拉线先放粗坡,用自重3t以上的振动压路机(拖式)从填土坡脚开始向上卷振压实,如图4-1-61所示,注意必须是从下往上振压。放下过程中,不能振动,防止斜坡上的材料被振松而滚滑。土质良好坡度不大时,也可用推土机在斜坡上往返行驶压实,这也是压实边坡行之有效的方法。对含水量较高的粘性土,须选用湿地推土机进行压实。

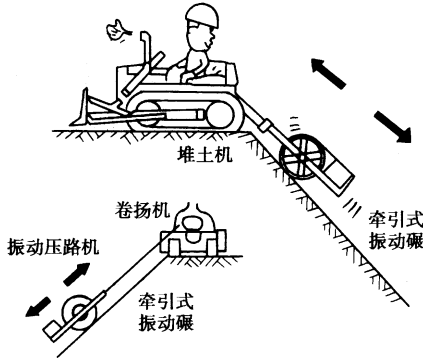


图 4-1-61 用振动压路机(拖式)压实边坡

另外一种路堤边坡施工方法,是填土时适当加大宽度和高度,然后分层填土、压实,多余部分可利用平地机或其他方法铲除修整即可。这种方法作业面增大,需要有一定的施工回旋活动余地,但在没有条件进行坡面压实的情况下,往往可以取得满意的效果。

路基经过填土、压实后,要进行整形作业,除路基顶面以外,施工作业较复杂的也是边坡面的整形,可用平地机或推土机进行。

1. 平地机坡面整形作业

由于平地机的性能和刮刀长度的限制,当坡面坡度为 $1:1.5 \sim 1:5$ 时,坡面在平地机刮刀宽度以内时,可以用一台平地机在一个平面上行驶作业(图 4-1-62)。如果坡面超过刮刀宽度或坡度较缓时,一台平地机在一个平面上无法完成全坡面整形,可采用两台平地机在上下两个平面上同时进行作业,或一台平地机分两次在上下两个平面内分别作业,如图 4-1-63 所示。对于平地机在上下两平面上仍不能完成整形作业的大坡面,则必须在分层填筑过程中,在适当时候就进行修整。

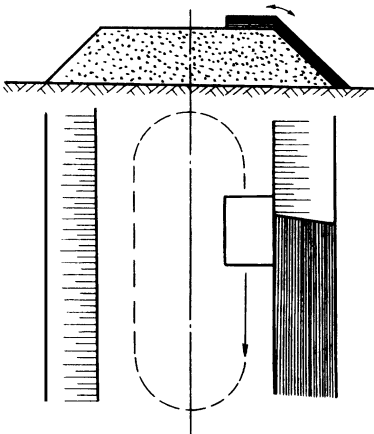


图 4-1-62 单台平地机坡面整形

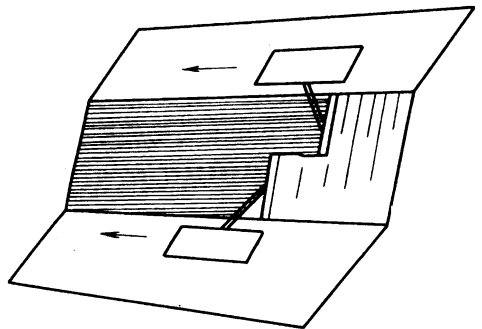


图 4-1-63 两台平地机坡面整形

无论采取何种方式进行坡面整形,施工作业前,都必须在作业段两端做好标准坡面,以便在刮削时有所参照,或者随时用线绳联结两端标准坡面同一位点,指导、检查平地机作业情况,防止超刮及欠刮。对于有找平装置的平地机,也可以用拉线的方式,设置基准进行作业。

当坡面一旦出现超刮,要用人工分层夯实的方法,超高回填后,再做刮削,使之与原坡面构成一体,对于要求较高的过水坡面,上述回填应采取齿阶接合。这个工作一般较为困难,且不易保证工程质量,故要尽量避免发生超刮现象。

2. 推土机坡面整形作业

推土机坡面整形作业,只适应于坡度较小(小于 1:2.5)的坡面。一般先用人工做出标准坡面,然后推土机紧靠标准坡面,自下而上或自上而下进行刮削,为了保证推土机不致于远离标准坡面而造成超刮现象,作业段内应有-定数量的标准坡面以对推土机的作业加以控制,标准坡面布设一般为铲刀宽 4~6 倍为宜,即 10~15m。

由于推土机进行整形作业时,是与机车在坡面上行驶的同时进行的(而平地机是在平面上行驶)因此,推土机作业过程中,虽然可以多布设一些标准坡面,以便对照,但仍然比较难于掌握,所以对操作人员的技术水平要求较高,可根据推土机行驶的坡度与铲刀切削坡度一致的程度,采用简易的环形测坡仪进行监测,以便控制。一般而言,推土机进行坡面整形作业的质量远不如平地机容易控制。

第五节 路堑施工

路堑开挖是路基施工中工程量最大,最普遍的施工内容,有多种施工机械,适宜于使用并能充分发挥机械的优势。所以,路堑开挖主要采用机械化施工。

一、工程特点

从作业程序上说,路堑施工较为简单,无非是按一定要求把土挖掘并运到弃土地点,不像路堤填筑有材料选择、分层碾压密实等问题存在。然而,从施工经验和公路使用的角度看,路基上发生的问题,却大多出在路堑上。例如,路堑施工往往成为整个工程的控制工程,影响工期。施工中常发生塌方、落石等事故。在道路使用过程中,路堑地段又是塌方、滑坡、翻浆、冒泥、冻害等路基病害的多发区段,而这些又在很大程度上与路堑施工得当与否有着密切的关系。如由于开挖坡度不合适或弃土太近,使土体失去平衡而发生

塌方,由于排水不良造成土体松软发生边坡溜滑;由于没有及时修筑挡土墙等防护工程而发生滑坡现象。因此,在路堑施工中,对采取的作业方式、开挖步骤、弃土位置等应予充分重视,进行全面规划,保证有较高的质量和效率。所以,在挖掘作业特别是深挖掘作业时,应将粗加工和挖掘作业同时进行,使坡面作业尽量减少;并且必须经常不断地检查尺寸;单面挖掘,单面堆土时,应尽量避免土堆太高;即使设计上没有防滑措施,也要将基底面进行阶梯挖掘,才比较合理。

深挖掘的另一特别需要注意的问题是:应保证施工过程中或竣工后的有效排水。一般应先开挖排水沟槽,并设法排除一切可能影响边坡稳定的地面水和地下水,为此,路基开挖作业时应注意以下几点。

1. 由于水是造成路堑各种病害的主要原因,所以,不论采取何种开挖方法,均应保证开挖过程中及竣工后的有效排水,施工时均应先开挖截水沟,并设法引走一切可能影响边坡稳定的地面水和地下水。开挖路堑时,要在路堑的线路方向保持一定的纵坡度,以利于排水顺利和提高运输效率。

2. 开挖时应按照横断面自上而下,依照设计边坡逐层进行,防止因开挖不当而引起边坡失稳崩塌。对类似如图 4-1-64 所示的情形,由于挖削部分较薄,对坡体崩塌问题往往容易忽视,应按原有自然坡面自上而下挖至坡脚,不可逆转施工,否则,可能引起滑坡体滑塌。

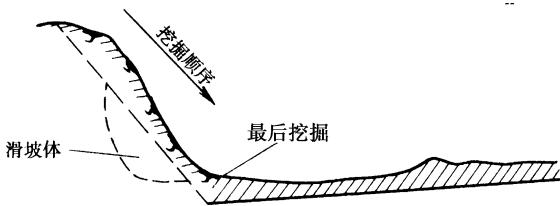


图 4-1-64 路堑边坡防滑措施

3. 在地质不良拟设挡土墙的路堑中,路堑开挖应以分段挖掘,同时修筑挡土墙或其他防护设施的方法为宜,以保证安全。

4. 路堑弃土应按要求,整齐地堆在路基一侧或两侧。弃土堆内侧坡脚(靠路堑一侧)至路堑边坡顶端距离不得小于一定限度。如图 4-1-65 所示。

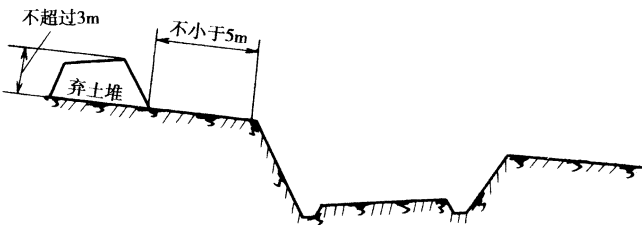


图 4-1-65 弃土堆位置

5. 对于弃土运往它处时,挖掘工作面的运输散落土料,要及时清除,尤其是每个工作日作业结束时,更要注意及时用推土机将散落土清除干净,以防土遇淤积水,造成滑坡损害,以致发生崩塌事故。

6. 松软土地带或其他不符合要求的土质地段,要采取各种稳定处理措施,并注意地下水的上升情况,据需要应设置排水盲沟等。

二、路堑的开挖

路堑开挖前,应做好现场伐树除根等清理工作,如果移挖作填时,还需将表层土壤单独掘弃。路堑的开挖方法根据现场施工条件,可采用以下几种基本方法。

1. 全断面开挖法

从开挖路堑的一端或两端按断面全宽一次挖到设计标高,逐渐向纵深挖掘,挖出的土方一般都是向两侧运送,如图 4-1-66 所示,这种方法适用于深度不大,且较短的路堑。

2. 分层横挖法

从开挖路堑的一端或两端按横断面分层挖至设计标高。每层都有单独的运土出路和临时排水设施,适用于开挖深而短的路堑。土方工程数量较大时,各层应纵向拉开,做到多层、多方向出土,可安排较多的劳动力和施工机械,以加快施工进度。每层挖掘深度视工作方便和安全而定,一般为 1~2m,分层挖掘法如图 4-1-67 所示。



图 4-1-66 全断面开挖法

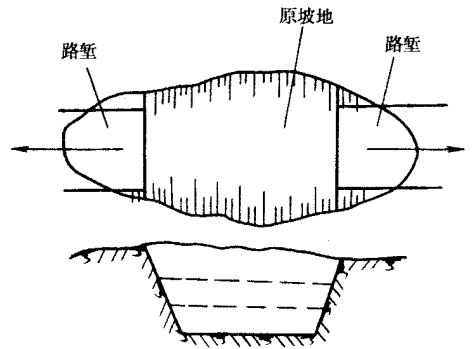


图 4-1-67 分层横挖法

3. 分段纵挖法

当路堑较长,开挖深度不大时,把开挖路堑横断面分成若干段,并沿纵向条形开挖,一般出土于两侧。若是傍山路堑,一侧堑壁不厚,选择一个或几个地方挖穿路堑壁出土。如图 4-1-68 所示。

4. 分层纵挖法

如果路堑宽度及深度都不大,可以纵向分层挖掘。在短距离及大坡度时,可用推土机施工,较长的宽路堑则宜用铲运机作业,如图 4-1-69 所示。

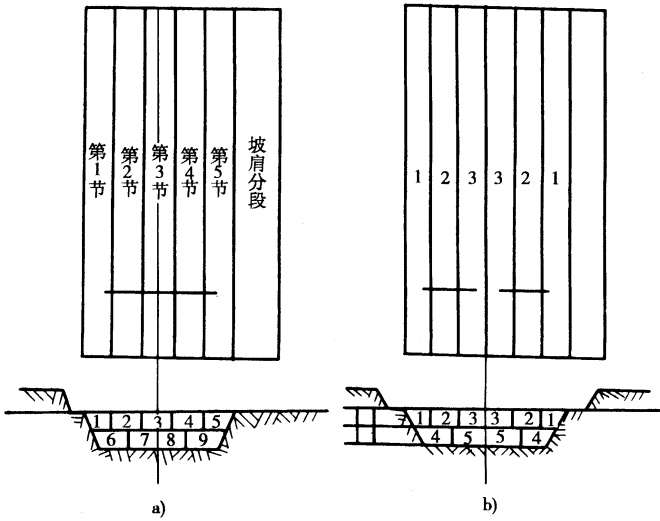


图 4-1-68 分段纵挖法

a) 单侧出土 b) 双侧出土

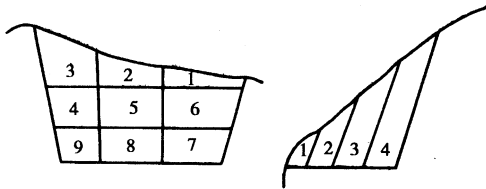


图 4-1-69 分层纵挖法

5. 通道纵挖法

在开挖路堑全长上,沿路堑纵向先挖出一通道,然后开挖两旁,这是一种快速施工的有效方法,通道可用于机械通行或运输土料车辆的运土。

三、路堑开挖机械化施工

(一) 推土机作业

推土机具有操纵灵活、运转方便,既可开挖土方,又能短距离运输土料的特点,在路堑开挖作业中被广泛应用。

采用推土机开挖路堑,根据具体情况可有两种施工作业方法。

1. 平地上两侧弃土 横向开挖

用推土机横向开挖路堑,其深度在 2m 以内为宜,如图 4-1-70 所示。开始时,推土

机以路堑中线为界,向两侧用横向“穿梭”推土作业法进行,将路堑中挖出的土送至两侧弃土堆,最后再做专门的清理和平整,当开挖深度超过 2m 时,则需与其他机械配合作业。

此外,对上述施工作业,推土机也可采用环形作业法,如图 4-1-70 所示。推土时,推土机可按椭圆形或螺旋路线运行,这种运行路线可利用推土机本身对弃土堆进行分层压实和平整。

不论采用何种作业路线进行路堑开挖,都要注意不允许路堑的中部下凹,以免积水。在整个开挖段上,应做出排水方向的坡度以利排除降雨积水。在接近挖至规定断面设计线时,应随时复核路基的标高和宽度,避免出现超挖或欠挖。通常在挖出路堑的粗略外形后,多采用平地机整修边坡和边沟。

2. 纵向开挖山坡路堑

(1) 开挖傍山半路堑 一般多用斜铲推土机进行。开挖时首先由路堑边坡的上部开始,沿线路行驶,渐次由上而下,分段、分层将土推送至坡下填筑路堤处。推土机的水平回转角根据土壤的性质来调整,在 I、II 级轻质土壤上作业时,可调至 60° ;在 III、IV 级土壤作业时可调至 45° 。由于推土机沿山坡施工,要特别注意安全,推土机始终应行驶在坚实稳定的土壤上,填土部保持道路外侧高于内侧,行驶的纵坡角不宜超过推土机最大爬坡角。

采用上述方法时,铲刀的平面角使土料沿刀身向填土部送出,当使用直铲推土机完成这种半路堑作业时,土料只能由推土机曲线行驶,方可卸土于填土部,这时,最好铲土数次,将几次铲起的土壤集至一处堆起,然后再将土壤一起推运到边坡前沿卸土。这样不但可提高推土机的生产效率,而且比较安全。直铲推土机进行开挖半路堑作业只适用于坡度不大(25° 以下)的场合。

(2) 开挖深路堑 开挖深路堑运土作为填土路堤作业时,应首先作好准备工作,要在开挖路堑的原地面线顶端各点和填挖之间零点处,设置标记,同时挖半小丘,使推土机能顺利进入作业现场。如果推土机能沿斜坡驶至最高点时,则可以由路堑的所在坡面上顶点处开始,逐层开挖至路堤处,开挖时可用 1~2 台推土机沿线路中线的平行线进向纵向推填,如图 4-1-71a)所示。当路堑挖到设计深度的一半位置时,再用另外 1~2 台推土机,横向分层推削路堑斜坡,如图 4-1-71b)所示。由斜坡上推削下来的土壤,仍由下面的推土机送至填土区段,直至路堑路堤全部完成为止。

这种深路堑的开挖顺序,如图 4-1-72 所示,每层均按沟槽运土法开挖,并尽量利用地形做到下坡推土。

(二) 铲运机作业

铲运机开挖路堑也有两种作业方法,一是横向弃土开挖;二是纵向移挖作填。路堑应分层开挖,并从两侧开始,每层厚 15~20cm,这样做既能控制边坡,又能使取土场保持

平整,同时还应沿路堑两侧做出排水纵坡。

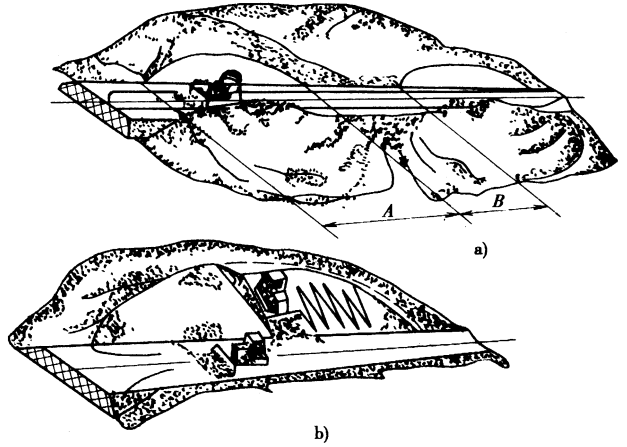
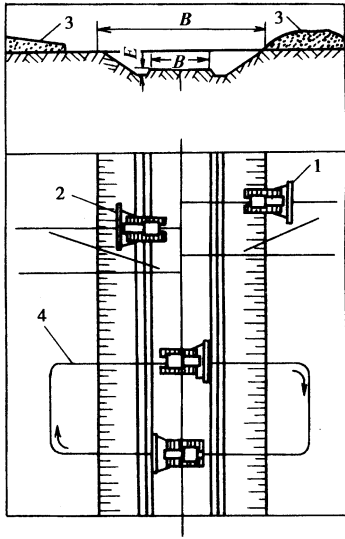


图 4-1-70 推土机横向开挖路堑施工作业图

图 4-1-71 推土机深挖路堑作业

1、2—两台推土机采用“穿梭”作业法 3—弃土堆； a)推土机纵向推填 b)纵向横向协作推填
4—推土机环形作业法

路堑在以下情形下,宜采用横向开挖,即:堑顶地面有显著横坡,而上游一侧须设置弃土堆,阻挡地面水流入路堑;路堑中纵向运土距离太长,超过铲运机的经济运距,严重影响工效;不需要利用土方或利用有剩余时,长路堑由于施工条件的限制,机械只承担其中一段,两端又无法纵向送土时。横向开挖路堑的施工运行线路与路堤横向取土填筑类似。

铲运机纵向移挖作填,当路堑须向堑口外相接的路堤处运土填筑时,铲运机应当利用纵坡自路堑端部开始作下坡铲土,适用于并逐渐向堑内段延伸挖土长度,而填筑路堤也应做相应的延伸。

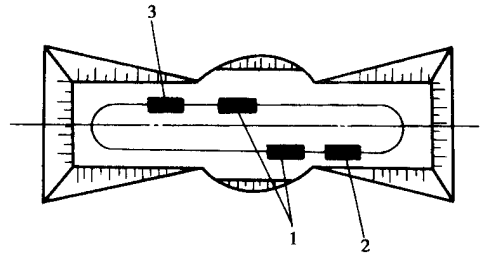
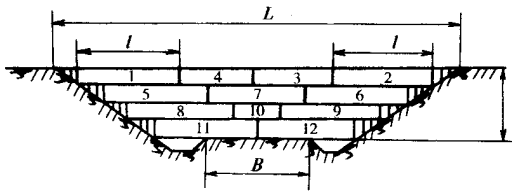


图 4-1-72 深路堑开挖顺序(推土机)

图 4-1-73 铲运机纵向移挖作填作业

1—卸土 2、3—铲土

一般铲运机可在路堑内做 180° 转向,从路堑两端分别开挖,当延伸到路堑中部时,长度在30m以内时,可改用直线迂回运行圈的方法,作纵向贯通运行,往返交替向两端挖

运,如图 4-1-73 所示。如果地面纵坡过陡,铲运机不能运行时,应先用推土机在路堑的端部推出 15° 左右的缓坡。此外,在挖土区段内,每隔 $20 \sim 30\text{m}$ 宽度为铲运机开通一条回驶上坡道,并延伸至填土区段内。这样铲运机可用较大功率下坡铲土,在填土区段上回驶坡道卸土填方,并逐步扩大通路宽度,直到工作面的全宽普遍具备正常运行条件。

铲运机纵向运土时,也可根据工地情况采取如图 4-1-74 所示的几种不同的行走路线。当然,一次循环可以做两次甚至更多次取土、卸土,视作业面纵向长度而定,这样可获得更好的经济性。

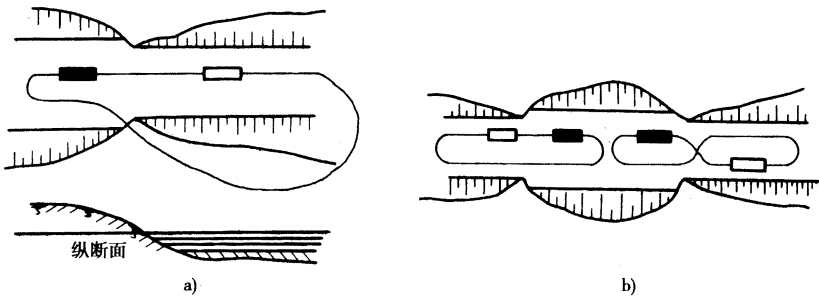


图 4-1-74 铲运机纵向运土行走路线

a) 原地面返回 b) 路堤上返回

铲运机开挖路堑作业,应先从两侧开始,如图 4-1-75 所示,避免造成超挖欠挖,否则将大大增加边坡修整的工作量,特别是边坡大于 $1:3$,而不能用机械修整时尤其应当注意。另外采取先挖两侧的顺序,亦利于雨后排水。

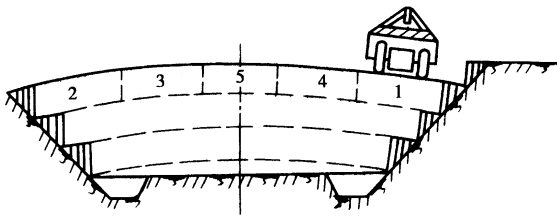


图 4-1-75 铲运机开挖路堑顺序

(三) 挖掘机作业

用挖掘机开挖路堑,一般是与运输车辆配合作业的。

1. 正铲挖掘机开挖路堑

正铲挖掘机进行路堑开挖作业,可采用全断面开挖和分层开挖两种方法,如路堑深度在 5m 以下时,可采用全断面开挖,挖掘机一次向前开挖路堑全宽至设计标高,运输车辆停在与挖掘机同一平面,且并列布置,或在挖掘机后侧,如图 4-1-76 所示。这种方法施工简单,但挖掘机须横向位移,才能挖到设计标高。

当路堑深度为 5m 以上时,宜采用分层开挖,即挖掘机在纵向行程中,先把路堑开通一部分,运输车辆在该侧布置,并与开挖路线平行,如此往返几个行程,直至将路堑全部开通,如图 4-1-77 所示。第一开挖道高度,应以停在路堑边缘的车辆能够装料为准,其余各次开挖道都可以按要求位于同一水平之上,这样可以利用前次挖好的开挖道作为运输车辆的行驶路线。

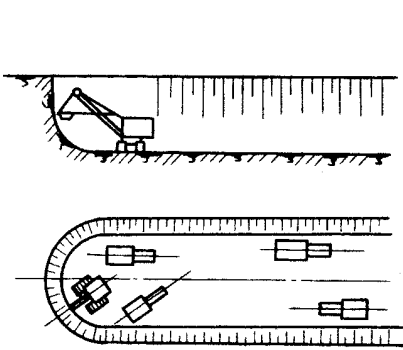


图 4-1-76 正铲挖掘机全断面开挖路堑

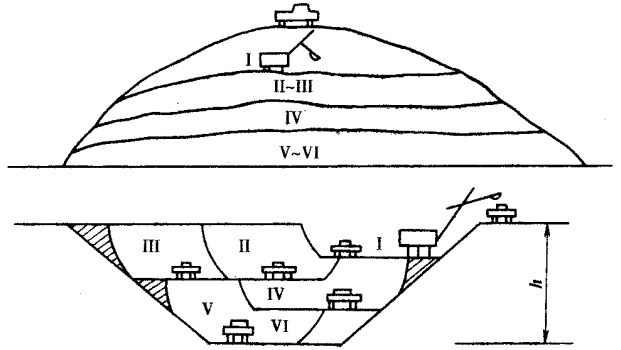


图 4-1-77 正铲挖掘机会层开挖深路堑

各次的开挖道在全作业段完成后,可退返或调头作反向开挖,视现场具体情况而定。但务必注意每次开挖道的排水问题。

挖掘机各次开挖后在边坡上留下的土角,可由推土机修整。

2. 反铲挖掘机开挖路堑

由于反铲挖掘机只能挖掘停机面以下的土壤,因此做开挖路堑作业时,是停在路堑顶部两侧进行,一般只适用开挖深度在挖掘范围内的路堑。可视现场情况采用沟端、沟侧的作业方法。

3. 拉铲挖掘机开挖路堑

用拉铲挖掘机开挖路堑作业时,如卸料半径能及至两侧弃土堆位置,则挖掘机可停在路堑中心线上,采取沟端挖掘的方法进行,如图 4-1-78a)所示,否则,必须采用如图 4-1-78b)所示的双开挖道作业。当弃土堆位于路堑一侧时,挖掘机沿路堑边缘移动,为了保证安全,挖掘机内侧履带应与路堑边沿保持 1.0~1.5m 的距离。

(四) 推土机和铲运机联合作业

在组织大型土方机械开挖路堑作业时,往往投入作业的机型很多,各自又有不同的运用范围和作业效果,为多机联合作业提供了可能性,其中,不同功率的推土机和不同斗容量的铲运机联合作业最为常见。

在组织推土机与铲运机联合开挖作业时,应根据它们各自的特点将它们安排在最能发挥各自优势的部位作业。

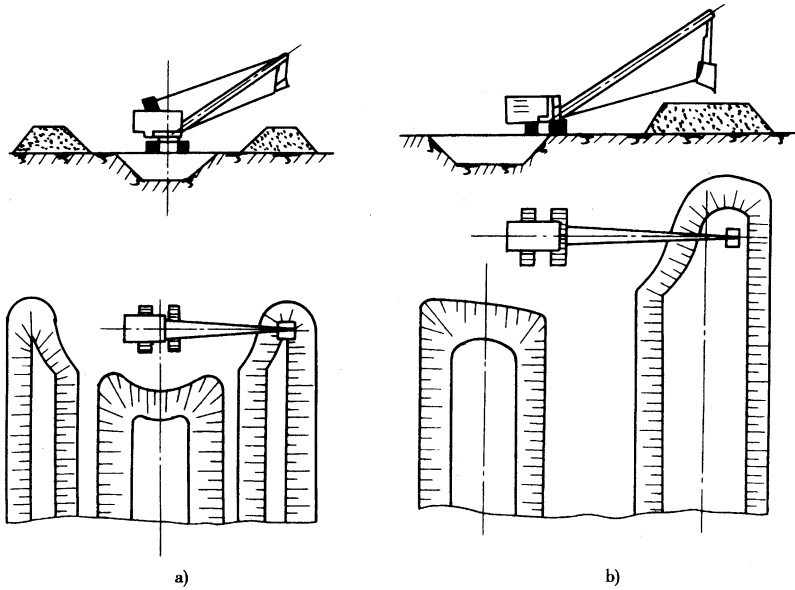


图 4-1-78 拉铲挖掘机沟端开挖路堑

a)弃土堆在两侧 b)弃土堆在一侧

表 4-1-15 是不同功率的推土机和不同斗容量铲运机的适用范围和作业效果。由此可知,推土机动作灵活,可正驶推运、倒驶空返,当推运翻松土壤时效率较高,其中大型推土机载运土量较大、爬坡性能最好,而中型推土机进退速度较快。当推土机增设侧挡板后推运翻松土壤,可提高经济运距和载土量。而铲运机能下坡铲土入斗,上坡可以斜驶使上料损失最小,具有较好的整形性能,在干土地质进行深挖高填的大运距作业时,其工效与推土机相当,工程成本可降低。

在多机联合作业时,可将中型推土机安排在开挖段的上层,大型推土机放在中层,铲运机放在底层。为了便于排除降雨积水,开挖工作应自下而上进行。为了提高推土机的作业效率,在较硬土质区段,最好配备翻松机械或机具协同作业,如图 4-1-79。

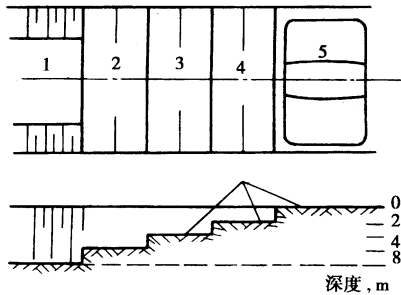


图 4-1-79 推土机和铲运机联合开挖布置
1—成型段 2—铲运机作业段 3—大型推土机作业段 4—中型推土机作业段 5—松土作业段

表 4-1-15 推土机和铲运机的适用范围比较表

| | 铲 土 | | 运 土 | | 卸土 | 平土 | 压实 | 备 注 | |
|-----|---|---|---------------------------------------|---|---|------------|----------------|---------------|--|
| | 推土机 | 1. 适于铲原状土和扰动土、干湿土 2. 铲土作业直线行驶 3. 铲土过程中漏土较多 4. 可常年作业 5. 浅挖方效率高 | 铲刀强制入土,具有较大的切深 铲刀靠自重入土时,切土深度较小 | 1. 行驶中漏土,转弯时更严重 2. 下坡时土体自行脱落 | 最佳运距 30m 左右,载土量小,行驶速度快、灵活,可在 25° 坡横驶。可在 10° 坡顺驶 最佳运距 50m 左右,载土量较大,行驶速度较慢,坡道行驶较中型车好 | 可集中卸土和均匀卸土 | 卸土同时进行平土或用倒铲拉平 | 卸土及空返同时进行部分压实 | 1. 可空车倒驶 2. 回转半径小 3. 推挖翻松土工效提高 20% ~ 30% |
| 铲运机 | 1. 适于铲不含石料的原状干土; 2. 铲土作业直线行驶; 3. 铲土过程中漏土较少; 4. 适于暖土 5. 适于深浅挖填 | 铲斗强制入土 铲斗靠自重入土,大斗容量 | 行驶中(直道、转弯下坡)均不漏土 | 最佳运距 300 ~ 400m,行驶速度快,较灵活,可在 20° 坡顺驶,6° 坡横驶 最佳运距 400 ~ 1000m,载土量较大,行驶速度慢,坡道行驶较中型车好 | 均匀卸土 | 卸土同时进行平土 | 在卸土同时行到局部压实 | | 1. 不能倒驶 2. 回转半径大 |

此外,采用多机联合作业时,还应当注意以下几点。

1. 在多种机械联合作业中,各种机型数量配备,要保证前机(例如中型推土机)的作业量满足后机(例如大型推土机)作业量的要求,最好同一机型的数量不少于两台;
2. 推土机推运松土时,采取纵向作业,效率较高,且故障少,也有利于边坡的控制及分层铲土;
3. 无论推土机还是铲运机,都应尽量坚持分段、分层铲土、运土,随时保持弃土堆的平整密实,为了均衡各机作业,在作业中可随时调整分段长度;
4. 要坚持由低地段向高地段开挖,各机流水作业,以挖成一段,成型一段为原则,不宜打乱长堑、顺沟纵向犁翻的有利条件,以利排除积水和便于雨后继续作业。

实践表明,联合作业具有工程质量好,工效高,受降雨影响小,现场管理方便等优点,有条件的情况下,是值得推广的一种较好的作业方式。

四、边坡作业

路堑挖土边坡施工的基本要求基本上与填土边坡类似,除留边坡坡度符合设计规范

外,也应做好放样、布设标准坡面等工作。但是,与填方边坡相比又有自己的一些特点,首先表现为作业对象多——土壤土质的多样性。路堤边坡由于是由填土而成,所以,其工程性质差异不大,而路堑边坡则是由自然状态土、石方挖掘形成,随线路经过地带不同而有较大的变化,工程性质不仅不同,有时还差别很大,施工作业难易程度也就有一定的区别。下面介绍路堑开挖边坡的几种类型及其施工要点:

(一) 砂土边坡

挖出的斜坡要留有足够的余量,然后打桩定线进行坡面整修。具体做法是,先用机械开挖,留有 20~30cm 的余量,以后可人工修整或用平地机修整,也可用小型反铲挖掘机作业。如果采用挖掘机修整边坡,对操作人员要求有较高的技术水平,否则,很容易造成超挖或欠挖。

(二) 岩石边坡

如果坡面是软岩,可用镐或风镐开挖;如果是硬质岩石,要用手动冲击式钻机,沿着需要修整的坡面先开炮孔,然后,注意不要使剩下的岩盘松动,装少量炸药进行爆破。在大型工程中,也可直接爆破成斜面,然后进行放坡作业。

岩石边坡施工,特别应注意地质变化,如图 4-1-80 岩盘和风化土界限实际高度与估计的不一样,施工时要视情况采取一定措施。总之,边坡一旦放好,是不容易变更的,所以,施工时,事先做好地质调查工作非常重要。

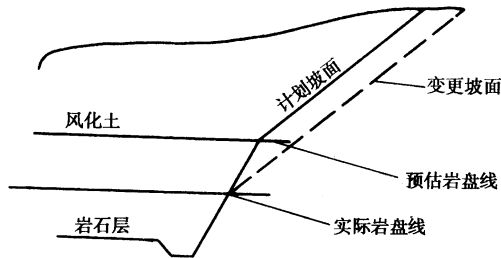


图 4-1-80 变更原放坡

(三) 碎石类土边坡

影响碎石类土挖方边坡的因素,主要是土体结合的紧密程度。其坡度要结合土壤、地质水文等条件确定。

碎石类土的潮湿程度及边坡高度,对边坡的稳定有较大影响。一般湿度大,边坡高时,宜采用较缓坡度;对密实度差的土体,应避免深挖。同时,要注意到边坡过缓,则受雨水作用面积增大,故不宜过缓,并根据具体情况采取边坡防护和加固措施,切实做好排水工作,以免影响边坡稳定。

五、石质路堑开挖

由于岩石坚硬,石质路堑的开挖往往比较困难,这对路基的施工进度影响很大,尤其是工程量大而集中的山区石方路堑更是如此。因此,采用何种开挖方法以加快工程进度,是石质路堑开挖需要解决的重要问题。通常,应根据岩石的类别、风化程度、节理发育程度、施工条件及工程量大小等选择爆破法、松土法或破碎法进行开挖。

(一)爆破法开挖

爆破法是利用炸药爆炸的能量将土石炸碎以利挖运或借助爆炸能量将土石移到预定位置。用这种方法开挖石质路堑具有工效高、速度快、劳动力消耗少、施工成本低等优点。对于岩质坚硬,不可能用人工或机械开挖的石质路堑,通常要采用爆破法开挖。爆破后用机械清方,是非常有效的路堑开挖方法。

根据炸药用量的多少,爆破法分为中小型爆破和大爆破,其中使用频率最高的是中小型爆破,大爆破的应用则受多种因素的限制。例如开挖山岭地带的石方路堑时,若岩层不太破碎,路堑较深且路线通过突出的山嘴时,采用大爆破开挖可有效提高施工效率。但如果路堑位于页岩、片岩、砂岩、砾岩等非整体性岩体时,则不应采用大爆破开挖。尤其是路堑位于岩石倾斜朝向路线且有夹砂层、粘土层的软弱地段及易坍塌的堆积层时,禁止采用大爆破开挖,以免对路基稳定性造成危害。

爆破对山体破坏较大,对周围环境也有较大影响,因此必须按有关施工规定和安全规程进行作业,严格按设计文件实施。通常应作试爆分析,结果作为指导施工的依据。

(二)松土法开挖

松土法开挖是充分利用岩体的各种裂缝和结构面,先用推土机牵引松土器将岩体翻松,再用推土机或装载机与自卸汽车配合将翻松的岩块搬运到指定地点。松土法开挖避免了爆破作业的危险性,而且有利于挖方边坡的稳定和附近建筑设施的安全。凡能用松土法开挖的石方路堑,应尽量不采用爆破法施工。随着大功率施工机械的使用,松土法愈来愈多地应用于石质路堑的开挖,而且开挖的效率也愈来愈高,能够用松土法施工的范围也不断扩大。

松土法开挖的效率与岩体破裂面情况及风化程度有关。岩体被破碎岩石分隔成较大块体时,松开效率较高。当岩体已裂成小石块或呈粒状时,松土只能劈成沟槽,效率较低。砂岩、石灰岩、页岩等沉积岩有沉积层面,是比较容易松开的岩石,沉积层愈薄愈容易松开。片麻石、片岩、石英岩等变质岩,松开的难易程度要视其破裂面发育程度而定。花岗岩、玄武岩、安山岩等岩浆岩不呈层状或带状,松开比较困难。

多齿松土器适用于松动较破碎的薄层岩体。单齿松土器则适用于松动较坚硬的厚

层岩体。松土器型号及松土间隔应根据岩石的强度、裂隙情况、推土机功率等选择,最好通过现场松土器劈松试验来确定。遇到较坚硬的岩石,松土器难以贯入,引起推土机后部翘起或履带打滑时,可用另一台推土机在松土器后面顶推。坚硬完整的岩石难于翻松,可进行适当的浅孔松动爆破,再进行松土作业。

(三) 破碎法开挖

破碎法开挖是利用破碎机凿碎岩块,然后进行挖运等作业。这种方法是将凿子安装在推土机或挖土机上,利用活塞的冲击作用使凿子产生冲击力以凿碎岩石,其破碎岩石的能力取决于活塞的大小。破碎法主要用于岩体裂缝较多、岩块体积小、抗压强度低于100MPa的岩石。由于开挖效率不高,只能用于前述两种方法不能使用的局部场合,作为爆破法和松土法的辅助作业方式。

以上三种开挖方法各有特点,应视施工条件合理选用。

六、深挖路堑的作业

路堑边坡高度等于或大于20m时称为深挖路堑。深挖路堑的施工方法与一般路堑的施工方法基本相同,这里仅就深挖路堑施工中的一些特殊问题和要求作一简介。

(一) 施工前的准备

深挖路堑因为它的边坡较高,易于坍塌,且工程数量大,常是影响全线按期完工的重点工程。因此,在施工前准备工作的一个重要任务,就是要详细复查设计文件所确定的深挖路堑地段的工程地质资料及路堑边坡,并收集了解土石界限、工程等级、岩层风化厚度及破碎程度等岩层工程特征。若路堑为砂类土时,应了解其颗粒级配、密实程度和稳定角;路堑为细粒土时,应了解含水量和物理力学性质,以及不良地质情况、地下水及其存在形式等。要根据详细了解的工程地质情况、工程量的大小和工期,编制施工组织设计,确定配备机械设备类型和劳动力,这对保证工程质量和按期完成是非常重要的。

施工前准备工作的另一重要任务是对工程地质进行补探工作。过去有些深挖路堑常缺乏工程地质资料或者仅有地表面1~2m深的探坑的地质资料,有些资料只根据天然露头确定工程难易等级,这对保证深挖路堑边坡稳定的论证是不够的,更不能以此编制施工组织设计和指导施工。因此,在施工前,必须进行工程地质补探工作(高速、一级公路补做工程地质勘探时应以钻探为主),解决原设计文件中工程地质资料缺乏或严重不足的问题,补做工程地质勘探并验算后,若高路堑边坡难以稳定将造成长期后患,则应按补做的地质资料进行方案的选择,并报请审批后实施。

(二) 土质高路堑

深挖路堑边坡是否能够稳定,因素很多,最主要的是边坡坡度大小。若坡度小,边坡

平缓,则易于稳定;反之,则不稳定。同时亦与气候有关,因此要求边坡应严格按照设计坡度施工。但遇到土质情况与设计资料不符,特别是土质较设计松散时,应向有关方面提出修改设计的意见,批准后实施,以保证路堑边坡的稳定。

实践表明,路堑边坡按一定高度设平台与从上至下一面坡相比,虽然设于台的综合坡度与一面坡的坡度相同,但前者边坡较稳定些。此外,分层设有平台还可起到碎落台作用。因此,在施工高路堑边坡时,应每隔6~10m高度设置平台。平台宽度人工施工不应小于2m,机械施工不应小于3m。平台表面横向坡度应向内倾斜,坡度约为0.5%~1%,纵向坡度应与路线平行。平台上的排水设施应与排水系统连通。

施工过程中如修建平台后的边坡如果仍然不能稳定,应根据其不稳定因素,如设计边坡过陡、过大造成含水量增加,土的内摩擦角降低,边坡中地下水的影响等,采用修建石砌护坡、边坡上植草皮或做挡墙等防护措施,如边坡上有地下水渗出时,还应根据地下水渗出的位置、流量,修建排水设施将其排走。

土质单边坡和双边坡深挖路堑的施工方法,与一般高度的平边坡路堑的施工方法基本相同,只不过需多分几层施工。

单边坡路堑可采用多层横向全宽挖掘;双边坡则通常采用分层纵挖法和通道纵挖法。若路堑纵向长度较大,一侧边坡的土壁厚度和高度不大时,可采用分段纵挖法。施工机械可采用推土机或铲运机。当弃土运距较远,超过铲运机的经济运距时,可采用挖掘机配合自卸汽车作业,或采用推土机、装载机配合自卸汽车作业。

土质深挖路堑施工中应注意的是,不能采用不加控制的爆破法施工和掏洞取土法施工。不加控制的爆破法施工会造成路堑边坡失稳,易于坍方,掏洞取土易造成土坍塌伤人。特别应注意在靠边坡3m以内禁止采用爆破法,即使是土质紧密,为加快施工进度在距边坡3m以外准备采用爆破法施工时,也应进行缜密设计,以免炸药量过多,爆破时将边坡上的土炸松,使边坡不能稳定,造成后患。过去在这方面的教训是不少的,所以应引起重视。

(三)石质高路堑

石质高路堑宜采用中小爆破法施工,只有当路线穿过独山丘,开挖后边坡不高于6m,且根据岩石产状和风化程度,确认开挖后边坡稳定,才可考虑大爆破方案。

单边坡石质深路堑已有一面临空,为了使爆破后的石块较小,便于推土机清方,绝对不能采用松动爆破、减弱松动爆破或药室爆破。前两种爆破方法虽然能节约炸药,但爆破后石块太大。有些大石块还要重新钻眼爆破将石块炸小(二次爆破),或需用人工以撬棍将大石块慢慢移走,无法使用机械施工,施工进度太慢。药室爆破虽然爆破方量较大,但可能将边坡炸松,而且构建药室时都是人工操作,花费时间多。正确的做法是采用深

粗炮眼、分层、多排、多药量、群炮、光面、微差爆破方法。其原则是打炮眼尽量使用机械，爆破后使石块小一些，便于机械清除。若最后一排炮眼靠近边坡时，应采用光面爆破设计施工。

双边坡石质深挖路堑的施工较单边坡的困难一些。首先需用纵向挖掘法在横断面中部每层开辟一条较宽的纵向通道，以便爆破后的石料运走，同时成为两侧未炸石方的临空面，然后横断面两侧按单边坡石质路堑的施工方法作业。

第六节 路基排水工程施工

一、路基排水的重要性

不同的水源由不同的途径浸入路基，就会对路基产生危害。水是造成路基及其沿线构造物病害的主要原因。危害路基的水可分为地表水和地下水两大类，与此相应的路基排水工程就分为地表排水和地下排水。

地表水对路基的危害主要表现在：

暴雨径流可以导致水毁，轻则冲刷路肩和边坡，重则冲刷路基和桥涵，导致路基整体稳定性受损害，积水的渗透可以使路基上层湿软乃至沉陷，导致路基强度降低。

地下水对路基的危害程度因其埋藏情况、流量大小、所处地域位置而异，轻则能使路基湿软，重则会引起路基冻胀、翻浆或边坡滑坍，甚至使整个路基沿倾斜基底滑动。因此，为了保证路基经常处于干燥、坚固和稳定状态，必须重视做好排水设计工作。

另外，路基排水涉及到沿线的生态平衡，水土保持以及农田水利建设。在进行路基排水设计，选择排水设施的类型时，不仅要考虑自身排水的需要，还要少占农田，并与当地排灌系统协调，重视环境保护，防止水土流失和水源污染，做到因地制宜，综合规划。

二、地表排水设施

路基地面排水结构物常见的类型有边沟、截水沟、排水沟、跌水、急流槽、拦水带、蒸发池等，高速公路、一级公路的辅道应有自身的地表排水设施。各种设施分别设置在路基的不同部位，其各自的作用、布置要求或构造形式均有所不同。

(一) 边沟

边沟一般设置在挖方路基的路肩外侧或高度小于边沟深度的矮路堤坡脚的外侧，多

与路中线平行。主要用来汇集和排除路基范围之内和流向路基的少量地表水。边沟的排水量不大,一般不需要进行水力水文计算,根据沿线的具体条件,可选用标准横断面形式。

1. 横断面形式

常用的边沟横断面形式有梯形、矩形、三角形和流线形几种,如图 4-1-81 所示。

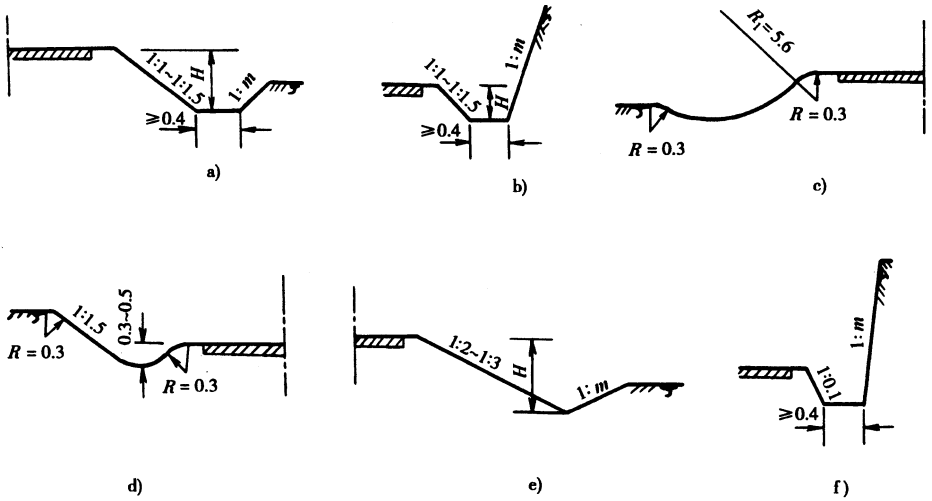


图 4-1-81 边沟的横断面形式(尺寸单位:m)

一般情况下,土质边沟宜采用梯形(图 4-1-81a、b),石质边沟宜采用矩形(图 4-1-81f),矮路堤或机械化施工时可采用三角形(图 4-1-81e),积雪或积砂可采用流线形(图 1-5-1c、d),同时流线边沟可改善道路的景致,增进美观、舒顺。

2. 边沟的断面尺寸

高速公路、一级公路的边沟底宽、深度不应小于 0.6m,其他等级公路不应小于 0.4m。当排水量大时,应根据流量大小加大边沟横断面尺寸。设置超高路段的边沟应予以加深,以保持边沟排水畅通。

3. 边沟的边坡

梯形边沟的内侧边坡一般为 1:1.0~1:1.5,外侧边坡坡度与挖方边坡坡度相同;采用矩形断面的内侧边沟边坡可直立,坡面应采用砌片石防护,外侧边坡坡度与挖方边坡坡度相同;三角形断面的边沟内侧边坡宜采用 1:2~1:3,外侧边坡坡度与挖方边坡坡度相同。

4. 边沟的纵坡与长度

边沟纵坡宜与路线纵坡一致,并不宜小于 0.5%。在特殊情况下,边沟纵坡可容许采用 0.3%,此时,边沟出口间距宜减短。当纵坡不能满足要求时,应调整边沟纵坡。

除特殊情况外,边沟长度不宜超过 500m;多雨地区不宜超过 300m;三角形边沟长度

不宜超过 200m。

(二) 截水沟

截水沟一般设置在挖方路基上侧边坡坡顶以外,或山坡路堤上方的适当地点,因位置一般设在路基顶部以上,又称天沟。其主要作用是汇集、拦截并排除山坡上方流向路基的地表水,保护挖方边坡和填方坡脚不受流水冲刷。降雨量较大、暴雨频繁,坡面较高,植被较差的山区路段必要时可设置两道或多道截水沟,如图 4-1-82 所示。

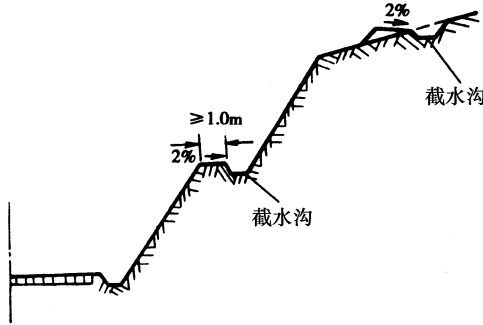


图 4-1-82 挖方路段土质边坡较高时的土坡截水沟设置

截水沟的位置应尽量与地表水流方向垂直,以提高截水效能和缩短沟的长度。

截水沟的横断面形式应根据地形、边坡的土(石)质条件采用梯形或矩形,如图 4-1-83 所示。

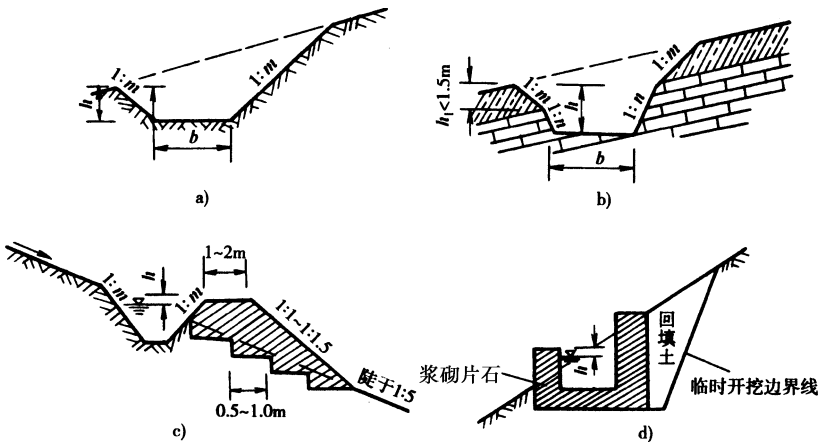


图 4-1-83 截水沟断面图

梯形断面边坡视土质而定,一般采用 1:1.0 ~ 1:1.5,深度及底宽不宜小于 0.5m(图 4-1-84);路基上方有弃土堆时,弃土堆坡脚距挖方坡顶不小于 10m(图 4-1-84);填方路基上侧的截水沟距填方坡脚的距离不应小于 2m(图 4-1-85);填方路基上方设有取土坑时的截水沟设置如图 4-1-85 所示。

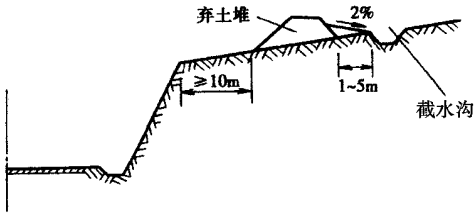


图 4-1-84 截水沟与弃土堆的关系

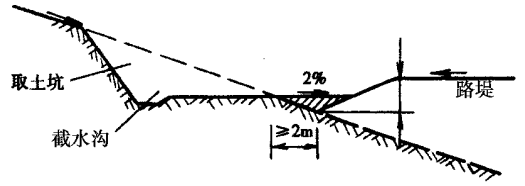


图 4-1-85 路堤上方有取土坑的截水沟

截水沟应结合地形合理布置,直捷顺畅,沟底纵坡不小于 0.5%,长度以 200~500m 为宜。

(三)排水沟

排水沟是一种人工水渠。它的作用是将边沟、截水沟、取土坑、边坡所汇集的水流和路基附近的积水,引排至桥涵或路基范围以外的蒸发池、天然河流、低洼地。

排水沟横断面一般为梯形,边坡可采用 1:1.0~1:1.5,横断面尺寸根据设计流量确定,深度与底宽不宜小于 0.5m。

排水沟的沟底纵坡宜大于 0.5%,在特殊情况下可采用 0.3%。易受水流冲刷的排水沟应视实际情况采取防护措施,排水沟的长度不宜超过 500m。

排水沟的位置灵活性很大,可根据需要并结合当地地形条件而定,离路基尽可能远些。高速公路、一级公路通过耕地、居民区的填方路基宜设坡脚排水沟。路堤边坡设急流槽地段排水沟距路基坡脚距离不宜小于 2m。

排水沟尽量采用直线,如必须转弯时,其半径不小于 10~20m。当与其他渠道连接时,力求水流顺畅。如因地形限制有困难时,可做成图 4-1-86 所示的形式。

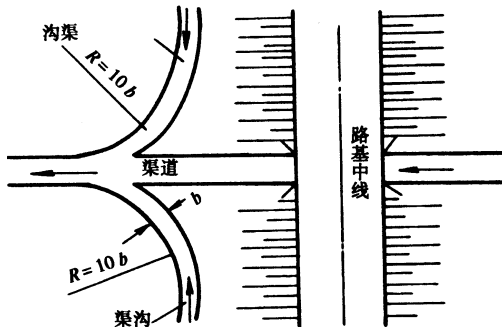


图 4-1-86 排水沟与水道衔接示意图

边坡平台设排水沟时,平台应做成 2%~5% 向内侧倾斜的排水坡度。排水沟可用三角形或梯形断面。当水量大时,宜设置 30cm×30cm 的矩形、三角形或 U 形排水沟。排水沟可用水泥混凝土预制构件拼装,沟壁厚度 5~10cm。

(四) 跌水与急流槽

跌水和急流槽均为人工排水沟渠的特殊形式,用于陡坡地段。

跌水和急流槽的槽身横断面一般采用矩形,用浆砌片石或水泥混凝土预制块砌筑。槽底应做成粗糙面,厚度为 0.2~0.4m。

1. 跌水

在排水落差较大,而距离较短的陡坡或深沟地段,以及水流突变处设置的沟底为阶梯,水流呈瀑布跌落式通过的沟槽称为跌水。其作用是在较短的距离内,降低水流流速,消减水流能量,避免出水口下游的桥涵结构物、自然水道或农田受到冲刷。

按照水力计算特点,跌水的构造可分为进水口、消力池(台阶)和出水口三部分,如图 4-1-87 所示。跌水有单级和多级之分,单级跌水适用于连接沟渠的水位落差较大,需要消能或改善水流方向。路基边沟水流入桥涵前的上游位置亦可设置单级跌水的窠井(集水井),如图 4-1-88 所示,当陡坡较长时,为减缓水流速度,并予以消能,可采用多级跌水,如图 4-1-89 所示。

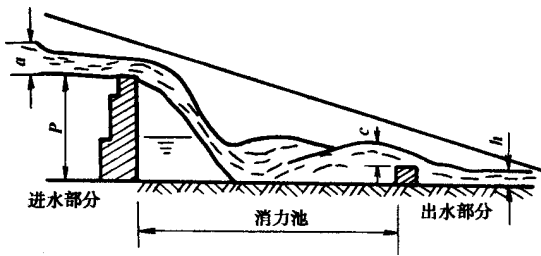


图 4-1-87 跌水示意图

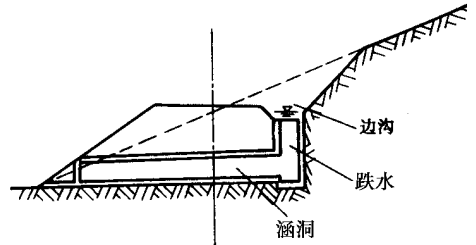


图 4-1-88 边沟水流入涵洞的单级跌水

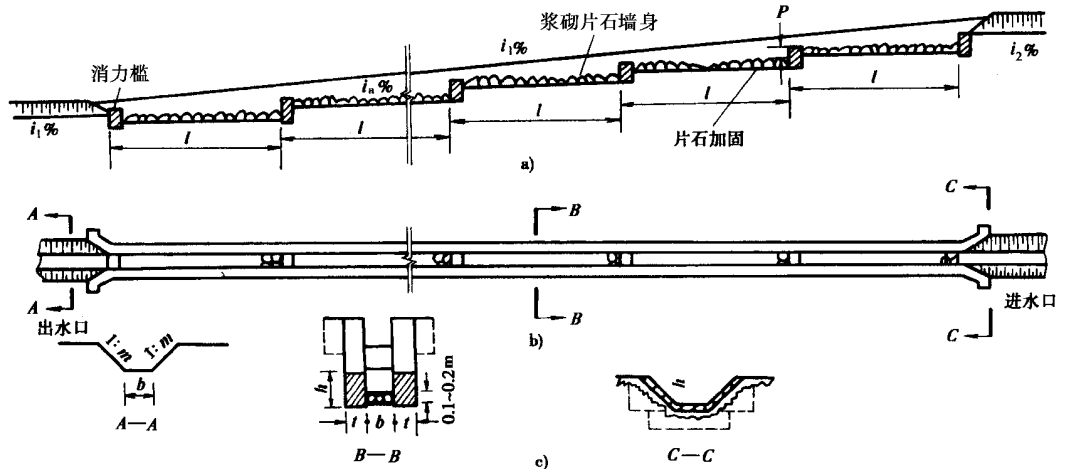


图 4-1-89 多级跌水结构图

a) 纵断面 b) 平面 c) 剖面

跌水两端的土质沟渠宜适当加固,保持水流畅通,不致使跌水产生淤塞或冲刷。

2. 急流槽

在排水落差很大,而距离较短的陡坡或深沟地段设置的坡度较陡,水流不离开槽底的沟槽称为急流槽。其作用是将上下游水位差较大的水流引至桥涵进口或路基下方。

急流槽的结构由进口、槽身和出水口三部分组成,进、出水口与槽身连接处因断面不同需设过渡段,如图 4-1-90 所示。为了使出水口水流流速与下游的容许流速相适应,槽底可用几个坡度,上段较陡,向下逐渐放缓,以达到降速、消能作用。若急流槽末端流速过大,可在出口处设置消力池或与跌水联合使用。

急流槽各部分的尺寸,同样根据水文、地形、地质及当地的气候条件确定,必要时应做水力计算。若设计流量小于 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ 及槽底纵坡在 $1:1 \sim 1.5$ 时,可参照图 4-1-90 使用。一般槽壁厚度,浆砌片石为 $0.3 \sim 0.4\text{m}$,混凝土为 $0.2 \sim 0.3\text{m}$ 。

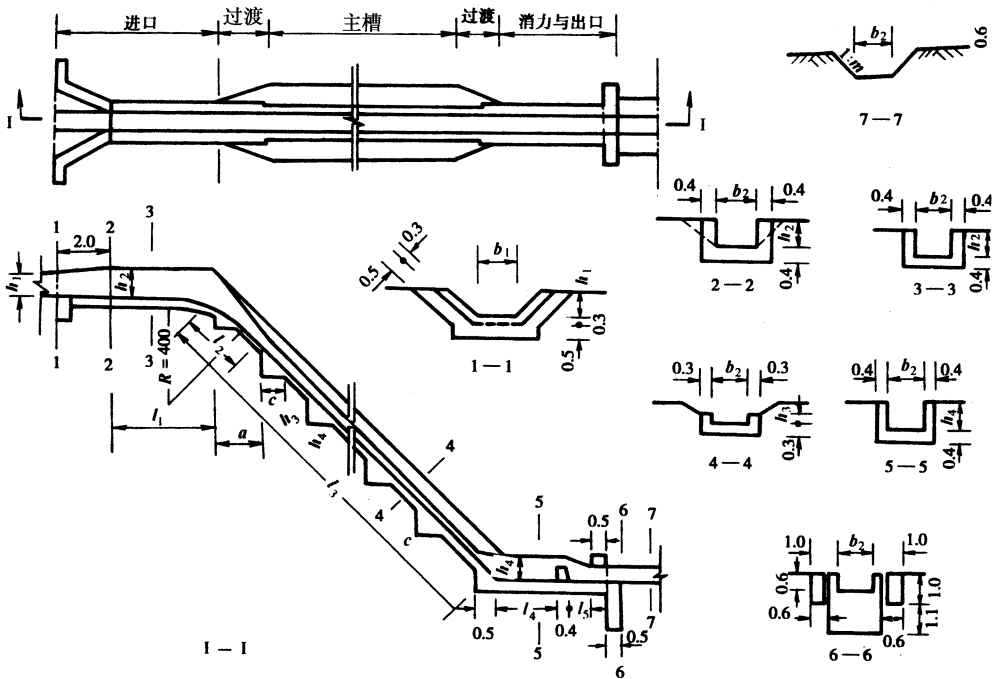


图 4-1-90 急流槽构造示意图(尺寸单位:m)

为防止基底滑动,急流槽底面每隔 $2.5 \sim 5\text{m}$ 可设置凸榫嵌入基底中,榫高为 $0.3 \sim 0.5\text{m}$,榫宽根据急流槽的坡度而定,急流槽的纵坡不宜陡于 $1:1.5$ 。急流槽过长时应分段修筑,每段长度不宜超过 10m 。预留伸缩缝,接头处用防水材料填缝。

跌水和急流槽的形式、断面尺寸和位置确定,必须保证宣泄全部水流,并在适当地点与桥涵进口连接。两者既可单独采用,也可以与其他排水构造物联合采用,形成完整的

排水系统。

三、地下排水设施

建筑在地面以下,具有拦截、汇集、排除地下水或降低地下水位,或能兼排地表水的结构设施,称为地下排水设施。地下排水设施按其作用和使用条件的不同主要分为暗沟(管)、渗沟及渗井等。

当路基范围内出露或埋藏地下水或地下水位较高,影响路基、路面强度或边坡稳定时,应根据具体出现的情况设计地下排水设施,其设置的类型、位置和尺寸应根据工程地质和水文地质条件决定。

对于排除流量较大的地下水或地表水,应设置专用地下管道予以排除。

(一) 暗沟(管)

暗沟(管)是设在地面以下引导水流的沟渠(管),其本身不起汇水、渗水作用。其主要作用是把路基范围内的泉水或渗沟所拦截、汇集的地下集中水流,引排到路基范围以外,如图4-1-91所示。高速公路、一级公路中央分隔带有雨水浸入时,通过雨水口将路面水引入地下暗沟,排到路基范围以外。

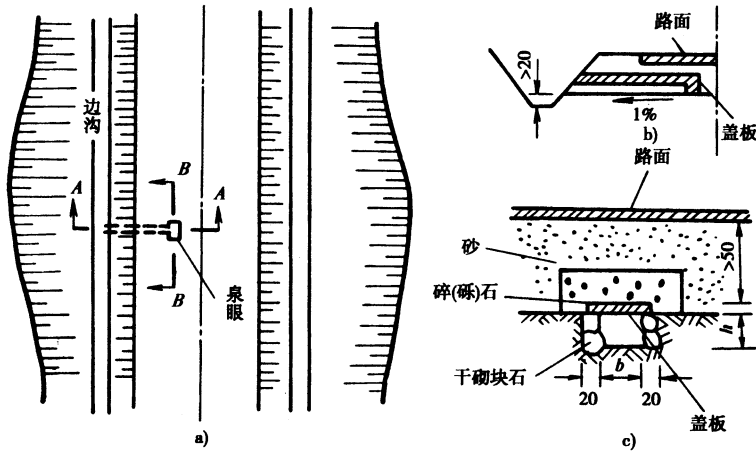


图4-1-91 疏导路基泉水的暗沟构造(尺寸单位:cm)

a)平面;b)A-A剖面;c)B-B剖面

暗沟横断面一般为矩形,用浆砌片石或水泥混凝土预制块砌筑,沟顶设置盖板,其各部位的尺寸应在路基填土前或开挖后,按照泉眼范围、流量的大小或渗沟汇集的水流情况,以及地形、地质条件确定。沟宽或管径根据流量大小及泉眼范围一般为20~30cm,净高为20cm,为防止泥土淤塞,盖板周围用碎(砾)石等材料做成反滤层(图4-1-91c)。

暗沟的纵坡不宜小于1%,出水口应高出地表排水沟常水位0.2m,不容许出现倒灌

现象。寒冷地区的暗沟,应作防冻保温处理或将暗沟设在冻结深度以下,保证一年四季排水畅通。

(二) 渗沟

渗沟主要用来吸收降低地下水位,汇集和拦截流向路基的地下水,并将其排除到路基范围之外。它是公路路基最常见的一种地下排水设施,尤其适用于地下水蕴藏量大,面积分布广的路段。根据地下水位的分布情况,渗沟可设置在边沟、路肩、路基中线以下或路基上侧山坡适当位置,如图 4-1-92 4-1-93 4-1-94 4-1-95 所示。

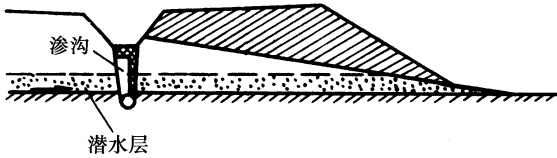


图 4-1-92 拦截潜水流向路堤的渗沟

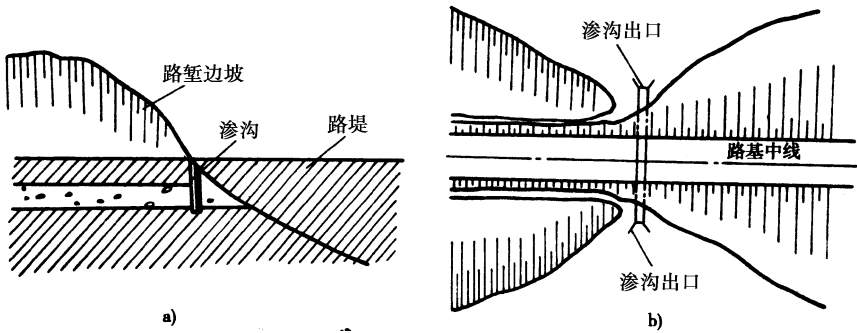


图 4-1-93 截断路堑层间水的渗沟

a) 剖面 b) 平面

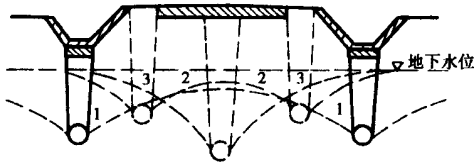


图 4-1-94 降低地下水位的渗沟

(图中数字 1、2、3 为降低后的地下水位)

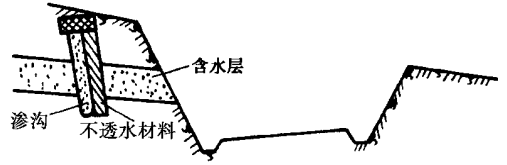


图 4-1-95 路堑上方渗水沟

渗沟由碎(砾)石或管(洞)排水层、反滤层和封闭层组成,如图 4-1-96 所示。反滤层用于汇集、吸收水流、防止土或砂石材料挤入相邻层内,堵塞排水层;反滤层设置在迎水面一侧,背水面一侧设隔渗层,否则,在两侧沟壁均应设置反滤层。反滤层应选用颗粒大小均匀的砂石材料,分层填筑,相邻层颗粒直径比不宜小于 1:4,层厚不宜小于 15cm,

砂石料粒径小于 0.15mm 的颗粒含量应小于 5% ,填料的粒径应为含水层粒料最大粒径的 $8\sim 10$ 倍。另外,也可采用渗水土工织物做反滤层,为避免地面水进入渗沟,渗沟顶部应设置封闭层。

渗沟的各部位尺寸应根据埋设位置及排水需要等情况确定,渗沟的平面布置,当用作降低地下水位时,应尽量与地下水流方向垂直。沟宽不宜小于 0.6m 。渗沟顶部和底部应设置封闭层,可采用 M5 砂浆砌片石或水泥混凝土。

深而长的渗沟,应设检查井。在直线段每隔 $30\sim 50\text{m}$ 或在渗沟的转弯、变坡处设置。检查井直径不宜小于 1m ,井壁应设渗水孔和反滤层。井壁处的排水管应高出井底 $0.3\sim 0.4\text{m}$ 。检查井应设检查梯,井口顶部应高出附近地面 $0.3\sim 0.5\text{m}$,并设井盖。

渗沟按排水层的构造形式不同,可分为填石渗沟、管式渗沟和洞式渗沟,如图 4-1-96 所示。

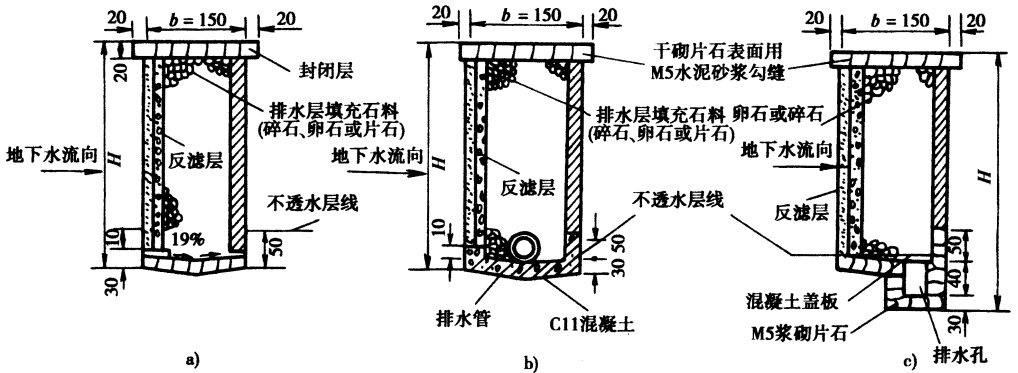


图 4-1-96 渗沟构造图(尺寸单位:cm)

a) 填石渗沟 b) 管式渗沟 c) 洞式渗沟

1. 填石渗沟(又称盲沟)

填石渗沟的排水层采用颗粒较大的碎、砾石材料填充,并保证具有通过设计排水量的孔隙度,如图 4-1-96a)所示。由于排水阻力较大,一般适用于流量不大、渗沟不长的路段,最小纵坡不宜小于 1% ,在实际条件允许的情况下,尽量设置较大的排水纵坡,以增大水的流速,防止渗沟淤塞失效。

2. 管式渗沟

管式渗沟是用排水管作为排水层排泄地下水。如图 4-1-96b)所示,管式渗沟排水顺畅,适用于地下水分布范围广、藏水量大、渗沟较长的路段。渗沟的设置长度视实际需要确定,一般不大于 300m 。若渗沟过长时,一般间隔 $100\sim 300\text{m}$ 应加设横向排水管,将渗沟内的水流分段排除路基范围以外。

沟底纵坡一般以流速不大于 1m/s 为宜,其最小纵坡不宜小于 0.5% ,以免淤塞。

管式渗沟的排水管可用陶土、混凝土或石棉等材料制成。为保证向管内渗水,集水部分排水管道管壁应设渗水孔眼、缝隙或间隙,管的渗水孔径为 1.5 ~ 2.0cm,管壁可采用渗水土工织物形成反滤层。

3. 洞式渗沟

洞式渗沟在地下水流量较大且范围较广时采用。若当地石料丰富时,可采用石砌方洞(如图 4-1-96c)所示。孔洞的大小根据设计流量而定,洞内的水可以满流或非满流。沟底最小纵坡不宜小于 0.5%,有条件时,适当采用较大纵坡,以利排水。

(三) 渗井

将排不出的地表水或边沟水渗到地下透水层中而设置的用透水性材料填筑的竖井称为渗水井。渗井属于立式(竖向)排水设备,如图 4-1-97 所示。

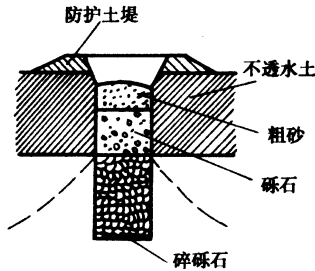


图 4-1-97 渗水井构造

渗井的作用是将地表水通过竖井渗入地下含水层排除。渗井按其使用条件和特点,适用于地面排水困难的平坦地区,如路基附近无河流、沟渠或洼地,地面水无法排除,而距地面不深处有渗透性土层,地下水流向背离路基,同时地面水流量不大,可修筑渗井将边沟水流分散排到地面 1.5m 以下的透水层中,使其不致影响路基稳定。

渗井的平面布置,孔径与渗水量根据水力半径确定,一般可采用直径为 0.7m 的圆井或边长为 0.6 ~ 1.0m 的方井。井深视地层构造情况而定,必须穿过不透水层而深达渗透层。井内由中心向四周按层次分别填入由粗而细的砂石材料,粗料渗水,细料反滤。渗井顶部周围用粘土筑堤围护,顶上可加筑混凝土盖板,严防渗井淤塞,以保证达到预期排水效果。

渗井施工难度大,容易堵塞,也不便于清理,使用上受到一定的限制。因此,一般不轻易采用。

特别指出:以上几种公路工程建设中常见的地下排水设施,其构造一般比地表排水结构复杂,投资较大,又属地下隐蔽工程,故设计、施工、养护均应特别注意,以免结构失效而后患无穷。

第七节 路基防护工程施工

一、概述

由岩土所筑成的路基,大多暴露于空间,长期受自然因素的作用,岩土在不利水温条件作用下,物理、力学性质将发生变化。浸水后湿度增大,土的强度降低,岩性差的岩体,在水温变化条件下,加剧风化,路基表面在温差作用下形成胀缩循环,在湿差作用下形成干湿循环,可导致强度衰减和剥蚀;地表水流冲刷,地下水源浸入,使岩土表层失稳,易造成和加剧路基的水毁病害;沿河路堤在水流冲击、淘刷和浸蚀作用下,易遭破坏;湿软地基承载力不足,易导致路基沉陷。所有这些均取决于岩土的物理力学性质及自然因素,且与路基承受行车荷载的情况密切相关。

合理的路基设计,应在路基位置、横断面尺寸、岩土组成等方面综合考虑。为确保路基的强度与稳定性,路基的防护是不可缺少的工程技术措施。随着公路等级的提高,为维护正常的汽车运输,减少公路灾害,确保行车安全,保持公路与自然环境协调,路基的防护与加固更具有重要意义。实践经验证明,在高等级公路建设中,防护工程对保证公路使用品质、提高投资效益均具有重要的意义。

路基防护设施主要有边坡坡面防护、沿河路堤河岸冲刷防护等。

坡面防护,主要是保护路基边坡表面免受雨水冲刷,减缓温差及湿度变化的影响,防止和延缓软弱岩土表面的风化、碎裂、剥蚀演变进程,从而保护路基边坡的整体稳定性,在一定程度上还可兼顾路基美化和协调自然环境。坡面防护设施,不承受外力作用,必需要求坡面岩土整体稳定牢固。简易防护的边坡高度与坡度不宜过大,土质边坡坡度一般不陡于 $1:1 \sim 1:1.5$ 。地面水的径流速度以不超过 2.0m/s 为宜,水亦不宜集中汇流。雨水集中或汇水面积较大时,应有排水设施相配合,如在挖方边坡顶部设截水沟,高填方的路肩边缘设拦水埂等。

常用的坡面防护设施有植物防护(种草、铺草皮、植树等)和工程防护(抹面、喷浆、勾缝、石砌护面等)。前者可视为有“生命”(成活)防护,后者属无机物防护。有“生命”防护以土质边坡为主,无机物防护以石质路堑边坡为主。在一定程度上,有“生命”防护在边坡稳定和改善路容方面,优于无机物防护。

堤岸防护主要对沿河滨海路堤、河滩路堤及水泽区路堤,亦包括桥头引道,以及路基

边旁的防护堤岸等。此类堤岸常年或季节性浸水,受流水冲刷、拍击和淘洗,造成路基浸湿、坡脚淘空,或水位骤降时路基内细粒填料流失,致使路基失稳,边坡崩坍。所以堤岸防护与加固,主要针对水流的破坏作用而设,起防水治害和加固堤岸双重功效。

堤岸防护设施,有直接和间接两类。直接防护设施中包括植物防护和石砌防护与加固两种,常用的有植树、铺石、抛石或石笼等。间接防护主要指导治结构物,如丁坝、顺坝、防洪堤、拦水坝等,必要时进行疏浚河床、改变河道,目的是改变流水方向,避免或缓和水流对路基的直接破坏作用。改变水流流速、流向和原来状态,可能导致堤岸对面及路基附近上下游遭害,必需慎重对待,掌握流水运动规律,因势利导,防治结合,综合治理。

二、坡面防护

(一)植物防护

植物防护,可美化路容,协调环境,调节边坡土的湿温,起到固结和稳定边坡的作用。它对于坡高不大,边坡比较平缓的土质坡面是一种简易有效的防护设施,其方法有种草、铺草皮和植树。土质边坡防护也可采用拉伸网草皮、固定草种布或网格固定撒种,用土工合成材料进行土质边坡防护的边坡坡度宜在 $1:1.0 \sim 1:2.0$ 之间。

拉伸网草皮是在土工网或土工垫等土工合成材料上铺设 $3 \sim 5\text{cm}$ 的种植土层,经过撒种、养护后形成的人工草皮。固定草种布(也可称植生带)是在土工织物纺织时将草种固定于土工织物中,然后到现场铺筑以促使草皮生长的一种土工合成材料草皮制品。网格固定撒种是先将土工网固定于需防护的边坡上,然后撒播草种形成草皮的一种边坡防护方法。

种草,适用边坡坡度不陡于 $1:1$,土质适宜种草,不浸水或短期浸水但地面径流速度不超过 0.6m/s 的边坡。草的品种,应适应当地自然条件,最好是根系发达,中茎低矮,多年生长,几种草籽混种。不宜种草的坡面,可以铺 $5 \sim 10\text{cm}$ 厚的种植土层,土层与原坡面结合稳固。

当坡面冲刷比较严重,边坡较陡,径流速度 $>0.6\text{m/s}$,容许最大速度为 1.8m/s 时,应根据具体条件(坡度与流速等),分别采用平铺(平行于坡面)水平叠置、垂直坡面或与坡面成一半坡角的倾斜叠置草皮,还可采用片石铺砌成方格或拱式边框,方格或框内再铺草皮,如图4-1-98所示。

铺草皮需预先备料,草皮可就近培育,切成整齐块状,然后移铺在坡面上。铺时应自下而上,并用竹木小桩将草皮钉在坡面上,使之稳固。草皮根部土应随草切割,坡面要预先整平,必要时还应加铺种植土,草皮应随挖随铺,注意相互贴紧。

植树,主要用在堤岸边的河滩上,用来降低流速,促使泥沙淤积,防水直接冲刷路堤。多排林堤岸与水流方向斜交,还可起挑水改变水流方向的作用。沙漠与雪害地区,防护林带还起阻沙防雪作用。树木的品种与种植位置及宽度,应根据防护要求、流水速度等因素,参见有关设计手册、结合当地经验而定。城市或风景区的植物防护,应与有关部门协调配合。

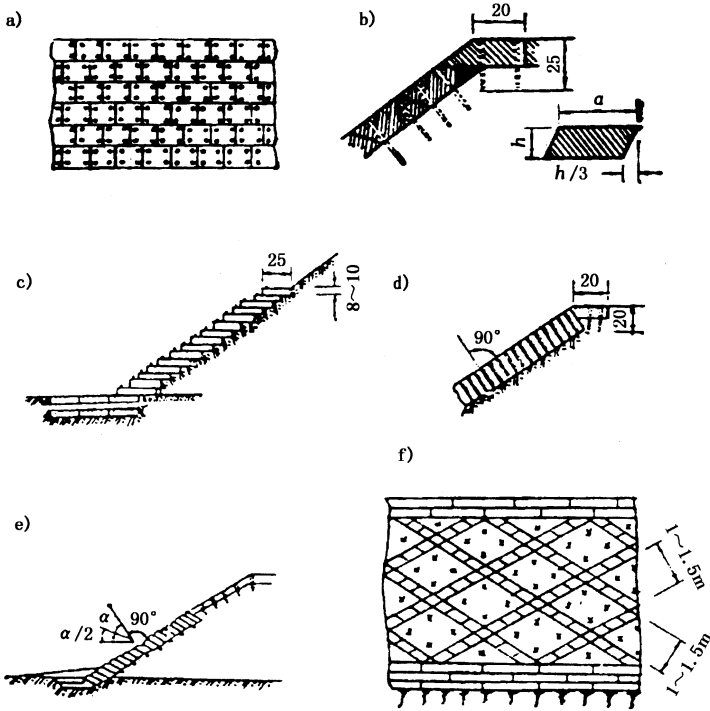


图 4-1-98 草皮防护示意图(除已注明尺寸外,其余单位为 cm)

a)平铺平面 b)平铺剖面 c)水平叠铺 d)垂直叠铺 e)斜交叠铺 f)网格式
(图中 h 为草皮厚度,约 5~8cm, a 为草皮边长,约 20~25cm)

(二)工程防护

当不宜使用植物防护或考虑就地取材时,采用砂石、水泥、石灰等矿质材料进行坡面防护是常用的防护形式。它主要有砂浆抹面、勾缝或喷涂以及石砌护坡或护面墙等。这些形式各自适合于一定条件。

抹面防护,适于石质挖方坡面,岩石表面易风化,但比较完整,尚未剥落,如页岩、泥砂岩、千枚岩的新坡面。对此应及时予以封面,以预防风化成害。常用的抹面材料有石灰浆等,其中石灰为胶结料,要求精选。混合料如加纸筋或竹筋,可提高强度,防止开裂;如掺加适量制盐副产品卤水,因含有氯化钙与氯化镁,可使抹面加速硬化和预防开裂。抹面用料的配合比与用量参见有关手册。抹面厚度视材料与坡面状况而定,一般 2~10cm。操作前,应清理坡面风化层、浮土与松动碎块、填坑补洞,洒水润湿。抹面后,应拍

浆、抹平和养生。

喷浆施工简便,效果较好,适用于易风化而坡面不平整的岩石挖方边坡,厚度一般为5~10cm。喷浆的水泥用量较大,重点工程可选用。比较经济的砂浆是用水泥、石灰、河砂及水,按重量比1:1:6:3配合。喷浆前后的处治,与抹面相同。对坡面较陡或易风化的坡面,可以在喷浆前先铺设加筋材料,加筋材料可以用铁丝网或土工格栅,喷浆坡面应设置排水孔。

比较坚硬的岩石坡面,为防水渗入缝隙成害,视缝隙深浅与大小,分别予以灌浆、勾缝或嵌补等。

上述防护方法,可以局部处治,综合使用,并与放缓边坡等方法加以比较,力求实用和经济。如果在坡面防护时着色或修饰,还有助于改善路容。

路基坡面为防止地面水流或河水冲刷,可以使用干砌片石护面,图4-1-99所示为浸水路堤单层或双层护面示意图。重要路段或暴雨集中地区的土质高边坡,以及桥涵附近坡面与岩坡、地面排水沟渠等,亦可干砌片石加固。片石护面,要求坡面稳固,先垫以砂层,然后自下而上平整地铺砌片石,片石应逐块嵌紧且错缝,护面厚度一般不小于20cm,干砌要勾缝,必要时改用浆砌,护面顶部封闭,以防渗水。

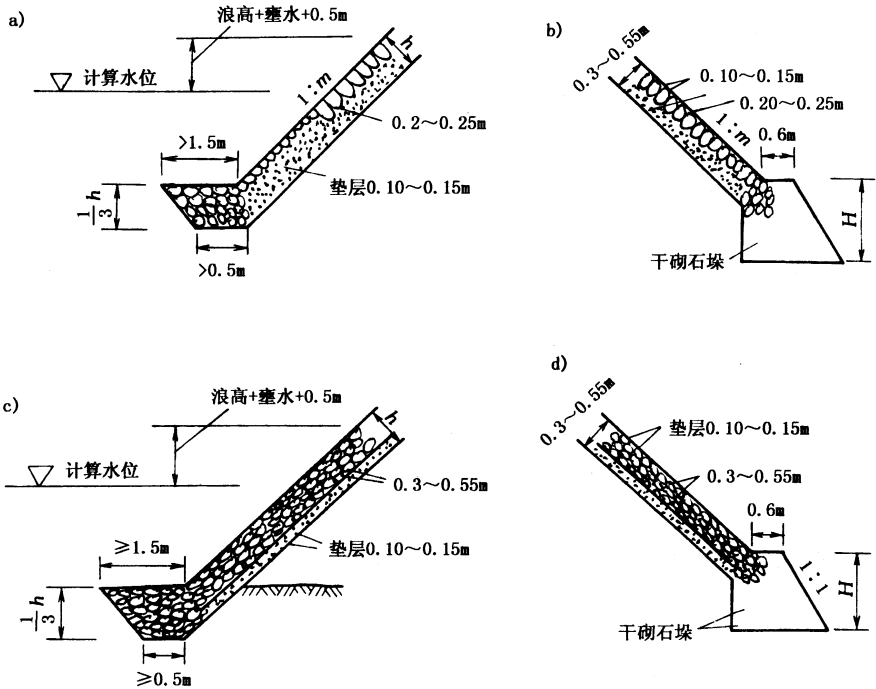


图4-1-99 片石护面示意图

a) b)单层 c) d)双层

(图中 H 为干砌石垛高度,约20~30cm, h 为护面厚度,大于20cm)

护面墙是浆砌片石的坡面覆盖层,用于封闭各种软质岩层和较破碎的挖方边坡。要求墙面紧贴坡面,表面砌平,厚度可不一。护面墙石料应符合规格。护面墙除自重外,不承受其他荷重,亦不承受墙背土压力。其构造与布置,如图 4-1-100 所示。墙高与厚度及路堑边坡的关系,参见 4-1-16。

表 4-1-16 护面墙的厚度

| 护面墙高度 H (m) | 路堑边坡 | 护面墙厚度 (m) | |
|-----------------|----------------|-----------|----------------|
| | | 顶宽 b | 底宽 d |
| ≤ 2 | 1:0.5 | 0.40 | 0.40 |
| ≤ 6 | 陡于 1:0.5 | 0.40 | $0.40 + 0.10H$ |
| $6 < H \leq 10$ | 1:0.5 ~ 1:0.75 | 0.40 | $0.40 + 0.05H$ |
| $10 < H < 15$ | 1:0.75 ~ 1:1 | 0.60 | $0.60 + 0.05H$ |

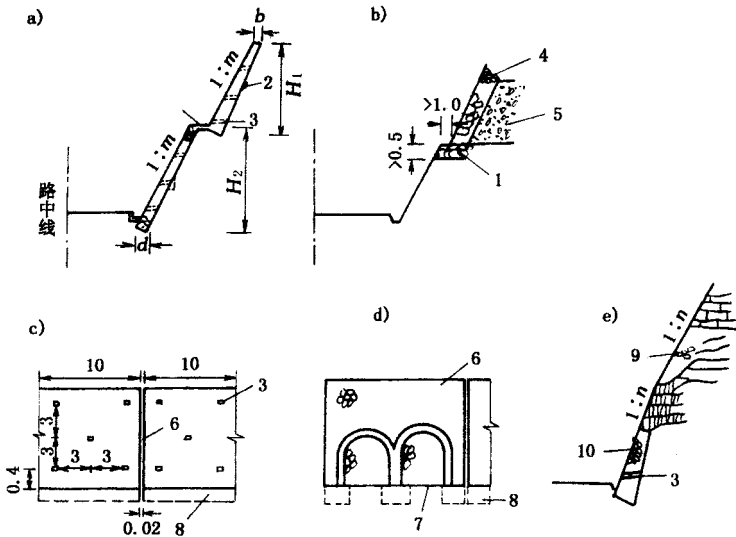


图 4-1-100 护面墙示意图(单位:m)

a) 双层式 b) 单层式 c) 墙面 d) 拱式 e) 混合式

1—平台 2—耳墙 3—泄水孔 4—封顶 5—松散夹层;

6—伸缩缝 7—软地基 8—基础 9—支补墙 10—护面墙

护面墙高一般不超过 10m,可以分级中间设平台,墙背可设耳墙,纵向每 10m 设一条伸缩缝,墙身应预留泄水孔,基础要求稳固,顶部应封闭。墙基软硬不匀,可设拱跨过软弱地基。坡面常有各种不同地质现象,开挖后形成凹陷,应以石砌圪工填塞平整,称为支

补墙。以上构造的具体要求与尺寸,均可参考有关设计手册。

三、冲刷防护

(一)直接措施

为了防止流水直接危害沿河、滨海路堤以及有关海河堤坝护岸的堤岸边坡和坡脚,必须采取一定的防止冲刷的措施。

堤岸防护直接措施,包括植物防护、石砌防护或抛石与石笼防护,以及必要时设置的支挡(驳岸等)。其中植物防护与石砌防护,同坡面防护所述基本类同,但堤岸的防冲刷主要原因是洪水急流,水位变迁不定,水流速度较大,相应的要求更高。盛产石料的地区,当水流速度达到 3.0m/s 或更高时,植树与石砌防护无效时,可采用抛石防护。当水流速度达到或超过 5.0m/s 时,则改用石笼防护,也可就地取材,用竹笼或梢料防护,必要时可以采用土工织物软体沉排护坡。

抛石防护,类似在坡脚处设置护脚,亦称抛石垛,如图4-1-101所示。抛石不受气候条件限制,路基沉实以前均可施工,季节性浸水或长期浸水亦均可用。抛石垛的边坡坡度,不应陡于抛石浸水后的天然休止角,边坡率 m_1 一般为 $1.5\sim 2.0$, m_2 为 $1.25\sim 2.0$;石料粒径视水深与流速而定,一般为 $15\sim 50\text{cm}$ 。

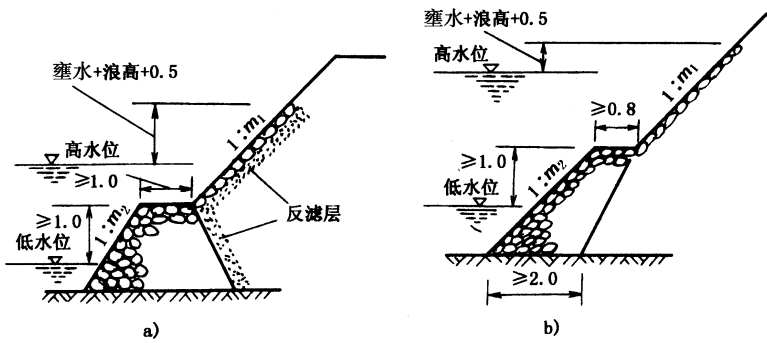


图4-1-101 抛石防护示意图(单位:m)

a)新堤石垛 b)旧堤石垛

石笼是用铁丝编织成框架,内填石料,设在坡脚处,以防急流和大风浪破坏堤岸,也可用来加固河床,防止淘刷。铁丝框架可以箱形或圆形,如图4-1-101中a)和b)。笼内填石的粒径,最小不小于 4.0cm ,一般为 $5\sim 20\text{cm}$,外层应用大且棱角突出石料,内层可用较小石块填充。石笼在坡脚处排列,用于防止冲刷淘底时,应平铺并与坡脚线垂直,而且堤岸一端固定,另一端不必固定,淘刷后可以向下沉落贴于底面;用于防止堤岸边坡冲刷时,则垒码平铺成梯形,如图4-1-101c)和d)。单个石笼的大小,以不被相应速度的

水流冲动为宜,铺设时须用(砾)石垫层铺平,底层各角,可用铁棒固定于基底。

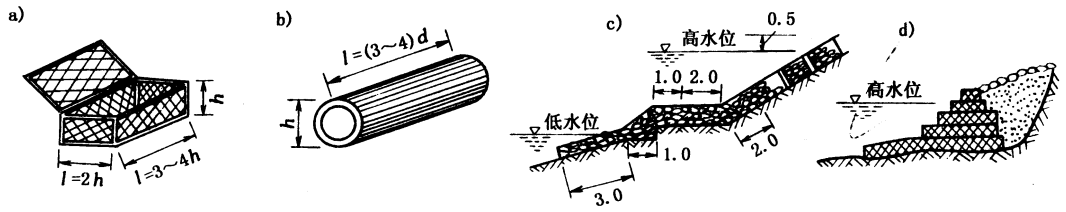


图 4-1-102 石笼防护示意图(单位:m)

a)箱形笼 b)圆柱形笼 c)防止淘底 d)防护岸坡

土工织物软体沉排是在土工织物上以块石或预制混凝土块体为压重的护坡结构。土工织物软体沉排一般适用于水下工程及预计可能发生冲刷的河床和岸坡土面上。其主要由单片垫和双片垫两种结构形式。

单片垫是利用土工织物拼接成大面积的排体,双片垫是将两块单片垫重叠后按一定距离和型式将两片垫连接在一起而构成管状或格状空间,其中再填充透水性土石料(如砂卵石等),起到防冲与反滤的作用,双片垫的结构型式如图 4-1-103 所示。

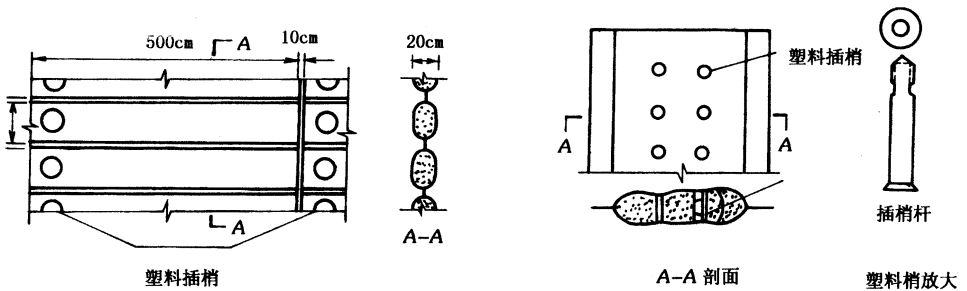


图 4-1-103 双片垫型式

土工模袋是一种双层织物袋,袋中充填流动性混凝土或水泥砂浆或稀石混凝土,凝固后形成高强度和高刚度的硬结板块。其主要应用场合及铺设型式如图 4-1-104。土工模袋材料应满足表 4-1-17 的技术要求,袋内可充填混凝土或砂浆。充填混凝土时,粗骨料最大粒径应符合表 4-1-18 的要求,塌落度不宜小于 20mm,其强度等级不低于 C10;充填砂浆时,其强度等级不低于 M2.5。

表 4-1-17 土工模袋材料要求

| 指标内容 | 指标要求 | 指标内容 | 指标要求 |
|---------|-------|--------------------|-----------|
| 顶破强度(N) | ≥1500 | 等效孔径 O_{95} (mm) | 0.07~0.15 |

| | | | |
|-------------------------|-----------|----------|-----------|
| 指标内容 | 指标要求 | 指标内容 | 指标要求 |
| 渗透系数(10^{-30} cm/s) | 0.86 ~ 10 | 延伸率(%) | ≤ 15 |

表 4-1-18 混凝土骨料的最大粒径要求

| 土工模袋厚度(mm) | 骨料最大粒径(mm) | 土工模袋厚度(mm) | 骨料最大粒径(mm) |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 150 ~ 250 | ≤ 20 | ≥ 250 | ≤ 40 |

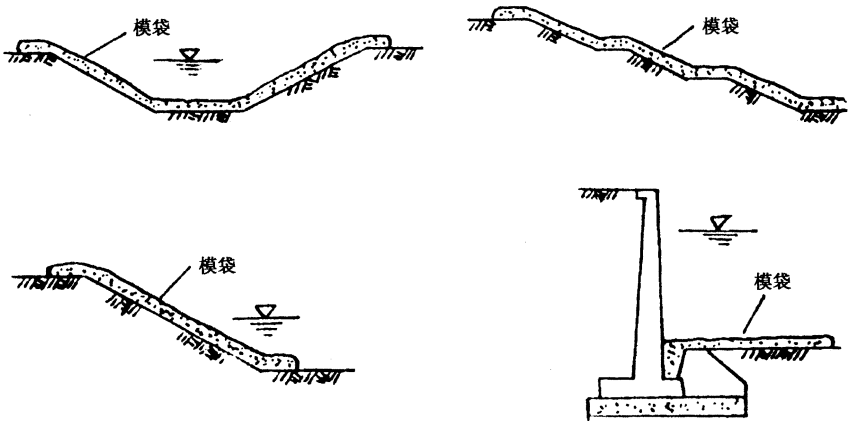


图 4-1-104 土工模袋的应用及铺设

采用土工模袋护坡的坡度不得陡于 1:1。如在水下施工,水流速度不宜大于 1.5m/s。模袋选型应根据工程要求和当地土质、地形、水文、经济与施工条件等确定。应根据水流量选定模袋滤水点分布数量,当选用无滤水点模袋时,应增设渗水滤管。模袋应用尼龙绳缝制。

(二)间接措施

设置导治结构物可改变水流方向,消除和减缓水流对堤岸直接破坏,同时可减轻堤岸近旁淤积,彻底解除水流对局部堤岸的损害作用,起安全保护作用。导治结构物是桥涵和路基的重要附属工程,由于涉及水流改向,影响范围较大,工程费用亦较高,务必慎重。用于防护堤岸的改河工程,一般限于小型工程,如裁弯取直,挖滩改道,清除孤石等,可在小河的局部段落上进行。

导治结构物主要是设坝,按其相对于河道的相对位置,一般可分为丁坝、顺坝或格坝。图 4-1-105 是桥梁附近设置导治结构物的总体布置示例之一。导治结构物的布置,应综合考虑河道宽窄、水流方向、地质条件、防护要求、材料来源、施工条件和工程经济等,要综合考虑,全面治理,要避免河床更多压缩,或因水位提高和水流改向,而危害河对岸或

附近地段的农田水利、地面建筑及堤岸等。

顺坝大致与堤岸平行,主要作用为导流、束水、调整流水曲度、改善流态。格坝在平面上成网格状,设于顺坝与堤岸之间,防止高水位时水流溢入冲刷坝内岸坡和坡脚,并促进格间的淤积。丁坝大致与堤岸垂直或斜交,将水流挑离堤岸,束河归槽,改善流态。顺坝亦称导流坝,丁坝亦称挑水坝。

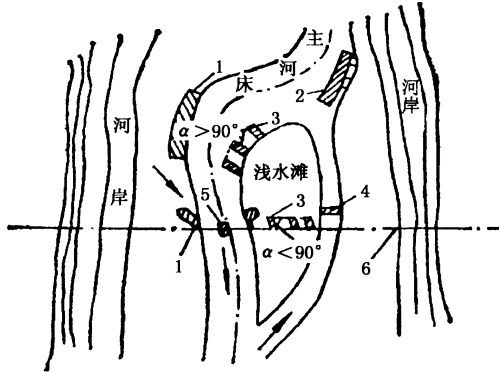


图 4-1-105 导流结构物综合布置示例

导流结构物的布置是工程成败的关键。布置恰当能收到预期效果,布置不当反而恶化水流,造成水毁。关键在于合理设计导治线,符合预定的河轴线和河岸线要求,亦取决于选择导治水位,不致出现不利的冲刷情况。导治线与导治水位,应依据对于水流和河岸、河床地形、地质情况、水流对上下游对岸的影响等因素,综合分析和设计计算而定。

顺坝与丁坝均用石块修建成梯形横断面,坝体分为坝头、坝身和坝根三个组成部分,横断面尺寸依构造要求、施工条件和使用需要而定,并应进行稳定性计算。

公路工程中的改河,主要目的是将直接冲刷路基的水流引向旁处,路基占用河槽后,需要拓宽河道,挖滩改河,清除孤石,改移河道,以保护路基,裁弯取直,有利布置路线或桥涵。这些措施,如经过论证可行,确有必要且效益高时,方可通过设计计算,最后实施。

导治结构物的构造与要求,以及结构物与改河工程的具体设计计算方法,在路基设计手册等文献中,已有详细规定与建议,可供查用。

第八节 路基工程施工质量控制

一、审核、熟悉图纸,掌握质量标准,确定施工方法

熟悉图纸中的尺寸、高程、中心线和地质情况等特殊部位构造。掌握相关的质量标

准,确定工作段的划分和各部位施工方案。

二、路基基槽开挖前应做好技术准备工作

(1)根据路基平面图,定出路基位置,设置标准桩,标出路基控制线、弯道曲线半径和地坪标高、路基间高程。

(2)做好路基排水措施,严禁路基基槽内的积水。

(3)路基开挖前,应摸清工程地质、水文地质、地下埋设物、管线、排水设施、洞穴等情况,并根据季节气候情况,合理考虑施工方法与施工技术措施,确保基槽质量。

(4)了解路基土物理力学性质指标,如土的容重、含水率、塑性指灵敏、压缩模数和抗剪强度等,以确定路基土的承载力及沉降量。

三、测量仪器的校正

施工使用测量的经纬仪、水准仪和钢尺、弹簧称均应进行校正,测量操作应符合规定,误差应在规定范围内。

四、放线

定位放线,首先要根据建筑红线,按设计要求的座标、高程确定出路基的实际轴线位置,确定标高和断面尺寸,做出“永久性”标高水准桩,钉龙门板并引出路基断面尺寸线。为了便于复核和检查,应在轴线延长线上(2m以外)设置轴线控制桩,也叫引桩,要加以保护。引桩不仅是确定道路位置、标高、座标的依据,同时还是附属构筑物定位线和工程质量评定的依据。

五、路基土质的鉴定

(1)应根据地质勘探文件,核定基槽的土层构造,确定路基土的允许承载力。土的坚硬程度是否一致,含水率是否有异常现象。

(2)地基土容许承载力复核

路基容许承载力必须满足设计要求。土壤试验的检验方法主要有钎探、贯入仪检查、触探测定等复核方法。实际持力层土壤测定的数据,与要求控制数据对照检查。

第九节 路基工程质量检验评定

一、基本规定

(一)土方工程(填方和挖方)

路基土方压实度标准检验测定方法,采用干土质量密度测定:

宜用环刀取样,每层填方取一组土样,每组取三点土样,将土样进行工业化干后的土壤颗粒重量和自然状态下体积之比。

路基土方压实度标准应符合表 4-1-19、4-1-20 的规定。

表 4-1-19 路基土方压实度标准

| 序号 | 项 目 | | | 压实度 (%) | 检查频率 | | 检验 方法 | |
|----|------------------------------------|--------|---------|------------|----------------------|-----|----------|--------|
| | | | | 重型 击实 | 范围 m ² | 点数 | | |
| 1 | 路 床 以 下 深 度 (cm) | 填 方 | 0~30 | 快速路和主干路 | 95 | 100 | 每层一组(三点) | 用环刀法检验 |
| | | | | 次干路 | 93 | | | |
| | | | | 支路 | 90 | | | |
| 2 | | | 80~150 | 快速路和主干路 | 93 | | | |
| | | | | 次干路 | 90 | | | |
| | | | | 支路 | 87 | | | |
| 3 | | | >150 | 快速路和主干路 | 87 | | | |
| | | | | 次干路 | 87 | | | |
| | | | | 支路 | 87 | | | |
| 4 | 挖 方 | 0~30 | 快速路和主干路 | 93 | | | | |
| | | | 次干路 | 93 | | | | |
| | | | 支路 | 90 | | | | |

表 4-1-20 路基土方压实度标准

| 序号 | 项 目 | | | 压实度 (%) | 检查频率 | | 检验 方法 | |
|----|--------------------------------------|------|---------|------------|----------------------|-----|----------|----------------------------|
| | | | | 轻型 击实 | 范围 m ² | 点数 | | |
| 1 | 路 床 以 下 深 度 (cm) | 填 | 0~30 | 快速路和主干路 | 98 | 100 | 每层一组(三点) | 用 环 刀 法 检 验 |
| | | | | 次干路 | 95 | | | |
| | | | | 支路 | 92 | | | |
| 2 | | 方 | 80~150 | 快速路和主干路 | 95 | | | |
| | | | | 次干路 | 92 | | | |
| | | | | 支路 | 90 | | | |
| 3 | | >150 | 快速路和主干路 | 90 | | | | |
| | | | 次干路 | 90 | | | | |
| | | | 支路 | 90 | | | | |
| 4 | 挖 | 方 | 0~30 | 快速路和主干路 | 95 | | | |
| | | | | 次干路 | 95 | | | |
| | | | | 支路 | 92 | | | |
| 5 | 在不具备实行重型击实标准的条件下,允许采用轻型击实标准,代替重型击实标准 | | | | | | | |

- 注 ①表中所列轻型击实标准和重型击实标准的压实度均以相应的标准击试验法求得最大压实度为 100%。
 ②填方高度小于 80cm 及不填不挖路段,原地面以下 0~30cm 范围内土的压实度不低于表中所列挖方的要求。
 ③道路的类型应根据设计要求来确定,分期扩建的道路需按永久规划的道路类型设计,下同。

(二)石方工程

路基石方允许偏差应符合表 4-1-21 的规定。

(三)允许偏差项目检查

1. 高程

用水准仪检查。先在基槽壁钉好标准小木桩,以 ±0.000 水准桩为基准点处立塔尺或测量标杆。在测点的槽壁一边架设水准仪进行测量高程。

基底标高应控制在设计高程的 0~ - 50mm。当土质变化,设计变更时,应按修改设计执行。

表 4-1-21 路基石方允许偏差

| 序号 | 项目 | 允许偏差(mm) | 检验频率 | | 检验方法 |
|----|------------|-------------|-------|----|--------------------------------|
| | | | 范围(m) | 点数 | |
| 1 | 高程 | +50 -200 | 20 | 3 | 用水准仪器沿横断面测量 |
| 2 | 路基宽 (m) | 路堑挖深 < 3 | 20 | 2 | 用尺量 (沿横断面由路中心向两边 各量 1 点) |
| | | 路堑挖深 > 3 | | | |
| | | 填方 | | | |
| 3 | 边坡 | 不陡于设计规定 | | 2 | 用坡度尺量,每侧计 1 点 |

抽查点数 路基每 20m 取 1 点,基槽、管沟、排水沟、路面基层每 20m 取 1 点,但不少于 5 点;挖方、填方基层每 30 ~ 50m² 取一点,但不少于 5 点。

2. 宽度

检查基槽断面尺寸时,应首先检查平面位置,轴线是否正确。

检查方法应按下列方法:

(1)用经纬仪测出基槽两端底面标准中心线,钉出中心线的基准桩,拉通线然后用尺量,由中心线向两边量。测点的数据为宽度偏差值。

(2)通过基槽两端的龙门板上的中心点挂通线,挂垂球将轴线引测到基槽底面上,钉上轴线(中心线)控制桩划出中心点,再挂通线用尺由中心线向两边量。测点的数据为宽度偏差值。

检查点数为每 20m 取 1 点,每边不少于 1 点。所有测值均不得偏小。

3. 边坡

基槽(坑)边坡坡度不允许偏陡。地质条件良好,土质均匀且地下水位低于基底时,应根据土质类别,按规范规定留置坡度(见表 4-1-22)。当条件变化应根据情况进行施工方法设计,支撑必须牢固。

表 4-1-22 深度 5m 以内坑(槽)边坡不加支撑的最陡坡度

| 土类 | 坡度(高:宽) | 土类 | 坡度(高:宽) |
|--------|---------|-----|---------|
| 中密砂土 | 1:1.00 | 老黄土 | 1:0.1 |
| 硬塑轻亚粘土 | 1:0.67 | 软土 | 1:1.0 |

| 土类 | 坡度(高:宽) | 土类 | 坡度(高:宽) |
|----------|---------|----|---------|
| 硬塑亚粘土、粘土 | 1:0.33 | | |

注:此表为边坡无荷载时采用,如有静动荷时,应按规范执行。

检查时观察和用坡度尺量测。检查点数同长度、宽度。

(四)工程验收

土(石)方工程竣工验收,应提交下列有关资料:

- (1)土(石)方工程竣工图;
- (2)有关设计变更和补充设计的文件;
- (3)施工记录;
- (4)隐蔽工程验收记录;
- (5)永久性控制桩和水准点的测量记录;
- (6)土壤干土质量密度试验报告;
- (7)质量检查和验收记录。

二、路床、路肩、边沟和边坡工程质量检查评定

(一)路床

1. 检查项目

路床土体结构必须坚固、稳定,严禁有翻浆、弹簧、起皮、波浪、积水等质量缺陷。

检查方法:观察检查和检查土的质量密度试验报告、隐蔽工程记录。

2. 允许偏差项目

路床工程允许偏差应符合表 4-1-23 的规定。

表 4-1-23 路床允许偏差

| 序号 | 项目 | | 压实度(%)及允许偏差 | | 检查频率 | | 检验方法 |
|----|----------------|-------|-------------|---------|--------------------|----|---------|
| | | | 土路床 | 石路床(mm) | 范围 | 点数 | |
| 1 | △压实度(深度0~30cm) | 快速路 | 轻型击实 | 98 | 1000m ² | 3 | 用环刀法检验 |
| | | 和主干路 | 重型击实 | 95 | | | |
| | 次干路 | | 轻型击实 | 95 | | | |
| | | 支路 | 重型击实 | 93 | | | |
| | | | 轻型击实 | 92 | | | |
| | | 重型击实 | 90 | | | | |
| 2 | 中线高程 | ±20mm | | ±20 | 20m | 1 | 用水准仪器测量 |

| 序号 | 项目 | 压实度(%)及允许偏差 | | 检查频率 | | | 检验方法 | |
|----|-----|---------------------------------|----------------|------|-------|--------|------|------------------|
| | | 土路床 | 石路床(mm) | 范围 | 点数 | | | |
| 3 | 平整度 | 20mm | 30 | 20mm | 路宽(m) | < 9 | 1 | 用 3m 直尺量 取最大值 |
| | | | | | | 9 ~ 15 | 3 | |
| | | | | | | > 15 | 3 | |
| 4 | 宽度 | ± 200 0 | ± 100 0 | 40m | 1 | | 用尺量 | |
| 5 | 横坡 | ± 20 且不大于 $\pm 0.3\%$ | $\pm 0.5\%$ | 20m | 路宽(m) | < 9 | 2 | 直水准仪测量 |
| | | | | | | 9 ~ 15 | 4 | |
| | | | | | | > 15 | 6 | |

注:快速路和主干路挖方地段重型击实压实度为 93%。

(二)路肩

1. 检查项目

路肩的肩线必须顺直,表面必须平整,坡度适宜、顺水畅通。严禁有阻水和积水缺陷。

检查方法:观察检查。

2. 允许偏差项目

路肩允许偏差应符合表 1-10-6 的规定。

表 4-1-24 路肩允许偏差

| 序号 | 项目 | 压实度(%) 及允许偏差 | 检验频率 | | 检验方法 |
|----|-----|-----------------|-------|----|----------------|
| | | | 范围(m) | 点数 | |
| 1 | 压实度 | > 90(轻型击实) | 100 | 2 | 有环刀法检验,每测计 1 点 |
| 2 | 宽度 | 不小于设计规定 | 40 | 2 | 用尺量,每测计 1 点 |
| 3 | 横坡 | $\pm 1\%$ | 40 | 2 | 用水准仪测量,每测计 1 点 |

注:硬质路肩应补充相应的检查项目。

(三)边沟、边坡

1. 检查项目

(1)边坡必须平整、坚实、稳定,严禁贴坡和失稳(塌陷或滑塌)缺陷。

检查方法 观察检查。

(2)边沟上口线应整齐、直顺、沟底应平整,坡度适宜排水应畅通,不得有积水现象
检查方法、观察检查。

2. 允许偏差项目

土(石)质边沟、边坡允许偏差应符合表 4-1-25 的规定。

表 4-1-25 土质、石质边沟、边坡允许偏差

| 序号 | 项目 | 允许偏差 | 检验频率 | | 检验方法 |
|----|------|---------------|-----------|----|----------------|
| | | | 范围 (m) | 点数 | |
| 1 | 边坡坡度 | 不陡于设计规定 | 20 | 2 | 用坡度尺量,每测计 1 点 |
| 2 | 沟底高程 | 0mm - 30mm | 20 | 2 | 用水准仪测量,每测计 1 点 |
| 3 | 沟底宽 | 不小于设计规定 | 20 | 2 | 用尺量,每测计 1 点 |

三、路基施工基本要求和质量检验项目标准

路基是路基的基础,实践表明,没有坚固稳定的路基,就没有稳固的路面。路面的强度和稳定性是保证路面稳定性的先决条件。提高路基的强度和稳定性,可以适当减薄路面结构层的厚度,从而降低公路造价,因此必须保证路基的施工质量。

交通部标准《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071-94),对土方路基、石方路基、路拱、路肩、边沟(排水沟)、软土地基的施工基本要求和实测项目、外观鉴定都作了规定。

(一)土方路基

1. 施工基本要求

(1)在路基用地和取土坑范围内,认真清除地表植被、杂物、积水、淤泥和表土,处理坑塘,并对基底按路基施工规范要求进行认真压实。

(2)不得采用设计或规范规定的不适用土料作为路基填料。

(3)路基必须分层填筑压实,每层表面平整,路拱合适,排水良好。

(4)施工临时排水系统应与设计排水系统结合,勿使路面附近积水,避免冲刷边坡。

2. 实测项目(见表 4-1-26)

表 4-1-26 土方路基实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | 检查方法和频率 | 规定分 | |
|----|------------|------------|--------------|---------|-------------------------------|---------------------|----|
| | | | 高速公路 一级公路 | 其他公路 | | | |
| 1 | 压实度 (%) | 零填及路堑 (mm) | 0~300 | 95 | 93 | 密度法:每 200m 压实层测 4 处 | 30 |
| | | 路堤 (mm) | 0~800 | 95 | 93 | | |
| | 800~1500 | | 93 | 90 | | | |
| | >1500 | | 90 | 90 | | | |
| 2 | 弯沉(0.01mm) | | 不大于设计计算值 | | 公路路面基层施工技术规范 | 15 | |
| 3 | 纵断高程(mm) | | +10,-20 | +10,-30 | 水准仪:每 200m 测 4 点 | 10 | |
| 4 | 中线偏位(mm) | | 50 | 100 | 经纬仪:每 200m 测 4 点, 弯道加缓圆、圆缓两点 | 10 | |
| 5 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | | 米尺:每 200m 测 4 点 | 10 | |
| 6 | 平整度(mm) | | 20 | 30 | 3m 直尺:每 200m 测 4 处, 每处连续测 3 尺 | 15 | |
| 7 | 横坡(%) | | ±0.5 | ±0.5 | 水准仪:每 200m 测 4 个断面 | 5 | |
| 8 | 边坡 | | 不陡于设计值 | | 每 200m 抽查 4 处 | 5 | |

注:①压实度检查深度从路床顶面算起。

②采用核子仪检验压实度时应进行标定试验,确认其可靠性。

③表列压实度以重型击实试验法为准,评定路段内的压实度下置信界限不得小于规定标准,单个测定值不得小于极值(表列规定值-5%),小于表列规定值 2%~5%的测点,按其数量占总检查点的百分率计算扣分值。

④特殊干旱、特殊潮湿地区或过湿土,以及铺筑中、低级路面的三、四级公路路基,应按交通部颁发的路基设计、施工规范所规定的击实试验方法及压实度标准进行评定。

⑤本表及表 4-1-27~表 4-1-35 评分方法为百分制。

3. 外观鉴定

(1)路基表面平整,边线直顺。不符合要求时,单向累计长度每 50m 减 1~2 分。

(2)路基边坡坡面平顺稳定,不得亏坡,曲线应圆滑。不符合要求时单向累计长度为 50m 减 1~2 分。

(3)取土坑、弃土堆、护坡道、碎落台的位置适当,外形整齐,美观,防止水土流失。不符合要求时,每处减 1~2 分。

(4)因施工不当影响河道流水时,减 5~10 分。

(5)设计植草的路段,发现明显缺陷时,单向累计长度每 50m 减 1~2 分。

(二)石方路基

1. 施工基本要求

(1)开炸石方的施工方法应能保证边坡稳定,清理险石应避免过量爆破损害自然环境。

(2)修筑填石路堤应认真进行地表清理,逐层水平填筑石块,摆放平稳。采用振动压路机分层碾压,压至填筑层顶面石块稳定。路基顶部填筑石块的最大尺寸不大于规范规定。

(3)路基表面应整修平整。

2. 实测项目(见表 4-1-27)

表 4-1-27 石方路基实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|----------|-----|--------------|---------|-----------------------------|-----|
| | | | 高速公路 一级公路 | 其他公路 | | |
| 1 | 压实度(%) | | 层厚和碾压遍数符合要求 | | 查施工记录 | 30 |
| 2 | 纵断高程(mm) | | +10,-30 | +10,-50 | 水准仪:每200m测4点 | 10 |
| 3 | 中线偏位(mm) | | 50 | 100 | 经纬仪:每200m测4点, 弯道加缓圆、圆缓两点 | 10 |
| 4 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | | 米尺:每200m测4处 | 10 |
| 5 | 平整度(mm) | | 30 | 50 | 3m直尺:每200m测4处, 每处连续测3尺 | 15 |
| 6 | 横坡(%) | | ±0.5 | ±0.5 | 水准仪:每200m测4个断面 | 10 |
| 7 | 边坡 | 坡度 | 不陡于设计值 | | 每200m抽查4处 | 15 |
| | | 平顺度 | 符合设计要求 | | | |

3. 外观鉴定

(1)上边坡不得有松石。不符合要求时,每处减1~2分。

(2)路基边线直顺,曲线圆滑。不符合要求时,单向累计长度每50m减1~2分。

(三)路槽

1. 施工基本要求

(1)碾压时路槽不得有翻浆、弹簧、起伏等现象。

(2)路槽要有临时排水措施,以利排泄雨水。

(3)有压实度检查记录。

2. 实测项目(见表 4-1-28)

表 4-1-28 路槽实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | 检查方法 | 规定分 |
|----|------------------------|---------|----------|---------------------------------|-----|
| 1 | 0~30cm 范围压 实度(%) | 高、次高级路面 | 93~95 | 密度法:每100m测2处 | 35 |
| | | 中、低级路面 | 90~93 | | |
| 2 | 纵断高程(mm) | | ±20 | 水准仪:每100m测5点 | 25 |
| 3 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | 每100m测2处 | 15 |
| 4 | 平整度(mm) | | 15 | 3m直尺:每100m测3处, 每处连续测3尺,每尺测1点 | 15 |
| 5 | 横坡(%) | | ±0.5 | 每100m测2个断面 | 10 |

3. 外观鉴定

路槽应平整密实,没有明显碾压轮迹,不符合要求时减5分。

(四)路肩

1. 施工基本要求

- (1)路肩表面平整密实,不积水。
- (2)肩线直顺,曲线圆滑。
- (3)硬路肩同相同路面结构质量要求。
- (4)当设计需设排水盲沟时,应按有关要求设置。

2. 实测项目(见表4-1-29)

表 4-1-29 路肩实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|-------------|-----|----------|-----------------------|-----|
| 1 | 压实度(%) | | 不小于设计值 | 密度法:每200m测2处 | 30 |
| 2 | 平整度 (mm) | 土路肩 | 20 | 3m直尺:每200m测2处,每处连续测3次 | 20 |
| | | 硬路肩 | 10 | | |
| 3 | 横坡坡度(%) | | ±1.0 | 水准仪:每200m测2处 | 20 |
| 4 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | 尺量:每200m测2处 | 30 |

3. 外观鉴定

- (1)路肩无阻水现象。不符合要求时,每处减1~2分。
- (2)路肩边缘直顺,无其他堆积物。不符合要求时,单向累计长度每50m减1~2分或每处减1~2分。

(五)边沟(排水沟)

1. 施工基本要求

- (1)土沟边坡必须平整、稳定,严禁贴坡。
- (2)沟底应平顺整齐,不得有松散土和其他杂物,排水畅通。

2. 实测项目(见表表 4-1-30)

表 4-1-30 土沟实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|-----------|----------|------------------------|-----|
| 1 | 沟底纵坡(%) | 符合设计值 | 水准仪,每 200m 测 4 点 | 30 |
| 2 | 断面尺寸(mm) | 不小于设计值 | 尺量,每 200m 测 2 点 | 30 |
| 3 | 边坡坡度 | 不陡于设计值 | 每 200m 测 2 处 | 20 |
| 4 | 边棱直顺度(mm) | ± 50 | 尺量,20m 拉线,每 200m 测 2 处 | 20 |

3. 外观鉴定

沟底无阻水现象。不符合要求时,每处减 2 分。

(六)软土地基处治

软土地基处治的方法有抛石挤淤法,砂垫层法,土工布法,反压护道法,袋装砂井法,塑料排水板法,碎石桩法,粉喷桩法等。

1. 施工基本要求

(1)抛石挤淤:应使用不易风化石料抛填,石料尺寸一般不宜小于 30cm。方向根据软土下卧地层横坡而定。片石露出水面后,应用较小石块填塞垫平,压实,然后铺设反滤层。

(2)砂垫层:砂的规格和质量必须符合设计要求和规范规定,砂垫层宽度应宽出路基边脚 0.5~1.0m,两侧端以片石护砌,砂垫层厚度及其上铺设的反滤层应符合设计要求。

(3)土工布:土工布质量符合设计要求,在平整的下承层上全断面铺设。土工布应拉直平顺,紧贴下承层,锚固端施工符合设计要求;接缝搭接粘合强度符合要求;上、下层土工布的搭接缝应交替错开。

(4)反压护道:填筑材料,护道高度、宽度应符合设计要求,压实度不低于 90%。

(5)袋装砂井、塑料排水板:砂的规格质量、砂袋织物质量和塑料排水板质量必须符合设计要求;井(板)底标高必须符合设计要求,其顶端必须按规范要求伸入砂垫层。

(6)碎石桩:碎石材料应符合规范要求;设置碎石桩时,应严格按试桩结果控制水压和电流。

(7)粉喷桩:水泥标号应符合设计要求,严格控制喷粉时间、停粉时间和水泥喷入量,

确保粉喷桩长度。

2. 实测项目(见表 4-1-31 ~ 表 4-1-35)

表 4-1-31 砂垫层实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|-------|----------|---------------|-----|
| 1 | 砂垫层厚度 | 不小于设计值 | 每 200m 检查 4 处 | 40 |
| 2 | 砂垫层宽度 | 不小于设计值 | 每 200m 检查 4 处 | 30 |
| 3 | 反滤层设置 | 符合设计值 | 每 200m 检查 4 处 | 30 |

表 4-1-32 土工布铺设实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|-------------|----------|---------------|-----|
| 1 | 下承层平整度、拱度 | 符合设计施工要求 | 每 200m 检查 4 处 | 20 |
| 2 | 土工布搭接宽度(mm) | ≥ 50 | 抽查 2% | 40 |
| 3 | 搭接缝错开距离(mm) | 符合设计施工要求 | 抽查 2% | 40 |

表 4-1-33 袋装砂井、塑料排水板实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 | 规定分 | |
|----|------------|-----------|---------|-----|----|
| | | | | 井 | 板 |
| 1 | 井(板)间距(mm) | ± 150 | 抽查 2% | 20 | 40 |
| 2 | 井(板)长度 | 不小于设计值 | 查施工记录 | 30 | 40 |
| 3 | 竖直度 | 1.5% | 查施工记录 | 20 | 20 |
| 4 | 砂井直径(mm) | + 10, - 0 | 挖验 2% | 10 | - |
| 5 | 灌砂量 | 5% | 查施工记录 | 20 | - |

表 4-1-34 碎石桩实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|--------|----------|---------|-----|
| 1 | 桩距(mm) | ± 150 | 抽查 2% | 20 |
| 2 | 桩径 | 不小于设计值 | 抽查 2% | 25 |
| 3 | 桩长 | 不小于设计值 | 查施工记录 | 30 |
| 4 | 灌石量 | 不小于设计值 | 查施工记录 | 25 |

表 4-1-35 粉喷桩实测项目

| 项次 | 检查项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|--------|-----------|---------|-----|
| 1 | 桩距(mm) | ± 100 | 抽查 2% | 15 |
| 2 | 桩径(mm) | 不小于设计值 | 抽查 2% | 25 |
| 3 | 桩长 | 不小于设计值 | 查施工记录 | 25 |
| 4 | 竖直度 | 1.5% | 查施工记录 | 10 |
| 5 | 单桩喷粉量 | 符合设计值 | 查施工记录 | 25 |

3. 外观鉴定

- (1) 砂垫层表面坑洼不平时,每处减 2 分。
- (2) 土工布皱折不平顺时,每处减 2 分。
- (3) 袋装砂井、塑料排水板间距均匀。不符合要求时,每处减 2 分。
- (4) 碎石桩、粉喷桩间距均匀。不符合要求时,每处减 2 分。

第十节 路基工程质量通病及防治

一、路基主要病害及防治

路基因经受各种自然因素的长期影响,承受车辆荷载的重复作用,并且由于路基所经过地区的地形、地质及水文地质等条件的影响,路基在使用过程中常产生各种病害。主要的有:路基的沉陷、路基边坡的坍方、滑坡、泥石流及翻浆等。

(一) 路基的沉陷

路基沉陷是指路基在垂直方向产生较大的沉落,从而引起局部路段的破坏,影响交通。

1. 产生原因

路基沉陷有两种:一是路堤的沉陷;一是地基的沉陷。

(1) 路堤的沉陷。因填料选择不当,填筑方法不合理,压实不足,在荷载和水、温度综合作用下,堤身可能向下沉陷。如图 4-1-106 所示。

(2) 地基的沉陷。原地面为软弱土层,如泥沼、流沙或垃圾堆积等,填筑前未经换土或压实,发生地基下沉,侧面剪裂凸起,引起路堤下陷。如图 4-1-106 所示。



图 4-1-106 路堤的沉降

a) 堤身下陷 b) 地基下陷

2. 防治方法

(1) 注意选用良好的填料, 严禁用腐植土或有草根的土块, 应分层填筑、分层夯实, 并及时排除流向路基的地面水或处理好地下水。

(2) 填石路堤从下而上, 应用由大到小的石块认真填筑, 并用石渣或石屑填充隙。

(3) 原地面为软弱土层时, 路堤高度较低的, 且可中断行车时, 应挖除换上良好的填料, 然后按原高度填平夯实; 路堤高度较高的, 且又不能中断行车时, 可采用打砂桩、混凝土桩或松木桩。

(二) 路基边坡的坍方

路基的坍方是山区常见的路基病害, 根据其形成的条件及原因, 一般可分为: 剥落、碎落、滑坍和崩塌等形式。详见表 4-1-36。

(三) 路基的翻浆

潮湿地段的路基在冰冻过程中, 土中的水分不断地向上移动聚集, 引起路基冰胀。春融时, 路基湿软, 强度急剧降低, 加上行车的作用, 路面发生弹簧、鼓包、冒浆、车辙等现象, 称为翻浆。

1. 翻浆分类

根据导致翻浆的水分来源的不同, 将翻浆分为五类, 见表 4-1-37。

表 4-1-36 路基边坡坍方的种类及防治方法

| 路基边坡坍方种类 | 特征及产生原因 | 防治方法 |
|----------|---|--|
| 剥落 | 是指边坡表土层或风化岩表面, 在湿热的作用下, 表面发生胀缩的现象, 从而引起零碎薄层从边坡上脱落下来 | ① 搞好排水, 不使地面或地下水浸蚀路基边坡 ② 加固边坡, 如种草、铺草皮或植树 ③ 对于风化的软质岩层, 可修建干砌或浆砌片石护墙 ④ 整修边坡, 及时清除可能滑坍的土石方 ⑤ 对裂缝较多的岩层, 可用喷浆法, 以防止岩石剥落及风化 |

| 路基边坡坍方种类 | 特征及产生原因 | 防治方法 |
|----------|---|---|
| 碎 落 | <p>是岩石碎块的一种剥落现象,其范围较剥落严重。</p> <p>产生原因:路堑边坡较陡(大于45°),岩石破碎和风化严重,在震动及水的浸蚀和冲刷下,块状碎屑沿坡面向下滚动</p> | 与剥落现象防治方法相同 |
| 滑 坡 | <p>是指路基边坡土体或岩石,沿着一定的滑动面向下滑动的现象</p> <p>产生主要原因:</p> <p>(1) 边坡较高,大于$10\sim 20\text{m}$</p> <p>(2) 边坡较陡,陡于50°</p> <p>(3) 填土不密实,缺少应有的支撑与加固</p> <p>(4) 岩层倾向公路路基,岩层倾角在$50^{\circ}\sim 70^{\circ}$之间,岩石风化严重</p> | <p>① 搞好排水,不使地面或地下水浸蚀路基边坡</p> <p>② 对可能滑坍的土石方,应及时挖除</p> <p>③ 在坡脚修建挡土墙,以对滑坡体起到支撑的作用,一般应修建在边沟以外</p> <p>④ 对可能滑下的岩石,用锚杆锚固</p> |
| 崩 坍 | <p>是指路基边坡上的土体或岩层在自重作用下坍落下滚的现象</p> <p>产生的主要原因:</p> <p>(1) 山坡岩层软硬交错,风化程度不同</p> <p>(2) 边坡较陡、较高</p> <p>(3) 边坡下部或坡脚被淘空或挖空,使上部土石失去支撑</p> <p>(4) 大爆破震松了岩层</p> <p>(5) 边坡上部水流的浸入,使边坡土体失去了平衡</p> | 与剥落现象的防治方法相同 |

表 4-1-37 翻浆分类

| 翻浆类型 | 导致翻浆的水分来源 |
|------|--|
| 地下水类 | 受地下水的影响,土基经常潮湿,导致翻浆。地下水包括上层滞水、潜水、层间水、裂隙水、泉水、管道漏水等。潜水多见于平原区,层间水、裂隙水、泉水多见于山区 |
| 地面水类 | 受地面水的影响,使土基潮湿,导致翻浆。地面水主要指季节性积水,也包括路基、路面排水不良而造成的路旁积水和路面渗水 |
| 土体水类 | 因施工遇雨或用过湿的土壤筑路堤,造成土基原始含水量过大,在负温度作用下使上部含水量显著加强,导致翻浆 |
| 气态水类 | 在冬季强烈的温差作用下,土中水主要以气态形式向上运动聚积于土基顶部和路面结构层内,导致翻浆 |
| 混合水类 | 受地下水、地面水、土体水或气态水等两种以上水类综合作用产生翻浆。此类翻浆需要根据水源主次定名,如地下水地面水类等 |

2. 翻浆分级

根据翻浆高峰时期路面变形破坏程度,将翻浆现象分为三等,即:

- (1) 轻型 路面龟裂、湿润,车辆行驶时有轻微弹簧;
- (2) 中型 路面松散,大片裂纹,局部鼓包,车辙较浅;
- (3) 重型 路面严重变形,翻浆冒泥,车辙很深。

3. 翻浆产生的原因及影响因素

(1) 产生的原因

翻浆现象主要发生在我国北方各省及南方的季节性冰冻地区。

冬季路基开始冻结,不断向深处发展,上下层形成了温度坡差,土中温度高处的水分便向上移动,从而造成大量水分积聚在土基上层,并且逐渐结成聚冰层。由于气候的变化,零度等温线不断下移,形成一层、两层或多层聚冰层,土基中水分冻结后体积膨胀,由于土质不均匀,使路面冻裂或冻胀隆起。

春季气温回升到零上,土基开始解冰,由于路面导热性大,路中的融解速度较两侧快,水分不易向下及两侧排除,土基上层含水量达饱和、过饱和,在车辆重复作用下,土基承载力极低,使路面出现弹簧、裂纹、松散、壅包、车辙、冒浆等,此即为翻浆现象。

(2) 影响翻浆的因素

影响翻浆的主要因素有土质、气候、水分、行车与养护等。

① 土质

粉性土是最容易翻浆的土,这种土毛细上升速度快且高,土中水分增多时强度降低很快,容易失去稳定。

粘性土毛细水上升虽高,但上升速度慢,因此,只有在水源供给充足并且在土基冻结速度缓慢的情况下,才能形成比较严重的翻浆。粉性土和粘性土含有大量腐植质和易溶盐时,则更易形成翻浆。

砂性土在一般情况下不会发生翻浆,这种土透水性强,毛细水上升高度小,在冻结过程中水分聚流现象极轻。同时,这种土即使含有大量水分也能保持一定的强度。

② 气候。

多雨的秋天、暖和的冬天、骤热的晚春、春融期降雨等都是加剧湿度积聚和翻浆现象的不利气候。

③ 水分。

地面排水困难,路基填土高度不足,而且路基附近的地表积水及浅的地下水,能提供充足的水源,是形成翻浆的重要条件。

④ 行车。

公路翻浆是通过行车重复荷载的作用,最后形成和暴露出来的。当其他条件相同时,在翻浆季节,交通量大,车辆愈重,则翻浆也会愈多,愈严重。

⑤ 养护。

不及时排除积水,修补裂缝、坑槽,会促成或加剧翻浆的出现。

4. 翻浆的防治

路基一旦发生了翻浆,可适当地选用下面的方法处治:

(1) 挖换土壤

把翻浆路段上的土挖出来,换填 40~60cm 厚的砂性土,压实后重铺路面,此法适用于翻浆较严重的路段。

(2) 换铺粒料

把翻浆路段上的稀泥挖除,填以碎石、碎砖或炉渣等粒料,表面整平后直接通车,或在下面填一层水稳性较好的干土,再铺上粒料,垫平后通车。此法也适用于翻浆较严重的路段。

(3) 挖换石灰土

在翻浆已破坏的土路上,可在该路段上撒铺适量的石灰,并用木棍或木榔头捣夯,使石灰能掺入路基土中,以形成灰土路,提高路基的水稳性;或在翻浆严重地段,待翻浆结束后可在原路面上,加铺 20~25cm 厚的石灰土,再重铺路面,石灰土用 6%~8% 的石灰剂量(质量比)。

(如翻浆十分严重,短期内不能修好,除积极选用上述方法处治外,可开辟临时便道维持通车。)

(4) 提高路基

根据实际情况加高路基,使路基上部土层远离地下水或地表积水。路基加高的数值,应根据当地冻土深度、路基土质和水文情况,以路基最小填土高度或临界高度的方法确定,以保证路基处于干燥状态。此法适用于平原区的土路和其他地区取土较易的路段。

(5) 设置不透水隔离层

用经过沥青结合料处理的土做成厚 2~3cm 的不透水隔离层(用油毛毡则为 2~3 层),或用不易老化的特别塑料薄膜,铺在路基全宽上,做贯通式,或只做到路面边缘 50~60cm 处的不贯通式。

(6) 增设排水设施

为了不让地下水大量上升到路基上部土层,可设法降低地下水,常用以下几种方法:

① 修建管式渗沟。

在路基两旁的边沟底下,向下挖一道深沟,比现有的地下水位再深一些。在沟底安

放四周带孔的瓦管(或水泥混凝土管),管上填满碎石、碎砖或小砾石,最上层用 20cm 厚的粘土夯实封口,粘土与碎石等粒料之间可铺一层 3cm 厚的草皮,这样地下水就可经瓦管排走而降低其水位。如图 4-1-107 所示。

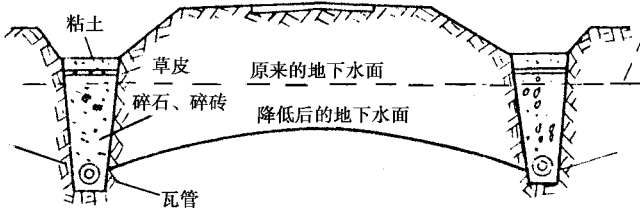


图 4-1-107 管式渗沟降低地下水位

②修盲沟。

一般在路肩设横向盲沟,每隔 5~6m 设置一道,沟底宜做成 4%~5% 的纵坡。如地下水位高,可在边沟底下设置纵向盲沟,其深度应根据当地土质毛细作用高度及降低水位多少而定。盲沟应用渗水良好的碎(砾)石填充。

③扩大边沟。

扩大边沟适用于边沟有一定的纵坡,能保证排水畅通的路段。一般边沟可加深至 1m 左右,底宽 0.6m 左右,并用片石或混凝土预制块加固。

(7)加强路面结构层

此法主要是提高路面的强度与刚性,扩大其承载能力。如在基层加铺 20~25cm 厚的石灰土,二灰碎石土等。为提高路基的强度与抗冻能力,亦可在路面底层铺砂垫层。通常采用的路面结构组合有四种,如图 4-1-108 所示。

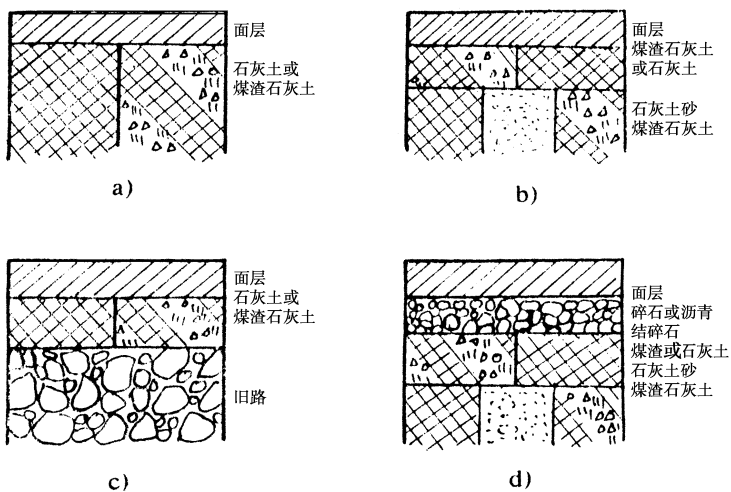


图 4-1-108 防治翻浆常用的路面结构

防治翻浆的各种措施列于表 4-1-38。

表 4-1-38 防治翻浆措施(选择参考)

| 编号 | 措施种类 | 适用的翻浆类型 | 翻浆等级 | 适用地区或条件 |
|----|----------|-----------|-------|------------------------|
| 1 | 路基排水 | ①、②、③ | 轻、中、重 | 平原区、丘陵区、山区 |
| 2 | 提高路基 | ①、②、⑤ | 轻、中、重 | 平原、洼地、盆地 |
| 3 | 砂砾垫层 | ①、②、③、⑤ | 中、重 | 产砂、砾地区 |
| 4 | 石灰土结构层 | ①、②、③、④、⑤ | 轻、中、重 | 缺少砂、石地区 |
| 5 | 煤渣石灰土结构层 | ①、②、③、④、⑤ | 中、重 | 缺少砂、石地区,煤渣供应有保证时 |
| 6 | 透水性隔离层 | ①、⑤ | 中、重 | 产砂、石地区 |
| 7 | 不透水隔离层 | ①、②、④、⑤ | 中、重 | 沥青、油毡纸、塑料薄膜供应有保证 |
| 8 | 盲沟 | ①、⑤ | 轻、中、重 | 坡腰或横向地下水出露地段,地下水水位高的地段 |
| 9 | 换土 | ①、②、③、⑤ | 中、重 | 产砂砾或水稳性好的材料地区 |

注 ①地下水类 ;②地面水类 ;③土体水类 ;④气态水类 ;⑤混合水类。

(四)病害原因综合分析

由以上简要介绍可知,路基病害的原因是多方面的,各种病害既有各自的特点,又往往具有共同的原因,可归纳为以下几个方面:

(1)不良的工程地质与水文地质条件。如地质构造复杂,岩层走向及倾角不利,岩性松软,风化严重,土质差,地下水位较高以及其他特殊不良地质等。

(2)不利的水文与气候因素。如降雨量大、洪水、干旱、冰冻、积雪或温差特大。

(3)设计不合理。如断面尺寸不合要求,包括边坡值不当、挖填布置不符合要求、路基低于临界高度以及排水、防护与加固不妥等。

(4)施工不符合规定,如填筑顺序不当、土基压实不足、盲目采用大型爆破及不按设计要求进行施工、工程质量不合标准等等。

(五)防止病害的基本措施

路基病害的防治,应贯彻“预防为主,综合治理”的原则,因为病害一旦出现,则路基稳定性开始丧失,而自然因素却是每时每刻都对路基产生影响,这就势必加剧病害的扩大与发展,形成恶性循环。弄清发生病害的原因,是治理病害的起点,而同一病害在不同

的时间、不同地点发生时,其原因往往不尽相同。因此,深入现场,综合分析,才能因地制宜地采取根治的措施。

(1)调查路线所经过地区的自然地理条件,如气候、水文、工程地质、水文地质等,尤其要了解它们的变化规律,为防治路基病害提供第一手的资料。

(2)认真选线,精心设计,严格施工,杜绝发生路基病害的人为因素,也是预防病害的积极措施。

(3)充分注意路基排水,在各种路基病害中都有水这个不利因素的作用,水的作用越强烈,病害越严重,因此,治水是防治路基病害的关键。在公路的设计、施工和养护工作中,路基排水均应放在重要位置,在自然地理条件较差的地段更应予以高度重视。

(4)加强养护,及时治理,以预防或减轻路基病害,并能及早发现病害征兆,有利于及时采取治理措施。

(5)综合分析、积极根治,由于路基病害的原因是多方面的,因此,除了做好路基工程自身的病害防治外,还应考虑各种外部因素的影响,如绿化、农田水利建设、土地开发等,才能达到根治路基病害的目的。

近年来,随着理论研究、测试技术和仪器设备的改进与提高,国内外对特殊地质水文情况下的路基病害作了大量的研究工作,并取得一定效果。例如,对公路滑坡的预测和防治技术有了很大的发展,广泛采用航空摄影技术、电探、震探、声学、光学、磁力法及放射性核子法等手段来测定滑坡的各项数据,采用有限元法分析岩土边坡的稳定性。

二、回填压实的质量通病及防治

超厚回填,倾斜碾压,填土不符合要求,带水回填均造成回填土达不到标准要求的密实度。

(一)超厚回填

(1)现象:一种是路基填方,一种是沟槽回填土,不按规定的虚铺厚度回填。严重者,用推土机一交将沟槽填平。

(2)危害:不能将所铺层厚内的松土全部达到要求的密实度。如是道路,将造成路基和路面结构沉陷,如是管道,其胸腔部位便达不到要求的密实度,使胸腔部位的土压力小于管顶土压力和地面荷载,可能造成管体上部破裂,无筋管还可能被压扁。

(3)原因分析:①施工技术人员和操作工人对上述危害不了解或认识不足。②技术交底不清或质量控制措施不力。③施工者有意偷工不顾后果。

(4)治理方法:①加强技术培训,使施工技术人员和操作人员了解分层压实的意义。②要向操作者作好技术交底,使路基填方及沟槽回填土的虚铺厚度不超过有关规定。

③严格操作要求,严格质量管理,惩戒有意偷工者。

(二)倾斜碾压

(1)现象:在填筑段内随高就低,使碾轮爬坡碾压。

(2)原因分析:在填筑段内未将底层整平,即进行填筑,或在沟槽内填筑高度不一,使碾轮在带有纵坡的状态下碾压。

(3)危害:碾轮压实重力产生分力损失(见图4-1-109)在纵坡上使碾轮重不能发挥最大的压实功能,坡度越大损失的压实功就越大。

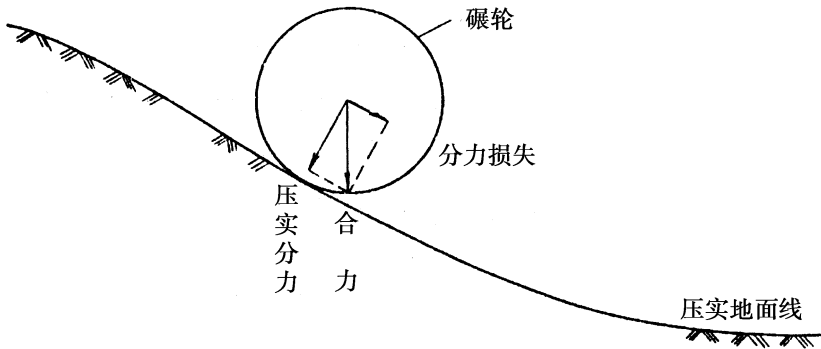


图4-1-109 倾斜碾压的压力损失

(4)治理方法:在路基总宽度内,应采用水平分层方法填筑。路基地面的横坡或纵坡陡于1:5时应作成台阶。回填沟槽分段填土时,应分层倒退留出台阶。台阶高等于压实厚度,台阶宽不小于1m。

(三)挟带大块回填

(1)现象:在填土中带有大砖块、大石块、大混凝土块、大硬土块。

(2)危害:填土中挟带块状物,妨碍土颗粒间相互挤紧,达不到整体密实效果。另一方面块状物支垫碾轮,产生叠砌现象,使块状物周围留下空隙,日后发生沉陷。

(3)原因分析:①不了解较大块状物掺入土中对夯实的不利影响。②不愿多运弃土方和杂物。③或交底不明确,或控制不严格。

(4)治理方法:①在回填土交底中要向操作者讲明带块状物回填的危害,使操作者能自觉遵守。②要严格管理,对填土中的大砖块、大石块、大混凝土块要取出,对大于10cm的硬土块打碎或取出。

(四)挟带有机物或过湿土的回填

(1)现象:在填土中含有树根、木块、杂草或有机垃圾等杂物。或过湿土。

(2)原因分析:①路基填土中不能含有机物质,本是最基本常识,主要是施工操作者技术素质过低,管理者控制不严。②取土土源含水量过大,或备土遇雨,造成土的过湿,

又不加处理直接使用。

(3)危害:有机物的腐烂,会形成土体内的空洞。超过压实最佳含水量的过湿土,达不到要求的密实度,都会造成路基不均匀沉陷,使路面结构变形。

(4)治理方法:①属于填土路基,在填筑前要清除地面杂草、淤泥等,过湿土及含有有机质的土一律不得使用。属于沟槽回填,应将槽底木料、草帘等杂物清理干净;②过湿土,要经过晾晒或掺加干石灰粉,降低至接近最佳含水量时再进行摊铺压实。

(五)带水回填

(1)现象:多发生在沟槽回填土中,积水不排除,带泥水回填土。

(2)危害:带泥水回填的土层其含水量是处于饱和状态的,不可能夯实。当地下水位下降,饱和水下渗后,将造成填土下陷,危及路基的安全。

(3)原因分析:由于地下水位高于槽底,又无降水措施,或降水措施不利,或在填土前停止降水,地下水积于槽内。或因浅层滞水流入槽内,雨水或其他客水流入槽内,不经排净即行回填土。

(4)治理方法:①排除积水,清除淤泥疏干槽底,再进行分层回填夯实;②如有降水措施的沟槽,应在回填夯实完毕,再停止降水;③如排除积水有困难,也要将淤泥清理干净,再分层回填砂或砂砾,在最佳含水量下进行夯实。

(六)回填冻块土和在冻槽上回填

(1)现象:冬季施工回填土时回填冻土块或在已结冻的底层上回填。

(2)原因分析:①技术交底不清,质量管理不严。冬施措施未加规定。②槽底或已经夯实的下层,未连续回填又不覆盖或覆盖不利(草帘刮跑或过薄),造成受冻。

(3)危害:①因膨胀的冻块融解,在填土层中形成许多空隙,不能达到填土层均匀密实,如回填大冻块其周围受冻块支垫也不能夯实。②土体一经结冻,体积膨胀,化冻后会造造成回填下沉。

(4)治理方法:①施工管理人员应向操作工人做好技术交底;同时要严格管理,不得违章操作。②要按规范要求“道路下沟槽回填土”“当年修路者,不得回填冻土”要掏挖堆存土下层不冻土回填,如堆存土全部冻结或过湿,应换土回填。③回填的沟槽如受冻,应清除冻层后回填。在暂时停顿或隔夜继续回填的底层上要覆盖保温。

(七)不按段落分层夯实

(1)现象:路基下沟槽回填土或者填筑路基,段落分界不清,分层不明,搭茬处不留台阶,碾压下段时,碾轮不到位或边角部位漏夯(压)。

(2)原因分析:①不按分段、水平、分层技术要求回填,而是随高就低,层厚不一的胡乱回填。②分段回填的搭茬不是按每层倒退台阶的要求填筑和碾压。③无法碾压的边

角部位,未用夯打。

(3)危害 造成搭荐处碾压不实,分层超厚处密实度不达标,边角处漏夯等都会造成路基日后不均匀沉降,路面变形。

(4)治理方法:①要按规范要求,分段、水平、分层回填,段落的端头每层倒退台阶长度不小于1m,在接填下一段时碾轮要与上一段碾压过的端头重迭。②槽边弯曲不齐的,应将槽边切齐,使碾轮靠边碾压,对于检查井周或其他构筑物附近的边角部位,应用动力夯或人力夯夯实。

三、路肩、边坡的质量通病及防治

(一)路肩、边坡松软

(1)现象 路肩松软,一经车轮碾压,即下陷出车辙。边坡呈松散状态,稍触外力,边坡土下溜。

(2)原因分析:①填方路基碾压不到位,使路肩和边坡未达到要求的密实度。②填方宽度不够,最后以松土贴坡。松土填垫路肩,又不经压实。③路基填方属砂性土或松散粒料,所形成的边坡稳定性差。

(3)危害:①路肩松软,会危及路面边缘结构的稳定性,路面易造成崩边损毁。②路肩松软,会使走在路肩上的机动车轮下陷。严重时会造成翻车。③边坡松散易造成冲刷、风蚀,使路基变窄。④路肩边坡松散,高填方路段,易发生滑坡。

(4)治理方法:①填方路堤分层碾压,两侧应分别有20~30cm的超宽,最后路基修整时施以削坡,不得有贴坡现象,如有个别严重亏坡,应将原边坡挖成台阶,分层填补夯实。路肩的密实度应达到轻型击实的90%以上。②路基填方如属砂性土或松散粒料,其边坡应予以护砌或栽种草皮、灌木丛以保护,或加大边坡坡率,一般应大于1:2。③路面完工后,所填补的路肩亏土,必须碾压或夯实,密实度应达到轻型击实的90%以上。④采用石灰土或砾料石灰土稳定路肩。⑤在路肩外侧,有块石或混凝土预制块铺砌护肩带。其最小宽度 $\geq 200\text{mm}$ 。⑥铺条形草皮或全铺方块草皮进行边坡植被防护。前者用于一般路提边坡,后者用于坡长8m以上的高填方边坡。⑦采用片石、卵石或预制块铺砌在边坡表面,用以加固边坡。

(二)边坡过陡

(1)现象:主要指填土路堤边坡坡度小于设计坡率,即土质边坡小于1:1.5。

(2)原因分析:受拆迁占地等因素影响,下层路基填筑宽度窄于路基下口设计宽度,而路基顶面又要满足路基总宽度,便形成了边坡小于设计坡率。

(3)危害:不能保证边坡的稳定性,易于滑坡。见下面图4-1-110。

(4)治理方法 ①要按照设计边坡坡率施工,使用坡度尺检查控制坡度,不小于设计规定。如无设计规定,一般不得小于 $1:1.5$ 。②如受条件限制,边坡小于 $1:1.5$ 时,要护砌砖石护坡。边坡直立时要砌筑挡土墙。

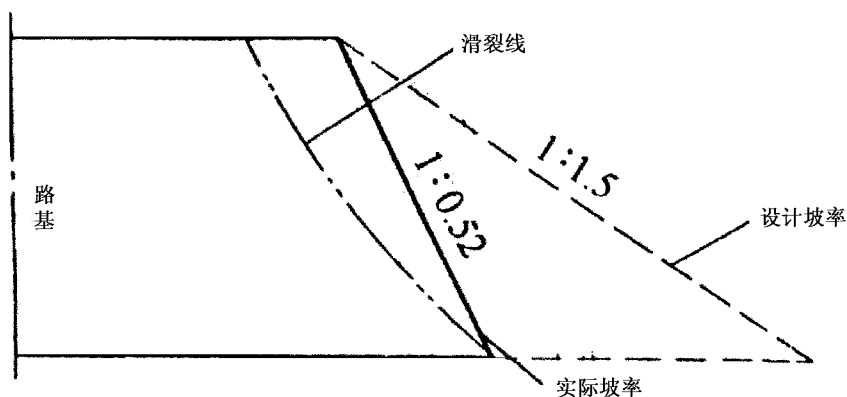


图 4-1-110 路基边坡过陡滑裂示意图

(三)路肩积水

(1)现象:即路肩横向反坡,或路肩与路面接茬处形成沟槽,造成积水。

(2)原因分析 ①路肩碾压不实,与路面接茬处的路肩经右侧车轮反复走压下沉,形成沟槽。②或虽经碾压,但未经修整,高低不平或路肩横向反坡。

(3)危害:路肩下沉或反坡,会造成路面边缘部位积水,经涵渗浸泡路基和路面结构,引发路面结构从路边开始逐步扩大沉陷和损毁范围。

(4)治理方法 ①重视路肩工序的质量控制,按设计横坡进行碾压修整,使密实度不低于轻型击实的 90% ,横坡偏差不大于 $\pm 1\%$ 。②要求路肩不得有积水现象。③如为防止路肩边坡冲刷,也可将路肩作成反坡,将雨水顺纵向汇集一处通过水簸箕排出路外。

四、边沟、排水沟质量通病及防治

路基排水施工中,经常因管理不善,造成排水沟沟底纵坡不顺,断面尺寸不准,排水无出路等质量通病。必须在施工中针对产生原因,积极予以防治。

(一)排水边沟沟底纵坡不顺,断面大小不一

(1)现象:沟底高低不平,甚至反坡,局部积水,局部断面过小,排水不畅。

(2)原因分析:未按设计纵坡和断面开挖修整边沟。忽视对附属工序的质量检验。

(3)危害:边沟积水,将渗入路基,降低路基土的强度和稳定性。

(4)治理方法:要严格按照设计要求的开挖断面和纵断面高程开挖修整,认真作好工序质量检验。

(二)路基排水无出路

(1)现象 边沟尾间无出路、边沟变成渗水沟。

(2)原因分析 ①工程设计单位设计调查工作不细,未解决排水出路问题。②施工单位学习图纸不细,对设计忽略的问题未提出补充意见。或是设计已有交待,施工单位有所忽视。

(3)危害 边沟大量积水浸入路基,降低路基土的强度和稳定性,减少道路的使用寿命。

(4)治理方法 ①施工单位要认真学习施工图,加强图纸会审,对排水出路不明确的,要提出补充设计。②除解决好路基边沟排水设施外,还要解决好边沟尾间排水沟的挑挖修整。

五、土路床质量通病及防治

(一)路床整修碾压的质量标准

1. 市政工程外观检验评定标准

(1)路床不得有翻浆、弹簧、起皮、波浪、积水等现象。

(2)用 12~15t 压路机碾压后,轮迹深度不得大于 5mm。

2. 实测实量检验评定标准

表 4-1-39 土路床实测实量允许偏差表

| 序号 | 检查项目 | 允许偏差(mm) | | | |
|----|------|-----------|-----------|---------|---------|
| | | 市政行标 | 北京标准 | 公路行标 | |
| 1 | 中线高程 | ±20 | ±20 | 高速、一级路 | 其他公路 |
| | | | | +10,-20 | +10,-30 |
| 2 | 平整度 | 20 | 10 | 20 | 30 |
| 3 | 宽度 | +200 0 | 不小于设计规定+B | 不小于设计值 | |
| 4 | 横坡 | ±20,且不大于 | ±20,且不大于 | ±0.5% | ±0.5% |
| | | ±0.3% | ±0.3% | | |

注:①表中 B 值为上层结构施工对本层要求加宽的必要附加宽度;
 ②市政行标指建设部标准《市政道路工程质量检验评定标准》(CJJ1—90),
 北京市标准指《市政道路工程质量检验标准》(DBJ01—11—95),
 公路行标指交通部标准《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071—94)。

(二)路床的质量通病及防治

1. 不按土路床工序作业

(1)现象 ①把路面结构直接铺筑在未经压实的土路床上。②虽经压实,但不控制或不认真控制其压实度、纵、横断高程、平整度和碾压宽度。

(2)原因分析 ①施工单位技术素质低,不了解不做土路床的危害。②施工单位有意

偷工减序,只图省工、省时、省机械。③只顾工程进度,不顾工程质量。

(3)危害 ①不经压实的土路床,等于路面结构铺筑在软地基上,其软基有较大的空隙,经过雨季雨水的渗透以及冬春的水分积聚,软土基中会充入大量水分,使土基稳定性降低,支承不住路面结构,路面将出现早期变形破坏。②不作土路床工序,便不能及时发现土质不良的软弱土基或含水量过大的土层,当做上面结构层时;“弹簧”现象反射上来,会造成结构层大面积返工。③不控制土路床的纵、横断面高程,光控制其上结构层的高程,将不能保证结构层的设计厚度,会出现薄厚不均,不能满足设计要求的薄弱部分,会出现过早破坏。④不控制土路床的平整度,虽经碾压,但凹凸部分的峰、谷长度小于碾轮接触面,即属于疙瘩坑表面,密实度会不均匀,突起部分密实度高,低洼部分密实度差,这种状况会反射到路面结构层上来,造成路面结构层的密实度和强度也不均匀。如图4-1-111所示。

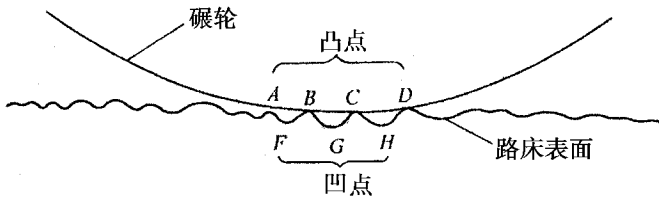


图4-1-111 碾轮与不平路床接触示意图

注:A、B、C、D为凸点,密实度就高;F、G、H为凹点,密实度就差。

(4)治理方法 ①对技术素质偏低的施工单位或人员应进行培训,施工时作好工序技术交底。②要按照路床工序的要求,在控制中线高程($\pm 20\text{mm}$)、横断高程($\pm 20\text{mm}$,且横坡不大于 $\pm 0.3\%$)、平整度(10mm)的基础上,填方路段路床向下0~80cm范围内,挖方路段路床向下0~30cm范围内要达到重型击实标准95%压实度(采用轻型击实标准时要达到98%)。③路床工序中的密实度项目和路面各结构层一样是主要检查项目(即带△项目),不作土路床工序等于密实度合格率为0,按质量检验评定标准评定方法判定应属不合格工程,因此,必须加强土路床工序的质量控制。

2. 土路床的压实宽度不到位

(1)现象 路床的碾压宽度普遍或局部小于路面结构宽度。

(2)原因分析 边线控制不准,或边线桩丢失、移位、修整和碾压失去依据。

(3)危害 土路床的碾压宽度窄于路面结构宽度,路面结构的边缘座落在软基上。当软基较干燥时有一定的支承力,结构层能成活,当软基受雨水浸透或冬春水分集聚,土基丢失稳定性时,路边将下沉造成崩边。

(4)治理方法 ①不论是填土路段填筑路基时,还是挖方路段,开挖路槽时,测量人员

应将边线桩测设准确,随时检查桩位是否有变动,如有遗失或移位,应及时补桩或纠正桩位。

②路床碾压边线应超出路面结构宽度(包括道牙基础宽度)每侧不得小于10cm。

3. 土路床的干碾压

(1)现象:在干燥季节,施作土路床工序过程中,水分蒸发较快,在路床压实深度内的土层干燥,不洒水或只表面洒水,路床压实层达不到最佳密实度。

(2)原因分析:①忽视土路床密实度的重要性或强调水源困难或强调洒水设备不足。
②有意(明知)或无意(不理解)违章操作。

(3)危害:达不到要求的密实度,经受不住车辆荷载的考验,缩短路面结构的寿命,出现早期龟裂损坏。

(4)治理方法:①教育施工人员理解路床土层密实度对结构层稳定性的重要性。
②如果路床土层干燥,应实行洒水翻拌的方法,直至路床土层(0~30cm)全部达到最佳含水量时再行碾压。

4. 路床土过湿或有“弹簧”现象不加处理

(1)现象:路床土层含水量超过压实最佳含水量,以致大部或局部发生弹软现象。

(2)原因分析:①在挖方路槽开挖后,降雨,雨水浸入路床松土层。②由于地下水位过高或浅层滞水渗入路床土层。③填方路基路床土层填入过湿土或受雨水浸泡。④路床土层内含有粘性较大的翻浆土(该种土保水性强渗透性差)。

(3)危害:路床土层中含水量超过压实最佳含水量,部分会出现“弹簧”现象,达不到要求密实度,影响路面结构层的稳定性。造成路面基层结构难于碾压密实。

(4)治理方法:①雨季施工土路床,要采取雨季施工措施,挖方地段,当日挖至路槽高程,应当日碾压成活,同时还要挖好排水沟,填方路段,应随摊铺随碾压,当日成活。遇雨浸湿的土,要经晾晒或换土。②路床土层避免填筑粘性较大的土。③路床上碾后如出现弹软现象,要彻底挖除,换填含水量合适的好土。

5. 路床土层含有有机物质

(1)现象:路床土层内含有树根、杂草、垃圾等有机物质,未予清除。

(2)原因分析:①路床土层部位正处在被伐树木或其附近,枝、须根未清除。②路床土层部位正处在被填垫过的含有机杂物的房碴土或垃圾土。

(3)危害:在路床土层中的有机物质,长期处在潮湿状态下就会腐烂,形成土体中的空洞,失去对路面结构层的支承力,使路面结构沉陷变形。

(4)治理方法:不论是填方路床还是挖方路槽土层中不应含有任何有机物质,如土路床处于含有机物的房碴土或垃圾土土层应换填好土,如有少量树根、杂草、木块等有机物应清除干净。

第二章 路面基层施工质量控制与管理

第一节 路面基层概述

一、路面基层的分类及特点

基层是直接位于面层下的结构层次,而垫层则位于基层与路基之间。基(垫)层都是路面结构中的重要组成部分。

基层类型有沥青混合料(沥青贯入碎石、热拌沥青碎石、乳化沥青碎石混合料等)及沥青稳定土,各种集料基层及采用无机结合料稳定集料或稳定土类。后者指的是用石灰或水泥稳定集料或土类,以及用各种含有水硬性结合料的工业废渣基层,当环境适宜时,强度与刚度会随着时间不断增长,其最终抗弯拉强度和弹性模量,比一般的基层要大,但还是远较刚性路面为低,称为半刚性基层。而用沥青稳定各种集料的基层及不加任何结合料的各种粒料基层则统称为柔性基层。

碎石类基层属柔性基层,按强度构成可分为嵌锁型与级配型。嵌锁型基层,强度主要依靠碎石颗粒间的嵌锁和摩阻作用所形成的内摩阻力,而颗粒之间的粘结力是次要的,这种结构层的抗剪强度主要取决于剪切面上的法向应力和材料的内摩阻角。嵌锁型包括泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石等。级配型粒料基层的强度和稳定性,取决于内摩阻力和粘结力的大小。它的强度与稳定性在很大程度上取决于集料的类型(碎石、砾石或碎砾石),集料的最大粒径和级配以及混合料中0.5mm以下细料的含量及塑性指数,同时,还与密实度有很大关系。

无机结合料稳定类基层属半刚性基层,系指以石灰、水泥掺入土(集料)中或与工业废渣等共同或分别掺入土(集料)中,通过加水拌和、碾压成型的基层。常用的有石灰土、水泥土、石灰粉煤灰土、石灰水淬渣土,以及以此类材料分别或共同掺入砾(碎)石、工业废渣中,成为各种无机结合类材料。尽管半刚性基层品种繁多,但其作用机理是石灰与水泥中的活性物质与细粒土发生化学反应或此类活性物质对工业废渣中的材料起激化作用而胶结、凝固,成为高强度的整体材料,以抵抗外力的作用。而结合料的剂量、性质、集料的级配等都会影响此类基层材料的强度。

二、路面基层的主要技术要求

基层的强弱和好坏对整个路面,无论是沥青路面还是水泥混凝土路面的整体强度、使用质量和使用寿命都有十分重要的影响。因此,作为路面的基层,一般必须具备以下几个基本条件:

(一)足够的强度和刚度

1. 强度

基层必须能够承受车轮荷载的反复作用,即在预定设计标准轴载反复作用下,基层不会产生过多的残余变形,更不会产生剪切破坏(无结合料的粒料基层)或疲劳弯拉破坏(用各种结合料处治的基层)。基层要满足上述的技术要求,除必需的厚度外,主要取决于基层材料本身的强度。对基层材料的强度要求,在重交通道路上要比一般道路上的高。材料的强度包括两个主要方面:一方面是石料颗粒本身的硬度或强度,可用集料压碎值或集料磨耗值表示,我国也用岩石的抗压强度表示;另一方面是材料整体(混合料)的强度和刚度,如回弹模量、承载比、抗压强度、抗剪切强度、抗弯拉强度或间接抗拉强度(劈裂强度等)。

在我国路面基层施工技术规范中,对于集料,采用集料压碎值作为选择粒料的技术指标。集料压碎值既可用于检验碎石,也可以用来检验砾石以及其他粒料。测定该技术指标的仪器构造简单、操作方便以及试验精度高。对于用水硬性结合料处治的材料,采用抗压强度指标,而没有采用其它指标。这一方面是因为抗压强度是一个已使用了数十年的大家熟悉的指标,从试件的制备到试验本身都是比较简单易行的,也积累了丰富的资料和经验。另外,不同强度指标是相互关联的,同种材料的不同强度指标间具有较好的统计关系。

2. 刚度

基层的刚度(回弹模量)必须与面层的刚度相配。如面层和基层的刚度差别过大,则面层会由于过大的拉应力或拉应变而过早开裂破坏。各种基层材料,就其强度和刚度而

言,大致可分为三个等级。强度和刚度最高的一级中可包括水泥稳定粒料(土)、石灰粉煤灰稳定粒料(土)、石灰土稳定碎石(或砂砾)或石灰稳定砂砾土、沥青碎石(混合料)及沥青贯入式碎石(该两种含沥青的材料仅指在较低温度下)。强度和刚度中等的一级中可包括水泥土、石灰粉煤灰土、石灰土、级配碎石和填隙碎石。强度和刚度最低的是级配砾石和级配碎砾石。当然,在同一等级中的不同材料的强度和刚度也是有明显差别的。例如,水泥稳定粒料和石灰粉煤灰粒料的强度和刚度大致相同,但它们的强度却明显高于石灰土碎石和石灰砂砾土。又如,同样是石灰粉煤灰粒料,石灰粉煤灰矿渣的强度大于石灰粉煤灰碎石,而后的强度又大于石灰粉煤灰砂砾。因此,在沥青面层下,应该选用结合料稳定材料做基层,特别是用水泥或石灰粉煤灰等稳定的粒料。

在普通道路上,沥青面层一般较薄,整个路面的承载能力将主要依靠基层来满足。这就要求基层材料具有较高的强度和刚度,而且基层的厚度也要较大。使用强度大、承载能力高的基层,以适应较薄的沥青面层,或适当减薄沥青面层,在我国的具体情况下具有很大的现实意义和经济意义。对于普通道路,采用水泥混凝土路面时,也希望采用强度大、承载能力高的基层。

在重交通道路、一级公路和高速公路上,基层材料还应该有的抗疲劳破坏能力。就各种材料的抗疲劳破坏能力而言,由强到弱的排序为:沥青混凝土、沥青碎石、石灰粉煤灰粒料(矿渣、碎石、砾石)、水泥粒料(碎石、砾石、砂砾土)以及石灰土粒料或石灰粒料土。

目前,在我国的高等级道路上,特别是在高速公路上,无论是沥青面层,还是水泥混凝土面层,几乎全部采用半刚性材料做基层。这是因为半刚性材料,特别是厚层的半刚性材料(它可以是同一种材料,也可以是两种不同半刚性材料的组合),可使路面具有很高的承载能力。国内高级公路基层多采用水泥稳定粒料或二灰碎石(粒料),但该种结构组合也是有争议的。主要是全柔性路面(即沥青面层采用级配碎石或级配碎砾石,或采用沥青碎石作为基层)以及刚性路面柔性基层(即水泥混凝土路板下采用级配碎石或级配碎砾石或沥青碎石)级配集料基层国内采用的少。国内慎用的原因,主要是集料规格级配掌握不当,控制不严,施工机械化程度低。柔性基层的最大特点在于粉细料含量低,排水效果好,抗冲刷。

(二) 足够的水稳性和冰冻稳定性

沥青面层,特别是喷洒型(即俗称的层铺法)的沥青表面处治和沥青贯入式面层,往往是透水的,尤其在使用初期,其透水性较大。因此,雨季表面水有可能透过沥青面层进入基层和底基层,也可能从两侧路肩或路面与路肩的结合处以及中央分隔带缘石(通常是预制混凝土块)与路面结合处透入路面结合层中。如果沥青面层产生了裂缝,表面水

更将从裂缝透入路面结构层中。在地下水位接近地表的地段,特别在路基填土不高时,地下水可通过毛细作用进入路面结构层。在冰冻地区,由于冬季水分重分布的结果,路基上层和路面底基层都可能处于潮湿或过分潮湿状态。沥青面层虽不是完全不透水的,但却能阻碍路面结构层和土基中的水分蒸发。调查试验表明,水分从沥青面层蒸发出来,要比透进去困难得多,慢得多。

水泥混凝土路面面板,由于横缝、纵缝及胀缝的存在,尽管广泛采取填缝料灌缝密封,但事实上表面水不可避免地沿缝进入基层、底层甚至路基。通常情况下,水进入基层顶面,并滞留在那里,在高速行驶作用下产生高压水,对基层顶面产生冲刷,致使板下脱空、碎裂、断板。

进入路面结构层的水(包括气态水)能使含土较多、土的塑性指数较大的基层或底基层材料的含水量增加及强度大大降低,从而导致沥青路面过早破坏,或刚性路面损坏。在冰冻地区,这种水造成的危害更大。因此,必须用水稳性好的材料做路面的基层和底基层。

就各种基层材料的水稳性而言,水泥粒料的水稳性最好,石灰粉煤灰粒料次之,细土含量多且塑性指数大的级配碎石和级配砾石的水稳性最差。水泥处治粒料及石灰处治粒料土的水稳性随其中细土含量的增加及其塑性指数增大而降低。

必须特别注意,在确定基层材料的强度时,必须考虑表面水不可避免地要进入基层的最不利情况。

用于冰冻地区,特别是重冰冻地区的路面基层材料还应该有足够的冰冻稳定性。

在冰冻地区,在地下水位接近地表或路基两侧有长期积水的情况下,如果路基填土高度不大,在冬季土路基中会发生水分重分布,在 $0\sim-3^{\circ}\text{C}$ 温度下,长期滞留水的土层会形成严重的聚冰现象,土层会有很多冰晶体,甚至冰夹层。这层土常称做路基中的聚冰带。到春融期间该聚冰带化冻时,土层变得过分潮湿,使土基的强度急剧下降。如果在这种可能变得过分潮湿的土基上(例如含细土较多的粒料土、石灰土、水泥土等)直接铺筑与土基相接触的路面结构层的材料,将产生明显的毛细水作用。在这种材料层内也会发生水分重分布现象。如这些材料层又位于冰冻深度范围,在这些材料层内也可能发生聚冰带,到春融化冻期间,这些材料层强度也会明显下降,导致路面整体承载能力明显下降,甚至发生破坏。

在冰冻地区,当石灰土用在过分潮湿路段时,常发生路面破坏,就是因为石灰土的冰冻稳定性不好。因此,在冰冻地区的潮湿路段上,在路面的底基层或基层内有可能产生聚冰带时,应该采用冰冻稳定性好的材料。各种粒料、含土少的粒料土、结合料稳定粒料和稳定粒料土都是冰冻稳定性好的材料。在冰冻地区的潮湿路段上,当只能使用石灰土

时,应采用隔水措施,使冰冻期间水分不会明显进入石灰土层中。

特别注意,在重冰冻地区,即使在干燥路段上,石灰土和水泥土,特别是剂量不足或强度达不到要求的上层石灰土和水泥土,经过冬季的冰冻作用,其强度也会明显降低。

(三)有足够的抗冲刷能力

随着交通量和汽车载重量的增加,对路面基层材料提出了新的抗冲刷的要求。

1. 冲刷唧浆现象

国内外的调查研究表明,基层材料的冲刷及由之而产生的唧浆现象是经常存在的。

前面已经说明,表面水会通过多种途径进入沥青路面结构层内,同样也会进入水泥混凝土路面结构层内。如果进入的水不能及时排出,而是停留在面层与基层的交界面上,就会使得基层局部潮湿甚至接近饱和。例如,从沥青面层的裂缝进入的自由水,往往使裂缝附近的基层材料过份潮湿,特别是面层裂缝下无机结合料稳定基层也开裂的情况,基层裂缝中往往充满自由水,在行车荷载作用下,路面结构层内或基层材料中的自由水会产生相当大的水压力。这种有压力的水会冲刷基层材料中的细料。一次冲刷的量是很小的,在行车荷载作用下反复多次冲刷,就会积少成多,在裂缝中形成细料浆,细料浆被逐渐挤压挤出裂缝,形成沥青面层上裂缝处的唧浆现象。显然,路面结构层内自由水产生的水压力随行车荷载的增加而增加,同时冲刷量随行车反复作用的次数而增加。因此,在轻交通道路上不易发生的冲刷唧浆现象,在重交通道路上就容易发生。

行车荷载在路面结构层内引起的水压力是如此之大,它不但可以冲刷级配集料基层中的细料,而且可以冲刷石灰稳定基层材料中的细料。虽然水泥稳定基层材料的7天龄期无侧限抗压强度超过2MPa,但只要原集料中含有较多的细料(特别是小于0.075mm的颗粒),仍然会产生冲刷现象。

半刚性基层沥青路面的唧浆现象,多雨地区较为常见,在干旱地区也有发生。我国的高速公路沥青路面几乎全部采用水泥稳定级配集料或石灰粉煤灰稳定级配集料做基层,冲刷唧浆现象是一些高速公路沥青路面早期损坏的主要现象之一。无论是多雨地区,还是干旱地区都有,一般都在雨后发生。

水泥混凝土路面的混凝土面板下的基层同样会产生冲刷现象,早在50年代,美国等一些国家就有报导。70年代以来,我国各省,特别是水泥混凝土路面较多的省份,如浙江、安徽、湖南、广东等都有类似情况,在混凝土板的接缝处由于板在行车作用下的泵吸作用造成唧浆现象,由于唧浆使混凝土板的边、角脱空而造成边、角断裂。为了避免这种现象,改善水泥混凝土路面的使用性能和延长其使用寿命,现在普遍地采用水泥稳定碎石集料或水泥稳定砾石集料作为混凝土面的基层。在美国为了建设优质水泥混凝土路面,采用贫混凝土做基层,以避免基层产生冲刷和导致混凝土面板错台等损坏现象。国

内,安徽等省也有采用碾压混凝土或经济碾压混凝土作为基层的,在一些机场、码头堆场也有采用贫混凝土做基层的。

2. 影响冲刷程度的因素

基层的冲刷程度与进入路面结构的水量大小有很大关系。进入的水愈多,冲刷程度愈大。冲刷程度还与基层材料本身有很大关系,对于未处治的级配集料来说,集料中小于 0.075mm 的粉粒与粘粒愈多,冲刷愈严重。对于无机结合料处治基层材料,稳定细粒土(如石灰土、水泥石和石灰粉煤灰土)的冲刷最严重,稳定粒料土(中粒土或粗粒土)的冲刷程度随集料中 0.075mm 以下的颗粒含量而变,细料含量愈多,冲刷愈严重。对于同一种稳定粒料土而言,其冲刷程度随水泥剂量增加而减少,水泥剂量在 $4\% \sim 5\%$ 以上时,抗冲刷能力大幅度提高。

应该指出,无机结合料处治材料用做基层时的冲刷问题是多个因素综合作用的结果,因此,它不是绝对的。对于稳定细粒土,例如石灰土,也并不是必然会产生冲刷和唧浆现象。石灰土组成设计合适,施工质量好,施工后经过夏季高温天气强度形成得好,强度得到充分发展,气候较干燥(雨量不大)以及交通量不大等有利因素综合在一起,即使是开裂严重的薄沥青面层,也不一定产生明显的唧浆现象,这在多条试验路和生产路段上得到验证。

3. 提高基层抗冲刷性的措施

为了提高高等级道路上路面基层的抗冲刷性能,应采取以下措施:

(1)在采用水泥稳定粒料基层时,粒料的级配应依照基层施工规范中规定的级配碎石或级配砾石基层的集料级配范围而定,同时限制集料中小于 0.075mm 的颗粒含量不超过 5% (有塑性指数)或 7% (无塑性指数)。

(2)在采用石灰粉煤灰粒料基层时,混合料中粒料的比例应是 $80\% \sim 85\%$,同时粒料需具有良好的级配,且其中小于 0.075mm 的颗粒含量应等于0。

(3)在采用石灰稳定级配粒料土或石灰土稳定级配粒料时,混合料中粒料的比例应接近 85% 。

(四)收缩性小

对于高等级道路上的基层,特别是半刚性基层,还应该要求其收缩性小。半刚性材料的收缩性包括两个方面,一是由于水分减少而产生干缩的程度,二是由于温度降低而产生温度收缩的程度。

1. 干缩的影响

干缩性大的半刚性材料基层铺成后,在铺筑沥青面层前就可以产生干缩裂缝。例如,石灰土、水泥石或水泥石灰土基层碾压结束后,如果不及时养生或养生结束后未及时

铺筑沥青封层或沥青面层,只要曝晒 2~3d 就可能出现干缩裂缝。随曝晒时间增长,裂缝会越来越严重,将基层表面切割成数平方米大小的小块。即使是用干缩性小的石灰粉煤灰粒料和水泥粒料铺筑的基层,在养生结束后,如曝晒时间过久(时间长短随各地当时的气候条件而变),也会产生一般间距为 5~10m 的横向干缩裂缝。就各种半刚性材料的干缩裂缝而言,主要是横向裂缝,大部分间距是 3~10m,也有少数纵向裂缝,缝的顶宽约 0.3~0.5mm。这种裂缝危害性最大。在沥青路面使用过程中,在某种条件下,裂缝会逐渐向上扩展并通过沥青面层出现在表面,或在某种条件下,基层的裂缝会促使沥青面层表面先开裂,并逐渐向下扩展与基层的裂缝相连。由这两种方式形成的沥青面层的裂缝都俗称“反射裂缝”。因此,在铺筑沥青面层前,采取措施防止半刚性基层开裂是个十分重要的问题。

在采用干缩性大的半刚性材料做沥青路面的基层时,如果沥青面层较薄而又处于较干旱地区,即使在铺筑沥青面层时基层并未开裂,在路面使用过程中基层混合料的含水量仍能明显减少并产生干缩裂缝(先于沥青面层开裂),从而促使沥青面层开裂,产生反射裂缝。

在采用干缩性小的半刚性材料做沥青路面的基层时,如果施工碾压时的含水量合适,且能保护基层在铺筑沥青面层前不开裂,则在铺筑较厚沥青面层后,一般情况下,基层就不会先于沥青面层开裂。在有沥青面层覆盖的情况下,在一般地区半刚性基层混合料干燥到相当于风干状态也是不可能的。另一方面,在潮湿多雨地区,较厚沥青面层下的半刚性基层混合料往往能保护其含水量接近施工时的最佳含水量。因此,如能保护半刚性基层在铺筑沥青面层前不开裂,较厚沥青面层铺筑后,一般情况下半刚性基层就不会再先于沥青面层产生干缩裂缝。

但是,如果施工碾压时的含水量偏大,即使已铺上一层或两层(6~12cm)沥青面层,在旱季或冬季基层也可能产生干燥缩缝,同时将沥青面层拉裂或很快反映到沥青面层上。

就半刚性材料的干缩性而言,稳定细粒土的干缩系数大于稳定中粒土和稳定粗粒土的。在稳定细粒土(如水泥土和石灰土)中,稳定塑性指数大的粘性土混合料的干缩系数大于稳定塑性指数小的粉性或砂性土混合料的干缩系数。此外,石灰粉煤灰土的干缩系数小于石灰土和水泥土的干缩系数。在稳定中粒土和粗粒土时,稳定粒料土的干缩系数大于稳定不含细土的粒料的干缩系数,而且细土的含量愈多,混合料的干缩系数愈大。

2. 温缩的影响

半刚性基层内部的温度变化和温差会产生温度应力。在冷的季节,半刚性基层表面的温度低,基层的顶部会产生拉应力;在暖和的春季,半刚性基层底部的温度低(特别在

薄沥青面层的情况下)在基层的底部可能产生温度应力(拉应力)。这个拉应力与行车荷载在基层底部产生的拉应力相结合,会促使基层底面开裂。因此,半刚性基层材料的温度收缩特性(或程度)对沥青路面,特别是薄沥青面层的开裂有重要影响。

不同半刚性材料的温缩性质有很大差异。石灰土、水泥土和石灰粉煤灰土等稳定细粒土的温缩性(包括温缩系数和温缩应变)最大。但是,除非在日温差大的地区,通常即使是稳定细粒土基层,如在养生过程中或在养生后能较及时地铺筑沥青面层,在正常温度下就不致产生温缩裂缝。因为沥青面层,特别是较厚的沥青面层对半刚性基层有很好的隔温保护作用,使基层顶面的温度变化幅度明显小于沥青面层或裸露基层表面的温度变化幅度。在面层厚10cm的情况下,半刚性基层中的温度梯度可降低40%。这些都将明显减小半刚性基层顶部产生的温度拉应力。此外,基层顶面的温度变化速度也较面层表面的温度变化速度要小,有利于基层材料中温度应力的松弛。但是,半刚性基层,即使是温缩性最小的水泥稳定粒料和石灰粉煤灰稳定粒料基层,较长时间的裸露或在上仅有一薄的沥青封层,会受到日温差产生的温度应力的反复作用。此温度应力与基层顶面产生的干缩应力相结合,更容易引起半刚性基层开裂。在冰冻地区,暴露的半刚性基层过冬,容易受到负温度作用而开裂。温缩性大的基层材料更是如此。此外,在冬季,裸露的温缩性大的半刚性材料层受到水和反复冻融的作用,其上层还容易冻胀变松。基层一旦开裂,在其上铺筑沥青面层后,就容易在沥青面层内形成反射裂缝或对应裂缝。因此,在基层养生结束后,应立即铺筑沥青面层。

在冰冻地区,特别是在重冰冻地区,温缩性大的半刚性材料基层上为薄或较薄的沥青面层时,由于这种基层材料的温缩系数明显大于沥青混凝土的温缩系数,在冬季气温急剧降低时,半刚性基层会产生温度收缩裂缝。半刚性基层一旦开裂,在持续低温或又一次降温的过程中,半刚性基层的裂缝张开很容易将沥青面层拉裂并形成反射裂缝,从而增加沥青面层内裂缝的总数。半刚性基层材料的刚性越大,铺筑半刚性基层时的温度与冬季温度之间的差别越大,半刚性基层就越容易产生温度裂缝,裂缝的间距也就越小(即单位长度内的裂缝数量多),缝的开口也越宽。观测表明,大部分横向裂缝将在水泥稳定土层铺筑后的第1个冬季出现;在第2年、第3年的冬季,在原来未发生裂缝的路段上(特别是第1个冬季比较温和的情况下)也可能出现少量裂缝;然后情况开始稳定,不再出现新的裂缝。多数情况下,缝的间距在3~15m。冬季,缝的宽度达3~30mm;夏季,多数场合缩小到不足1mm。

半刚性基层混合料的温缩系数小于沥青面层材料的温缩系数,由于基层所遭受的负温度和温度变化(温度梯度)明显小于面层所遭受的温度变化,特别在沥青面层较厚的情况下更是如此,基层往往不会率先开裂(严格地说,面层或基层材料的温缩开裂还取决于

极限拉应变的大小)。

目前,我国高等级道路上的沥青面层一般都厚 8~15cm,有的甚至厚 20cm 以上。如果能选用适宜的半刚性材料(如水泥粒料和二灰粒料等)做基层,就可能避免在路面使用过程中半刚性基层先于沥青面层产生温度收缩裂缝。

半刚性基层材料温缩性的大小大致与其干缩性的大小具有相同的规律,即:稳定细粒土的温缩系数明显大于稳定中粒土和稳定粗粒土的温缩系数;石灰粉煤灰土的温缩系数明显小于石灰土的温缩系数;稳定粒料土的温缩系数明显大于稳定不含细土的粒料的温缩系数,而且中粒土或粗粒土中细土含量愈多,混合料的温缩系数愈大。

(五)有足够的平整度

基层的平整度对薄沥青面层的平整度有十分重大的影响。薄沥青面层的平整度取决于基层的平整度。

基层的平整度对较厚沥青混凝土面层的平整度的影响虽不如对薄沥青面层的影响那么大,但基层的不平整会引起沥青混凝土面层厚薄不匀,使沥青面层在使用过程中的平整度降低较快,并导致沥青混凝土面层产生一些薄弱面。它会成为路面使用期间产生温度收缩裂缝的起点。因此,基层的平整度对较厚沥青面层的使用性能也有很重要的影响。

(六)与面层结合良好

面层与基层间的良好结合,对于沥青面层的使用质量是非常重要的。与不结合的情况比较,它可以减少面层底面由于行车荷载引起的拉应力和拉应变(一般情况下可减小 50% 以上,有时甚至可减小到 1/4),它还可以明显减小由温度变化引起的沥青面层内的拉应力和拉应变。基层与面层良好结合可以使薄沥青面层不产生滑动、推移等破坏。为此,基层表面应该稳定并且具有一定的粗糙度,表面还应该结构均匀,无松散颗粒。对于无机结合料处治基层,不应有局部松散不结合的情况。基层上的局部松散常是沥青面层碎裂破坏的祸根。含有石灰土或石灰粉煤灰的稳定粒料基层表面,应使粒料颗粒外露,在喷洒透层或粘层沥青前,应将表面的浮尘及粒料颗粒表面的薄层石灰粉煤灰或石灰土扫除。级配碎(砾)石基层表面不能有薄层砂土;无机结合料处治基层的表层不应有薄层找补,薄层找补往往是薄沥青面层在使用过程中产生推移破坏的根源。

高等级公路上和其它等级公路上的石灰粉煤灰稳定级配集料基层和石灰土级配集料基层在竣工后表面往往有一薄层石灰粉煤灰或石灰土覆盖,这种薄面细料通常与其下整体结合不好,即使在有透层沥青或下封层的情况下,它实际上也妨碍沥青面层与基层间的粘结。开放交通后,雨水一旦浸入,此薄层细料容易形成浆,导致产生唧浆现象并使面层与基层脱开。

三、路面基层结构

路面的基层(底基层)可分为无机结合料稳定类和粒料类。无机结合料稳定类又称半刚性类,一般包括水泥稳定类、石灰稳定类和综合稳定类。粒料类包括级配碎(砾)石、填隙碎石、泥(灰)结碎石和天然砂砾(石)。

(一)半刚性基层(底基层)

1. 半刚性基层材料的特点

整体性好、承载力高、刚度大、水稳性好,且较为经济。目前,已广泛地应用于各等级公路的路面基层(底基层)。

2. 半刚性基层(底基层)路面性能

半刚性基层(底基层)路用性能的比较如表 4-2-1。

表 4-2-1 半刚性基层(底基层)路用性能比较

| 类 型 | 种 类 | 强度形成 | 影响强度及稳定性因素 |
|-------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 石灰稳定类 | 石灰土、石灰砂砾土、石灰碎石土 | 石灰与细粒土的相互作用 | 土质、石灰的质量与剂量、养生条件与龄期 |
| 水泥稳定类 | 水泥稳定土、水泥稳定砂砾、水泥稳定砂砾土、水泥稳定碎石土 | 水泥与细粒土的相互作用 | 土质、水泥性能与剂量、水 |
| 综合稳定类 | 石灰粉煤灰类(二灰、二灰土、二灰砂、二灰砂砾、二灰碎石)水泥石灰稳定土 | 石灰、水泥(粉煤灰)与砂、土的相互作用 | 土质、石灰及水泥的性能与剂量、养生条件 |

(二)粒料类基层(底基层)

粒料类中的泥(灰)结碎石、填隙碎石属于嵌锁型基层(底基层),强度主要依靠碎石之间的嵌锁和摩阻作用所形成的内摩阻力以及粘结力,其强度和稳定性取决于石料的强度、形状、尺寸、均匀性、表面粗糙度以及施工时的压实程度等。

粒料类中的级配碎(砾)石、符合级配的天然砂砾属于级配型基层(底基层),其强度和稳定性取决于粒料之间的内摩阻力和粘结力的大小,即很大程度上取决于碎(砾)石的类型、最大粒径、细料的含量及塑性指数以及密实度等。

四、常用材料的要求

(一)半刚性基层(底基层)

1. 土

(1)要易于粉碎,便于碾压成型。

(2)最大粒径 :用作基层时 ,不超过 40mm(方孔筛 ,下同);用作底基层时 ,不超过 50mm ,颗粒组成应满足表 4-2-2 的要求。水泥稳定类作底基层时 ,土的均匀系数应大于 5 ,实际中宜大于 10。

表 4-2-2 稳定类基层的土的颗粒组成范围

| 筛孔尺寸(mm) | 通过百分率(%) | |
|------------|------------|----------|
| | 基 层 | 底基层 |
| 50 | | 100 |
| 40 | 100 | |
| 20 | 55 ~ 100 | |
| 10 | 40 ~ 100 | |
| 5 | 30 ~ 90 | 50 ~ 100 |
| 2 | 18 ~ 68 | |
| 1 | 10 ~ 55 | |
| 0.5 | 6 ~ 45 | 15 ~ 100 |
| 0.25 | 3 ~ 36 | |
| 0.075 | 0 ~ 30 | 0 ~ 50 |
| 0.002 | | 0 ~ 30 |

(3)液、塑性指数 :水泥稳定类时 ,液限不宜超过 25% ,塑性指数不宜超过 17 ;水泥稳定砂时 ,可在砂中掺入少量塑性指数小于 12 的粘性土(亚粘土),以便于碾压 ;石灰稳定类时 ,塑性指数宜为 15 ~ 20 ,综合稳定类时 ,塑性指数宜为 12 ~ 20。

(4)硫酸盐、有机质含量 :水泥稳定时 ,有机质含量不应大于 2% ,硫酸盐含量不应大于 0.25% ;有机质含量超过 2% 以及塑性指数偏高的土必须先用石灰进行处理 ,才可用水泥稳定 ;石灰稳定类的土的有机质含量不应超过 10% ,硫酸盐含量不应超过 0.8%。

2. 集料

(1)压碎值 :基层(底基层)所用的碎、砾石应具有一定的抗压能力 ,一般公路的基层不大于 35% ,底基层不大于 40% ;高等级公路不大于 30%。

(2)颗粒组成 :水泥稳定类、石灰稳定类及综合稳定类的集料的颗粒组成应满足表 4-2-3、表 4-2-4 的要求。

表 4-2-3 水泥稳定类集料的颗粒组成范围

| 筛孔尺寸(mm) | | 40 | 30 | 20 | 10 | 5 | 2 | 0.5 | 0.075 |
|----------------|-----|-----|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------------------|
| 通过百分率 (%) | 底基层 | 100 | 90 ~ 100 | 75 ~ 90 | 50 ~ 70 | 30 ~ 55 | 15 ~ 35 | 10 ~ 20 | 0 ~ 7 ^{**} |
| | 基层 | | 100 | 90 ~ 100 | 60 ~ 80 | 30 ~ 50 | 15 ~ 30 | 10 ~ 20 | 0 ~ 7 ^{**} |

※ 集料中 0.5mm 以下细粒土有塑性指数时 , 小于 0.075mm 的颗粒含量不应超过 5% ; 细粒土无塑性指数时 , 小于 0.075mm 的颗粒含量不应超过 7%。

表 4-2-4 石灰稳定类集料的颗粒组成范围

| 类 型 | 通过下列筛孔(mm)的质量百分比(%) | | | | | | | | |
|-----|-------------------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | 40 | 30 | 20 | 10 | 5 | 2 | 1 | 0.50 | 0.075 |
| 底基层 | 100 | 90 ~ 100 | 60 ~ 85 | 50 ~ 70 | 40 ~ 60 | 27 ~ 47 | 20 ~ 40 | 10 ~ 30 | 0 ~ 15 |
| 基 层 | | 100 | 90 ~ 100 | 55 ~ 80 | 40 ~ 65 | 28 ~ 50 | 20 ~ 40 | 10 ~ 20 | 0 ~ 10 |

3. 水泥

技术指标满足要求的硅酸盐水泥、矿渣水泥或火山灰水泥都可用于稳定土 , 但应选用终凝时间较长(宜在 6h 以上)的水泥。不得使用快凝水泥、早强水泥以及受潮变质水泥 , 宜采用低标号的水泥(如原 325 号)。

4. 石灰

应满足Ⅲ级以上的生石灰或消石灰的技术指标。实际使用时 , 应尽量缩短石灰的存放时间 , 如需存放较长时间 , 应覆盖封存 , 妥善保管。

外石灰、贝壳石灰、珊瑚石灰等应通过试验 , 若稳定土混合料的强度符合规范的要求 , 也可使用。

高等级公路的基层(底基层)宜采用磨细生石灰。

5. 粉煤灰

粉煤灰中的 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的总含量应大于 70% , 烧失量不应超过 20% , 比表面积宜大于 $2500\text{cm}^2/\text{g}$ 。

干粉煤灰堆放时应加水 , 以防止飞扬造成污染。湿粉煤灰的含水量不宜超过 35%。使用时 , 应将凝固的粉煤灰打碎或过筛 , 同时清除有害杂质。

6. 水

无有害物质的人、畜饮用的水均可使用。

(二) 粒料类基层(底基层)

1. 级配碎、砾石

(1) 石料应具有足够的强度,且不低于Ⅳ级。

(2) 碎、砾石的压碎值,高等级公路不大于 30%,一般公路不大于 35%。

(3) 碎、砾石中的扁平、长条颗粒总含量应不超过 20%。

(4) 用于基层时,碎、砾石的最大粒径不应超过 40mm;用作底基层时,碎、砾石的最大粒径不应超过 50mm。

(5) 颗粒组成和塑性指数应满足表 4-2-5、表 4-2-6 中的有关规定。同时,级配曲线宜圆滑居中,严格控制小于 0.5mm 以下的细料含量与塑性指数,且两者的乘积对于中、干旱地区不应大于 120,对于潮湿多雨地区不应大于 100。

表 4-2-5 级配碎石混合料的颗粒组成范围

| 类 型 | | 底基层 | 基 层 |
|-----------------------------|-------|-----------|-----------|
| 通地右侧筛孔 (mm)的质量百分 率(%) | 40 | 100 | |
| | 30 | 90~100 | 100 |
| | 20 | 75~90 | 85~100 |
| | 10 | 50~70 | 60~80 |
| | 5 | 30~55 | 30~50 |
| | 2 | 15~35 | 15~30 |
| | 0.5 | 10~20 | 10~20 |
| | 0.075 | 4~10 | 2~80 |
| 液 限(%) | | 小于 28 | 小于 28 |
| 塑性指数 | | 小于 6 或 9* | 小于 6 或 9* |

* 潮湿多雨地区的基层采用塑性指数不大于 6,其他地区的基层采用塑性指数不大于 9。

表 4-2-6 级配砾石混合料的颗粒组成范围

| 类 型 | | 底基层 | 基 层 |
|-----------------------------|-------|-----------|-----------|
| 通地右侧筛孔 (mm)的质量百分 率(%) | 50 | 100 | |
| | 40 | 90~100 | 100 |
| | 30 | | 90~100 |
| | 20 | 65~85 | 75~90 |
| | 10 | 45~70 | 50~70 |
| | 5 | 30~55 | 30~55 |
| | 2 | 15~35 | 15~35 |
| | 0.5 | 10~20 | 10~20 |
| | 0.075 | 4~10 | 4~10 |
| 液 限(%) | | 小于 28 | 小于 28 |
| 塑性指数 | | 小于 6 或 9* | 小于 6 或 9* |

* 潮湿多雨地区的基层采用塑性指数不大于 6,其他地区的基层采用塑性指数不大于 9。

2. 填隙碎石

(1) 用作基层时, 碎石的最大粒径不应超过 60mm(圆孔筛); 用作底基层时, 最大粒径不应超过 80mm。

(2) 扁平、长条颗粒总含量应不超过 15%。

(3) 粗碎石的颗粒组成应满足表 4-2-7 中的有关规定。

(4) 轧制碎石的 5mm 以下的石屑作为填隙料, 宜满足表 4-2-8 的要求。

(5) 石料的压碎值, 用作基层时不大于 26%; 用作底基层时不大于 30%。

表 4-2-7 填隙碎石粗碎石的颗粒组成范围

| 编号 | 标称尺寸 (mm) | 通过下列筛孔(mm)的质量百分比(%) | | | | | | | |
|----|----------------|-------------------------|-------|-----|-------|------|------|-----|-----|
| | | 80 | 60 | 50 | 40 | 30 | 25 | 20 | 10 |
| 1 | 40~80 | 100 | 25~60 | | 0~15 | | 0~5 | | |
| 2 | 30~60 | | 100 | | 25~50 | 0~15 | | 0~5 | |
| 3 | 25~50 | | | 100 | 35~70 | | 0~15 | | 0~5 |

表 4-2-8 填隙料的颗粒组成范围

| | | | | | | |
|------------|-----|--------|-------|-------|-------|------|
| 筛孔尺寸(mm) | 10 | 5 | 2 | 0.5 | 0.075 | 塑性指数 |
| 通过百分率(%) | 100 | 85~100 | 60~80 | 30~50 | 0~10 | 小于 6 |

3. 泥(灰)结碎石

(1) 采用机轧碎石或天然碎石, 应坚硬且尽量接近立方体并具有棱角。

(2) 扁平、细长颗粒含量不宜超过 20%。

(3) 碎石的颗粒组成范围应满足表 4-2-9 的要求。

(4) 粘土的塑性指数一般为 18~27, 且不得含有腐殖质和其他杂质。

(5) 石灰质量不得低于Ⅲ级, 土和石灰的总含量不应大于 20%(与石料质量比), 石灰剂量占土重的 8%~12%。

表 4-2-9 泥(灰)结碎石的碎石颗粒组成范围

| 编号 | 通过下列筛孔(mm)的质量百分比(%) | | | | | |
|----|-------------------------|-----|------|-----|-----|---|
| | 75 | 50 | 40 | 20 | 10 | 3 |
| 1 | 100 | | 0~15 | 0~5 | | |
| 2 | | 100 | | 0~5 | 0~5 | |

| 编 号 | 通过下列筛孔(mm)的质量百分比(%) | | | | | |
|-----|-------------------------|----|-----|--------|--------|-----|
| | 75 | 50 | 40 | 20 | 10 | 3 |
| 3 | | | 100 | 0~15 | 0~5 | |
| 4 | | | | 85~100 | | 0~5 |
| 5 | | | | | 85~100 | 0~5 |

第二节 路面基层施工

目前,在路面的基层(底基层)的施工中,混合料的拌和方式主要有路拌法和厂拌法,其摊铺方式有人工和机械两种。对于高等级公路,一般先通过修筑试验路段,制定标准施工方法进行大面积施工。

修筑试验路段的目的:

1. 检验计划投入拌和、运输、摊铺、碾压、养生等过程的使用设备的可靠性;
2. 检验混合料的组成设计是否符合质量要求,以及各道工序的质量控制措施;
3. 确定大面积施工的材料配合比及松铺系数;
4. 确定每一作业段的合适长度和合理厚度;
5. 提出标准施工方法。

一、石灰稳定土的施工

石灰稳定土一般采用路拌法,高等级公路施工中,已较多地采用集中拌和法。

1. 路拌法施工

路拌法的主要工序如图 4-2-1 所示。

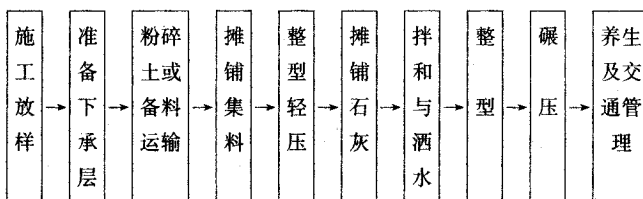


图 4-2-1 石灰稳定土施工流程图

(1)准备工作

包括流程图中的前三道工序。

①施工前应对下承层(土基或底基层)按质量验收标准进行验收 ,合格后 ,才能进行中线放样 ,并在两侧路面边缘外 0.3 ~ 0.5m 处设指示桩 ,在指示桩上标出基层(底基层)边缘设计标高及松铺厚度位置。

②根据各路段基层(底基层)的宽度、厚度及预定的干密度 ,计算各路段需要的干燥集料数量。

③根据混合料的配合比、材料的含水量以及运输车辆的吨位 ,计算各种材料每车料的堆放距离。对于以袋为计量单位的石灰等结合料 ,应计算出每袋结合料的堆放距离。

④根据各集料所占比例及松干密度 ,计算各集料的松铺厚度 ,以控制集料的施工配合比。

(2)集料摊铺

根据试验或试验路段确定的松铺系数 ,准备集料用量。摊铺前 ,如下承层的表面过分干燥 ,应适当洒水 ,使表面湿润。集料或土应尽可能摊铺均匀 ,不应有离析现象。混合料松铺系数的参考值见表 4-2-10。

表 4-2-10 石灰稳定土混合料的松铺系数

| 混合料名称 | 松铺系数 | 备注 |
|-------|-------------|-------------------------|
| 石灰土 | 1.53 ~ 1.58 | 现场人工摊铺土和石灰 ,用机械拌和 ,人工整平 |
| | 1.65 ~ 1.70 | 路外集中拌和 ,运到现场人工摊铺 |
| 石灰土砂砾 | 1.52 ~ 1.56 | 路外集中拌和 ,运到现场人工摊铺 |

(3)集料整型轻压

只有集料或土层表面平整并具有一定的密实度 ,人工摊铺时 ,才能将表面摊铺均匀。因此 ,集料或土摊铺均匀后 ,必须进行整型 ,使表面具有规定的路拱 ,并用两轮压路机碾压一至两遍 ,使集料或土的表面平整和较密实。

(4)摊铺石灰

根据计算的石灰堆放间距 ,在现场用石灰做标记 ,同时划出摊铺石灰的边线。用刮板均匀摊铺 ,并量测石灰的松铺厚度 ,根据石灰的含水量和松密度 ,校核石灰的用量。

(5)拌和洒水

①使用灰土拌和机或稳定土拌和机进行“干拌”1 ~ 2 遍 ,使石灰分布到全部土中 ,不要求完全拌和 ,而是预防加水过程中石灰成团。然后洒洒水边拌和 ,进行“湿拌”。

②使用犁进行拌和时,犁翻的遍数应成双数。第一遍由路中心开犁,将混合料向中间翻,此时应慢速前进,使土层翻透。第二遍应相反,从两边开犁,将混合料向外侧翻。犁翻过程中,应注意犁翻的深度,不得在稳定土和下承层间残留一层“素土”,宜将下承层表面1~2cm刮破。

③洒水车洒水时,不要中断,不得在正进行的路段上掉头或停留。拌和机械在洒水机后配合进行过程中,应及时检查混合料的含水量,一般宜比最佳含水量略大1%~2%,拌和直至水量足够、混合料颜色及含水量均匀为止。

④对于石灰稳定粒料,应先将石灰拌和均匀,然后均匀地摊铺在具有规定路拱、表面平整并有一定密实度的粒料层上,再一起进行拌和。

(6) 整平

①混合料拌和均匀后应立即用平地机进行初平。一般在直线段,由两侧向路中心刮平;在曲线段,由内侧向外侧刮平。然后,用轮胎压路机、轮胎拖拉机或平地机快速碾压一遍。

②不平整的地方,用齿耙把表面5cm耙松;必要时,用新拌的混合料找平,再进行碾压。每次整平碾压,均需按要求调整坡度和路拱。

③接缝处的整平,应顺适平整,并应包括路肩。

④为避免出现薄层贴补,在总厚度满足要求的情况下,摊铺时宜“宁高勿低”;整平时,宜“宁刮勿补”。

(7) 碾压

①整型后当混合料处于最佳含水量不超过1%~2%范围时,进行碾压。如表面水分不足,应适当洒水。

②在人工摊铺和整型的情况下,应先用拖拉机、6~8t两轮压路机或轮胎压路机碾压一至两遍,再用重型轮胎压路机、振动压路机或12t以上的三轮压路机进行碾压。

③如有“弹簧”、松散、起皮等现象,应及时翻开重新拌和,或用其他方法处理,使其达到质量要求。

④碾压结束之前,用平地机终平一次,使高程、路拱和超高符合设计要求,局部低洼之处,不得找补,以免出现薄层贴补现象。

(8) 养生及交通管理

①养生期应采取洒水保湿措施,一般为7d左右。

②未采用覆盖措施时,应封闭交通。采用覆盖砂或喷洒沥青膜养生,不能封闭交通时,应限制车速不得超过30km/h。

③养生期结束,应立即施工上层,以免产生收缩裂缝;或先铺一封层,开放交通,待基

层充分开裂后,再施工上层,以减少反射裂缝。

④每层施工厚度一般为 15~20cm,当采用振动羊足碾与三轮压路机配合碾压时,厚度可以达 25cm。设计厚度过大时,应分层施工,下层应稍厚些。但上层不宜少于 10cm,下层碾压后,应立即施工上层,不需专门养生。

2. 集中拌和法(厂拌法)

一般利用强制式拌和机或双转轴浆叶式拌和机在中心站集中拌和,也可用路拌机械或人工在场地上进行分批集中拌和。

(1)集中拌和法的生产流程如图 4-2-2 所示。

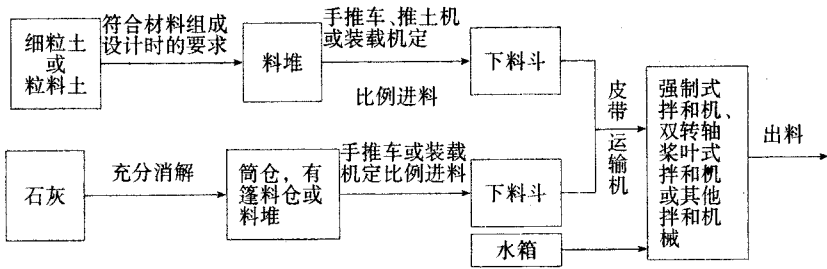


图 4-2-2 石灰稳定土生产工艺流程图

(2)拌和时,土块要粉碎,且最大尺寸不超过 15mm。

(3)配料要准确,含水量要略大于最佳含水量 1%~2%。

(4)拌成的混合料运送到现场,用摊铺机、平地机或人工按松铺厚度摊铺均匀,如有离析现象,应用机械或人工补充拌和。

(5)整型、碾压及养生交通管理与路拌法相同。

3. 人工路拌法

在工程量不大,又没有拌和机械的情况下,可以采用人工沿路拌和。

(1)按事先计算的数量将土料、石灰分堆运到路上,不连续间隔放置。

(2)拌和可采用筛拌法或翻拌法。采用筛拌法时,将细粒土和石灰混合或交替过孔径 15~20mm 的筛,然后加水拌和至均匀为止。采用翻拌法时,将过筛的土和石灰先干拌 1~2 遍,再加水拌和至均匀为止。为使水分充分均匀,可当天堆方闷料。

(3)石灰稳定低塑性指数的砂性土和粉性土时,为便于成型,可采用下列方法:

①大量洒水,分两阶段碾压。第一阶段,洒水后用履带拖拉机或轮胎压路机先压 2~3 遍,初步稳定。第二阶段,待水分接近最佳含水量时,再用 12t 以上压路机压实。

②当没有履带拖拉机时,洒水后先用轻型压路机碾压两遍,然后,覆盖一层素土,再用 12t 压路机压实,养生后,将素土层清除干净。

二、水泥稳定土的施工

水泥稳定土的施工,按拌和方法有路拌法(就地拌和法)、集中拌和法(厂拌法)、移动拌和机沿线拌和法。

1. 路拌法

路拌法的施工工序如图 4-2-3 所示。

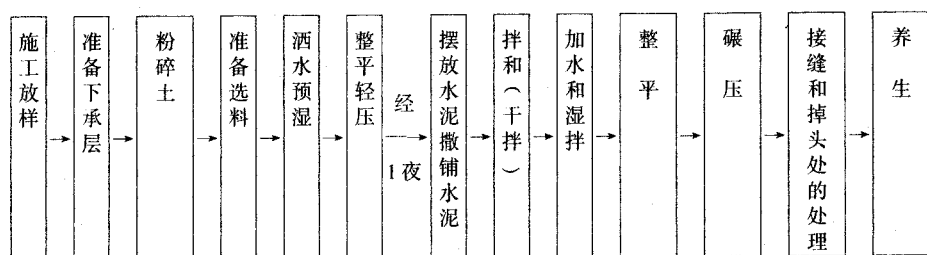


图 4-2-3 水泥稳定土施工流程图

(1) 施工准备

① 在水泥稳定土的下承层(土基或底基层)上恢复中线,测量断面高程,并在两侧路肩边缘外设置指示桩,在桩上标定水泥稳定土的设计高程。

② 水泥稳定土施工前,应检查下承层是否合格。对于土基,应用 12~15t 三轮压路机或等效的碾压机械进行碾压检验,发现土过干、表面松散或土过湿‘弹簧’现象,应采取挖开晾晒、换土、掺生石灰或粒料等措施进行处理。

对于底基层或老路,应进行弯沉的测定、坡度和路拱的检验。强度达不到要求的,须采用增加底基层的密实度,加厚底基层,改善底基层的材料或挖换质量好的材料等措施进行修补;对坑槽、搓板等现象应进行处理,以满足设计要求。

运料前,应用洒水车对底基层均匀洒水,使表面湿润。

③ 粉碎土。当水泥稳定土所用的土为土基上层的一部分时,需翻松一定深度的土层,并粉碎直至适合与水泥拌和。

翻松和粉碎的深度与混合料中的水泥剂量、稳定土层厚度有关,根据翻松层的土的干密度与水泥稳定土层的预期干密度相比,可确定合适的深度。

可采用圆盘耙、旋转耕作机、稳定土拌和机或旋转松土机等设备配合平地机或铧犁进行粉碎。为便于粉碎,可在 8~24h 之前,喷洒合适的水量预湿土壤。

粉碎结束后,用平地机整平,均匀地摊铺在预定长度和宽度的路段上。

④ 准备选料。主要是选择稳定混合料中的土料。

料场选择 :从沿线初步选定的料场 ,分别选取代表性的土样 ,做土的性能试验和水泥土混合料的力学试验 ,以选定料场。

选料采集 :将料场表层覆盖土、草皮、植被、树根等杂物用推土机清除干净 ,按预定深度自上而下采集土料 ,有明显分层变化时 ,应及时采集样品做各项试验。

选料的运输与堆放 :土料应按计算的数量和间距进行堆放 ,并做好排水工作。较大的土块应进行粉碎和筛除 ,然后用平地机整平。

(2)洒水预湿与整平轻压

翻松、粉碎和运到现场的选料 ,均需洒水预湿。一般预湿后土的含水量应为最佳含水量的 70%左右。对中粒土、粗粒土预湿后的含水量比最佳含水量低 2% ~ 3% 为宜 ;对含砂较多的土 ,可比最佳含水量大 1% ~ 2% ,预湿后 ,应整型成要求的路拱和坡度 ,并用两轮压路机碾压 1 ~ 2 遍 ,使表面平整 ,具有一定的密实度。

(3)摊铺水泥

根据水泥稳定土层的压实厚度、预定的干密度、水泥剂量及施工作业面计算每袋水泥的摊铺面积和堆放间距。

①根据计算的间距 ,在现场放置标记 ,并划出摊铺水泥的边线。

②用刮木板将水泥均匀摊开 ,有条件时 ,用散装水泥撒布车撒铺水泥将更准确、均匀。

(4)拌和、洒水湿拌

拌和、洒水湿拌的方法和要求与石灰稳定土相同。

(5)整型

整型的方法和要求与石灰稳定土相同。

(6)碾压

水泥稳定土整平后 ,应立即用 15t 三轮压路机、振动压路机或轮胎压路机在路基全宽内进行碾压。

①含水量合适时 ,碾压不得少于 6 遍。碾压时 ,应由两侧路肩向路中心 ,由曲线内侧向外侧进行碾压。错轮时 ,后轮迹的重叠宽度不得少于后轮宽度的二分之一。边部及路肩宜多压 2 ~ 3 遍。

②压路机不得在已完成的或正在碾压的路段上“掉头”或急刹车 ,以避免破坏基层表面。

③碾压过程中 ,发生“弹簧”、松散起皮等现象 ,应及时翻开换料或加水泥重新拌和 ,碾压至规定的干密度为止。终压前 ,应用平地机终平一次 ,局部低洼之处 ,不得找补 ,以免出现贴补薄层。

④为满足水泥稳定土表面的平整,对于砂(砾)质土,适宜用轮胎压路机或钢轮压路机;对于砂质粘土,适宜用轮胎压路机,振动压路机适用性较广,且压实效果良好,现已被广泛用于工程中。

(7) 接缝和掉头处的处理

两个工作段的衔接处,应搭接拌和。第一段拌和后,留 5~8m 不进行碾压。第二段施工时,将前段留下的部分,再加部分水泥,重新拌和,并与第二段一起碾压。具体方法如图 4-2-4 所示。

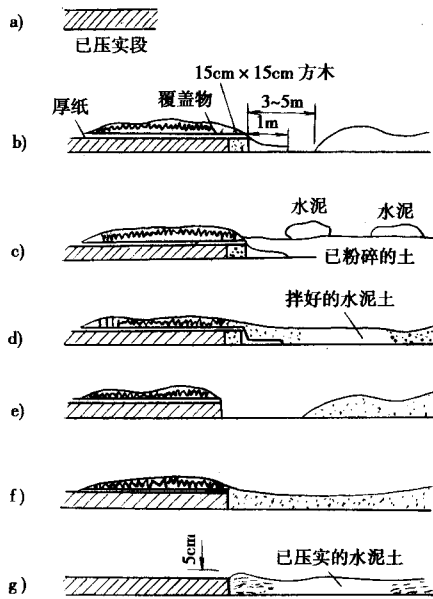


图 4-2-4 两个工作段间接缝施工方法

- a) 把已压实段的末段切成垂直面,并将下一段已粉碎的土推离接缝;
- b) 将一块方木放在已压实段的末端,并用一张厚建筑纸保护,纸上用土覆盖(或铺木板);
- c) 将粉碎的土铺开直到接缝处,在新段上洒水,使其含水量达到要求的值,并推铺水泥;
- d) 水泥和土完全拌和,需要时,可加些水;
- e) 将拌好的混合料推离接缝,割断厚纸并将方木移去;
- f) 将拌好的混合料铺回到接缝,并用纸将水泥土混合料与覆盖土隔开;
- g) 新段已压实,仅在接缝处留少量工作,将覆盖土及纸移去,然后将高出部分刮平。

(8) 养生

水泥稳定土经拌和、压实后,在规定的 7d 养生期内,可以用帆布、粗麻袋、稻草、麦秸或农用地膜湿润养生。若用砂养生,砂层需 7~10cm 厚,铺匀后,洒水保持湿润。

2. 集中拌和法

对于高等级公路,尤其是高速公路应采用集中拌和法制备基层和底基层混合料,以保证拌和质量和消除“素土”夹层的危险。

集中拌和法除了中心站的一套固定式拌和机械外,所需要的其他机械与路拌法相同。

(1) 拌和机

工程中,常采用固定式稳定土拌和机,也可采用强制式的水泥混凝土拌和机或沥青混凝土拌和机来拌和水泥稳定土。

固定式拌和机械目前主要有:

①移动式连续拌和机:适用于沿线料场布置较密的工地,中心站的规模可根据所需的产量而定。

②固定式连续拌和机:适用于相对固定的较大型料场,数个斗上的皮带输料器,可供存放和输送规定数量的不同尺寸的集料。

③间歇式拌和机:与水泥混凝土拌和机配合使用拌和水泥稳定粗料土,适用于修补工作的小工地。目前,主要有普通倾筒式混凝土拌和机、双桨叶拌和机、卧式桨叶拌和机及锅式拌和机。

(2) 摊铺混合料

①为减少混合料中水分的散失,运料时应覆盖,且运输时间一般在 30min 以内。

②宜采用两台摊铺机前后错列摊铺(相距 5~10m),相邻工作道的混合料摊铺间隔时间不能超过 25min。摊铺均匀后应立即碾压。

③采用沥青混凝土摊铺机摊铺水泥稳定土时,应严格控制好平整度、高程等,避免出现离析现象。

④采用备有轨道的摊铺机或有自动找平装置的摊铺机,特别是当摊铺机包括适当的压实设备,只需要压路机进行补充碾压时,摊铺预拌的水泥混合料表面的平整度可以达到规定要求。

3. 移动式拌和法

采用移动式拌和机的施工工序包括准备工作及加工处理两部分,具体如下:

(1) 准备工作(施工放样与其他方法相同)

①采用原路基土作为混合料的土料

a. 整型路基,使其路拱和坡度符合设计要求。

- b. 翻松路基土到预定的深度。
- c. 如需要,则粉碎土。
- d. 堆积土,并平整料堆。

②采用路外选料

- a. 把路基或底基层整型成要求的路拱和坡度。
- b. 压实路基或底基层。
- c. 选料准备(包括采集、运输和摊铺)。
- d. 堆积选料。

(2)加工处理

- ①撒铺水泥:将水泥撒铺在堆料的顶面后,应立即拌和。
- ②拌和、摊铺及碾压:与其他方法相同。

移动式拌和机加工水泥稳定土的工作状况参见图 4-2-5 所示。

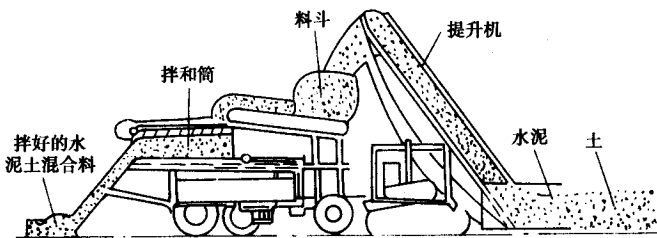


图 4-2-5 移动式拌和机加工水泥稳定土的示意图

三、石灰粉煤灰稳定土的施工

石灰粉煤灰稳定土,可以利用常规的施工设备进行拌和、摊铺和碾压。其施工要点是混合料的组成成分要拌和均匀,摊铺到合适的厚度,压实至规定的密实度。

目前工程中,采用集中拌和法与路拌法。

1. 集中拌和法

为保证配料准确,拌和均匀,应尽可能采用中心站集中拌和法。其生产工艺流程如图 4-2-6 所示。

(1)拌和

可在中心站采用强制式拌和机、双转轴桨叶式拌和机,也可用路拌机械在场地上分批集中拌和。

- ①土块、粉煤灰块要粉碎;
- ②配料要准确;

- ③含水量要略大于最佳含水量；
- ④拌和要均匀；
- ⑤石灰应贮藏在筒仓中，粉煤灰可露天覆盖堆放，含水量宜在 15% ~ 20%。

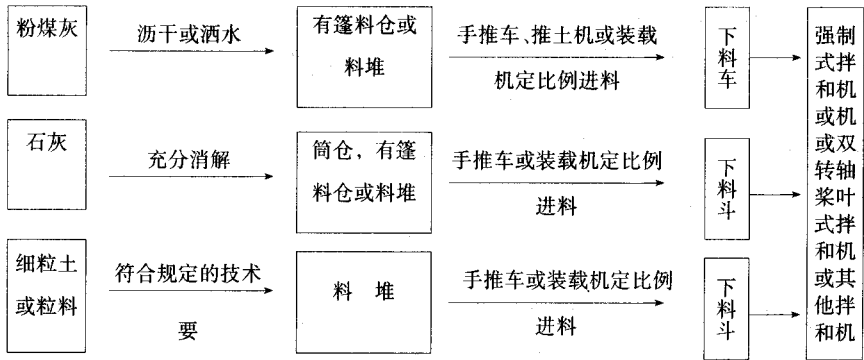


图 4-2-6 石灰粉煤灰稳定土生产工艺流程图

(2) 运输

可以用普通的自卸车运料，并适当覆盖，以防水分损失或沿路飞扬。

(3) 摊铺

混合料运到现场后，应尽可能用机械摊铺，应注意摊铺均匀，保证一定的平整度。

(4) 压实

可用轮胎压路机、振动压路机等进行压实。轻型压路机初压后，可用重型钢轮压路机进行碾压，并在终压前，用平地机进行整平。

一般压实厚度为 15 ~ 18cm，重型振动压路机可达 20 ~ 25cm。若设计厚度较大，应分层摊铺压实，上下层的施工间隔时间不宜过长，最好在同一天铺筑。下层不应有松散材料，摊铺上层时，下层的表面应保持潮湿。

2. 路拌法

路拌法一般用于二级和二级以下公路的施工。施工过程中，应注意混合料的均匀性和粗细颗粒的离析现象。

(1) 下承层的准备

用石灰粉煤灰处理原路上的集料时，应检验集料是否合格，并能满足混合料的级配要求。若原路上集料中的细料是粘土矿物，可先用石灰处理，增加混合料的和易性。施工步骤为：

- ①翻挖原路上的土集料，必要时进行粉碎；
- ②整平按要求的宽度和厚度摊铺的土层，以便摊铺石灰和粉煤灰；

- ③撒布拌和均匀的石灰和粉煤灰混合料；
- ④拌和混合料,并使混合料具有一定的含水量；
- ⑤整平混合料达到要求的厚度；
- ⑥压实达到规定的密实度。

(2) 撒布石灰和粉煤灰

①对于密实式石灰粉煤灰混合料,应先将石灰和粉煤灰拌和均匀后,再撒铺到粒料层上。若需作短时间堆放,应处在干燥状态。对于悬浮式混合料,应先撒布粉煤灰再撒布石灰。

- ②粉煤灰宜在含水量 15% ~ 25% 状态下撒布。
- ③石灰和粉煤灰应摊铺均匀。

(3) 拌和

一般采用转轴式拌和机进行拌和,如宝马拌和机。也可使用平地机进行拌和,但应注意避免出现离析现象。对于没有专用拌和机械的次要公路,可采用四或五铧犁配合旋转耕作机或缺口圆盘耙进行拌和。

拌和过程中,拌和层底部不得留有“素土”或“素粒料”夹层。

(4) 压实

与集中拌和法施工相同。

(5) 养生

养生期一般为 7d,若石灰粉煤灰作为底基层,需养生 10 ~ 14d,再铺筑上面的结构层。

(6) 透层或下封层

石灰(水泥)粉煤灰集料基层养生结束后,宜开放交通一段时间,以磨去表面的二灰薄层,露出集料颗粒,清扫表面浮土,然后喷撒透层沥青或做下封层。

做透层时,宜采用浓度较稀的慢裂型沥青乳液。做下封层时应分两次喷洒乳液,第一次喷洒较稀的沥青乳液,用量 $1.0\text{kg}/\text{m}^2$,待干后再喷洒正常的乳液,用量 $(1.0 \sim 1.2)\text{kg}/\text{m}^2$,然后撒布一层粒径 $5 \sim 10\text{mm}$ 的碎石,并用 16t 轮胎压路机碾压 2 ~ 3 遍。

四、级配碎(砾)石的施工

级配碎(砾)石的施工应做到:集料级配要满足要求,配料要准确,细料的塑性指数需符合规定,掌握好松铺厚度,路拱横坡符合规定,拌和均匀,避免粗细颗粒离析。

级配碎(砾)石的施工一般采用路拌法,为保证质量要求,级配碎石有时采用集中拌和法。

1. 路拌法

路拌法的施工工艺如图 4-2-7 所示。

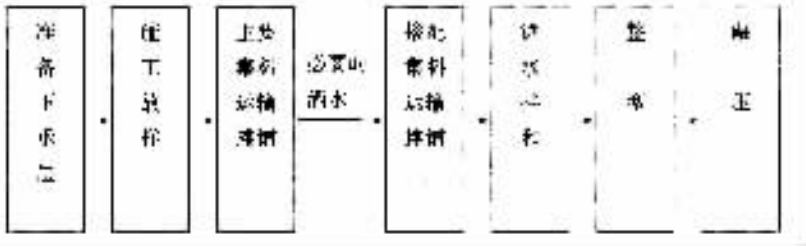


图 4-2-7 级配碎(砾)石施工工艺流程

(1) 准备下承层

① 土基或垫层等下承层的表面应平整、坚实,具有一定的路拱,没有松散材料和软弱地方。

② 下承层的平整度和压实度应满足规范要求。

③ 下承层必须用 12~15t 的三轮或等效的压路机进行碾压(碾压 3~4 遍)检验,发现过干松散、低坑、搓板、车辙或过湿“弹簧”现象,应采用填补、耙松洒水碾压、挖开晒干、换土、掺石灰或集料等措施进行处理。

④ 对于底基层,压实度检查和弯沉测定的结果不符合要求的,应采用补充碾压、换填好料、挖开晾晒等措施。

⑤ 检查各断面的标高是否满足要求。

⑥ 槽式断面路段,两侧路肩每隔 5~10m 应交错开挖泄水沟。

(2) 施工放样

恢复中线,并在两侧路肩边缘外 0.3~0.5m 设指示桩。

逐个断面进行高程测量,并在指示桩上标记结构层的设计高度。

(3) 计算材料用量

根据各路段基层或底基层的宽度、厚度及预定的干密度,计算所需要的各种集料的数量,并推算每车材料的堆放间距。

(4) 运输和摊铺集料

同一料场的路段,运输应由远到近按计算的间距堆放,堆放的时间不宜过长,一般仅提前数天。料堆间每隔一定距离应留缺口用以排水。

应事先通过试验确定集料的松铺系数,一般人工摊铺时为 1.40~1.50,平地机摊铺时,为 1.25~1.35。

级配碎石的未筛分碎石摊铺平整后,在其较湿润的情况下,向上运送石屑,用平地机并辅以人工将石屑均匀摊铺在碎石层上,或用石屑撒布机将石屑直接均匀撒布在碎石层上。采用

粗细不同的多种集料时,应将粗集料铺在下面,并处于湿润状态,再将细集料铺在上面。

(5) 拌和及整型

①对于级配碎石,应用稳定土拌和机拌和。若没有,也可用平地机或多铧犁与缺口圆盘耙配合拌和。对于级配砾石,可采用平地机拌和。

②拌和时,稳定土拌和机应拌 2 遍以上,且深度应到级配碎石底层,最后一遍拌和前,可先用多铧犁贴底面翻拌一遍。用平地机时,平地机刀片的安装角度与位置如表 4-2-11 及图 4-2-8 所示。一般需拌 5~6 遍,结束时,混合料的含水量应均匀,并较最佳含水量大 1% 左右,且不应出现离析现象。

表 4-2-11 平地机刀片安装角度

| 拌和条件 | 平面角 α ($^{\circ}$) | 倾角 β ($^{\circ}$) | 切角 γ ($^{\circ}$) |
|------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 干拌 | 30~50 | 45 | 3 |
| 湿拌 | 35~40 | 45 | 2 |

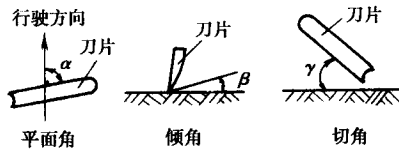


图 4-2-8 平地机刀片安装示意图

③平地机整平,并具有一定的路拱后,用拖拉机、平地机或轮胎压路机快速初压一遍,再用平地机进行整平和整型。

④用拖拉机牵引四或五犁铧进行拌和。第一遍,由路中心开始,将混合料向中间翻,同时应慢速前进。第二遍应相反,从两边开始,将混合料向外翻,一般应拌 6 遍。

⑤在整型中,应禁止车辆通行。

(6) 碾压

①整型后,应立即用 12t 以上三轮压路机、振动压路机或轮胎压路机进行碾压。应由两侧路肩向路中心,由曲线内侧向外侧进行碾压,后轮应重叠 1/2 轮宽,且须超过两段的接缝处。一般需碾压 6~8 遍,并使表面没有明显轮迹。头两遍的速度宜为 1.5~1.7km/h,以后为 2.0~2.5km/h。

②路面两侧区域应多压 2~3 遍。

③严禁在以完成或正在碾压的路段上“调头”或急刹车。

④含有土的级配碎(砾)石层,应进行滚浆碾压,直到表层没有多余的细土为止,然后

将表层薄层土清除干净。

(7) 接缝处理

作业段的衔接处,应搭接拌和。第一段拌和后,应留 5~8m 不碾压。第二段施工时,将留下的部分一起加水拌和,整平后进行碾压。

施工时,应尽量避免纵向接缝。当分两幅铺筑时,应搭接拌和。前半幅全宽碾压密实,后半幅拌和时,应将前半幅边部 0.3m 左右搭接拌和,整平后一起碾压。另一种方法是在前半幅的边部用高度与结构层的厚度相同的方木或钢模板作支撑,进行碾压。后半幅施工时,再拆除方木或钢模板,进行碾压。

2. 集中拌和法

级配碎石混合料可以在中心站利用强制式拌和机、卧式双转轴桨叶式拌和机、普通混凝土拌和机等进行集中拌和。将混合料运到现场后,用沥青混凝土摊铺机、水泥混凝土摊铺机或稳定土摊铺机等摊铺混合料。

- ① 正式拌和前,应先调试所用的设备,使混合料的组成和含水量达到规定要求。
- ② 运到现场的混合料,应按计算的间距堆放。
- ③ 应设专人消除集料的离析现象。
- ④ 用平地机进行整型与碾压,方法与路拌法相同。
- ⑤ 横缝、纵缝的处理与路拌法相同。

五、填隙碎石的施工

填隙碎石的施工工艺流程如图 4-2-9 所示。

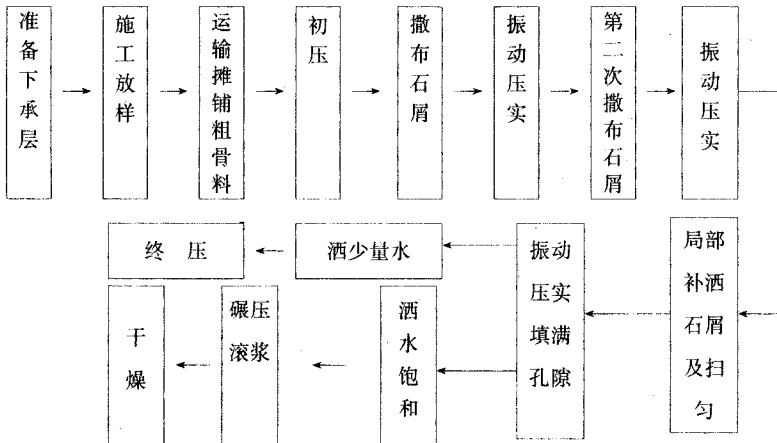


图 4-2-9 填隙碎石的施工工艺流程图

1. 准备下承层和施工放样

准备下承层和施工放样的过程及施工要点与级配碎(砾)石基层路拌法相同。

2. 备料

根据各路段基层或底基层的宽度、厚度及松铺系数(1.20~1.30),计算粗碎石的需要量和每车料的堆放间距,填隙料的用量约为粗碎石的30%~40%。

3. 运输和摊铺粗料石

可用平地机或其他合适的机具将粗料石均匀地摊铺,具体的施工过程与级配碎(砾)石基层路拌法相同。

4. 撒铺填隙料和碾压

(1) 干法施工

① 初压

用8t两轮压路机碾压3~4遍,使粗料石稳定。碾压的顺序与级配碎(砾)石基层路拌法相同。结束时,表面应平整,并具有规定的路拱和纵坡。

② 撒铺填隙料

用石屑撒布机或类似设备将干填隙料均匀地撒布在已初压的粗料石层上,松厚约2.5~3.0cm,并扫匀。

③ 碾压

用振动压路机慢速碾压,将全部填隙料振入粗料石间的孔隙中,方法与初压相同。

④ 再撒铺填隙料和碾压

用石屑撒布机或类似设备将干填隙料再次均匀地撒布在已初压的粗料石层上,松厚约2.0~2.5cm,并扫匀。

振动压路机经补料再次碾压,直至全部孔隙填满,并清扫表面多余的填隙料,须看到粗料石。

⑤ 孔隙全部填满后,用12~15t三轮压路机再碾压1~2遍。碾压前,宜在表面先洒水约 $3\text{kg}/\text{m}^2$ 。

⑥ 厚度过大时,应分层摊铺和碾压。压实后的下层表面应清扫干净,使粗料石外露5~10mm,再摊铺和碾压上层。

(2) 湿法施工

① 初压、撒铺填隙料、碾压、再撒铺填隙料和碾压的过程与干法施工相同。

② 粗料石表面孔隙全部填满后,应立即洒水,直至饱和,但勿使多余水浸泡下承层。

③ 用12~15t三轮压路机在洒水车后进行碾压。碾压过程中,将湿填隙料扫入孔隙

中,直至细集料和水形成粉砂浆为止。粉砂浆的数量,以在压路机轮前能形成微波纹状为宜。

④停留一段时间,结构层水分散失变干后,将表面清扫干净。

⑤厚度过大时,应分层摊铺和碾压,方法与干法施工相同。

六、泥(灰)结碎石的施工

泥(灰)结碎石含有较多的粘土,水稳性较差,只适用于中、低级公路,不宜作沥青路面的基层。若使用时,应严格控制用水量及塑性指数,且用于干燥路段。在中湿和潮湿路段,应采用泥灰结碎石,以提高其水稳性。

泥(灰)结碎石的施工方法主要有灌浆法和拌和法。

1. 灌浆法

目前,常采用这种方法。

(1)准备工作

包括放样、布置堆料、整理路槽和拌制泥(灰)浆。泥浆一般按水土体积比 $0.8:1 \sim 1:1$ 拌制。泥灰浆中石灰剂量占土重的 $8\% \sim 12\%$,土和石灰总含量不应大于石料质量的 20% 。

(2)摊铺石料

将准备好的石料按松铺系数 $1.2 \sim 1.3$ 左右一次铺足,同一层粒径相差不宜过大。

(3)初步碾压

用三轮压路机或振动压路机将碎石颗粒压紧,需留有一定的空隙,以便灌注泥(灰)浆。一般碾压 $2 \sim 4$ 遍至碎石无松动为止。

(4)灌浆

在碎石层上,灌注调制好的泥(灰)浆。灌浆要均匀,需灌满碎石间的孔隙直至底部,同时,碎石的棱角应露出泥(灰)浆之上。待孔隙中的空气溢出后,在湿的碎石层表面均匀撒铺嵌缝料(约 $1 \sim 1.5\text{m}^3/\text{m}^2$),以填塞表面的空隙。

(5)碾压

灌浆后,待碎石层内部处于半湿状态时,用三轮压路机或振动压路机继续碾压,并扫匀嵌缝料,直至无明显轮迹。每碾压 $1 \sim 2$ 遍,即撒铺薄层石屑,再进行碾压,以使缝隙内的泥(灰)浆泛到表面与石屑粘结成整体。

2. 拌和法

拌和法是将土(或土加石灰)直接撒铺在平整的碎石上,用平地机、多铧犁或多齿耙均匀拌和,然后用三轮压路机或振动压路机进行碾压,碾压方法于灌浆法相同。碾压过

程中,一般需补水碾压 4~6 遍,撒铺嵌缝料,再继续碾压,直至无明显轮迹及结合料完全稳定为止。

第三节 配合比和压实度控制

路面基层(底基层)的混合料配合比设计,是保证基层(底基层)路用性能的前提,是控制基层(底基层)施工质量的重要依据。按照理论配合比的组成设计,制作试件(块),通过试验,检验混合料的技术性能,并结合工程的实际特点,调整和修正理论配合比,提供工地配合比,并确定最大干密度和最佳含水量,以指导施工。因此,在施工过程中,应严格控制混合料的配合比,以保证基层(底基层)的施工质量。

压实度是检查和控制路面基层(底基层)压实效果的重要技术指标,是工程施工质量控制的主要手段。它直接影响到路面基层(底基层)的强度、刚度及平整度,良好的压实度可延长工程的使用寿命。根据结构层的类型、位置及工程的实际特点,压实度的现场检查可采用不同的方法。

一、配合比的控制

路面基层(底基层)的配合比可根据不同的情况进行调整。对硅铝粉煤灰,采用粉煤灰作基层或底基层时,石灰与粉煤灰之比为 1:2~1:9。采用石灰粉煤灰土做基层或底基层时,石灰与粉煤灰之比为 1:2~1:4。石灰粉煤灰与细粒土之比为 30:70~90:10。采用石灰粉煤灰粒料做基层或底基层时,石灰与粉煤灰之比为 1:2~1:4。石灰粉煤灰与级配粒料(中粒土和粗粒土)之比为 1:6~1:4。

按上述的配合比制成所需要的试件,采用重型击实试验确定混合料的最大干密度和最佳含水量。并根据工地预定达到的压实度,计算各种结合料剂量时试件应有的干密度。

根据最佳含水量和计算的干密度制备试件,在标准温度下(冰冻地区 $20 \pm 2^\circ\text{C}$,非冰冻地区 $25 \pm 2^\circ\text{C}$)保湿 6d、浸水 1d,养生期满后,进行 7d 无侧限抗压强度试验,计算试验结果的平均值 R :

$$R \geq R_d(1 - Z_a C_v) \quad (4-2-1)$$

式中 R ——设计抗压强度(MPa);

C_v ——试验结果的偏差系数, $C_v = \frac{\text{试验结果的算术平均值}(X)}{\text{试验结果的标准差}(S)}$;

Z_α ——标准正态分布中随保证率(或置信度 α)而变的系数。高速公路、一级公路取 1.645 ;其他公路取 1.282。

二、压实度的控制

现场压实度是指工地实际达到的干密度与室内标准击实试验所得的最大干密度的比值。

路面基层(底基层)的现场压实度控制通常采用灌砂法、环刀法、核子密度仪法和钻芯法。

1. 灌砂法适用于现场测定基层(底基层)的各种材料压实层的密度和压实度。当集料的最大粒径小于 15mm,测定层的厚度不超过 150mm 时,宜采用 $\Phi 100\text{mm}$ 的小型灌砂砂筒;当集料的粒径等于或大于 15mm,但不大于 40mm,测定层的厚度超过 150mm,但不超过 200mm 时,应采用 $\Phi 150\text{mm}$ 的大型灌砂砂筒测试。现场测定时,量砂要准确、规则,试坑的周壁应垂直,同直径,且贯穿整个碾压层。

2. 环刀法适用于龄期不超过 2d 的无机结合料稳定细粒土的密度测试,所取的试样宜处在碾压层的中部,不适用于含有粒料的稳定土及松散性材料的基层(底基层)。

3. 核子密度仪法适用于施工质量的现场快速测定,不宜用作仲裁试验或评定验收试验。但现场测试时,对人体有害。打洞时,洞壁附近的结构受到一定的破坏,影响了测定的准确性,因此,需要与常规方法进行比较,验证其可靠性。

4. 钻芯法适用于龄期较长的无机结合料稳定类基层和底基层的密度检测,也适用于检验从压实的沥青路面上钻取的沥青混合料芯样试件的密度,以评定沥青面层的施工压实度。由于沥青混合料标准密度的确定存在不定性,新的检测方法规定了三种标准密度方法:马歇尔击实试件密度、试验路段钻孔取样密度、由实测最大密度按空隙率折算的标准密度。

第四节 路面基层工程质量管理

(1) 施工过程中的质量管理包括外形尺寸的控制和检查以及质量控制和检查。

(2) 外形尺寸检查项目、频度和质量标准应符合表 4-2-12 的要求。

(3) 质量控制的项目、频度和质量标准应符合表 4-2-13 的要求。

表 4-2-12 外形尺寸检查项目、频度和质量标准

| 工程类别 | 项 目 | | 频 度 | 质 量 标 准 | |
|---------|----------|-------------------------------|---|-----------|--------|
| | | | | 高速公路和一级公路 | 一般公路 |
| 底基层 | 纵断高程(mm) | | 二级及二级以下公路每 20 延米 1 点；高速公路和一级公路每 20 延米 1 个断面,每个断面 3~5 个点 | +5,-15 | +5,-20 |
| | 厚度(mm) | 均值 | 每 1500~2000m ² 6 个点 | -10 | -12 |
| | | 单个值 | | -25 | -30 |
| | 宽度(mm) | | 每 40 延米 1 处 | +0 以上 | +0 以上 |
| | 横坡度(%) | | 每 100 延米 3 处 | ±0.3 | ±0.5 |
| 平整度(mm) | | 每 200 延米 2 处,每处连续 10 尺(3m 直尺) | 12 | 15 | |
| 基层 | 纵断高程(mm) | | 二级及二级以下公路每 20 延米 1 点；高速公路和一级公路每 20 延米 1 个断面,每个断面 3~5 个点 | +5,-10 | +5,-15 |
| | 厚度(mm) | 均值 | 每 1500~2000m ² 6 个点 | -8 | -15 |
| | | 单个值 | | -10 | -20 |
| | 宽度(mm) | | 每 40 延米 1 处 | +0 以上 | +0 以上 |
| | 横坡度(%) | | 每 100 延米 3 处 | ±0.3 | ±0.5 |
| | 平整度(mm) | | 每 200 延米 2 处,每处连续 10 尺 | 8 | 12 |
| | | 连续式平整度仪的标准差(mm) | 3.0 | | |

表 4-2-13 质量控制的项目、频度和质量标准

| 工程类别 | 项目 | 频 度 | 质量标准 |
|---------|-------|--|--|
| 无结合料底基层 | 含水量 | 据观察,异常时随时试验 | 在规范规定范围内 |
| | 级配 | 据观察,异常时随时试验 | 在规范规定范围内 |
| | 拌和均匀性 | 随时观察 | 无粗细集料离析现象 |
| | 压实度 | 每一作业段或不大于 2000m ² 检查 6 次以上 | 96%以上,填隙碎石以固体体积率表示,不小于 83% |
| | 塑性指数 | 每 1000m ² 1 次,异常时随时试验 | 小于规范规定值 |
| | 承载比 | 每 3000m ² 1 次,据观察,异常时随时增加试验 | 不小于规范规定值 |
| | 弯沉值检验 | 每一评定段(不超过 1km)每车道 40~50 个测点 | 95%(二级及二级下公路)或 97.7%(高速公路和一级公路)概率的上波动界限不大于计算得的容许值 ^① |

第四篇 公路工程施工质量控制与管理

| 工程类别 | 项目 | 频 度 | 质量标准 | |
|----------------|--|--|---|--|
| 无结合料基层 | 含水量 | 据观察,异常时随时试验 | 在规范规定范围内 | |
| | 级配 | 每 2000m ² 1 次 | 在规范规定范围内 | |
| | 拌和均匀性 | 随时观察 | 无粗细集料离析现象 | |
| | 压实度 | 每一作业段或不超过 2 000m ² 检查 6 次以上 | 级配集料基层 98% ,中间层 100% ,填隙碎石固体体积率 85% | |
| | 塑性指数 | 每 1000m ² 1 次,异常时随时试验 | 小于规范规定值 | |
| | 集料压碎值 | 据观察,异常时随时试验 | 不超过规范规定值 | |
| | 承载比 | 每 3000m ² 1 次 据观察,异常时随时增加试验 | 不小于规范规定值 | |
| | 弯沉值检验 | 每一评定段(不超过 1km)每车道 40 ~ 50 个测点 | 95%(二级及二级下公路)或 97.7%(高速公路和一级公路)概率的上波动界限不大于计算得的容许值 | |
| 水泥或石灰稳定土及综合稳定土 | 级配 | 每 2000m ² 1 次 | 在规范规定范围内 | |
| | 集料压碎值 | 据观察,异常时随时试验 | 不超过规范规定值 | |
| | 水泥或石灰剂量 | 每 2000m ² 1 次,至少 6 个样品,用滴定法或用直读式测钙仪试验,并与实际水泥或石灰用量较核 | 不小于设计值 - 1.0% | |
| | 含水量 | 水泥稳定土 | 据观察,异常时随时试验 | 在规范规定范围内 |
| | | 石灰稳定土 | | |
| | 拌和均匀性 | 随时观察 | 无灰条、灰团、色泽均匀,无离析现象 | |
| | 压实度 | 稳定细粒土 | 每一作业段或不超过 2000m ² 检查 6 次以上 | 二级及二级以下公路 93% 以上,高速公路和一级公路 95% 以上 |
| | | 稳定中粒土和粗粒土 | | 二级及二级以下公路的底基层 95% ,基层 97% ;高速公路和一级公路的底基层 96% ,基层 98% |
| 抗压强度 | 稳定细粒土,每一作业段或每 2000m ² 6 个试件 稳定中粒土和粗粒土,每一作业段或每 2000m ² 6 个或 9 个试件 | 符合规范规定要求 | | |

| 工程类别 | 项目 | 频 度 | 质量标准 | |
|---|--------------|--|--|---|
| 石 灰 工 业 废 渣 稳 定 土 | 延 迟 时 间 | 每个作业段 1 次 | 不超过规范规定 | |
| | 配合比 | 每 2000m ² 1 次 | 石灰剂量不小于设计值 - 1%(当石灰剂量少于 4%时,为不小于设计值 - 0.5%) 以内 | |
| | 级 配 | 每 2000m ² 1 次 | 在规范规定范围内 | |
| | 含水量 | 据观察,异常时随时试验 | 最佳含水量 ± 1%(二灰土为 ± 2%) | |
| | 拌 和 均 匀 性 | 随时观察 | 无灰条、灰团,色泽均匀,无离析现象 | |
| | 压 实 度 | 二灰土 | 每一作业段或不超过 2000m ² 检查 6 次以上 | 二级及二级以下公路 93% 以上,高速公路和一级公路 95% 以上 |
| | | 其他含粒料的石灰工业废渣 | | 二级及二级以下公路的底基层 95% 或 93%,基层 97% 以上,高速公路和一级公路的底基层 97% 或 95%,基层 98% 以上 |
| 抗 压 强 度 | | 稳定细粒土,每一作业段或每 2000m ² 6 个试件 稳定中粒土和粗粒土,每一作业段或每 2000m ² 6 个或 9 个试件 | 符合规定要求 | |

(4)对于无机结合料稳定基层,应取钻件(俗称路面芯样)检验其整体性。

水泥稳定基层的龄斯 7 ~ 10d 时,应能取出完整的钻件。二灰稳定基层的龄期 20 ~ 28d 时,应能取出完整的钻件。

如果路面钻机取不出水泥稳定基层或二灰稳定基层的完整钻件,则应找出不合格的界限,进行返工处理。

第五节 路面基层材料测试

一、基层材料主要检测内容

路面基层是承重层,是路面结构的主要部分,因此,它必须具有足够的强度、刚度、稳定性,为满足这些要求,切实保证路面基层的施工质量,对基层结构技术性能的检测显得尤为重要。基层结构材料性能的检测内容较多,但主要有以下几项:

- (1)无机结合料稳定土混合料的最佳含水量和最大干密度测定；
- (2)无机结合料稳定土的无侧限抗压强度测定；
- (3)承载比(CBR)测定；
- (4)水泥、石灰稳定土中水泥、石灰剂量的测定；
- (5)工地压实度测定(灌砂法)；
- (6)室内外回弹模量的测定(承载板法)；
- (7)石灰钙、镁含量测定。

二、活性氧化钙、氧化镁含量测定

(一)测试原理与标准

石灰的质量(活性)主要取决于活性CaO与MgO的含量。它们的含量愈高,则石灰粘结性愈好。

测定原理:利用活性氧化钙能与蔗糖化合成在水中溶解度较大的蔗糖钙,而其他钙盐则不与蔗糖作用的条件,用已知浓度的盐酸对石灰进行滴定(用酚酞指示剂),根据达到终点时盐酸的消耗量,可计算出活性CaO的含量,此称为中和法。

氧化镁与蔗糖作用反应缓慢,测定时间长,故此法测定的含量实际上以氧化钙为主。若要测定MgO的含量,可采用EDTA综合滴定法。先测定钙、镁总量,然后测定出钙含量,再计算镁含量。

在石灰土中,在同种剂量下石灰的等级愈高,其效果愈好。石灰的细度愈大,比表面积愈大,稳定效果愈好。因此,一般石灰应达到三等以上标准。生石灰和消石灰的分级指标如表4-2-14、表4-2-15所示。

表 4-2-14 生石灰分级指标(GB1595-79)

| 项 目 指 标 | 类 别 | | 钙质生石灰 | | | 镁质生石灰 | | |
|-----------------------|-----|---|-------|----|----|-------|----|----|
| | 等 | 级 | 一等 | 二等 | 三等 | 一等 | 二等 | 三等 |
| 活性钙与氧化镁含量不小于(%) | | | 85 | 80 | 70 | 80 | 75 | 65 |
| 未消解残渣(5mm圆孔筛筛余)不大于(%) | | | 7 | 11 | 17 | 10 | 14 | 20 |

表 4-2-15 消石灰粉的分级指标(GB1595-79)

| 项 目 指 标 | 类 别 | | 钙质生石灰 | | | 镁质生石灰 | | |
|-----------------|-----|---|-------|----|----|-------|----|----|
| | 等 | 级 | 一等 | 二等 | 三等 | 一等 | 二等 | 三等 |
| 有效钙与氧化镁含量不小于(%) | | | 65 | 60 | 55 | 60 | 55 | 50 |
| 含水率不小于(%) | | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

| 项 目 指 标 | | 钙质生石灰 | | | 镁质生石灰 | | |
|---------|-----------------------|-------|----|----|-------|----|----|
| | | 一等 | 二等 | 三等 | 一等 | 二等 | 三等 |
| 细 度 | 0.75mm 方孔筛筛余不大于(%) | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 0.15mm 方孔筛的累计筛余不大于(%) | 13 | 20 | - | 13 | 20 | - |

(二) 测试仪器与试剂

- (1) 标准筛 :筛孔径 1mm 和 0.15mm 各 1 个 ;
- (2) 称量瓶 :直径 3cm ,容积 20ml ;
- (3) 分析天平 :称量 100g ,感量 0.001g ;
- (4) 烘箱 :恒温 105 ~ 110℃ ;
- (5) 锥形瓶 :容量 250ml 共 2 个 ;
- (6) 滴定管 :容量 25ml 或 50ml 酸式管 1 支 ;
- (7) 滴定架 ;
- (8) 干燥器 :直径 25cm ;
- (9) 玻璃珠若干 ;
- (10) 盐酸 (化学纯) ,配制成浓度为 0.5mol/L 的盐酸溶液 ;
- (11) 蔗糖 (化学纯) ;
- (12) 指示剂 :1% 酚酞酒精溶液。

(三) 测试步骤与方法

(1) 将石灰试样粉碎 ,通过 1mm 筛孔 ,用四分法缩分为 200g ,再用研钵磨细通过 0.15mm 筛孔 ,用四分法缩分为 10g 左右。

(2) 将试样在 105 ~ 110℃ 的烘箱中烘干 1h ,然后移于干燥器中冷却。

(3) 标定盐酸浓度 :取 41ml 盐酸用蒸馏水稀释至 1L。在分析天平上用减量法称取无水碳酸钠约 0.2 ~ 0.3g ,在锥形瓶用蒸馏水加热溶解 ,冷却后滴入甲基橙指示剂两滴 ,此时溶液呈黄色。将配好的 HCL 溶液盛于滴定管中 ,进行滴定直至锥形瓶中溶液由黄色刚转变为橙色为止。记录盐酸耗量(ml) ,按下式计算 HCL 溶液的准确浓度 :

$$N_{\text{HCL}} = m / 0.053 V_{\text{HCL}} \quad (4-2-2)$$

式中 m —— 无水碳酸钠的质量(g) ;

V_{HCL} —— 滴定完成时盐酸的耗量(ml) ;

(4) 将称量瓶用减量法称取试样 0.8 ~ 1.0g (准确至 1mg) 置于锥形瓶中 ,迅速加入蔗糖约 5g 盖于试样表面(以减少试样与空气的接触) ,同时加入玻璃珠约 10 粒。接着加入新煮沸并已冷却的蒸馏水 50ml ,立即加盖瓶塞 ,并强烈摇荡 15min (注意时间不宜过短)。

若试样结块或出现粘于瓶壁的现象,则应重新取样。

(5) 摇荡后开启瓶塞,加入酚酞指示剂 2~3 滴,溶液即呈现粉红色,然后置于滴定架上,用盐酸标准溶液滴定。

(6) 滴定时,应先读出滴定管初读数,然后以 2~3 滴/s 的速度滴定,直至粉红色消失。如仍出现红色,应再加滴盐酸以中和,滴到颜色完全消失之后 5min 内不再出现红色为宜。

(7) 读出中和后盐酸消耗的滴定管读数,减去初读数,即为实际消耗的盐酸数量(ml)。

(四) 活性氧化钙与氧化镁含量的计算

(1) 活性 CaO + MgO 的含量按下式计算:

$$\text{CaO 含量} = 0.028 NV \times 100\% / G \quad (4-2-3)$$

式中 V——滴定用盐酸量(ml);

N——盐酸标准溶液的浓度;

0.028——消耗 1ml 盐酸溶液所中和的氧化钙的克数(g);

G——试样质量(g)。

(2) 消石灰或石灰浆所含 CaO + MgO 的质量百分率按下式计算:

$$x = 0.028 NV \times 100\% / G(1 - w) \quad (4-2-4)$$

式中 w——消石灰或石灰浆的含水率,以小数计。

其他符号意义同前。

氧化镁、氧化钙的测试记录表如表 4-2-16。

表 4-2-16 石灰有效钙和氧化镁含量测试表

试样编号 _____ 试样名称 _____ 试样来源 _____ 拟作用途 _____

| 试验次数 | 称量瓶号 | 空瓶质量(g) | 瓶与石灰试样的质量 m(g) | 石灰试样的质量 m(g) | 盐酸浓度 N(ml) | 滴定 CaO 所消耗的盐酸量(ml) | 石灰中 CaO 的含量(%) |
|------|------|---------|----------------|--------------|------------|--------------------|----------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5)=(4)-(3) | (6) | (7) | (8) |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

试验 _____ 计算 _____ 校核 _____

三、水泥或石灰稳定土中石灰、水泥剂量测定

(一) 概述

无机结合料稳定土是整体性半刚性材料,它具有强度高、板体作用好的独有特性,广

泛地被用作路面承重层基层上,尤其是石灰稳定土。而稳定土的效果,即强度形成有许多影响因素,其中无机结合料(石灰、水泥)的剂量起着决定性的作用。经试验,石灰土的石灰剂量不低于6%,不高于18%,以10%~14%为经济实用,水泥稳定土中水泥的经济剂量,见表4-2-17、表4-2-18所示。

表4-2-17 石灰土石灰剂量范围(%)

| 结构层位 | 土 类 | |
|------|---------|-------|
| | 粉性土、粘性土 | 砂性土 |
| 基层 | 11~14 | 14~16 |
| 底基层 | 9~11 | 11~14 |
| 垫层 | 6~9 | 9~11 |

表4-2-18 水泥稳定土特性

| 土 类 | 无侧限抗压强度 (7d) (MPa) | 弯拉弹性模量 ($\times 10^3$ MPa) | CBR | 水泥大致用量 (平均重)(%) |
|---------------|-----------------------|--------------------------------|------|--------------------|
| 级配良好的砾石、砂等 | 2.8~10.5 以上 | 7~21 | >600 | <5 |
| 粉性砂,砂质粘土 | 1.7~3.5 | 7 | 600 | 7 |
| 粉质、砂质粘土,级配差的砂 | 0.7~1.7 | 3.5~7.0 | 200 | 9 |
| 粉土、粉质粘土等 | 0.35~1.05 | <3.5 | 100 | 10 |
| 重粘土 | <0.7 | 1.4 | 50 | ≥ 13 |

稳定土无机结合料剂量的测定方法,常用的有EDTA滴定法、钙电极快速测定法两种。前者适用于工地快速测定稳定土的无机结合料的剂量(一次剂量测定只需12min),并可检查拌合的均匀性及用作稳定的土是细粒土、中粒土,还是粗粒土,且不受龄期(7d)的影响。还可用于测定石灰和水泥综合稳定土中结合料的剂量。后者,适用于测定新拌石灰土和水泥土的结合料剂量。

(二)钙电极快速测定法

1. 测试仪器与设备

- (1)钙电极:PVC薄膜,1支;
- (2)饱和甘汞电极:232型,1支;

- (3) 电极电位仪 :DD—213 型 ;
- (4) 电磁搅拌器 :交、直流两用 ;
- (5) 天平 :感量 0.1g ,1 台 ;
- (6) 土壤筛 :2.5mm ,1 个 ;
- (7) 计时器 :1 只 ;
- (8) 量筒 :200ml ,1 个 ;
- (9) 三角瓶 :500ml ,10 个 ,1000ml 5 个 ;
- (10) 烧杯 :200ml 5 个 ,50ml ,15 个 ;
- (11) 塑料瓶(桶) :1L 3 个 ,10L ,1 个 ;
- (12) 搅拌子 :20 只 ;
- (13) 容量瓶 :1000ml ,1 个。

2. 试剂及溶液的配制方法

(1) 10% 氯化铵溶液 :将 500g 氯化铵(化学纯)放入 10L 塑料桶内 ,加水(饮用水即可)4500ml ,充分摇动使溶液均匀。

(2) 0.1mol/L 氯化钙标准溶液 :将分析纯碳酸钙(CaCO_3)在 180℃ 烘箱中烘 2h 后 取出放入干燥器内冷却 45min ,用万分之一天平或千分之一天平准确称取已冷却的碳酸钙 10.009g 放入 300ml 烧杯中 ,并盖上表面皿 ,用少许蒸馏水润湿后 ,从杯口用滴管沿杯壁逐滴滴入 1:5 盐酸(18ml 盐酸加 90ml 蒸馏水)并轻摇杯子 ,使 CaCO_3 全部溶解。然后用洗瓶吹洗表面皿和杯壁 ,移至电炉上加热并保持微沸 5min ,以驱除 CO_2 。冷却后倒入 1000ml 容量瓶中 ,用蒸馏水多次沿壁冲洗烧杯 ,将冲洗的水一并倒入容量瓶中。当蒸馏水加到约 950ml 左右时 ,再用 20% 的 NaOH 调至中性 ,使 $\text{pH} = 7$ 。最后用蒸馏水稀释定容到刻度 ,反复摇匀 ,静置后倒入 1L 塑料瓶中备用。

(3) 0.01mol/L 氯化钙标准溶液 :用移液管吸取 100ml 0.1mol/L 氯化钙溶液放入 1000ml 容量瓶中 ,加蒸馏水稀释至刻度后 ,转入 1L 塑料瓶中备用。

加蒸馏水稀释至刻度后 ,转入 1L 塑料瓶中备用。

(4) 0.001mol/L 氯化钙标准溶液 :用移液管吸取 100ml 0.01mol/L 氯化钙溶液放入 1000ml 容量瓶中 ,加蒸馏水稀释至刻度后 ,转入 1L 塑料瓶中备用。

(5) 氯化钾饱和溶液 :用感量为 0.1g 的托盘天平称分析纯 KCl30g ,放入 200ml 烧杯中 ,用量筒量取 100ml 蒸馏水倒入烧杯内 ,用玻璃棒充分搅动后放入一塑料瓶中备用。

(6) 20% 氢氧化钠溶液 :用感量为 0.1g 的托盘天平迅速称取 20g 固体 NaOH 分析纯放入 200ml 烧杯中 ,加入 80ml 新煮沸并已冷却的蒸馏水 ,用玻璃棒充分搅匀后倒入塑料瓶中备用。

3. 准备工作

(1) 仪器和电极均按说明书规定进行准备。

(2) 土样 现场土过 2.5mm 筛孔。

(3) 石灰 现场石灰过 2.5mm 筛孔, 贮入具盖的容器内备用。

(4) 工作曲线浸提液的制备 :用现场素土及石灰按工地设计的石灰剂量 ,以 2% 的剂量级差 ,配制 5 种灰土 ,其中应有 2 种剂量大于设计值 ,2 种剂量小于设计值。

以感量为 0.1g 的托盘天平 ,用准备好的土样和石灰制备以上剂量的石灰土各 300g (如果需要调节含水量时 ,所加的水质应和施工现场一致) ,然后分别放入 1000ml 的具塞三角瓶中 ,用量筒各加入 10% 氯化铵溶液 600ml ,盖上塞子用手摇荡 2min ,保持每分钟振(120 ± 5)次。静置 3min 后将上部清液分别倒入干燥洁净具密封塞的瓶中保存 ,瓶外加贴标签 ,供以后测绘工作曲线时用。在倒出时可用一块纱布滤去杂质。若没有 1000ml 的三角瓶 ,也可将同一石灰剂量的灰土配 3 个 100g ,加 200ml 10% 氯化铵溶液浸提 ,最后将同一石灰剂量的 3 个瓶中的浸提液都倒入同一瓶中 ,充分混合后保存 ,供以后测绘工作曲线时用。

当石灰品种、土质和用水水质相同时 ,制备一次工作曲线标准液 ,可供连续测绘工作曲线 15d 之用。

4. 绘制工作曲线

将上述 5 种制备好的标准液分别倒出约 25ml 于干燥洁净的 50ml 烧杯中 ,各加入一只电磁搅拌棒 ,按石灰剂量由低到高的顺序依次移至电磁搅拌器上。开动搅拌器后放入钙离子电极和甘汞电极 ,测出每种石灰剂量的电位值(mV) ,然后在一个数量级的半对数坐标纸上绘制电位值(mV) (线性坐标以每一小格表示 1mV)对石灰剂量(对数坐标以每个数字表示 2% 的剂量递增)的工作曲线。

工作曲线如图 4-2-10 所示。

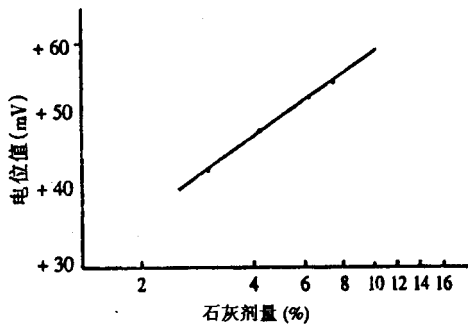


图 4-2-10 工作曲线图

若几点不恰在一条直线上 ,在绘制时应使各点均靠近直线。

5. 工地测试步骤和方法

(1)把现场取来的石灰土试样,经进一步拌匀后,用四分法缩至 300g 左右,使其全部通过 2.5mm 筛孔。

(2)用感量为 0.1g 的天平称取灰土试样 100g 2 份,放入 500ml 具塞三角瓶中,用量筒各加 10% 氯化铵溶液 200ml。

(3)以下步骤与配制工作曲线相同。

(4)测出电位值(mV)后,利用工作曲线查出相应的石灰剂量。

6. 记录格式

本试验的记录格式如表 4-2-19 所示。

表 4-2-19 水泥或石灰剂量的测定

工程名称 _____ 结构层名称 _____ 稳定剂种类 _____
 试样标号 _____ 试验方法 _____ 试验者 _____
 校核者 _____ 试验日期 _____

| 试样编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|
| 电位值(mV) | | | | | | | |
| 结合料剂量(%) | | | | | | | |

7. 注意事项

(1)在计算 6% 和 14% 混合料的组成时,应使混合料的最佳含水量与施工碾压时的最佳含水量相近。

(2)若土、石灰或水质有变化时,必须重新配置 6% 和 14%(或 16%、18%)石灰土标准剂量浸提液,并用它标定仪器。

(3)制备每个样品的浸提液时,搅拌的时间、速度和方式应力求相同。配制的氯化铵溶液当天用完,不宜放置过久。

(4)所用仪器必须用水冲洗干净。

(5)每测完一个样品应用蒸馏水或自来水冲洗电极,并用软纸吸干后再测下一个样品。

(6)若进行全天测试,午间休息时可将钙电极薄膜端浸泡在 0.001mol/L 氯化钙标准溶液中,下午测定前不必进行活化。下午测定结束后应用水冲洗电极,并用软纸将水吸干,套上橡皮帽,然后挂起干放保存,次日用前再进行活化。

(7)在连续使用时,钙电极的内参比液应每周更换一次,以保证试验的稳定性。

(三)EDTA 滴定法

1. 测试仪器与用具

- (1) 滴定管(酸式) 50ml 1支;
- (2) 滴定管支架 1个;
- (3) 滴定管夹 1个;
- (4) 大肚移液管 10ml 6支;
- (5) 锥形瓶(即三角瓶) 200ml 12个;
- (6) 烧杯 500ml 1只 50ml 3只;
- (7) 容量瓶 1000ml 1个;
- (8) 搪瓷杯 容量大于 1200ml 6只;
- (9) 不锈钢搅拌棒(长 30~35cm) 2根;
- (10) 托盘天平 称量 500g 感量 0.5g;
- (11) 精密试纸 pH 2~14。最好用 pH 值测定仪(酸度计);
- (12) 量筒 1000ml、100ml、25ml、5ml 各 1只;
- (13) 具塞棕色广口瓶 25ml 1只(装紫脲酸胺粉或钙红),也可用有盖塑料瓶;
- (14) 聚乙烯桶 20L 1个(装蒸馏水);
- (15) 聚乙烯瓶 1L 1个(装氯化铵溶液);
- (16) 聚乙烯瓶 1L 1个(装氢氧化钠);
- (17) 聚乙烯试剂瓶 1L 1个(装 EDTA);
- (18) 玻璃试剂瓶 1个(盛放三乙醇胺);
- (19) 秒表 1只;
- (20) 洗耳球 1个 玻璃棒若干根 毛刷 去污粉 特种钢笔 滴管。

2. 测试试剂

- (1) 0.1mol/L 乙二胺四乙酸二钠(简称 EDTA 二钠)标准液。

准确称取 EDTA 二钠(分析纯) 37.226g,溶于无二氧化碳的蒸馏水中(将蒸馏水盛放在大杯中,置于隔有石棉铁丝网的电炉上,加热煮沸 10min 后取下,盖密,待冷却后,贮在瓶中用瓶塞盖紧),用容量瓶定容至 1000ml。

- (2) 10% 氯化铵(NH_4Cl)溶液。

将 500g 氯化铵(分析纯或化学纯)放在 10L 的聚乙烯桶内,加蒸馏水 4500ml,充分振荡,使氯化铵完全溶解。也可以分批在 1000ml 的烧杯内配制,然后倒入塑料桶内。

- (3) 1.8% 氢氧化钠(内含三乙醇胺)溶液。

用 100g 架盘天平称 18g 氢氧化钠(分析纯),放入洁净干燥的 1000ml 烧杯中,加 1000ml 蒸馏水使其全部溶解,待溶液冷至室温后,加入 2ml 三乙醇胺(分析纯),搅拌均匀后储于塑料桶中。

(4)紫脲酸铵指示剂。

将 1g 紫脲酸铵与 10g 干燥氯化钠(分析纯)一起放在研钵中,研成很细的粉末,贮于棕色磨口广口瓶中,以防紫脲酸铵吸湿结块。也可用钙红指示剂,将 0.2g 钙(钙红)试剂与 20g 在 105℃烘箱中烘干的硫酸钾混合,一起放在研钵中,研成很细的粉末,贮于瓶中,以防吸湿。通常钙红指示剂的终点较易辨别。

3. 准备标准曲线

(1)取样:取工地用石灰和集料。风干后分别过 2.0mm 或 2.5mm 筛,用烘干法或酒精法测其含水量(如为水泥可假定其含水量为 0)。

(2)混合料组成的计算:

①公式。

干料质量 = 湿料质量 / (1 + 含水量)

②计算步骤。

A. 干混合料质量 = 300g / (1 + 最佳含水量);

B. 干土质量 = 干混合料质量 / (1 + 石灰(或水泥)剂量);

C. 干石灰(或水泥)质量 = 干混合料质量 - 干土质量;

D. 湿土质量 = 干土质量 × (1 + 土的风干含水量);

E. 湿石灰质量 = 干石灰 × (1 + 石灰的风干含水量);

F. 石灰土中应加入的水 = 300g - 湿土质量 - 湿石灰质量。

(3)准备 5 种试样,每种 2 个样品(以水泥集料为例):

第 1 种:称取 3 份 300g 集料(如为细粒土 100g 即可)分别放在 3 个搪瓷杯中。集料的含水量应等于工地预计的含水量。集料中所加水与工地所用的水相同(300g 为湿质量)。

第 2 种:准备 3 份水泥或石灰剂量为 2% 的稳定土混合料试样,每份质量 300g,分别放在 3 个搪瓷杯中。混合料中的含水量及所加水应与工地所用的相同。

第 3 种、第 4 种、第 5 种,各准备稳定土剂量分别为 4%、6%、8% 的混合料试样,每份质量 300g 并分别放在 6 个搪瓷杯中,其他要求同第 1 种。

①取一个盛有试样的搪瓷杯,在杯中加入 600ml 10% NH_4Cl 溶液,用不锈钢搅棒充分搅拌 3min(每分钟 110~120 次)。若是细粒土混合料,也可用 1000ml 具塞锥形瓶代替搪瓷杯,平握锥形瓶(口向上)用力振荡 3min(每分钟 120 次),以代替搅拌棒搅拌,放置沉淀 4min 后(若 4min 后,得到的是混浊的悬浮液,则应增加放置沉淀时间,直到出现澄清悬浮液为止),并记录所需时间。以后所有该种水泥(或石灰)土混合料的试验,均应以同一时间为准,然后将上部清液转移到 300ml 烧杯内,搅匀,加盖表面

皿待测。

在此,准备标准曲线的水泥剂量为:0、2%、4%、6%、8%,实际工作中应使工地实际所用水泥或石灰的剂量位于准备标准曲线时所用剂量的中间。当仅用 100g 混合料时,只需 200ml 10% 氯化铵溶液。

②用移液管吸取上层(液面下 1~2cm)悬浮液 10ml 放入 200ml 的三角瓶内,用量筒量取 50ml 1.8% 氢氧化钠(内含三乙醇胺)溶液倒入三角瓶中,此时溶液 pH 值为 12.5~13.0(可用 pH 12~14 精密纸检验),然后加入钙红指示剂(体积约为黄豆大小),摇匀,溶液呈玫瑰红色。用 EDTA 二钠标准液滴定到纯蓝色为终点,记录 EDTA 二钠的耗量(以 ml 计,读至 0.1ml)。

③对其他几个搪瓷杯中的试样,用同样的方法进行试验,并记录各自的 EDTA 二钠的耗量。

④以同一水泥或石灰剂量的 EDTA 二钠耗量(ml)的平均值为纵坐标,以水泥或石灰剂量(%)为横坐标,绘制 EDTA—石灰剂量的关系曲线(标准曲线),如图 4-2-11 所示。若集料或石灰(水泥)改变则应重作此标准曲线。

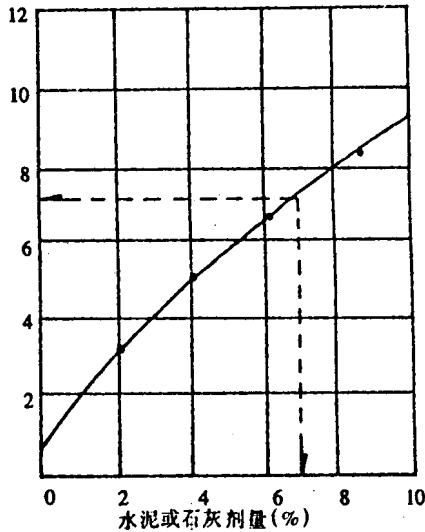


图 4-2-11 标准曲线

4. 测试步骤

(1)选取有代表性的稳定土混合料,称取 300g 放在搪瓷杯中,用搅拌棒将结块搅散,加 600ml 10% 的 NH_4Cl 溶液,然后如前步骤③、④那样进行测试。

(2)利用所绘制的标准曲线,根据所消耗的 EDTA 毫升数,确定混合料中水泥或石灰的剂量。

5. 记录格式如表 4-2-20。

表 4-2-20 水泥或石灰剂量的测定

工程名称 _____ 结构层名称 _____ 稳定剂种类 _____
 试样标号 _____ 试验方法 _____ 试验者 _____
 校核者 _____ 试验日期 _____

| 试样编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|
| EDTA 耗量(ml) | | | | | | | |
| 结合料剂量(%) | | | | | | | |

6. 注意事项

- (1) 每个样品搅拌的时间、速度和方式应力求相同,以增加试验的精度。
- (2) 做标准曲线时,如工地实际水泥剂量较大,素集料和低剂量水泥的试样可以不做,而直接用较高的剂量做试验,但应有 2 种剂量大于实用剂量,以及 2 种剂量小于实用剂量。
- (3) 配制好的氯化铵溶液最好当天用完,不要放置过久,以免影响试验的精度。

第六节 路面基层质量检验评定

一、水泥稳定土基层、底基层

(一) 基本要求

- (1) 土、粒料应符合设计和施工规范要求。
- (2) 水泥用量和矿料级配按设计控制准确。
- (3) 混合料拌和均匀,无粗细颗粒离析现象。路拌深度要达到层底,避免“夹层”。
- (4) 摊铺时要注意清除粗细粒离析现象。
- (5) 混合料处于最佳含水量状况下,用合适的碾压机械和碾压方法碾压达到要求的压实度。
- (6) 碾压检查合格后立即覆盖或洒水养生,养生符合有关技术规范要求。

(二) 检查项目

水泥土及水泥稳定粒料基层和底基层的检查项目及检验标准见表 4-2-21、表 4-2-22。

表 4-2-21 水泥土基层和底基层实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | | | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|----------|-----|--------------|------------|--------------|------------|----------------------------------|-----|
| | | | 基 层 | | 底 基 层 | | | |
| | | | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | | |
| 1 | 压实度 (%) | 代表值 | - | 95 | 95 | 93 | 按规范要求检查 每 200m 每车道 2 处 | 30 |
| | | 极 值 | - | 91 | 91 | 89 | | |
| 2 | 平整度(mm) | | - | 12 | 12 | 15 | 3m 直尺: 每 200m 测 2 处 × 10 尺 | 15 |
| 3 | 纵断高程(mm) | | - | +5, -15 | +5, -15 | +5, -20 | 水准仪: 每 200m 测 4 个断面 | 5 |
| 4 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | | 不小于设计值 | | 尺量: 每 200m 测 4 个断面 | 5 |
| 5 | 厚度 (mm) | 代表值 | - | -10 | -10 | -12 | 按规范要求检查 每 200m 每车道 1 点 | 20 |
| | | 极 值 | - | -20 | -25 | -30 | | |
| 6 | 横坡 (%) | | - | ±0.5 | ±0.3 | ±0.5 | 水准仪: 每 200m 测 4 个断面 | 5 |
| 7 | 强度(MPa) | | 符合设计要求 | | 符合设计要求 | | 按规范要求检查 | 20 |

(三) 外观鉴定

- (1) 表面平整密度、无坑洼、无明显离析、松散、软弹现象, 边线整齐。
- (2) 施工接茬平整、稳定。

二、石灰稳定土基层、底基层

(一) 基本要求

- (1) 土、料应符合设计要求和施工规范要求。
- (2) 石灰质量符合设计要求, 石灰用量按设计要求控制准确。
- (3) 混合料拌和均匀, 无粗细颗粒离析现象, 路拌深度要达到层底。
- (4) 碾压达到要求的压实度。

(5) 保湿养生, 养生期符合规范要求。

表 4-2-22 水泥稳定粒料基层和底基层实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | | | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|----------|-----|--------------|------------|--------------|------------|-------------------------------|-----|
| | | | 基 层 | | 底 基 层 | | | |
| | | | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | | |
| 1 | 压实度 (%) | 代表值 | 98 | 97 | 96 | 95 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 2 处 | 30 |
| | | 极 值 | 94 | 93 | 92 | 91 | | |
| 2 | 平整度(mm) | | 8 | 12 | 12 | 15 | 3m 直尺: 每 200m 测 2 处 × 10 尺 | 15 |
| 3 | 纵断高程(mm) | | +5, -10 | +5, -15 | +5, -15 | +5, -20 | 水准仪: 每 200m 测 4 个断面 | 5 |
| 4 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | | 不小于设计值 | | 尺量: 每 200m 测 4 处 | 5 |
| 5 | 厚度 (mm) | 代表值 | -8 | -10 | -10 | -12 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 1 点 | 20 |
| | | 极 值 | -15 | -20 | -25 | -30 | | |
| 6 | 横坡 (%) | | ±0.3 | ±0.5 | ±0.3 | ±0.5 | 水准仪: 每 200m 测 4 个断面 | 5 |
| 7 | 强度(MPa) | | 符合设计要求 | | 符合设计要求 | | 按规范规定检查 | 20 |

(二) 检查项目

石灰土及石灰稳定粒料基层和底基层检查项目及检验标准见表 4-2-23、表 4-2-24。

(三) 外观鉴定

(1) 表面平整密实、无坑洼。

(2) 施工接茬平整。

三、石灰粉煤灰稳定土基层和底基层

(一)基本要求

表 4-2-23 石灰土基层和底基层实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | | | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|----------|-----|--------------|------------|--------------|------------|-------------------------------|-----|
| | | | 基 层 | | 底 基 层 | | | |
| | | | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | | |
| 1 | 压实度 (%) | 代表值 | - | 95 | 95 | 93 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 2 处 | 30 |
| | | 极 值 | - | 91 | 91 | 89 | | |
| 2 | 平整度(mm) | | - | 12 | 12 | 15 | 3m 直尺: 每 200m 测 2 处 × 10 尺 | 15 |
| 3 | 纵断高程(mm) | | - | +5, -15 | +5, -15 | +5, -20 | 水准仪:每 200m 测 4 个断面 | 5 |
| 4 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | | 不小于设计值 | | 尺量:每 200m 测 4 处 | 5 |
| 5 | 厚度 (mm) | 代表值 | - | -10 | -10 | -12 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 1 点 | 20 |
| | | 极 值 | - | -20 | -25 | -30 | | |
| 6 | 横坡 (%) | | - | ±0.5 | ±0.3 | ±0.5 | 水准仪:每 200m 测 4 个断面 | 5 |
| 7 | 强度(MPa) | | 符合设计要求 | | 符合设计要求 | | 按规范规定检查 | 20 |

表 4-2-24 石灰稳定粒料基层和底基层实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | | | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|----------|-----|--------------|------------|--------------|------------|-------------------------------|-----|
| | | | 基 层 | | 底 基 层 | | | |
| | | | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | | |
| 1 | 压实度 (%) | 代表值 | - | 97 | 96 | 95 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 2 处 | 30 |
| | | 极 值 | - | 93 | 92 | 91 | | |
| 2 | 平整度(mm) | | - | 12 | 12 | 15 | 3m 直尺: 每 200m 测 2 处 × 10 尺 | 15 |
| 3 | 纵断高程(mm) | | - | +5, -15 | +5, -15 | +5, -20 | 水准仪:每 200m 测 4 个断面 | 5 |
| 4 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | | 不小于设计值 | | 尺量:每 200m 测 4 处 | 5 |
| 5 | 厚度 (mm) | 代表值 | - | -10 | -10 | -12 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 1 点 | 20 |
| | | 极 值 | - | -20 | -25 | -30 | | |
| 6 | 横坡 (%) | | - | ±0.5 | ±0.3 | ±0.5 | 水准仪:每 200m 测 4 断面 | 5 |
| 7 | 强度(MPa) | | 符合设计要求 | | 符合设计要求 | | 按规范规定检查 | 20 |

(1)土、粒料应符合设计要求和施工规范要求。

(2)石灰、粉煤灰质量应符合设计要求和施工规范要求,石灰应经充分消解后才能使用。

(3)混合料配合比应准确,不得含有灰团和生石灰块。

(4)混合料拌和均匀,路拌法应拌到底基。

(5)摊铺时,要注意消除粗细料离析现象。

(6)碾压达到要求的压实度。

(7)保持一定湿度养生,养生期符合规范。

(二)检查项目

石灰粉煤灰稳定土基层和底基层检查项目及检验标准见表 4-2-25、表 4-2-26。

表 4-2-25 石灰土、粉煤灰稳定土基层和底基层实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | | | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|----------|-----|--------------|------------|--------------|------------|-------------------------------|-----|
| | | | 基 层 | | 底 基 层 | | | |
| | | | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | | |
| 1 | 压实度 (%) | 代表值 | - | 95 | 95 | 93 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 2 处 | 30 |
| | | 极 值 | - | 91 | 91 | 89 | | |
| 2 | 平整度(mm) | | - | 12 | 12 | 15 | 3m 直尺: 每 200m 测 2 处 × 10 尺 | 15 |
| 3 | 纵断高程(mm) | | - | +5, -15 | +5, -15 | +5, -20 | 水准仪:每 200m 测 4 断面 | 5 |
| 4 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | | 不小于设计值 | | 丈量:每 200m 测 4 处 | 5 |
| 5 | 厚度 (mm) | 代表值 | - | -10 | -10 | -12 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 1 点 | 20 |
| | | 极 值 | - | -20 | -25 | -30 | | |
| 6 | 横坡 (%) | | - | ±0.5 | ±0.3 | ±0.5 | 水准仪:每 200m 测 4 断面 | 5 |
| 7 | 强度(MPa) | | 符合设计要求 | | 符合设计要求 | | 按规范规定检查 | 20 |

(三)外观鉴定

- (1)表面平整密实、无坑洼。
- (2)施工接缝平整、无缝隙。

四、级配碎(砾)石基层和底基层

(一)基本要求

- (1)石料(碎石、砂砾、石屑、砂)质地坚韧、无杂质、颗粒级配符合要求。

表 4-2-26 石灰、粉煤灰稳定粒料基层和底基层实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | | | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|------------|-----|--------------|------------|--------------|------------|----------------------------------|-----|
| | | | 基 层 | | 底 基 层 | | | |
| | | | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | | |
| 1 | 压实度 (%) | 代表值 | 98 | 97 | 96 | 95 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 2 处 | 30 |
| | | 极 值 | 94 | 93 | 92 | 91 | | |
| 2 | 平整度(mm) | | 8 | 12 | 12 | 15 | 3m 直尺: 每 200m 测 2 处 × 10 尺 | 15 |
| 3 | 纵断高程(mm) | | +5, -10 | +5, -15 | +5, -15 | +5, -20 | 水准仪:每 200m 测 4 断面 | 5 |
| 4 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | | 不小于设计值 | | 尺量:每 200m 测 4 处 | 5 |
| 5 | 厚度 (mm) | 代表值 | -8 | -10 | -10 | -12 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 1 点 | 20 |
| | | 极 值 | -15 | -20 | -25 | -30 | | |
| 6 | 横坡(%) | | ±0.3 | ±0.5 | ±0.3 | ±0.5 | 水准仪:每 200m 测 4 断面 | 5 |
| 7 | 强度(MPa) | | 符合设计要求 | | 符合设计要求 | | 按规范规定检查 | 20 |

- (2)配料必须准确,塑性指数必须符合规定。
- (3)混合料拌和均匀,无明显粗细颗粒离析现象。
- (4)碾压达到要求的密实度。

(二)检查项目

级配碎(砾)石基层和底基层检查项目及检验标准见表 4-2-27。

(三)外观鉴定

表面平整密实,边线整齐,无松散现象。

表 4-2-27 级配碎(砾)石基层和底基层实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | | | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|------------|-----|--------------|------------|--------------|------------|----------------------------------|-----|
| | | | 基 层 | | 底 基 层 | | | |
| | | | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | | |
| 1 | 压实度 (%) | 代表值 | 98 | 98 | 96 | 96 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 2 处 | 30 |
| | | 极 值 | 94 | 94 | 92 | 92 | | |
| 2 | 平整度(mm) | | 8 | 12 | 12 | 15 | 3m 直尺: 每 200m 测 2 处 × 10 尺 | 25 |
| 3 | 纵断高程(mm) | | +5, -10 | +5, -15 | +5, -15 | +5, -20 | 水准仪: 每 200m 测 4 断面 | 5 |
| 4 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | | 不小于设计值 | | 尺量: 每 200m 测 4 处 | 5 |
| 5 | 厚度 (mm) | 代表值 | -8 | -10 | -10 | -12 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 1 点 | 20 |
| | | 极 值 | -15 | -20 | -25 | -30 | | |
| 6 | 横坡(%) | | ±0.3 | ±0.5 | ±0.3 | ±0.5 | 水准仪: 每 200m 测 4 断面 | 5 |

五、填隙碎石基层和底基层

(一) 基本要求

- (1) 粗粒料为质坚、无杂物的轧制石料, 填缝料为 5mm 以下的干燥筛余料或粗砂。
- (2) 应用振动压路机碾压, 使填缝料填满粗粒料孔隙。

(二) 检查项目

填隙碎石基层和底基层的检查项目和检验标准见表 4-2-28。

(三) 外观鉴定

表面平整密实, 边线整齐, 无松散现象。

表 4-2-28 填隙碎石(矿渣)基层和底基层实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | | | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|--------------|-----|--------------|------------|--------------|------------|----------------------------------|-----|
| | | | 基 层 | | 底 基 层 | | | |
| | | | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | 高速公路 一级公路 | 其 他 公 路 | | |
| 1 | 固体体 积率(%) | 代表值 | - | 85 | 85 | 83 | 灌砂法: 每 200m 每车道 2 处 | 30 |
| | | 极 值 | - | 82 | 80 | 80 | | |
| 2 | 平整度(mm) | | - | 12 | 12 | 15 | 3m 直尺: 每 200m 测 2 处 × 10 尺 | 25 |
| 3 | 纵断高程(mm) | | - | +5, -15 | +5, -15 | +5, -20 | 水准仪: 每 200m 测 4 断面 | 5 |
| 4 | 宽度(mm) | | 不小于设计值 | | 不小于设计值 | | 尺量: 每 200m 测 4 处 | 5 |
| 5 | 厚度 (mm) | 代表值 | - | -10 | -10 | -12 | 按规范规定检查 每 200m 每车道 1 点 | 30 |
| | | 极 值 | - | -20 | -25 | -30 | | |
| 6 | 横坡(%) | | - | ±0.5 | ±0.3 | ±0.5 | 水准仪: 每 200m 测 4 断面 | 5 |

第七节 路面基层质量通病及防治

一、级配砂砾层质量通病及防治

级配砂砾层施工中,存在砂砾级配差,砂砾含泥量大,摊铺违背技术规程,造成级配不均匀,压不成板状,以及含水量掌握不好,机械功能不足造成的质量通病。

(一)砂砾层级配质量差

(1)现象:砾石颗粒过多过大,即含有直径大于 10cm 的超大巨粒卵石或砂粒过多。

(2)原因分析:因为不是人工掺拌的级配,而是天然级配,料源质量差。

(3)危害:级配就意味着大小颗粒相匹配,小一级的颗粒填充大一级颗粒的空隙,使颗粒间嵌挤紧密、空隙率小、密度高、稳定性好,如果过大或过小的颗粒过多,空隙率将增大、嵌挤力小,稳定性差,密度低。

(4)治理方法:应以人工级配砂砾代替天然级配砂砾做结构层,其级配标准如表 4-2-30 所示。

应按表 4-2-30 标准作筛分试验,合格后再使用。

表 4-2-29 公路级配碎(砾)石基层和底基层实测项目表

| 序号 | 项目 | | 规定值或允许偏差 | | | |
|----|--------------|-----|------------|---------|------------|---------|
| | | | 基层 | | 底基层 | |
| | | | 高速公路 一级 | 其他公路 | 高速公路 一级 | 其他公路 |
| 1 | 压实度 (%) | 代表值 | 98 | 98 | 96 | 96 |
| | | 极值 | 93 | 93 | 91 | 91 |
| 2 | 弯沉值 (0.01mm) | | ≤设计计算值 | | ≤设计计算值 | |
| 3 | 平整度 (mm) | | 10 | 15 | 15 | 20 |
| 4 | 纵断高程 (mm) | | +5, -10 | +5, -15 | +5, -15 | +5, -20 |
| 5 | 宽度 (mm) | | 不小于设计值 | | 不小于设计值 | |
| 6 | 厚度 (mm) | 代表值 | -10 | -12 | -12 | -15 |
| | | 极值 | -20 | -25 | -25 | -30 |
| 7 | 横坡 (%) | | ±0.3 | ±0.5 | ±0.3 | ±0.5 |

表 4-2-30 人工级配砂砾级配标准表

| 筛孔 (cm) | 0.05 | 0.2 | 0.5 | 2.5 | 5.0 | 7.0 | |
|---------|------|-------|-------|-------|-----|--------|--|
| 通过 (%) | 5~20 | 10~20 | 20~35 | 40~70 | — | 95~100 | |

(二) 砂砾层含泥量大

(1) 现象:在洒水后碾压过程中表面泛泥并有严重裂纹出现。

(2) 原因分析:在天然级配砂砾里含泥(小于 0.074mm 的颗粒)量大于砂(小于 5mm 颗粒)重的 10%。

(3) 危害:含泥量大,即小于 0.074mm 的颗粒过多,它起了分隔粗集料的作用,集料间嵌挤能力降低,强度差。同时含泥量大,液限及塑性指数增大(即遇水变软)水稳定性差,强度低。

(4)治理方法:采用人工级配,把小于 0.074mm 的土颗粒筛去。或经试验含泥量大于砂重 10% 的级配砂砾,不准使用。

(三)砂砾层碾压不足

(1)现象:①砂砾层表面严重轮迹、起皮、压不成板状。②砂砾层表面松散,有规律裂纹。③砂砾层表面无异常,经试验不够密度。

(2)原因分析:①砂砾摊铺虚厚超过规定厚度。②碾压砂砾层的机械碾压功能过小。③砂砾层的碾压遍数不够。

(3)危害:砂砾层不能形成具有一定强度的、密实的板状结构。这样的结构层分散荷载的能力差。

(4)治理方法:①按规定压实厚度 $10\sim 20\text{cm}$ 摊铺压实,超过规定厚时,分两层摊铺、碾压。②将碾压功能小的机械换为符合碾压厚度的机械或改用振动碾。③对碾压不够的砂砾层,增加碾压遍数,追加碾压密度。

(四)砂砾层级配不均匀

(1)现象:粗(砾石)细(砂)料集中,摊铺后,造成梅花(砾石集中)砂窝(砂粒集中)现象。

(2)原因分析:由于卸车和机械摊铺,使粗细料离析。

(3)危害:粗细料离析的级配与砂砾,梅花部分空隙率大,不密实,嵌挤力小;砂窝部分松散,不稳定,路面铺筑在这样的底层上,易造成变形、损坏。

(4)治理方法:在摊铺过程中应将粗细料掺拌均匀,无粗细料分离现象。在碾压过程中如发现有梅花砂窝,切不可用砂(对梅花)或砾石(对砂窝)覆盖,应将梅花、砂窝分别挖出,掺入砂或砾石翻拌,达到级配均匀、致密。

二、石灰土基层(垫层)的质量通病及防治

石灰土强度的形成原理,是在粉碎的土料中掺入适量的具有一定细度的石灰,在最佳含水量下压实后,既发生了一系列物理力学和物理化学作用,形成石灰土的强度。灰和土发生系列相互作用,形成板体,提高了强度和稳定性。但是由于违反施工操作规程出现了下述诸多通病。

(一)搅拌不均匀

(1)现象:石灰和土掺和后搅拌遍数不够,色泽呈花白现象。有的局部无灰,有的局部石灰成团。更有甚者,不加搅拌,一层灰一层土,成夹馅“蒸饼”。

(2)原因分析:①原北京市政局规程规定,石灰土人工搅拌 $7\sim 8$ 遍,1976年修订规程规定搅拌不小于3遍,就是这个数也做不到,总之,拌和遍数不够。②无强制搅拌设备,

靠人工,费时费力,加上管理不严,便不顾质量,粗制滥造,搅拌费力,不愿多拌。

(3)危害:石灰土的结硬原理,是通过石灰的活性(石灰中含有的 CaO 和 MgO)与土料中的离子进行交换,改变了土的性质(分散性、湿坍性、粘附性、膨胀性),使土的结合水膜减薄,提高了土的水稳定性。石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$)吸收空气中的碳酸气,形成碳酸钙,石灰中的胶体逐渐结晶,石灰与土中活性的氧化硅(SiO_2)和氧化铝(Al_2O_3)的化学反应,生成硅酸钙和铝酸钙,使石灰和土的混合体逐渐结硬等物理化学作用,均需要石灰颗粒与土颗粒均匀掺和在一起才能完成。如果掺和不均,灰是灰,土是土,土与灰之间的相互作用将不完全,石灰土的强度将达不到设计强度。

(4)治理方法:按施工技术规程的规定:

人工搅拌:①将备好的土与石灰按计算好的比例分层交叠堆在拌和场地上;②对锹翻拌三遍,要求拌和均匀,色泽一致,无花白现象。土干时随拌随打水花。加水多少,以最佳含水量控制。

机械搅拌:方法很多,有用平地机搅拌,专用灰土拌和机搅拌,农用犁耙搅拌。不管用什么方法就地搅拌,都应严格按规程操作,保证均匀度、结构厚度、最佳含水量。最好的办法是实行工厂化强制搅拌。

(二)石灰土厚度不够

(1)现象:石灰土达不到设计厚度,特别是人行道石灰土基层表现尤为突出,造成小方砖步道下沉变形。

(2)原因分析:①省略了路床工序,对土路床的密实度、纵横断高程、平整度、宽度指标未予控制。②不做土路床,就地翻拌,遇土软时,翻拌深度就深,灰土层厚,遇土硬时,翻拌深度就浅,灰土层就薄。

(3)危害:石灰土基层的厚度不均匀,承载能力大小不同,薄弱部位极易损坏,特别是人行道石灰土基层,北京的常规设计厚度是15cm,但常发现有3cm、5cm厚的,所以一经投入使用,立即出现沉陷变形,这种情况经常发生。

(4)治理方法:要按质量检验评定标准所规定的土路床工序,控制土路床的纵横断高程、平整度、宽度、密实度。在这个基础上再按一、“搅拌不均”通病的治理方法,搅拌、摊铺石灰土,灰土层厚就能保证均匀。

(三)掺灰不计量或计量不准

(1)现象:在石灰土掺拌过程中,加灰随意性较强,不认真对土、灰的松干容重进行试验计算。或虽有计量只是粗略体积比。

(2)原因分析:①管理人员和操作人员不了解剂量是直接影响着灰土强度的重要因素。②管理人员未经试验计算或虽经试验计算但对操作者交底不清。

(3)危害:在生产实践中,石灰剂量应不低于 6%,不高于 18%,如果计量不准,低于 6%或高于 18%都会使灰土强度降低。

(4)治理方法:石灰土的石灰剂量,是按熟石灰占灰土的总干重的百分率计算。经济实用的剂量是 10%~14%。北京地区石灰土结构层的含灰剂量通常采用 12%,石灰处理土基通常采用 9%。要取得准确的剂量,就应经过试验,取得如表 4-2-31“石灰体积和质量换算表”的数据。

表 4-2-31 石灰体积和质量换算表

| 石灰组成 (块:末) | 密实状态下 每立方米石 灰质量(kg) | 每立方米熟 石灰用生石 灰数量(kg) | 每 1000kg 生石 灰熟化后的 体积(m ³) | 每立方米石 灰类用生石 灰数量(kg) |
|---------------|---------------------------|---------------------------|---|---------------------------|
| 10:0 | 1470 | 355.4 | 2.814 | — |
| 9:1 | 1453 | 369.6 | 2.706 | — |
| 8:2 | 1439 | 382.7 | 2.613 | 571 |
| 7:3 | 1426 | 399.2 | 2.505 | 602 |
| 6:4 | 1412 | 417.3 | 2.396 | 636 |
| 5:5 | 1395 | 434.0 | 2.304 | 674 |
| 4:6 | 1379 | 455.6 | 2.195 | 716 |
| 3:7 | 1367 | 457.5 | 2.103 | 736 |
| 2:8 | 1354 | 501.5 | 1.994 | 820 |
| 1:9 | 1335 | 526.0 | 1.902 | — |
| 1:10 | 1320 | 557.7 | 1.793 | — |

若无试验资料,12%石灰土,压实厚度 15cm,以人工上土为例,土松铺 22~24cm,石灰松铺 6cm;压实厚度 20cm,土松铺 30~32cm,石灰松铺 8cm。按上述土、灰厚度比例关系,大致是 4:1,如果是石灰处理土基 15cm(实厚),加灰 6%,那么石灰松铺厚便是 3cm。如果 9%,松铺厚度便是 4.5cm。

(四)石灰活性氧化物含量低

(1)现象:石灰经试验氧化钙和氧化镁活性氧化物含量低于 60%的Ⅲ级灰标准。特别是当前市政工程上大量使用的袋装生石灰粉,发现不少低于Ⅲ级灰标准,灰中含有大量非活性的生石灰面粉。

(2)原因分析:①购进的是劣质石灰或劣质生石灰粉。②石灰存放时间过长,失效。

(3)危害:石灰土强度的形成的影响因素有内因和外因两方面。属于内因的有土质、灰质、石灰剂量、含水量与密实度等。属于外因的有时间、温度、湿度与机械压实及行车作用等。石灰的等级愈高,其氧化钙和氧化镁的含量也就愈高,在同样石灰剂量下,对土

的稳定效果就愈好。石灰的细度愈大,其比表面也就愈大,在同样剂量的条件下与土颗粒发生的作用也就愈充分,强度形成的也就愈大。当石灰等级低于Ⅲ级,或石灰存放时间过长,石灰中的活性氧化物含量将大大降低,所起的作用类同于降低石灰土中石灰剂量的作用,使石灰土的板体作用削弱。劣质灰往往细度偏小,弱化了石灰与土料所发生的一系列作用,使石灰土的强度增长缓慢。因此,如果石灰的活性氧化物含量低,用其所拌制的石灰土就达不到规定配比要求的强度。

(4)治理方法:①要采用不低于Ⅲ级标准的石灰。②对新购进的或存放过久的石灰要进行活性氧化物含量试验。③如经试验低于Ⅲ级灰标准,可根据活性氧化物含量提高石灰剂量。④要尽量缩短石灰的存放时间,一般生产后的石灰不迟于3个月内投入使用。

(五)消解石灰不过筛

(1)现象:将含有尚未消解彻底的石灰块和慢化石灰块直接掺入土料,不过筛。

(2)原因分析:图省工,违反操作规程。

(3)危害:不过筛的消解石灰掺入土中压实后,其中存在的未消解生石灰块和慢化石灰块,遇水分后经一定时间便消解,体积膨胀,将路面拱起,使结构遭到破坏。

(4)治理方法:①生石块应在用灰前一周,至少2~3d进行粉灰,以使灰充分消解。②消解的方法要按规程规定的,在有自来水或压力水头的地方尽量采用射水花管,使水均匀喷入灰堆内部,每处约停放2~3min,再换位置插入,直至插遍整个灰堆,要使用足够的水量使灰充分消解。③对少量未消解部分和慢化生石灰块,要过1cm筛孔的筛子。

(六)土料不过筛

(1)现象:土料内含有大土块、大砖块、大石块或其他杂物。

(2)原因分析:①土料粘性较大,结团,未打碎。②对土料内含有的建筑渣土,未过筛。

(3)危害:素土类的强度和水稳定性大大低于石灰土,如果灰土中含有大土块,就等于在坚固的板体内含有软弱部分,灰土内的大砖块、大石块等不能跟石灰土凝结成整体,就好比木板上的“疖子”,有损板体的整体性,都是造成板体损坏的薄弱环节。

(4)治理方法:所有的土均应事先将土块打碎,人工拌和时,须要通过2cm筛孔的筛子,机械拌和时可不过筛,但必须将大砖块、大石块等清除,2cm以上土块含量不得大于3%。

(七)灰土过干或过湿碾压

(1)现象:掺拌摊铺的灰土过干或过湿,都偏离最佳含水量较大,往往是过干时,在进行碾压后,再在表面进行洒水,这样只湿润表层,不能使水分渗透到整个灰土层。过湿

时,碾压出现颤动、扒缝现象。

(2)原因分析:①土料在开挖、运输或就地过筛翻拌过程中,土料中原有水分大量蒸发,翻拌过程中又未重新加水。②所取土料过湿或遇雨或灰土掺拌后未碾压遇雨,没有进行晾晒,在大大超过最佳含水量的状态下碾压。

(3)危害:灰土在过干或过湿状态下碾压,均不能达到最佳密实度。过湿的土料或过湿的石灰不能搅拌均匀,过干的灰土层,只在表面洒水,只能使表层达到较高密实度,整个灰土层不会达到一致的最佳密实度。这样将导致灰土层承载能力的降低,危及整个结构的寿命。

(4)治理方法:①石灰土搅拌必须具备洒水设备,如果在取土、运输、翻拌过程中失水,就应在翻拌过程中随搅拌随打水花,直至达到最佳含水量。同时在碾压成活后,如不摊铺上层结构,应不断洒水养生,保持经常湿润(因为灰土初期经常保持一定湿度,能加速结硬过程的形成);灰土强度形成过程中,一系列相互作用都离不开水。②取来的土料过湿或遇雨后过湿都应进行晾晒,使其达到或接近最佳含水量时再行加灰掺拌。如拌和后的灰土遇雨,也应晾晒,达到最佳含水量时进行碾压。如灰土搁置时间过长,还要经过试验,如果石灰失效,还应再加灰掺拌后碾压。

三、石灰粉煤灰砂砾基层的质量通病及防治

石灰粉煤灰砂砾,是在具有一定级配的破碎砂砾中,按一定比例掺入少量石灰和粉煤灰,加入适当水量,拌合均匀的混合料(以下简称混合料),混合料的结硬原理是靠石灰的活性,去激发粉煤灰中不活泼化学成分的活性,在适当水分下起化学反应,生成具有一定水硬性的化合物,使石灰粉煤灰逐渐凝固,将砂砾固结成整体材料,但由于混合料的生产工艺不当和使用方法不当,在应用中产生诸多通病。

(一)含灰量少或石灰活性氧化物含量不达标

(1)现象:主要表现在混合料不固结,无侧限抗压强度不达标。

(2)原因分析:①生产厂家追求利润,不顾质量,使用Ⅲ级以下劣质石灰,或有意少加灰,使混合料中活性氧化物含量极低。②生产工艺粗放,人工加灰量不均匀,甚至少加灰。③混合料在生产厂存放时间过长或到工地堆放时间超过限期,活性氧化物失效。

(3)危害:石灰粉煤灰砂砾料主要是通过石灰中的活性氧化物(CaO 和 MgO)激发粉煤灰的活性,与石灰起化学反应,使掺入砂砾中的石灰粉煤灰逐渐凝固,将砂砾固结成整体材料,如无石灰或石灰含量低或石灰中活性氧化物含量低,将不能或不完全起化学反应,均达不到将砂砾固结成整体的作用,永远呈松散或半松散状态,混合料将结不成坚固的板体。

(4)治理方法:①主管混合料生产质量的部门,要加强对生产厂拌和和质量的管理。②要求厂家逐步改造粗放的生产工艺为强制搅拌工艺,并提高厂家自我控制能力。③要逐步实行优质优价政策,以激发厂家进行工艺改造。④市政工程施工集团公司要设法建立自己的混合料搅拌厂,以保证质量。⑤混合料在拌合厂的堆放时间不应超过4d。运至工地的堆放时间最多不超过3d,最好是随拌和随运往工地随摊铺碾压。⑥要求工地加作含灰量和活性氧化物含量的跟踪试验,如发现含灰量不够或活性氧化物含量不达标,要另加石灰掺拌,至达标为止。

(二)摊铺时粗细料分离

(1)现象 摊铺时粗细料离析,也像级配砂砾出现梅花(粗料集中)砂窝(细料集中)现象一样。

(2)原因分析 在装卸运输过程中造成离析,或用机械摊铺时使粗细料集中,未施行重新搅拌措施。

(3)危害 石灰、粉煤灰和砂粒集中的部分,粗骨料少,强度低;粗骨料集中部分,石灰和粉煤灰结合料少,呈松散状态,形不成整体强度。这样的基层是强度不均匀的基层,易从薄弱环节过早破坏。

(4)治理方法:①如果在装卸运输过程中出现离析现象,应在摊铺前进行重新搅拌,使粗细料混合均匀后摊铺。②如果在碾压过程中看出有粗细料集中现象,也要将其挖出分别掺入粗、细料搅拌均匀,再摊铺碾压。

(三)干碾压或过湿碾压

(1)现象 混合料失水过多已经干燥,不经补水即行碾压。或洒水过多,碾压时出现“弹软”现象。

(2)原因分析:①混合料在装卸、运输、摊铺过程中,水分蒸发,碾压时未洒水或洒水不足,或洒水过量。②在搅拌场拌和时加水过少或过多。

(3)危害 含水量对混合料压实后的强度影响较大。试验证明:当含水量处于最佳含水量+1.5%和-1%时,强度下降15%;处于-1.5%时,强度下降30%。

(4)治理方法:①混合料出场时的含水量应控制在最佳含水量-1%和+1.5%之间。②碾压前需检验混合料的含水量,在整个压实期间,含水量必须保持在接近最佳状态,即在-1%和+1.5%之间。如含水量低需要补洒水,含水量过高需在路槽内晾晒,待接近最佳含水量状态时再行碾压。

(四)碾压成型后不养护

(1)现象 混合料压实成型后,任其在阳光下暴晒和风干,不保持在潮湿状态下养生。

(2)原因分析:①施工人员不了解粉煤灰在加入石灰后必须要在适当水分下才能激

发其活性,生成具有一定水硬性化合物,将砂砾料固结成板体。②水源较困难,未采取积极措施,予以保证。③忽视工程质量,图省工省事,违反技术规程。

(3)危害 混合料强度的增长是在适当水分、适当温度下随时间增长而增长,都是因为粉煤灰中的主要成分二氧化硅(SiO_2)和三氧化二铝(Al_2O_3)必须在适当水分下受石灰中活性氧化物的激发,才能发生“火山灰作用”生成含水硅酸钙和含水铝酸钙,具有一定水硬性的化合物,如果混合料压实后的初期处于干燥状态,在石灰活性有效期内未能硬化,混合料将不能达到预期的板体强度。

(4)治理方法 ①加强技术教育,提高管理人员和操作人员对混合料养生重要性的认识。②严肃技术纪律,严格管理,必须执行混合料压实成型后在潮湿状态下养生的规定。③养生时间一般不少于7d,直至铺筑上层面层时为止。有条件的也可洒布沥青乳液覆盖养生。

(五)超厚碾压

(1)现象:不按要求的压实厚度碾压,规程规定:每层最大压实厚度为20cm,而有的压实厚度25~35cm也一次摊铺碾压。

(2)原因分析:交底不清或管理不严,或图省工省碾或无端抢工有意违反操作规程。

(3)危害:规定的最大压实厚度为20cm,是12~15t压路机的压实功能能达到的全部层厚要求密实度。如果超过这个限厚的混合料则全层厚达不到要求的密实度。

(4)治理方法:交底清楚,严格控制。凡结构总厚度超过一次碾压限厚的,都要分层摊铺碾压,如结构总厚度为30cm,可分成两层,每层15cm,其虚铺厚度为 15×1.3 (机械摊铺的压实系数)=19.5cm。

第三章 沥青路面施工质量控制与管理

第一节 沥青路面概述

一、沥青路面的特征与分类

(一) 沥青路面的基本特征

沥青路面是用沥青材料作结合料粘结矿料修筑面层与基层的路面结构。

沥青路面由于使用了沥青结合料,因而增强了集料间的粘结力,提高了混合料的强度和稳定性,使路面的使用质量和耐久性都得到提高。与水泥混凝土路面相比,沥青路面具有表面平整,无接缝,行车舒适,耐磨,振动小,噪声低,施工期短,养护维修简便等优点,因而获得越来越广泛的应用。20世纪50年代以来,各国修建沥青路面的数量迅猛增长,所占比重很大。近几十年来,我国公路和城市道路修筑了相当数量的沥青路面,沥青路面也是我国高速公路的主要路面形式。随着国民经济和现代化道路发展的需要,沥青路面预计会有更大的发展。

沥青路面的强度和稳定性在很大程度上取决于土基和基层的特性。在柔性基层上铺筑的沥青面层称为柔性基层沥青路面,在半刚性基层上铺筑的沥青混合料面层称为半刚性基层沥青路面。总的来说,沥青路面的抗弯拉强度较低,因而要求基层和土基应具有足够的强度和稳定性。因此,施工时必须掌握路基土的特性进行充分的压实。对软弱土基或翻浆路段必须预先加以处理。低温时,沥青路面的抗变形能力很低。在寒冷地区为了防止土基不均匀冻胀而使沥青路面开裂,需设置防冻层。沥青路面修筑后,由于透

水性小,使土基和基层内的水分难以排出,在潮湿路段易使土基和基层湿度过大而变软,导致路面破坏。因此,宜尽量采用水稳定性较好的半刚性基层。对交通量较大的路段,为使沥青路面具有一定的抗弯拉和抗疲劳开裂的能力,宜在沥青面层下设置沥青混合料的上基层。采用较薄的沥青面层时,特别是在旧路面上加铺面层补强时,要采取必要的措施加强面层与基层之间的粘结,以防止水平力作用而引起沥青面层的剥落、推挤、拥包等破坏。

(二) 沥青路面的分类

1. 按强度构成原理分类

按强度构成原理可将沥青路面分为密实和嵌挤两大类。密实类沥青路面的集料级配按最大密实原则设计,颗粒尺寸多样,其强度和稳定性主要取决于混合料的粘聚力和内摩阻力。密实类沥青路面按其空隙率的大小可分为开式和闭式两种:闭式混合料中含有较多的小于 0.5mm 和 0.074mm 的矿料颗粒,空隙率小于 6% ,混合料致密而耐久,但热稳定性较差。开式混合料中小于 0.5mm 的矿料颗粒含量较少,空隙率大于 6% ,热稳定性好于闭式混合料。

嵌挤类沥青路面采用的是颗粒尺寸较为均一的集料,路面的强度和稳定性主要依靠骨粒颗粒之间相互嵌挤所产生的内摩阻力,粘聚力较小,只起次要的作用。嵌挤类沥青路面比密实类路面的热稳定性要好,但因空隙率大,易渗水,因而耐久性较差。

2. 按施工工艺分类

按施工工艺,沥青路面可分为层铺法、路拌法和厂拌法。

层铺法即沥青和集料分层撒铺,然后碾压成型路面的施工方法。其主要优点是工艺和设备简便,功效较高,施工进度快,造价较低,缺点是路面成型期较长,需要经过炎热季节行车碾压之后路面方能成型。用这种方法所修筑的沥青路面有沥青表面处治和沥青贯入式两种。

路拌法是指在路上用人工或机械将矿料和沥青材料就地拌和摊铺、碾压密实而成的沥青面层。路拌沥青面层,通过就地拌和,沥青材料在矿料中分布比层铺法均匀,可以缩短路面的成型期。但因所用矿料为冷料,需使用粘稠度较低的沥青材料,故混合料的强度较低。

厂拌法是将规定级配的矿料和沥青材料用工厂的专用设备加热拌和,并在一定的时间内运到工地用摊铺机摊铺,然后碾压而成的沥青路面。若混合料是拌和后立即趁热运到路上摊铺,称为热拌热铺;混合料加热拌和后储存一段时间后再在常温下运到路上摊铺压实,则称为热拌冷铺。厂拌法所用集料清洁、级配准确,且为热料拌和,沥青粘稠度高,用量准确,因而混合料质量高,寿命长,但修建费用也较高。若所用矿料为开级配,拌

和后混合料的空隙率大于 10% ,混合料被称为厂拌沥青碎石 ,若矿料是按最佳密实级配原则配制 ,空隙率小于 10% 则称为沥青混凝土。

3. 按沥青路面的技术特性分类

沥青面层通常分为沥青混凝土 ,热拌沥青碎石 ,乳化沥青碎石混合料 ,沥青贯入式 ,沥青表面处治 5 种类型。近年来 ,在工程实验中 ,又出现了沥青玛蹄脂碎石混合料 (SMA) 多孔隙沥青混凝土 (PAWC) ,多碎石沥青混凝土 (SAC) 等新型沥青混凝土 ,其中 SMA 在我国的公路建设中已经得到了一定的应用。

用不同粒级的碎石、天然砂或破碎砂、矿粉和沥青按一定比例在拌和机中热拌所得的混合料称为沥青混凝土混合料。这种混合料的矿料部分具有严格的级配要求 ,当这种混合料压实后达到规定的强度和孔隙率时 ,就称作沥青混凝土。沥青混凝土具有很高的强度和密实度 ,常温下还具有一定的塑性。它的强度和密实度是各种沥青矿料混合料中最高的。沥青混凝土透水性很小 ,水稳性好 ,有较大的抵抗自然因素和行车作用的能力 ,使用寿命长 ,耐久性好。沥青混凝土面层是适合现代高速汽车行驶的一种优质高级面层。铺在坚强基层上的优质沥青混凝土面层可使用 20 ~ 25 年。国外的重交通道路和高速公路上 ,主要采用沥青混凝土做面层。我国《公路沥青路面设计规范》(JTJ014 - 97) 规定 ,高速公路、一级公路的表面层、中面层、下面层应采用沥青混凝土 ;二级公路的表面层宜用沥青混凝土。

沥青碎石与沥青混凝土有很多相似之处 ,主要区别在于矿料的级配不如沥青混凝土严格 ,混合料的孔隙率较高 ,透水性较大。热拌沥青碎石由于可以采用较稠的沥青 ,力学性能要好于乳化沥青碎石。热拌沥青碎石适用于做二级及二级以下公路的面层 ,柔性路面的上基层以及调平层 ,乳化沥青碎石混合料适用于做三、四级公路的沥青面层、二级公路养护罩面以及各级公路的调平层。

沥青贯入式碎石的厚度通常是 4 ~ 8cm (但用作基层时 ,其厚度可达 10cm)。沥青贯入式碎石是靠矿料颗粒间的锁结作用以及沥青的粘结作用获得所需的强度和稳定性。当沥青贯入式的上部加铺拌和沥青混合料时 ,也称为上拌下贯。此时 ,拌和层的厚度宜为 3 ~ 4cm ,其他厚度为 7 ~ 10cm。沥青贯入式碎石 (含上拌下贯式) 适用于做二级及二级以下公路的沥青面层。若沥青贯入碎石设在沥青混凝土层与半刚性基层、粒料基层之间时 ,沥青贯入式碎石应不撒封层料 ,也不做上封层。

沥青表面处治路面是指用沥青和集料按层铺法或拌和法铺筑而成的厚度不超过 3cm 的沥青路面。沥青表面处治的厚度一般为 1.5 ~ 3.0cm ,可做成单层或多层。表面处治的优点是磨擦系数大 ,表面构造深度深 ,有利于车辆行驶安全。此外 ,它还具有良好的抗温度裂缝性能。沥青表处治适用于三级、四级公路的面层、旧沥青面层上加铺罩面或

抗滑层、磨耗层等。

沥青玛蹄脂碎石路面是指用沥青玛蹄脂碎石混合料作面层或抗滑层的路面。沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)是一种以沥青、矿粉及纤维稳定剂组成的沥青玛蹄脂结合料,填充于间断级配的矿料骨架中,所形成的沥青混合料。它具有抗滑耐磨、密实耐久、抗疲劳、抗高温车辙、减少低温开裂的优点。适用于高速公路、一级公路作抗滑表层使用。其厚度在3.5~4cm。

各种沥青类路面的选用,一方面要根据任务要求(道路的等级、交通量、使用年限、修建费用等)和工程特点(施工季节、施工期限、基层状况等),另一方面还应考虑材料的供应情况、施工机具、劳力和施工技术条件等因素,参照下表(表4-3-1)选定。

表4-3-1 路面类型的选择

| 公路等级 | 路面等级 | 面层类型 | 设计年限/年 | 设计年限内累计标准轴次(万次·车道 ⁻¹) |
|--------------|------|--------------------------|--------|-----------------------------------|
| 高速公路 一级公路 | 高级 | 沥青混凝土 沥青玛蹄脂碎石 | 15 | > 400 |
| 二级公路 | 高级 | 沥青混凝土 | 12 | > 200 |
| | 次高级 | 热拌沥青碎石、 沥青贯入 | 10 | 100 ~ 200 |
| 三级公路 | 次高级 | 乳化沥青碎石、沥青表处 | 8 | 10 ~ 100 |
| 四级公路 | 中级 | 填隙碎石、级配碎(砾)石、 半整齐石块路面 | 5 | ≤ 10 |
| | 低级 | 粒料改善土 | 5 | |

沥青类路面一般不宜铺筑在纵坡大于6%的路段上。纵坡大于3%的路段,考虑抗滑的要求,宜采用粗粒式的沥青碎石或粗粒式沥青混凝土。

二、沥青路面对材料的要求

(一) 沥青

沥青路面所用的沥青材料有石油沥青、煤沥青、液体石油沥青和沥青乳液等。

石油沥青在道路建筑中使用最广,可以用在不同地区和不同等级道路上铺筑各种沥青面层和基层。石油沥青的性质与石油的性质和获得沥青的方法有关。高树脂、少石蜡的石油是道路沥青的最好原料。煤沥青主要是由炼焦或制造煤气得到的高温焦油加工而得,它的主要成分是芳香族碳氢化合物及其氧、氮和硫的衍生物的混合物。煤沥青与石油沥青相比较,温度稳定性低,易老化,但其与矿料颗粒表面的粘附性较好,因煤沥青

会造成轻微的空气污染,一般不宜作沥青面层,仅作为透层沥青使用。沥青乳液也称乳化沥青,它是沥青经机械作用分裂为细微颗粒,分散于含有表面活性物质(乳化剂-稳定剂)的水中,形成均匀而稳定的分散系。根据其中表面活性物质的特性及形成乳胶体的性质,乳化沥青可分为乳液和乳膏两大类。选用乳化沥青时,对于酸性石料、潮湿的石料,以及低温季节施工时宜选用阳离子乳化沥青;对于碱性石料或与掺入的水泥、石灰、粉煤灰共同使用时,宜选用阴离子乳化沥青。

高速公路、一级公路的沥青路面,应选用符合“重交通道路石油沥青技术要求”的沥青,以及经过试验论证,行之有效的改性沥青;二级及二级以下公路的沥青路面,可采用符合“中、轻交通道路石油沥青技术要求”的沥青或改性沥青。

对热拌热铺的沥青路面,由于沥青材料和矿料须加热拌和,并在热态下铺压,故可采用稠度较高的沥青材料。反之则应采用稠度较低的沥青。对浇贯类沥青路面,若沥青材料过稠,则难以贯入碎石中,过稀则又易流入路面底部,因此这类路面宜采用中等稠度的沥青材料。当地气温寒冷、施工气温较低、矿料粒径偏细时,宜采用稠度较低的沥青材料。但炎热季节施工时,由于沥青材料的温度散失较慢,则可用稠度较高的沥青材料。路拌法施工的沥青路面,一般仅采用稠度较低的沥青材料。沥青路面所用沥青标号,应根据气候条件、面层结构类型、施工方法和施工季节等按表4-3-2选用。

表 4-3-2 各类沥青路面选用的沥青标号

| 分区 气候类型 | 沥青 种类 | 沥青路面类型 | | | |
|------------|----------|-------------------------|------------------------|--|---------------------------------|
| | | 沥青表面处治 | 沥青贯入式 及上拌下贯式 | 沥青碎石 | 沥青混凝土 |
| 寒区 | 石油 沥青 | A-140 A-180 | A-140 A-180 | AH-90 AH-110 AH-130 A-100 | AH-90 AH-110 A-100 |
| 温区 | 石油 沥青 | A-100 A-140 A-180 | A-140 A-180 | AH-90 AH-110 A-100 | AH-70 AH-90 A-60 A-100 |
| 热区 | 石油 沥青 | A-60 A-100 A-140 | A-60 A-100 A-140 | AH-50 AH-70 AH-90 A-100 A-60 | AH-50 AH-70 A-60 A-100 |

注:寒区:年度内最低月平均气温(℃)低于-10℃;年内月平均气温25℃的日数(d)少于215。

温区:年度内最低月平均气温(℃)0~10℃;年内月平均气温25℃的日数(d)215~270;

热区:年度内最低月平均气温(℃)高于0℃;年内月平均气温25℃的日数多于270。

A—普通道路石油沥青;AH——重交通道路用石油沥青。

(二) 粗集料

沥青路面所用粗集料有轧制碎(砾)石、筛选砾石、矿渣等。

碎石应均匀、清洁、坚硬、无风化,小于 0.075mm 的颗粒含量应小于 2%,吸水率小于 2%~3%。颗粒形状接近立方体并有多棱角,细长或扁平颗粒含量应小于 15%,杂质含量不能超标,压碎值应不大于 20~30%。轧制砾石系由天然砾石轧制并经筛选而得,要求大于 5mm 颗粒中 40%(按重量计)以上至少有一个破碎面。用于沥青贯入式面层时,主层矿料中要有 30%~40%(按重量计)以上颗粒至少有两个破碎面。

筛选砾石由天然砾石筛选而得。由于天然砾石是各种岩石经自然风化而成不同尺寸的粒料,强度极不均匀,而且多是圆滑形状,因此,筛选砾石仅适用于交通量较小的路面面层、基层的沥青混合料中使用,不宜用于防滑面层。在交通量大的沥青路面面层,若使用砾石拌制沥青混合料,则在砾石中至少应掺有 50%(按重量计)大于 5mm 的碎石或经轧制的砾石。沥青贯入式路面用砾石时,主层矿料中亦应掺有 30%~40%以上的碎石或轧制砾石。

粗集料与沥青材料粘附性大小,对沥青混合料的强度和耐久性有极大影响,应优先选用与石油沥青材料有良好粘附性的碱性碎(砾)石,集料与沥青材料的粘附性用水煮法测定时,一般公路不小于 3 级,高等级公路应不小于 4 级。

用于高速公路、一级公路沥青路面表面层及各类抗滑表层的粗集料要符合规定的石料磨光值要求,应选用坚硬、耐磨、抗冲击好的碎石,不得使用筛选砾石、矿渣及软质集料。为了保证石料与沥青之间有较好的粘结性能,经检验属于酸性岩石的石料,用于高速公路、一级公路和城市快速路、主干路时宜使用针入度较小的沥青,必要时可在沥青中掺加抗剥离剂,或用干燥的磨细消石灰或生石灰粉、水泥作为填料的一部分,其用量宜为矿料总量的 1%~2%,将粗集料用石灰浆处理后也可以有效地提高石料与沥青之间的粘结力。

沥青面层对粗集料的质量技术要求见表 4-3-3。

表 4-3-3 沥青面层粗集料质量技术要求

| 指 标 | | 高速公路 一级公路 | 其他等级 公路 |
|---------|-------|--------------|------------|
| 石料压碎值 | 不大于/% | 28 | 30 |
| 洛杉矶磨耗损失 | 不大于/% | 30 | 40 |
| 视密度 | 不小于/% | 2.50 | 2.45 |
| 吸水率 | 不大于/% | 2.0 | 3.0 |
| 对沥青的粘附性 | 不小于 | 4 级 | 3 级 |
| 坚固性 | 不大于/% | 12 | - |

| 指 标 | | 高速公路 一级公路 | 其他等级 公路 |
|------------------------|----------------|--------------|------------|
| 细长扁平颗粒含量 | 不大于/% | 15 | 20 |
| 水洗法 < 0.075mm 颗粒含量 | 不大于/% | 1 | 1 |
| 软石含量 | 不大于/% | 5 | 5 |
| 石料磨光值 | 不小于/BPN | 42 | 实测 |
| 石料冲击值 | 不大于/% | 28 | 实测 |
| 破碎砾石的 破碎面积 不小于/% | 拌和的沥青混合料路面表面层 | 90 | 40 |
| | 拌和的沥青混合料路面中下面层 | 50 | 40 |
| | 贯入式路面 | - | 40 |

(三) 细集料

沥青面层的细集料可采用天然砂、机制砂及石屑。表 4-3-4 是沥青面层用天然砂规格。机制砂系从轧制岩石经筛选而得,其最大粒径一般小于 5mm。不论天然砂或机制砂均要求坚硬、清洁、干燥、无风化、不含杂质,并且应有适当的级配。热拌沥青混合料宜采用优质的天然砂或机制砂,在缺砂地区也可以用石屑。但由于一般情况下石屑的含泥量高,强度不高,因此,高速公路、一级公路沥青混凝土面层及抗滑表层的石屑用量不宜超过天然砂及机制砂的用量。而河砂、海砂的颗粒缺乏棱角,表面光滑,使用时虽能增加和易性,满足了提高密实度的要求,但内摩阻角较小。为了提高混合料的内摩阻角,可掺加部分人工砂。

细集料应与粗集料一样,要求与沥青要有良好的粘结能力。与沥青的粘结性能力很差的天然砂以及用花岗岩、石英岩等酸性石料破碎的机制砂或石屑不宜用于高速公路、一级公路的沥青面层。必须使用时,应有抗剥落措施。

表 4-3-4 沥青面层用天然砂规格

| 方孔筛/mm | 圆孔筛/mm | 通过各筛孔的质量 | | |
|------------|--------|----------|---------|---------|
| | | 粗砂 | 中砂 | 细砂 |
| 9.5 | 10 | 100 | 100 | 100 |
| 4.75 | 5 | 90~100 | 90~100 | 90~100 |
| 2.36 | 2.5 | 65~95 | 75~100 | 85~100 |
| 1.18 | 1.2 | 35~65 | 50~90 | 75~100 |
| 0.6 | 0.6 | 15~29 | 30~59 | 65~84 |
| 0.3 | 0.3 | 5~20 | 8~30 | 15~45 |
| 0.15 | 0.15 | 0~10 | 0~10 | 0~10 |
| 0.075 | 0.075 | 0~5 | 0~5 | 0~5 |
| 细度模数 M_x | | 3.7~3.1 | 3.0~2.3 | 2.2~1.6 |

表 4-3-5 沥青面层用矿粉质量技术要求

| 指标 | 高速公路、一级公路 | 其他等级公路 |
|--------------------------------|-----------|----------|
| 视密度($t \cdot m^{-3}$) \geq | 2.5 | 2.45 |
| 含水量/% \leq | 1 | 1 |
| 粒度范围/% | | |
| < 0.6mm | 100 | 100 |
| < 0.15mm | 90 ~ 100 | 90 ~ 100 |
| < 0.075mm | 75 ~ 100 | 70 ~ 100 |
| 外观 | 无团粒结块 | |
| 亲水系数/% | < 1 | |

(四) 填料

沥青混合料的填料宜采用石灰岩和岩浆岩中的强基性岩石等憎水性岩石经磨细得到的矿粉,原石料中的泥土杂质应除尽。也可采用水泥、石灰、粉煤灰作填料,但其用量不宜超过矿料总量的 2%。

矿粉中所含小于 0.075mm 的颗粒应不小于 30%,但过细颗粒的含量也不宜过多,否则会降低施工的和易性和水稳性。对矿粉的要求是干燥、洁净,其质量应符合表 4-3-5 的技术要求。为使矿粉与沥青有良好的粘结,要求矿粉亲水性较小。

三、沥青路面的使用性能与工作条件

(一) 沥青路面的使用性能

概括地讲,沥青路面的使用性能是指:高温稳定性、低温抗裂性、耐久性、抗滑性、防渗性和平整性。

1. 高温稳定性

沥青路面的强度与刚度,随温度升高而显著下降,在高温季节和行车荷载的反复作用下,为了保证沥青路面不致产生诸如波浪、推移、车辙、泛油、粘轮等病害,沥青路面应具有良好的高温稳定性,即在高温时具有足够的强度与刚度。

为了提高沥青路面的高温稳定性,可采用在混合料中增加粗集料含量;或控制剩余空隙率,使粗集料形成空间骨架结构,以提高沥青混合料的内摩阻力,适当地提高沥青材料的稠度,控制沥青与矿粉的比例,严格控制沥青用量,采用活性较高的矿粉,以改善沥青与矿料之间的相互作用,从而提高沥青混合料的粘聚力。此外,在沥青中掺入聚保物改善沥青性能,亦可取得较为满意的结果。

2. 低温抗裂性

裂缝是沥青路面的一种主要破坏形式,且裂缝的出现往往是路面损坏急剧增加的开始。

沥青路面的裂缝可归为两种类型:一种是在交通荷载反复作用下的疲劳开裂;另一种是由于降温而产生的温度收缩裂缝,或由于半刚性基层开裂而引起的反射裂缝。

由于沥青路面在高温时变形能力较强,而低温时较差,故不论哪种裂缝,在低温时发生的居多,从低温抗裂性的要求出发,沥青路面的低温时应具有较低的劲度和较大的抗变形能力,且在行车荷载和其他因素的反复作用下不致产生疲劳开裂。

使用稠度较低及温度敏感性低的沥青,可提高沥青路面的低温抗裂性能。沥青材料的老化会使其低温抗裂性能恶化,故为了提高沥青路面的低温抗裂性能,应选用抗老化能力较强的沥青,在沥青中掺加橡胶类高分子聚合物,对提高沥青路面的低温抗裂性能具有较为明显的效果。在沥青路面结构层中铺设沥青橡胶、土工布或塑料格栅等应力吸收薄膜,对防止沥青路面的低温开裂具有显著的作用。

3. 耐久性

沥青路面应具有抵抗温度、阳光、空气、水等各种大气因素作用的能力,即在这些因素的作用下,沥青路面的性质不致很快恶化,失去粘性、性质变脆,以致在行车荷载和其他因素的作用下发生脆裂,乃至沥青与矿料脱离,使路面松散破坏。

研究表明,沥青路面的使用寿命与沥青混合料中的沥青含量有很大关系。当沥青用量不足时,则沥青膜变薄,沥青路面的延伸能力降低,脆性增加,且沥青路面的空隙率增大,使沥青膜暴露增多,从而促进了老化作用。此外,空隙率增大也会使混合料的渗水率增加,从而加剧了水对沥青膜的剥落作用。

4. 抗滑能力

现代交通车速不断提高,对路面的抗滑能力也提出更高的要求。沥青路面应具有足够的抗滑能力,以保证在最不利的情况下(当路面潮湿时),车辆能够高速安全行驶,而且在外界因素作用下其抗滑能力不致很快降低。

沥青路面的粗糙度与矿质集料的微表面性质、混合料的级配组成、以及沥青用量等因素有关。为保证沥青路面的粗糙度不致很快降低,应选择硬质有棱角的石料。研究表明,沥青用量对抗滑性的影响相当敏感,当沥青用量超过最佳用量0.5%时就会导致抗滑系数的明显降低。

5. 防渗能力

当沥青路面防渗能力较差时,不仅影响路面本身的稳定性,而且还会影响到基层的稳定性。因此,沥青路面必须具有较好的抗渗能力。在潮湿多雨地区尤为重要。

沥青路面的抗渗能力主要取决于沥青路面的空隙率。空隙率越大,其抗渗能力越差。

6. 平整性

主要是指沥青路面的平整度,它直接影响着车辆在路面上的行驶质量和高速公路基本功能的充分发挥。路面的平整度是一项综合性指标,涉及到施工过程各个环节的许多因素,它是路基、路面施工全过程各个环节质量的最终体现。

以上性能中,除平整性与沥青混合料本身关系较小外,其他性能都是由沥青混合料自身决定的。表 4-3-6 汇总了沥青、矿料、沥青混合料、沥青路面各种性能的有机联系。

沥青路面的技术要求见表 4-3-7。

表 4-3-6 沥青材料与沥青路面性能的关系

| 沥青路面性能 | | 沥青结合料 | 矿料 | 沥青混合料 | 备注 |
|--------|-------|-------|------|-------|------------|
| 高温稳定性 | | 比较重要 | 重要 | 重要 | |
| 低温抗裂性 | | 重要 | 有影响 | 重要 | |
| 耐久性 | 水稳定性 | 有影响 | 比较重要 | 重要 | |
| | 抗老化性能 | 重要 | 几乎无关 | 重要 | 与空隙率关系大 |
| 抗滑性能 | | 有影响 | 重要 | 重要 | |
| 路面渗透性 | | 比较重要 | 重要 | 重要 | 与空隙率关系大 |
| 平整性 | | 几乎无关 | 有影响 | 有影响 | 取决于施工水平和结构 |

表 4-3-7 沥青路面技术要求与指标体系

| 技术要求 | 病害类型 | 技术指标 |
|-------|-------------|-------------------|
| 高温稳定性 | 车辙、拥包 | 马歇尔稳定度、动稳定度 |
| 低温抗裂性 | 横向开裂 | 低温蠕变速率、应变能、冻断温度 |
| 水稳定性 | 松散、剥落、坑槽 | 马歇尔残留稳定度、冻融劈裂强度 |
| 疲劳特性 | 纵裂、网裂 | 疲劳强度 |
| 气候稳定性 | 龟裂、松散 | 老化试验后强度与稳定性 |
| 刚度 | 不均匀沉降、平整度下降 | 回弹模量、整体弯沉 |
| 抗滑性能 | 表面光滑 | 路面摩擦系数、石料磨光值、构造深度 |

(二) 沥青路面的工作条件

当前,世界各国的高等级公路大多采用沥青路面,其原因是它具有下列诸多固有的良好性能:

(1) 足够的力学强度,因而沥青路面能很好地承受车辆荷载施加到路面上的各种作用力;

(2) 一定的弹性和塑性变形能力,因而能承受荷载而不破坏;

- (3)与汽车轮胎的附着力较好,可保证行车安全;
- (4)有高度的减振性,可使汽车快速行驶,平稳而无噪声;
- (5)不扬尘,容易清扫和冲洗;
- (6)维修简便,且沥青路面可再生利用。

沥青路面的使用经验表明,由于选料或施工养护不当,常常过早地发生各种变形和损坏,导致其使用期限缩短或维修费用增加;为了提高沥青路面的使用品质和耐久性,必须认清沥青路面的工作条件和特性。

沥青路面通常用来作为路面的面层,因而它承受着各种车辆荷载和自然因素的直接作用。

作用于路面上的行车荷载是比较复杂的,从荷载的方向来看,有垂直荷载和水平荷载,就荷载的动力性质而言,有静荷载车动荷载,而荷载作用的时间和频率,不仅有较长时间的作用,而且有瞬时的多次反复作用等。

行车荷载对路面施加的作用力,大致可分为以下几种:

- (1)通过车轮传给路面的垂直压力;
- (2)由于制动、加速、转向以及克服前进中的各种阻力对路面施加的水平力;
- (3)由于路面高低不平、汽车颠簸和汽车机件振动面施加于路面的冲击力和振动力;
- (4)由于车轮后方与路面之间形成暂时的真空而产生的真空吸力。

沥青路面在车轮荷载的反复作用下,塑性变形逐步积累,导致产生永久变形或车辙,从而使路面平整度降低,这种塑性变形主要发生在高温季节沥青路面的软化时期。

沥青路面在车轮垂直荷载作用下,当基层强度较低时,将产生较大的弯拉应力和弯拉应变,在低温季节,沥青路面变脆,抵抗变形能力极差,在车轮荷载的反复作用下,当应力或应变超过沥青路面的极限荷载或极限应变时,则产生裂缝,这是导致路面破坏的主要原因之一。

行车荷载的水平力作用对沥青面层的力学特性有着重要意义。在垂直力与水平力的综合作用下,沥青面层中将产生较大的剪切应力,在高温季节,路面强度降低,当所产生的剪切应力超过其本身的抗剪强度时,常发生沥青路面的推移、拥包等,这种现象多发生在急弯、陡坡以及停车站、十字路口等水平力作用较大之处。

沥青路面由于刚度较低,对来自荷载的冲击、振动有一定的缓冲与消振能力。铺筑在路表的沥青面层还承受着车轮的磨耗作用,由于沥青膜包裹了矿料表面,使得沥青路面的耐磨性有所提高,由于沥青路面中的细料被沥青牢固地粘结在一起,故在真空吸力作用下不会导致扬尘。

各种自然因素对沥青路面的物理、力学性质有直接的影响,尤其是温度和水这两个

因素对沥青路面具有极其重要的影响。

在低温、短时间荷载作用下,沥青路面接近于弹性体,随着温度升高,特别是荷载时间的增长,或荷载重复次数的增多,逐渐接近塑性体。沥青路面的变形则由其粘滞性质决定。当荷载时间较短时,沥青路面的变形基本上是弹性的,但又不像弹性体那样变形瞬时就能恢复,而是受粘滞度的影响而逐渐恢复。

水对沥青路面的影响主要表现在:①沥青路面在水的作用下会使沥青与矿料分离,还会将沥青中某些可溶性化合物溶解并冲走,尤其是当水中有易溶盐时会发生乳化作用,从而加剧了溶蚀作用;②沥青路面长时间浸水后,会因含水量增加而发生体积膨胀,强度降低。沥青路面受水影响的程度,取决于当地的气候、水文情况、路表的排水能力、路面的渗透性以及沥青路面本身的水稳定性。

此外,在使用过程中,由于阳光、温度、空气等大气因素的作用,沥青中的轻质组份逐渐挥发,并不断发生氧化聚合反应,使沥青中的油份、树脂逐渐减少,沥青质相对增多,且因为沥青质部分转化为沥青炭,致使沥青路面粘塑性降低,路面相继出现干涩、开裂、松散,即发生沥青路面的老化。随着老化现象的发展,沥青变脆,沥青路面的抗变形能力降低,在行车荷载和冰冻的作用下,极易产生裂缝,最终形成龟裂而导致路面的破坏。沥青路面的老化速度取决于当地气候、沥青路面的层位、以及沥青和沥青混合料的性能。在气温较高及日照时间较长的地区,受大气因素作用较为剧烈的表层,老化速度最快,沥青中不饱和烃及芳香烃较多时,也易发生老化,沥青混合料的空隙率大会加速老化。

我国幅员辽阔,气候变化大,各个地区对沥青路面的使用性能的要求应有差别。在“八五”期间,交通部公路科学研究所与中国气象科学研究院合作,使用了全国600多个气象台站30年的气象数据进行统计分析,提出了我国“沥青及沥青混合料气候分区指标”及相应的“分区图”。

沥青路面的使用性能,除主要受温度影响外,还与水分有关,因此公路科学有关研究部门对影响沥青路面使用性能的三个主要因素进行了研究,按照概率大体相等的原则,提出了温度和水分影响分区指标界限,绘制出了气候分区图,见表4-3-8、4-3-9、图4-3-1、4-3-2。

1. 高温分区指标

公路科学研究部门整理了年最高气温、七月平均最高气温、 10°C 、 20°C 、 25°C 、 30°C 以上气温资料,以七月平均最高气温作为沥青路面高温分区指标,取得共识,因此,建议将全国最高气温划分为 $>30^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 、 $<20^{\circ}\text{C}$ 三个区。 30°C 线基本上是沿燕山、太行山、四川盆地及云贵高原边缘走向,与自然的地形、地貌走向一致,符合我国沥青路面使用的实际分界状况。

表 4-3-8 沥青气候分区指标

| 气候型 | 型名 | 温度(℃) | |
|-----|---------|----------|-------------|
| | | 七月平均最高气温 | 年极端最低气温 |
| 1-1 | 夏炎热,冬严寒 | > 30 | < -37 |
| 1-2 | 夏炎热,冬寒 | > 30 | -37 ~ -21.5 |
| 1-3 | 夏炎热,冬冷 | > 30 | -21.5 ~ -9 |
| 1-4 | 夏炎热,冬温 | > 30 | > -9 |
| 2-1 | 夏热,冬严寒 | 20 ~ 30 | < -37 |
| 2-2 | 夏热,冬寒 | 20 ~ 30 | -37 ~ -21.5 |
| 2-3 | 夏热,冬冷 | 20 ~ 30 | -21.5 ~ -9 |
| 2-4 | 夏热,冬温 | 20 ~ 30 | > -9 |
| 3-2 | 夏凉,冬寒 | < 20 | -37 ~ -21.5 |

表 4-3-9 沥青混合料气候分区指标

| 气候型 | 型名 | 温度(℃) | | 雨量(mm) |
|-------|----------|----------|-------------|------------|
| | | 七月平均最高气温 | 年极端最低气温 | 年降水总量 |
| 1-1-4 | 夏炎热冬严寒干旱 | > 30 | < -37 | < 250 |
| 1-2-2 | 夏炎热冬寒湿润 | > 30 | -37 ~ -21.5 | 500 ~ 1000 |
| 1-2-3 | 夏炎热冬寒半干 | < 30 | -37 ~ -21.5 | 250 ~ 500 |
| 1-2-4 | 夏炎热冬寒干旱 | > 30 | -37 ~ -21.5 | > 250 |
| 1-3-1 | 夏炎热冬冷潮湿 | > 30 | -21.5 ~ -9 | > 1000 |
| 1-3-2 | 夏炎热冬冷湿润 | > 30 | -21.5 ~ -9 | 500 ~ 1000 |
| 1-3-3 | 夏炎热冬冷半干 | > 30 | -21.5 ~ -9 | 250 ~ 500 |
| 1-3-4 | 夏炎热冬冷干旱 | > 30 | -21.5 ~ -9 | < 250 |
| 1-4-1 | 夏炎热冬温潮湿 | > 30 | > -9 | > 1000 |
| 1-4-2 | 夏炎热冬温湿润 | > 30 | > -9 | 500 ~ 1000 |
| 2-1-2 | 夏炎冬严寒湿润 | 20 ~ 30 | < -37 | 500 ~ 1000 |
| 2-1-3 | 夏热冬严寒半干 | 20 ~ 30 | < -37 | 250 ~ 500 |
| 2-1-4 | 夏热冬严寒干旱 | 20 ~ 30 | < -37 | < 250 |
| 2-2-1 | 夏热冬寒潮湿 | 20 ~ 30 | -37 ~ -21.5 | > 1000 |
| 2-2-2 | 夏热冬寒湿润 | 20 ~ 30 | -37 ~ -21.5 | 500 ~ 1000 |
| 2-2-3 | 夏热冬寒半干 | 20 ~ 30 | -37 ~ -21.5 | 250 ~ 500 |
| 2-2-4 | 夏热冬寒干旱 | 20 ~ 30 | -37 ~ -21.5 | < 250 |
| 2-3-1 | 夏热冬冷潮湿 | 20 ~ 30 | -21.5 ~ -9 | > 1000 |
| 2-3-2 | 夏热冬冷湿润 | 20 ~ 30 | -21.5 ~ -9 | 500 ~ 1000 |
| 2-3-3 | 夏热冬冷半干 | 20 ~ 30 | -21.5 ~ -9 | 250 ~ 500 |
| 2-3-4 | 夏热冬冷干旱 | 20 ~ 30 | -21.5 ~ -9 | < 250 |

| 气候型 | 型名 | 温度(℃) | | 雨量(mm) |
|-------|--------|----------|-----------|----------|
| | | 七月平均最高气温 | 年极端最低气温 | 年降水总量 |
| 2-4-1 | 夏热冬湿潮湿 | 20~30 | > -9 | > 1000 |
| 2-4-2 | 夏热冬湿湿润 | 20~30 | > -9 | 500~1000 |
| 2-4-3 | 夏热冬温半干 | 20~30 | > -9 | 250~500 |
| 3-2-1 | 夏凉冬寒潮湿 | < 20 | -37~-21.5 | > 100 |
| 3-2-2 | 夏凉冬寒湿润 | < 20 | -37~-21.5 | 500~1000 |

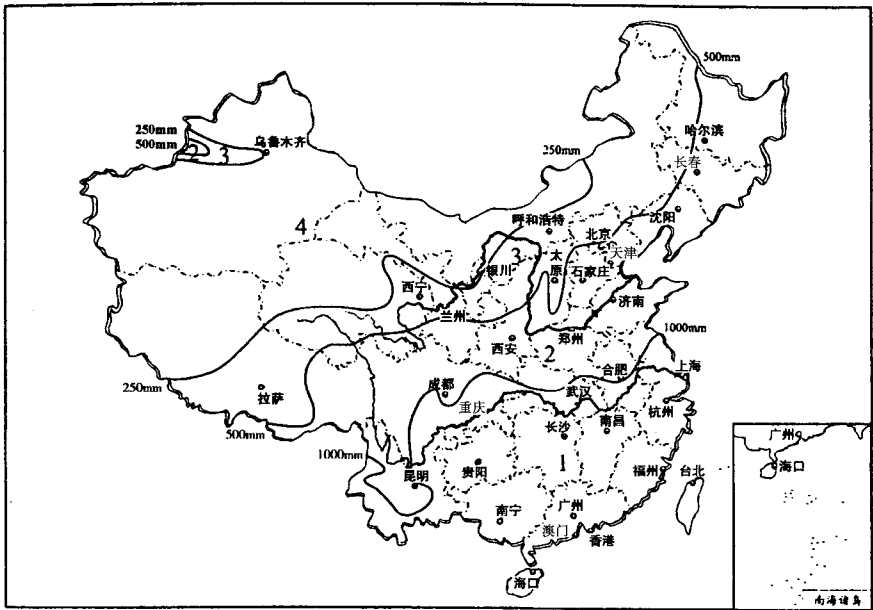


图 4-3-1 道路沥青使用性能气候分区图(温度)

2. 低温分区指标

按照上述同样的方法,整理了年极端最低气温、一月平均气温、负积温(冻结指数)等指标,选用年极端最低气温(30年一遇预期最低气温)作为使用指标,将全国最低气温分为 > -9℃、-9℃ ~ -21.5℃、-21.5℃ ~ -37℃、< -37℃ 四个区。

3. 雨量分区指标

在整理年降雨量及降雨日数等指标基础上,选用年降雨量作为分区指标,将全国分为 > 1000mm、500mm ~ 1000mm、250mm ~ 500mm、< 250mm 四个区。1000mm 分界线基本上位于淮河秦岭地域。

4. 沥青使用性能气候分区

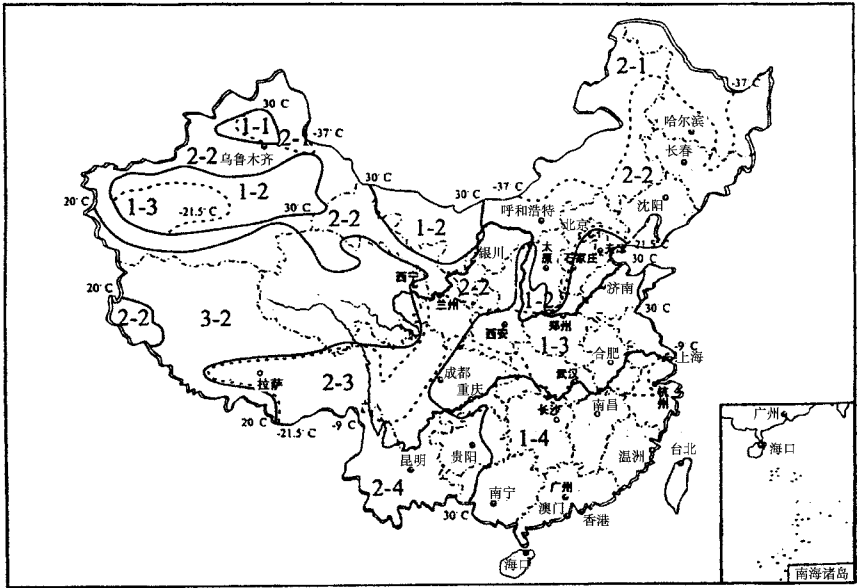


图 4-3-2 道路沥青使用性能气候分区图(雨量)

沥青气候分区为二级区划,以七月平均最高气温和年极端最低气温为区划界限,把全国气候分为三大区、九种气候型。每个气候型用 2 个数字来表示:第一个数字代表 7 月平均最高气温的分级(1— $> 30^{\circ}\text{C}$ 、2— $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 、3— 20°C);第二个数字代表年极端最低气温的分级(1— $< -37^{\circ}\text{C}$ 、2— $-21.5^{\circ}\text{C} \sim -37^{\circ}\text{C}$ 、3— $-9^{\circ}\text{C} \sim -21.5^{\circ}\text{C}$ 、4— $> -9^{\circ}\text{C}$)。沥青混合料气候分区,则是在沥青分区的基础上再增加一级降雨量分级,即每个气候型用 3 个数字。第三个数字代表年降水量分级(1— $> 1000\text{mm}$ 、2— $500\text{mm} \sim 1000\text{mm}$ 、3— $250\text{mm} \sim 500\text{mm}$ 、4— $< 250\text{mm}$)。三个数字综合定量地反映了某地的气候特征,每个因素的数字减小,表示气候因素影响越严重。

四、沥青路面工程技术的发展

(一) 沥青路面的主要损坏形成

随着世界经济的发展,公路上的交通量也迅速增大,车辆运输向大型化发展,有些国家对轴重的限制已从 10t 逐渐放宽到 11t、13t,以提高轴载和单车运输能力。在我国,车辆超载严重,很多车辆的实际轴载远远大于规定限值。另一方面,沥青混合料是一种粘弹性材料,其路面性能受诸多因素的影响,尤其是气候因素的影响显著,夏季高温、冬季气温骤降以及渗入到沥青路面内部的水份,加上重载的作用给沥青路面造成损坏,主要的损坏形式有:

1. 高温车辙及变形

沥青混合料的强度和模量随温度升高而急剧下降。在高温条件下,车轮反复碾压作用,荷载应力超过沥青混合料的稳定度极限时,使流动变形不断积累形成车辙,这种车辙即为沥青混合料的流动性车辙或失稳性车辙。一方面是车轮作用部位下凹,另一方面是车轮作用甚少的部位反而向上隆起,在弯道处还明显向外推挤。

根据统计资料,夏季高温地区、大型车辆及重载和超载车行驶较多的路段,车辙已成为沥青路面主要破坏形式。在我国北方某些运煤干线及砂石料运输干线上,实测到东风、解放等轻型载重车单车载重达 40t~50t,斯太尔运煤车装载 96t、总重达 120t,斯太尔半挂车 1491 型(后轴 3 轴 12 轮)普遍载重 100t~120t,单轴重达 20t,汽车轮胎气压也由标准的 0.5~0.7MPa 增大到 1.0MPa,这些现象造成路面损坏严重。

2. 沥青路面温缩和反射裂缝

沥青材料在较高气温条件下,具有良好的应力松弛性能,温度升降产生的变形不致于产生过高的温度应力。但在冬季气温骤降时,沥青混合料的应力松弛赶不上温度应力的增长,同时劲度急剧增大,超过混合料的极限强度或极限拉伸应变,便会产生开裂。这种情况在沥青面层与基层的结合不够好,可允许有一定自由收缩时更易发生,这是一次性降温造成的温度收缩裂缝。另一种情况是,温度反复升降导致温度应力疲劳使混合料的极限拉伸应变(或劲度模量)变小,加上沥青的老化使沥青劲度增高,应力松弛性能降低,故可能在比一次性降温开裂温度更高的温度下就已开裂,同时裂缝是随着路龄的增加而不断增加。这一类温度裂缝实际上包含了温度应力疲劳的因素在内,因而也叫做温度疲劳裂缝。这些温缩裂缝是横向裂缝的主要形式。

另一类横向裂缝是反射性裂缝,反射源包括沥青路面以下的水泥混凝土路面接缝、旧路面的原有裂缝以及水泥、石灰等无机结合料稳定材料的半刚性基层的收缩裂缝,这些裂缝在交通荷载或温度作用下,由下层逐渐反射到表面。它既可能是由于裂缝处应力集中使裂缝逐步发展到表面,但大多数则表现为从表面首先产生,向下延伸,也可能是由于车轮荷载使下层开裂处产生过大的弯沉,引起面层应力超过路面强度而成为裂缝的发展源。

3. 水损害破坏

沥青路面的水损害破坏,是指在沥青路面内部存在水的条件下,经受反复交通荷载和温度胀缩的作用,一方面水分逐步侵入到沥青与集料的界面上,同时由于动力水的作用,沥青膜逐渐从集料表面剥离,并导致集料之间的粘结丧失而使路面发生破坏。

目前我国很多沥青路面空隙率大,透水和蓄水情况较普遍,水损害破坏问题相当严重,在多雨及季节性冻胀地区,雨季或春融季节路面唧浆、松散、坑槽成为最严重的破坏形式。

4. 路面表面功能不良

沥青路面的主要表面功能是平整度和抗滑性能,要求表面不仅平整,而且要粗糙,即较大的宏观粗糙度和微观粗糙度。其中微观粗糙度取决于粗集料的耐磨光性能,宏观粗糙度取决于路面构造深度,这些均与沥青混合料的材料和级配直接相关。

很多沥青路面由于矿料级配不良,面层空隙率大,路面透水及沥青老化快,从而导致抗滑性能不足和耐久性差。

以上这些问题,虽然损坏的程度有所不同,但在很多国家即普遍存在,因此,各国均加强对沥青及混合料的材料、配合比和施工工艺进行深入的研究,如改性沥青材料、新的混合料设计方法以及用各种物理添加材料加强沥青路面,如格栅加筋沥青路面、纤维增强沥青混凝土路面等。

(二)改性沥青材料的应用

改性沥青是通过特殊的生产过程加工出来的沥青或液体沥青、改性剂和添加剂的混合物,使原沥青的使用性能得到明显的改善。

从40年代欧洲开始研究和使用改性沥青以来,已有50多年历史,但大多数是用于房屋防水、管道保护等方面,用于路面只占改性沥青总用量的20%左右,就沥青材料而言,目前世界每年沥青用量约7500万吨,其中80%即6000万吨用于道路。用于道路的沥青中约有7%~8%是改性沥青,可见目前改性沥青在道路中使用比例并不是很高,其主要原因是经济问题,现阶段改性沥青的初期成本较高,在国外主要用于路面养护、薄层罩面和排水沥青路面,在我国目前主要用于重载交通量大的高速公路。实际上,路面的成本除了初期投资外,还包括使用阶段的维修养护费用,使用适当的改性沥青,能防止或减少路面早期破坏,降低养护费用,延长使用寿命,其总成本并不一定高于普通的沥青混合料路面。可以预见,随着改性沥青成本的进一步降低和对路面使用功能要求的提高,改性沥青将会得到越来越广泛的应用。

改性沥青的效果取决于基质沥青、改性剂品种和剂量以及加工工艺等因素。用不同改性剂得到的改性沥青性能也不同,改性剂的使用量也在不断变化。例如在欧洲从80年代初曾广泛使用过EVA改性剂,到80年代中期人们认识到SBS的优良性能,目前除英国还较多使用EVA外,其他国家已逐渐用SBS取代EVA,根据统计资料,1991年在欧洲道路用改性沥青总量中,SBS约占40%,EVA占19%,SB占14%,NOVOPHALT占3%,在美国,以前也使用PE、EVA等改性剂,现在SBS已成为最主要的改性剂品种。

当然,改性剂和改性沥青品种的选择主要是根据工程所在地区的气候条件、交通条件、经济实力、改性沥青设备条件以及当地沥青路面的主要破坏形式、改性目的综合确定,最好对多种改性剂的效果同时进行试验比较,再通过技术经济分析确定。尤其是改

性剂的剂量,多 1%或少 1%对试验结果影响并不太大,但对经济确有一定影响。

由试验和工程实践可知,EVA 及 PE 改性沥青,其最大特点是高温性能明显改善,主要用于夏季炎热但冬季并不十分严寒气候条件下的路面,SBR 改性沥青的最大特点是低温性能得到改善,主要适用于寒冷气候条件,而 SBS 改性沥青的高温、低温性能都有提高,故可在各种气候条件下使用。

(三)高性能沥青路面的发展

由于交通量的剧增,轮胎气压和轴载的增加,许多完全满足现行规范的沥青路面却达不到设计的预期寿命,主要表现为车辙、剥落、低温开裂等病害,即现行的规范无法控制沥青路面的某些早期损坏。这就要求我们从传统的经验设计方法转变成基于使用性能的设计方法。这个转变以美国公路战略研究计划(SHRP)为标志。从 1987 年开始,美国公路战略研究计划进行了一项为期 5 年、耗资 5000 万美元的沥青课题研究,占整个 SHRP 经费的三分之一,旨在制定一套新的沥青和沥青混合料规范、试验和设计方法。SHRP 沥青课题的最终研究成果称为高性能沥青路面(Superpave),它包括一个胶结料规范、混合料设计体系和分析方法。美国联邦公路局(FHWA)负责 Superpave 的推广应用,期望在 2000 年用新的胶结料性能规范和 Superpave 混合料设计方法全面取代针入度规范、粘度规范和马歇尔混合料设计方法。

SHRP 沥青研究项目的研究成果即 Superpave 共有 21 项,其中沥青胶结料 10 项,混合料体积设计 3 项,混合料分析和性能预测 8 项,见表 4-3-10。

表 4-3-10 SHRP 沥青项目研究成果一览表

| 成果领域 | 成果编号及名称 |
|---------|--|
| 沥青胶结料 | <ul style="list-style-type: none"> * 1001 胶结料规范 * 1002 弯曲梁流变仪 1004 沥青抽提和回收 * 1005 低温直接拉伸试验 * 1006 高温粘度试验 * 1007 动态剪切流变仪 1009 胶结料液相色谱仪 1010 炼油厂指南 * 1025 短期老化 1030 长期老化 |
| 混合料体积设计 | <ul style="list-style-type: none"> * 1011 混合料规范 * 1014 旋转压实机和方法 * 1026 改进的最大理论密度试验方法 |

| 成果领域 | 成果编号及名称 |
|----------------|---------------------|
| 混合料分析 和性能预测 | 1012 Superpave 设计体系 |
| | 1013 净吸附试验 |
| | 1015 轮碾压实方法 |
| | 1017 剪切试验与设备 |
| | 1019 弯曲疲劳试验方法 |
| | 1021 约束试件温度应力试验 |
| | 1022 间接抗拉蠕变和破坏试验 |
| | 1024 环境条件系统 |

注:表中打*者为重点推广的项目,其它项目仍属评价项目,可以应用但其可靠性还需要验证。

Superpave 技术包括以下几个方面:

- ① Superpave 胶结料与集料规范;
- ② Superpave 混合料体积设计;
- ③ Superpave 混合料施工;
- ④ Superpave 混合料性能预测;
- ⑤ 相关的软件、试验方法及设备。

1. Superpave 胶结料与集料规范

(1) Superpave 胶结料规范

与现行的沥青针入度和粘度规范相比, Superpave 胶结料规范有下列特性:

- ① 基于使用性能指标;
- ② 测量沥青动态的粘弹性指标;
- ③ 增加了低温指标;
- ④ 既考虑了施工期老化,又考虑了使用期的老化;
- ⑤ 既适用于未改性沥青,也适用于改性沥青;
- ⑥ 指标固定,变化试验温度。

沥青胶结料在三种不同状态下,即用原样沥青、旋转薄膜烘箱和压力老化试验后的残留物进行试验,测定的性质分别与车辙、低温开裂和疲劳开裂三种使用性能联系起来。

Superpave 的沥青性能等级规范,有一个高温指标和一个低温指标。例如一种与我国重交通 70 号沥青接近的性能等级沥青 PG64—22“64”表示 7 天平均路面最高设计温度为 64℃;“-22”表示路面最低设计温度。根据工程项目所在地区的气温,可以计算出工程项目所在地区的最高、最低路面设计温度,而且这个温度具有一定的保证率。实际使用沥青的性能等级必须满足工程项目所需的性能等级,这样,从沥青胶结料的角度保证了路面使用时不会产生过量的车辙、低温和疲劳开裂。

(2) Superpave 集料规范

Superpave 混合料设计方法直接纳入了集料的技术标准,主要考虑了两种类型的集

料特性:即共同特性和料源特性。在没有开发出新的集料试验方法之前,Superpave 系统规定仍采用现行方法进行试验。Superpave 体积设计法规定的集料最大尺寸为 50mm,集料的其它技术指标应根据交通量和沥青混合料在路面结构中的位置来选定。集料的共同特性包括粗集料棱角、细集料棱角、扁平与细长颗粒含量百分率和粘土含量百分率。粗集料棱角是指留在 4.75mm 筛上有一到二个破碎面集料的重量百分比;细集料棱角是指通过 2.36mm 筛的集料在松松压实情况下的空隙率;扁平与细长颗粒是指最大与最小尺寸比大于 5 的粗集料占粗集料总重量的百分比;粘土含量是指通过 4.75mm 筛的集料中粘土所占的百分率。集料的料源特性包括集料坚固性、集料安定性和有害物质含量等。坚固性是指集料在洛杉矶磨耗试验中材料损失百分比;安定性是指集料混合料在钠或镁的硫酸盐安定性试验中分解的百分比;有害物质是指集料中不希望有的杂质。矿粉与沥青之比是指通过 0.075mm 筛的集料重量与沥青混合料中有效沥青用量之比。

(3) 集料级配

Superpave 对有关集料尺寸的定义有集料公称最大尺寸和集料最大尺寸。集料公称最大尺寸是筛余第一次大于 10% 的筛子的上一级筛孔尺寸;集料最大尺寸是集料公称最大尺寸的上一级筛号尺寸。

Superpave 混合料体积设计的级配选择是通过设置控制点和限制区来进行的。设置控制点是要求集料级配必须通过其间的范围,控制点分别设于公称最大尺寸、中等尺寸(2.36mm)和最小尺寸(0.075mm)处,而限制区则为不允许级配线通过的区域,它沿最大密度曲线(0.45 次方级配线)存在于中等尺寸(2.36mm)和 0.3mm 尺寸之间。由于限制区具有驼峰特征,故通过限制区的级配称为“驼峰级配”。设置限制区的目的有两个,一是为了限制砂的用量;二是为了使矿料具有足够的矿料间隙率(VMA)。在多数情况下,驼峰级配表示为含砂过多的混合料或相对于总砂量来说细砂太多的混合料,这种级配的混合料在施工期间经常存在压实问题,并表现为在使用期抗永久变形能力不足,而且级配通过限制区容易造成 VMA 过小,这种级配对沥青含量极为敏感,因此,应使集料设计级配位于控制点之间并避开限制区以满足 Superpave 的要求。图 4-3-3 示出了 12.5mm Superpave 矿料的控制点和限制区。

2. Superpave 混合料体积设计

Superpave 混合料体积设计包括四个步骤,即

- ① 材料选择;
- ② 设计集料结构的选择;
- ③ 设计沥青用量的选择;
- ④ 水敏感性评价。

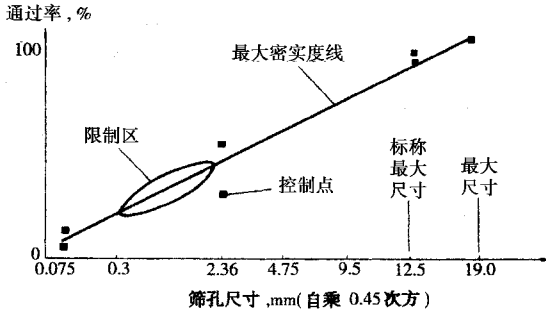


图 4-3-3 Superpave 矿料级配控制图

(1) 材料选择

根据工程所在地区的气候和交通条件,选择能满足所在地区性能等级要求的沥青。根据交通量和集料在路面中使用的层位,选择满足统一性质和料源特性要求的集料。

(2) 设计集料结构的选择

Superpave 各种级配对控制点与限制区的规定见表 4-3-11 和表 4-3-12。

表 4-3-11 Superpave 集料级配控制点

| 筛孔尺寸 (mm) | 最大公称尺寸—控制点(通过百分率) | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|-------|-----|
| | 37.5mm | | 25.0mm | | 19.0mm | | 12.5mm | | 9.5mm | |
| | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 |
| 50.0 | 100 | - | - | - | | | | | | |
| 37.5 | 90 | 100 | 100 | - | | | | | | |
| 25.0 | - | 90 | 90 | 100 | 100 | | | | | |
| 19.0 | - | - | - | 90 | 90 | 100 | 100 | | | |
| 12.5 | - | - | - | - | - | 90 | 90 | 100 | 100 | |
| 9.5 | - | - | - | - | - | - | - | 90 | 90 | 100 |
| 4.75 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 90 |
| 2.36 | 15 | 41 | 19 | 45 | 23 | 49 | 28 | 58 | 32 | 67 |
| 0.075 | 0 | 6 | 1 | 7 | 2 | 8 | 2 | 10 | 2 | 10 |

表 4-3-12 Superpave 集料禁区界限

| 禁区内 筛孔尺寸 (mm) | 最大公称尺寸时筛孔尺寸的最小和最大界限 (最小和最大通过百分率) | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|------|
| | 37.5mm | | 25.0mm | | 19.0mm | | 12.5mm | | 9.5mm | |
| | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 |
| 0.30 | 10.0 | 10.0 | 11.4 | 11.4 | 13.7 | 13.7 | 15.5 | 15.5 | 18.7 | 18.7 |
| 0.60 | 11.7 | 15.7 | 13.6 | 17.6 | 16.7 | 20.7 | 19.1 | 25.1 | 23.5 | 27.5 |
| 1.18 | 15.5 | 21.5 | 18.1 | 24.1 | 22.3 | 28.3 | 25.6 | 31.6 | 31.6 | 37.6 |

| 禁区内 筛孔尺寸 (mm) | 最大公称尺寸时筛孔尺寸的最小和最大界限 (最小和最大通过百分率) | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|------|
| | 37.5mm | | 25.0mm | | 19.0mm | | 12.5mm | | 9.5mm | |
| | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 | 最小 | 最大 |
| 2.36 | 23.3 | 27.3 | 26.8 | 30.8 | 34.6 | 34.6 | 39.1 | 39.1 | 47.2 | 47.2 |
| 4.75 | 34.7 | 34.7 | 39.5 | 39.5 | - | - | - | - | - | - |

在确定沥青等级和集料材料之后,使用 Superpave 旋转压实机评价至少三种试验级配,Superpave 要求集料级配在控制区以内并避免通过限制区。每种级配要准备 4 个试件,2 个用于压实,2 个用于测量最大理论密度,从而分析混合料的体积性质并与 Superpave 混合料设计要求进行比较,只要符合标准,就可选为设计集料结构。Superpave 旋转压实次数规定和热拌沥青混合料(HMA)设计要求见表 4-3-13 和表 4-3-14。

表 4-3-13 Superpave 旋转压实表

| 设计 ESAL (10 ⁶) | 压实参数 | | | 典型道路应用 |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|
| | N _{初始} | N _{设计} | N _{最大} | |
| 0 < 0.3 | 6 | 50 | 75 | 轻交通道路,如地方道路等区域道路和禁止卡车通行的市区道路。交通量是地方性质,不属于地区性。州级和州际性质的旅游区道路也属于此类 |
| 0.3 < 3 | 7 | 75 | 115 | 主要为集散道路和进入街道的道路,部分或全封闭的进城道路,中等交通量的市区道路属于这一类 |
| 3 < 30 | 8 | 100 | 160 | 包括双车道、多车道、部分和全封闭的进城道路,州道、国道和某些边远地区的州际公路 |
| ≥ 30 | 9 | 125 | 205 | 包括城市和乡村的大部分美国州际公路,专用道路如卡车、称重站和卡车专用道 |

表 4-3-14 Superpave HMA 设计要求

| 设计 ESAL ^s (10 ⁶) | 要求密度 (最大理论密度的%) | | | 矿料骨架最小空隙率(%) | | | | | 沥青 最小填隙率 (%) | 粉 胶 比 |
|--|--------------------|-----------------|-----------------|--------------|------|------|------|------|--------------------|-----------------|
| | N _{初始} | N _{设计} | N _{最大} | 最大公称尺寸,mm | | | | | | |
| | | | | 37.0 | 25.0 | 19.0 | 12.5 | 9.5 | | |
| < 0.3 | ≤ 91.5 | 96.0 | ≤ 98.0 | 11.0 | 12.0 | 13.0 | 14.0 | 15.0 | 70 ~ 80 | 0.6 ~ 1.2 |
| 0.3 < 3 | ≤ 90.5 | | | | | | | | 65 ~ 78 | |
| 3 < 10 | ≤ 89.0 | | | | | | | | 65 ~ 75 | |
| 10 < 30 | | | | | | | | | | |
| ≥ 30 | | | | | | | | | | |

注 ①设计的 ESAL 是 20 年设计车道预期的当量累计单轴荷载作用次数,而不管设计寿命是多少年。

②最大公称尺寸 9.5mm,设计交通量是 ≥ 3 × 10⁶ ESAL, VFA 为 73% ~ 76%。

③最大公称尺寸 25.0mm,交通量 < 0.3 × 10⁶ ESAL, VFA 最小为 67%。

④最大公称尺寸 37.5mm,所有交通量水平的 VFA 最小为 64%。

⑤最大矿料骨架空隙率 VMA 不应超过最小 VMA 加 2%。

在用旋转压实仪进行压实时,首先要根据工程所在地的气候情况(7天平均最高气温)和预测的设计交通量 ESAL 确定压实仪的初始压实次数(N_{ini})、设计压实次数(N_{des})和最终压实次数(N_{max})。设计压实次数表示当地气候条件下,设计年限交通量作用后期混合料的情况,初始压实次数和最终压实次数表示混合料的可压实性。例如对于 ESAL 在 $3 \times 10^6 \sim 30 \times 10^6$ 之间,在初始压实次数时,试件密度应小于最大理论密度的 89%,即空隙率大于 11%,在最大压实次数时,密度小于最大理论密度的 98%,从而保证混合料的内摩阻力。

(3) 设计沥青用量的选择

在确定设计集料结构之后,针对设计集料用几种不同的沥青用量,用 Superpave 旋转压实仪成型试件,计算体积指标,确定最佳沥青用量。Superpave 规定在设计压实次数 N_{des} 时,空隙率为 4% 的沥青用量为设计沥青用量,满足表 4-3-14 中 HMA 设计要求的混合料可以作为设计的沥青混合料。

(4) 水敏感性评价

最后一步是用 AASHTO T 283“压实沥青混合料抗水损害能力”的试验方法评价设计沥青混合料的水敏感性。6 个用旋转压实机成型试件的空隙为 $7\% \pm 1\%$,并按空隙率大小分成两组,一组用真空饱水冻融循环加以处理,另一组不处理,用两组试件的间接抗拉强度比(TSR)大于 80% 作为判断混合料水敏感性的标准。

3. Superpave 混合料施工

Superpave 混合料的施工程序,与普通沥青混合料相同,也包括拌和厂生产、运输、摊铺和压实几个步骤,但有以下特点:

(1) Superpave 集料级配有控制点和禁区的要求,使我们通常的 1 号料大为减少,而 2 号料占粗集料的绝大比例,由于粗、细集料角砾性要求高,因此施工和易性比普通沥青混合料差一些。

(2) Superpave 混合料粗集料含量较高,内摩阻力大,需要的压实功比普通混合料大,压实的关键是“高温、强振、紧跟压路机”。由于混合料的特性,该混合料高温压实时很少出现起浪推挤现象。

(3) 对于某些 Superpave 混合料,当温度在 $93^\circ\text{C} \sim 115^\circ\text{C}$ 时有一个敏感区,混合料可以在这个温度以上或以下压实,但在这个温度范围内却很难压实。

(4) 在每一个工程项目开始前,都必须铺筑一段试验路,其目的是:①验证混合料体积性质是否符合设计要求;②评价摊铺和压实工艺;③建立核子密度仪与路面取芯密度的相关关系。

(5) 作为经验法则,Superpave 混合料的层厚要求大于集料最大公称尺寸的 3 倍,以利

于混合料压实。当粗集料含量高时,这个比值应更大些。

4. Superpave 混合料性能分析

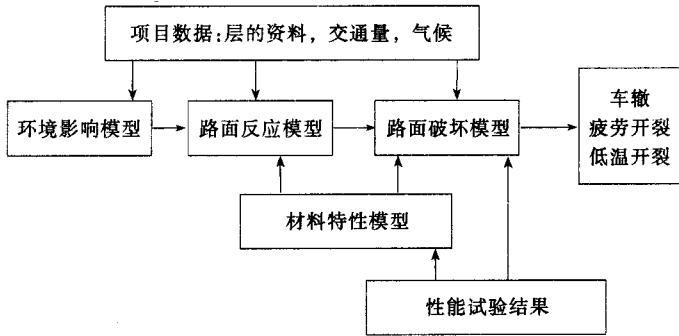


图 4-3-4 路面性能预测模型方块图

现行的路面结构设计 与沥青混合料设计并不相关,符合了马歇尔稳定性和流值以及其它体积性质要求的沥青混合料却不一定达到了路面设计时所假定的模量等参数。Superpave 技术注意到了这种脱节,企图通过对第一阶段设计出来的混合料进行一系列加速性能试验,并通过性能预测模型与路面的破坏联系起来,如图 4-2-4 所示。

材料特性模型将试验结果变成一系列粘弹性、非线性、塑性和断裂特性的特性参数,由于沥青混合料是一种粘弹性材料,所有试验结果都与温度有关,因此,环境影响模型将路面不同部位的温度作为空气温度的函数计算出来,从而计算出所需温度的材料特性参数。

路面反应模型利用环境影响模型的结果来计算路面内在交通作用下的应力、应变和位移。

路面破坏模型主要考虑了沥青路面的车辙、疲劳开裂和低温开裂。整个 Superpave 混合料分析的工作,包括各种模型的检验,尚未达到很成熟的地步,因此,目前对于模型研究课题和和其它的研究课题还正在研究完善之中。

5. SHRP 沥青研究项目试验方法

SHRP 沥青研究项目的有关试验主要是 SHRP 沥青胶结料和混合料性能试验,其试验仪器、技术指标以及与我国《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052—93)的对照分别见表 4-3-15、表 4-3-16 和表 4-3-17。

表 4-3-15 SHRP 沥青胶结料性能试验

| 路面损坏 | 仪器与试验 | 技术指标 | 试验方法 |
|---------|---------------------|---------------|-------------|
| 永久变形与疲劳 | 动态剪切试验仪 · 动态剪切试验 | 复数剪切模量 相位角 | AASHTO TP 5 |

第四篇 公路工程施工质量控制与管理

| 路面损坏 | 仪器与试验 | 技术指标 | 试验方法 |
|-------|--|----------------------|----------------------------|
| 低温开裂 | 弯曲梁流变仪 ·弯曲梁蠕变试验 直接拉伸试验仪 ·直接拉伸试验 | 蠕变模量 蠕变速度 破坏应变 | AASHTO TP 1 AASHTO TP 3 |
| 短期老化 | 旋转薄膜烘箱 ·旋转薄膜烘箱试验 | 质量损失 | AASHTO T 240 |
| 长期老化 | 压力老化试验仪 ·压力老化试验 | | AASHTO PP1 |
| 施工和易性 | Brookfield 旋转粘度计 ·旋转粘度试验 | 粘度 | AASHTO TP 48 |
| 施工安全 | 沥青闪点仪 ·沥青闪点试验 | 闪点温度 | AASHTO T 48 |

表 4-3-16 SHRP 沥青混合料性能试验

| 路面损坏 | 仪器与试验 | 技术指标 | 试验方法 |
|------|---|--------------------------------------|--------------|
| 车辙 | Superpave 剪切试验仪 ·单轴应变试验 ·静水压力试验 ·简单剪切试验 ·频率扫描试验 ·恒高度重复剪切试验 | 膨胀性 累积永久变形 三重蠕变 剪切模量 相位角 | AASHTO TP 7 |
| 低温开裂 | 间接拉伸试验仪 ·间接拉伸蠕变试验 ·间接拉伸破坏试验 | 蠕变模量 抗拉强度 | AASHTO TP 9 |
| 疲劳开裂 | Superpave 剪切试验仪 ·频率扫描试验 | 剪切模量 相位角 | AASHTO TP 7 |
| 水敏感性 | 间接拉伸试验仪 ·压实混合料水损害试验 | 抗拉强度的变化 | AASHTO T-283 |
| 短期老化 | 强制通风烘箱 ·松散沥青混合料老化试验 | | AASHTO PP 2 |
| 长期老化 | 强制通风烘箱 ·压实沥青混合料老化试验 | | AASHTO PP 2 |

表 4-3-17 Superpave 试验项目与我国试验规范对照表

| 序号 | 试验名称 | Superpave 试验编号 | 我国规范编号 |
|----|-----------------------|----------------|----------|
| 1 | Superpave 沥青胶结料性能等级规范 | AASHTO MP1 | 无 |
| 2 | 沥青密度 | AASHTO T227 | T0663-93 |

| 序号 | 试验名称 | Superpave 试验编号 | 我国规范编号 |
|----|------------------------|----------------|------------|
| 3 | 用压力老化容器老化沥青胶结料 | AASHTO PP1 | 无 |
| 4 | 沥青胶结料分级和验证 | AASHTO PP6 | 无 |
| 5 | 用直接拉伸测定沥青胶结料的断裂性质 | AASHTO TP3 | 无 |
| 6 | 用弯曲梁流变仪测定沥青胶结料的弯曲蠕变劲度 | AASHTO TP1 | 无 |
| 7 | 用动态剪切流变仪测定沥青胶结料的流变性质 | AASHTO TP5 | 无 |
| 8 | 用旋转薄膜烘箱老化沥青胶结料 | ASTM D2872 | T0610 - 93 |
| 9 | 沥青旋转粘度 | AASHTO TP48 | 无 |
| 10 | 集料取样 | AASHTO T2 | T0301 - 94 |
| 11 | 粗、细集料的筛分 | AASHTO T27 | T0302 - 94 |
| 12 | 集料中小于 0.075mm 的水洗筛分 | AASHTO T11 | 无 |
| 13 | 矿物填料的筛分 | AASHTO T37 | T0327 - 94 |
| 14 | 粗集料角砾性 | ASTM D5821 | 无 |
| 15 | 细集料未压实空隙率 | AASHTO TP33 | 无 |
| 16 | 粗集料中细长或扁平颗粒 | ASTM D4791 | TP311 - 94 |
| 17 | 砂当量法测定级配集料中的塑性细料 | AASHTO T176 | T0310 - 94 |
| 18 | 洛杉矶磨耗试验 | AASHTO T96 | T0317 - 94 |
| 19 | 集料的坚固性 | AASHTO T104 | T0314 - 94 |
| 20 | 细集料中的土块和易碎颗粒 | AASHTO T112 | T0333 - 94 |
| 21 | 粗集料未压实空隙率 | AASHTO TP - 56 | 无 |
| 22 | 粗集料毛体积密度和表观密度 | AASHTO T84 | T0308 - 94 |
| 23 | 细集料毛体积密度 | AASHTO T85 | T0330 - 94 |
| 24 | 细集料表观密度 | AASHTO T85 | T0328 - 94 |
| 25 | 矿粉密度试验方法 | AASHTO T100 | T0203 - 94 |
| 26 | Superpave 体积设计规范 | AASHTO MP2 | 无 |
| 27 | 热拌沥青混合料短期和长期老化 | AASHTO PP2 | 无 |
| 28 | 压实热拌沥青混合料的体积分析 | AASHTO PP19 | 无 |
| 29 | 热拌沥青混合料 Superpave 体积设计 | AASHTO PP28 | 无 |
| 30 | 在存在水条件下沥青初始吸附和解吸 | AASHTO TP6 | 无 |

| 序号 | 试验名称 | Superpave 试验编号 | 我国规范编号 |
|----|-------------------------------|----------------|------------|
| 31 | 用简单剪切试验机测定压实沥青混合料的永久变形和疲劳开裂性能 | AASHTO TP7 | 无 |
| 32 | 用间接拉伸试验机测定热拌沥青混合料的蠕变模量与强度 | AASHTO TP9 | 无 |
| 33 | 用旋转压实机压实试件 | AASHTO TP4 | 无 |
| 34 | 沥青混合料最大相对密度 | AASHTO T209 | T0711 - 93 |
| 35 | 沥青混合料试件毛体积密度 | AASHTO T166 | T0706 - 93 |
| 36 | 沥青混合料抗水损害能力 | AASHTO T283 | 无 |

作为美国 SHRP 计划中重要研究成果之一, Superpave 技术不仅对沥青工业界产生巨大影响, 也引起了世界各国的普遍关注, 很多国家均在进行相关的对比试验和验证。与现行密级配沥青混合料马歇尔试验方法相比, Superpave 混合料设计体系在以下几个方面有了明显的改进:

① Superpave 胶结料规范, 是一个基于道路所在地区气候特点的性能标准, 不仅有高温指标, 也有低温指标, 揭示了沥青胶结料的高低温性能和流变特性, 建立了沥青胶结料与路用性能之间的联系, 使对沥青的选择更为科学合理;

② 旋转压实机更接近现场的压实过程, 其压实试件的工程性质更接近于现场取心试件;

③ 增加了混合料短期老化, 使压实和空隙率计算更为符合实际;

④ 加大了试件尺寸(150mm 直径), 能适合于大粒径(25 ~ 50mm)的集料;

⑤ 实时测量试件高度与旋转次数, 画出压实曲线, 从而能评价混合料的压实特性;

⑥ 在初始压实次数时规定了一个最大压实度, 避免了不稳定混合料的产生;

⑦ 在最大压实次数时规定了一个最大压实度, 使混合料的抗车辙能力更有保障;

⑧ Superpave 采用最大理论密度作为现场压实度控制指标, 也就是说用空隙率作为现场路面压实度控制指标, 这比用马歇尔密度标准更科学合理。

以上这些改进都是马歇尔方法不可比拟的, 另外, 现行马歇尔设计方法多数采用规定级配的中值作为设计级配, 由于满足规定级配中值的混合料不一定是最好的结构, 缺少了一个评价不同混合料设计结构的过程, 整个马歇尔方法就变成了获取最佳用油量的方法。

(四) 格栅加筋沥青路面的发展

格栅作为沥青混合料中的加筋材料, 其主要功能是利用其良好的抗拉性及整体性, 以弥补沥青混合料在这方面的不足。格栅是一种开式网格结构, 设置在沥青混凝土中时, 能够使混合料嵌锁在其中, 并通过空格与下面的结构紧密联结, 形成一个复合的力学

嵌锁体系,不会出现粘结间断层,同时,格栅每一个网肋的作用相当于独立的锚固点,使它的抗拉强度在路面结构层中能有效地得到发挥。

用于加筋沥青路面的格栅有刚性格栅和柔性格栅两类。刚性格栅是一系列高强度的聚合物产品,其制造工序是将高分子材料(如聚乙烯或聚丙烯)挤压成薄片,通过冲孔,高温下单、双向拉伸处理,使不定向的长链分子变成有序、定向的分子链,提高聚合物的抗拉强度和抗拉劲度,形成单轴或双轴格栅,如塑料格栅等。这类格栅中最具代表性的是英国耐特龙(Netlon)公司生产的 TensarARI 格栅,它在欧洲、北美等地区得到广泛应用,我国也有一些厂家引进了耐特龙公司的生产线。

柔性格栅是将线状材料构件相互结合而成为网状材料,如加拿大贝密尔斯(Bay Mills)公司生产的玻璃纤维格栅、高弹模量的纺纱聚酯纤维构成的 Ha Telit 格栅等。其它材料,如金属丝网等,也属于柔性格栅范畴,但由于施工复杂,已很少使用。

1. 塑料格栅性能

塑料格栅具有以下特性:

①它是整体形成的网格结构,不存在纺织、焊接点等薄弱环节。

②用于生产路用塑料格栅的材料具有耐酸、耐腐蚀特性,并具有较高的耐高温、低温和老化性能。

③拉伸和变形特性:塑料格栅的抗拉强度随温度的降低将明显升高,在高温和低温时的变形特性相差较大,其强度和模量在 0°C 时为 $16 \sim 18\text{MPa}$ 和 $1.0 \sim 1.5\text{GPa}$,在 15°C 时,强度和模量只有 $10 \sim 14\text{MPa}$ 和 $160 \sim 500\text{MPa}$ 。在 0°C 左右,由于格栅强度明显高于沥青混合料,且模量与沥青混凝土基本相同,故塑料格栅具有加强沥青混凝土抗拉性能的作用,对防止或延迟反射裂缝有明显的作。

路面用塑料格栅力学性质要求见表 4-3-18 和表 4-3-19。

表 4-3-18 塑料格栅力学性质要求

| 格栅在路面结构中的位置 | 弹性模量(MPa) | 抗拉强度(MPa) |
|-------------|-------------|---------------------------|
| 高等级路面沥青面层 | ≥ 3000 | 不低于原来的屈服点的强度要求,见表 1-10 所列 |
| 沥青加铺层 | ≥ 1500 | |
| 路面基层 | ≥ 1000 | |

表 4-3-19 塑料格栅屈服点强度

| 材料 | 屈服点强度(MPa) |
|--------------|------------|
| 高密度聚乙烯(HDPE) | 9.0~15.0 |
| 中低密度聚乙烯(PE) | 20.0~35.0 |
| 聚丙烯(PP) | 30.0~35.0 |

2. 玻璃纤维格栅性能

新型的路用玻璃纤维格栅是由高模量的玻璃纤维线组成,并在绞线上涂有改性聚合物,背面有粘胶,网格尺寸有 $12.5\text{mm} \times 12.5\text{mm}$ 等多种规格,它具有以下特性:

①抗拉强度高:试验表明,玻璃纤维的弹性模量是沥青混凝土弹性模量的约 20 倍,且在温度改变时,其抗拉强度和弹性模量的变化很小。

②低延伸性:玻璃纤维格栅的应力应变图近似于一垂直直线,这表明材料具有很高的抗变形能力,断裂时其延伸率小于 4%。

③无长期蠕变:许多加筋材料初期加载时很稳定,但在长时间荷载作用下会发生蠕变。玻璃纤维不发生蠕变,这就保证了其长期抗变形能力。

④高温稳定性:玻璃纤维的融化点为 1000°C ,远远高于沥青混合料的施工温度,从而保证了玻璃纤维格栅在路面施工时的稳定性。

⑤与沥青混合料的相容性:特殊设计的聚合物涂层与沥青具有很高的相容性,每根纤维都完全涂裹,以保证在沥青混合料中不会滑动。

⑥物理耐久性和化学稳定性:聚合物涂层不仅能防止各种物理磨蚀,而且可防止各种化学侵蚀。

加拿大贝密尔斯公司玻璃格栅的技术要求如表 4-3-20 所示。

表 4-3-20 玻璃格栅技术规范

| 使用条件 | | 8501 型全路面系统 | 8502 型细部整修系统 |
|-----------------------------|----|-------------|--------------|
| 抗拉强度 (kN/m) | 横向 | 100 | 200 |
| | 纵向 | 100 | 100 |
| 弹性模量(MPa) | | 69000 | |
| 极限延伸率(%) | | ≤4 | |
| 融 熔 点($^{\circ}\text{C}$) | | ≥1000 | |

3. 格栅加筋沥青混凝土试验研究

(1) 车辙试验

用塑料格栅加筋的沥青混凝土室内车辙试验表明,对于相同厚度的格栅加筋沥青混凝土和普通沥青混凝土,前者的动稳定度是后者的约 1.5 倍。没有加筋的沥青混凝土,面层被荷载向轮外侧方向推移,出现了较大的隆起,而加筋的沥青混凝土在格栅铺设区基本为均匀变形,无受压隆起现象。室内环道试验结果表明,在沥青面层一定厚度范围内加铺格栅,可以有效地减少沥青混合料的水平剪切流动。

(2) 弯曲试验

弯曲试验通过 $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 25\text{cm}$ 的小梁进行,在成型时先将沥青混合料按要求放到

一定厚度,并压实成型,然后放置塑料格栅,再将其余沥青混合料放入并碾压成混凝土板,再切割成小梁。试验结果表明,格栅只是略微增加了沥青混合料的弯曲抗拉强度(5%左右),当外荷载达到最大值时,未加格栅的小梁立即断裂,而加格栅的小梁仍能在最大荷载作用下持续一定时间再断裂,因此,格栅沥青混凝土可以延缓裂缝向上扩展。

(3) 疲劳试验

英国 S. F. Brown 等人采用加塑料格栅和未加格栅的小梁进行弯曲疲劳试验结果表明,当格栅位于离小梁底部 $1/4$ 高度时,可使小梁的疲劳寿命增加 1 倍,如果把网格放在小梁底部,可使小梁疲劳寿命增加 9 倍,根据疲劳和车辙设计路面结构,沥青层厚可减薄 36%。

(4) 反射裂缝试验

在已开裂或有接缝的路面上用塑料格栅加筋的沥青混合料加铺,试验采用将格栅放在距底部不同部位,结果表明,将格栅铺设在底部可有效地消除反射裂缝,铺设在中部或 $3/4$ 深度时,有微裂缝产生。

4. 主要存在问题及展望

国内外的研究表明,格栅加筋沥青混凝土具有复合材料的诸多优点,具有广泛的应用前景,但目前研究中还存在一些问题:

- ①在格栅材料特性的研究方面,对格栅的物理、力学性能要求及测试标准和方法都不统一,且有待于进一步分析;
- ②室内外研究表明,采用格栅加筋后,沥青路面结构性能大有改善,但对结构性能的基本关系、格栅在加筋沥青路面中的工作机理研究较少;
- ③采用格栅进行路面补强设计或新建路面厚度设计时,尚无完善的加筋设计理论和方法,有待进一步研究;
- ④在施工中格栅的最佳固定方法、机械化施工工艺以及施工质量的控制方法等都需进行不断的试验和探讨。

(五) 纤维增强沥青混凝土路面的发展

在沥青混凝土中使用增强纤维已有 20 多年历史,随着路面沥青混凝土结构类型不断改进的需要,掺加纤维的措施已在很多国家使用,最常见的是在沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)中使用纤维稳定剂。最初,欧洲在沥青混凝土中使用纤维主要是为了增加沥青用量,以增强沥青混凝土的抗裂性和耐久性,德国发现加了纤维以后可以有效地提高混合料的高温稳定性和抵抗带钉轮胎的磨耗,后来纤维逐步成为 SMA 的必须成分,其原因与 SMA 使用较多的沥青和矿粉有关,用于 SMA 类的纤维属于小纤维,其长度一般为几毫米、直径在几微米左右。另一类用于增强沥青混凝土的纤维尺寸较大,长度达几厘米,

截面积约 1mm^2 左右,其主要目的是加筋作用。

1. 纤维的作用

在沥青混合料中纤维主要有以下作用:

(1)加筋作用。在沥青混合料中掺加纤维后,纤维在混合料中以一种三维的分散相存在,犹如盖土坯房时向抹墙的灰泥中掺加草筋一样,也象各种钢纤维混凝土、土工格栅、土工布等加筋材料一样,可以起到加筋作用。

(2)分散作用。SMA 中如果没有纤维,用量颇大的沥青和矿粉很可能成为胶团,不能均匀地分散在集料之间,铺筑在路面上将清楚地看见“油斑”存在。纤维可以使胶团适当分散,分布均匀。

(3)吸附及吸收沥青的作用。在 SMA 混合料中加入纤维稳定剂的作用在于充分吸附(表面)及吸收(内部)沥青,从而使沥青用量增加,沥青油膜变厚,提高混合料的耐久性。

(4)稳定作用。纤维使沥青膜处于比较稳定的状态,尤其是在夏天高温季节,沥青受热膨胀时,纤维内部的空隙还将成为一种缓冲的余地,不致成为自由沥青而泛油,对高温稳定性也有好处。

(5)增粘作用,提高粘结力。纤维将增加沥青与矿料的粘附性,通过油膜的粘结,提高集料之间的粘结力。

2. SMA 混合料中纤维的比较和选择

用于沥青混合料的纤维种类很多,主要有木质素纤维、矿物纤维、有机纤维三大类,另外还有玻璃纤维、钢纤维等,但使用较少。

本质纤维(Methyl Cellulose,简称 MC)是天然木材经过化学处理得到的有机质纤维。由于处理温度高达 250°C 以上,在通常条件下是化学上非常稳定的物质,不为一般的溶剂、酸、碱腐蚀,这种纤维对人体无害,不污染环境。

在矿物纤维中,最早使用的是石棉纤维,但由于石棉纤维对人体及环境有害,一些发达国家已禁止使用,而改用其它矿物,如玄武岩等制成的纤维。

在有机纤维中,常用的是聚脂纤维(涤纶)和丙烯酸纤维(腈纶)等。

SMA 混合料纤维的选择主要考虑以下因素:

①首先是吸油性能,关于纤维的吸油性能有两种截然不同的观点:一种观点认为木质素纤维表面粗糙,表面积大,吸油性能好,能防止自由沥青析漏。另一种观点认为木质素纤维从吸油这一点上说是缺点和浪费,不如矿物纤维。目前,关于吸收到木质素纤维内部的沥青究竟起什么作用,是优点还是缺点,还有待进一步研究。

②从价格上看,木质素纤维的单价比矿物纤维要贵,但矿物纤维相对密度大,所以用

量多。聚合物纤维的单价最贵,但密度小,单位质量的纤维根数最多,用量最少。一般情况下,SMA混合料中木质素纤维的用量为沥青混合料质量的0.3%,矿物纤维为0.4%,聚合物只需0.1%。

③从施工角度看,能否将纤维均匀地分散在沥青混合料中是纤维能否发挥作用的关键。例如,同样是木质素纤维,有颗粒状的和松散的,各有优点和缺点。松散纤维的缺点是在运输和存贮过程中容易吸潮并成团结块,如果施工单位不注意这个问题,将降低松散纤维的使用效果。颗粒状纤维是为了解决松散纤维的这个缺点而开发的新产品,但颗粒纤维能否的短短的拌和过程中分散开,也存在疑虑。如果有专用的松散纤维添加设备,松散纤维也许更能发挥作用。在没有机械、仅靠人工添加的情况下,颗粒纤维的添加则要方便得多。总之,必须根据工程单位的具体条件和施工工艺分析,来确定采用的纤维类型。

3. 纤维增强沥青混凝土路面

SMA混合料中使用的纤维,其主要作用是增加集料表面沥青膜的厚度和粘附性,这种纤维的特点是尺寸细小,一般长度小于10mm,直径小于0.05mm,用量为混合料质量的0.5%以下。

另一种思路是在沥青混凝土中掺入较粗、较长的纤维,形成与钢纤维水泥混凝土相类似的纤维增强沥青混凝土路面。这类纤维一般长度为10~60mm,长径比约30~100,纤维质量占混合料的0.1%~1.0%。

用于增强沥青混凝土路面的纤维材料主要有锦纶、尼龙、玻璃纤维和钢纤维等,就纤维本身强度而言,钢纤维最大,玻璃纤维次之。但从抗弯拉破坏试验可知,不论用哪种材料加强的沥青混凝土试件,其破坏形式都是在基体断裂处纤维拔出。因此,对纤维材料的选择应以考虑纤维与沥青混凝土之间的粘结力为主。在实际使用中考虑到钢纤维的弹性模量与沥青混凝土差异太大而很少使用,故多采用玻璃纤维、尼龙、锦纶等有机质纤维或高分子聚合物纤维。另外,纤维的选择必须符合耐高温、易于分散拌和的原则。

通过对掺入尼龙纤维的纤维增强沥青混凝土进行直接拉伸试验和弯曲疲劳试验,并与未加纤维的同配比普通沥青混凝土试验对比可知,纤维增强后的材料初裂抗拉强度和极限抗拉强度平均分别提高约60%和40%,疲劳强度可提高约2倍。同时,材料韧性有很大改善,在抗弯试验中,当以挠度 f 与梁长 l 之比为1/250为准时,加筋后的沥青混凝土韧度较普通沥青混凝土增大约3倍。

试验结果还表明,纤维含量增大、纤维的长径比增大都有利于增加沥青混凝土的初裂强度和极限强度。但纤维过多、过长容易结球,施工分散不均匀,工程实际中以纤维含量不大于1.5%(质量比),长度不大于60mm为宜。

第二节 沥青路面面层施工

沥青路面面层的类型分为 沥青表面处治表面、沥青贯入式表面、热拌沥青混凝土混合料、热拌沥青碎石混合料、乳化沥青碎石混合料。

一、沥青表面处治层施工

(一)概述

沥青表面处治是用沥青裹覆矿料,铺筑厚度不大于 3cm 的一种薄层路面面层。其主要作用是保护下层路面结构层,使它不直接遭受行车和自然因素的破坏作用,以延长路面的使用寿命,并改善行车条件,在计算路面厚度时,不作为单独受力结构层。适用三级以下公路路面。

沥青表面处治的施工宜选择在干燥和较热的季节,并在雨季前及日最高温度低于 15℃前半个月结束,使表面处治层通过开放交通压实,成型稳定。

(二)材料规格和用量

沥青表面处治是位于路面的最上面的薄层,由于它直接承受行车和自然因素的作用,因此,对所用的沥青和矿质材料均有较高的要求。

1. 沥青

沥青表面处治所用沥青的类型分为:石油沥青、煤沥青、乳化沥青。

沥青表面处治对沥青材料的要求有以下几个方面:渗透性好、凝结时间短、粘聚力大、不易老化、便于浇洒、耐久性好。

沥青表面处治层所选用的沥青标号应根据面层结构类型、气候条件、施工方法和施工季节等来选定,施工时,石油沥青主要是控制针入度和软化点,具体选用时参见表 4-3-21。

煤沥青不宜用于沥青面层,一般仅作为透层沥青使用。

表 4-3-21 各种沥青面层的沥青标号

| 气候分区 | 沥青种类 | 沥青路面类型 | | | |
|------|------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | 沥青表面处治 | 沥青贯入式及上拌下贯式 | 沥青碎石 | 沥青混凝土 |
| 寒区 | 石油沥青 | A-140 A-180 A-200 | A-140 A-180 A-200 | AH-90 AH-110 AH-130 A-100 A-140 | AH-90 AH-110 AH-130 A-100 A-140 |
| | 煤沥青 | T-5 T-6 | T-6 T-7 | T-6 T-7 | T-7 T-8 |

| 气候分区 | 沥青种类 | 沥青路面类型 | | | |
|------|------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| | | 沥青表面处治 | 沥青贯入式及上拌下贯式 | 沥青碎石 | 沥青混凝土 |
| 温区 | 石油沥青 | A-100 A-140 A-180 | A-100 A-140 A-180 | AH-90 AH-110 A-100 A-140 | AH-70 AH-90 A-60 A-100 |
| | 煤沥青 | T-6 T-7 | T-6 T-7 | T-7 T-8 | T-7 T-8 |
| 热区 | 石油沥青 | A-60 A-100 A-140 | A-60 A-100 A-140 | AH-50 AH-70 AH-90 A-100 A-60 | AH-50 AH-70 A-60 A-100 |
| | 煤沥青 | T-6 T-7 | T-6 T-7 | T-7 T-8 | T-7 T-8 T-9 |

2. 矿料

在高速公路和一级公路上,由于基层是用摊铺机摊铺的,运料车和摊铺机的质量大,应在下层。

沥青路面所用矿料包括碎石、轧制砾石和筛选砾石,其质量及规格应符合以下要求:

(1)具有足够的强度和耐磨性能

应尽量选择质地坚硬、软弱及扁平颗粒含量少,强度不低于Ⅲ级的碎石或砾石为宜。具体选用时应考虑路面类型、使用性质、交通量及结构层次的要求,按表 4-3-22 的规定选用。

表 4-3-22 各种沥青路面所用矿料等级

| 石料等级 使用条件 | | 面层结构 | 表面处治 | 贯入式路面 | 沥青碎石 | 沥青混凝土 |
|------------------|----------------|------|----------------|-------|----------------|----------------|
| | | | | | | |
| 交通量 | 小于 2000 辆/昼夜 | | 3 | 3 | 3 ^① | 3 ^① |
| | 2000-5000 辆/昼夜 | | | 3 | 3 | 3 |
| | 大于 5000 辆/昼夜 | | | | 2 ⁺ | 2 ⁺ |
| 原有沥青路面上作磨耗层或防滑面层 | | | 1 ⁺ | | 1 ^② | 1 ^② |
| 沥青面层下层、联结层 | | | | 3 | 3 | 3 |

注 ①在游览区、宾馆以及交通量较小,但需要铺筑该面层结构时所采用的矿料等级。

②在供料有困难的地区,可降低一级。

(2)与沥青材料有良好的粘结力

(3)应干燥、无风化、清洁、无杂质

其矿料的颗粒形状,通常以接近立方体且多棱角为佳。扁平细长颗粒含量应少于

20% 轧制砾石颗粒粒径在 5mm 以上,其中 75% 以上应至少有一个破碎面,强度均匀。筛选砾石,因其嵌挤锁结能力差,仅在轻交通的沥青表面处治中使用。

此外,沥青表面处治还应当严格掌握沥青与矿料用量的适当比例(油石比)。沥青的用量是保证沥青表面处治路面质量的最重要的因素,若沥青用量过多,易造成泛油、拥包等病害;若沥青用量偏少,又易造成路面松散。因此,为确保沥青路面的施工质量,施工时,应根据表 4-3-23 的规定范围慎重选用。

表 4-3-23 沥青表面处治材料规格和用量(方孔筛)

| 沥青种类 类型 厚度 (cm) | | | 集粒(m ³ /1000m ²) | | | | | | 沥青或乳液用量(kg/m ²) | | | |
|--------------------------|--------|----------|--|-----------|-------------|----|----------|---------|------------------------------|---------|---------|----------|
| | | | 第一层 | | 第二层 | | 第三层 | | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 合计 用量 |
| | | | 粒径 规格 | 用量 | 粒径 规格 | 用量 | 粒径 规格 | 用量 | | | | |
| 石油 沥青 | 单 层 | 1.0 | S12 7~9 | | | | | 1.0~1.2 | | | 1.0~1.2 | |
| | | 1.5 | S10 12~14 | | | | | 1.4~1.6 | | | 1.4~1.6 | |
| | 双 层 | 1.5 | S10 12~14 | S12 7~8 | | | | 1.4~1.6 | 1.0~1.2 | | 2.4~2.8 | |
| | | 2.0 | S9 16~18 | S12 7~8 | | | | 1.6~1.8 | 1.0~1.2 | | 2.6~3.0 | |
| | | 2.5 | S8 18~20 | S12 7~8 | | | | 1.8~2.0 | 1.0~1.2 | | 2.8~3.2 | |
| | 三 层 | 2.5 | S8 18~20 | S10 12~14 | S12 7~8 | | | 1.6~1.8 | 1.2~1.4 | 1.0~1.2 | 3.8~4.4 | |
| 3.0 | | S6 20~22 | S10 12~14 | S12 7~8 | | | 1.8~2.0 | 1.2~1.4 | 1.0~1.2 | 4.0~4.6 | | |
| 乳 化 沥 青 | 单 层 | 0.5 | S14 7~9 | | | | | 0.9~1.0 | | | 0.9~1.0 | |
| | 双 层 | 1.0 | S12 9~11 | S14 4~6 | | | 1.8~2.0 | | | 2.8~3.2 | | |
| | | | | | | | 1.0~1.2 | | | | | |
| 三 层 | 3.0 | S6 20~22 | S10 9~11 | S12 4~6 | S14 3.5~4.5 | | 2.0~2.2 | 1.8~2.0 | 1.0~1.2 | 4.8~5.4 | | |

- 注:①煤沥青表面处治的沥青用量可较石油沥青用量增加 15%~20%;
 ②表中乳化沥青的乳液用量适用于乳液中沥青用量约为 60% 的情况;
 ③在高寒地区及干旱、风沙大的地区,可超出高限,再增加 5%~10%。

(三) 沥青表面处治的施工

沥青表面处治的施工方法有层铺法和拌和法两种,其分类见图 4-3-5。

1. 层铺法施工程序及施工要点

(1) 施工程序

沥青表面处治通常多采用层铺法施工。这里着重介绍先油后料法的施工。

三层式沥青表面处治的施工工序(先油后料)可按以下步骤进行:施工前的准备工作→浇洒透层沥青→浇洒第一层沥青→撒铺第一层集料→碾压→浇洒第二层沥青→撒铺第二层集料→碾压→浇洒第三层沥青→撒铺第三层集料→碾压→控制交通→初期养护。

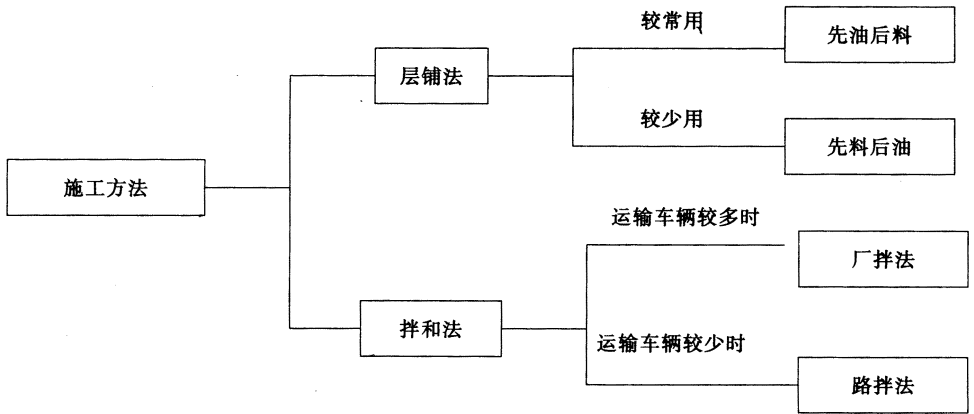


图 4-3-5 沥青表处的施工方法

双层式表处施工与三层式表处施工相比,仅减少一次洒油、撒料和碾压厚度为 1.5 ~ 2.5cm。而单层表处施工与三层表处施工相比,仅可减少两次洒油、撒料与碾压厚度为 1.0 ~ 1.5cm。

(2) 施工要点

① 施工前的准备工作

基层质量检查和整修 沥青表面处治施工应在安装路缘石以后进行,其基层必须清扫干净。施工前应对基层或旧路面的抗压强度、压实度、厚度、宽度、平整度、拱度及纵断高程等进行检查,其标准应按《公路路面基层施工技术规范》JTJ034—2000 规定执行。

基层或旧路面若有坎坷不平、松散、凹坑和软弱之处,应在面层铺筑之前整修完毕。

沥青的准备 根据工程所需沥青数量备足材料,沥青运到工地后一般应逐桶进行初步检验,不同规格的沥青应分别堆放,并加以标记。然后,每堆均取 2 ~ 3 个试样进行试验,检验其技术指标。沥青加热站的准备工作包括设置油锅、开挖预热火道、开辟贮油场地、搭盖棚顶、疏通周围排水渠道,以利排水。如沥青中含有水分时,应在使用前进行脱水。

矿料的准备 按规定备足所需各种矿料(包括碎、砾石)不同规格的矿料应分别堆置,不得混杂;各种矿料到达工地后,应对其规格和质量进行检查,若不符合要求时,应重新过筛再行检查,若有污染,需用水冲洗干净;当人工铺料时,矿料应分散堆置在两侧路肩上,并交错堆成行。以上各项施工前的准备工作,适用于各种类型的沥青路面。

② 浇洒沥青

沥青的浇洒温度应满足以下要求:石油沥青 130 ~ 170℃,煤沥青 80 ~ 120℃,乳化沥青的乳液温度不应超过 60℃。

沥青应浇洒均匀,不得有空白、缺边、积聚等现象,否则应立即用人工补洒或刮除;沥青浇洒的长度应与集料撒铺机能力相适应,避免沥青浇洒后等较长时间才撒铺集料,前

后两车喷洒的接茬应搭接良好,在相邻两段的接茬处,可用铁板横铺在下段起洒点前及上段终洒点后,接茬长度一般为 $1 \sim 1.5\text{m}$ 。若数幅浇洒时,其纵向搭接宽为 $10 \sim 15\text{cm}$,浇洒第二、第三层沥青时,其搭接缝应错开,不得在潮湿的集料或基层上浇洒沥青。浇洒主层沥青后,应立即用集料撒铺机撒铺第一层集料。

③撒铺集料

施工时若使用乳化沥青,其集料撒铺须在乳液破乳前完成,撒铺集料后应及时扫匀,若局部缺料时,应采用人工方法适当找补,若局部积料过多时,应将多余集料扫出,在两幅接茬处,应搭接良好。

④碾压

沥青表处的碾压顺序:第一层采用 $6 \sim 8\text{t}$ 钢筒双轮压路机,由路边至中心碾压,每次碾压轮迹应重叠 30cm ,碾压 $3 \sim 4$ 次。第二层、第三层的施工方法和要求应与第一层相同,但压路机吨位增加为 $8 \sim 10\text{t}$ 。

⑤控制交通,初期养护

除乳化沥青表面处治应待破乳后水分蒸发并基本成形后方可通车外,沥青处在碾压结束后即可开放交通。在通车初期应设专人指挥交通或设障碍物控制行车,使路面全部宽度均匀压实。并限制行车速度不超过 20km/h ,严禁畜力或铁轮车行驶。

2. 拌和法施工程序及施工要点

沥青表面处治的另一种施工方法是拌和法。拌和法又可分为冷拌、热拌、路拌和厂拌四种。拌和法的施工质量容易保证,且用油量少,路面成形快,并可适当延长施工季节。

(1)路拌法施工程序

路拌法施工程序应按以下步骤进行:筛备矿料→施工放样、安路缘石→清扫基层→沿路分堆备料→人工干拌级配矿料→掺入沥青并拌匀→摊铺并整形→碾压→初期养护。

(2)厂拌法施工程序

厂拌法施工程序应按以下步骤进行:熬制沥青→定量配料→机械集中厂拌→运料→施工放样、安路缘石→清扫基层→卸料→摊铺并整形→碾压→初期养护。

(3)施工要点

拌和法施工,在拌和时要严格控制油石比,厂拌时装车温度不超过 90°C ,摊铺温度不低于 40°C ,摊铺时要近锹翻料,不得远甩扬掷,整形时也不得多用齿耙,以防止粗细集料分离。碾压和初期养护同层铺法。

(四)施工注意事项

各工序须紧密衔接,不得脱节;当天施工的路段须当天完成,以免发生沥青冷却、不能覆裹矿料、汪土污染等不良后果,施工时不得在潮湿的矿料或基层上洒油。若施工时

遇雨,应待矿料晾干后方可继续施工;施工现场应设有工地试验室,以检验材料和施工质量,并做好原始记录;严格控制基层的工程质量和面层的油石比与用量,加强初期养护工作,它是保证施工质量的重要环节,渣油表处更是如此。

二、沥青贯入式面层施工

(一)概述

沥青贯入式路面是在初步压实的碎石(或破碎砾石)上,用沥青浇灌,再分层撒铺嵌缝料和浇洒沥青,并通过分层压实而形成的一种较厚的路面面层。其厚度宜为4~8cm,但乳化沥青贯入式路面的厚度不宜超过5cm。适用于二级和二级以下公路。

沥青贯入式路面的最上层应撒布封层料或加铺拌和层。乳化沥青贯入式路面铺筑在半刚性基层上时,应铺筑下封层。沥青贯入式作为联结层使用时,可不撒表面封层料。

沥青贯入式路面宜选择在干燥和较热的季节施工,并宜在雨季前及日最高温度低于15℃到来以前半个月结束,使贯入式结构层通过开放交通碾压成形。

(二)材料规格和用量

1. 沥青

沥青贯入式路面的结合料可采用粘稠石油沥青、煤沥青或乳化沥青,各种沥青应符合下列规定:

(1)当采用石油沥青时,其沥青用量应符合表4-3-24的规定。其沥青标号的选用可参见表4-3-21。

表4-3-24 沥青贯入式面层材料规格和用量(方孔筛)
(用量单位:集料:m³/1000m²,沥青及沥青乳液:kg/m²)

| 沥青品种 | 石油沥青 | | | | | |
|--------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | 4 | | 5 | | 6 | |
| 厚度(cm) | 规格 | 用量 | 规格 | 用量 | 规格 | 用量 |
| 封层料 | S14 | 3~5 | S14 | 3~5 | S13(S14) | 4~6 |
| 第三遍沥青 | | 1.0~1.2 | | 1.0~1.2 | | 1.0~1.2 |
| 第二遍嵌缝料 | S12 | 6~7 | S11(S10) | 10~12 | S11(S10) | 10~12 |
| 第二遍沥青 | | 1.6~1.8 | | 1.8~2.0 | | 2.0~2.2 |
| 第一遍嵌缝料 | S10(S9) | 12~14 | S8 | 16~18 | S8(S6) | 16~18 |
| 第一遍沥青 | | 1.8~2.1 | | 2.4~2.6 | | 2.8~3.0 |
| 主层石料 | S5 | 45~50 | S4 | 55~60 | S3(S2) | 66~76 |
| 沥青总用量 | 4.4~5.1 | | 5.2~5.8 | | 5.8~6.4 | |

(2)当采用煤沥青时,应将沥青用量相应增加 15%~20%,沥青标号的选用可参见表 4-3-21;

(3)当采用乳化沥青时,乳液用量应按其中的沥青含量折算。乳液用量见表 4-3-24。乳化沥青的标号按表 4-3-25 选用。

表 4-3-25 道路用乳化石油沥青技术要求

| 项 目 | | 种 类 | | PC-1 | PC-2 | PC-3 | BC-1 | BC-2 | BC-3 |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------|--------|------------|----------------|-----------------|------|------|
| | | PA-1 | PA-2 | PA-3 | BA-1 | BA-2 | BA-3 | | |
| 筛上剩余量 不在于(%) | | 0.3 | | | | | | | |
| 电 荷 | | 阳离子带正电(+) 阴离子带负电(-) | | | | | | | |
| 破乳速度试验 | | 快裂 | 慢裂 | 快裂 | 中或慢裂 | 慢裂 | | | |
| 粘 度 | 沥青标准粘度计 C_{25} (s) | 12~45 | 8~20 | | 12~100 | | 40~100 | | |
| | 恩格拉度 E_{25} | 3~15 | 1~6 | | 3~40 | | 15~40 | | |
| 蒸发残留物含量不小于(%) | | 60 | 50 | | 55 | | 60 | | |
| 蒸 发 性 残 留 物 质 | 针入度(100g, 25℃, 5s) (0.1mm) | 80~200 | 80~300 | 60~160 | 60~200 | 60~300 | 80~200 | | |
| | 残留延度比(25℃)不小于(%) | 80 | | | | | | | |
| | 溶解度(三氯乙烯)不小于(%) | 97.5 | | | | | | | |
| 贮存稳定性 | 5d 不大于(%) | 5 | | | | | | | |
| | 1d 不大于(%) | 1 | | | | | | | |
| 与矿料的粘附性 裹覆面积不小于 | | 2/3 | | | | | | | |
| 粗粒式集料拌和试验 | | — | | | 均匀 | — | | | |
| 细粒式集料拌和试验 | | — | | | | 均匀 | | | |
| 水泥拌和试验, 1.18mm 筛上 剩余量 不大于(%) | | — | | | | 5 | | | |
| 低温贮存稳定度(-5℃) | | 无粗颗粒或结块 | | | | | | | |
| 用 途 | | 表面处治及贯入式洒布用 | 透层油用 | 粘层油用 | 拌制粗粒式沥青混合料 | 拌制中粒式及细粒式沥青混合料 | 拌制砂粒式沥青混合料及稀浆封层 | | |

注:①乳液粘度可选沥青标准粘度计或恩格拉粘度计的一种测定, C_{25} 表示测试温度 25℃、粘度计孔径 3mm, E_{25} 表示在 25℃时测定;

②贮存稳定性一般用 5d 的,如时间紧迫也可用 1d 的稳定性;

③PC、PA、BC、BA 分别表示洒布型阳离子、洒布型阴离子、拌和型阳离子、拌和型阴离子乳化沥青;

④用于稀浆封层的阴离子乳化沥青 BA-3 型的蒸发残留物含量可放宽至 55%。

2. 集料

沥青贯入式路面的集料应选择有棱角、嵌挤性好的坚硬石料,其规格及用量应符合有关规定。沥青贯入式主层集料中大于粒径范围中值的数量不得少于 50%。当细集料含量偏多时,嵌缝料用量宜用低限。

沥青贯入式的主层集料的最大粒径宜与贯入层厚度相同。若采用乳化沥青时,主层集料的最大粒径可采用厚度的 0.8~0.85 倍,其数量宜按压实系数 1.25~1.30 计算。

(三) 沥青贯入式面层的施工程序及施工要点

1. 施工程序

施工程序见图 4-3-6。

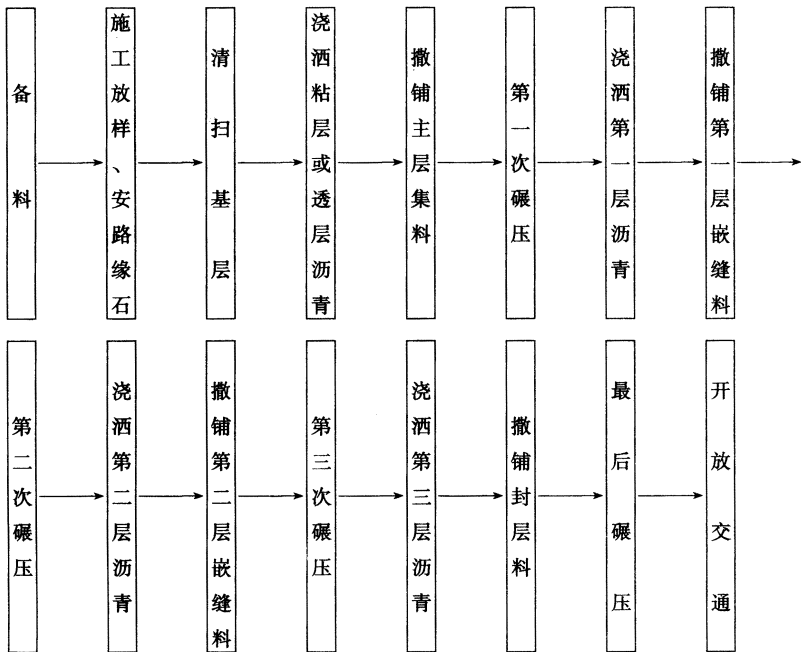


图 4-3-6 沥青贯入式面层施工程序图

2. 施工要点

(1) 摊铺主层集料

主层集料应撒铺均匀,避免颗粒大小不均,撒铺后,严禁车辆在铺好的集料层上通行。并立即用 6~8t 的钢筒式压路机进行初压,碾压速度宜为 2km/h。并检验路拱和纵面坡度,当不符合要求时,应找平再压,至集料无显著轮迹为止。然后再用 10~12t 的压路机进行碾压,每次轮迹重叠 1/2 左右,碾压 4~6 遍,至主层集料嵌挤稳定,无显著轮迹为止。

(2) 浇洒第一层沥青

主层集料碾压完毕后,应立即浇洒第一层沥青,沥青的浇洒方法按沥青表面处治施

工要求进行,当采用乳化沥青贯入时,为防止乳液下漏过多,可在主层集料碾压稳定后,先撒铺一部分上一层嵌缝料,再浇洒主层沥青。

(3)撒铺第一层嵌缝料

撒铺第一层嵌缝料后应立即扫匀,不足处应找补。若使用乳化沥青时,石料撒铺须在乳液破乳前完成。

(4)第二次碾压

嵌缝料扫匀后,应立即用 8~12t 钢筒式压路机进行碾压,每次轮迹重叠 1/2 左右,碾压 4~6 遍,至稳定为止。碾压时随压随扫,使嵌缝料均匀嵌入,若碾压时气温过高而产生较大的推移现象时,应立即停止碾压,待气温稍低时再继续碾压。

(5)开放交通

沥青贯入式路面开放交通后的交通控制及初期养护要求同沥青表面处治施工。

三、热拌沥青混合料面层施工工艺

(一)概述

热拌沥青混合料系指热拌沥青混凝土与热拌沥青碎石。

热拌沥青混凝土路面是由几种大小不同颗粒的矿料(如碎石、轧制砾石、石屑、砂和矿粉等),用热沥青作结合料,按一定比例配合,在严格的配比及温度控制条件下拌和,经压实成形的路面面层。这种沥青混合料称为沥青混凝土混合料。

热拌沥青混合料的种类应按表 4-3-26 选用。其规格以方孔筛为准,集料最大粒径不宜超过 31.5mm。

表 4-3-26 热拌沥青混合料种类

| 混合料类别 | 方孔筛系列 | | | 对应的圆孔筛系列 | | |
|-------|-------|-------|--------|------------------|----------------|----------|
| | 沥青 | 沥青 | 最大集料 | 沥青 | 沥青 | 最大集料 |
| | 混凝土 | 碎石 | 粒径(mm) | 混凝土 | 碎石 | 粒径(mm) |
| 特粗式 | | AM-40 | 37.5 | | LS-50 | 50 |
| 粗粒式 | AC-30 | AM-30 | 31.5 | LH-40 或 LH-35 | LS-40 LS-35 | 40 35 |
| | AC-25 | AM-25 | 26.5 | LH-30 | LS-30 | 30 |
| 中粒式 | AC-20 | AM-20 | 19.0 | LH-25 | LS-25 | 25 |
| | AC-16 | AM-16 | 16.0 | LH-20 | LS-20 | 20 |

| 混合料类别 | 方孔筛系列 | | | 对应的圆孔筛系列 | | |
|-------|-------|-------|--------|----------|-------|--------|
| | 沥青 | 沥青 | 最大集料 | 沥青 | 沥青 | 最大集料 |
| | 混凝土 | 碎石 | 粒径(mm) | 混凝土 | 碎石 | 粒径(mm) |
| 细粒式 | AC-13 | AM-13 | 13.2 | LH-15 | LS-15 | 15 |
| | AC-10 | AM-10 | 9.5 | LH-10 | LS-10 | 10 |
| 砂粒式 | AC-5 | AM-5 | 4.75 | LH-5 | LS-5 | 5 |
| 抗滑表层 | AK-13 | — | 13.2 | LK-15 | — | 15 |
| | AK-16 | — | 16.0 | LK-20 | — | 20 |

(二)材料规格及用量

1. 沥青

热拌沥青混合料可采用粘稠石油沥青或软煤沥青,所用沥青标号应满足表 4-3-27 的要求。

表 4-3-27 热拌沥青混合料的施工温度(℃)

| 沥青种类 | | 石油沥青 | | | 煤 沥 青 | |
|-------------|--------|---------------------------|---------|---------|------------------------|--------|
| 沥青标号 | AH-50 | AH-110 | AH-130 | A-200 | T-8 | T-5 |
| | AH-70 | | | | T-9 | T-6 |
| | AH-90 | A-100 | A-140 | | T-7 | |
| | A-60 | A-180 | | | | |
| 沥青加热温度 | | 150~170 | 140~160 | 130~150 | 100~130 | 80~120 |
| 矿料温度 | 间歇式拌和机 | 比沥青加热温度高 10~20 (填料不加热) | | | 比沥青加热温度高 15 (填料不加热) | |
| | 连续式拌和机 | 比沥青加热温度高 5~10 (填料加热) | | | 比沥青加热温度高 8 (填料加热) | |
| 沥青混合料出厂正常温度 | | 140~165 | 120~160 | 120~150 | 90~120 | 80~110 |
| 混合料贮料仓贮存温度 | | 贮料过程中温度降低不超过 10 | | | 贮料过程中温度降低不超过 10 | |
| 运输到现场温度 | | 不低于 120~150 | | | 不低于 90 | |
| 摊铺温度 | 正常施工 | 不低于 110~130 不超过 165 | | | 不低于 80 不超过 120 | |
| | 低温施工 | 不低于 120~140 不超过 175 | | | 不低于 100 不超过 140 | |

| 沥青种类 | | 石油沥青 | 煤 沥 青 |
|--------|-------|-------------------|-----------------|
| 碾压温度 | 正常施工 | 110 ~ 140 不低于 110 | 80 ~ 110 不低于 75 |
| | 低温施工 | 120 ~ 150 不低于 110 | 90 ~ 120 不低于 85 |
| 碾压终了温度 | 钢轮压路机 | 不低于 70 | 不低于 50 |
| | 轮胎压路机 | 不低于 80 | 不低于 60 |
| | 振动压路机 | 不低于 65 | 不低于 50 |
| 开放交通温度 | | 路面冷却后 | 路面冷却后 |

注：①施工温度与沥青品种及标号有关，较稠的沥青使用靠近高限，较稀的沥青可靠近低限；
 ②本表不适用于改性沥青混合料施工；
 ③对高速公路、一级公路，沥青混合料出厂温度超过正常温度高限的 30℃时，混合料应予废弃。

2. 粗集料

应选用强度不低于Ⅲ级且耐磨、方正、有棱角的碱性矿料，所用石料须清洁、干燥，不含污泥等杂质，粘土及灰尘含量不大于 1%，所选用石料级配应符合有关规定。

3. 砂

天然砂或人工砂均可，但须具有一定的级配组成，且砂质应清洁、坚硬、不含杂质，含泥量不大于 4%。

4. 矿粉

一般采用石灰石粉，其中粒径小于 0.074mm 的成分不宜少于 80%。

(三) 热拌沥青混合料面层的施工程序及施工要点

1. 施工程序

热拌沥青混合料面层的施工程序见图 4-3-7。

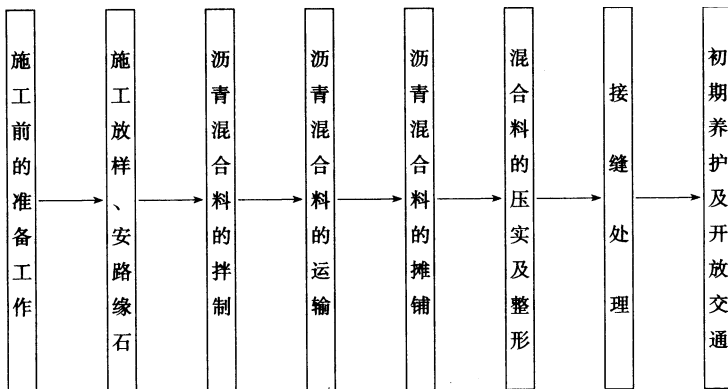


图 4-3-7 热拌沥青混合料施工程序图

2. 施工要点

(1) 施工前的准备工作

① 基层的准备

热拌沥青混合料面层施工前,应按规定对基层进行检查,当基层质量符合要求后,方可修筑沥青面层。

② 进场材料的质量检查

热拌沥青混合料面层施工前,应对每批到场的沥青均应检查其生产厂家所附的试验报告、数量、生产日期、数量及试验结果等。对每批沥青进行抽检,否则,应加倍抽验或退货。

对进场的碎石、砂、石屑、矿粉等材料都要严格检查,不合格材料严禁入场。经选择确定的材料在施工过程中应保持稳定,不得随意变更。

③ 施工机械的检查

拌和与运输设备的检查:热拌沥青混合料的拌和设备在开始动转之前应进行一次全面检查,看其各项性能是否完好。检查运输车辆是否符合要求,保温设备是否齐全。

摊铺及压实机械的检查:摊铺机、压路机应检查其规格是否满足要求,主要机械性能是否良好。

④ 铺筑试验路段

沥青路面大面积施工前,应先铺筑试验路段。通过试验路段的修筑,用以研究确定合适的拌和时间和温度,摊铺时间和摊铺温度,压实机械的合理组合,压实温度和压实方法,松铺系数及作业段长度。在试验段中,抽检沥青混合料的沥青含量、矿料级配、稳定度、流值、空隙率、密实度等。混合料压实 12h 后,按标准方法进行密实度、厚度的抽查。

通过试验段的修筑、优化拌和、运输、摊铺、碾压等施工机械设备的组合和工序衔接,确定混合料的生产配合比,明确人员的岗位职责,最后提出标准施工方法。

(2) 热拌沥青混合料的拌制(厂拌工艺)

① 操作程序

沥青混合料必须在沥青拌和厂(场、站)采用拌和机械拌制。拌和机械有间歇式和连续式两各,各类拌和机均应有防止矿粉飞扬散失的密封性能及除尘设备,并有检测拌和温度的装置,间歇式拌和机须在每盘拌和前计量混合料各种材料的质量,其拌和工艺见图 4-3-8。而连续式拌和机则在计量各种材料之后连续不断地送进拌和器中拌和,边拌和边出料,其拌和工艺见图 4-3-9。

热拌沥青混合料拌和的主要工作是将几种矿料按比例混合起来烘干加热,然后用筛子分成大、中、小几种,按每次拌和所需用量比例重新精确混合起来,加入预定数量的矿粉和加热的沥青,经机械拌和均匀,其拌和程序图见图 4-3-10 所示。

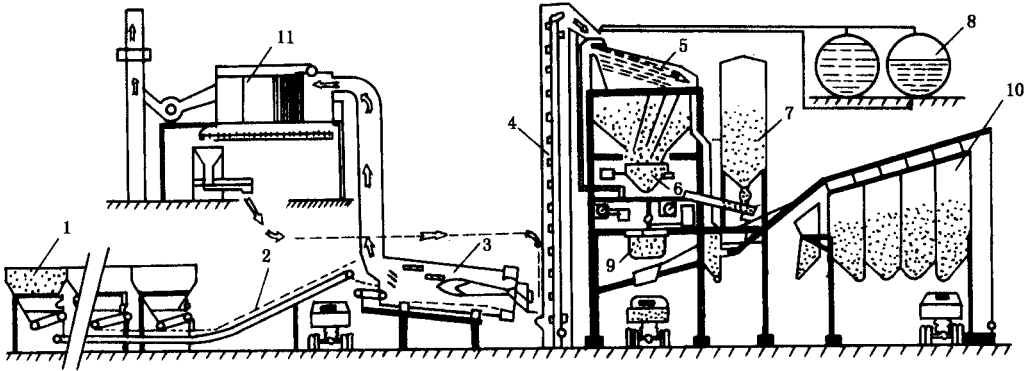


图 4-3-8 间歇式拌和机工艺流程图

- 1—冷集料定量给料装置 2—冷集料输送机 3—干燥滚筒 4—热集料提升机 5—热集料筛分机和热集料贮斗 6—热集料定量给料器 7—矿粉贮仓和定量供给装置；
8—沥青保温罐和定量供给装置 9—搅拌机 10—混合料成品贮仓 11—除尘装置

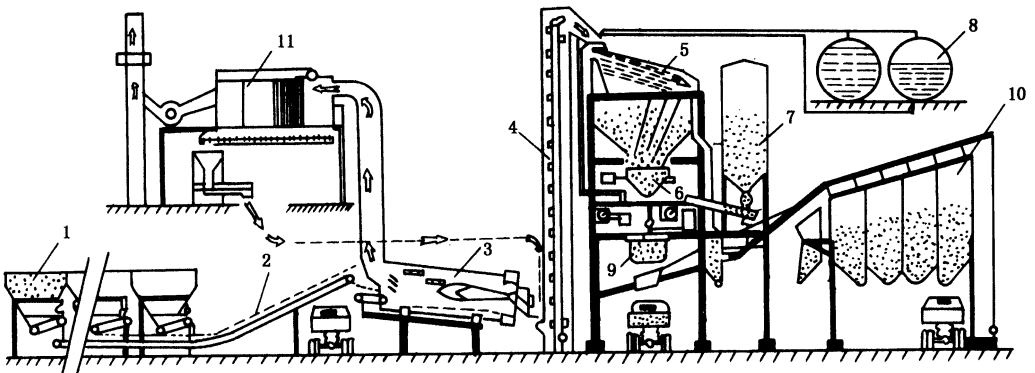


图 4-3-9 连续式拌和机工艺流程图

- 1—冷集料定量给料装置 2—冷集料输送机 3—干燥滚筒 4—热集料提升机 5—热集料贮斗；
6—热集料定量给料器 7—矿粉贮仓及定量供给系统 8—沥青保温罐和定量供给系统；
9—连续作业式搅拌机 10—成品贮仓 11—除尘装置

② 试拌

试拌的目的主要是检查拌和设备的各部分是否工作正常，能否按确定的配比生产混合料。同时，确定合适的拌和时间。在此时间下，拌制的混合料既均匀，又没有矿粉团聚现象，且沥青混凝土混合料试拌的强度最高。

热拌沥青混合料拌和程序图如图 4-3-10 所示。

每天开始工作之前，应对拌和设备进行检查，确保正常运行。为使沥青混合料拌和均匀，在拌制时，严格控制各种材料用量及加热温度和混合料的出厂温度。各类沥青混合料的拌制温度应符合表 4-3-27 要求。拌和后的沥青混合料应均匀一致、无花白料、无结团成块或严重的粗细料分度现象，不符合要求时不得使用，并及时调整。

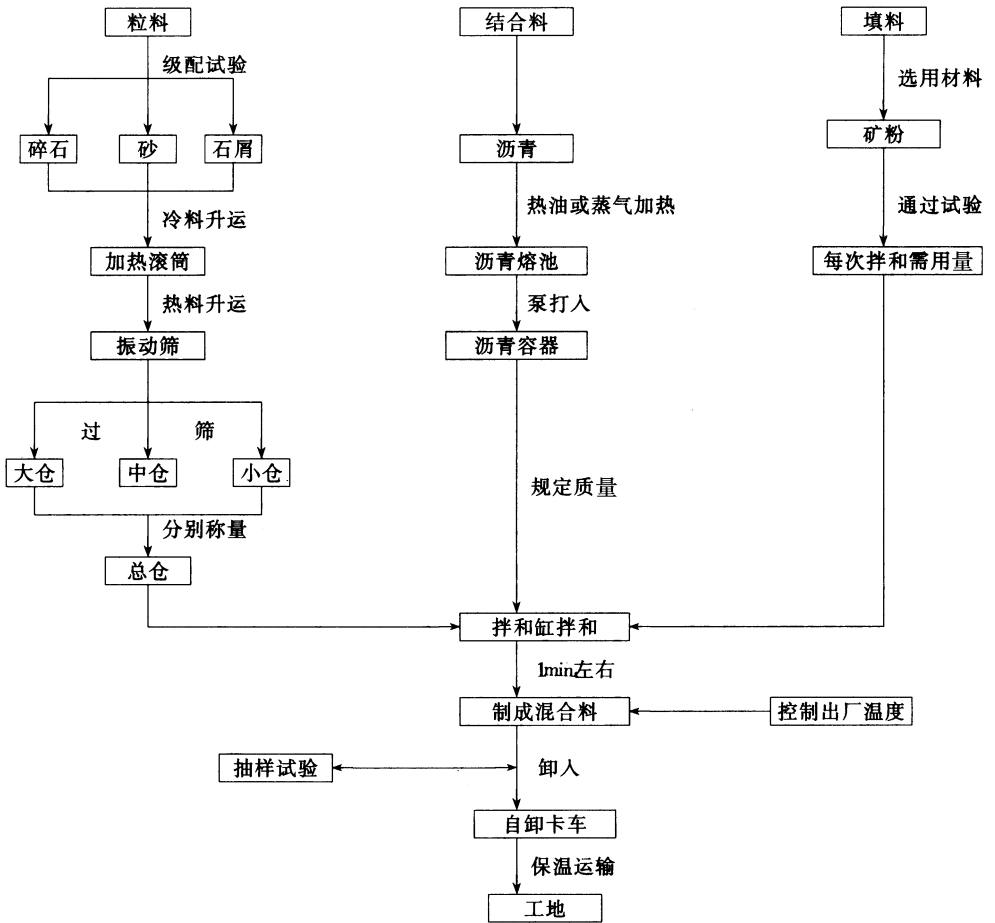


图 4-3-10 拌制沥青混合料的工艺流程图

(3) 热拌沥青混合料的运输

热拌沥青混合料应采用较大吨位的自卸汽车运输,其车厢应清洁并需涂油;为防止粗、细集料产生离析现象,每卸一斗混合料应挪动一下汽车位置;运料车应用篷布覆盖,用以保温、防雨、防污染,沥青混合料运至摊铺地点后应检查其拌和质量,已结块或遭雨淋及不符合温度要求的混合料不得铺筑在道路上。

(4) 热拌沥青混合料的摊铺

铺筑沥青混合料前,应检查其下层的质量。若下层质量不符合要求,或未按规定洒透层、粘层、铺筑下封层时,不得铺筑沥青面层。热拌沥青混合料摊铺工艺见图 4-3-11。

热拌沥青混合料铺筑时还应满足下列要求:热拌沥青混合料面层宜在干燥、暖和的天气铺筑,对高速公路和一级公路宜采用两台以上推铺机成梯队作业,进行联合摊铺,相邻两幅应重叠 5~10cm,相邻两台摊铺机宜相距 10~30cm,摊铺前料斗内应涂刷少量柴油。沥青混合料的摊铺温度应符合表 4-3-27 的要求,热拌沥青混合料的松铺系数按表 4-

3-28 选用。在铺筑过程中应随时检查摊铺层厚及路拱横坡,不符合要求时应及时进行调整。沥青混合料必须缓慢、均匀、连续不间断地进行摊铺,摊铺过程中不得随意变换速度或中途停顿。

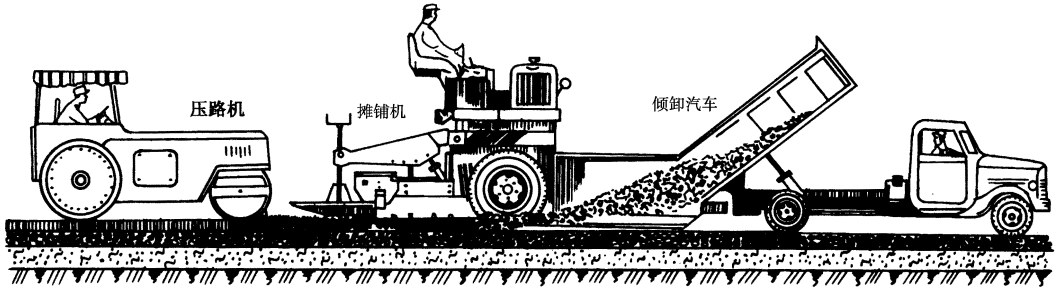


图 4-3-11 热拌沥青混合料摊铺机操作示意图

表 4-3-28 沥青混合料的松铺系数

| 种 类 | 机械摊铺 | 人工摊铺 |
|----------|-------------|-------------|
| 沥青混凝土混合料 | 1.15 ~ 1.35 | 1.25 ~ 1.50 |
| 沥青碎石混合料 | 1.15 ~ 1.30 | 1.20 ~ 1.45 |

(5) 热拌沥青混合料的压实及成形

热拌沥青混合料的压实应按初压、复压、终压(包括成形)三个阶段进行。沥青混合料压实宜采用钢筒式静态压路机与轮胎压路机或振动压路机组合方式,压路机应以慢而均匀的速度碾压,压路机的碾压速度应符合表 4-3-29 的规定。

表 4-3-29 压路机碾压速度(km/h)

| 压路机类型 | 初 压 | | 复 压 | | 终 压 | |
|------------|---------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| | 适宜 | 最大 | 适宜 | 最大 | 适宜 | 最大 |
| 钢筒式压路机 | 1.5~2 | 3 | 2.5~3.5 | 5 | 2.5~3.5 | 5 |
| 轮胎压路机 | — | — | 3.5~4.5 | 8 | 4~6 | 8 |
| 振 动 压路机 | 1.5~2 (静压) | 5 (静压) | 4~5 (振动) | 4~5 (振动) | 2~3 (静压) | 5 (静压) |

①初压

沥青混合料的初压应符合下列要求:

初压应在热拌沥青混合料摊铺后较高温度下进行,并不得产生推移、开裂现象;压实温度应符合表 4-3-27 的要求。碾压时应从两侧向中央进行,相邻碾压带应重叠轮宽的 1/2~1/3,最后碾压中心部分,压完全幅为一遍;碾压时应采用 6~8t 的双轮钢筒式压

路机或 6~10t 关闭振动装置的振动压路机碾压两遍;初压后应检查其平整度和路拱度,不符合要求时应予修整;碾压时应将驱动轮面向摊铺机,见图 4-3-12 所示。碾压路线及方向不应突然改变,压路机起动、停止时须慢速进行。

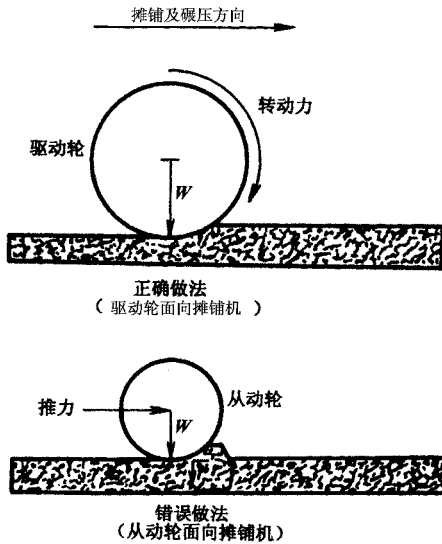


图 4-3-12 压路机的碾压方向

②复压

复压应紧接在初压后进行,并符合下列要求:

复压宜采用重型的轮胎压路机(总质量不小于 15t),也可采用振动压路机或钢筒式压路机碾压 4~6 遍,至达到要求的压实度,并无显著轮迹为止;当采用轮胎式压路机时,其相邻碾压带应重叠 1/2~1/3 的碾压轮宽度;当采用三轮钢筒式压路机时,相邻碾压带应重叠后轮宽的 1/2。当采用振动压路机时,倒车时应先停止振动,并在向另一方向运动后再开始振动,以免形成鼓包。复压温度也应符合表 4-3-27 的要求。

③终压

终压应紧接在复压后进行,并符合下列要求:

终压可选用 6~8t 的双轮钢筒式压路机或关闭振动的振动压路机碾压;碾压次数不宜少于两遍,并无轮迹;路面压实成型的终了温度应符合表 3-2-7 的要求。

④应注意的其他问题

压路机不得在新铺的沥青混合料层上掉头、转向、左右移动位置或突然刹车,并应从已碾压完毕的路段进出碾压区域,不得斜角从路边进出。在当天碾压的尚未冷却的沥青混合料面层上,不得停放任何机械设备或车辆,并防止矿料、杂物等散落在新铺路面上。路面冷却后方可开放交通。

(6) 接缝处理

沥青路面的各种施工缝(包括纵缝、横缝、新旧路面的接缝等)处,往往由于压实不足,容易产生台阶、裂缝、松散等病害,影响路面的平整度和耐久性,施工时必须十分重视。

① 纵缝施工

摊铺时采用梯队作业的纵缝应采用热接缝,施工时应将已铺混合料部分留下 10~20cm 宽暂不碾压,作为后摊铺部分的高程基准面,最后跨缝碾压;半幅施工不能采用热接缝时,宜加设挡板或采用切刀切齐。铺筑另半幅前须将缝边清扫干净,并洒少量粘层沥青。摊铺时应重叠 5~10cm 宽,摊铺后用人工将摊铺在前半幅上面的混合料铲走。碾压时按图 4-3-13 的方式进行,即先在已压实路面上行走,碾压新铺层 10~15cm,然后压实新铺部分,再伸过已压实路面 10~15cm,充分将接缝碾压紧密。上、下层的纵缝应错开 15cm 以上,表层的纵缝应顺直。纵缝应在摊铺之后立即碾压。

② 横缝施工

在摊铺工作中断及混合料冷却的情况下,必须做横缝。横缝应与路中线垂直,相邻两幅及上下层的横向接缝均应错位 1m 以上,铺筑接缝时,可在已压实部分上面铺设一些热混合料使之预热软化,以加强新、旧混合料的粘结。碾压横缝时,应先用双轮或三轮钢筒式压路机进行碾压,见图 4-3-14。碾压时压路机应位于已压实的混合料层上,伸入新铺层的宽度为 15cm。每压一遍向新铺混合料移动 15~20m,直至压路机全部压在新铺混合料层上为止,再改为纵向碾压。

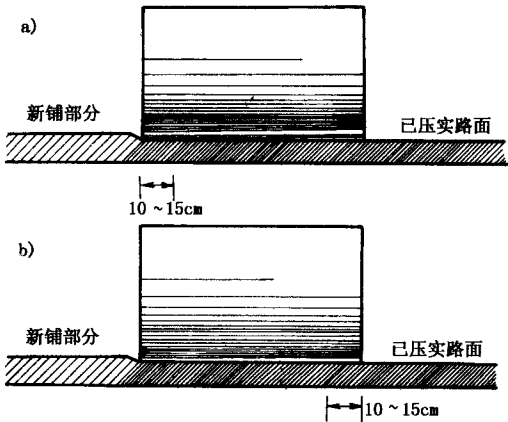


图 4-3-13 纵缝冷接缝的碾压

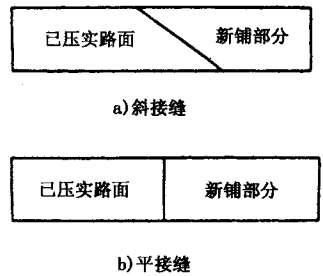


图 4-3-14 横向接缝

(7) 开放交通

热拌沥青混合料路面应待摊铺层完全自然冷却、混合料表面温度低于 50℃后,方可开放交通。若需要提早开放交通时,可洒水冷却以降低混合料的温度。

第三节 沥青路面的压实

满足结构要求的沥青路面的耐用性能受两个主要指标的影响,即设计的混合料和压实。在这两个指标中,缺少任一个都不能保障路面耐用性能。如果不充分压实,甚至最优设计的混合料,都会降低路面的使用性能。然而,经过良好地压实能有效地改进一种不标准的混合料的结果。正由于这个原因,压实被认为是影响沥青路面耐用性能最重要因素之一。

压实过程是减少沥青混合料中气孔含量的过程,此过程为固体颗粒在一种粘弹性介质中的填实和定位,以形成一种更密实和有效的颗粒排列形式。在理论上,此过程发生在施工状况中,而不是交通条件下。

一、沥青路面压实的影响因素

影响沥青路面压实的因素很多,现归纳列于图 4-3-15 中。

该图能良好地表示这些影响因素之间相互关系,这里集中讨论这些因素对沥青路面压实的影响。

(一)材料性能

1. 集料性能

为了达到理想的压实度,粗集料和细集料的一些性质是非常重要的,如颗粒形状、棱角、吸水率和表面构造。级配混合料的最大集料尺寸、粗集料比例、砂用量、矿粉用量和类型等对沥青混合料的压实度都有直接影响。

在与其它指标相同的情况下,从粗到细均匀级配的混合料比单一尺寸集料级配的混合料或间断级配混合料较易压实。粗集料比例大的沥青混合料,必须显著增大压实力,才能获得所需的空隙率。另一方面,多砂的或细级配沥青混凝土极易可塑,这种混合料仍难以达到适当的密实度。多砂的沥青混合料在压实作用下趋于推挤且难以压实。

不同类型的填料对沥青混合料的压实度有显著影响,见图 4-3-16 所示。从图 4-3-16 中可以看出,在其它条件相同的情况下,普通硅酸盐填料沥青混凝土比石灰石矿粉沥青混合料易于压实。

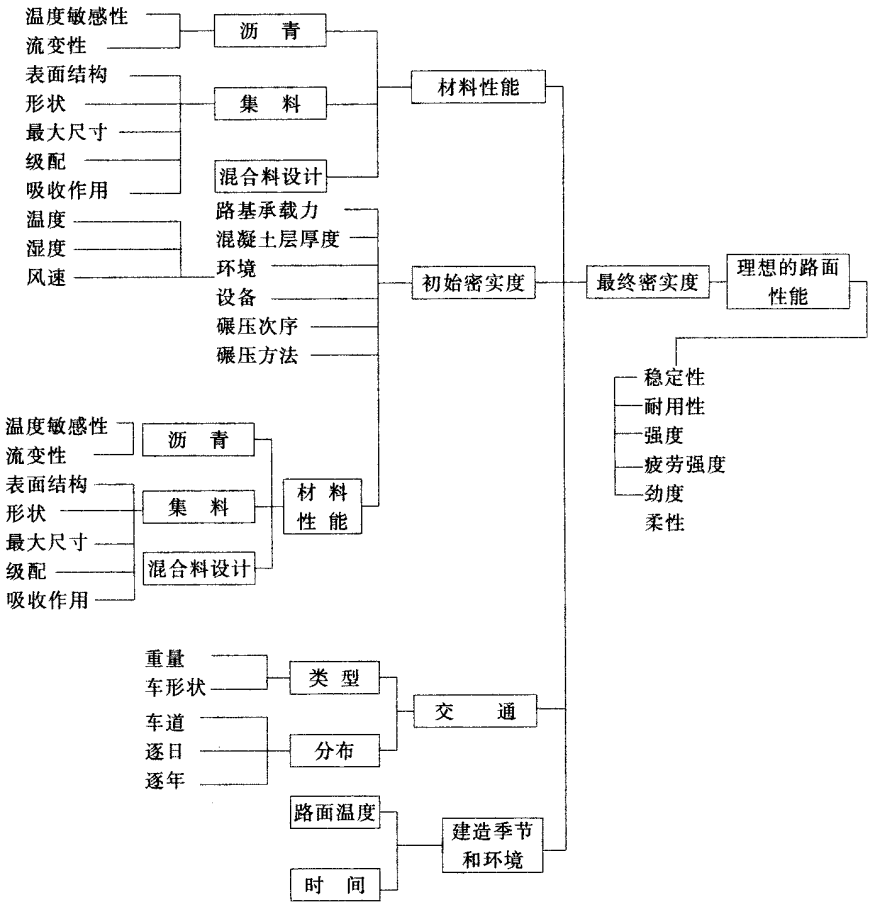


图 4-3-15 影响沥青混凝土路面压实的因素

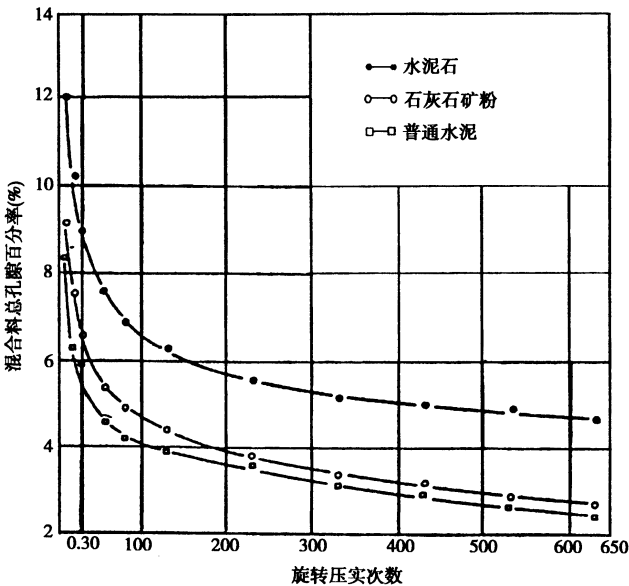


图 4-3-16 不同填料类型对沥青混合料压实度的影响

2. 沥青性能的影响

沥青粘度影响沥青混合料劲度,并与混合料的可压实性有关。当压实沥青混合料时,高粘度往往会牵制颗粒移动,如果粘度太低,压实时集料颗粒容易移动。当沥青混合料较热时,沥青充当克服集料颗粒间摩擦力的润滑剂,在混合料已冷却时,沥青充当结合集料颗粒的结合料。

一般说来,在规定的 135°C 沥青粘度越高,混合料减少空隙率的抵抗力越大,因此,使用高粘度沥青时,采用较高压实温度是减少粘度促进沥青路面可压实的必要手段。

图 4-3-17 表示沥青粘度对压实路面混合料压实度影响。从图 4-3-17 可以看出,在给定的温度下,低粘度的沥青比高粘度的沥青达到的密实度要高,通过升高压实温度,高粘度沥青能达到与低粘度沥青一样高的压实度,于是了解压实温度下沥青粘度的状态对促使沥青路面良好的压实具有重要意义:

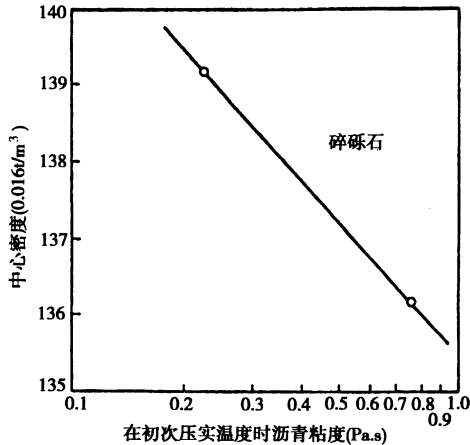


图 4-3-17 沥青粘度对沥青混合料压实度影响

3. 混合料的性能

事实上,沥青混合料性能更大程度地影响沥青路面压实,这种影响甚至比单纯集料或沥青更明显。

当沥青混合料中沥青用量较低时,易形成干涩、粗糙的混合料,这种混合料往往难于压实。当沥青用量太大时,可形成过渡润滑混合料,使混合料在压路机作用下,形成不稳定而且可开裂的混合料,对于低于最佳沥青用量的混合料,可以通过增加压实过程的效率来减少空隙率,达到一种满意的程度,但如果沥青用量高于最佳沥青用量时,在压实时几乎不能防止沥青混合料的极限变形。

如果集料在烘干时含水量未达到规范最小值的要求,这种湿的沥青混合料,在压实过程呈现移动的倾向,结果很难进行压实施工。

(二)温度影响

温度对沥青混合料的压实也是非常显著的,通常高温沥青混合料比处于低温的同种混合料更易压实,一种较软的混合料一般必须在比硬混合料压实温度低的条件下压实。

(三)施工对压实的影响

1. 环境

国外学者 Pickson 研究了控制热从热拌沥青混凝土传递到周围的温度环境,它包括:

①大气温度;②风速;③太阳热幅;④混合料的初始温度;⑤基层的初始温度;⑥面层的厚度。研究表明,损耗到基层的热要超过大气层,因此在压实时,整个路表面随时间的温度分布是很重要的,基层温度、摊铺温度、大气温度和表面温度是影响冷却速率的四个最重要的因素。

一般认为,普通沥青混合料在施工期间,想要在 80°C 条件下减少空隙能力,显得更为困难。在沥青混合料表面温度达到 80°C 之前,若基层温度或厚度适于短时间碾压,那么就可使用振动压路机,以达到一定的压实效果。

对一般沥青混合料来说,高摊铺温度,即大于 150°C 以上,可能有利于压实,但从耐久性观点来看,它有可能降低沥青混合料的性质。

2. 面层厚度

沥青混合料路面的厚度,包含三个意义:一是压实面层的绝对厚度;二是与混合料中骨料最大粒径有关的厚度;三是厚度均匀性。

一般而言,面层越厚,混合料冷却速度就越慢,在温度下降到停止碾压以前用于压实的有效时间也就越长,面层越薄,热损耗越快,这就大大减小了压实的有效时间。

当力求达到所需要的压实度时,集料的最大粒径和面层厚度之间的关系是重要的,从密度和平整度来看,集料最大粒径一般不能超过其厚度一半。

面层厚度的均匀性关系到在面层中能够达到密度的均匀性。

3. 路基的承载力

通常情况下,路基承载力越高,面层越密实。

二、碾压机械选型和组合

(一)常用的沥青路面压实机械

1. 静力光轮压路机

静力光轮压路机使用的历史可以追溯到开始产生沥青路面的时候,在80年代初以前,我国所使用的压实机械也以这种压路机为最多。按其重量可分为特轻型($0.5\sim 2\text{t}$)、轻型($2\sim 5\text{t}$)、中型($5\sim 10\text{t}$)、重型($10\sim 15\text{t}$)和特重型($15\sim 20\text{t}$)五种;按轮数可分为拖式、

双轮式和三轮式三种。对沥青路面施工来讲,目前仍有使用的是中型、特重型两轮或三轮压路机。这种压路机靠其自重或加配重对路面产生静压力,单位直线静压力在 4000 ~ 12000kPa 之间。两轮静力光轮压路机的后轮为驱动轮,其重量一般为 8 ~ 10t。因此,它适用于沥青混凝土路面的初压和终压。三轮静力光轮压路机也是两后轮为驱动轮,重量一般为 12 ~ 18t,由于其单位线压力大,易使混合料产生推移,起动、停机不灵活,所以目前这种压路机已使用的不多。

2. 轮胎压路机

轮胎压路机通常有 5 ~ 11 个光面橡胶轮子,这些轮子具有改变轮胎气压的性能,其工作重量一般为 5 ~ 25t。目前,施工中常用的是前 5 轮后 6 轮的 9 ~ 16t 胶轮压路机,轮胎压力在 500 ~ 620kPa 之间。过去,我们经常使用轮胎压路机进行初压,因为它使混合料产生的推移很小。但是,这些年来经验表明,当轮胎压路机进行初压时,由于这时的混合料温度较高,也比较虚,所以易出现轮胎痕迹,特别是在低温季节或大风环境中,混合料的温度下降较快,这种轮痕难以被后续的碾压作业消除掉。轮胎压路机可用来做中间碾压。我们发现,经静力压路机一次或多次碾压过后,铺层表面有时有热裂现象,这时使用轮胎压路机,能有效地消除面层表面的这种热裂纹。这样压过后,能明显地看到铺层更密实,表面的组织更均匀了,并且靠它的揉压作用,更进一步地提高了密实度,减少了表面的细裂纹和孔隙。在对两侧边做最后压实时,能使整个铺层表面均匀一致,而对路缘石的擦边碰撞破坏比钢轮压路机要小得多。但是,当铺层温度仍较高时($> 80^{\circ}\text{C}$)轮胎压路机不能做终碾,因为这时还会留有轮胎印痕,还需要由轮胎压机不停地碾压,直到铺到 70°C 以下,不再会出现新的印痕,并消除了前面留下的印痕为止。鉴于这个时机和温度不容易掌握,因此目前多用静压压路机做最终碾压。

3. 振动式压路机

振动压路机的压实能力是由压路机的自重和钢轮的振动共同产生的。沥青路面施工常用的振动压路机自重为 7 ~ 18t 之间,激振力为 15 ~ 30t 之间。将其一般分为两种类型:一种是单碾压轮式振动压路机;另一种是双碾压轮(串联)振动压路机。

单轮振动压路机是前面有一个振动轮,后面是两个橡胶驱动轮。有的机型前轮也是驱动轮。这种压路机由于轮胎的印花较深,本身的自重和激振力也较大,因此只用来作复压使用,并且一般也只用于下面层和中面层施工。

双轮振动压路机一般靠两个轮共同驱动,有单轮振动和双轮振动两种,具有可调的振频和振幅。其转向系统有铰接转向、前轮转向和前后轮偏移的铰接转向。前后轮偏移的铰接转向,具有减少转弯中损坏路缘石的危险,以及在弯道时只需注意一个轮子方向的优点,所以目前使用的最为广泛。

振动压路机的振动由附装在旋转轴上的偏心重引起,轴的转速决定着振动的频率;偏心重的质量、至轴心的距离、以及滚筒的质量,决定着振动的标称振幅。

图 4-3-18 对频率和振幅作了表示。频率的定义是每分钟的循环次数,亦即 1 分钟偏心重旋转的周数,可用 $1/T$ 表示。当压路机向前行走时,碾压轮的振动对其碾压的路面产生了连续的冲击力,每分钟冲击的次数则等于振动频率。

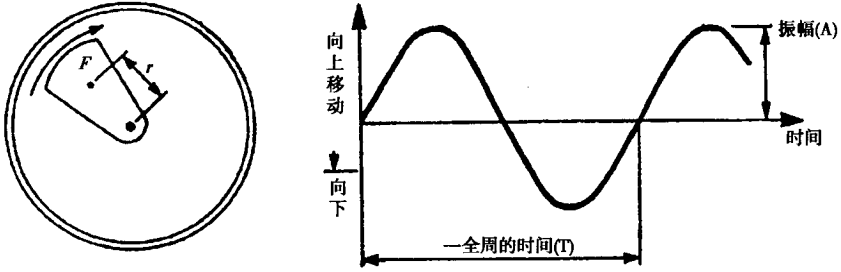


图 4-3-18 旋转偏心重及其频率和振幅的表示
 r —偏心矩; F —偏心重

振幅的定义是偏心重旋转一周中滚筒上下总移动量的一半,用 mm 表示。压路机向碾压路面产生冲击时,滚筒距其静止位置的理论最大偏差称为标称振幅。标称振幅是假设了滚轮在完全弹性的表面上振动,实际上沥青混合料并不是完全弹性的,所以其实际振幅要比标称振幅稍大。

振动压路机由于其振动产生的冲击力,使得单位线压力大大提高,并且当振动压路机对一表面连续地快速冲击时,相同的频率的压力波穿入材料层内,还会使材料的颗粒发生移动,重新进行排列,而使之更密实,所以振动压路机比其它压路机有更好的压实效果。这一点从图 4-3-19 国外的研究成果上也可以得到证实。从图 4-3-19 还可以看出,单靠轮胎压路机是无法使铺层压实度达到 95% 以上的,而用振动压路机碾压 2~4 遍就可使铺层的压实度达到 96%~98%,所以说振动压路机是沥青路面复压的最好机型。

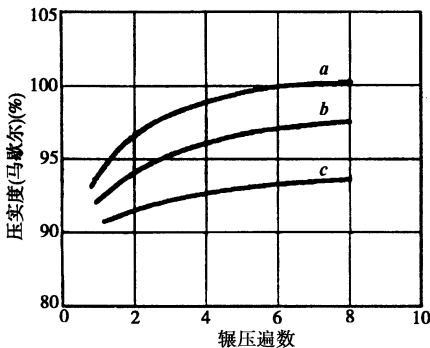


图 4-3-19 在 3.5cm 厚沥青混凝土上的压实试验
 a —10t 双轮振动压路机; b —10t 静力三轮压路机; c —17t 轮胎压路机

(二) 压实机械选型

压实机械选型,在已知摊铺机的生产率、混合料特性、摊铺厚度、摊铺层位、气候特点后,即可基本确定。对于摊铺厚度 3~7cm 的沥青路面,可以参照表 4-3-30 进行选型。

表 4-3-30 碾压机机械选型参考表

| 碾压流程 | 上面层 | 中、下面层 |
|------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 初压 | 8/10t 双钢轮 | 8/10t 双钢轮 |
| | 或 6/8t 双钢轮 | 或 6/8t 双钢轮 |
| | 或静压自重 7~10t 双钢轮 铰接转向振动压路机 | 或静压 7~10t 双钢轮铰接转向压路机 |
| 复压 | 7~10t 双钢轮铰接转向振动压路机 9~16t 轮胎压路机 | 7~10t 双光轮铰接转向振动压路机 和 9~16t 轮胎压路机 |
| | | 或 8~18t 轮胎光轮振动压路机 和 9~16t 轮胎压路机 |
| 终压 | 8~10t 双钢轮 | 2Y8/10t 双钢轮 |
| | 或 6/8t 双钢轮 | 或 2Y6/8t 双钢轮 |
| | 或 7~10t 双钢轮铰接转向压路机 | 或 7~10t 双钢轮铰接转向压路机 |
| | | 或 9~16t 轮胎 |

注:静压指关闭振动装置的无振碾压。

实际上,在条件允许时,施工中常常应考虑选择多用途的压实机械,以便于一个作业面的配合、减少设备的调迁,也有利用维修保养和管理。对摊铺厚度 3.5~7cm 的沥青路面,所选择的压路机型应以静重 7~10t 双钢轮铰接转向振动压路机和 9t 轮胎压路机为最好。这样既能用于上面层又能用于中下面层,既能用于初压又能用于复压和终压。

(三) 压实机械的数量配备及其组合

压实机械选型确定后,即可相应地配备合适的压实机械数量。压实机械的配备数量受诸多因素的影响,主要有:

1. 拌和生产量或摊铺机速度

摊铺后的沥青混合料降至最低允许碾压温度所经过的时间叫有效压实时间。在有效压实时间内,摊铺机所铺筑的长度作为一个碾压作业段,那么,碾压作业段长度就取决于有效的压实时间和摊铺机的作业速度。而压路机的配备要保证有效压实时间内将这一碾压作业段压实成型,有效压实时间见表 4-3-31。当摊铺机的作业速度确定后,即可相应地确定碾压作业段长度。例如,如果摊铺机的作业速度为 2.0m/min,则相应的碾压作业段长度,就可参考表 4-3-31 加以确定。

2. 压路机的类型

压路机自身的重量、击振能力、碾压宽度、单位静线压力和动线压力等,也影响着压

路机的配备数量。

3. 压路机的碾压速度

压路机同样碾压一遍,碾压速度慢比碾压速度快要得到更高的压实度。某路段试验结果见表 4-3-32。

表 4-3-31 摊铺机作业速度为 2m/min 时的碾压作业段长度

| 气温(℃) | 有效压实时间(分钟) | 碾压作业段长度(m) | 备注 |
|--------|------------|------------|----------------------------|
| 5~10℃ | 17~25 | 30~50 | 1. 厚度 5m 中粒式沥青混凝土 2. 微风 |
| 10~15℃ | 25~34 | 50~70 | |
| 15~20℃ | 34~38 | 70~80 | |
| 20~30℃ | 38~51 | 80~100 | |
| >30℃ | >51 | 100~120 | |

表 4-3-32 压路机速度对压实度的影响比较表

| A 段 | 桩号 | 点号 | 初压(%) | | 复压(%) | | | 终压(%) | | 备注 |
|---------------------------|--------|----|----------|----------|----------|----------|----------|---|------|----|
| | | | 静压 2遍 | 振动 2遍 | 振动 2遍 | 胶轮 2遍 | 静压 2遍 | | | |
| A 段 每 小 时 5km | K2+060 | 1 | 89 | 95 | 96 | 96 | 略 | 1. 中粒式沥青混凝土厚 5m; 2. 1996 年 9 月 14 日,晴,气温 32℃, 东南风 2~3 级; 3. 为便于比较,压实度平均值保留到 小数点后一位。 | | |
| | +065 | 2 | 88 | 93 | 96 | 97 | | | | |
| | +070 | 3 | 89 | 94 | 97 | 97 | | | | |
| | +075 | 4 | 90 | 94 | 95 | 96 | | | | |
| | +080 | 5 | 87 | 93 | 95 | 96 | | | | |
| | +085 | 6 | 89 | 94 | 96 | 99 | | | | |
| | +090 | 7 | 91 | 95 | 98 | 98 | | | | |
| | +095 | 8 | 91 | 94 | 96 | 97 | | | | |
| | +100 | 9 | 90 | 92 | 95 | 96 | | | | |
| | 平均 | | | 89.3 | 93.8 | 96 | | | 96.9 | |
| B 段 每 小 时 3km | K2+140 | 1 | 90 | 94 | 97 | 97 | 略 | | | |
| | +145 | 2 | 89 | 94 | 97 | 98 | | | | |
| | +150 | 3 | 89 | 95 | 98 | 98 | | | | |
| | +155 | 4 | 88 | 93 | 95 | 96 | | | | |
| | +160 | 5 | 89 | 95 | 98 | 98 | | | | |
| | +165 | 6 | 87 | 93 | 95 | 96 | | | | |
| | +170 | 7 | 87 | 94 | 96 | 98 | | | | |
| | +175 | 8 | 90 | 95 | 97 | 98 | | | | |
| | +180 | 9 | 91 | 96 | 98 | 98 | | | | |
| | 平均 | | | 88.9 | 94.3 | 96.8 | | | 97.4 | |

从表 4-3-32 可以看出,在初压 2 遍后两段压实度差别不大的情况下,自重 7tCC21 型振动压路机以 5km/h 的速度复压 2 遍后, A 段的压实度平均值为 93.8%,以 3km/h 的速度复压 2 遍后, B 段的压实度平均值为 94.3%,振动压路机以 5km/h 速度复压 4 遍后, A 段的压实度平均值为 96%,以 3km/h 的速度复压 4 遍后, B 段的压实度平均值为 96.8%。

但是,上述结果通过图 4-3-20 比较还反映出同样振碾复压 2 遍,以 3km/h 的碾压速度得到压实度与 5km/h 的比较,平均压实度只高 0.5%;同样振碾复压 4 遍,二者比较平均压实度只高 0.8%。而且,经试验段确定了选择复压 4 遍后,两种速度的平均压实均在 96% 以上。所以在复压和终压时,应尽量选择较高的碾压速度,以提高压路机的效率并减少其配备数量。

4. 压路机有效时间利用系数

压路机在按碾压作业段碾压的过程中,不可能按所定的碾压速度一直地单趟向前碾压,需要做减速、退出作业段的纵向重叠、换向、加速、错轮的横向重叠等工作,还需要加水 and 加油。如果将压路机按照没有上述过程碾压同样的面积所实际使用的时间定义为 T_T , 则有效时间利用系数是 K_R 可按式(4-3-1)求得:

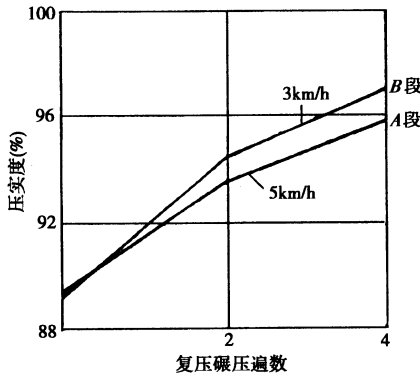


图 4-3-20 压实度、压路机速度和碾压遍数的关系

$$K_R = \frac{T_E}{T_T} \quad (4-3-1)$$

K_R 可按一天碾压的面积来确定,也可按一个碾压作业段,再加上加油、加水的影响来确定。若是按一个碾压作业段来确定的,这时的 T_E 可按式(4-3-2)求得:

$$T_E = \frac{60l \cdot B \cdot n}{1000 V_{压} \cdot b} = \frac{3lB \cdot n}{50 V_{压} \cdot b} \quad (\text{min}) \quad (4-3-2)$$

式中 l ——碾压作业段长度(m);

B ——路幅宽度(m);

b ——压路机单趟辗压宽度(m);

$V_{\text{压}}$ ——压路机碾压速度(km/h);

n ——压实遍数。

实际所用的时间用 s 表测量, K_B 按一个碾压作业段确定时, 还要考虑加油、加水的影响。根据经验分析, 加水、加油所需的时间一般占 10%。

表 4-3-33 是某公路施工中 CC21 型振动压路机碾压速度为 5km/h, 碾压 2 遍, 用实测的 T_T 平均值计算的 K_B 。

压路机的类型不同, 碾压速度不同, 会有不同的有效时间利用系数, 在此不再一一列出。

表 4-3-33 压路机有效时间利用系数

| 碾压作业段长度(m) | T_E (min) | T_T | K_B |
|--------------|---------------|-------|-------|
| 30 | 5.5 | 11.7 | 0.47 |
| 50 | 9.2 | 15.3 | 0.6 |
| 70 | 12.9 | 19.5 | 0.66 |
| 100 | 18.4 | 25.6 | 0.72 |
| 120 | 22.1 | 29.8 | 0.75 |

备注: T_T 中已包含压路机错轮因素的影响, 施工中应掌握错轮宽度在 0.15m 左右。

5. 碾压遍数

在工程开始时, 难以得知确切的碾压遍数。在压路机类型、压实速度、振频振幅、混合料的有效压实时间确定后, 即可通过试验段来确定碾压遍数。开洛高速公路 7 标段 4cm 厚中粒式沥青混凝土、郑许高速公路 5cm 厚中粒式沥青混凝土通过试验段确定的碾压遍数, 见表 4-3-34。

表 4-3-34 郑许高速公路沥青混凝土路面碾压遍数

| 碾压流程 | 压路机型号 | 碾压遍数 |
|------|---------------|--------|
| 初压 | CC21 型双轮振动压路机 | 静压 2 遍 |
| 复压 | CC21 型双轮振动压路机 | 振动 4 遍 |
| | YL9-16 轮胎压路机 | 2 遍 |
| 终压 | 2Y8/10 双钢轮压路机 | 2 遍 |

6. 压实机械的配备数量及组合

碾压机械的生产率 $P_{\text{压}}$ 可由式(4-3-3)计算:

$$P_{\text{压}} = \frac{50bv_{\text{压}}}{3n}K_{\text{B}} \quad (\text{m}^2/\text{min}) \quad (4-3-3)$$

式中 b ——碾压宽度(m);
 $v_{\text{压}}$ ——碾压速度(km/h);
 n ——碾压遍数;
 K_{B} ——有效时间利用系数。

碾压机械的选型、碾压速度、碾压遍数确定后,即可计算所选各种类型压路机的生产率,使其与摊铺机的生产率相匹配,即可按式 4-3-4 计算出各种类型压路机的配备数量。

$$N = \frac{P_{\text{摊}}}{P_{\text{压}}} = \frac{3Bv_{\text{摊}}n}{50bv_{\text{压}}K_{\text{B}}} \quad (\text{台}) \quad (4-3-4)$$

式中 $v_{\text{摊}}$ ——摊铺机的作业速度(m/min)。

碾压机械的配备数量不可能随气温的变化频繁地调整,一般是将年度划分成温度档次,第一个温度档次适用于 5~15℃时的数量配备,第二个温度档次适用于 15℃以上时的数量配备。求出每个档次中需要数量最多时的配备,即作为这个档次通用的数量配备。

当某个碾压流程的配备数量大于所需数量时,应考虑与其它流程的碾压进行组合,协调使用。

三、温度对压实性能的影响

沥青混合料路面的压实性能受配合比设计、沥青品种、压实温度等因素的影响,但是以压实温度的影响最大。因此只有掌握温度对压实性能的影响规律,才能保证沥青混凝土路面压实度和使用性能的要求。

(一)初压温度的确定

沥青的粘度受温度的影响而升高或降低,不同种类沥青的粘度受温度的影响也不同。在初压时温度过高或过低都应避免,当碾压温度过高时,沥青粘性低,混合料易错位和活动,推移现象较严重,还容易出现裂纹。当碾压温度过低时,沥青粘度高,又难以压实,如过度碾压,就会出现发裂现象。因此,在实际工作中,应根据所使用的沥青,采用赛波特粘度计进行粘度试验,求出粘度—温度关系图,并以此来确定其合适的初压温度。

(二)碾压终了温度的确定

关于碾压终了温度,美国曾作过大量的实际施工中的调查,大多数情况下,碾压温度在 82℃至 110℃之间。从野外观察路面损坏情况,发现在 80℃以下压实的路段剥落破坏现象最为严重。美国还做了大量的室内试验,图 4-3-21 是同种混合料在不同温度下

的马歇尔压实试验结果。从图 4-3-21 可以看出, 压实温度 65℃ 以下时, 压实度 96% 以下, 不能达到规定压实度 96% 以上的要求; 压实度在 97% 以上, 能达到规定压实度要求。

表 4-3-35 图 4-3-22 中能明显看到, 在复压温度掌握在 90~115℃ 时, 能得到更高的压实度, 当温度降至 80℃ 下时, 碾压效果已不明显, 继续碾压对压实度的提高不大。这与我国现行的《公路沥青路面施工技术规范》中规定也是相一致的。

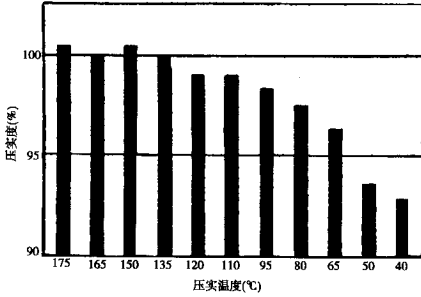


图 4-3-21 压实温度对压实度的影响

表 4-3-35 压实温度对压实度的影响比较表

| | 桩号 | 点号 | 初压 (%) | | 复压 (%) | | 终压 (%) | 备注 |
|-------------------|--------|----|--------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|--|
| | | | 125~120℃ 静压 2 遍 | 100~90℃ 振动 2 遍 | 90~80℃ 振动 2 遍 | 80~70℃ 胶轮 2 遍 | 70~65℃ 静压 2 遍 | |
| A 段 | K2+300 | 1 | 91 | 96 | 96 | 96 | 略 | 1. 中粒式沥青混凝土, 厚 5cm, 1996 年 9 月 14 日, 晴, 气温 32℃, 东南风 2~3 级; 2. 为便于比较, 压实度平均值保留到小数点后一位。 |
| | +310 | 2 | 89 | 94 | 98 | 98 | | |
| | +320 | 3 | 88 | 93 | 95 | 96 | | |
| | +330 | 4 | 87 | 93 | 94 | 96 | | |
| | +340 | 5 | 89 | 92 | 95 | 95 | | |
| | +350 | 6 | 88 | 94 | 96 | 96 | | |
| | +360 | 7 | 89 | 95 | 96 | 96 | | |
| | 平均 | | 88.7 | 93.9 | 95.7 | 96.1 | | |
| B 段 每小时 3km | K2+400 | 1 | 90 | 93 | 98 | 99 | 略 | |
| | +410 | 2 | 94 | 97 | 97 | 97 | | |
| | +420 | 3 | 89 | 95 | 99 | 99 | | |
| | +430 | 4 | 88 | 96 | 98 | 100 | | |
| | +440 | 5 | 87 | 94 | 96 | 97 | | |
| | +450 | 6 | 87 | 94 | 96 | 97 | | |
| | +460 | 7 | 88 | 94 | 97 | 98 | | |
| | 平均 | | 88.6 | 94.4 | 97.3 | 98.1 | | |

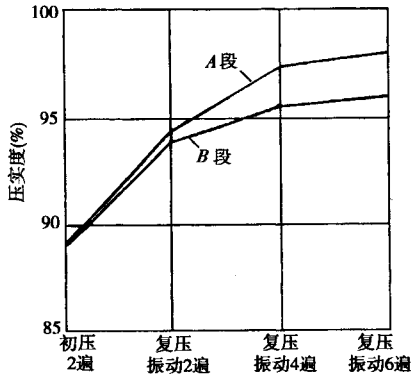


图 4-3-22 沥青混凝土在不同温度下的压实结果

尽管愈高的碾压温度能够得到更高的压实度,但是碾压终了温度也不能掌握的过高,因为这时还会出现混合料的推移现象和出现压路机轮印,如不继续碾压,就无法消除这种推移和压路机的轮印。

(三)有效压实时间的确定

1. 概述

所谓有效压实时间是指混合料从摊铺后的温度降至最低允许碾压温度所需的时间。可用于压实的有效时间取决于混合料摊铺后的冷却速度。决定冷却速度的因素是：

- (1)厚度
- (2)气温
- (3)下卧层表面温度
- (4)风力
- (5)碾压的及时性

厚度越薄冷却越快,风力越大冷却也越快。

2. 温度下降速率

气温高,温度下降的速率就会慢,有效的压实时间就多。因此,在实际施工中,较高的气温时可使用较低的摊铺温度和拌和温度,以降低拌和时的燃料消耗。为此将气温分为低温 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$;偏低温 $10 \sim 15^{\circ}\text{C}$;常温 $15 \sim 20^{\circ}\text{C}$;偏高温 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$;高温 $> 30^{\circ}\text{C}$ 。相应的对摊铺后温度也有了不同的要求,见表 4-3-36。

表 4-3-36 对摊铺后温度的要求

| 气温($^{\circ}\text{C}$) T_a | 摊铺后温度($^{\circ}\text{C}$) |
|--------------------------------|-----------------------------|
| > 20 | 130 ~ 135 |
| $15 \leq T_a \leq 20$ | 135 ~ 140 |
| $5 \leq T_a \leq 15$ | 140 ~ 145 |

在相同的微风条件下,量测距表面 3.5cm 处的温度,得到图 4-3-23 所表示的温度下降速率。

3. 有效压实时间

从图 4-3-23,可以得到铺层降至 80℃的时间,即为有效压实时间,见表 4-3-37。

表 4-3-37 降至 80℃的时间

| 气温 (°C) | 摊铺后温度(°C) | 到达 80℃的时间(min) |
|---------|-----------|----------------|
| 32 | 132 | 51 |
| 20 | 132 | 38 |
| 15 | 140 | 34 |
| 10 | 145 | 25 |
| 5 | 145 | 17 |

从图 4-3-23 中可以看出,摊铺后初压前的温度下降最快,每分钟达到 4~5 度,随着逐步的压实,温度下降的速率得到减缓,所以施工中应安排初压压路机尽可能尾随摊铺机进行碾压。

(四) 沥青混凝土路面低温压实施工

表 4-3-37 列出了沥青混凝土路面摊铺层受气温影响的有效压实时间。从中可以看出,当气温在 15℃以下时,有效的压实时间只有 36min,特别是在气温为 5℃时,有效的压实时间只有 17min,这就增加了压实作业的难度,因此其它施工环节必须紧密配合:

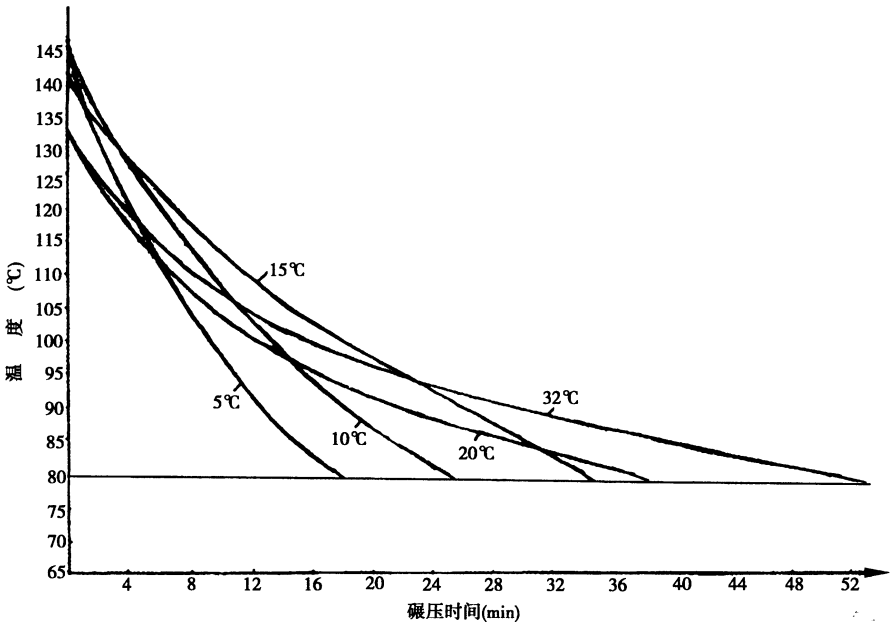


图 4-3-23 5cm 厚沥青混凝土土层的温度下降速率

- (1) 必须配备足够数量的压实设备,力争在有效的压实时间内完成碾压作业;
- (2) 必须根据表 4-3-36 中对摊铺后温度的要求,相应地提出对摊铺温度和拌和温度的要求;
- (3) 混合料在运输过程中要用棉被覆盖,以减少运输过程中温度的散失;
- (4) 初压压路机要紧随摊铺机进行碾压,复压压路机也要及时跟上,以减缓温度下降的速率;
- (5) 当风力在四级以上时,应停止施工;
- (6) 摊铺机的作业速度比常温施工时应适当降低,以保证在有效压实时间内将碾压作业段内的摊铺量及时碾压成型。在气温为 5℃ 时,摊铺机的作业速度应不大于 2m/min,以免在短的碾压作业段内配备太多的压实机械。

四、沥青路面压实技术

前面已经讲述了碾压温度、碾压速度、碾压遍数对沥青路面压实的影响,这些都是提高碾压质量的关键技术,下面介绍保证压实质量的其它一些施工技术。

(一) 碾压流程及一般原则

1. 压实程序

压实流程分为初压、复压和终压三道工序。初压的目的是整平和稳定混合料,同时为复压创造有利条件,是压实的基础,因此要注意压实的平整性,复压的目的是使混合料密实、稳定、成型,混合料的密实程度取决于这道工序,因此必须合理地选择压路机类型和调整压路机的振频振幅,终压的目的是消除轮迹,最后形成平整压实面,因此这道工序不宜用重型压路机在高温下完成。

前面对压路机每个流程的碾压速度、碾压遍数和对温度的掌握作了论述,在此不再赘述。

2. 压路机的碾压方向

碾压时应将驱动轮面向摊铺机(图 4-3-24)。碾压路线及碾压方向不应突然改变而导致混合料产生推移。压路机的起动、停止必须减速缓慢进行。

3. 压路机的错轮

无论何时压路机都应从外侧低处向路中碾压。二轮压路机向前碾压第一遍后,不应在碾压作业段前端错轮,应原路退回碾压第二遍,在碾压作业段的后端进行错轮,然后再碾压下一个碾压带,相邻碾压带应重叠 15cm 左右。压完全幅即为两遍。压路机应在完全退出碾压作业段后停止振动并缓缓错轮,以免错轮过急造成沥青混合料的推移和挤起混合料。

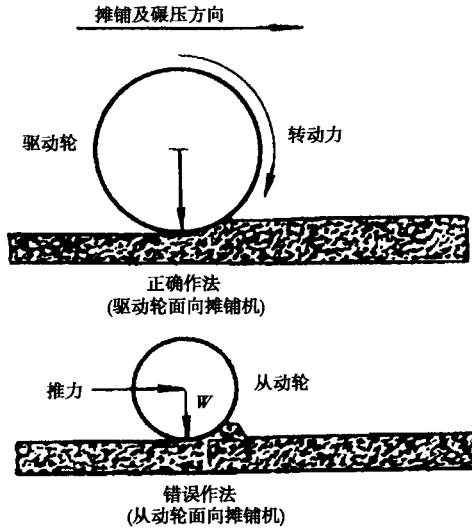


图 4-3-24 压路机的碾压方向

4. 边部的压实

为了防止压路机的碰撞路缘石,压路机不能靠近碾压,应与路缘石间留 10~15cm 的宽度,用振动夯板进行夯实。振动夯板应紧随摊铺机趁高温进行夯实,待压路机复压完后,还需要用振动夯板消除压路机留下的轮痕。

5. 碾压过程中注意的问题

- (1) 碾压作业段的起终点应有标识,最好插旗表示,以避免出现漏压现象;
- (2) 在碾压过程中,为了不使混合料温度下降过快,下一个碾压带就要向摊铺机靠近一些,使折回处不在同一横断面上,而是呈阶梯形地随摊铺机向前前进。
- (3) 在碾压过程中,压路机有沥青混合料粘轮或被带起现象时,可向碾压轮洒少量水或加洗衣粉,严禁洒柴油,轮胎压路机可不洒水,或在连续碾压一段时间待轮胎已发热后停下洒洗衣粉水。为保持碾轮的温度,轮胎压路机应在热的混合料上连续碾压。低温施工时可使用环形物围住轮胎来阻挡冷空气的直接侵袭。

(4) 碾压后的路面在冷却前,任何车辆机械不得在路面上停放(包括加油、加水的压路机),并防止矿料、杂物、油料等落在新铺的路面上,路面冷却至 50℃ 后才能开放交通。

(二) 振动压路机振频和振幅的选择

在碾压机械的选型中已论述过,为了获得最佳的碾压效果,在复压时要选择调频调幅振动压路机,因此合理地选择压路机的振频和振幅是非常必要的。

振频主要影响沥青面层的表面压实质量。在压实层厚度和碾压速度确定后,就要选择压路机的振频,使得冲击间距比压实层厚度要小一些,以避免表面发生短的波纹,由此可以确定最低的振频要求,见图 4-3-25。根据美国斯德哥尔摩市道路局研究的成果,

沥青路面的碾压振频在 33 ~ 50Hz 之间进行选择 ,能够得到良好的压实效果。

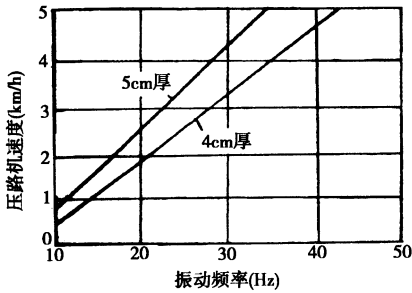


图 4-3-25 不同的碾压速度和压实层厚度对频率的最低要求

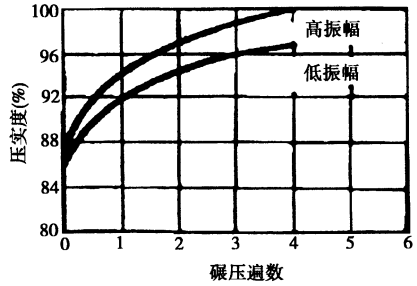


图 4-3-26 5cm 厚沥青层的振幅试验

振幅主要影响沥青面层的压实深度。当碾压层较薄时 ,宜选用高振频低振幅 ,而碾压层较厚时 ,则可满足最低振频的要求下 ,选取较高的振幅 ,以获得较高的压实度。图 4-3-26 是瑞典某一公路的试验结果 ,表明了较高振幅时能得到更高的压实度。对于沥青路面 ,压路机振幅通常宜在 0.4 ~ 0.8mm 之间进行选择。

(三) 横向接缝处的碾压

横向接缝碾压时 ,先用双轮钢筒式压路机横向静压。压路机位于已压实的混合料层上 ,伸入新铺层的宽度为 15cm ,然后每压一遍向新铺混合料移动 15 ~ 20cm ,直到 3/4 轮宽在新铺层上为止 ;再用振动压路机低频低幅振动横向骑中碾压两遍 ,最后与相邻的新铺层共同作为一个碾压作业段进行碾压。需要特别重视的是 ,横向接缝处的碾压也要掌握温度的影响 ,高温或低温时的过度碾压都会使新铺层出现裂纹。

五、不同类型沥青混合料压实特性

(一) 不同类型混合料及其压实性质

1. 混合料种类及压实阻力

沥青混合料根据压实特性可分为三类 :干硬性的、一般的与软的。它们的压实性质 ,多半与骨料和沥青质量 ,砾石、砂和填料与结合料的相对比例 ,压实层厚度 ,铺筑温度和环境条件等因素有关。

沥青混合料的有效压实度 ,必须克服混合料中的阻力 ,这种阻力可分为 :

- (1) 内摩擦力 它主要决定骨料的尺寸、等级和形状 ;
- (2) 粘结力 由结合料薄膜产生 ;
- (3) 粘滞阻力 它是结合料骨料状况的函数。

干硬性混合料的形成 ,主要是在混合料中使用了较多的粗颗粒材料和大尺寸骨料 ,

同时矿粉含量大,沥青粘性高,矿粉含量小的混合料,也易形成干硬性混合料,如聚合物改性沥青混合料就是如此。压实干硬性沥青混合料时,主要问题是克服内摩擦力和颗粒间的锁嵌力,对此采用振动压实有效;用中、重型振动压路机压实通常可以达到规定的密实度,而用静力压路机则往往显示出压实力不足,使混合料中粒料难以避免产生塔接问题。

产生软性混合料的原因包括:

- (1)大部分为天然或圆骨料;
- (2)骨料最大尺寸偏小;
- (3)矿粉含量小;
- (4)沥青结合料较软;
- (5)沥青含量高;
- (6)温度变化时沥青粘度变化率小;
- (7)混合料中含水量过多。

碾压软性沥青混合料时,由于易出现裂缝和产生较大位移,因而碾压干硬性混合料要比软性混合料容易得多。

2. 混合料含水量

混合料的含水量会影响压实性质,这是因为水分基本上是一种润滑剂,它会阻止沥青薄膜粘在粒料上,从而使结合料的粘度和混合料粘结力下降,这对滚筒拌和混合料特别重要。

(二)在试验室与工地混合料的压实性

最常用的混合料设计方法是采用马歇尔法。这种方法主要用来确定最佳沥青用量。该法基本上是经验性的,压实工作量(马歇尔锤击数所输入能量)的作用与压实程度或密实度的增大有关,如果密实度增加量大而压实工作量小,便是容易压实的混合料。

工地中采用的压实不同于实验室压实,因此难以用实验室压实工艺作为模拟现场条件的方法。在实验室中混合料放在模子中,在限定条件下被压实,而工地混合料在较多不限定条件下被压实,此时通过压路机接触面传给混合料的能量有减少的倾向,干硬性混合料比起位移不过分的软性混合料要消耗更多的碾压能量。碾压软性混合料期间发生的位移倾向,无论是横向还是纵向,会减少达到高密实度的可能性,并可能导致出现裂缝。

(三)不同压实方法的有效性与适用性

为了压实沥青混合料,应采用合适的压力,无论何种类型的沥青路面压路机都有作用力施加于接触面,接触面大小不清楚的话,实际的压实力也就不知道。压实过程中,混

合料阻力并不清楚,但它是逐渐增大的,而压路机的接触面积逐渐减小,压路机施加的接触压力在增大。压实过程中理想的情况是粒料只向下移动,但水平位移不可避免,可是这种水平位移代表了混合料位移,应使它降低到最小,以避免发生裂缝。为了避免水平位移,所用压路机不必施加过大的压力,使混合料产生超过限额的应力。对软性混合料,以采用较低的接触压力与较大的接触面积为宜,接触面积较大能在较大范围内产生效果。按这些要求,通常采用较轻型的压路机对软性混合料压实显得更为合适。

从原则上讲,软性混合料碾压速度应低于干硬性混合料,其原因:

- (1) 较高碾压速度导致有较大的水平力作用于路面,会产生位移较大的危险;
- (2) 较高碾压速度对于振动压实有形成搓板路面的危险。

对软性混合料,实际碾压速度应取 $2 \sim 5\text{km/h}$,而对于干硬性混合料则为 $5 \sim 7\text{km/h}$ 。

对于干硬性混合料,由于振动压路机能有效地克服摩擦力,而用较重型压路机尤为合适;对于软性混合料,必须采用轻、中型振动压路机。

由于还没有一种万能压路机能处理所有类型的混合料,且又具有较高的有效性,因此,研究每一种特殊压路机的使用范围,或针对沥青混合料性质选择压实方法,应当予以充分重视。

常规压路机的组合,由于要求的压实力比较低,其适用一般混合料,也可用于软性混合料,不适用于干硬性混合料;

常规重型压路机组合,适用于一般混合料,也适用于干硬性混合料,并可有限地用于软性混合料。

轻、中型双滚轮振动压路机,适用一般混合料,也可适用于干硬性与软性混合料。

重型双滚轮振动压路机适用于一般与干硬性混合料,但要注意控制压路机速度。

自行式单滚轮振动压路机,适用于一般混合料,也可用于干硬性混合料,压路机的滚轮直径较大,对碾压软性混合料有利。

振动压路机与轮胎压路机组合,其由于充气轮胎压路机对路面的填封能力可补充振动压路机的不足之处,从而扩大了振动压路机对软、硬性混合料的适用性。

(四) 压实工艺与规则

1. 碾轮的喷洒水

为了阻止碾轮上粘有沥青混合料,必须使碾轮保持足够的湿度,但过量的洒水又会导致混合料不必要的降温。因此,保持水箱和喷洒器良好的状态,就显得非常重要。在喷洒水之前应确保水箱装满干净水。

2. 碾压图形

碾压一个自由车道时,从车道外侧开始,碾轮的边缘要凸出路面边缘 $5 \sim 10\text{cm}$,碾压

时压路机按行车方向逐渐碾压(如图 4-3-27 所示),如果路表面存在的横向倾斜,碾压时应从路面最低侧开始。

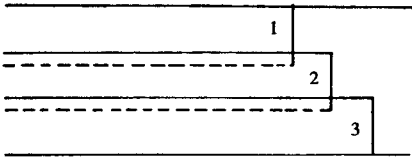


图 4-3-27 自由车道碾压图形

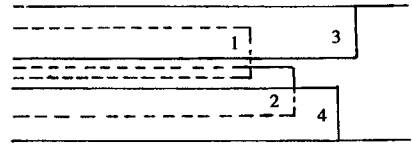


图 4-3-28 较厚沥青路面碾压图形

对于较厚的沥青路面,每一次碾压时应从路边缘向内 30~40cm 处开始,以防止沥青混合料挤出,同时允许外侧边缘沥青冷却产生稳定的剪切区,以利于压实(如图 4-3-28 所示)。

3. 接缝处压实

一个良好的平坦的沥青路面,在很大程度上取决于纵横缝的施工质量。横向接缝在初次压实时,应使热沥青混合料重叠在冷沥青路面上 10~20cm,然后用压路机压实。

六、沥青路面压实度的提高

由于混合料具有热塑性,在高温下沥青结合料起到润滑作用,易于压实,随着温度的降低,压实作业除了克服骨料间的内摩擦力外,还要克服粘滞阻力,因此混合料的温度特性,决定了混合料的碾压温度、碾压开始时间及碾压距离等参数。而且对于不同的沥青混合料类型,为了有效地提高压实效率,其压实机具的选择原则也不相同。

(一) 确定碾压温度

由于不同的沥青具有不同的粘性特性,因此为了使沥青路面更好地压实,应首先通过试验确定,沥青的粘度—温度曲线,然后以 $280 \pm 30 \text{mm}^2/\text{s}$ 时温度为压实温度。

(二) 不同压实方法的效率

压实过程中,理想的情况是粒料只向下位移,但水平位移不可避免,而这种水平位移代表混合料的位移,应使它降低到最小,以免发生裂缝或压实不足;为了避免水平位移,所用的压路机不必施加过大的压力,以使混合料产生超过限额的应力。

对于硬性沥青混合料,振动压路机能有效克服内摩擦力,而用较重型振动压路机碾压接触压力较小,在中间碾压时用振动碾压来提高压实力,也就是通过组合使用静力与振动碾压产生可变的压实力,这对必须在低温碾压的混合料来说,特别重要。

振动压路机的振动轮把额外的能量传给混合料,对于硬性混合料来说,它带来的优点是十分明显的,而对软性混合料,通常最好采用低振幅(不大于 0.4mm)。

为了建立沥青混合料工作稳定性,有振动压路机工作之前,最好用静力压路机稳压,

对不同混合料来说,频率对压实效果的影响也较明显,用于沥青混合料压路机频率范围通常为 40~50HZ。

对振动和静力压路机来说,有振动滚轮是一个优点,用驱动滚轮把路面材料挤出的倾向减少后,将减少路面的位移。

(三) SMA 路面碾压成型

(1) SMA 必须采用刚轮碾碾压,不容许采用轮胎式压路机,因为轮胎式压路机的搓揉将使玛蹄脂上浮,造成构造物深度降低,甚至泛油。为了避免粗集料的压碎、泛油等,采用振动压路机碾压时,高频率低振幅非常重要,同时遍数不要太多。

(2) 碾压 SMA 时密切注意压实度的变化,对 SMA 来说,过碾是一大忌,所以应严格控制碾压遍数的方法来控制压实度,一般初压用 10t 钢轮紧跟在摊铺机后而压 1~2 遍,复压钢轮静压 3~4 遍,或振动压路机振动碾压 2~3 遍,最后用较宽的钢轮终压一遍结束。

(3) 由于 SMA 的结构组成特点,粗集料的用量达到 70% 以上,高温状态下主要靠粗集料的嵌挤作用,混合料在摊铺机铺筑后本身就已经有相当大的压实度,一般在 85% 以上,压路机可以碾压的程度极小,所以初压的痕迹也是极小的;由于集料的充分嵌挤,压路机碾压过程中,在前轮前面,不会发生明显的推拥。

第四节 沥青路面机械化施工

一、概述

众所周知,要修筑质量良好的沥青面层,必须具备质量良好的基层。在沥青面层施工前必须对基层进行检查,观察其是否符合有关规范的要求,能否进行沥青面层的施工。一般说来,沥青路面的基层应符合下列要求:

- (1) 具有足够的强度和适宜的刚度;
- (2) 具有良好的稳定性;
- (3) 干燥收缩和温度收缩变形较小;
- (4) 表面平整、密实,拱度与面层一致,高程符合设计要求。

关于基层材料,我国多年来的施工实践证明,使用水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料进行稳定的半刚性基层,比用其它基层材料有着更多的优势。它具有整体强度高、板体

性好、耐久,以及可减薄沥青面层的厚度等优点,为此,规范推荐在高速公路和一级公路上采用此类稳定混合料作为基层材料。但是也应注意,使用石灰土等稳定细粒土修筑的基层,在路面开裂进水后易出现基层软化、唧浆等现象,致使基层强度降低,路面迅速破坏;同时,石灰土成板体后,裂缝较多,作为基层必然产生反射裂缝而出现在路面上,随着时间推移和冻暖循环影响,裂缝逐年加大,必将影响路面的平整度和寿命。所以用石灰土等稳定的细粒土只宜修筑路面的底基层。

一般说来,沥青面层是由沥青材料、矿料及其它外掺剂按要求比例混合、铺筑而成的单层或多层式结构层,而高等级公路的沥青面层通常为三层结构,由上而下称为上面层(也称表面层)、中面层、下面层(也称底面层或沥青基层)。

(1) 沥青基层

它是吸收并重新分配荷载,把路面变形保持在允许范围内的路面结构层,它能把施加于面层上的交通荷载传输到底基层和路基上。

(2) 沥青中面层

它是路面面层下部的结构层。承受交通荷载作用形成的剪力和拉力,应使用硬质石料和低空隙率的混合料来达到其稳定性,以便在上面铺筑表面磨耗层,这样才能增加路面的抗变形能力和抗疲劳破坏能力。

(3) 沥青表面层

表面磨耗层是整个沥青路面的最后层次,它不仅体现出沥青路面的水平,而且它直接承受交通荷载作用、气候条件作用、温度变化作用,并提供极其良好的行车质量,包括抗滑能力、抗变形能力和耐磨能力较好的路面面层。

一般说来,铺筑沥青面层用的沥青混合料是由矿料与沥青拌和而成的混合料的总称。其中矿料是由粗集料、细集料和填料按规定级配组成,由于材料的级配粒径不同,沥青混合料有以下几种类型:

(1) 沥青混凝土混合料

这种混合料是由各种粒径的、颗粒级配连续的、相互嵌挤密实的矿料与沥青拌和而成的,其压实后的剩余空隙率小于10%,即通常所说的密级配沥青混合料。

(2) 半开级配沥青混合料

这种混合料是由适当比例的粗集料、细集料及少量填料(或不加填料)与沥青拌和而成的,其压实后的剩余空隙率在10%以上,即通常所说的沥青碎石混合料。

(3) 开级配沥青混合料

在这种混合料中,矿料级配主要由粗集料组成,细集料较少,矿料相互拨开,压实后空隙率大于15%,即通常所说的开式沥青混合料。

(4) 间断级配沥青混合料

这是一种因矿料级配组成中缺少一个或若干个档次而形成的间断级配的沥青混合料。

(5) 乳化沥青碎石混合料

这是一种采用乳化沥青与矿料在常温状态下拌和而成的、压实后剩余空隙率在 10% 以上的常温沥青混合料。

此外还有砂粒式沥青混合料(最大粒径等于或小于 4.75mm)、细粒式沥青混合料(最大粒径为 9.5mm 或 13.2mm)、中粒式沥青混合料(最大粒径为 16mm 或 19mm)、粗粒式沥青混合料(最大粒径为 26.5mm 或 31.5mm)、特粗式沥青碎石混合料(最大粒径为 37.5mm)等。

二、沥青路面材料

沥青面层所用材料包括沥青、砂(天然或人造)、石屑、粗集料、细集料、矿粉等。这里重点介绍高等级公路、机场工程所用材料的性能及技术指标。

铺筑沥青面层用的沥青有道路用石油沥青、煤沥青、乳化石油沥青、液体石油沥青、页岩石油沥青等。其中道路石油沥青为符合沥青路面使用技术要求的石油沥青,重交通道路石油沥青为供高速公路、一级公路等重交通量道路使用,并符合《重交通道路石油沥青技术要求》的道路石油沥青。表 4-3-38 所列为重交通道路石油沥青的技术要求;表 4-3-39 为沥青路面透层及粘层用乳化沥青、煤沥青和液体石油沥青技术要求;表 4-3-40 为粗集料技术标准;表 4-3-41 为细集料技术标准;表 4-3-42 为砂粒技术标准;表 4-3-43 为石屑技术标准;表 4-3-44 为矿粉技术标准;表 4-3-45 为玄武岩主要物理性能。

表 4-3-38 重交通道路石油沥青技术要求(JTJ 032-94C.1)

| 试 验 项 目 | AH-130 | AH-110 | AH-90 | AH-70 | AH-50 |
|---------------------------------|---------|---------|--------|-------|-------|
| 针入度(25℃,100g,5g) (0.1mm) | 120~140 | 100~120 | 80~100 | 60~80 | 40~60 |
| 延度(5cm/min,15℃) 不小于(cm) | 100 | 100 | 100 | 100 | 80 |
| 软化点(环球法) (℃) | 40~50 | 41~51 | 42~52 | 44~54 | 45~55 |
| 闪点(COC) 不小于(℃) | 230 | | | | |
| 含蜡量(蒸馏法) 不大于(%) | 3 | | | | |
| 密度(15℃) (g/cm ³) | 实 测 记 录 | | | | |
| 溶解度(三氯乙烯) 不小于(%) | 99.0 | | | | |

| 试 验 项 目 | | AH-130 | AH-110 | AH-90 | AH-70 | AH-50 |
|------------------------------|-----------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 薄膜热 加热验 (163℃) (5h) | 质量损失 不大于(%) | 1.3 | 1.2 | 1.0 | 0.8 | 0.6 |
| | 针入度比 不小于(%) | 45 | 48 | 50 | 55 | 58 |
| | 延度(25℃) 不大于(cm) | 75 | 75 | 75 | 50 | 40 |
| | 延度(15℃) (cm) | 实测记录 | | | | |

表 4-3-39 沥青路面透层及粘层用乳化沥青、
煤沥青或液体石油沥青技术要求(JTJ 032-94 C.3)

| 项 目 | | PC-1 PA-1 | PC-2 PA-2 | PC-3 PA-3 | BC-1 BA-1 | BC-2 BA-2 | BC-3 BA-3 | |
|--------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| 筛上剩余量 不大于 (%) | | 0.3 | | | | | | |
| 电 荷 | | 阳离子带正电(+) 阴离子带负电(-) | | | | | | |
| 破乳速度试验 | | 快裂 | 慢裂 | 快裂 | 中或慢裂 | | 慢裂 | |
| 粘 度 | 沥青标准粘度计 $C_{25.3}$ (s) | 12~45 | 8~20 | | 12~100 | | 40~100 | |
| | 恩格拉度 E_{25} | 3~15 | 1~6 | | 3~40 | | 15~40 | |
| 蒸发残留物含量 不小于 (%) | | 60 | 50 | | 55 | | 60 | |
| 蒸 发 残 留 物 性 质 | 针入度(100g, 25℃, 5s) (0.1mm) | 80~200 | 80~300 | 60~160 | 60~200 | 60~300 | 80~200 | |
| | 残留延度比(25℃) 不小于(%) | 80 | | | | | | |
| | 溶解度(三氯乙烯) 不小于(%) | 97.5 | | | | | | |
| 储存稳定性 | 5d 不大于(%) | 5 | | | | | | |
| | 1d 不大于(%) | 1 | | | | | | |
| 与矿料的粘附性 裹覆面积不小于 | | 2/3 | | | | | | |
| 粗粒式集料拌和试验 | | - | 均匀 | | - | | | |
| 细粒式集料拌和试验 | | - | | | | 均匀 | | |
| 水泥拌和试验, 1.18mm 筛上剩余量 不大于(%) | | - | | | | 5 | | |
| 低温储存稳定度(-5℃) | | 无粗颗粒或结块 | | | | | | |

注:PC-1、PA-1 作表面处治及贯入式洒布用;PC-2、PA-2 作透层油用;PC-3、PA-3 作粘层油用;
BC-1、BA-1 作拌制粗粒式沥青混合料用;BC-2、BA-2 作拌制中粒式及细粒式沥青混合料用;
BC-3、BA-3 作拌制砂粒式沥青混合料及稀浆封层用。

表 4-3-40 沥青面层用粗集料质量技术要求(JTJ 032-94 C.8)

| 指 标 | | 高速公路、一级公路 | 其他等级公路 | |
|-------------------------|----------------|-----------|--------|----|
| 石料压碎值 | 不大于(%) | 28 | 30 | |
| 洛杉矶磨耗损失 | 不大于(%) | 30 | 40 | |
| 视密度 | 不小于(t/m^3) | 2.50 | 2.45 | |
| 吸水率 | 水大于(%) | 2.0 | 3.0 | |
| 对沥青的粘附性 | 不小于 | 4级 | 3级 | |
| 坚固性 | 不大于(%) | 12 | - | |
| 细长扁平颗粒含量 | 不大于(%) | 15 | 20 | |
| 水洗法 $<0.075mm$ 颗粒含量 | 不大于(%) | 1 | 1 | |
| 软石含量 | 不大于(%) | 5 | 5 | |
| 石料磨光值 | 不小于(BPN) | 42 | 实测 | |
| 石料冲击值 | 不大于(%) | 28 | 实测 | |
| 破碎砾石的 破碎面积 不小于(%) | 拌和的沥青混合 料路面 | 表面层 | 90 | 40 |
| | | 中下面层 | 50 | 40 |
| | 贯入式路面 | | - | 40 |

表 4-3-41 沥青面层用细集料质量技术要求(JTJ 032-94C.11)

| 指 标 | 高速公路、一级公路 | 其他等级公路 |
|-------------------------|-----------|--------|
| 视密度不小于(t/m^3) | 项 目 | 2.45 |
| 坚固性($>0.3mm$ 部分)不大于(%) | 12 | - |
| 砂当量 不小于(%) | 60 | 50 |

表 4-3-42 沥青面层用天然砂规格(JTJ 032-94 C.9)

| 方孔筛 (mm) | 圆孔筛 (mm) | 通过各筛孔的质量百分率(%) | | |
|-------------|-------------|----------------|--------|--------|
| | | 粗 砂 | 中 砂 | 细 砂 |
| 9.5 | 10 | 100 | 100 | 100 |
| 4.75 | 5 | 90~100 | 90~100 | 90~100 |
| 2.36 | 2.5 | 65~95 | 75~100 | 85~100 |
| 1.18 | 1.2 | 35~65 | 50~90 | 75~100 |
| 0.6 | 0.6 | 15~29 | 30~59 | 60~84 |

| 方孔筛 | 圆孔筛 | 通过各筛孔的质量百分率(%) | | |
|------------|-------|----------------|---------|---------|
| 0.3 | 0.3 | 5~20 | 8~30 | 15~45 |
| 0.15 | 0.15 | 0~10 | 0~10 | 0~10 |
| 0.075 | 0.075 | 0~5 | 0~5 | 0~5 |
| 细度模数 M_x | | 3.7~3.1 | 3.0~2.3 | 2.2~1.6 |

表 4-3-43 沥青面层用石屑规格(JTJ 032-94 C.10)

| 规格 | 公称 | 通过下列筛孔的质量百分率(%) | | | | | |
|-----|------------|--------------------|-----|--------|-------|------|-------|
| | 粒径 (mm) | 方孔筛(mm) 圆孔筛(mm) | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 0.6 | 0.075 |
| S15 | 0~5 | | 100 | 85~100 | 40~70 | ~ | 0~15 |
| S16 | 0~3 | | 100 | 85~100 | 20~50 | 0~15 | |

表 4-3-44 沥青面层用矿粉质量技术要求(JTJ 032-94 C.12)

| 指 标 | 高速公路、一级公路 | 其他等级公路 |
|-------------------|-----------|--------|
| 视密度不小于(t/m^3) | 2.50 | 2.45 |
| 含水量不大于(%) | 1 | 1 |
| 粒度范围 | | |
| <0.6mm(%) | 100 | 100 |
| <0.15mm(%) | 90~100 | 90~100 |
| <0.075mm(%) | 75~100 | 70~100 |
| 外 观 | 无团粒结块 | |
| 亲水系数 | <1 | |

在路面石料中,尤其是磨耗层所用石料,在我国有条件的地区推荐用玄武岩。玄武岩能提高路面耐磨性及磨擦阻力,其化学组成为二氧化硅、三氧化二铝、铁、氧化钙、氧化镁、氧化钠和氧化钾,是优质抗滑耐磨材料,表 4-3-45 为其基本物理性能。

表 4-3-45 玄武岩物理性能试验数据

| 产地及试验单位 | 张家口玄武岩 性能试验 | 门头沟中门寺辉绿岩 国家建材测试中心 性能试验 | 门头沟中门寺辉绿岩 北京公路局质量监督 测试中心性能试验 |
|----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 抗压强度(MPa) | 126~180 | 220 | 201 |
| 密度(g/cm^3) | - | 2.95 | 2.97 |
| 吸水率(%) | 0.093 | 0.09 | 0.045 |

| 产地及试验单位 物理性能指标 | 张家口玄武岩 性能试验 | 门头沟中门寺辉绿岩 国家建材测试中心 性能试验 | 门头沟中门寺辉绿岩 北京公路局质量监督 测试中心性能试验 |
|-------------------|----------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 压碎值(%) | 17.7 | 15.3 | 15.2 |
| 磨耗率(%) (洛杉矶法) | 11 | 10.2 | 14.7 |
| 沥青粘聚力(水煮法) | 优四级 | 优五级 | 优四级 |
| 加速磨光值(BPN) | 44 | 46 | - |

三、施工机械的选型配套

国内外大量施工经验说明,在高等级公路沥青路面机械化施工中,要想高质量、高速度和高效率地完成路面工程的施工任务,就必须提高机械化施工水平。因此,施工机械的选型配套、最佳的机械配套组合,以及采用先进的施工工艺都是极为重要的。

(一) 沥青面层机械化施工工艺

按照国家行业标准《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032-94)的规定,沥青混凝土混合料面层宜采用双层式或三层式结构,其中必须有一层是“1”型密级配混合料。同时规定粗粒式沥青混合料只能用于中下层,中粒式及细粒式沥青混合料用于上层,施工中应采用机械化连续施工,施工前应对各种原材料进行充分调查试验,经选定的材料要保持其稳定性。各种施工机械技术性能良好,机械配备合理,数量充足,机械设备能力和施工能力协调、匹配。

通常施工工艺流程为:

1. 施工前的有关准备工作; 2. 沥青混合料的拌制生产; 3. 拌制好的沥青混合料的运输; 4. 沥青混合料的摊铺; 5. 摊铺中有关纵横接缝的处理; 6. 沥青混合料的碾压成型。

(二) 沥青面层机械化施工的机械选型

1. 概述

要实现高质量、高速度、高效益的机械化施工,主要决定于:

- 第一,各种关键机械的有关先进技术水平所形成的机械整体水平和机械化水平;
- 第二,科学的施工组织与管理;
- 第三,主要施工机械生产能力的良好配套性能;

沥青面层的机械化施工机械:

(1) 主要机械

- ① 沥青混凝土搅拌设备; ② 沥青混凝土摊铺机; ③ 自卸汽车; ④ 压路机及振动压路

机。

(2) 必备的辅助机械

① 沥青洒布车 ;② 装载机 ;③ 洒水车 ;④ 小型振动压路机 ;⑤ 沥青运输罐车 ;⑥ 路面切缝机。

(3) 沥青混凝土搅拌设备的选型

图 4-3-29 为沥青混凝土搅拌设备生产工艺流程图。选择沥青混凝土搅拌设备, 应从其技术性能评价着手, 由于沥青混凝土搅拌是保证沥青混合料质量的关键设备, 所以它的主要组成部分应具有当今世界的先进水平。

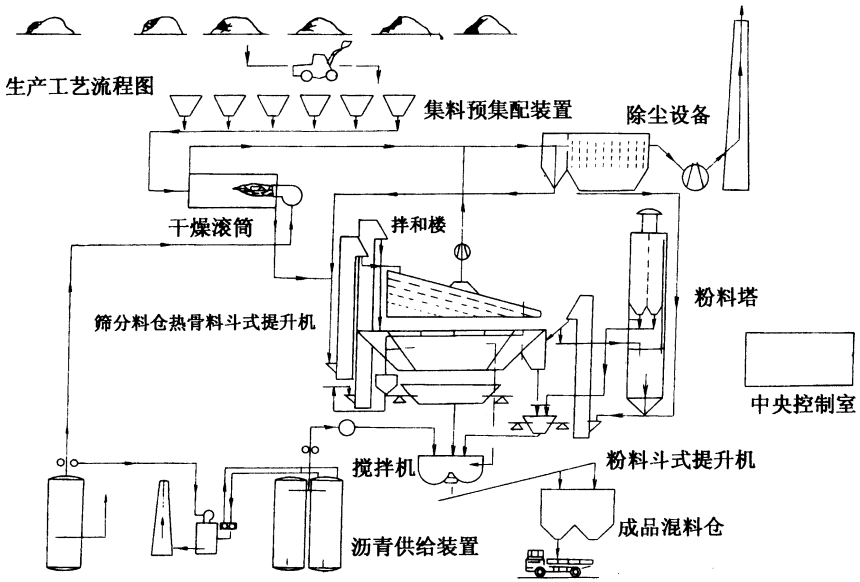


图 4-3-29 沥青混凝土搅拌设备配置简图

2. 冷料供给系统

无论是集料料斗或是砂料料斗, 均应具有独立的调速或调频皮带给料系统。它是保证初(粗)级配质量计量的重要环节。为防止能源和材料的浪费, 砂料料斗还必须装有破拱用的振动装置器。

3. 干燥滚筒

干燥滚筒的结构设计应能最大限度利用热能, 以充分加热矿料, 烘干能力是评估干燥滚筒的重要指标。滚筒的直径、长度、转动速度等参数应与其生产能力相适应。驱动方式无论是大扭矩电机—液力耦合器式, 还是电机—链条式或电机—摩擦轮式, 都应能荷载(干燥筒内有热料)平稳起动而不会引起干燥滚筒的变形, 其内部各种翼片都应设计得科学合理。燃烧器的耗油量要低, 热效率要高, 在矿料含水量发生变化时能通过控制

风油比进行调节。在选购时,只要比较一下不同厂家生产的同等生产能力搅拌设备在含水量相同条件下的烘干能力,就能正确评价出设备的优劣,在设备验收中对这一性能应进行认真考核。

4. 振动筛

近年来,由于修建高等级公路的需要,我国从不同的国家进口了一些搅拌设备。使用证明,有些厂家的筛网非常耐磨,有的则损坏得较快,振动轴承及箱壁也多次出现故障和开裂,在选购设备时对此应给予足够的重视。目前的振动筛有单轴式和双轴式两种,选用哪种取决于机械设计和筛分能力,但无论选用哪种型式,都应具备更换筛网快捷、方便的性能。

5. 称重系统

在选择搅拌设备时,其集料的二次称重系统如果设计成自动落差补偿的方式,那么这种设计是可取的。因为它能准确地计量各种集料的百分比重量。

在沥青的称重和添加方式中应注意沥青的计量装置,每拌和一次后计量装置都应显示(一般为数字显示)沥青的用量。沥青的添加方式亦是关注的重点,压力喷洒式有利于沥青与集料的均匀混合和集料被沥青均匀裹覆。

石粉的供应与称重。石粉的供应一般是按比例输送的,其质量是依靠称重传感器计量显示,同时应注意石粉在称重斗中的残留状况及解决这一问题的技术措施。

6. 搅拌器

矿料与沥青的搅拌是拌制沥青混合料的最重要的工艺过程,因此,搅拌器是沥青混凝土搅拌设备的关键设备。现在最常用的强制搅拌式沥青混凝土搅拌器多是采用卧式双轴叶浆搅拌器(见图4-3-30),其关注点是驱动方式及电机性能,拌缸容积比,浆叶、浆叶臂和衬板的材料及使用耐磨周期,是否易于检查、维修和更换零部件等。

7. 除尘系统

防粉尘污染是关系环境保护的一项重要技术措施,同时也是回收利用材料的经济手段,一举两得,必须重视。目前,除尘方式有两种,即干式除尘系统和湿式除尘系统,除尘装置应设置两级,即初级除尘装置和二级除尘装置。

对除尘装置主要应关注干燥滚筒的负压问题,负压小对燃烧器燃烧不利,并会影响尾气温度。初级除尘装置有沉箱式、旋风管式和一种称为“斯盖玛”的蜗牛式。二级除尘装置广泛采用布袋式除尘装置,其布袋的数量和面积应与搅拌设备的排放量相适应,还应考虑国内石料、砂料粉尘含量大这一特点,所以其除尘能力应略大于装置的排放量;此外,还要有防露点措施。布袋除尘装置,无论是自然风压力差式或强制式,应以能除掉袋上的粉尘为目的。

8. 导热油加热装置

当代沥青搅拌设备大都采用导热油加热装置对沥青进行加热和保温,选购时应按照使用者加热保温的沥青量进行选择,并使选订的热量略高于实际需要的热量。

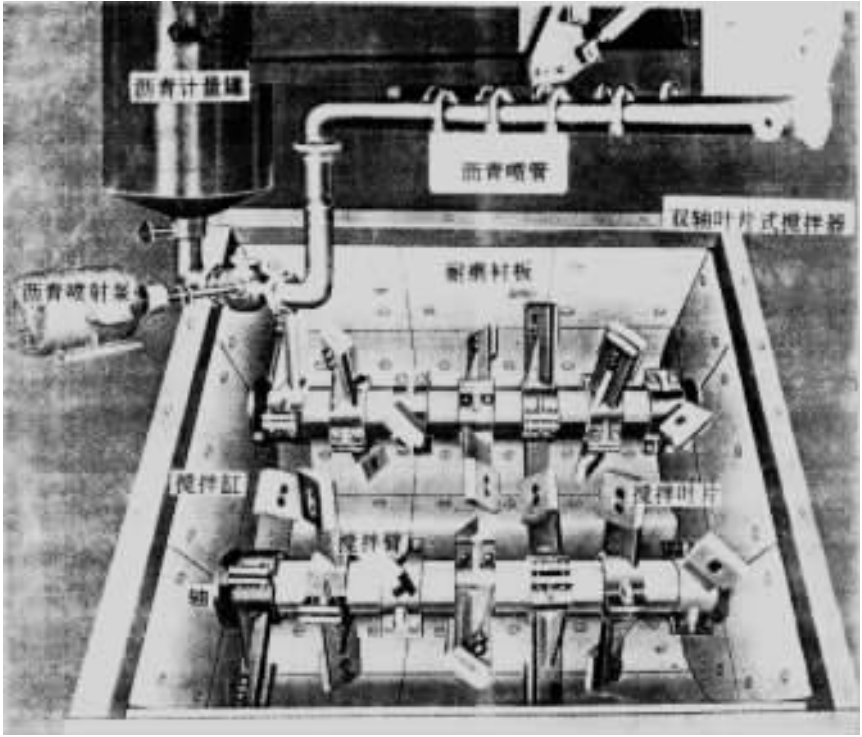


图 4-3-30 搅拌器简图

9. 控制系统

一般以选择具有手动控制、自动控制和计算机控制三种控制方式共存为最佳。当然,有手动控制和自动控制任何一种控制方式即可进行沥青混凝土混合料的生产,控制台的控制显示以直观效果好的数字式为佳,计算机控制是一种高科技生产管理,省人、省事,是发展的趋势。使用计算机控制生产有很多优点,如可直视各部分运转的情况;发生故障时可直接得知故障的部位,以便能及时排除等。

10. 全机的自动保护装置

全机的自动保护对于安全生产极为重要。当某一部分发生故障时,如设置有全机自动保护装置,则能自己停机对整个搅拌设备进行保护,以免发生意外而造成不必要的损失。一台良好的设备应有手动和自动两种保护装置,这样保护性能更完善。

此外,关于沥青摊铺机和压实机械的选型在前面已有阐述,在此仅再补充一下压路机的选型问题。选购压路机应尽量选择多用途、多功能、性能优良的压路机,其价格可能

贵一些,但将使用的经济性和高效率等考虑在内进行综合比较还是利大于弊的。

(三)关于设备的配套

设备配套的前提是施工企业承担工程任务的能力和企业的发展目标。施工企业应以先进的技术设备武装自己的施工队伍,要有长远的规划目标,要根据自己的经济力量、队伍的综合实力来选购设备,要结合自身现有设备能力,有计划、有步骤地一次或分期完成设备的配套,形成相互间配套协调的生产能力。这样施工企业的综合实力,加上形成一定规模的配套完善的设备生产能力,就会给企业带来可观的经济效益。

所谓配套,就是设备能力的相互配合平衡,它既包含有生产力方面的因素,也包含有合理经济性方面的因素。要达到最佳的配套目标,企业的主管者必须以科学为依据,而不能以廉价为目标,应珍惜自己的每一分钱,要得到货真价实的设备。关于配套问题,应该说没有一定的模式,这主要靠施工企业从实际出发去解决配套问题,但总的目标应是形成规模生产力。

伴随着改革开放的步伐,我国公路交通事业取得了长足的发展,高等级公路在迅速增长。在高等级公路建设中,引进了许多国外路面施工机械。在不断的引进和使用的过程中,我们积累了经验,掌握了施工环节中关键工序的技术要求,依据关键工序的技术要求去选购能满足需求的设备是选型的重要步骤之一;其二是从质量、速度、效率、技术的先进性、设计的科学性、可靠性与耐久性等方面去比较和选购机械。任何商品都有品牌,这些年实际使用证明,沥青摊铺机、沥青搅拌设备、振动压路机等设备中已形成了一些名牌产品,它们技术先进、性能优良,已在人们心目中已树立起信得过产品声誉,如 Parker、Marini、Astec 的沥青搅拌设备,Abg、Vogele 的沥青摊铺机,Dresser VOS2-66B 和 Ingersoll-Rand DD-110 振动压路机,CAT、Komatsu、Dresser 的平地机等等,其性能都很好,能满足高速公路的施工要求。

近年来,国内引进技术、研制开发和生产的各种规格的路面施工机械,在产品质量和技术性能方面都有极大提高和进步,已逐渐形成一个规格品种齐全、完整的系列化路面机械产品大军,其中西安筑路机械厂的沥青搅拌设备,徐州工程机械厂、洛阳建筑机械厂生产的压实机械,天津工程机械厂、哈尔滨第一机器厂生产的平地机等等,都是国产道路工程机械的佼佼者,必将为我国公路建设发挥越来越大的作用。

四、沥青路面机械化施工技术

《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032—94)对沥青路面的施工准备,热拌沥青混合料的配合比设计、拌制、运输、摊铺、压实及成型,接缝处理,透层及粘层沥青的制作、喷洒量标准等等,都有详尽的条文规定,应严格按照规范进行施工。

施工包括施工技术及要求、施工方案、施工工艺等诸方面因素。下面仅就沥青面层的摊铺作业应特别注意的事项和需要研究的问题作一探讨,同时列举一些成功的机械化施工组织与管理的实例作为参考。

(一) 摊铺作业中大宽度单机作业和二、三台机梯形施工法的分析

对于摊铺机的摊铺作业,目前国内有两种观点,一种是提倡用最大宽度为12m~12.5m的摊铺机,全幅一次摊铺成型。这种施工法的优点是减少了纵向接缝,提高了路面的平整度,没有纵缝痕迹,使外观平整,行车平稳、舒适,且摊铺机只用一台,降低了施工成本,经济上也是可取的,但要求沥青混合料的生产量必须满足摊铺量的要求,搅拌设备要有大容量的热料储存仓,还要有充足的运输车辆。应该说,只要各个环节的能力匹配、协调,这种施工法是完全可行的;但若生产能力不匹配,造成摊铺间断进行,导致横向接缝增多,从规范上讲是不许可的。另一种观点是,使用2~3台摊铺机并联、梯形作业,如果能妥善地处理好摊铺中的接缝问题,应该说这也是一种适合施工企业装备能力的施工法。实际上,在保证质量、速度、效益的前提下采用什么手段,选取哪种方式,应根据具体情况而定。

(二) 关键环节的质量控制

(1) 矿料要干净,无垃圾、尘土等杂物,堆放要严格,防止不同粒径的料混杂,料场地面应经过压实处理;

(2) 按工程设计要求,保证混合料的出料温度,拌和不要超时,成品混合料的温度过高过低都是不利的;

(3) 成品混合料在运输途中应采取必要的保温措施,如加盖苫布等,应尽量缩短运距,减少运输时间,以避免料温降低过多;

(4) 按照沥青混合料的供给情况调整好摊铺机的摊铺速度,以保持连续、稳定的摊铺作业;

(5) 按铺层料温控制压实过程,及时检测压实后的平整度和密实度,如发现问题应趁热及时采取补救措施;

(6) 正确指挥自卸车给摊铺机卸料,防止碰撞摊铺机,以免影响摊铺质量;

(7) 喷洒在压路机钢轮上的碱性水是为防止钢轮上粘附沥青而采用的,喷水量应控制好,水量过多会使沥青混合料急速冷却,增加碾压的困难,并易使铺层产生裂纹。

(8) 碾压速度在规范中已有明确规定。若使用振动压路机,其振幅和振频的选定很重要。一般压路机有高低两个振幅和振频30Hz、50Hz。对碾压沥青混凝土,最佳振幅在0.4mm~0.8mm之间,振动频率应高于25Hz,高频碾压的压实效果好,路面不会产生波纹和搓板,这一技术特性,特别适宜对改性沥青面层的碾压,它完全满足了改性沥青面层

需要快速压实的要求。对于碾压不同厚度的沥青混合料铺层,使用多振幅振频压路机可有更好、更多的选择,能完全保证压实质量的要求。

(9)摊铺和碾压是保证沥青路面平整度和密实度的两个重要环节。首先是要摊铺得均匀、平整,但其后的压实也很重要。因为即使是摊铺得非常好,但如果碾压不当也会影响路面的平整度,碾压不决定于碾压遍数,而取决于压实效果。

(10)关于自动找平装置。目前,采用纵向找平基准方式的有钢丝基准线、浮动移动式均衡梁、拖杠、滑靴等。在铺设沥青结构层的沥青基层时,为给面层的平整度创造良好的基础,首选的自动找平方式是钢丝绳基准。在摊铺表面层时,第一次(或第一台)也应采用钢丝绳基准,后面的摊铺可以采用浮动移动式均衡梁、拖杠或滑靴。图4-3-31为16.77m浮动移动式均衡梁简图。

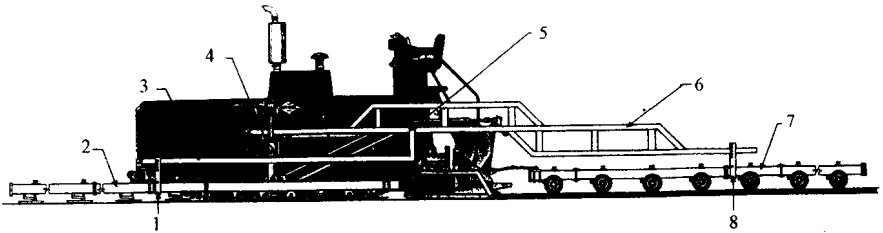


图4-3-31 16.77m浮动移动式均衡梁

- 1—前梁中心线 2—前连接梁纵坡基准 3—前连接梁 4—纵向传感器;
5—牵引点 6—后连接梁 7—后梁铺层基准 8—后梁中心线

第五节 沥青路面施工质量控制与检测

一、施工质量控制要点

(一)沥青表面处治施工质量控制要点

沥青表面处治路面可采用拌和法或层铺法施工。拌和法施工沥青表处的控制与热拌沥青混凝土路面安全相同,这里先介绍层铺法施工沥青表面处治的施工质量控制重点。

层铺法施工沥青表面处治,施工中控制要点为沥青浇洒质量和集料撒布与压实两个方面。

1. 沥青浇洒质量控制

(1)浇洒沥青时应经常检查沥青的浇洒温度。根据不同的沥青材料,合理控制沥青

的温度,防止温度过高或过低。

(2)浇洒的沥青层应均匀,无砂石花白外露且接茬处搭接良好,方可进行下一道工序施工。

浇洒沥青时应对周围道路构造物、管井盖座、路缘石、人行道路面等加以遮盖,防止污染。

2. 集料撒布与压实质量控制

(1)集料撒布厚度均匀一致,不重不漏。

(2)当使用乳化沥青时,集料撒布必须在乳液破乳之前完成。

(3)碾压时由路边压向路中,每层集料碾压3~4遍,碾压速度开始时不应超过2km/h,以后可适当增加。

(二)沥青贯入式(碎石)路面质量控制要点

沥青贯入式(碎石)路面,施工中应着重控制石料质量和规格、松铺厚度、沥青温度、压实质量等方面。

(1)主层集料摊铺时,监理工程师应检查其松铺厚度,一般松铺系数为1.25~1.30。

(2)监理工程师应检查沥青洒布时的温度,其温度控制标准同层铺法沥青表面处治时的要求。

(3)压实质量控制如表4-3-46所列。

表4-3-46 压实质量要求

| 压实阶段 | 压实机具 | 压实遍数 | 检查标准 |
|------|--------------|------|-------------|
| 初压 | 6~8t 钢轮式压路机 | 2~4 | 集料表面无显著推移 |
| 复压 | 8~12t 钢轮式压路机 | 4~6 | 集料表面无明显轮迹 |
| 终压 | 6~8t 钢轮式压路机 | 2~4 | 表面平整、密实、无轮迹 |

(三)热拌沥青混合料路面质量控制要点

热拌沥青混合料施工时,主要控制混合料的拌制、运输、摊铺、压实等方面。

1. 沥青混合料的拌制

(1)拌和时间以30~50s为宜,干拌时间不得少于5s。

(2)拌和好的沥青混合料色泽均匀一致,所有矿料颗粒以全部裹覆沥青结合料为度,无花白料、结团成块和严重的粗细料分离现象。

(3)拌好的混合料应及时摊铺,若不能及时摊铺也可放入成品储存仓储存。在保温储存仓内不宜超过72h的存放时间。

(4)应测量记录沥青混合料的出厂温度。

2. 沥青混合料的运输

(1) 热拌沥青混合料应采用车箱已清扫干净的大吨位自卸汽车运输,一般单车载重要求大于 15t,最好大于 20t。

(2) 运料时应用篷布覆盖以保温、防雨、防污染。

(3) 运距和运输能力应与沥青混合料摊铺机的摊铺速度相匹配。

(4) 成品运到施工现场时应测量沥青混合料的温度。

3. 沥青混合料的摊铺

(1) 选择用于高速公路、一级公路的沥青混合料摊铺机应具有下列性能:

① 具有自动或半自动方式调节摊铺厚度及找平装置。

② 具有足够容量的受料斗,在运料车换车时能连续摊铺,并有足够的功率推动运料车。

③ 具有可加热的振动熨平板或振动夯等初步压实装置。

④ 摊铺机的宽度可以调整。

(2) 沥青混合料的拌和、摊铺、碾压等温度应符合规定,在施工控制时应该注意,我国现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ032—94)中关于摊铺和压实最低温度的要求是偏低的,现在各公路施工中已普遍有所提高,无论如何,对于石油沥青混合料,碾压终了时温度不应低于 80℃,最好不低于 90℃。

(3) 摊铺沥青混合料时最低施工气温要求:

高速、一级公路 最低气温不低于 10℃

其他等级公路 最低气温不低于 5℃

(4) 沥青混合料的松铺系数应根据试铺试压的方法现场确定,也可按照表 4-3-47 选用。

表 4-3-47 沥青混合料的松铺系数

| 种 类 | 机械摊铺 | 人工摊铺 |
|----------|-------------|-------------|
| 沥青混凝土混合料 | 1.15 ~ 1.35 | 1.25 ~ 1.50 |
| 沥青碎石混合料 | 1.15 ~ 1.30 | 1.20 ~ 1.45 |

(5) 当熨平板按所需的厚度调整固定后,不得随意调整。沥青混合料的摊铺速度宜控制在 2~6m/min,应缓慢、均匀、连续不断地摊铺。

摊铺机的摊铺速度可按下式计算:

$$v = \frac{100Q}{60DWT}C \quad (4-3-5)$$

式中 v ——摊铺机摊铺速度, m/min;

D ——压实成型后沥青混合料的密度 kg/m^3 ;

Q ——拌和机产量 kg/h ;

W ——摊铺宽度 , m ;

T ——摊铺层压实成型后的平均厚度 cm ;

C ——效率系数 根据材料供应、运输能力确定 ,宜为 $0.6 \sim 0.8$ 。

(6)应取现场摊铺的混合料进行马歇尔试验、油石比试验及抽提后筛分试验 ,并记录好取样的位置与桩号以及沥青混合料层位。

4. 沥青混合料的压实及成型

沥青混合料的压实体具体要求如下 :

(1)沥青混合料的压实分为初压、复压和终压三个压实阶段 ,其压实机具、压实质量及检查项目见表 4-3-48。

表 4-3-48 压实质量控制

| 碾压流程 | 压实机具 | 压实遍数 | 检查项目 |
|------|--|-------|-----------------|
| 初压 | 6 ~ 8t 双轮钢轮式压路机或 6 ~ 8t 振动压路机(关闭振动) | 2 | 路拱、平整度 |
| 复压 | 8 ~ 12t 三轮钢轮式压路机或 12 ~ 15t 轮胎压路机或 20 ~ 25t 轮胎压路机 | 4 ~ 6 | 达到要求的压实度 ,表面无轮迹 |
| 终压 | 6 ~ 8t 双轮钢轮式压路机或 6 ~ 10t 振动压路机(关闭振动) | 2 ~ 4 | 表观、厚度、密实度 |

压路机应以慢而均匀的速度碾压 ,压路机的碾压速度应符合表 4-3-49 的规定。

表 4-3-49 压路机碾压速度(km/h)

| 压路机类型 | 初 压 | | 复 压 | | 终 压 | |
|---------------|-----------------|-----------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| | 适宜 | 最大 | 适宜 | 最大 | 适宜 | 最大 |
| 钢轮式压路机(双轮、三轮) | 1.5 ~ 2 | 3 | 2.5 ~ 3.5 | 5 | 2.5 ~ 3.5 | 5 |
| 轮胎压路机 | - | - | 3.5 ~ 4.5 | 8 | 4 ~ 6 | 8 |
| 振动压路机 | 1.5 ~ 2 (静压) | 5 (静压) | 4 ~ 5 (振动) | 4 ~ 5 (振动) | 2 ~ 3 (静压) | 5 (静压) |

(2)压路机应从外侧向中心碾压 ,相邻碾压带应重叠 $1/3 \sim 1/2$ 轮宽 ,最后碾压路中心部分 ,压实全幅路宽为一遍。

当采用振动压路机对沥青混合料进行复压时 ,振动频率宜为 $35 \sim 50\text{Hz}$,振幅宜为

0.3~0.8mm 相邻碾压带重叠宽度为 10~20cm,倒车时不得开振动,以免混合料形成鼓包。

(3)应随时检查沥青层的碾压温度,路面压实成型的最高温度应符合规定。

(4)沥青路面的纵、横缝在施工中是不可避免的,但应设法减少施工接缝,加强接缝质量控制。

摊铺时,采用梯队作业的纵缝应采用热缝。半幅施工不能采用热缝时,宜加设挡板或采用切刀切齐。

上下层的纵向接缝应错开 10~15m,上下层的横向接缝应错位 1m 以上。

纵向冷接缝处沥青混合料施工时,需将接缝处清扫干净并洒粘层油;横向接缝可采用斜接缝和平接缝两种形式,一般高速公路和一级公路的上面层宜采用平接缝。

施工时应随时注意接缝的施工质量,使接缝处沥青的面层紧密、平整、顺直。

(5)热拌沥青混合料路面应待摊铺层完全自然冷却后,混合料表面温度低于 50℃时,方开放交通。需要提早开放交通时,可洒水冷却降低沥青混合料温度。

(6)沥青混合料碾压成型后,应按照规定的检查项目和检查频率要求承包人检查沥青面层的压实度和压实厚度。

(四)乳化沥青混合料路面施工质量控制要点

乳化沥青混合料的施工除拌和与热拌沥青混合料不同外,其它施工工艺没有多大的区别,因此,仅就施工质量控制要点加以说明。

1. 原材料质量控制

用于乳化沥青混合料施工的各种原材料都必须满足相应的质量标准要求,在材料进场时按规定的要求进行检查,施工过程中应按规定的检测项目和检查频率对原材料质量进行抽检。

2. 混合料质量控制

乳化沥青混合料的拌和时间应保证沥青乳液与集料拌和均匀。适宜的拌和时间一般通过试拌来确定,机械拌和不宜超过 30s,人工拌和不宜超过 60s。

混合料的拌和、运输和摊铺应在沥青乳液破乳前完成,严格禁止在工程中使用在拌和过程与摊铺过程中已破乳的混合料。

3. 混合料摊铺与压实质量控制

乳化沥青混合料的摊铺立法与热拌沥青混合料相同,其松铺系数可根据热拌沥青混合料的规定选用。

混合料的压实分初压、复压和终压三个阶段,碾压时要特别注意压实的时机,见表 4

表 4-3-50 乳化沥青混合料压实质量控制

| 压实阶段 | 压实时机 | 压实机具 | 压实遍数 | 备注 |
|------|---------|-------------------------------|------------|--------------------------------|
| 初压 | 沥青破乳前 | 6~8t 钢轮压路机 8~12t 钢轮压路机 | 1~2 1~2 | |
| 复压 | 沥青开始破乳后 | 12~15t 轮胎压路机或 10~12t 钢轮压路机 | 2~3 2~3 | 当混合料由褐色 转变为黑色时,乳化 沥青开始破乳 |
| | 水分蒸发后 | 12~15t 轮胎压路机或 10~12t 钢轮压路机 | 2~3 2~3 | |
| 终压 | 复压成型后 | 6~8t 钢轮压路机或 8 ~12t 钢轮压路机 | 2~4 2~4 | |

二、沥青路面质量检测方法

国内外对沥青路面施工质量的控制指标和相应的检测手段较多,包括面层厚度、平整度、强度、抗滑、渗水,以及车辙、裂缝等测试设备。

(一)平整度测定

目前国外最先进的路面平整度测试仪是英国运输与道路研究所(TRRL)制作的激光平整度仪。该仪器分主车和挂车两部分,由主车牵引。挂车主要由四对激光器组成,它构成一个光平面,随着路面的凹凸,光平面发生变化,变化的差量由集光器输送到电子计算机进行处理,从而得到路面功率谱与均方差值 δ 。这种仪器能在80kg/h的高速行驶中工作,测量精度能保持在毫米数量级内,适用于汽车专用公路路面的平整度测定。然而,目前国际上最通用的是带有微型计算机的机械式测定装置,这种仪器价格便宜,易于推广,其测定信号经过无接触的电感式传感器输入计算机,经过处理由显示系统显示,这种机械式平整度仪目前只给出均方差指标,精度可达到1mm。

目前我国使用最多的是XLPY型系列连续式平整度仪。也有一些地区使用了颠簸累积仪。西安交通大学根据车桥振动加速度谱分析法研制的测震仪用于路面舒适性的评价与分析,也取得了令人满意的结果。

(二)抗滑测定

国外测定路面抗滑的先进仪器采用机电一体的纵横综合测定挂车机构,该仪器测定的车速可达20~60km/h,摩擦系数测定值精度较高,可达0~0.05%。在测定表面纹理结构方面,英国采用激光纹理仪,美国采用透水法(即在渗水器与路面接触处加一橡胶垫,根据橡胶垫与路面接触处渗出的水量来推算路面的粗糙度),法国则采用合成树脂将路面纹理翻制取形,然后切断面放大观察,以求表面粗糙度。

在我国抗滑性能测定的仪器和方法有摆式仪(BM法)、五轮仪、制动仪、减速仪及滑

溜拖车法、试验车法等。表面纹理深度采用铺砂法测定。

(三) 强度测定

在沥青路面整体强度测定方面,法国采用拉克鲁瓦自动弯沉仪,该仪器克服了一般弯沉仪测定时劳动强度大、效率低的弊端,而且是连续测定,与车辆行驶作用的实际情况相符,目前测速一般为 $1\sim 3\text{km/h}$ 。但是这种仪器需专用汽车,电子设备庞大,有的还配有专用计算机,价格昂贵,还只能在少数发达国家使用。目前我国仍使用杠杆式弯沉仪测定路面弯沉(臂长 3.6m 、 5.4m 和 7.2m 三种形式),国内有关科研单位已研制了自动弯沉仪,但仍处在试验研究阶段。

近年来我国已引进了多台落锤式弯沉仪(FWD),它能模拟行车作用冲击荷载下的弯沉量测,比仅仅量测静态弯沉更为合理。FWD配置的计算机自动采集数据,速度快,精度高,并可通过测定路基路面动态弯沉来反算路基路面的回弹模量,已成为世界各国路基路面研究中的热门课题。

(四) 裂缝测定

国外较先进的沥青路面裂缝测定仪器是采用红外遥感摄影技术,它是用红外遥感摄影得到沥青路面裂缝图像,利用光电效应将图像转变成电量,输入计算机进行数据处理,直接得到裂缝率和车辙面积率,这一技术已在英、法等国采用。我国类似的检测设备也正在研制阶段。

(五) 厚度测定

路面厚度测定常采用射线或超声检测技术,通常用反射法测定面层厚度,但仅在水泥混凝土路面厚度中使用较成功,对于沥青路面则难保证测量精度,尚在研制阶段。我国多采用钻取芯样或挖坑测定的方法量测沥青路面碾压的厚度,路面自动测厚仪也在研制开发。

在先进的厚度无损检测中,路面雷达测试系统能在高速行驶(100km/h)状态下实时收集路面结构层资料,并通过计算机自动分析出路面各层厚度、湿度、空隙位置和内部破损情况,在路面检测中得到越来越广泛的应用。

公路路面工程的评价往往依据于多项指标。很多发达国家都普遍装备了综合测试专用车,车上配有各种检测仪器及数据处理等。只要到测试现场一次,就能测取各种所需数据,方便且效率高。一台路面综合测试专用车约需人民币几百万元,如此高昂的价格限制了它在我国的推广应用。但由于它有许多优点,在一些检测中心配置还是可能的。用来测定多项指标值,建立数据库,评价路面使用性能。

第六节 沥青路面工程质量检验评定

一、交工检查与验收

(一) 施工单位自检自评

沥青路面施工完成后,施工单位将全线以 1~3km 作为一个评定路段,按表 4-3-51 和表 4-3-52 的规定频率,随机选取测点,对沥青面层进行全线自检,计算平均值、标准差及变异系数,向主管部门提供全线检测结果及施工总结报告,申请交工验收。

表 4-3-51 沥青表处及沥青贯入式面层交工检查与验收质量标准

| 路面类型 | 检查项目 | | 检查频度(每一幅车行道) | 质量要求或允许偏差 | 试验方法 |
|---------|-----------------|----------------|-----------------------|------------|---------|
| 沥青表面处治 | 外观 | | 全线 | 密实,不松散 | 目测 |
| | 厚度 ^① | 低表值 | 每 200m 测 1 点 | -5mm | 挖坑 |
| | | 极值 | 每 200m 测 1 点 | -10mm | 挖坑 |
| | 平整度 | 标准差 | 全线连续 | 4.5mm | 3m 平整度仪 |
| | | 最大间隙 | 每 1km 测 10 处,各连续 10 尺 | 10mm | 3m 直尺 |
| | 宽度 | 有侧石 | 每 1km 测 20 个断面 | ±3cm | 用尺量 |
| 无侧石 | | 每 1km 测 20 个断面 | 不小于设计宽度 | 用尺量 | |
| 纵断面高程 | | | 每 1km 测 20 个断面 | ±20mm | 水准仪 |
| 横坡度 | | | 每 1km 测 20 个断面 | ±0.5% | 水准仪 |
| 沥青用量 | | | 每 1km 测 1 点 | ±0.5% | 抽提 |
| 矿料用量 | | | 每 1km 测 1 点 | ±5% | 抽提后筛分 |
| 沥青贯入式路面 | 外观 | | 全线 | 密实,不松散 | 目测 |
| | 厚度 ^① | 低表值 | 每 200m 测 1 点 | -5mm 或 -8% | 挖坑 |
| | | 极值 | 每 200m 测 1 点 | -15mm | 挖坑 |
| | 平整度 | 标准差 | 全线连续 | 3.5mm | 3m 平整度仪 |
| | | 最大间隙 | 每 1km 测 10 处,各连续 10 尺 | 8mm | 3m 直尺 |
| | 宽度 | 有侧石 | 每 1km 测 20 个断面 | ±3cm | 用尺量 |
| 无侧石 | | 每 1km 测 20 个断面 | 不小于设计宽度 | 用尺量 | |
| 纵断面高程 | | | 每 1km 测 20 个断面 | ±20mm | 水准仪 |
| 横坡度 | | | 每 1km 测 20 个断面 | ±0.5% | 水准仪 |
| 沥青用量 | | | 每 1km 测 1 点 | ±0.5% | 抽提 |
| 矿料用量 | | | 每 1km 测 1 点 | ±0.5% | 抽提后筛分 |

注 ①当设计厚度大于 6cm 时,以厚度的百分数计,小于或等于 6cm 时,以绝对值控制;

②各项指标应按单个测值评定,有关代表值的计算应按沥青面层压实度计算及标准密度的确定方法进行。

表 4-3-52 沥青混凝土及沥青碎石路面面层工程交工检查与验收质量标准

| 路面类型 | 检查项目 | | 检查频度 (每一幅车行道) | 质量要求或允许偏差 | | 试验方法 |
|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------|----------------|---------|
| | | | | 高速、一级公路 | 其它等级公路 | |
| 沥青混凝土及沥青碎石路面 | 面层总厚度 ^① | 代表值 | 每 1km 测 5 点 | - 8mm | - 5mm 或 - 8% | 钻孔 |
| | | 极值 | 每 1km 测 5 点 | - 15mm | - 10mm 或 - 15% | 钻孔 |
| | 上面层厚度 ^① | 代表值 | 每 1km 测 5 点 | - 4mm | | 钻孔 |
| | | 极值 | 每 1km 测 5 点 | - 10% | | 钻孔 |
| | 平整度 | 标准差 | 全线连续,每 1km 测 10 处 | 1.8mm | 2.5mm | 3m 平整度仪 |
| | | 最大间隙 | 各连续 10 尺 | | 5mm | 3m 直尺 |
| | 宽度 | 有侧石 | 每 1km 测 20 个断面 | + 2cm | ± 3cm | 用尺量 |
| | | 无侧石 | 每 1km 测 20 个断面 | | 不小于设计宽度 | 用尺量 |
| | 纵断面高程 | | 每 1km 测 20 个断面 | ± 15cm | ± 20mm | 水准仪 |
| | 横坡度 | | 每 1km 测 20 个断面 | ± 3% | ± 0.5% | 水准仪 |
| | 沥青用量 | | 每 1km 测 1 点 | ± 0.3% | ± 0.5% | 钻孔后抽提 |
| | 矿料级配 | | 每 1km 测 1 点 | 符合设计级配 | 符合设计级配 | 抽提后筛分 |
| | 压实度 ^② | 代表值 | 每 1km 测 5 点 | 95%(98%) | 94%(98%) | 钻孔取样法 |
| | 弯沉 ^③ | 贝克曼梁 | 全线每 20m 测 1 点 | 符合设计要求 | 符合设计要求 | 贝克曼梁 |
| | | 自动弯沉仪 | 全线每 5m 测 1 点 | 符合设计要求 | 符合设计要求 | 自动弯沉仪 |
| 抗滑表层 ^④ | 构造深度 | 每 1km 测 5 点 | 符合设计要求 | 符合设计要求 | 砂铺法(手工或电动) | |
| | 摩擦系数摆值 | 每 1km 测 5 点 | 符合设计要求 | 符合设计要求 | 摆式仪 | |
| | 横向力系数 μ | 全线连续 | 符合设计要求 | 符合设计要求 | 横向力摩擦系数测定车 | |

注 ①高速公路、一级公路面层除验收总厚度外,尚须验收上面层厚度,其它等级公路,当设计厚度大于 6cm 时,以厚度的百分数计,小于或等于 6cm 时,以绝对值控制;

②表中压实度以马歇尔试验密度为标准度,当以试验段密度为标准密度时,压实度标准采用括弧中的值;

③弯沉可选用贝克曼梁或自动弯沉仪测试,测试时间由设计规定,无规定时需现场实测记录时间气温等参数;

④抗滑表层的摩擦系数摆值或横向力系数应根据设计需要决定是否检测,测试时间由设计规定;

⑤各项指标应按单个测值评定,有关代表值的计算应按“沥青面层压实度计算及标准压实度的确定方法”进行。

具体交工验收程序如下:

(1)工程完工后由施工单位全线测定路面平整度、宽度、纵断面高程、横坡度等,提出竣工图。

(2)对需要钎挖孔取样才能检查的厚度、压实度、沥青用量、矿料级配等,为减少对路面的破坏,经主管部门同意,可利用施工过程中测定的数据。当需要实测矿料级配和沥青用量时,可将一个评定路段钻孔的混合料合为一个试样抽提。

(3)车行道面层检查的质量指标需符合表 4-3-51 及表 4-3-52 的规定。对厚度和压实度还应按本书附录中“沥青面层压实度评定方法”计算每一个评定路段的平均值与代表值,并进行评定。

(4)人行道沥青面层的质量检查与验收与车行道相同,其质量指标应符合表 4-3-53 的要求。

(5)大、中型桥梁水泥混凝土桥面沥青铺装的质量检查与验收,以 100m 作为一个评定路段,其质量指标应符合表 4-3-54 的要求。

(6)路缘石的质量检查与验收与车行道相同,其质量指标应符合表 4-3-55 的要求。

表 4-3-53 人行道沥青面层工程质量标准

| 检查项目 | | 质量要求或允许偏差 | 检查制度 | 检查方法 |
|---------------|--------|-----------|--------------------------|-------|
| 厚度 | | ± 5mm | 每 100m 测 1 点 | 钻孔或挖坑 |
| 平整度 (最大间隙) | 沥青混凝土 | 5mm | 每 200m 测 2 处 各连续 10 尺 | 3m 直尺 |
| | 其它沥青面层 | 7mm | | |
| 宽度 | | - 2cm | 每 200m 测 2 点 | 用尺量 |
| 横坡度 | | ± 0.3% | 每 100m 测 2 点 | 用水准仪 |

表 4-3-54 桥面沥青铺装工程质量标准

| 检查项目 | 检查频度 | 质量要求或允许偏差 | | 检查方法 |
|---------------|---------------|-----------|--------|-----------|
| | | 高速、一级公路 | 其它等级公路 | |
| 厚度 | 每 100m 测 2 点 | 0 ~ 10mm | | 挖坑用尺量 |
| 平整度 (标准差) | 连续测定 | 1.8mm | 2.5mm | 用 3m 平整度仪 |
| 平整度 (最大间隙) | 连续测定 | 3mm | 5mm | 用 3m 直尺 |
| 宽度 | 每 100m 测 10 点 | 0 ~ +0.5 | | 用尺量 |
| 压实度 | 每 100m 测 2 点 | 96% | | 挖坑量 |
| 横坡 | 每 100m 测 10 点 | ± 0.3% | | 用水准仪 |
| 中线高程 | 每 100m 测 10 点 | 0 ~ +10mm | | 用水准仪 |

表 4-3-55 路缘石工程质量标准

| 检查项目 | 质量要求或允许偏差 | 检查频度 | 检查方法 |
|----------|-----------|--------------|---------------|
| 直顺度 | 10mm | 每 100m 测 2 点 | 拉 20m 小线量取最大值 |
| 预制块相邻块高差 | 3mm | 每 100m 测 5 点 | 用钢尺量 |

| 检查项目 | 质量要求或允许偏差 | 检查频度 | 检查方法 |
|--------------|-------------------|--------------|-------|
| 预制块相邻缝宽 | $\pm 3\text{mm}$ | 每 100m 测 5 点 | 用钢尺量 |
| 立式路缘石顶面高程 | $\pm 10\text{mm}$ | 每 100m 测 5 点 | 用水准仪 |
| 水泥混凝土路缘石的强度 | 25MPa | 每 1km 测 1 点 | 留试块试验 |
| 沥青混凝土路缘石的压实度 | 95% | 每 1km 测 1 点 | 取样试验 |

(二) 工程建设单位检查验收

工程建设单位(业主)或监理工程师、工程质量监督部门在接到施工单位交工验收报告,并确认施工资料齐全后,应立即对施工质量进行交工检查与验收。检查验收应按随机抽样的方法,选择一定数量的评定路段进行实测检查,每一检查段的检查频度、试验方法及检测结果应符合表 4-3-51~表 4-3-55 的规定。检查、实测项目由建设单位组织实施或委托有资质的专业检测单位提供检测结果。当实测检查有困难时,经主管部门同意后,可利用施工单位的质量检测结果,随机抽查一定数量,对工程质量进行评定。此种情况下,仍应复测部分路段的平整度,并利用施工中保存的钻孔试件对厚度及压实度进行复校。

(三) 工程施工总结

工程结束后,施工单位应根据国家竣工文件编制办法的规定,提出施工总结及若干个专项报告,连同竣工图表,形成完整的施工资料档案,一并提交工程主管部门及有关档案管理部门。

施工总结报告的内容应包括工程概况(包括设计及变更情况)、工程基础资料、材料、施工组织、机械及人员配备、施工方法、施工进度、试验研究、工程质量评价、工程决算、工程使用服务计划等。

施工管理与质量检查报告应包括施工管理体制、质量保证体系、施工质量目标、试验段铺筑报告、施工前及施工中材料质量检查结果(测试报告)、施工中工程质量检查结果(测试报告)、工程交工质量自检结果(测试报告)、工程质量评价以及原始记录、像册、录像等各种附件。

施工单位在高速公路和一级公路施工结束通车后,应进行一定时间(宜为交工后一年)的工程使用服务。服务内容包括路面使用情况观测、局部损坏的维修保养,并将服务情况报告有关部门。

二、沥青混凝土和沥青碎(砾)石面层质量评定

(一) 基本要求

沥青混凝土和沥青碎(砾)石面层在施工过程中,必须符合下列基本要求:

(1) 沥青混合料的矿料质量及矿料级配应符合设计要求和施工规范的规定。

(2) 沥青材料及混合料的各项指标应符合设计和施工规范要求, 沥青混合料的生产, 每日应做抽提试验(包括马歇尔稳定度试验)。

(3) 严格控制各种矿料和沥青用量及各种材料和沥青混合料的加热温度。

(4) 拌和后的沥青混合料应均匀一致, 无花白, 无粗细料分离和结团成块现象。

(5) 基层必须碾压密实, 表面干燥、清洁、无浮土, 其平整度和路拱度应符合要求。

(6) 摊铺时应严格掌握摊铺厚度和平整度, 避免矿料离析, 要注意控制摊铺和碾压温度, 碾压至要求的密实度。

(二) 实测项目

沥青混凝土面层和沥青碎(砾)石面层质量评定时需实测的项目列于表 4-3-56。

表 4-3-56 沥青混凝土面层和沥青碎(砾)石面层实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | 检查方法和频率 | 规定分 | |
|----|----------------|----------------|---------------------|---|--|--------------|----|
| | | | 高速公路 一级公路 | 其他公路 | | 高速公路 一级公路 | 其他 |
| 1 | 压实度(%) | | 95(98*) | 94(98*) | 按附录 C 检查, 每 200m 每车道 1 处 | 20 | 20 |
| 2 | 平整度 | σ (mm) | 1.2 | 2.5 | 平整度仪: 全线每车道连续按每 100m 计算 IRI 或 σ | 15 | 20 |
| | | IRI (m/km) | 2.0 | 4.2 | | | |
| | | 最大间隙 h (mm) | | 5 | 3m 直尺: 每 200m 测 2 处 \times 10 尺 | | |
| 3 | 弯沉值(0.01mm) | | \leq 竣工验收弯沉值 | | 按附录 E 检查 | 15 | 20 |
| 4 | 抗滑 | 摩擦系数 | 符合设计要求 | - | 摆式仪: 每 200m 测 1 处, 横向力系数车: 全线连续 | 10 | |
| | | 构造深度 | | | | | |
| 5 | 厚度 (mm) | 代表值 | 总厚度 - 8 上面层厚 - 4 | 总厚 \leq 60 时: - 5 总厚 $>$ 60 时: - 8% H | 按附录 D 检查每 200m 每车道 1 点 | 20 | 20 |
| | | 极值 | 总厚度 - 5 上面层 - 8 | 总厚 \leq 60 时 - 10 总厚 $>$ 60 时 - 15% H | | | |
| 6 | 中线平面偏位 (mm) | | 20 | | 经纬仪: 每 200m 测 4 点 | 5 | 5 |

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | | 检查方法和频率 | 规定分 | |
|----|------------|-----|--------------|-------|---------------------|--------------|----|
| | | | 高速公路 一级公路 | 其他公路 | | 高速公路 一级公路 | 其他 |
| 7 | 纵断高程 (mm) | | ± 10 | ± 15 | 水准仪 : 每 200m 测 4 断面 | 5 | 5 |
| 8 | 宽度 (mm) | 有侧石 | ± 20 | ± 30 | 水准仪 : 每 200m 测 4 处 | 5 | 5 |
| | | 无侧石 | 不小于设计值 | | | | |
| 9 | 横坡 (%) | | ± 0.3 | ± 0.5 | 尺量 : 每 200m 测 4 断面 | 5 | 5 |

注 ①表内压实度带 * 号者按试验路压实度为准。压实度比表列规定值低一个百分点的检查点应按其占总检查点数的百分率计算扣分。

②表列厚度仅规定负允许偏差。其他公路的厚度代表值允许偏差按总厚度计,当总厚度 ≤ 60mm 时,允许偏差分别为 - 5mm 和 - 10mm ;总厚度 > 60mm 时,允许偏差分别为总厚度的 - 8% 和 - 15%。H 为总厚度。

(三) 外观鉴定

外观鉴定是检查沥青面层的观感质量,采用对缺陷进行扣分的方法评分;主要有下列方面:

(1)表面应平整密实,不应有泛油、松散、裂缝、粗细料明显离析现象,对于高速公路和一级公路,有上述缺陷的面积(凡属单条的裂缝,则按其实际长度乘以 0.2m 宽度,折算成面积)之和不得超过受检面积的 0.03%,其他公路不得超过 0.05%。不符合要求的每超过 0.03% 或 0.05% 减 2 分。

(2)半刚性基层的反射裂缝可不计作施工缺陷,但应及时进行灌缝处理。

(3)搭接处应紧密、平顺、烫缝不应枯焦。不符合要求时,累计每 10m 长减 1 分。

(4)面层与路缘石及其他构筑物应接顺,不得有积水现象,不符合要求时,每一处减 1 ~ 2 分。

三、沥青贯入式或上拌下贯式路面质量评定

(一) 基本要求

对贯入式面层(或上拌下贯式面层)进行验收评定时,根据记录资料对照下列基本要求进行检查:

(1)沥青材料和各项指标应符合设计和施工规范规定的要求。

(2)各种材料的规格和用量应符合设计要求和施工规范的规定,上拌沥青混合料每日应做抽提试验(包括马歇尔稳定度试验)。

(3)碎石层必须平整坚实,嵌挤稳定,沥青贯入应深透,浇洒应均匀,不得污染其他构筑物。

(4)嵌缝料必须趁热撒铺,扫料均匀,不得有重叠现象。

(5)上层采用拌和料时,混合料应均匀一致,无花白和粗细分离现象,摊铺平整,接茬平顺,及时碾压密实,符合沥青混凝土或沥青碎石路面的施工要求。

(6)沥青贯入式面层施工时,应先做好路面结构层与路肩的排水措施,使雨水及时排出路面结构层。

(二)实测项目

沥青贯入式面层(或上拌下贯式面层)需实测的项目列于表4-3-57。

表4-3-57 沥青贯入式面层(或上拌下贯式面层)实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|---------------------------------|------------------|----------------|-------------------------------------|-----|
| 1 | 平整度 | Δ (mm) | 3.5 | 平整度仪:全线每车道连续按每100m计算 IRI 或 σ | 20 |
| | | IRI (m/km) | 5.8 | | |
| | | 最大间隙 h (mm) | 8 | 3m 直尺:每 200m 测 2 处 \times 10 尺 | |
| 2 | 弯沉值(0.01mm) | | \leq 设计值 | 按附录 E 检查 | 20 |
| 3 | 厚度 (mm) | 代表值 | -8% H 或 -5mm | 按附录 D 检查每 200m 每车道 1 点 | 20 |
| | | 极值 | -15% H 或 -10mm | | |
| 4 | 沥青总用量(kg/m^2) | | $\pm 10\%$ | 每工作日每层洒布沥青按(T0982)查 1 次 | 20 |
| 5 | 中线平面偏位 (mm) | | 30 | 经纬仪:每 200m 测 4 点 | 5 |
| 6 | 纵断高程 (mm) | | ± 15 | 水准仪:每 200m 测 4 断面 | 5 |
| 7 | 宽度 (mm) | 有侧石 | ± 30 | 尺量:每 200m 测 4 处 | 5 |
| | | 无侧石 | 不小于设计值 | | |
| 8 | 横坡 (%) | | ± 0.5 | 水准仪:每 200m 测 4 断面 | 5 |

注:①当设计厚度 $\geq 6\text{cm}$ 时,按厚度百分率控制,设计厚度 $< 6\text{cm}$ 时,按厚度不足的毫米数控制。H为厚度(mm)。

②沥青总用量按《公路路基路面现场测试规程》(JTJ059-95)(T0982)方法,每工作日每层洒布沥青检查一次,并计算同一路段的单位面积的总沥青用量。

(三)外观鉴定

沥青贯入式面层(或上拌下贯式面层)的外观要求如下:

(1)沥青贯入式面层(或上拌下贯式面层)表面应平整密实,不应有松散、裂缝、油包、油丁、波浪、泛油等现象,有上述缺陷的面积之和不超过受检面积的0.2%时不扣分。不符合要求时每超过0.2%减2分。

(2)表面无明显碾压轮迹。不符合要求时,每处减1~2分。

(3)面层与路缘石及其他构筑物应接顺,无积水现象。不符合要求时,每一处减1~2分。

四、沥青表面处治路面质量评定

(一)基本要求

在沥青表处施工中,必须符合以下基本要求:

(1)在新建或旧路的表层进行表面处治时,应将表面的泥砂及一切杂物清理干净,底层必须坚实、稳定、平整、保持干燥后才可施工。

(2)沥青材料的各项指标和石料的质量规格用量应符合设计要求和施工规范的规定。

(3)沥青浇洒应均匀,无露白,不得污染其他构筑物。

(4)嵌缝料必须趁热撒铺,扫布均匀,不得有重叠现象,压实平整。

(二)实测项目

沥青表面处治面层需实测的项目列于表 4-3-58。

表 4-3-58 沥青表面处治面层实测项目

| 项次 | 检查项目 | | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 | 规定分 |
|----|----------------------------------|---------------|------------|---------------------------------------|-----|
| 1 | 平整度 | α (mm) | 4.5 | 平整度仪:全线每车道连续按每 100m 计算 IRI 或 σ | 20 |
| | | IRI (m/km) | 7.5 | | |
| | | 最大间隙 h (mm) | 10 | 3m 直尺:每 200m 测 2 处 \times 10 尺 | |
| 2 | 弯沉值 (0.01mm) | | \leq 设计值 | 按附录 E 检查 | 20 |
| 3 | 厚度 (mm) | 代表值 | -5 | 按附录 D 检查每 200m 每车道 1 点 | 20 |
| | | 极值 | -10 | | |
| 4 | 沥青总用量 (kg/m^2) | | $\pm 10\%$ | 每工作日每层洒布沥青按 (T0982) 查 1 次 | 20 |
| 5 | 中线平面偏位 (mm) | | 30 | 经纬仪:每 200m 测 4 点 | 5 |
| 6 | 纵断高程 (mm) | | ± 15 | 水准仪:每 200m 测 4 断面 | 5 |
| 7 | 宽度 (mm) | 有侧石 | ± 30 | 尺量:每 200m 测 4 处 | 5 |
| | | 无侧石 | 小于设计值 | | |
| 8 | 横坡 (%) | | ± 0.5 | 水准仪:每 200m 测 4 断面 | 5 |

注 沥青总用量按《公路路基路面现场测试规程》(JTJ059-95)(T0982)方法,每工作日每层洒布沥青检查一次,并计算同一路段的单位面积的总沥青用量。

(三)外观鉴定

沥青表面处治面层外观鉴定时,主要检查以下三个方面。

(1)表面平整密实,不应有松散、油包、油丁、波浪、泛油、封面料明显散失等现象,有上述缺陷的面积之和不超过受检面积的 0.2% 时不扣分。不符合要求时每超过 0.2% 减 2 分。

(2)无明显碾压轮迹。不符合要求时,每处减1~2分。

(3)面层与路缘石及其他构筑物应接顺,不得有积水现象。不符合要求时,每处减1~2分。

第七节 沥青路面施工质量通病防治

一、沥青面层

(一)横向裂缝

1. 现象

裂缝与路中心线基本垂直,缝宽不一,缝长有贯穿整个路幅的,也有部分路幅的。

2. 原因分析

(1)施工缝未处理好,接缝不紧密,结合不良。

(2)沥青未达到适合于本地区气候条件和使用要求的质量标准,致使沥青面层温度收缩或温度疲劳应力(应变)大于沥青混合料的抗拉强度(应变)。

(3)半刚性基层收缩裂缝的反射缝。

(4)桥梁、涵洞或通道两侧的填土产生固结或地基沉降。

3. 预防措施

(1)合理组织施工,摊铺作业连续进行,减少冷接缝。冷接缝的处理,应先将已摊铺压实的摊铺带边缘切割整齐、清除碎料,然后用热混合料敷贴接缝处,使其预热软化,铲除贴料,对缝壁涂刷 $0.3 \sim 0.6 \text{ kg/m}^2$ 粘层沥青,再铺筑新混合料。

(2)充分压实横向接缝。碾压时,压路机在已压实的横幅上,钢轮伸入新铺层 15 cm ,每压一遍向新铺层移动 $15 \sim 20 \text{ cm}$,直到压路机全部在新铺层为止,再改为纵向碾压。

(3)根据《沥青路面施工及验收规范》(GB 50092)要求,按本地区气候条件和道路等级选取适用的沥青类型。以减少或消除沥青面层温度收缩裂缝。采用优质沥青更有效。

(4)桥涵两侧填土充分压实或进行加固处理;工后沉降严重地段事前应进行软土地基处理和合理的路基施工组织。

(5)反射裂缝预防见下述(四)。

4. 治理方法

为防止雨水由裂缝渗透至路面结构,对于细裂缝($2 \sim 5 \text{ mm}$)可用改性乳化沥青灌缝。对大于 5 mm 的粗裂缝,可用改性沥青(如SBS改性沥青)灌缝。灌缝前,须清除缝内、缝

边碎粒、垃圾,并使缝内干燥。灌缝后,表面撒上粗砂或 3~5mm 石屑。

(二)纵向裂缝

1. 现象

裂缝走向基本与行车方向平行,裂缝长度和宽度不一。

2. 原因分析

(1)前后摊铺幅相接处的冷接缝未按有关规范要求认真处理,结合不紧密而脱开。

(2)纵向沟槽回填土压实质量差而发生沉陷。

(3)拓宽路段的新老路面交界处沉降不一。

3. 预防措施

(1)采用全路幅一次摊铺,如分幅摊铺时,前后幅应紧跟,避免前摊铺幅混合料冷却后才摊铺后半幅,确保热接缝。

(2)如无条件全路幅摊铺时,上、下层的施工纵缝应错开 15cm。

以上。前后幅相接处为冷接缝时,应先将已施工压实完的边缘坍塌部分切除,切线须顺直,侧壁要垂直,清除碎料后,宜用热混合料敷贴接缝处,使之预热软化,然后铲除敷贴料,并对侧壁涂刷 0.3~0.6kg/m² 粘层沥青,再摊铺相邻路幅。摊铺时控制好松铺系数,使压实后的接缝结合紧密、平整。

(3)沟槽回填土应分层填筑、压实,压实度需达到要求。如符合质量要求的回填土来源或压实有困难时,须作特殊处理,如采用黄砂、砾石砂或有自硬性的高钙粉煤灰或热焖钢渣等。

(4)拓宽路段的基层厚度和材料须与老路面一致,或稍厚。土路基应密实、稳定。铺筑沥青面层前,老路面侧壁需涂刷 0.3~0.6kg/m² 粘层沥青。沥青面层应充分压实。新老路面接缝定用热烙铁烫密。

4. 治理方法

2~5mm 的裂缝可用改性乳化沥青灌缝,大于 5mm 的裂缝可用改性沥青(如 SBS 改性沥青)灌缝。灌缝前,须先清除缝内、缝边碎粒料、垃圾,并保持缝内干燥,灌缝后,表面撒上粗砂或 3~5mm 石屑。

(三)网状裂缝

1. 现象

裂缝纵横交错,缝宽 1mm 以上,缝距 40cm 以下,1m² 以上。

2. 原因分析

(1)路面结构中夹有软弱层或泥灰层,粒料层松动,水稳性差。

(2)沥青与沥青混合料质量差,延度低,抗裂性差。

(3) 沥青层厚度不足,层间粘结差,水分渗入,加速裂缝的形成。

(4) 路面总体强度不足,在损坏初期形成网裂,日后裂缝逐步扩展,缝距缩小。

3. 预防措施

(1) 沥青面层摊铺前,对下卧层需认真检查,及时清除泥灰,处理好软弱层,保证下卧层稳定,并宜喷洒 $0.3 \sim 0.6 \text{kg/m}^2$ 粘层沥青。

(2) 原材料质量和混合料质量严格按《沥青路面施工及验收规范》(GB 50092)的要求进行选定、拌制和施工。

(3) 沥青面层各层应满足最小施工厚度的要求,保证上下的良好连接,并从设计施工养护上采取措施有效地排除雨后结构层内积水。

(4) 路面结构设计应做好交通量调查和预测工作,使路面结构组合与总体强度满足设计使用期限内交通荷载要求。上基层必须选用水稳定性良好的有粗粒料的石灰、水泥稳定类材料。

4. 治理方法

(1) 如夹有软弱层或不稳定结构层时,应将其铲除;如因结构层积水引起网裂时,铲除面层后,需加设将路面渗透水排除至路外的排水设施。然后再铺筑新混合料。

(2) 如强度满足要求,网状裂缝出自沥青面层厚度不足时,可采用铣削网裂的面层后加铺新料来处理。加铺厚度按现行设计规范计算确定;如在路面上加罩,为减轻反射裂缝,可采取各种“防反”措施进行处理。(详见(四))。

(3) 由于路基不稳定,导致路面网裂时,可采用石灰或水泥处理路基,或注浆加固处理,深度可根据具体情况确定,一般为 $20 \sim 40 \text{cm}$ 。消石灰用量 $5\% \sim 10\%$,或水泥用量 $4\% \sim 6\%$ 。待土路基处理稳定后,再重做基层、面层。

(4) 由于基层软弱或厚度不足引起路面网裂时,可根据情况,分别采取加厚、调换或综合稳定的措施进行加强,水稳定性好、收缩性小的半刚性材料是首选基层。基层加强后,再铺筑沥青面层。

(四) 反射裂缝

1. 现象

基层产生裂缝后,在温度和行车荷载作用下,裂缝将逐渐反射到沥青层表面,路表面裂缝的位置形状与基层裂缝基本相似。对于半刚性基层以横向裂缝居多,对于在柔性路面上加罩的沥青结构层,裂缝形式不一,取决于下卧层。

2. 原因分析

(1) 半刚性基层收缩裂缝的反射裂缝。

(2) 在旧路面上加罩沥青面层后原路面上已有裂缝包括水泥混凝土路面的接缝的反射。

3. 预防措施

(1) 采取有效措施减少半刚性基层收缩裂缝。

(2) 在旧路面加罩沥青路面结构层前,可铣削原路面后再加罩,或采用铺设土工布、搁栅后再加罩,以延缓反射裂缝的形成。

4. 治理方法

(1) 缝宽小于 2mm 时,可不作处理。

(2) 缝宽大于 2mm 时,可采用改性乳化沥青或改性沥青(如 SBS 改性沥青)灌缝。灌缝前须先清除缝内垃圾、缝边碎粒,并保持缝内干燥。灌缝后撒粗砂或 3~5mm 石屑。

(五) 翻浆

1. 现象

基层的粉、细料浆水从面层裂缝或从多空隙率面层的空隙处析出,雨后路表面呈淡灰色。

2. 原因分析

(1) 基层用料不当,或拌和不匀,细料过多。由于其水稳性差,遇水后软化,在行车作用下浆水上冒。

(2) 低温季节施工的半刚性基层,强度增长缓慢,而路面开放交通过早,在行车与雨水作用下使基层表面粉化,形成浆水。

(3) 冰冻地区的基层,冬季水分积聚成冰,春天解冻时翻浆。

(4) 沥青面层厚度较薄,空隙率较大,未设置下封层和没有采取结构层内排水措施,促使雨水下渗,加速翻浆的形成。

(5) 表面处治和贯入式面层竣工初期,由于行车作用次数不多,结构层尚未达到应有密实度就遇到雨季,使渗水增多,基层翻浆。

3. 预防措施

(1) 采用含粗粒料的水泥、石灰粉煤灰稳定类材料作为高等级道路的上基层。粒料级配应符合要求,细料含量要适当。

(2) 在低温季节施工时,石灰稳定类材料可掺入早强剂,以提高其早期强度。

(3) 根据道路等级和交通量要求,选择合适的面层类型和适当厚度。沥青混凝土面层宜采用二层式或三层式,其中一层须采用密级配。当各层均为沥青碎石时,基层表面必须做下封层。

(4) 设计时,对空隙率较大、易渗水的路面,需考虑设置排除结构层内积水的结构措施。

(5) 表面处治和贯入式面层经施工压实后,空隙率仍然较大,需要有较长时间借助行

车进一步压密成型。因此,这两种类型面层宜在热天或少雨季节施工。

4. 治理对策

(1)采取切实措施,使路面排水顺畅,及时清除雨水进水孔垃圾,避免路面积水和减少雨水下渗。

(2)对轻微翻浆路段,将面层挖除后,清除基层表面软弱层,铺设下封层后铺筑沥青面层。

(3)对严重翻浆路段,将面层、基层挖除,如涉及路基,还要对路基处理之后,铺筑水稳性好、含有粗骨料的半刚性材料作基层,并用适宜的沥青结构层进行修复。并做好排除路面结构层内积水的技术措施。

(六)车辙

1. 现象

路面在车辆荷载作用下轮迹处下陷,轮迹两侧往往伴有隆起(如图4-3-32所示)形成纵向带状凹槽。在实施渠化交通的路段或停刹车频率较高的路段较易出现。

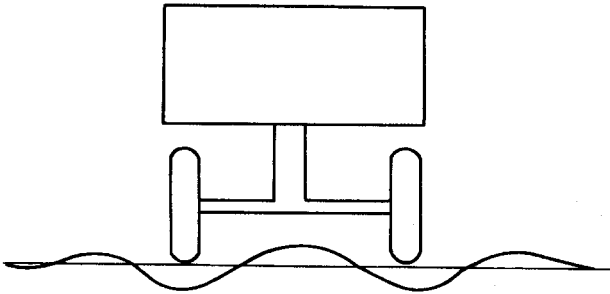


图 4-3-32 车辙示意图

2. 原因分析

(1)沥青混合料热稳定性不足。矿料级配不好细集料偏多,集料未形成嵌锁结构,沥青用量偏高,沥青针入度偏大,或沥青质量不好。

(2)沥青混合料面层施工时未充分压实,在车辆反复荷载作用下,轮迹处被进一步压密,而出现下陷。

(3)基层或下卧层软弱,或未充分压实,在行车荷载作用下,继续压密,或产生剪切破坏。

3. 预防措施

(1)粗集料应粗糙且有较多的破碎裂面。密级配沥青混凝土中的粗集料应形成良好的骨架作用,细集料充分填充空隙,沥青混合料稳定度及流值等技术指标应满足规范要求,高等级道路应进行车辙试验检验,稳定度对高速公路和城市快速路不小于 800 次/

mm,对一级公路和城市主干路不小于 600 次/mm。

(2)根据当地气候条件按《沥青路面施工及验收规范》(GB 50092)选用合适标号的沥青,针入度不宜过大。上海地区一般选用 70 号重交通道路石油沥青。

(3)施工时,必须按照有关规范要求进行碾压,基层和沥青混合料面层的压实度应分别达到 98%和 95%或 96%。

(4)对于通行重车比例较大的道路,或起动、制动频繁、陡坡的路段,必要时可采用改性沥青混合料,提高抗车辙能力。但在选用时,需兼顾高低温性能。

(5)道路结构组合设计时,沥青面层每层的厚度不宜超过混合料集料最大粒径的 3~4 倍。否则较易引起车辙。

4. 治理方法

(1)如仅在轮迹处出现下陷,而轮迹两侧未出现隆起时,则可先确定修补范围,一般可目测或将直尺架在凹陷上,与长直尺底面相接的路面处可确定为修补范围的轮廓线,沿轮廓线将 5~10cm 宽的面层完全凿去或用机械铣削,槽壁与槽底垂直,并将凹陷内的原面层凿毛,清扫干净后,涂刷 $0.3 \sim 0.6 \text{ kg/m}^2$ 粘层沥青,用与原面层结构相同的材料修补,并充分压实,与路面接平。

(2)如在轮迹的两侧同时出现条状隆起,应先将隆起部位凿去或铣削,直至其深度大于原面层材料最大粒径的 2 倍,槽壁与槽底垂直,将波谷处的原面层凿毛,清扫干净后涂刷 $0.3 \sim 0.6 \text{ kg/m}^2$ 的粘层沥青,再铺筑与面层同级配的沥青混合料,并充分压实与路面接平。

(3)若因基层强度不足,水稳性不好等原因引起车辙时,则应对基层进行补强或将损坏的基层挖除,重新铺筑。新修补的基层应有足够强度和良好的水稳性,坚实平整;如原为半刚性基层,可采用早期强度较高的水泥稳定碎石修筑。但其层厚不得小于 15cm。修补时应注意与周边原基层的良好衔接。

(4)对于受条件限制或车辙面积较小的街坊道路,可采用现场冷拌的乳化沥青混合料修补。其集料级配和沥青用量,可参照《沥青路面施工及验收规范》(GB 50092)确定。

(七)拥包

1. 现象

沿行车方向或横向出现局部隆起。拥包较易发生在车辆经常起动、制动的地方,如车站、交叉口等。

2. 原因分析

(1)沥青混合料的沥青用量偏高或细料偏多,热稳定性不好。在夏季气温较高时,不足以抵抗行车引起的水平力。

(2)面层摊铺时,底层未清扫或未喷洒(涂刷)粘层沥青,致使路面上下层粘结不好;沥青混合料摊铺不匀,局部细料集中。

(3)基层或下面层未经充分压实,强度不足,发生变形位移。

(4)在路面日常养护时,局部路段沥青用量过多,集料偏细或摊铺不均匀。

(5)陡坡或平整度较差路段,面层沥青混合料容易在行车作用下向低处积聚而形成拥包。

3. 预防措施

(1)在混合料配合比设计时,要控制细集料的用量,细集料不可偏多。选用针入度较低的沥青,并严格控制沥青的用量。

(2)在摊铺沥青混合料面层前,下层表面应清扫干净,均匀洒布粘层沥青,确保上下层粘结。

(3)人工摊铺时,由于料车卸料容易离析,应做到粗细料均匀分布,避免细料集中。

(4)其余同(六)中预防措施(3)及(4)。

4. 治理方法

(1)凡由于沥青混合料本身级配偏细,沥青用量偏高,或者上下层粘结不好而形成的拥包,应将其完全铣削掉,并低于原路表,然后待开挖表面干燥后喷洒 $0.3 \sim 0.6\text{kg}/\text{m}^2$ 粘层沥青,再铺筑热稳定性符合要求的沥青混合料至与路面平齐。当拥包周边伴有路面下陷时,应将其一并处理。

(2)如基层已被推挤,应将损坏部分挖除,重新铺筑。详见(六)治理方法(3)。

(3)修补时应采用与原路面结构相同或强度较高的材料。如受条件限制,则对于面积较小的修补,可采用现场冷拌的乳化沥青混合料,但应严格控制集料的级配和沥青用量。

(八)搓板

1. 现象

路表面出现轻微、连续的接近等距离的起伏状,形似洗衣搓板。虽峰谷高差不大,但行车时有明显的频率较高颠簸感。

2. 原因分析

(1)沥青混合料的集料级配偏细,沥青用量偏高,高温季节时,面层材料在车辆水平力作用下,发生位移变形。

(2)铺设沥青面层前,未将下层表面清扫干净并喷洒粘层沥青,致使上层与下层粘结不良,产生滑移。

(3)旧路面上原有的搓板病害未认真处理即在其上铺设面层。

3. 预防措施

(1)合理设计与严格控制混合料的级配,详见(六)预防措施(1)。

(2)在摊铺沥青混合料前,须将下层顶面的浮尘、杂物清扫干净,并均匀喷洒粘层沥青,保证上下层粘结良好。

(3)基层、面层应碾压密实,详见(六)预防措施(3)。

(4)旧路上进行沥青罩面前,须先处理原路面上已发生的搓板病害,否则,压路机无法将搓板上新罩的面层均匀碾压密实,新的搓板现象随即就会出现。

4. 治理方法

(1)如属混合料中沥青用量偏多引起的不很严重的搓板时,参照(七)治理方法(1)处理。

(2)因上下面层相对滑动引起的搓板,或搓板较严重,面积较大时,应将面层全部铲除,并低于原路面,其深度应大于用于修补沥青混合料最大集料粒径的2倍,槽壁与槽底垂直,清除下层表面的碎屑、杂物及粉尘后,喷洒 $0.3 \sim 0.6 \text{kg/m}^2$ 的粘层沥青,重新铺筑沥青面层。

(3)在交通量较小的街坊道路上,可采用冷拌的乳化沥青混合料找平或进行小面积的修补。

(4)属于基层原因形成的搓板,应对损坏的基层进行修补。详见(六)治理方法(3)。

(九)泛油

1. 现象

表面处治和贯入式路面的表面基本上被一薄层沥青覆盖,未见或很少看到集料,路表光滑,容易引起行车滑溜交通事故。

2. 原因分析

(1)表面处治,贯入式使用沥青标号不适当,针入度过大。

(2)沥青用量过多或集料撒布量过少。

(3)冬天施工,面层成型慢,集料散失过多。

3. 预防措施

(1)施工前,须根据本地区气候条件参照表4-3-59选定合适的沥青标号。

表4-3-59 表面处治和贯入式路面选用的沥青标号

| 气候分区 | 寒 区 | 温 区 | 热 区 |
|--------|-------|-------|-------|
| 石油沥青标号 | A-140 | A-100 | A-60 |
| | A-180 | A-140 | A-100 |
| | A-200 | A-180 | A-140 |

注 摘自《沥青路面施工及验收规范》(GB 50092)。

(2) 沥青用量和集料规格、撒布量可按照相关规定进行施工。

(3) 冬天施工时,面层成型慢,集料容易散失,应及时补撒集料,避免低温季节施工。

4. 治理方法

在热天气温较高时进行处理最为有效。如轻微泛油,可撒布 3~5(8)mm 石屑或粗黄砂,撒布量以车轮不粘沥青为度;如泛油较严重,可先撒布 5~10(15)mm 集料,经行车碾压稳定后再撒布 3~5(8)mm 石屑或粗黄砂嵌缝。使用过程中,散失的集料须及时回扫或补撒集料。

(十) 坑槽

1. 现象

表层局部松散,形成深度 2cm 以上的凹槽。在水的侵蚀和行车的作用下,凹槽进一步扩大,或相互连接,形成较大较深坑槽,严重影响行车的安全性和舒适性。

2. 原因分析

(1) 面层厚度不够,沥青混合料粘结力不佳,沥青加热温度过高,碾压不密实,在雨水和行车作用下,面层材料性能日益恶化松散、开裂,逐步形成坑槽。

(2) 摊铺时,下层表面泥灰、垃圾未彻底清除,使上下层不能有效粘结。

(3) 路面罩面前,原有的坑槽、松散等病害未完全修复。

(4) 养护不及时。当路面出现松散、脱皮、网裂等病害时,或被机械行驶刮铲损坏后,未及时养护修复。

3. 预防措施

(1) 沥青面层应具有足够的设计厚度,特别是上面层,不应小于施工厚度以保证在行车荷载作用下有足够的抗力。沥青混合料配合比设计宜选用具有较高粘结力的较密实的级配。若采用空隙率较大的抗滑面层或使用酸性石料时,宜使用改性沥青或在沥青中掺加一定量的抗剥落剂以改善沥青和石料的粘附性能。

(2) 沥青混合料拌制过程中,应严格掌握拌和时间、沥青用量及拌和温度,保证混合料的均匀性,严防温度过高沥青焦枯现象发生。

(3) 在摊铺沥青混合料面层前,下层应清扫干净,并均匀喷洒粘层沥青。面层摊铺后应按有关规范要求碾压密实。如在老路面上罩面,原路面上坑槽必须先行修补之后,再进行罩面。

(4) 当路表面出现松散、脱皮、轻微网裂等可能使雨水下渗的病害,或路面被机械刮铲受损,应及时修补以免病害扩展。

4. 治理方法

(1) 如路基完好,坑槽深度仅涉及下面层的维修。

①确定所需修补的坑槽范围,一般可根据路面的情况略大于坑槽的面积,修补范围应方正并与行车方向平行或垂直。

②若小面积的坑槽较多或较密时,应将多个小坑槽合并确定修补范围。

③采用人工或机械的方法将修补范围内的面层削去,槽壁与槽底应垂直。槽底面应坚实无松动现象,并使周围好的路面不受影响或松动损坏。

④将槽壁槽底的松动部分,损坏的碎块及杂物清扫干净,然后在槽壁和槽底表面均匀涂刷一层粘层沥青,用量约为 $0.3 \sim 0.6\text{kg}/\text{m}^2$ 。

⑤将与原面层材料级配基本相同的沥青混合料填入槽内,摊铺平整,并约按槽深1.2倍掌握好松铺系数。摊铺时要特别注意将槽壁四周的原沥青面层边缘压实铺平。

⑥用压实机具在摊铺好的沥青混合料上反复来回碾压至与原路面平齐。如坑槽较深或面积较小,无法用压实机具一次成型时,应分层铺筑,下层可采用人工夯实,上层则应采用机械压实。

(2)如基层已损坏,须先将基层补强或重新铺筑。基层应坚实平整,没有松散和软弱现象。

(3)对于交通量较小的街坊道路,采用热拌沥青混合料材料有困难时,可用冷拌的乳化沥青混合料来修补面层,但须采用较密实的级配,并充分碾压,以防止雨水再次下渗。

(十一) 松散

1. 现象

面层集料之间的粘结力丧失或基本丧失,路表面可观察到成片悬浮的集料或小块混合料,面层的部分区域明显不成整体。干燥季节,在行车作用下可见轮后粉尘飞扬。

2. 原因分析

(1)沥青混凝土中的沥青针入度偏小,粘结性能不良;混合料的沥青用量偏少;矿料潮湿或不洁净,与沥青粘结不牢;拌和时温度偏高,沥青焦枯;沥青老化或与酸性石料间的粘附性能不良,造成路面松散。

(2)摊铺施工时,未充分压实,或摊铺时,沥青混凝土温度偏低;雨天摊铺,水膜降低了集料间的粘结力。

(3)基层强度不足,或呈湿软状态时摊铺沥青混凝土,在行车作用下可造成面层松散。

(4)在沥青路面使用过程中,溶解性油类的泄漏,雨雪水的渗入,降低了沥青的粘结性能。

3. 预防措施

(1)对使用酸性石料拌制沥青混合料时,须在沥青中掺入抗剥落剂或在填料中掺用适量的生石灰粉、干净消石灰、水泥。以提高沥青与酸性石料的粘附性能。

(2)在沥青混合料生产过程中,应选用标号合适的沥青和干净的矿料,集料的含泥量不得超过规定的要求,集料在进入拌缸前应完全烘干并达到规定的温度,除按规定加入沥青外,还应在拌制过程中随时观察沥青混合料的外观,是否有因沥青含量偏少而呈暗淡无光泽的现象,拌制新的级配的沥青混合料时尤应加强观测,集料烘干加热时的温度一般控制不超过 180°C ,避免过高,否则会加快沥青中的轻质油分挥发,使沥青过早老化,影响沥青混凝土整体性。

(3)沥青混合料运到工地后应及时摊铺,及时碾压。摊铺温度及碾压温度偏低会降低沥青混合料面层的压实质量。摊铺后应及时按照有关施工技术规范要求碾压到规定的压实度,碾压结束时温度应不低于 70°C ;应避免在气温低于 15°C 或雨天施工。

(4)路面出现脱皮等轻微病害时,应及时修补。

4. 治理方法

将松散的面层清除,重铺沥青混凝土面层。如涉及基层,则应先对基层进行处理。具体方法参见(六)治理方法(3)。

(十二)脱皮

1. 现象

沥青路面上层与下层或旧路上的罩面层与原路面粘结不良,表面层呈成块状或成片状的脱落,其形状、大小不等,严重时可成片。

2. 原因分析

(1)摊铺时,下层表面潮湿或有泥土或灰尘等,降低了上下层之间的粘结力。

(2)旧路面上加罩沥青面层时,原路表面凿毛,未喷洒粘层沥青,造成新面层与原路面粘结不良而脱皮。

(3)面层偏薄,厚度小于混合料集料最大粒径两倍,难以碾压成型。

3. 预防措施

(1)在铺设沥青面层前,应彻底清除下层表面的泥土、杂物、浮尘等,并保持表面干燥,喷洒粘层沥青后,立即摊铺沥青混合料,使上下层粘结良好。

(2)在旧路面上加罩沥青面层时,原路面应用风镐或“十”字镐凿毛,有条件时,采用铣削机铣削,经清扫、喷洒粘层沥青后,再加罩面层。

(3)单层式或双层式面层的上层压实厚度必须大于集料粒径的两倍,利于压实成型。

4. 治理方法

(1)脱皮较严重的路段,应将沥青面层全部削去,重新铺筑面层。可参照(十)治理方法进行。

(2)脱皮面积较小,且交通量不大的街坊道路,可按(十)治理方法进行修复。

(3) 脱皮部位发现下层松软等病害时,可参照(十)治理方法对基层补强后修复。

(十三) 啃边

1. 现象

路面边缘破损松散、脱落。

2. 原因分析

- (1) 路边积水,使集料与沥青剥离、松散。
- (2) 路面边缘碾压不足,面层密实度较差。
- (3) 路面边缘基层松软,强度不足,承载力差。

3. 预防措施

(1) 合理设计路面排水系统、注意日常养护,经常清除雨水口进水孔垃圾,使路面排水畅通。

(2) 施工时,路面边缘应充分碾压,压实后的沥青层应与缘石齐平、密贴。因此摊铺时要正确掌握上面层的松铺系数。

(3) 基层宽度须超出沥青层 20~30cm,以改善路面受力条件。

4. 治理方法

在啃边路段修补范围内,离沥青面层边缘 5~10cm 处划出标线,选择适用机具沿标线将面层材料挖除,经清扫后,在底面、侧面涂刷粘层沥青,然后按原路面的结构和材料进行修复,接缝处以热熔烫边,使接缝紧密。

(十四) 光面

1. 现象

路表面光滑,表面看不到粗集料或集料已被磨光。阴雨天气易出现行车滑溜交通事故。

2. 原因分析

- (1) 上面层细集料或沥青用量偏多。
- (2) 集料质地较软,磨耗大,易被汽车轮胎磨损。

3. 预防措施

(1) 表面处治和贯入式路面所用的材料、规格和用量应符合相关规定。集料应具有较好的颗粒形状、较多的棱角。成型期间,集料散失时应及时补撒。

(2) 沥青路面上面层混合料级配应符合《沥青路面施工及验收规范》(GB 50092)规定 $\leq 2.36\text{mm}$ (圆孔筛 2.5mm)和 $\geq 4.75\text{mm}$ (圆孔筛 5.0mm)的含量必须严格控制在规范规定的容许范围内,避免细集料过多;公路及主干路、次干路的上面层应采用细粒式沥青混凝土。砂粒式沥青混凝土的最大粒径较小,细料较多,易形成光面,一般只用于非机动车

道、人行道。

(3)采用具有足够强度、耐磨性好的集料修筑上面层。对于高等级道路、一级公路和城市主干路,压碎值不大于28%,洛杉矶磨耗损失不大于30%;用于其他等级道路时,压碎值不大于30%,洛杉矶磨耗损失不大于40%。

4. 治理方法

(1)对表面处治和贯入式路面,可直接在光面上加罩封层,或用铣削机将表面层刨除,清扫后,进行封层。封层材料按规范要求选择。

(2)沥青混凝土路面,上面层经铣刨、清扫后,喷洒 $0.3 \sim 0.6 \text{kg/m}^2$ 粘层沥青,然后铺筑细粒式沥青混凝土上面层。

(十五)与收水井、检查井衔接不顺

1. 现象

收水井、检查井盖框标高比路面高或低,汽车通过时有跳车或抖动现象,行车不舒适,路面容易损坏。

2. 原因分析

(1)施工放样不仔细,收水井、检查井盖框标高偏高或偏低,与路面衔接不整齐。

(2)收水井、检查井基础下沉。

(3)收水井、检查井周边回填土及路面压实不足,交通开放后,逐渐沉陷。

(4)井壁及管道接口渗水,使路基软化或淘空,加速下沉。

3. 预防措施

(1)施工前,必须按设计图纸做好放样工作,标高要准确,收水井、检查井中所在位置的标高与道路纵向标高、横坡相协调,避免出现高差。

(2)收水井、检查井的基础及墙身结构应合理设计,按规范施工,减少或防止下沉。

(3)井周边的回填土、路面结构必须充分压实。回填土压实有困难时,可采用水稳定性好,压缩性小的粒状材料或稳定类材料进行回填。

(4)在铺筑沥青混合料前,须先在井壁涂刷粘层沥青再铺筑面层,压实后,宜用热烙铁烫密封边,以防井壁渗水。

4. 治理方法

(1)当收水井、检查井高出路面时,可吊移盖框,降低井壁至合适标高后,再放上盖框,并处理好周边缝隙。

(2)当收水井、检查井低于路面时,可先将盖框吊开,以合适材料调平底座,调平材料达到强度后放上盖框。盖框安置妥当后,认真做好接缝处理工作,使接缝密封不渗水。

(十六)施工接缝明显

1. 现象

接缝歪斜不顺直,前后摊铺幅色差大、外观差,接缝不平整有高差,行车不舒适。

2. 原因分析

- (1) 在后铺筑沥青层时,未将前施工压实好的路幅边缘切除,或切线不顺直。
- (2) 前后施工的路幅材料有差别,如石料色泽深浅不一或级配不一致。
- (3) 后施工路幅的松铺系数未掌握好,偏大或偏小。
- (4) 接缝处碾压不密实。

3. 防治措施

(1) 在同一个路段中,应采用同一料场的集料,避免色泽不一;上面层应采用同一种类型级配,混合料配合比要一致。

(2) 纵横冷接缝必须按有关施工技术规范处理好。在摊铺新材料前,须将已压实的路面边缘塌斜部分用切削机切除,切线顺直,侧壁垂直,清扫碎粒料后,涂刷 $0.3 \sim 0.6 \text{ kg/m}^2$ 粘层沥青,然后再摊铺新材料,并掌握好松铺系数。施工后及时用 3 m 直尺检查接缝处平整度,如不符合要求,趁混合料未冷却时进行处理。

(3) 纵横向接缝须采用合理的碾压工艺。在碾压纵向接缝时,压路机应先在已压实路面上行走,碾压新铺层的 $10 \sim 15 \text{ cm}$,然后压实新铺部分,再伸过已压实路面 $10 \sim 15 \text{ cm}$ 。如图 4-3-33 所示。接缝须得到充分压实,达到紧密、平顺要求。

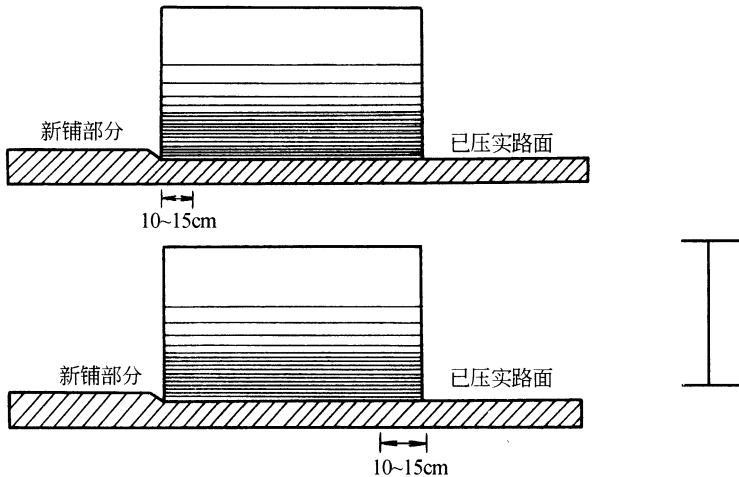


图 4-3-33 纵缝冷接缝的碾压

(十七) 压实度不足

1. 现象

压实未达到规范要求。在压实度不足的面层上,用手指甲或细木条对路表面的粒料进行拨挑时,粒料有松动或被挑起的现象发生。

2. 原因分析

(1) 碾压速度未掌握好, 碾压方法有误。

(2) 沥青混合料拌和温度过高, 有焦枯现象, 沥青丧失粘结力, 虽经反复碾压, 但面层整体性不好, 仍呈半松散状态。

(3) 碾压时面层沥青混合料温度偏低, 沥青虽裹覆较好, 但已逐渐失去粘性, 沥青混合料在压实时呈松散状态, 难以压实成型。

(4) 雨天施工时, 沥青混合料内形成的水膜, 影响矿料与沥青间粘结以及沥青混合料碾压时, 水分蒸发所形成的封闭水汽, 影响了路面有效压实。

(5) 压实厚度过大或过小。

3. 预防措施

(1) 在碾压时应按初压、复压、终压三个阶段进行, 行进速度须慢而均匀。碾压速度应符合表 4-3-60 的规定。

表 4-3-60 压路机碾压速度(km/h)

| 压路机类型 | 初 压 | | 复 压 | | 终 压 | |
|-------|-----------|-------|---------|---------|---------|-------|
| | 适宜 | 最大 | 适宜 | 最大 | 适宜 | 最大 |
| 钢筒式 | 1.5~2 | 3 | 2.5~3.5 | 5 | 2.5~3.5 | 5 |
| 轮胎式 | - | - | 3.5~4.5 | 8 | 4~6 | 8 |
| 振动式 | 1.5~2(静压) | 5(静压) | 4~5(振动) | 4~5(振动) | 2~3(静压) | 5(静压) |

注: 摘自《沥青路面施工及验收规范》(50092)。

(2) 碾压时驱动轮面向摊铺机方向前进, 驱动轮在前, 从动轮在后。如图 4-3-34 所示。

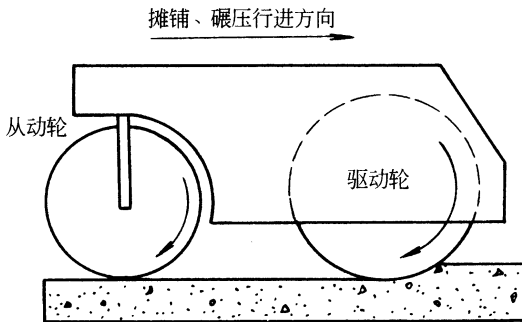


图 4-3-34 压路机的正确行进方向示意图

(3) 沥青混合料拌制时, 集料烘干温度要控制在 160~180℃之间, 温度过高会使沥青出现焦枯, 丧失粘结力, 影响沥青混合料压实性和整体性。

(4) 沥青混合料运到工地后应及时摊铺, 及时碾压, 碾压温度过低会使沥青的粘度提

高,不易压实。应尽量避免气温低于 10°C 或雨季施工。

(5)压实层最大厚度不得超过 10cm ,最小厚度应大于集料最大粒径 1.5 倍(中、下面层)或 2 倍。压实度应符合规定。

4. 治理方法

压实度不足的面层在使用过程中极易出现各种病害,一般应铣削后重新铺筑热拌沥青混合料。详情可参照(十)治理方法进行。

二、抗滑表层

(一)构造深度不足

1. 现象

路表构造深度低于设计规范要求。构造深度是路面粗糙度指标的重要内容。构造深度小。雨天时路表水膜较厚,高速行驶时会引起水漂,容易造成滑溜等交通事故,影响后跟车的能见度及行车安全。

2. 原因分析

(1)抗滑层混合料类型选择不当,空隙率较小。

(2)沥青偏软或沥青用量偏多,集料表面沥青膜较厚。

3. 预防措施

(1)根据道路等级和使用条件按设计规范选定合适的抗滑层类型。上海市暂定,当设计车速 $60\sim 80\text{km/h}$ 时,可采用空隙率 5% 左右的LK—15—0抗滑层。当设计车速 $> 80\text{km/h}$ 时,可采用空隙率 7% 左右的LK—15A抗滑层。对环境不良地段(陡坡、沿线居民集中)可采用空隙率 10% 左右的LK—15B抗滑层。

(2)抗滑层混合料的最佳沥青用量必须通过马歇尔试验确定。实际沥青用量控制在最佳沥青用量 $\pm 0.3\%$ 以内。并参照《沥青路面施工及验收规定》选用合适的沥青标号。

4. 治理方法

抗滑层竣工后第一个夏季测定的构造深度(铺砂法测定)如达不到设计要求必须分析原因,采取必要措施加以纠正。在路面交付使用后,抗滑层被磨损,或进一步压密,构造深度会减小,当小于某一养护标准时,可采用原路面抗滑层的沥青混合料级配重新铺筑。

(二)摩擦系数不足

1. 现象

摩擦系数低于设计规范要求。摩擦系数小时汽车刹车时滑行距离大,或车轮侧向偏移,容易造成交通事故,甚至翻车。

2. 原因分析

(1) 抗滑层级配不合理。

(2) 石料磨光值较小, 磨耗值较大, 容易被车轮磨损。

3. 预防措施

(1) 根据道路等级、环境条件选用合适的抗滑层类型。

(2) 采用磨光值高且坚韧、耐磨耗的石料用于抗滑层。不用磨光值低于 42, 且磨耗率大的石料, 上海市 10 年前开始已在高速公路、快速道路修筑抗滑层用的石料磨光值大于 47, 洛杉矶磨耗率 8%, 使用效果良好, 抗滑性能衰减也很慢。

4. 治理方法

路面摩擦系数以“摆值”或“横向力系数”表示。当摆值小于 37 或横向力系数小于 0.35 时, 雨天快速行车容易出现滑溜交通事故。需重新铺筑或铣削后铺筑合适的抗滑层。

(三) 粗细料分布不匀

1. 现象

路表局部粗集料或细集料较集中, 外观色泽深浅不一。

2. 原因分析

(1) 机铺时, 摊铺机螺旋送料器横向输出量分布不匀, 细料偏于中间, 粗料趋于两端, 造成粗细料离析。

(2) 人工摊铺时, 扬锹远甩, 或刮平时用力轻重不一; 反复撒料反复刮平使粗细料离析。

3. 防治措施

(1) 摊铺机作业时, 应缓慢、均匀、连续, 螺旋送料器需不停地运转, 并确保其两端的混合料数量大于送料器高度的 $2/3$, 摊铺后不宜用人工反复修整, 尽量做到一次摊铺成型。

(2) 人工摊铺时, 应扣锹放料, 刮平时用力应轻重一致, 刮 2~3 次达到平整即可。

(3) 当出现粗细料离析时, 将其铲除补上新料。

(四) 坑槽

1. 现象

小面积 (0.5m^2 左右) 混合料散失, 深度可达抗滑层底面, 雨天积水、行车不适。

2. 原因分析

(1) 铺筑抗滑层时原路表面垃圾、泥土未清除干净造成夹心, 使上下层分离, 抗滑层松散脱落。

(2)抗滑层与中面层的铺筑间隔时间过长,中面层表面被泥灰污染,施工时粘层沥青漏洒或数量不足,导致上下层粘结不良。

(3)局部抗滑层厚度不足,小于最小施工压实厚度。

(4)柴油、机油滴漏在抗滑层上,沥青被稀释后,粘结力降低,集料失散。

(5)抗滑层空隙率较大,路表渗水,缺乏有效措施将其及时排除,加速沥青混合料强度衰减。

3. 预防措施

(1)在铺筑抗滑层前,需由专人对中面层表面彻底清扫垃圾、铲除泥土,并喷洒 $0.3 \sim 0.6\text{kg}/\text{m}^2$ 粘层沥青。

(2)避免柴油、机油滴漏到路面上。

(3)抗滑层压实厚度要足够,必须大于混合料集料最大粒径的2.5倍。如细粒式抗滑层的最小压实厚度应为4cm。

在设计、施工中重视抗滑层渗水的排水设施。

4. 治理方法

在离坑槽边缘5cm左右划出边框线,用人工或机械切除,深度要达坑槽底(一般为抗滑层层厚),侧壁须垂直,清除坑槽碎粒料和垃圾后,涂刷粘层沥青,然后铺筑与原抗滑层级配相同的混合料,用小型压实机具充分压实,接缝处宜用热烙铁烫密。

(五) 沥青剥落

1. 现象

石料表面沥青膜脱落,沥青混合料失去粘性。在行车作用下,粗粒料走失。严重时,路面松散。

2. 原因分析

(1)采用酸性(或中性)石料拌制沥青混合料时,没有掺入抗剥落剂,或掺入量不足,或掺了无效的抗剥落剂。

(2)石料含泥量过多,使石料与沥青膜之间存有泥土夹层。

3. 预防措施

(1)对工程上选定的石料必须进行粘附性试验,粘附性能未达到现行规范要求时,需掺入抗剥落剂。抗剥落剂分两类,一类为掺入沥青的有机类表面活性剂的抗剥落剂,另一类为直接掺入混合料的石灰粉或水泥,代替一部分矿粉。

采用有机类表面活性剂作抗剥落剂时,必须将掺有抗剥落剂的沥青经薄膜加热老化后才进行粘附性试验,以确定其是否适用和掺量是否合理。

(2)用于拌制沥青混合料的粗集料必须洁净,含泥量应小于1%,细集料的砂当量应

不小于 60%。

4. 治理方法

将有松散病害的层次铲除,周边切平,清扫下层表面,并喷洒 $0.3 \sim 0.6\text{L}/\text{m}^2$ 粘层油,然后铺上性能良好的沥青混合料,经压实冷却后即可开放交通。

(六)水损害

1. 现象

病害基本上发生在雨季。开始时路面呈现小块网裂,以后面积逐渐扩大。严重时基层往上冒白浆、路面下沉。当沥青粘附性损失时,沥青层松散,并拌有坑槽。

2. 原因分析

- (1) 压实度不足,沥青层空隙较多,渗水严重。
- (2) 路面横坡较小,排水不畅,路面积水。
- (3) 排水设施不完善,未能及时将路表面雨水、结构层内的滞留水排出路外。
- (4) 没有有效的措施防止中央分隔带和路侧绿地的渗水流入沥青路面结构层。
- (5) 高速、重车的反复作用产生的动水压力是导致水损害的重要外在原因。

3. 预防措施

(1) 切忌过分追求高平整度而忽视压实度,应采取切实措施,使沥青面层达到规范所要求的压实度。甚至更高,如 98%,以减少沥青路面的空隙率,避免或减少水损害。

(2) 做好排水设施配套工作

① 路面横坡宜大于 1.5%,当路幅较宽时(如单向三车道以上),横坡需放大,最好采用 2.0%,以利路表面雨水顺畅而快速地排至路外。

② 路面使用初期,未受到行车进一步压密,路面渗水难以避免,尤其是采用空隙率比较大的抗滑表层时。因此,除在半刚性基层表面做封层外,下面层必须采用密级配的 I 型沥青混凝土,并在路边设置纵向沟、管,经一定距离如 40m 左右设置横向盲沟,将结构层内滞留水排出路外。

③ 对中央分隔及绿化带的浇淋水和雨水,须采取措施,防止渗入路基和路面结构层内。在路边缘与中央分隔带内土体之间宜设置防渗土工布,或油毛毡,并在分隔带内设置纵向排水沟,隔一定距离设横向排水管,将水排出路外。

④ 路外侧绿地的土体标高如高于路面标高时,在绿地与道路之间应设置边沟,防止绿地水渗至路面结构。

(3) 在设计时,首先要认真调查,收集路线所经地域的地下水位和地表积水资料,然后定出合理的设计标高,使路基处于干燥或中湿状态。

根据路面使用功能和交通状况,合理设计沥青面层的结构和材料,必要时可采用改

性沥青或新型的沥青混凝土,以减少空隙率,提高耐久性。

4. 治理方法

当路面出现水损害时,必须查明原因,及时对症下药进行治疗。

(1)因沥青路面压实度不足,渗水而造成面层开裂、松散、坑塘时,应清除损坏部位。清除深度应满足新铺沥青混合料最大粒径3倍(方孔筛)左右的要求。

(2)当路面冒浆、下沉比较严重、坑塘深度直至沥青底面时,必须将损坏部位的整个沥青层挖除。如基层已损坏,亦须挖除,然后按原路结构修复。

当排水设施不完善是造成路面损坏的重要因素时,应再按上述的预防措施来治理。

第四章 水泥混凝土路面施工 质量控制与管理

第一节 水泥混凝土路面概述

一、水泥混凝土路面的构造和类型

水泥混凝土路面是采用水泥混凝土作为面层材料的一种路面。这种路面具有刚度大、强度高、使用耐久和日常养护工作量小的优点。同时,由于水泥混凝土的脆性性质和体积敏感性,这种路面需设置各种接缝,并对超载敏感,损坏后难于修复。此外,水泥混凝土路面还存在行车舒适性不及沥青路面以及噪音较大等缺点。

混凝土路面的结构是由不同结构层次组成的复合结构,各组分在结构体系中具有不同的功能,发挥各自的作用,组合成满足行车使用要求的路面结构。道路使用者对路面的使用要求主要体现在舒适、安全、经济和环境影响等方面。而路面所能提供的这些功能,与路面结构的物理性质和状况以及其表面的特性密切相关。混凝土路面设计即是探讨如何以最经济有效的方式提供在设计使用期内满足行车使用要求的路面结构。

水泥混凝土路面由混凝土面层、基层、垫层、路肩结构和排水设施等组成,如图 4-4-1 所示。图中,左半侧为未设路面内部排水设施和采用沥青路肩的路面结构,右半侧为设置路面内部排水设施和采用水泥混凝土路肩的路面结构。

(一) 面层类型

水泥混凝土面层直接承受行车荷载的作用和环境因素的影响,应具有较高的抗弯拉强度和耐久性以及良好的表面特性(耐磨、抗滑、平整、低噪音等)。

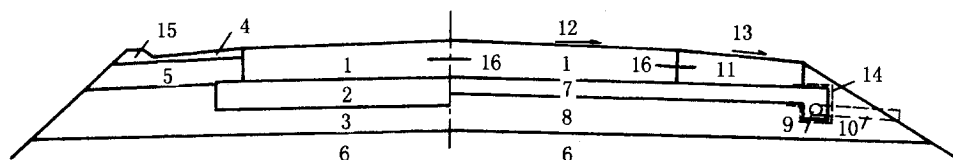


图 4-4-1 水泥混凝土路面的构造

- 1—混凝土面层 2—基层 3—垫层 4—沥青路肩 5—路肩基层 6—土基 7—排水基层；
8—不透水垫层(或设反滤层) 9—集水管 10—排水管 11—混凝土路肩 12—路面横坡；
13—路肩横坡 14—反滤织物 15—拦水带 16—拉杆

水泥混凝土面层可以按组成材料或施工方法的不同,分别采用普通混凝土、碾压混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土、钢纤维混凝土或预应力混凝土等铺筑。

1. 普通混凝土

普通混凝土或称有接缝素混凝土,是指除接缝处和一些局部范围(如角隅、边缘或孔口周围)外,面层板内不配置钢筋的水泥混凝土面层。这是目前应用最为广泛的一种面层类型。道路路面的混凝土面层通常采用等厚断面,其厚度变动于 18cm~30cm,视轴载大小和作用次数以及混凝土强度而定。依据美国的分析和经验,当面层厚度由 20cm~23cm 增加到 25cm 或以上时,路面的使用性能可以得到很显著的提高,而当厚度增加到 30cm 以上时,面层厚度的增加对使用性能的影响就不大了。面层混凝土的弯拉强度变动于 4.0MPa~5.0MPa。面层通常采用整体(整层)式浇筑,集料最大粒径为 40mm。面层厚时,也可采用双层浇筑方式,上层采用较小的集料(最大粒径 20mm 以下)。面层由纵向和横向接缝划分为矩形板块,纵缝的位置通常按车道宽度设定,横缝间距一般为 4m~6m(随基层刚度的增大而减小);板块的平面尺寸通常不宜超过 25m²。横缝内设置传力杆以传递荷载。

2. 碾压混凝土

这是采用不同施工方法的一种普通混凝土。它不是通过在混合料内部振捣密实成型,而是采用类似于水泥稳定粒料基层的方法铺筑,通过路碾压实成型。这类面层具有不需专用的混凝土铺面机械施工,完工后可以较早地开放交通(如 7 天或 14 天),以及可以通过粉煤灰掺代水泥而降低造价等优点。然而,其表面的平整度较差,混合料性质的均匀性较差(即变异性大),接缝处难以设置拉杆或传力杆。因而,碾压混凝土面层目前尚主要用于行车速度不太高的道路、停车场或停机坪的面层;或者,用作下面层,在其上面铺筑高强的普通混凝土、钢纤维混凝土或沥青混凝土薄面层,而形成复合式面层。碾压混凝土混合料的集料最大粒径为 20mm,用作下面层时,最大粒径可略大。面层厚度和接缝设置与内部振捣式普通混凝土面层相同。

3. 钢筋混凝土

这是一种为防止混凝土面层板产生的裂缝缝隙张开而在板内配置纵向和横向钢筋的混凝土面层。通常,它仅在下述情况下采用:

- (1)板的长度较大,如6m以上;
- (2)板下埋有沟、管、线等地下设施或者路基可能产生不均匀沉降而使板开裂;
- (3)板的平面形状不规则或板内开设孔口等。

随板长、板底摩阻和钢筋强度的不同,配筋率(钢筋截面积占面层横断面面积的百分率)一般为0.10%~0.15%。由于板的长度大,接缝缝隙宽,因而横缝内应设置传力杆以提供相邻板的传荷能力。这类面层,除遇特殊情况外,已很少采用。

4. 连续配筋混凝土

这是一种除了在邻近构造物处或与其它路面交接处设置胀缝,以及视施工需要设置施工缝外,在路段长度内不设横缝,而配置纵向连续钢筋和横向钢筋的混凝土面层。纵向钢筋的配筋率通常为0.5%~0.7%,横向钢筋的用量为纵向钢筋的1/8~1/5。连续钢筋混凝土面层的厚度为普通混凝土面层厚度的0.8~0.9倍。由于不设横缝,面层会产生横向裂缝,其平均间距为1.0m~4.5m,但由于纵向钢筋的作用,缝隙宽度较小,平均为0.2mm~0.5mm。为了约束连续配筋混凝土面层端部的过量纵向位移,以减小对邻接构造物或其它路面的推力(或压力),在其端部须采用矩形地梁或灌注桩锚固措施,或者接连设置多条胀缝等。这类面层由于钢筋用量大,造价高,一般仅用于高速公路或交通繁重的道路,或者用于加铺已损坏的旧混凝土路面。

5. 钢纤维混凝土

在混凝土中掺拌钢纤维,可以提高混凝土的韧度和强度,减少其收缩量。钢纤维可以采用不同方式制造,如钢丝截断法、薄钢板剪切法、熔抽法和钢坯铣削法,相应得到不同形状和横截面的纤维。前两种钢纤维所需的用量较大,体积掺量(占混凝土体积的百分率)一般为1.0%~1.2%(78~94kg纤维/m³)。熔抽法主要生产不锈钢纤维。铣削纤维的掺量为30~60kg纤维/m³。由于钢纤维混凝土的弯拉强度高于普通混凝土,因此它所需的面层厚度薄于普通混凝土面层。由于钢纤维混凝土的造价高,因而主要用作设计标高受到限制的旧混凝土路面上的加铺层,或者用作复合式混凝土面层的上面层。

(二) 接缝类型和构造

为了减小由于伸缩和翘曲变形受到约束而产生的应力,并满足混凝土铺筑的要求,混凝土面层需设置各种类型的接缝。按作用的不同,接缝可分为缩缝、胀缝和施工缝三类。其设置位置和构造应能满足三方面的要求:

第一,控制温度伸缩应力和翘曲应力所引起的开裂出现的位置;

第二,能提供一定的荷载传递能力;

第三,防止路表水下渗和坚硬杂物贯入缝隙内。

1. 缩缝

缩缝的作用是控制混凝土的收缩应力和翘曲应力。按设置位置的不同,有横向缩缝和纵向缩缝两种。后者在混凝土一次铺筑宽度大于 4.5m 时设置,接缝平行于路中线。

横向缩缝通常都垂直于路中线,等间距布置。为了控制由翘曲应力所产生的裂缝,缩缝的间距(即面层板长度)一般都在 4m~6m 内选用,基层的刚度越大,选用的间距应越短。为改善行驶质量,也可采用变间距缩缝,并倾斜于路中线布置,使车辆的两侧车轮不同时驶经横缝,从而减少接缝不平整的影响,避免出现车辆共振现象。例如,倾斜斜率 1:6,变间距 4.8m/5.7m/3.6m,或 3.0m/4.2m/3.9m/2.7m,或 5.1m/6.9m/6.6m/4.8m 等。

缩缝有假缝、设传力杆假缝和设拉杆假缝三种构造形式(图 4-4-2)。假缝是在混凝土表层做一槽口,待槽口下的混凝土断裂后,依靠断裂面处集料的嵌锁作用传递荷载。设传力杆假缝是在假缝内设置不妨碍混凝土板收缩位移的传力杆(圆钢筋),依靠传力杆传递荷载。这两种假缝形式用于横向缩缝,在特重和重交通道路上,应采用设传力杆假缝,以减少唧泥和错台病害的出现。设拉杆假缝为在假缝内设置拉杆(螺纹钢筋),以防止两侧混凝土板分开。这种形式用于纵向缩缝。

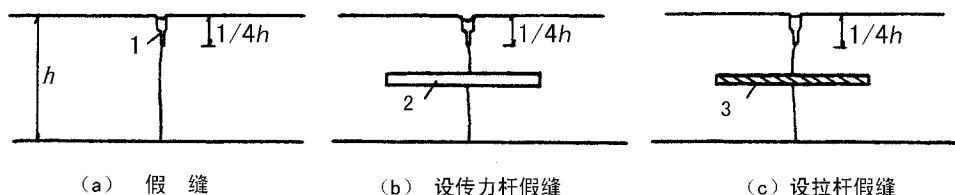


图 4-4-2 缩缝构造

1—槽口 2—传力杆 3—拉杆

接缝的槽口可以采用在硬化混凝土中锯切或者在新鲜混凝土中压入的方式形成。槽口深度约为板厚的 $1/4$ 。槽口深度不足,则该缩缝处混凝土截面的强度削弱得不够,因而难以保证混凝土板在该预定位置处断开。槽口的宽度为 3mm~8mm,锯切的槽口,宽度小,压入的槽口,宽度较大。

槽口断面常采用窄而深的形状。这种形状的槽口,在缩缝缝隙因板伸缩而变化时,槽内的填封材料易被挤出或出现不足。因而,在采用锯切方式做槽口时,宜采用厚锯片进行第二次浅锯切,以加宽上部槽口,形成深宽度比为 1.5~3.0 的断面,容纳填封材料(图 4-4-3)。

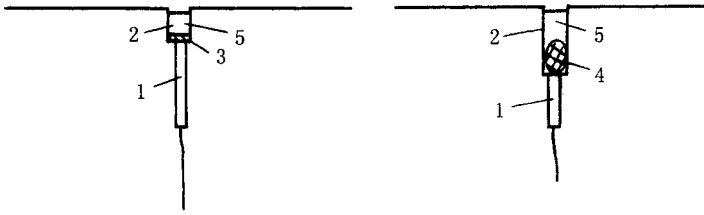


图 4-4-3 接缝槽口

1—第一次锯切槽口 2—第二次锯切槽口 3—隔离填封料与浅槽口底部的条带
4—隔离填封料与浅槽口底部的堵塞材料 5—填封料

缩缝内的传力杆需不妨碍混凝土板收缩,并且不产生锈蚀。因而钢筋表面需覆以环氧涂层,或采用不锈钢钢筋。同时,传力杆应保持正确的定位,平行于路中线和板顶面,其容许偏差为每 40cm 长 $\pm 6\text{mm}$ 。为实现此要求,可在浇筑混凝土之前在基层顶面设置钢筋支架以固定传力杆的位置。传力杆的直径为 25mm ~ 40mm,或面层厚度的 1/8,但建议采用的最小直径为 30mm。传力杆的最小长度为 40cm ~ 50cm,其横向布置间距约为 30cm,最外侧传力杆距接缝或自由边的距离一般为 15cm。

设拉杆的纵向缩缝,由于拉杆的锚固作用,其槽口深度应大些,以保证槽口下的混凝土开裂。基层为粒料时,槽口深度为板厚的 1/3;半刚性基层时,则增加到板厚的 4/10。拉杆的尺寸和布置间距,视设拉杆接缝到自由边或者允许发生位移的接缝之间的距离而定。表 4-4-1 所列可供设计时参考。用拉杆连结的车道数不宜超过 4 个(15m 左右)。

表 4-4-1 拉杆尺寸和间距

| 面层板厚度 (m) | 到自由边或允许发生位移的接缝间的距离(m) | |
|--------------|-----------------------|--------------|
| | 3.6 | 7.2 |
| ≤ 20 | 13 × 60 × 75 | 13 × 60 × 45 |
| 21 ~ 25 | 16 × 75 × 90 | 16 × 75 × 55 |
| 26 ~ 30 | 16 × 75 × 90 | 16 × 75 × 45 |

注:拉杆的数字为直径(mm)×长度(cm)×间距(cm)。

2. 胀缝

在采用短缩缝距和不是在低温时浇筑混凝土的情况下,可在邻近构造物或其它路面不对称交叉处设置胀缝。胀缝的构造如图 4-4-4 所示。胀缝传力杆的尺寸、布置间距和要求,与缩缝传力杆相同。但胀缝传力杆的一端需加一金属套,套子应能罩住传力杆 5cm 长,并在套顶留下至少 2cm ~ 2.5cm 长的空间,供板伸长位移时传力杆相应地有向前移动的余地。

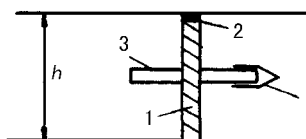


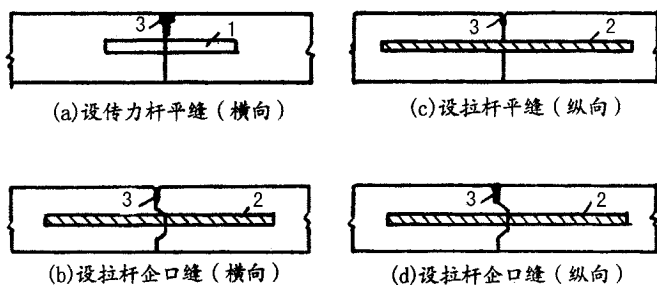
图 4-4-4 胀缝构造

1—预制填缝板条 2—填封料

3—传力杆 4—端部套子

3. 施工缝

每天工作结束或因临时原因而中断施工时,需设置横向施工缝。混凝土一次铺筑宽度小于路面宽度时,需设置纵向施工缝。横向施工缝应尽可能设在缩缝处,做成设传力杆的平缝形式(图 4-4-5)。如有困难而设在缩缝之间时,施工缝采用设拉杆的企口形式,以保证缝隙不张开。纵向施工缝则采用设拉杆的平缝或设拉杆的企口缝形式。传力杆和拉杆的尺寸和间距,与前述缩缝和胀缝的传力杆和拉杆相同。



(a) 设传力杆平缝(横向)

(c) 设拉杆平缝(纵向)

(b) 设拉杆企口缝(横向)

(d) 设拉杆企口缝(纵向)

图 4-4-5 施工缝构造

1—传力杆 2—拉杆 3—填封料

4. 填封(缝)料

接缝槽口的填封(缝)料应具有弹性好,与缝壁混凝土表面粘结力强,温度敏感性小和耐久性好的性质。常用的填封料有热灌的橡胶沥青类、常温施工的聚氨脂焦油类或有机硅树脂以及预制压缩性嵌条等类型。

(三) 基层和垫层类型

对于混凝土面层下的基层,要求能提供均匀的支承,并且具有一定的刚度和耐冲刷能力。可供选择的基层类型有:

- (1) 细料(小于 0.074mm)含量少(不超过 15%)的粒料(碎石或砾石);
- (2) 结合料(水泥、石灰-粉煤灰或沥青)稳定粒料(碎石或砾石);
- (3) 贫混凝土、碾压混凝土。

上述三类基层的刚度,随序次而增大。刚度大的基层,可以减少荷载作用下板边和板角处的挠度量,增加接缝的传荷能力及其耐久性。然而,它会引起面层板产生较大的温度翘曲应力,并增加板与基层顶面间的摩阻力,从而使混凝土面层易于出现开裂。

基层具有一定的排水能力,可将通过面层接缝或裂缝渗入路面结构内的水分迅速排除,由此提高路面的使用性能和使用寿命。因而,采用不含或少含细料的开级配粒料,或者结合料稳定开级配粒料做基层,其使用性能要优于低透水或不透水的密级配基层。

排水基层下面应设置反滤层或者密级配粒料基层,以防止路基中的细料向上迁移到基层内,堵塞排水基层。路基软弱(如粘性土填料)或潮湿(地下水位高或排水不畅)时,应在路基顶面铺设垫层,以改善路基湿度状况和提供均匀支承,并为基层修筑提供较坚实和稳定的基础。在季节性冰冻地区,为了防止或减轻路基不均匀冻胀对面层的不利影响,路面结构应达到一定的厚度。此最小厚度随当地的最大冰冻深度和路基土质而定,见表 4-4-2。当混凝土面层和基层的厚度低于此最小厚度要求时,应在基层下设置垫层补足。

表 4-4-2 季节性冰冻地区混凝土路面结构最小厚度(cm)要求

| 最大冰冻深度 (cm) | 中湿路基 | | 潮湿路基 | |
|----------------|----------|----------|----------|----------|
| | 粘性土、细亚砂土 | 粉性土 | 粘性土、细亚砂土 | 粉性土 |
| 50 ~ 100 | 30 ~ 50 | 40 ~ 60 | 40 ~ 60 | 45 ~ 70 |
| 100 ~ 150 | 40 ~ 60 | 50 ~ 70 | 50 ~ 70 | 55 ~ 80 |
| 150 ~ 200 | 50 ~ 70 | 60 ~ 85 | 60 ~ 90 | 70 ~ 100 |
| > 200 | 60 ~ 95 | 70 ~ 110 | 75 ~ 120 | 80 ~ 130 |

垫层可以选用粒料(砂砾)或结合料(水泥、石灰-粉煤灰、石灰)稳定土(或粒料),用于排水基层下的垫层,须采用符合反滤要求的密级配粒料。

垫层的宽度宜按路基顶面的全宽铺筑。基层的宽度应比面层宽度每侧各宽出 30cm ~ 60cm,以提供立侧模和(或)混凝土摊铺机械行驶所需的空间。排水基层的宽度可按路基顶面的全宽修筑,或者结合排水系统的设计(集水沟和管的位置)要求确定。

基层厚度一般在 15cm ~ 25cm 内选取。垫层所需的厚度,则应按路基的水稳定性和刚度以及施工和使用期间交通的繁重程度确定;在季节性冰冻地区,则要考虑满足表 4-4-2 中路面结构最小厚度的要求。

(四)路面排水

排水是混凝土路面设计的一项重要内容,它对路面的使用性能和使用寿命有很大的影响。

降落在路表面的水,通过路面和路肩的横坡向两侧排流。路面的横坡为 $1\% \sim 2\%$,降水量大和行车道宽度大时,取高值。路肩的横坡应比路面的横坡大 1% 以上。流向路基边缘的表面水,通过漫流(散流)形式沿路基坡面汇集到两侧边沟或地面排水系统。仅在路基坡面有可能受到冲刷的情况下,在路肩外侧边缘设置拦水带,汇集表面水后经间隔一定距离布置的泄水口排出路基。

渗入路面结构内的自由水,在路基土为低透水性时,可设置路面边缘或排水基层排水系统。路面边缘排水系统为路面边缘设置纵向集水沟和管,并间隔一定距离设置横向排水管。集水沟采用透水性回填料,汇集路面-基层-路肩界面处的渗入水,并渗流入集水管,而后通过排水管排流出路基(图4-4-6)。排水基层排水系统为面层下设置由透水性材料修筑的基层,并在基层边缘设置集水沟和管,汇集排水基层内的渗流水,而后通过间隔一定距离设置的横向排水管排流出路基,参见图4-4-1中右侧断面。排水基层下应设置反滤层或不透水垫层,以避免路基土细粒的进入而引起堵塞。排水基层也可修筑成路基全宽式,渗入基层内的水可横向排流出路基顶面。排水基层的排水效果优于边缘排水系统,后者常用于改善旧混凝土路面的排水状况。

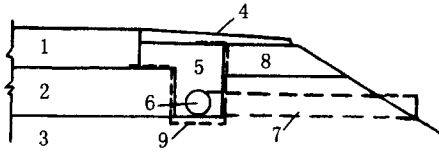


图4-4-6 路面边缘排水系统

- 1—混凝土面层 2—基层 3—垫层 4—路肩面层;
5—纵向集水沟 6—纵向集水管 7—横向排水管;
8—路肩基(垫)层 9—反滤织物

(五)路肩

路肩的面层可以采用沥青混合料或者水泥混凝土。近年来,国外越来越多地采用混凝土路肩。混凝土路肩面层的厚度为 $15\text{cm} \sim 20\text{cm}$,或者与行车道路面面层的厚度相同。路肩面板采用与路面面板相同的横缝间距布置,并通过拉杆与路面面层相联结。设置排水基层时,集水沟和管应设在混凝土路肩的外侧(图4-4-1)。路肩垫层尽可能采用透水性材料,以提供路面内渗入水的排水通道。

为了改善路面和路肩界面处表面水渗入的不利影响以及改善路面板边缘受荷的不利状况,可以采用加宽外侧车道混凝土路面宽度 0.70m 的措施,而行车道边缘仍按原位划线,以避免车辆沿路面板边缘行驶。

二、水泥混凝土路面的使用性能

路面使用性能是指路面在使用期内为道路使用者所能提供的服务质量和服务水平。道路使用者对路面使用性能的要求,主要表现在行驶舒适、行车安全、运行经济以及减少对环境的不良影响(如降低噪音)等方面。路面向道路使用者所能提供的这些服务,通常称为路面的功能性使用性能。

为道路使用者提供功能性能的路面结构,其物理性质和状况由于行车和环境因素的不断作用而随时间发生变化,这主要表现在路面结构承载能力的退化和各种路面损坏的出现。路面的功能性能是路面结构的性质和状况的外在表现,结构性质和状况的退化必将影响功能性能,使路面的服务水平也随时间而下降。道路部门为维持路面的功能性能,更直接关注路面结构的性质和状况(通常称为路面结构性使用性能)的变化。

(一) 功能性能

路面功能性能是路面表面与轮胎或车辆相互作用的反映。一方面与轮胎或车辆作用的性状有关,另一方面则与路面的表面特性有关。路面表面在纵向的不平整(同理想表面间的偏差),可以用波长和波幅表示。图 4-4-7 中所示为路表面在不同波长时所表现出的不同功能性能问题。

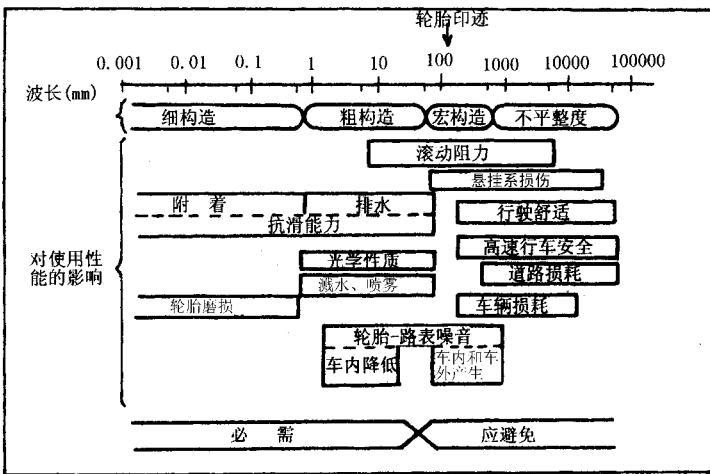


图 4-4-7 路面表面不平整与轮胎或车辆性状的相互作用

波长小于 0.5mm 时,称为路表面的细构造。它与水泥砂浆和粗集料的表面粗糙度有关,为轮胎胎面提供附着力,以保证路表面的抗滑能力。波长为 0.5mm ~ 50mm 的路表面称为粗构造,系通过拉毛、刻槽等措施在混凝土表面形成的细沟槽。它为路表水从快速滚动的车轮胎面下排除提供通路,以保证雨天高速行驶的安全性。波长 50mm ~

0.5m 的路表不平整称为宏构造,是由于施工方法或质量和路面材料不均匀性所造成的。波长 1mm 以上的粗构造和宏构造,都会使滚动的车轮轮胎产生较大的噪音。波长 0.5m ~ 50m 范围的路表面起伏称为不平整度,它直接影响到行驶的舒适性和经济性。路表面的细构造和粗构造是保证行车安全所必需的,而宏构造和不平整度则不利于使用性能,应尽量减小。

1. 行驶舒适性

车辆在路面上行驶的舒适性,与①路面表面的不平整程度;②车辆悬挂系统的振动特性;③乘客对振动的反应和接受能力三方面因素有关。从路面状况的角度看,影响行驶舒适性的主要因素是路面的平整度。

路面平整度可定义为路面表面诱使行驶车辆出现振动的高程变化。路表面的这种高程变化(纵向起伏)的波长范围为 0.5m ~ 100m。它可用两种仪器进行测量:一种是断面类测定仪器,直接沿行驶车辆的轮迹量测路表面的纵断面;另一种是反应类测量仪器,测定车辆以一定速度驶经不平整路表面时其悬挂系的累计竖向位移量。不同测定仪器的量测结果可以通过转换而采用统一的平整度指标——国际平整度指数(IRI)表示。

影响行驶舒适性的因素中包含乘客的主观感受和接受能力。因而,对舒适性的评价便带有主观成分,往往采用由评分小组对路面的舒适性进行主观评分(称为行驶质量指数, RQI),并在对路面的平整度进行客观量测后,通过回归分析建立主-客观相结合的行驶舒适性评价模型,再制定相应的行驶舒适性(或称行驶质量)等级和标准。

混凝土路面表面的不平整主要来源于裂缝和接缝。缝隙的宽度、接缝的错台和碎裂病害都会严重地影响到行驶的舒适性。而接缝间混凝土板块的竖向位移以及板表面的纵向和横向起伏,也会影响行驶的舒适性。路面的初始平整度取决于混凝土面层的施工质量,而随后平整度随时间的退化,则与混凝土路面的结构性能以及行车荷载和环境因素的作用有关。

2. 运行经济性

车辆在路上行驶的运行费用主要包括燃油、轮胎及维修配件和工时的消耗。道路的线形(平面、纵断面和横断面)和交通状况对于车辆的运行费用有较大的影响,而路面的表面状况也会影响到车辆的运行费用。根据世界银行所进行的野外试验和分析,影响轮胎磨损的主要是路面表面的细构造和宏构造,影响燃油消耗的主要是路面表面的宏构造和短波长的不平整,而影响车辆损耗的则是路面表面的宏构造及短波长和中波长的不平整。因而,车辆运行的经济性一部分同路表面的平整度有关(主要是维修配件和工时消耗),而其余部分同路表面的构造特性有关。

3. 行车安全

路面在提供行车安全方面的功能包括抗滑、溅水、喷雾和眩光等,其中主要是抗滑。路面的抗滑能力依赖于车轮胎面与路表面间的附着力,由路表面的细构造所提供。细构造主要指砂浆和粗集料的表面粗糙度,它会随轮胎反复作用而逐渐磨光。其磨光速率与砂和集料的硬度、交通量和气候条件有关。粗构造在行车速度较高(50km/h以上)时,对路面的抗滑能力起决定作用,其功能是使车轮胎面下的路表水迅速排除,以免在胎面与路表面间形成水膜。粗构造是采用各种机械方法在路表面拉出、压出或刻出的槽口,或者使粗集料外露而在集料间形成的构造。粗构造也会随车轮的反复作用而逐渐磨光,而影响其磨耗速率的主要是构造深度、交通组成(轮胎压力对粗构造的磨耗起主要作用,因而重车比轻车的影响大得多)和气候条件。

4. 对环境的影响

众多的接缝、较高的刚度,以及为提供抗滑能力而在路表面筑做的粗构造,使行驶在混凝土路表面的车轮轮胎产生较大的噪音。这使混凝土路面对周围环境带来不良影响。近年来,探讨了多种措施以降低混凝土路面的噪音。这些措施主要是在设计混凝土表层材料时优化路表面的构造特性,以达到平衡抗滑和降低噪音的矛盾要求。

(二) 结构性能

混凝土路面的结构性使用性能包含各种路面损坏(病害)和结构的承载能力。它反映了结构的完好程度和变化趋势。

1. 路面损坏

路面在使用过程中会随行车荷载和环境因素的不断作用而出现各种损坏。这些损坏具有不同的形态和肇因,并对结构性能和功能性能产生不同的影响。它们可分为以下四大类。

(1) 断裂类

混凝土板块出现纵向、横向、斜向或角隅断裂裂缝。这些裂缝的缝隙随时间而逐渐变宽,并在缝隙边缘出现碎裂。断裂的进一步发展,使板出现两条以上交叉裂缝,并进一步断裂成三块以上的破碎板。裂缝的出现是由于板内产生的应力超出了混凝土的强度或疲劳强度。断裂损坏破坏了板的结构完整性,使之迅速丧失承载能力。在断裂出现的初期,裂缝对路面行驶舒适性没有很大影响。但随着裂缝的发展,特别是出现破碎板,路面的平整度可严重恶化到必须进行改建或重建。

(2) 接缝损坏类

这也是混凝土路面最常见的一类病害,包括填封料损坏和丧失、接缝碎裂、唧泥、错台和拱起等。接缝是混凝土路面的薄弱部位,施工或养护的不当,水和坚硬杂物的进入,都会使接缝两侧的混凝土出现病害。这些损坏在早期并不影响混凝土板的结构完整性,

但可影响路面的行驶舒适性。而发展到后期,由于接缝两侧板底出现脱空,可使面层板迅速出现断裂损坏。

(3) 变形类

由于地基软弱或填土压实不足而出现沉降变形,或者由于季节性冰冻地区路基的冻胀,混凝土面层板会出现沉陷或隆起。这类变形如果是均匀的,对混凝土板的结构完整性影响不大,但会降低路面的行驶舒适性。而如果有不均匀变形,则会由于附加应力而使混凝土板出现断裂。

(4) 材料类

混凝土混合料选用了耐久性差的粗集料,在接缝附近可能出现由于冻融膨胀压力而引起的新月形发状裂纹。或者,混合料中的活性集料与水泥或外加剂中的碱发生碱-硅反应而产生膨胀,使面层出现网裂。这类由于材料因素而非结构因素引起的损坏,在初期对路面的功能性能或结构性能的影响不大,但发展到后期也会出现裂缝的碎裂和混凝土的崩解,而影响行车的舒适和安全以及面层的结构性能。

2. 结构承载能力

混凝土路面的许多损坏,特别是断裂类损坏,是由于路面的承载能力不能适应荷载和环境因素的作用而引起的。而损坏的出现又进一步削弱了路面结构的承载能力。

路面结构的承载能力,通常是指路面在达到预定的损坏状况之前还能承受的行车荷载(标准轴载)作用次数,或者还能使用的年数。因而,路面在使用过程中,其承载能力随已经受的轴载作用次数或使用的年数而逐渐下降。路面结构的承载能力同路面的损坏状况存在着内在的关联。随着承载能力的下降,路面的损坏逐渐出现和发展。承载能力低的路面结构,其损坏发展的速度较迅速,而在承载能力接近极限或临界状态时,路面的损坏达到了严重程度,必须采取改建或重建措施,以满足行车的要求。因此,路面结构的承载能力可以反映路面出现损坏的原因或者预估路面损坏的发展趋势。

路面结构性能与功能性能的关系,主要表现在对行驶舒适性和运行经济性的影响上。路面损坏和承载能力会影响路面的平整度及其退化速率,从而影响行驶质量以及运行费用(车辆维修配件和工时、燃油消耗等)。而结构性能对行车安全和噪音的影响较小,这些功能性能主要同路面的表面特性(细构造、粗构造和宏构造)有关。

三、水泥混凝土路面的发展概况

(一) 概述

水泥混凝土路面作为一种高级刚性路面结构形式,其最早建造史可追溯到大约公元前一世纪。当罗马人通过偶然机会了解到火山灰可作水硬性胶凝材料而用在建筑、水

利、港口工程上时,就开始将其应用到重要的道路和广场工程上了。这从近代进行的考古发掘可得到证明。

我国混凝土路面和地坪最早使用的记录大约在秦汉时期,从长城及一些古墓的考古发掘中见到的混凝土是以熟糯米浆和石灰作为胶凝材料的,充填料是砂和河卵石,其粒料级配组成与现代水泥混凝土很接近,惟独胶凝材料不是水泥。所以,黄蕴元教授曾阐述过,中国是世界上聚合物混凝土的鼻祖。目前,尚能见到这种混凝土地坪实物大约是宋朝时期遗留的古建筑内的地面。从磨损后的表面上看,其材料结构、砂石料级配和色泽与现代意义上的混凝土几乎一致。

自从1824年10月21日英国工匠 Leads 和 J. Aspdin 取得了波特兰水泥的发明专利后,近现代意义上的水泥混凝土路面在欧洲开始发展起来。

全世界第一条水泥混凝土路面是1865年在英国修筑的,至今已有135年的历史。

1914年德国人 Friedrich Todt 博士在柏林建造了汽车专用道路,美国在纽约长岛私人住宅的道路上开始使用水泥混凝土路面。

1924年前后,法国公路部总工程师 Daniel Boutet 在法国43号公路上开始进行连续板块式混凝土路面试验并铺筑了长约100km的水泥混凝土路面,当时采用的路面厚度为18cm,横向接缝为10~20m,采用的是小型搅拌机拌和的干硬性水泥混凝土,需要夯碾压实。同时,比利时也在矿区道路上开始使用水泥混凝土路面。

1930年前后,美国开始使用水泥处置土做地坪和重交通道路的基层,并用水泥混凝土建设其重要公路干线和城镇道路。当时建设的某些城镇水泥混凝土路面有的至今还在使用,且没有大修过,美国使用年限最长的水泥混凝土路面达78年之久。

1933年,水泥混凝土路面在各主要的发达国家大量使用并发展起来,德国在当时还没有沥青路面高速公路的情况下,建成了第一条水泥混凝土路面的高速公路。

1938年,法国、比利时、英国的北爱尔兰都建成了水泥混凝土路面汽车专用公路。

20世纪30年代发展起来的水泥混凝土路面,包括上层5cm的磨耗层,板厚为24cm。这一时期,经过多年的试验观测,水泥混凝土路面的经验性设计理论、计算方法和施工技术得以迅速的发展。

我国第一条水泥混凝土路面是1928年在浙江奉化溪口镇修筑的,当时采用日本进口的水泥,至今已有72年历史。自1936年开始,我国引进德国技术设备,在唐山建立了第一家生产和销售水泥的启新洋灰公司,开始在室内建造水泥混凝土地面和室外地坪,并在该工厂建造一段示范水泥混凝土路面试验段。日伪时期,大约1940年前后,日本帝国主义在我国天津和沈阳督造了少量水泥混凝土路面,板厚大约20cm左右。然而随着经济的发展,这些最早在我国建造的水泥混凝土路面都没能保留下来。

(二) 国际上水泥混凝土路面发展概况

国际上的水泥混凝土路面的发展,经历了两大发展时期。一个是在 30~40 年代,随着汽车工业的发展,战争物质和军队的调运,客观上对路面的质量要求大大提高。这一时期,最明显的标志是德国建设的世界上第一条汽车专用高速公路是使用水泥混凝土路面结构形式。几乎所有当时的发达国家,如日本、美国、英国、法国、比利时都竞相发展水泥混凝土路面,有的将水泥混凝土路面技术扩散到其殖民地国家。这个时期水泥混凝土路面主要施工方式是小规模的人工加小型机具辅助。

第二个时期,是 20 世纪 70 年代,世界性的石油能源危机,使一些主要使用沥青建造高速公路的国家,如美国、法国、原联邦德国等,认识到必须尽量减少高速公路建设对石油沥青的依赖性,节约沥青资源和能源。在高速公路水泥混凝土路面技术上开始新一轮的研究开发,从国家战略利益考虑,增加了对水泥混凝土路面的科技投入和建设规模。上述国家不仅对设计理论和计算方法进行了更新和提高,而且将主要的施工方式从人工施工向大规模机械化施工转变,建立了目前仍在采用的轨道链式机组和快速滑模摊铺机施工方式。在此期间,由于要求水泥混凝土路面要适应各种各样的地质地形条件,发展了水泥混凝土路面的多种新型结构形式,如钢筋混凝土路面、预应力钢筋混凝土路面、镶嵌混凝土块式路面等。这一时期,美国从政策上扶持水泥混凝土路面的建设,由原来水泥混凝土路面在公路网中只占 20% 发展到 70 年代后期的 49% 左右。法国和原联邦德国也开始打破沥青路面占绝对主导的格局,加快了水泥混凝土路面的发展。

我们注意到,国际上各国在发展水泥混凝土路面技术上的一个重要特征是密切结合本国实际和资源约束条件,其直接影响因素是本国水泥和沥青资源供给和价格情况。美国是典型的黑、白两种路面几乎均等的国家,在整个国家高速公路网中,水泥混凝土路面占 49%,沥青路面占 51%,其原因除了能源方面的考虑外,其经济对比分析是建立在建设、维修、养护全部建设和运营总费用最省的价值工程基础上,强调在路面使用年限内,每平方米每年的价格最节省、投资效益最高。这样水泥混凝土路面即使建设费用较高,但使用寿命长、全过程投入不高。法国和原联邦德国是水泥混凝土路面比重相对较少的国家,原民主德国几乎全都采用水泥混凝土单一路面,这主要取决于水泥和沥青资源的供应、单价和带动其它工业部门发展的情况。

(三) 我国水泥混凝土路面发展概况

1. 我国水泥混凝土路面发展现状

我国水泥混凝土路面尽管已有 70 余年的发展历史,但是,在半封建半殖民地的旧中国,不仅其修筑的数量极少(总里程不足 30km),而且无自己的设计理论可言,只是参照西方国家的设计规范,施工技术也极其落后。

解放后,我国水泥混凝土路面首先在城镇道路上得到较快发展,在公路上使用起步较晚,但近年来的发展非常迅猛。表 4-4-3 所列为引自交通部公路司的统计数据。

表 4-4-3 我国水泥混凝土路面建设里程统计表

| 年 份 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 1996 | 1997 | 1998 | 2000 |
|----------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 里程(km) | 60 | 200 | 1600 | 11373 | 56625 | 68740 | 83652 | 100000* |
| 占当年建成高级路面比例(%) | 2.2 | 3.9 | 11.0 | 24.4 | 36.3 | 37.8 | 40.3 | 45* |

注:表中*号为估计数据

我国沥青资源相对匮乏且质量较差,而水泥资源丰富、价格便宜。鉴于此,从“六五”、“七五”计划开始,交通部对水泥混凝土路面就予以高度重视和大力推广。20世纪80年代,交通部对建设水泥混凝土路面曾给予20万元/km的补助,取得了非常显著的效果。随着我国水泥混凝土路面造价的降低,建设水泥混凝土路面比沥青路面造价节省,补助逐步取消。

由表 4-4-3 可见,目前我国水泥混凝土路面每年建设里程已经超过 1.5 万 km (1998 年建成 14912km),比 1990 年以前 40 年的建设总和还要多。从 1991 年到 1998 年的 8 年中,平均年增长速率为 32.67%,8 年净增 7.355 倍。我国目前在高速公路上水泥混凝土路面约占 25%左右,但在二、三级公路上,不少地方已经是以水泥混凝土路面占主导了。全国 1998 年新建高级路面的比例已占 40.3%。

这样快的发展速度,这么大的建设规模,不仅在中国,而且在世界各国水泥混凝土路面发展史上,都是罕见的。预计随着滑模机械化施工技术水平的提高和推广应用的普及,我国水泥混凝土路面在相当长的时期内将继续保持高速增长。2000 年我国水泥混凝土路面总里程将超过 10 万公里,当年建成的水泥混凝土路面占高级路面的比例将接近或达到 50%,达到与沥青路面平分秋色的局面,真正实现“因地制宜,黑白并举,共同发展”的目标。

城市道路方面,在许多城市,水泥混凝土路面的比重大大高于公路。其中比重较大的前 5 位的城市是秦皇岛市、佛山市、大同市、武汉市和广州市。在我国南方许多城市,水泥混凝土路面已成目前修筑的惟一路型。

2. 我国水泥混凝土路面发展的三个阶段

纵观我国水泥混凝土路面的技术发展过程,大体可分为三个阶段:

(1) 1977 年以前第一阶段(摸索起步)

1949 年~1966 年,我国主要借助于原苏联的建设经验和研究成果,制订了 1953 年版和 1966 年版的《水泥混凝土路面设计规范》。1966 年~1977 年,各个领域的技术进步

都受到“文革”的严重影响,水泥混凝土路面技术当然也不例外。

这一阶段的显著标志是发展极其缓慢,总里程在 1000km 以内,主要是国家经济发展有限,汽车的保有量很少。一方面,客观需求小;另一方面,我国当时的水泥工业落后,水泥价格与沥青基本持平,其水泥混凝土路面造价比当时普遍采用的薄层沥青表处高许多倍。因此,当时的交通部公路科学研究所没有人研究水泥混凝土路面,主要研究泥结碎石路面和沥青表处路面。

(2)1978 年~1985 年第二阶段(技术开发)

在我国 1978 年~1985 年的科技规划中,交通部安排了水泥混凝土路面技术的重大研究项目。以交通部公路规划设计院、同济大学为首,组织了全国大专院校、公路、市政、民航、空后等部门的设计、施工、科研约 40 多个单位,开展了长达十年的“联合攻关”研究,取得了可喜的成果。编写了“水泥混凝土路面设计理论和参数”的研究报告,并于 1981 年 12 月通过专家鉴定。

在此基础上,以我国自己的研究成果为主,我国编制了第一部《水泥混凝土路面设计规范》(JTJ012—84),随后又编制了《水泥混凝土路面施工与验收规范》(GBJ 97—87),现正执行的《城市道路设计规范》(CJJ 37—90)中的第十章水泥混凝土路面设计以及民航和空后机场跑道设计的相关标准,均是在上述研究成果基础上编写的。这些研究成果、标准和规范的建立,对发展我国水泥混凝土路面技术起了重要作用。

这一阶段,我国水泥混凝土路面的建设里程已达数千公里,研究工作的重点偏向于设计理论和设计参数。在施工技术上仍以手工操作为主,配合小型机具加真空吸水技术,基本上没有专用的配套大型机械设备。

(3)1986~1998 年第三阶段(迅猛发展)

其发展标志是公路水泥混凝土路面的总里程上升到数万公里,年建成水泥混凝土路面超过 1 万公里。截止到 1998 年底,建成水泥混凝土路面里程已达 83652 公里。

设计、计算理论进一步深化,在许多方面接近或达到国际先进水平。在混凝土路面温度疲劳应力的计算等方面,甚至比某些发达国家先进,突出表现在《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ012—94)中。

研究的重点从设计理论转向施工实践。开始从人工、小型机具和真空吸水施工向大型专用快速机械化施工(路面混凝土使用外加剂和混合材料)转变,水泥混凝土路面的施工质量有大幅度提高。

水泥混凝土路面的养护、维修技术受到重视,并取得一定的实用技术成果。在“七五”“八五”连续两个五年研究计划的基础上,“九五”期间已列项开展养护、维修技术的深入研究。

在此期间,完成的国家科委“七五”科技先导性 025 项目“我国水泥混凝土路面发展对策及修筑技术研究”和国家计委“八五”85—403 项目“高等级公路水泥混凝土路面施工机械及路用材料的研究”,都取得了丰硕的成果。在水泥混凝土路面施工技术上,主要有《滑模摊铺水泥混凝土路面修筑成套技术研究》、《碾压混凝土路面施工成套技术研究》、《快硬早强混凝土技术开发》等重大成套技术项目,集中反映了我国在这一阶段水泥混凝土路面技术进步的情况和发展趋势。

3. 我国水泥混凝土路面迅猛发展的主要原因

(1) 我国经济的发展为水泥混凝土路面的发展提供了良好的机遇

改革开放以来,我国经济迅猛发展,加之我国及时调整了汽车工业的发展方向,轿车正在逐步进入家庭,公路交通量迅速增长。为缓解公路交通对国民经济的瓶颈制约作用,国家加大了对公路建设的投资力度,国家的宏观经济发展战略为公路基础设施的超前建设创造了条件,有力地促进了公路交通事业的发展,同时也为水泥混凝土路面的发展提供了良好的机遇。

(2) 水泥混凝土路面更加适合我国的资源约束条件

在世界各国水泥混凝土路面的发展中,我们特别注意到其密切结合本国国情和资源约束条件。我国是一个沥青资源相对不足而水泥资源很丰富的国家,1998 年我国水泥的总产量已达到 5.6 亿吨,多年位居世界水泥产量之首。按每年建成 1 万公里水泥混凝土路面估算,大约使用 1000 多万吨水泥,仅占水泥总产量的 2% 左右,水泥有充足的资源保障。

国内路用沥青的价格为 1500 ~ 3000 元/吨之间,水泥大致在 250 ~ 500 元/吨。所以,两种路面的初期建设投资,大多数地方是持平的,有的节省 1/3 ~ 1/4,也有略贵的。但是按照建设和使用期全部投资对比,水泥混凝土路面具有更大的经济优势。这是一个巨大的经济杠杆,只要按经济规律办事,就必须遵循并受其制约,这是水泥混凝土路面在近年来迅猛发展的重要原因之一。

第二节 水泥混凝土路面施工

一、小型机具施工技术

水泥混凝土路面小型机具施工工序为:①选择拌和场地;②备料和混合料配比调整;

③测量放样 ;④基层检验和整修 ;⑤支立模板和安设钢筋(拉杆和传力杆);⑥拌和混凝土 ;⑦运输混凝土 ;⑧摊铺混凝土 ;⑨振捣混凝土 ;⑩提浆、刮平 ;⑪铺放过滤布与气垫薄膜吸垫 ;⑫真空处理 ;⑬机械抹平 ;⑭机械抹光 ;⑮表面制毛(压纹);⑯机械锯缝 ;⑰拆模 ;⑱填缝 ;⑲养护 ;⑳开放交通。

(一)施工准备工作

施工前的准备工作包括选择混凝土拌和场地,材料准备及质量检查,混合料配合比检验与调整,基层的检验与整修等工作。

1. 选择混凝土拌和场地

根据施工路线的长短和所采用的运输工具,混凝土可集中在一个场地拌制,也可以在沿线选择几个场地,随工程进展情况迁移。拌和场地的选择首先要考虑使运送混合料的运距最短。同时拌和场还要接近水源和电源。此外,拌和场应有足够的面积,以供堆放砂石材料和搭建水泥库房之用。

2. 材料准备及其性能检验

根据施工进度计划,在施工前分批备好所需要的各种材料(包括水泥、砂、石料及必要的外加剂),并在实际使用时核对调整。对已选备的砂和石料抽样检测含泥量、级配、有害物质含量、坚固性;对石子还应抽检其强度、针片状颗粒含量和磨耗等。如含泥量超过允许值,应提前1~2d冲洗或过筛至符合规定为止,若其它项目不符合规定时,应另选料或采取有效的补救措施。

已备水泥除应查验其出厂质量报告单外,还应逐批抽验其细度、凝结时间、安定性及3d、7d和28d的强度等是否符合要求。为节省时间,可采用2h压蒸快速测定方法测定推算。受潮结块的水泥禁止使用,另外,新出厂的水泥至少要存放一周后才可使用。外加剂按其性能指标检验,并须通过试验判定是否适用。

3. 混合料配合比检验与调整

混凝土施工前必须检验其设计配合比是否合适,如不合适,应及时调整。

(1)和易性(工作性)检验与调整。按设计配合比取样试拌,测定其工作性(或坍落度),必要时还应通过试铺实地检验。

(2)强度的检验。按工作性符合要求的配合比,成型混凝土抗弯拉及抗压试件,养生28d后测定强度,或压蒸4h快速测定强度后推算28d强度。强度较低时,可采用提高水泥标号、降低水灰比或改善集料级配等措施。

除进行上述检验外,还可以选择不同用水量、不同水灰比、不同砂率或不同集料级配等配制混合料,通过比较,从中选出经济合理的方案。施工现场砂和石子的含水量经常变化,必须逐班测定,并调整其实际用量。

4. 基层检验与整修

(1) 基层检验

基层的宽度、路拱与标高、表面平整度、厚度和压实度等,均须检查其是否符合规范要求。如有不符之处,应予整修。在工程实践中,要求基层完成后,应加强养护,控制行车,使其不出现车槽。如有损坏应在浇筑混凝土板前采用相同材料修补压实,严禁用松散粒料填补。对半刚性基层,要注意把握整修时间,过迟难以整修且很费工。对加宽的部分,新旧部分的强度应一致。若在旧砂石路或沥青路面上铺筑混凝土路面时,所有旧路面的坑洞、松散等损坏,以及路拱横坡或宽度不符合要求之处,均应事先翻修、调整、压实。

(2) 测量放样

测量放样是水泥混凝土路面施工的一项重要工作。首先应根据设计图纸放出中心线及边线,设置胀缝、缩缝、曲线起迄点和纵坡转折点等桩位,同时根据放好的中心线及边线,在现场核对施工图纸的混凝土分块线。要求分块线距窨井盖及其它公用事业检查井盖的边线保持至少 1m 的距离,否则应移动分块线的位置。放样时为了保证曲线地段中线内外侧车道混凝土块有较合理的划分,必须保持横向分块线与路中心线垂直。对测量放样必须经常进行复核,包括在浇捣混凝土过程中,要做到勤测、勤核、勤纠偏。

(3) 安设模板

基层检验合格后,即可安设模板。模板宜采用钢模,长度 3~4m,接头处应有牢固拼装配件,装拆应简易。模板高度应与混凝土面层板厚度相同。模板两侧用铁钎打入基层固定。模板的顶面与混凝土板顶面齐平,并应与设计高程一致,模板底面应与基层顶面紧贴,局部低洼处(空隙)要事先用水泥浆铺平并充分夯实。无钢模时,也可采用木模,但厚度宜在 5cm 以上。

模板安装完毕后,宜再检查一次模板相接处的高差和模板内侧是否有错位和不平整等情况,高差大于 3mm 或有错位和不平整的模板应拆去重新安装。如果正确,则在内侧均匀涂刷一薄层油或沥青,以便拆模。

(二) 混凝土的拌和与运输

1. 混凝土拌和

混凝土必须采用机械搅拌。搅拌站应合理布置拌和机和砂石、水泥等材料的堆放地点,力求提高拌和机生产率。搅拌机的容量应根据工程量大小和施工进度配置,同时,施工工地宜有备用的搅拌机和发电机组。

拌制混凝土的供料系统应尽量采用配有电子秤的自动计量设备,有困难时,最低限度也要采用集料箱加地磅的计量方法,而体积计量法难于达到计量准确的要求,应停止

使用。采用自动计量设备时,在每天开始拌和前,应按混凝土配合比要求。对水泥、水和各种集料的用量准确调试后(特别应根据天气变化情况,测定砂石材料的含水量,以调整拌制时的实际用水量)输入到自动计量的控制存储器中,经试拌检验无误,再正式拌和生产。量配的精确度为:水和水泥: $\pm 1\%$ 粗细集料: $\pm 3\%$ 。外加剂应单独计量,精确度为 $\pm 2\%$ 。每一工班至少应检查两次材料量配的精确度,每半天检查两次混合料的坍落度。

搅拌机的装料顺序宜为:砂、水泥、碎(砾)石,或碎(砾)石、水泥、砂。进料后,边搅拌边加水。搅拌时间应根据搅拌机的性能和拌和物的和易性确定。混凝土拌和物的最短搅拌时间,自材料全部进入搅拌鼓起,至拌合物开始出料止的连续搅拌时间应符合表 4-4-4 的规定。搅拌最长时间不得超过最短时间的三倍。

表 4-4-4 混凝土拌和物最短搅拌时间

| 搅拌机容量 | | 转速(转/min) | 搅拌时间(s) | |
|-------|-------|-----------|---------|--------|
| | | | 低流动性混凝土 | 干硬性混凝土 |
| 自由式 | 400L | 18 | 105 | 120 |
| | 800L | 14 | 165 | 210 |
| 强制式 | 375L | 38 | 90 | 100 |
| | 1500L | 20 | 180 | 240 |

2. 混凝土运输

为保证混凝土的工作性,在运输中应考虑蒸发失水和水化失水(指水泥在拌和之后,开始水化反应,其流动度下降),以及因运输的颠簸和振动使混凝土发生离析等。要减小这些因素的影响,其关键是缩短运输时间,并采取适当措施防止水份损失(如用帷布或其它适当方法将其表面覆盖)和离析。

混凝土拌和物可采用自卸机动车运输。当运距较远时,宜采用搅拌运输车运输,混凝土拌和物从搅拌机出料后,送至铺筑地点进行摊铺、振捣、做面,直至浇筑完毕的允许最长时间,由试验室根据水泥初凝时间及施工气温确定,并应符合表 4-4-5 的规定。若时间超过限值,或者在夏天铺筑路面时,宜使用缓凝剂。

表 4-4-5 混凝土从搅拌机出料至浇筑完毕的允许最长时间

| 施工气温(℃) | 允许最长时间(h) | 施工气温(℃) | 允许最长时间(h) |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 5~10 | 2 | 20~30 | 1 |
| 10~20 | 1.5 | 30~35 | 0.75 |

装运混凝土拌和物的过程中,还不应该漏浆,并应防止离析。出料及铺筑时的卸料高度不应超过 1.5m。当有明显离析时,应在铺筑时重新拌匀。运送用的车箱在每天工作结束之后,必须用水冲洗干净。

(三)摊铺与振捣

1. 摊铺

摊铺混凝土前,应对模板的间隔、高度、润滑、支撑稳定情况和基层的平整、润湿情况、以及钢筋的位置和传力杆装置等进行全面检查。

混凝土混合料运送车辆到达摊铺地点后,一般直接倒入安装好侧模的路槽内,并用人工找补均匀,如发现有离析现象,应用铁锹翻拌。

混凝土板厚度不大于 24cm 时,可一次摊铺。大于 24cm 时,宜分两次摊铺,下层厚度宜为总厚度的 3/5。摊铺的松料厚度,应考虑振实的影响而预留一定的高度。具体数值,根据试验确定,一般可取设计厚度的 10% 左右。

用铁锹摊铺时,应用“扣锹”的方法,严禁抛掷和搂耙,以防止离析。在模板附近摊铺时,用铁锹插捣几下,使灰浆捣出,以免发生蜂窝。

2. 安放加强钢筋

(1) 安放钢筋网片

安放钢筋网片时,不得踩踏,应在底部先摊铺一层混凝土拌和物,摊铺高度应按钢筋网片设计位置预加一定的沉落高度。待钢筋网片安放就位后,再继续浇筑混凝土。若安放双层钢筋网片时,对厚度不大于 25cm 的板,上下两层钢筋网片可事先用架立筋扎成骨架后一次安放就位。厚度大于 25cm 的,上下两层钢筋网片应分两次安放。

(2) 安放角隅和边缘钢筋

安放角隅钢筋时,应先在安放钢筋的角隅处摊铺一层混凝土拌和物。摊铺高度应比钢筋设计位置预加一定的沉落度。角隅钢筋就位后,用混凝土拌和物压住。

安放边缘钢筋时,应首先沿边缘铺筑一条混凝土拌和物,拍实至钢筋设置高度,然后安放边缘钢筋,在两端弯起处,用混凝土拌和物压住。

3. 振捣

摊铺好的混凝土混合料,应迅即用平板振捣器和插入式振捣器均匀地振捣。平板振捣器的有效作用深度一般为 22cm 左右。不采用真空脱水工艺施工时,宜采用 2.2kW 的平板振捣器;采用真空脱水工艺施工时,可采用功率较小的平板振捣器。插入式振捣器主要用于振捣面板的边角部、窨井、进水口附近,以及安设钢筋的部位,施工中宜选用频率 6000 次/min 以上的振捣器。

振捣混凝土混合料时,首先应用插入式振捣器在模板边缘角隅等平板振捣器振捣不

到之处振一次(如面板厚度大于 22cm,则需用插入式振捣器全面顺序插振一次),同一位置不宜少于 20s。插入式振捣器移动间距不宜大于其作用半径的 1.5 倍,其至模板的距离不应大于其作用半径的 0.5 倍,并应避免碰撞模板和钢筋。分两次摊铺的,振捣上层混凝土混合料时,插入式振捣器应插入下层混凝土混合料 5cm,上层混凝土混合料的振捣必须在下层混凝土拌和物初凝之前完成。其次,再用平板振捣器全面振捣。振捣时应重叠 10~20cm。同一位置振捣时,当水灰比小于 0.45 时,振捣时间不宜少于 30s;水灰比大于 0.45 时,不宜少于 15s,以不再冒气泡并泛出水泥浆为准。

混凝土在全面振捣后,再用振动梁进一步拖拉振实并初步整平。振动梁往返拖拉 2~3 遍,使表面泛浆,并赶出气泡。振动梁移动的速度要缓慢而均匀,前进速度以 1.2~1.5m/min 为宜。对不平之处,应及时铺以人工补填找平。补填时应用较细的混合料原浆,严禁用纯砂浆填补。振动梁进行时,不允许中途停留。牵引绳不可过短,以减少振动梁底部的倾斜。振动梁底面要保持平直,当弯曲超过 2mm 时应调查或更换,下班或不用时,要清洗干净,放在平整处(必要时将振动梁朝下搁放,以使其自行校正平直度),不得暴晒或雨淋。

最后再用平直的滚杠进一步滚揉表面,使表面进一步提浆并调匀。滚杠的构造一般是挺直的、直径 75~100mm 的无缝钢管,在钢管两端加焊端头板,板内镶配轴承,管端焊有两个弯头式的推拉定位销,伸出的牵引轴上穿有推拉杆,其构造见图 4-4-8。这种结构既可滚拉又可平推提浆赶浆,使表面均匀地保持 5~6mm 左右的砂浆层,以利密封和作面。设有路拱时,应使用路拱成形板整平。

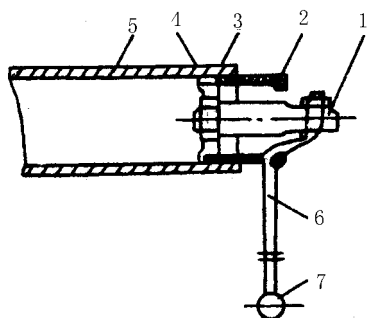


图 4-4-8 滚杠构造示意图

- 1—牵引轴 2—推拉定位销 3—滚动轴承 4—端头板;
5—无缝钢管 6—牵引推拉管 7—手把

如发现混凝土表面与拱板仍有较大高差,应重新补填找平,重新振滚平整。最后挂线检查平整度,发现不符合之处应进一步处理刮平,直至平整度符合要求为止。

(四)真空脱水

真空脱水工艺是混凝土的一种机械吸水方法,被国外列为70年代混凝土施工4项新技术之一。目前,国内混凝土施工中也广泛推广使用此技术。由于真空吸水工艺利用真空负压的压力作用和脱水作用,提高了混凝土的密实度,降低了水灰比,从而改善了混凝土的物理力学性能,是解决混凝土和易性与强度的矛盾,减少水泥用量,节省工程投资,缩短养生时间,提前开放交通的有效措施。同时,由于真空脱水后的混合料含水量减少,使凝固时的收缩量大大减少,有效地防止了混凝土在施工期间的塑性开裂,可延长路面的使用寿命。

1. 配套机具

真空混凝土路面施工,一般以每一块件为单位,进行浇注摊铺、振动刮平、真空处理、机械抹光与制毛(压纹)4个主要工序的连续流水作业。每一工序周期约为25min,每班可完成18块左右,每一块件的全部操作时间约100min。

以每班浇注3.5m宽、100~120m长路面为例,每一块件为3.5m~5m×24cm,共20~24块,总混凝土量为420~500m³,则需配套机械为:

| | |
|-----------------|-------------|
| 400L混凝土搅拌机 | 3台(包括备用1台) |
| 人工小翻斗车 | 10台(供搅拌上料用) |
| 1t机动翻斗车 | 10台(包括备用2台) |
| 插入式振捣器 | 3台(备用棒头3根) |
| 平板振捣器 | 3台(备用1台) |
| 3.75m振动梁 | 2台 |
| 切缝机 | 2台 |
| 专用真空泵 | 2台 |
| 气垫薄膜吸垫(3.5m×5m) | 4张 |
| 真空混凝土试模 | 1套 |
| 抹光机 | 3台(包括备用1台) |
| 制毛机(压纹机) | 1台 |

2. 真空脱水工艺

真空脱水工艺主要工序如下。

(1)检查泵垫

脱水前,打开真空泵机组水箱盖,向真空室和集水室注入清水,使水面与箱内管口相平或略高一些,调节搭扣松紧,盖严箱盖,用3~4mm厚橡胶板堵住进水口,检查泵的空载真空度,泵表位应大于650~700mmHg。再检查连接软管、吸垫表面、粘缝及管接头。

如发现损坏、漏气、阻塞时,要迅速修补或更换。此外,还要检查粘结剂和修补用品以及常用的修理工具是否齐全。

(2) 铺设吸垫

推荐采用 V_{88} 型新型吸垫,可省去尼龙垫布,并吸水均匀。其次,可采用 V_{82} 型吸垫,它无需塑料网片,仅需尼龙垫片,吸水尚均匀。

采用 V_{82} 或塑料网格吸垫时,应先铺放尼龙布。要求布面拉平,少皱折,过长时可折叠放置,尼龙布比板面应略小 $6 \sim 8\text{cm}$ (即密封带宽度),气垫薄膜比板面应略小 $8 \sim 10\text{cm}$ (见图 4-4-9 所示)。安放时,应用小擦刷沿密封边轻轻扫压一遍,开泵脱水的同时,再拉压一遍,以保证密封效果。如采用用尼龙网格吸垫时,应铺设网片,周边与尼龙布对齐,每网片间还应搭接 $2 \sim 3\text{cm}$,最后铺上部吸罩,并接通水桶。

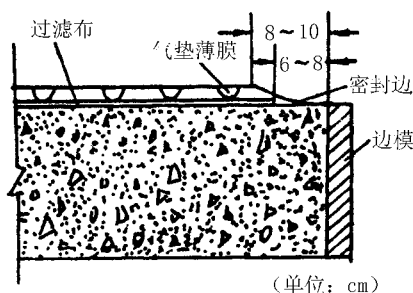


图 4-4-9 V_{82} 气垫薄膜的安放示意图

(3) 开泵脱水

开泵脱水,一般控制真空表 1min 内逐步升高到 $400 \sim 500\text{mmHg}$,最高值不宜大于 $650 \sim 700\text{mmHg}$ 。如在规定时间内(3min)内达不到规定的真空度要求时,应立即查找漏气处进行补救。如使用密封带时,一般可略浇些水将密封边湿润,再轻轻扫压一下,如仍不见效,要采取修补或更换等措施。真空处理过程中,要认真记录真空度、脱水时间与脱水量,并观察各处气垫薄膜内水流状况,若发现局部水分移动不畅,可间隙短暂地掀起邻近的密封边,借此渗入少量空气,促使混凝土表层水份移动。当脱水达到规定时间(脱水时间一般为板厚 (cm) 的 $1 \sim 1.5$ 倍,单位 min)要求后或已脱出规定水量(脱水率一般为 $12\% \sim 15\%$)后,在吸垫四周位置要略微掀起 $1 \sim 2\text{cm}$,继续抽吸 $10 \sim 15\text{s}$,以脱尽作业表面及管路中余水。

卷起吸垫,移至下一块作业面上再继续进行真空脱水。每次吸垫位置应与前次重叠 20cm ,以防漏吸,造成含水量分布不均。

(4) 注意事项

真空脱水应注意如下事项:

①真空脱水的作业深度不宜超过 30cm,混合物的水灰比不宜大于 0.55;

②购置滤布和吸垫时应根据混凝土路面板块的大小,选择适当的尺寸。过大或过小都会影响脱水效果;

③真空操作人员必须站在自制的“工作桥”上行走,不准随意在吸垫上行走。不准穿硬底带钉的鞋子,最好穿胶鞋或球鞋操作;

④脱水时要作好脱水记录,把握好脱水时间和脱水均匀性,防止混凝土出现“弹簧层”和产生裂缝。

⑤吸垫存放或搬移时,应避免与带尖角的硬物接触。卷起或铺放吸垫时,应手拿担棍。以免吸垫损坏。

⑥每班施工完毕,应将吸垫洗干净,并冲净真空泵箱的沉积物,排净存水。

(五)表面整修和防滑处理

1. 表面整修

(1)真空混凝土面板整修

采用真空工艺时,脱水后还应进行机械抹光、精抹、制毛等工序。

①机械抹光。圆盘抹光机粗抹或用振动梁复振一次能起匀浆、粗平及表层致密作用。它能平整真空脱水后留下的凹凸不平,封闭真空脱水后出现的定向毛细孔开口,通过挤压研磨作用消除表层孔隙,增大表层密实度,使表层残留水和浆体不均匀分布现象得到改善,以减少不均匀收缩。实践证明,粗抹是决定路面大致平整的关键,因此应在 3m 直尺检查下进行。通过检查,采取高处多磨、低处补浆(原浆)的方法进行边抹光边找平,用 3m 直尺纵横检测,保证其平整度不宜大于 1cm。应注意的是抹光机进行的方向不同,其效果亦略有不同。顺路方向行进易保证纵向的平整,横路方向行进则纵向平整度效果略逊。

②精抹。精抹是路面平整度的把关工序。为给精抹创造条件,可在粗抹后用包裹铁皮的木搓或小钢轨(或滚杠)对混凝土表面进行拉锯式搓刮,一边横向搓、一边纵向刮移。为避免模板不平或模板接头错位给平整度带来的影响,横向搓刮后还应进行纵向搓刮(搓杆与横板平行搓刮),同时要附以 3m 直尺检查。搓刮前一定要将模板清理干净。搓刮后即可用 3m 直尺于两侧边部及中间三处紧贴浆面各轻按一下,低凹处不出现压痕或印痕不显,较高处印痕较深,据此进行找补精平。每抹一遍,都得用 3m 直尺检查,反复多次检查直至平整度满足要求为止。精抹找补应用原浆,不得另拌砂浆,更禁止撒水或水泥粉,否则不但易发生泌水现象,延长制毛间隔时间,还会因水灰比的不均匀,致使收缩不均匀。在较高温度下,还会出现表面网裂,路面成形通车后表层破皮脱落。

③制毛。制毛是为保持路面的粗糙度,提高路面的抗滑性能,但对路面平整度亦有

一定影响。制毛一般采用压纹(或压槽)和拉毛(或拉槽)两种方法,但这两种方法各有利弊。压纹具有向下挤压致密作用,能增强路面的耐磨性,如果掌握得当,纹理顺直均匀(深度一般 $0.6 \sim 1.0\text{mm}$),比较美观。但纹理深浅均匀性很难掌握,因为它不但与压纹的时间有关,而且还与混凝土真空脱水的均匀性有关。在吸垫的四周,特别是密封带处,由于真空度分布较小,脱水较少,故压纹时间应长些,而吸垫中央部分真空度大,脱水多,所以压纹时间应短一些,这就造成了压纹时间上的矛盾。解决这一问题的办法是:以四周边混凝土适合压纹的时间为准。在板面中央等强度较高的部位,采用在压纹机上加载的办法解决。当混凝土脱水不够,强度较低时,应切忌压纹,否则在相邻两压纹机之间的路面上很容易形成不平整的一条鼓包。拉毛易疏松和破损表层,使表层 $1 \sim 2\text{mm}$ 范围内密实度受到影响,不利于路面的耐磨性,但拉毛对平整度会有所改善。采用压纹的路面平整度,一般都不如拉毛的路面平整度好。

(2)普通混凝土面板整修

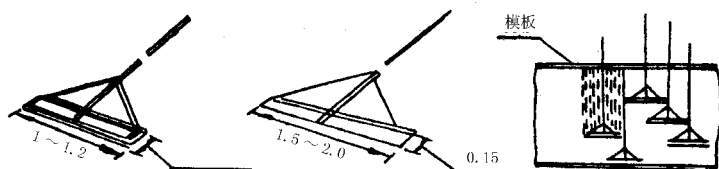
不采用真空脱水工艺时,应用大木抹多次抹面至表面无泌水为止,吸水抹面的各遍间隔时间参见表4-4-6。

表4-4-6 普通混凝土路面板吸水抹面间隔时间

| 水泥品种 | 施工温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 间隔时间 (min) | 水泥品种 | 施工温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 间隔时间 (min) |
|------|--------------------------------|---------------|------|--------------------------------|---------------|
| 普通水泥 | 0 | 35~45 | 矿渣水泥 | 0 | 55~70 |
| | 10 | 30~35 | | 10 | 40~55 |
| | 20 | 15~25 | | 20 | 25~40 |
| | 30 | 10~15 | | 30 | 10~15 |

注 吸水抹面的间隔时间除同施工温度有关外,还受日照、风力、水泥用量等因素的影响,故实际操作时还需根据当时情况而定。

抹面用的木抹如图4-4-10所示。修整时,每次要与上次抹过的痕迹重叠一半。在板面低洼处要补充混凝土,并用 3m 直尺检查平整度。



(单位: cm)

图4-4-10 木抹抹面

抹面结束后,即可用尼龙丝刷(或拉槽器)在混凝土面层表面横向拉毛(槽),如图 4-4-11 所示。

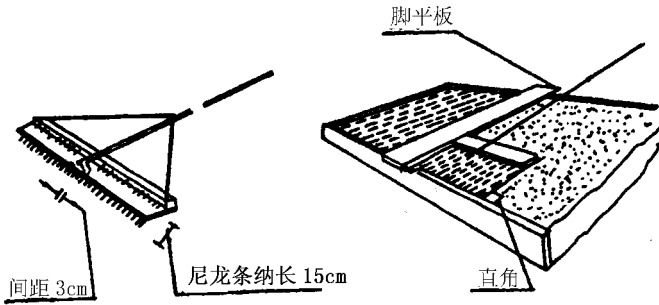


图 4-4-11 混凝土表面拉毛(槽)

2. 防滑处理

为了提高高等级道路水泥路面的使用品质,确保行车安全,必须研究各种有效的防滑处理技术。

水泥路面的防滑处理措施,根据其实施的时机,可以分为两类:①施工时,水泥混凝土处于塑性状态(初凝前后),或强度很低时采取的处理措施,如拉毛(槽)、压纹(槽)、裸石、嵌石等施工工艺;②水泥混凝土完全硬结后或使用过程中采取的处理措施,如刻槽、酸蚀、冷粘及沥青罩面等处理工艺。一般来说,前者工艺较为简单,造价较低。从水泥路面防滑处理机理方面分析,上述各种措施又可以归纳为以下两种情况:①主要是由砂浆层或粘结于路表面的细集料提供抗滑阻力的拉毛(槽)、压纹(槽)、刻槽、酸蚀、打毛、冷粘及沥青罩面等处理工艺;②主要是由外露的粗集料提供抗滑阻力的裸石、嵌石等施工工艺。对于第一种情况,为了获得良好的抗滑效果,必须选择适用的耐磨、抗滑的细集料(如洁净的天然砂料、石英岩、砂岩、花岗岩、玄武岩的岩屑以及刚玉等)。对于第二种情况,则必须选择适用的耐磨抗滑的粗集料(即:磨光值大于 42、压碎值小于 20%、磨耗率小于 4%、饱水极限抗压强度大于 120MPa 的石料)。

前面就常用的压纹(槽)、拉毛(槽)两种方法作了阐述,下面分别就刻槽、酸蚀、裸石、嵌石、冷粘、沥青罩面等处理工艺作一介绍。

(1) 刻槽处理工艺

刻槽是指在完全凝固的面层上,用切槽机切出深 2~4mm、宽 3~4mm、间距 10~20mm 的横向防滑槽。我国首都机场滑行道,曾于 1980 年由日本承包商进行过刻槽处理,这种工艺的抗滑效果好,但造价较高(首都机场的刻槽处理费用为 7.33 元/m²)。

水泥混凝土路面经拉槽处理后,形成较大的宏观构造深度,但在槽与槽之间仍然存在着未经防滑处理的砂浆平台。它必将影响路面的抗滑效果。为克服这一不足,可采用

拉毛刻槽组合工艺,即在混凝土处于塑性状态时,利用拉毛刷将表层进行拉毛处理,待混凝土凝结后再进行刻槽处理。经拉毛刻槽组合工艺处理后的水泥路面,其摩擦系数可以达到 0.53 ~ 0.73。最高者高达 0.80,且构造深度衰减得较慢,能够满足高等级道路的使用要求。

(2) 酸蚀处理工艺

酸蚀处理工艺是提高混凝土路面抗滑性能的一种经济而有效的方法。这种处理工艺是利用工业盐酸,或经稀释的盐酸(原酸:水为 1:1,经济技术性较好),以 0.2 ~ 0.5L/m²的用量喷洒在水泥路面上,使之与水泥石发生化学反应。大约 15min 以后,用水将氯化物冲洗掉,使砂粒外露,并在路面上形成一定深度的纹理构造。为增大路面摩擦系数和构造深度,可多次实施上述处理过程,直到达到要求的处理效果为止。为了防止污染环境,可利用碳酸钠或氢氧化钠中和剩余的盐酸,或者利用大量的水(十倍于盐酸的喷洒量)使之稀释。

京石公路水泥路面,由于施工时未作防滑处理,通车后发生了多起交通事故,1988年9月该路管理部门对此段路面进行了酸蚀处理,取得了较好的效果。酸蚀一遍后,路面的平均摩擦系数从原来的 0.20 提高到 0.38(最大值为 0.50),此后交通事故率明显降低。洛阳拖拉机研究所的牵引试验跑道,施工时也未作处理,使用 4 个月后,道面干摩擦系数下降为 0.40。不能满足试验要求。经酸蚀 6 遍以后,道面的抗滑性能大幅度提高,干摩擦系数从 0.40 提高到 0.84。可以满足拖拉机牵引试验的技术要求。

研究结果表明,在常用砂率范围内,只要选择适用的细集料,经过 2 ~ 3 遍的酸蚀处理,即可满足道路的抗滑要求。此时,路面的摩擦系数可以达到 0.38 ~ 0.54。但这种工艺所形成的构造深度一般较浅,只有 0.13 ~ 0.17mm。对于防止雨天高速行驶车发生漂滑现象效果不大。因此,以行车安全考虑,建议这种工艺只用于计算行车速度小于 80km/h 的水泥路面。

(3) 裸石处理工艺

裸石处理工艺的技术要点,是将配制成一定浓度的缓凝剂溶液,按一定剂量喷洒在新浇筑的水泥混凝土路面上,使缓凝剂作用于几毫米深度范围内的表层砂浆,以延缓其凝结时间,待混凝土路面板的其它部分凝结、硬化以后,再将表层未凝结的砂浆用水冲刷掉,使粗集料外露,形成裸石路面,以增大路面的抗滑能力。

从试验结果来看,试用过的三种缓凝剂:糖钙、YNH-2、糖密,所做裸石处理的抗滑效果没有明显差别。原则上可根据当地材料供应和价格情况,选用长效缓凝剂。

缓凝剂溶液的用量应以渗入水泥混凝土表层以下 3mm 左右(砂浆的最大冲刷深度)为度。用量大约为 150 ~ 250g/m²。糖钙的浓度宜为 9%,YNH-2 宜为 12%,糖密宜为

4%。其它类型缓凝剂的浓度应根据产品说明,经试验后确定。

喷洒缓凝剂的时间,一般可控制在路面成活后 0.5 ~ 1.0h(初凝以前)。冲刷表层砂浆的时间,一般可掌握在路面成活以后 7 ~ 10h(终凝以后)。

经裸石处理后的水泥路面,其摩擦系数可达到 0.47 ~ 0.55,构造深度变化在 0.82 ~ 1.07mm 之间。能够满足高速行车的道路抗滑和防止雨天漂滑现象的要求。

为了减少优质抗滑粗集料的用量,这种处理工艺特别适宜于双层式路面结构。下层使用价值便宜的一般碎石,上层 5 ~ 6mm 使用优质抗滑集料。

(4) 嵌石(或铁钢砂)处理工艺

裸石处理工艺需要较多的优质抗滑粗集料。为了进一步减少优质集料的用量,降低抗滑处理费用,可以采用嵌石处理工艺。这种工艺的基本原理,是将耐磨、抗滑碎石或铁钢砂,均匀撒布在新浇筑的水泥混凝土路面上,利用钢制滚杠滚压 2 ~ 4 遍,并保留一定的外露高度(约 2mm),借以提高路面的抗滑能力。

影响嵌石工艺使用效果的主要因素,除嵌入碎石的磨光值、磨耗率、粒形、粒径等以外,碎石的嵌入牢固程度和分布密度等也有较大影响。为了增加碎石嵌入的牢固程度,碎石粒径不宜过小,但粒径过大又将降低路面的平整度,并增加嵌入的难度。一般宜选用 15 ~ 20mm 的碎石。为增加其嵌入牢固程度,可在湿润的碎石中拌入少量(4%左右)水泥。

单位面积路面嵌入碎石的质量与碎石粒径有关,以 15 ~ 20mm 粒径碎石为例,每 1000m² 约需碎石 9 ~ 10t,大约为满铺所需质量的 1/5。

(5) 冷粘处理工艺

冷粘处理是指利用各种粘结剂,如改性酚醛胶粘剂、环氧树脂等,将耐磨、抗滑细集料粘结在水泥路面上,以提高其抗滑能力。

常用的细集料有石英砂、刚玉、石英砂与刚玉混合料、废砂轮碎屑、铁钢砂等。通过冷粘处理后,其干摩擦系数可达 0.71 ~ 0.92,相应的湿摩擦系数可达 0.44 ~ 0.60,能够满足道路的抗滑要求。

(6) 沥青罩面工艺

在美国,用沥青罩面来增强水泥混凝土路面的抗滑性能成为一种比较普遍的方法,并已趋向于标准化。其原理是运用结合料同富有棱角的硬质骨料在路面上形成一层粗糙层,以增强其抗滑性能(同时也改善了水泥路面的平整度)。结合料通常使用改良沥青、乳化沥青及煤沥青等。近年来也采用掺加橡胶稀释的沥青,取得了较好的效果。

常用的沥青表面处治层材料及用量见表 4-4-7。实践证明:对于日车行量 50000 辆的高速公路,即使达到 120km/h 的车速时,其纵向摩擦系数仍大于 0.32。

表 4-4-7 常用沥青表面处治层材料及用量

| 成分 | 用量(km/m^2) |
|---|------------------------------|
| 弹性型沥青粘结料(ISM) | 1.5 |
| 粒径 10/14 ,洛杉矶系数(LA) < 10 ,加速磨耗系数(CPA) > 0.5 | 13 |
| 粒径 4/6 ,LA < 10 ,CPA > 0.5 | 7 |

注 ①系采用砂砾单层表面处治 ;

②用量均未考虑施工损耗。

(六) 接缝施工

接缝是混凝土路面的薄弱环节 ,接缝施工质量不高 ,会引起板的各种损坏 ,并影响行车的舒适性。因此 ,应特别认真地做好接缝施工。

1. 纵缝

小型机具施工时 ,按一个车道的宽度(3.75 ~ 4.5m)一次施工 ,纵向施工缝一般采用平缝加拉杆或企口缝加拉杆的形式。但在道口等特殊部位 ,一次性浇筑的混凝土板宽度可能会大于 4.5m ,这就需要设纵向缩(假)缝。纵向假缝一般亦应设置拉杆。

缝纵拉杆应采用螺纹钢筋 ,设置在板厚的中间。并应避免将脱模剂(如沥青等)涂洒在拉杆上。

纵向施工缝拉杆可采用三种方式设置。第一种是在模板上设孔 ,立模后在浇筑混凝土之前将拉杆穿在孔内 ,这种方式的缺点是拆模板较困难。第二种是把拉杆弯成直角形 ,立模后用铁丝将其一半绑在模板上 ,另一半浇在混凝土内 ,拆模后将露在已浇筑混凝土侧面上的拉杆弯直。第三种方式是采用带螺栓的拉杆 ,一半拉杆用支架固定在基层上 ,拆模后另一半带螺栓接头的拉杆同埋在已浇筑混凝土内的半根拉杆相接 如图 4-4-12 所示。

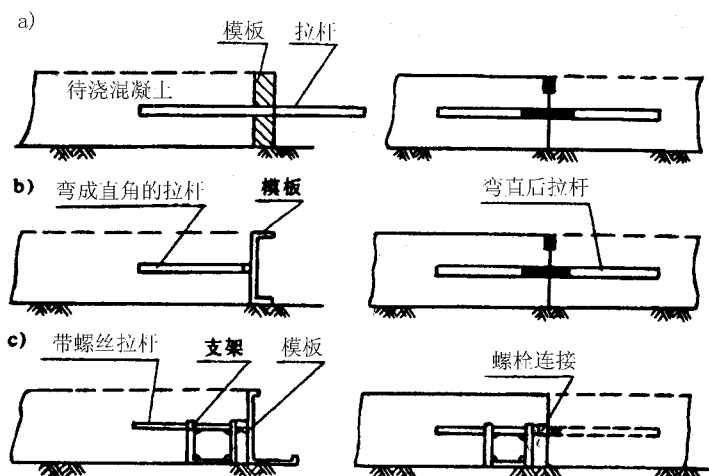


图 4-4-12 纵向施工缝

a) 模板穿孔 b) 拉杆弯成直角 c) 带螺栓拉杆

纵向缩(假)缝施工应预先将拉杆采用门型式固定在基层上,或用拉杆置放机在施工时置入。假缝顶面缝槽用切缝机切缝,缝宽为 3~8mm,深为 1/4~1/5 板厚,使混凝土在收缩时能从此缝向下规则开裂,防止因切缝深度不足引起不规则裂缝。

2. 横缝

(1) 缩缝

横向缩缝可采用在混凝土凝结后(碎石混凝土抗压强度达到 6.0~12.0MPa,砾石混凝土达到 9.0~12.0MPa)锯切或在混凝土铺筑时压缝的方式修筑。压缝法施工方法是:当混凝土混合料做面后,应立即用振动压缝刀压缝。当压至规定深度时,应提出压缝刀,用原浆修平缝槽,严禁另外调浆。然后,应放入铁制或木制嵌条,再次修平缝槽,待混凝土混合料初凝前泌水后,取出嵌条,形成缝槽。由于切缝可以得到质量比压缝好的缩缝,因此,应尽量采用这种方式。特别是高等级公路必须采用切缝法。其施工工艺为:

①切缝前应检查电源、水源及切缝机组试运转的情况,切缝机刀片应与机身中心线成 90°角,并应与切缝线在同一直线上。

②开始切缝前,应调整刀片的进刀深度,切割时应随时调整刀片切割方向。停止切缝时,应先关闭旋钮开关,将刀片提升到混凝土板面上,停止运转。

③切缝时刀片冷却用水的压力不应低于 0.2MPa。同时应防止切缝水渗入基层和土基。

④当混凝土强度达到设计强度的 25%~30%,即可进行切割。当气温突变时,应适当提早切缝时间,或每隔 20~40m 先割一条缝,以防因温度应力产生不规则裂缝。应严禁一条缝分两次切割的操作方法。

⑤切缝后,应尽快灌注填缝料。

这里应指出的是,切割时间要特别注意掌握好,切得过早,由于混凝土的强度不足,会引起粗集料从砂浆中脱落,而不能切出整齐的缝。切得过迟,则混凝土由于温度下降和水分减少而产生的收缩因板长而受阻,导致收缩应力超过其抗拉强度而在非预定位置出现早期裂缝。合适的切割时间应控制在混凝土获得足够的强度,而收缩应力并未超出其强度的范围内时。它随混凝土的组成和性质(集料类型、水泥类型和含量、水灰比等)施工时的气候条件等因素而变化。施工技术人员须依据经验并进行试切后决定。表 4-4-8 为大致的切缝时间范围,供参考。

表 4-4-8 经验切缝时间

| 昼夜平均温度 (℃) | 常规施工方法 (h) | 真空脱水作业 (h) | 昼夜平均温度 (℃) | 常规施工方法 (h) | 真空脱水作业 (h) |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 5 | 45~50 | 40~45 | 20 | 18~21 | 12~15 |

| 昼夜平均温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 常规施工方法 (h) | 真空脱水作业 (h) | 昼夜平均温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 常规施工方法 (h) | 真空脱水作业 (h) |
|----------------------------------|---------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| 10 | 30~45 | 25~30 | 25 | 15~18 | 8~11 |
| 15 | 22~26 | 18~23 | 30 | 13~15 | 5~7 |

(2) 胀缝

胀缝应与路中心线垂直,缝壁必须垂直,缝隙宽度必须一致,缝中不得连浆。缝隙下部设胀缝板,上部灌胀缝填缝料。传力杆的活动端,可设在缝的一边或交错布置,固定后的传力杆必须平行于板面及路面中心线,其误差不得大于5mm。传力杆的固定,可采用顶头木模固定或支架固定安装两种方法。

① 顶头木模固定传力杆安装方法。宜用于混凝土板不连续浇筑时设置的胀缝。传力杆长度的一半应穿过端头挡板,固定于外侧定位模板中,混凝土拌和物浇筑前应检查传力杆位置,浇筑时应先摊铺下层混凝土拌和物,并用插入式振捣器振实,并应在校正传力杆位置后,再浇筑上层混凝土拌和物。浇筑卸板时应拆除顶头木模,并应设置胀缝板、木制嵌条和传力杆套管(见图4-4-13)。

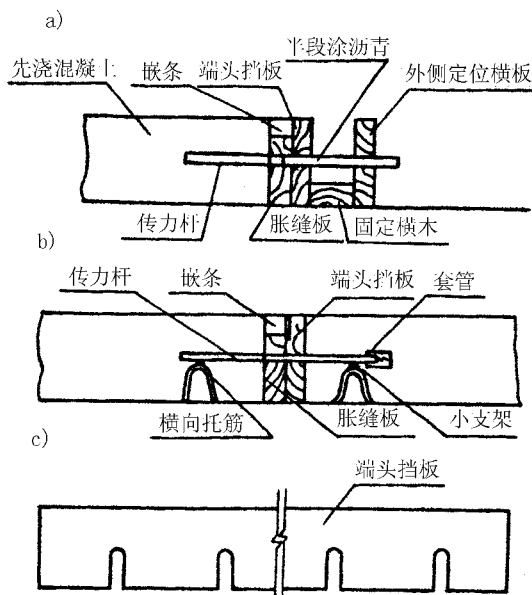


图 4-4-13 有端头挡板的胀缝

a) 顶头木模固定 b) 钢筋支架固定 c) 端头挡板

② 支架固定传力杆安装方法。宜用于混凝土板连续浇筑时设置的胀缝。传力杆长度的一半应穿过胀缝板和端头挡板,并应用钢筋支架固定就位,浇筑时应先检查传力杆

位置,再在胀缝两侧摊铺混凝土拌和物至板面,振捣密实后,抽出端头挡板,空隙部分填补混凝土拌和物,并用插入式振捣器振实。

近年来,人们在施工中对该方法作了一些改进,其作法是:预先设置好胀缝板和传力杆支架,并预留好滑动空间,为保证胀缝施工的平整度以及施工的连续性,胀缝板以上的混凝土硬化后用切缝机按胀缝的宽度切两条线,待填料时,将胀缝板以上的混凝土凿去,这种方法,对保证胀缝施工质量特别有效,如图 4-4-14 所示。

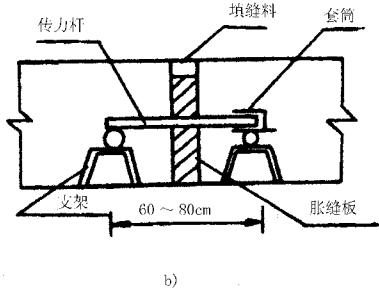


图 4-4-14 无端头挡板的胀缝

(3) 施工缝

施工缝宜设于胀缝或缩缝处,多车道施工缝应避免设在同一横断面上。施工缝如设于缩缝处,板中应增设传力杆,其一半锚固于混凝土中,另一半应先涂沥青,允许滑动。传力杆必须与缝壁垂直。

3. 接缝填封

混凝土板养护期满后应及时填封接缝。填缝前必须保持缝内清洁,防止砂石等杂物掉入缝内。常用的填缝方法有灌入式和预制嵌缝条填缝两种。

(1) 灌入式填缝施工

采用灌入式填缝施工时,灌注填缝料必须在缝槽干燥状态下进行,填缝料应与混凝土缝壁粘附紧密,不渗水,其灌注深度以 3 ~ 4cm 为宜,下部可填入多孔柔性材料。填缝料的灌注高度,夏天应与板面齐平,冬天宜稍低于板面。

当用加热施工式填料时,应不断搅拌使填料达到规定温度。气温较低时,应用喷灯加热缝壁。个别脱开处,应用喷灯烧烤,使其粘结紧密。目前用的强制式灌缝机和灌缝枪,能把改性聚氯乙烯胶泥和橡胶沥青等加热施工式填缝料和常温施工式填缝料灌入缝宽不小于 3mm 的缝内,也能把分子链较长、稠度较大的聚氨脂焦油灌入 7mm 宽的缝内。

聚氯乙烯胶泥分工厂预先配制和现场临时调制两种。工厂配制的聚氯乙烯胶泥,是用橡胶煤沥青、聚氯乙烯树脂、硫磺、稳定剂等材料配制而成,在工厂整机配制、装桶贮运使用。聚氯乙烯胶泥与混凝土有良好的粘结力,耐热、耐寒性能好,适用于寒冷地区和温

热地区的缩缝和胀缝的上部。使用时缓缓加热至 130°C ,保持恒温 15min 并不断搅拌 ,灌注后冷却成形。加热最高温度不得超过 160°C ,否则树脂将炭化失效。现场调制的聚氯乙烯胶泥 ,为煤焦油、聚氯乙烯树脂、粉煤灰和二盐或三盐(稳定剂)等材料调制而成 ,必须在使用时现场临时调制 ,调制好即用 ,不能久放。其使用性能 ,低温时性能好 ,常温、高温时粘结力差 ,适用于寒冷地区的缩缝和胀缝上部。使用时 ,先将脱水煤焦油倒入锅内 ,加热至 60°C 拌匀 ,再加入其它材料 ,边加边搅拌 ,加热至 140°C 后 ,恒温塑化 $10\sim 20\text{min}$ 即灌注。加热最高温度不得超过 150°C 。其材料和配合比可按照表 4-4-9 使用。

表 4-4-9 聚氯乙烯胶泥(现场调制)配合比(质量比)

| 材料名称 | 脱水煤焦油 | 聚氯乙烯树脂 | 增塑剂 | 粉煤灰 | 三盐或三盐 (稳定剂) |
|------|-------|--------|-------|-------|----------------|
| 配合比 | 100 | 9~11 | 15~25 | 30~50 | 0.5 |

沥青橡胶配合比及使用性能 ,可按照表 4-4-10 使用。使用时将油-10 沥青加热脱水 ,温度升到 $180^{\circ}\text{C}\sim 220^{\circ}\text{C}$,加入柴油拌匀 ,再加入经预热的石粉和石棉粉的混合物 ,最后加橡胶粉 ,边加边搅拌 ,慢火升温到 $180^{\circ}\text{C}\sim 220^{\circ}\text{C}$,恒温 $1\sim 1.5\text{h}$,具有较大流动性时 ,即可灌注。

表 4-4-10 沥青橡胶配合比(质量比)

| 材料名称 | 油-10 石油沥青 | 重柴油或 轻柴油 | 橡胶粉 | 石棉粉或 石棉短绒 | 石粉 |
|---------|--------------------------------|-------------|-------|--------------|-------|
| 配合比 | 55~60 | 10~20 | 10~15 | 4~6 | 10~15 |
| 性能及适用部位 | 粘结强度高 ,回弹率和低温延伸率较差 ,适用于温热地区的缩缝 | | | | |

注 :以重柴油为好 ,胀缝宜用石棉短绒。

(2) 预制嵌缝条填缝施工

① 胀缝

胀缝板宜用软木板、木纤维板或沥青浸制的油毛毡压制而成 ,适用于胀缝的下半部分。预制胀缝板嵌入前 ,缝壁应干燥 ,并应清除缝内杂物 ,使嵌缝条与缝壁紧密结合。适用于胀缝上半部的嵌缝条常的有两种 ,即沥青橡胶嵌缝条和有孔氯丁橡胶嵌缝条。有孔氯丁橡胶嵌缝条采用氯丁橡胶原料 ,按设计图形用橡胶挤出机挤压成型 ,然后放在硫化罐内硫化而成。沥青橡胶嵌缝条采用沥青、石棉粉、石粉按比例配合(配合比见表 4-4-11)压制而成。

表 4-4-11 沥青橡胶嵌缝条配合比(质量比)

| 沥青掺配成分 | 掺配后沥青 (%) | 废橡胶粉 (%) | 石粉 (%) | 石棉粉短绒 (%) | 适用范围 |
|----------------------------------|--------------|-------------|-----------|--------------|-----------------|
| 油-10 沥青(80%) +重(轻)柴油 (20%) | 0 | 25 | 0 | 石棉粉 5 | 缩缝 施工缝 纵缝 |
| 油-10 沥青(80%) +重(轻)柴油 (20%) | 50 | 20 | 0 | 石棉短绒 10 | 胀缝上半部 |

② 缩缝

纵缝、施工缝的预制嵌缝条,可在缝槽形成时嵌入,嵌缝条应顺直整齐。常用沥青橡胶嵌缝条配合比见表 4-4-11。

采用专用嵌缝机可优质、高效地完成各种预制嵌缝条的填缝作业。

(七) 养生及拆模

1. 养生

混凝土表面修整完毕后,应进行养生,使混凝土板在开放交通前具备足够的强度和 质量。养生期间,须防止混凝土的水分蒸发和风干,以免产生收缩裂缝,须采取措施减少 温度变化,以免混凝土板产生过大的温度应力;须管制交通,以防止人畜和车辆等损坏混 凝土板的表面。

混凝土板的养生,可根据施工工地情况及条件,选用湿治养生、喷洒成膜材料养生等 方法。其养生时间按混凝土抗弯拉强度达到 3.5MPa 以上的要求试验确定。通常,使用 普通硅酸盐水泥时约为 14d,使用早强水泥时约为 2d,使用普通硅酸盐水泥时约为 14d。

在养生初期,为减少水分蒸发,避免阳光照射,防风吹和暴雨等,可以用活动的三角 形罩棚将混凝土板全部遮起来。

(1) 湿治养生

湿治养生由三个时期组成:防护层润湿期、保证混凝土凝固的蓄能期和含水量逐渐 降低不产生收缩应力的终结期。

润湿期宜用草袋(帘)等,在混凝土终凝后覆盖于板的表面,每天均匀洒水,保持潮湿 状态,但注意洒水时不能有水流冲刷。蓄能期内,每天对含水材料润湿 2~3 次;在昼夜 温差大的地区,混凝土板浇筑 3d 内应采取保温措施,防止混凝土板产生收缩裂缝。终结 期内,必须保证混凝土逐渐失水,与周围环境温度保持平衡。

混凝土板在养生期间和填缝前,应禁止车辆通行,在达到设计强度的 4% 以后,方可

允许行人通行,养生期满后,方可将覆盖物清除,板面不得留有痕迹。

(2) 喷洒成膜材料养生

喷洒成膜材料养生是将几种化工原料按一定比例配制成油状溶液,用喷洒机具喷(或刷)在混凝土表面,溶液中挥发物挥发后形成一层较坚韧的纸状薄膜,利用薄膜不透水的作用,将混凝土中的水化热和蒸发水大部分积蓄下来,自行养护混凝土的方法。这种方法可节约用水,在干旱地区或施工用水困难地区较为适用。目前常用的成膜材料有过氯乙烯树脂和氯偏乳液两种。

① 过氯乙烯树脂的配制与喷洒。过氯乙烯树脂应选用粒细、色纯、容易溶解的白色蜂窝状颗粒。配合比可根据施条件和气温情况,经试验确定,也可按照表 4-4-12 中的配合比使用。

配制方法,应随配随用,调配时加料顺序为:

a. 先将溶剂盛入木桶,边掺加过氯乙烯树脂边搅拌,当过氯乙烯树脂全部加入后,再搅拌 10~20min;

表 4-4-12 过氯乙烯树脂配合比(质量比)

| 材料名称 | 过氯乙烯树脂 | 二辛脂 (增塑剂) | 硬脂酸钡 (稳定剂) | 粗苯(溶剂) | 醋酸丁酯 (助溶剂) |
|------|--------|--------------|---------------|--------|---------------|
| 配合比 | 10 | 4 | 1 | 84 | 10 |

注:溶剂除粗苯外,甲苯、重苯、轻苯和轻重溶剂油等无机溶液可作为溶剂。

b. 加入稳定剂(硬脂酸钡)再搅拌;

c. 加助溶剂(醋酸丁酯)或强溶剂,在寒冷地区或低温施工时,酌加丙酮搅拌;

d. 最后加增塑剂(二辛脂或二丁脂)搅拌均匀,盖上木盖,每隔一小时左右搅拌一次,每次 10~20min,直到树脂全部溶解(不含白色小颗粒)为止。调配成的溶液静放 24h,即可使用,如果 24h 后过氯乙烯树脂仍未完全溶解,可加入少量丙酮,不断搅拌,使其溶解。

喷洒方法。喷洒机具采用小型空压机和喷漆枪,先在混凝土板外试喷,待均匀后再进入混凝土板喷洒,喷液的压力宜为 0.5MPa。先喷洒板边,再逐条均匀喷洒,喷嘴离混凝土板面 20~30cm 为宜。喷洒用量宜控制在 $0.4\text{kg}/\text{m}^2$ 左右。

② 氯偏乳液的配制和喷洒。氯偏乳液抗离子水稳性较高,能与湿的混凝土连成一体,并形成一定的强度,无毒,无刺激味。配合比可按照表 4-4-13 使用。

表 4-4-13 氯偏乳液配合比(质量比)

| 材料名称 | 氯乙烯 | 偏氯乙烯 | 烷基苯酚环氯乙烷缩 合物(OP 乳化剂) | 十六烷基磷酸钠 (OP 乳化剂) | 过硫酸铵 (引发剂) | 亚硫酸氢钠 (还原剂) | 水 |
|------|-----|------|-------------------------|---------------------|---------------|----------------|-----|
| 配合比 | 30 | 70 | 1.5 | 4 | 0.3 | 0.2 | 100 |

注:水应为蒸馏水或无离子水。

配制方法 乳液略呈酸性,应用塑料桶装运(贮存温度不宜低于 0°C),不宜用金属桶。乳液在使用前应加磷酸三钠予以中和,磷酸三钠掺量,在拌匀后用试剂纸测定,pH值宜为 $7\sim 8$,乳液宜掺 0.5% 的磷酸三钠。中和后的氯偏乳液,在常温天气,应采用一份乳液掺以 $1\sim 3$ 份的水稀释后使用。

喷洒方法 喷洒时间、喷洒机具及操作方法与过氯乙烯树脂薄膜相同。喷嘴距混凝土板面的距离宜为 $30\sim 60\text{cm}$ 。第一次喷洒成无色透明状后,应再喷一次,两次的喷洒移动方向应保持垂直,两次喷洒用量宜为 $10\text{kg}/\text{m}^2$ (按一份乳液掺一份水计算)。

③注意事项

用成膜材料养生时,应注意如下事项:

- 薄膜溶液的配合比应由试验确定。薄膜溶剂一般具有易燃性或有毒等特性,应做好贮运和安全生产工作;
- 当混凝土表面不见浮水和用手指压无痕迹时,应进行喷洒;
- 喷洒厚度宜以能形成薄膜为度,过厚则浪费、过薄则达不到养生的效果;
- 在高温、干燥、刮风时,在喷膜前后,应用遮阳棚加以遮盖;
- 养生期间应保护薄膜的完整,当破裂时应立即修补。薄膜喷洒后 3d 内应禁止行人通行,养生期和填缝前禁止一切车辆行驶。

(3)其它养生方法

除上述常用的湿治养生和喷洒成品膜材料养生外,还可以用如下几种养生方法。

①用成品薄膜进行养生:即混凝土路面板表面整修完成后,在其上覆盖成品薄膜。常用的成品薄膜有聚乙烯塑料薄膜等。这种方法工艺简单,但成本较高。

②用硬化泡沫进行养生。在混凝土表面分布一层硬化泡沫可以有效地防止混凝土表面的水份蒸发。如果泡沫层厚度达到 5cm ,一昼夜内混凝土表面温度落差不超过 10°C 。硬化泡沫含有苯酚甲醛树脂 $40\%\sim 50\%$,硬化剂 $(20\%\sim 22\%$ 盐酸 $)3\%\sim 5\%$ 和剩余量的水。这种方法的主要缺点是树脂用量大,泡沫层回收和废料加工过程困难较大。

③用阴离子乳化沥青养生。阴离子乳化沥青是粘度高、干燥时间长的液体,稳定性好,制备所需能源费用比阳离子乳化沥青要少。在混凝土表面上喷布阴离子乳液可达到养生的效果。

2. 拆模

拆模时间应根据气温和混凝土强度增长情况确定,采用普通水泥时,一般允许拆模时间见表4-4-14。

表 4-4-14 混凝土板允许拆模时间

| 昼夜平均气温(℃) | 允许拆模时间(h) | 昼夜平均气温(℃) | 允许拆模时间(h) |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 5 | 72 | 20 | 30 |
| 10 | 48 | 25 | 24 |
| 15 | 36 | 30 以上 | 18 |

注:①允许拆模时间,自混凝土成形后至开始拆模时计算;

②使用矿渣水泥时,允许拆模时间宜延长 50%~100%。

拆模应仔细,不得损坏混凝土板的边、角,尽量保持模板完好。拆模后不能立即开放交通,只有混凝土板达到设计程度时,才允许开放交通。当遇特殊情况需要提前开放交通时,混凝土板的强度应达到设计强度 80% 以上,其车辆荷载不得大于设计荷载。

二、轨道式摊铺机施工技术

在高等级公路上修建水泥混凝土路面,路面技术标准要求高,工程数量大,要保证施工进度和工程质量,宜采用机械化施工。近年来,随着我国水泥混凝土路面的迅速发展,除了小型混凝土路面施工机具得到逐步配套和完善外,在一些主要公路上引进了混凝土摊铺机修建高等级路面。轨道式摊铺机施工,就是机械化施工中最普通的一种方法。

(一) 机械选型和配套

轨道式摊铺机施工,其工序与小型机具施工方法的工序相同,只是各工序由一种或几种机械按相应的工艺要求进行操作。轨道式摊铺机施工方法各工序可选用的机械列于表 4-4-15。

表 4-4-15 轨道式摊铺机施工各工序可选用机械

| 工序 | 可考虑选用的机械 |
|-------|---------------------|
| 混凝土拌和 | 拌和机,装载机,称量设备 |
| 混凝土运输 | 自卸汽车,搅拌车 |
| 卸料 | 侧向卸料机,纵向卸料机 |
| 摊铺 | 刮板式匀料机,箱式摊铺机,螺旋式摊铺机 |
| 振捣 | 振捣机,内部振动式振捣机 |
| 接缝施工 | 钢筋(传力杆、拉杆)插入机,切缝机 |
| 表面修整 | 修整机,纵向表面修整机,斜向表面修整机 |
| 修整粗糙面 | 拉毛机、压(刻)槽机 |

各施工工序可以采用不同类型的机械,而不同类型的机械具有不同的工艺要求和生产率。因此,整个机械化施工需要考虑机械的选型和配套。

1. 主导机械选型

主导机械是指承担主要工序施工任务的机械。主导机械对施工方式、施工质量、施工进度起主要作用,并决定成套机械的施工质量和生产率。由于决定水泥混凝土路面质量和使用性能的施工工序主要是混凝土的摊铺成形和拌和。因此,通常把混凝土摊铺成形机械作为第一主导机械,把混凝土拌和机械作为第二主导机械。在机械选型时,应首先选定主导机械,然后根据主导机械的技术性能和生产率,选配配套机械。

主导机械的选择,除了考虑满足施工质量和进度的要求外,还要考虑到我国现阶段工程单位的技术人员素质、管理水平和购买能力等实际情况。而配套机械的选型和配套数量,则必须考虑保证主导机械充分发挥其最大效率,并且使配套机械的类型和数量尽可能少。

2. 配合机械及配套机械

(1) 配合机械

配合机械主要是指运输混凝土的车辆。选择的主要依据是混凝土的运量和运输距离。研究表明,运距在 1km 以内,以 2t 以下的小型自卸车比较经济,运距在 5km 左右时,以 5~8t 中型自卸车最为经济。考虑到混凝土在运输过程中水份的散失和离析等问题,更远的运输距离以采用容量为 6m^3 以上的混凝土拌和运输车较为理想。

(2) 配套机械

① 前方系统(最大铺筑宽度 4.5m)

a. 以德国 VöGFLÉ 轨道式摊铺机为主导机械的配套机械

| | | | |
|---------|-----|------------|-----|
| 纵向修光机 | 1 台 | 振捣器(插入式) | 2 台 |
| 养生剂喷洒器 | 2 台 | 纹理制作机 | 1 台 |
| 调速调厚切缝机 | 2 台 | 灌缝机 | 2 台 |
| 养生用洒水车 | 1 辆 | 移动电站(20kW) | 1 台 |

b. 以美国 C-450X 轨道式摊铺机为主导机械的配套机械

| | | | |
|------------|-----|----------|-----|
| 刮板式匀料机 | 1 台 | 养生剂喷洒器 | 2 台 |
| 纹理制作机 | 1 台 | 调速、调厚切缝机 | 2 台 |
| 灌缝机 | 2 台 | 养护用洒水车 | 1 辆 |
| 移动电站(20kW) | 1 台 | | |

② 后方系统

a. 一般双卧轴强制拌和机配套机械

| | | | |
|----------------|------|------------|------|
| 装载机(2L30、2L40) | 2台 | 翻斗车(1t) | 6~8台 |
| 集料箱 | 1~2套 | 地磅 | 1~2台 |
| 供水泵 | 1台 | 计量水泵(外加剂用) | 1台 |
| 移动电站 | 1台 | | |

b. 配有自动控制配料系统的混凝土拌和楼(站)配套机具

| | | | |
|-------------|------|------------|----|
| 装载机 | 1~2台 | 散装水泥泵车 | 2辆 |
| 供水泵(3.5KW) | 1台 | 计量水泵(外加剂用) | 1台 |
| 移动电站(120KW) | 1台 | | |

3. 机械合理配套

合理配套主要指拌和机与摊铺机、运输车之间的配套情况。当摊铺机选定后,可根据机械的有关参数和施工中的具体情况计算出摊铺机械的生产率。拌和机械与之配套就是在保证摊铺机械生产率充分发挥的前提下,使拌和机械的生产率得到正常发挥,并在施工中保持均衡使用,协调一致。

当摊铺机和拌和机的生产率确定后,车辆在整个系统内的配套实质上是车辆与拌和机的配套。车辆的配套问题可以应用排队理论,找出合理的配套方案。考虑到装载点与车辆的配套是一个动态系统,即随着摊铺作业的推进,车辆的运输路程随时间的增加而增加。在运输与装载过程中,随机影响因素又较多,如道路状况、操作水平、设备运行状况等都在不断变化,因此对排队理论中单通道模型进行改进,增加时间变化等因素便于在配套方案中适时优化控制,通过输入不同的采集数据得到不同的结果,然后进行分析比较,找出合理的优化方案。

(二)混凝土拌和与运输

1. 拌和

用机械铺筑的路面质量(密实度和平整度)以及施工进度很大程度上取决于水泥混凝土的拌制质量。而拌制质量主要与混凝土配合比和拌和方式有关。因此,在选择拌和机种时,主要考虑拌和品质、拌和能力、机械可靠度、工作效率和经济性。

拌和机在台前出料口卸混凝土入运输车辆时,应设计成迅速而干净的承接装置。在后台供应砂、石、水、水泥和外加剂,如配有完整的计量、配掺、进料的系统,就组成一个拌和站,其中砂石是否需要洗净和筛分重配,由试验室根据供料的规格、含泥量和混凝土的要求确定。

机械摊铺效率高,进度快,砂石料用量大,用人力运输上料和人工计量,势必要用很多人。拌和机位置高,进料口小,进料集中,工作紧张,后台往往拥挤而混乱,进料的顺序和剂量容易产生失误。因此这一部分工作的机械化和自动称量很需要。电子称量系统

的传输机械的精度以满足施工规范为限(水和水泥小于 $\pm 1\%$,粗、细骨料小于 3% ,外加剂小于 $\pm 2\%$) ,主要着重于机械的可靠度 ,过高的精度 ,不但价格高而且可靠度也要有所下降。

水泥供料的自动称量和上料机械一般有真空泵和螺杆传运两种。采用泵送上料 ,水泥原料进场也应选用散料罐车 ,可直接泵入水泥储存罐内。如供应的是装袋水泥 ,还需配置水泥拆包机。袋装水泥 ,还是用人工计量配合简单的水泥传送机械为好 ,若发现袋装水泥质量误差超出施工规范要求或试验室指定的配合比误差允许范围 ,可人工补正。

水和外掺剂 ,一般掺配量小 ,易于计量 ,可根据工地条件来设置。

2. 运输

为保证混凝土的工作性 ,在运输中 ,应考虑蒸发失水和水化失水 ,以及因运输的颠簸和振动使混凝土发生离析等。要减小这些因素的影响 ,其关键是缩短运输时间 ,并采取适当措施防止水份损失(如用帷布或其它适当方法将其表面覆盖)和离析。

机械化施工时 ,可以采用自卸汽车或搅拌车运输混凝土。一般情况下 ,坍落度为 2.5m 以下的用自卸汽车运输 ,坍落度大于 5.0cm 时用搅拌车运输。从开始搅拌到浇筑的时间 ,用自卸汽车运输时不得超过 1.0h ,用搅拌车时不得超过 1.5h ,若运输时间超过限值 ,或者在夏天铺筑路面时 ,宜使用缓凝剂。

3. 卸料

混凝土运到路面铺筑处卸下时 ,可以采用直接卸在基层上和用卸料机械卸到摊铺机内两种方法。

直接卸到基层上时 ,为防止混凝土离析和便于刮板摊铺 ,应尽可能卸成 $2\sim 3$ 堆。

卸料机械有侧向和纵向卸料机两种 ,如图 4-4-15 所示。侧向卸料机在路面铺筑范围外操作 ,自卸汽车不进入路面铺筑范围 ,因此 ,需有可供卸料机和汽车行驶的通道。纵向卸料机在铺筑范围内操作 ,由自卸汽车后退供料 ,因此在基层上不能预先安设传力杆及其支架。

(三)混凝土的摊铺与振捣

1. 轨道模板安装

轨道式摊铺机施工的整套机械 ,在轨道上移动推进 ,也以轨道为基准控制路面表面的高程。由于轨道和模板同步安装 ,统一调整定位 ,将轨道固定在模板上 ,既作水泥混凝土路面的侧模板也是每节轨道的固定基座(如图 4-4-16 所示)。

轨道高程控制是否精确 ,铺轨是否平直 ,接头是否平顺 ,将直接影响路面表面的质量和行驶性能 ,轨道模板本身的精度标准和安装的精度要求分别见表 4-4-16 和表 4-4-17。模板要能承受从轨道人传下来的机组重力 ,横向要保证模板的刚度。轨道数量根

据进度配备,并要有拆模周期内的周转数量。施工时日平均气温在 20℃ 以上时,按日进度的 1 倍配置;日平均气温低于 19℃ 时,按日铺筑进度的 2 倍配置。

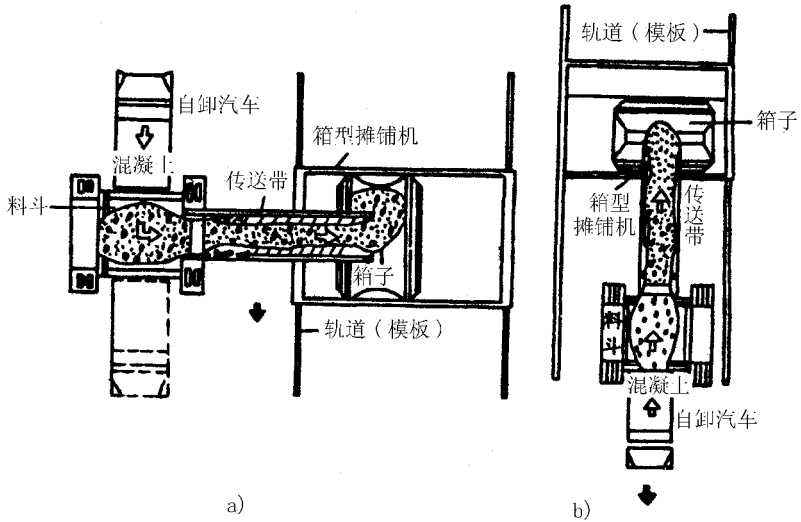


图 4-4-15 卸料机械
a) 侧向卸料机 b) 纵向卸料机

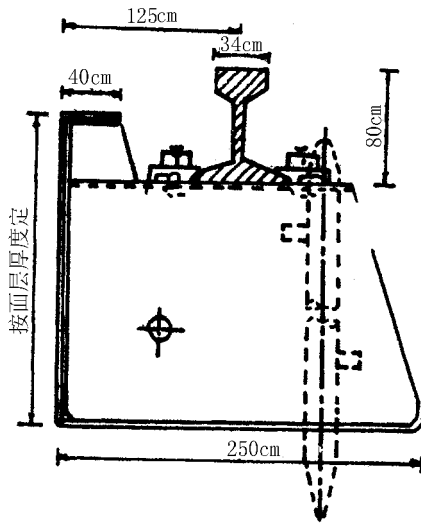


图 4-4-16 轨道模板安装

表 4-4-16 轨道及模板的质量指标

| 项目 | 纵向变形 (mm) | 局部变形 (mm) | 最大不平整度 (m) (3m 直尺) | 高度 |
|----|-----------|-----------|-----------------------|---------|
| 轨道 | ≤5 | ≤3 | 顶面 ≤1 | 按机械要求 |
| 模板 | ≤3 | ≤2 | 侧面 ≤2 | 与路面厚度相同 |

表 4-4-17 轨道及模板安装质量要求

| 纵向线形 顺直度 | 顶面高程 | 顶面平整度 (3m 直尺) | 相邻轨、 板间高差 | 相对模板 间距离误差 | 垂直度 |
|-------------|------|------------------|--------------|---------------|------|
| ≤5mm | ≤3mm | 2≤mm | ≤1mm | ≤3mm | ≤2mm |

2. 摊铺

摊铺是将倾卸在基层上或摊铺机箱内的混凝土按摊铺厚度均匀地充满模板范围之内。摊铺机械可以选用刮板式、箱式或螺旋式。

(1) 刮板式摊铺机作业

摊铺机本身能在模板上自由地前后移动,在前面的导管上左右移动。并且由于刮板本身也旋转,所以可以将卸在基层上的混凝土堆向任意方向自由地摊铺(如图 4-4-17 所示)。这种摊铺机比其它类型摊铺机的质量轻,容易操作,易于掌握,故使用较普遍,但其摊铺能力较小。德国弗格勒 J 型、美国格马可型和我国南京建筑机械厂仿制的 C-450X 型等摊铺机都采用了这种型式。

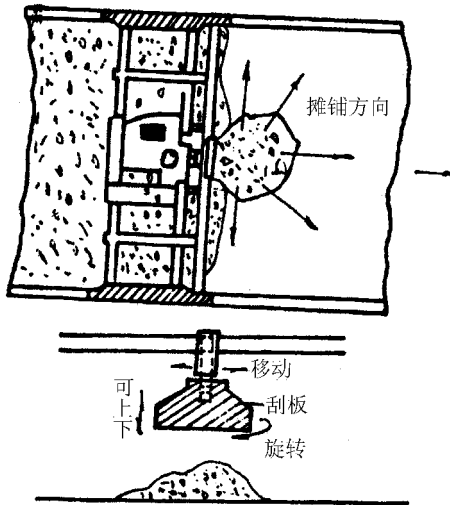


图 4-4-17 刮板式摊铺机作业

(2) 箱式摊铺机作业

混凝土通过卸料机(纵向或横向)卸在钢制的箱子内。箱子在机械前进行驶时横向移动,同时箱子的下端按松铺高度刮平混凝土(如图 4-4-18 所示)。

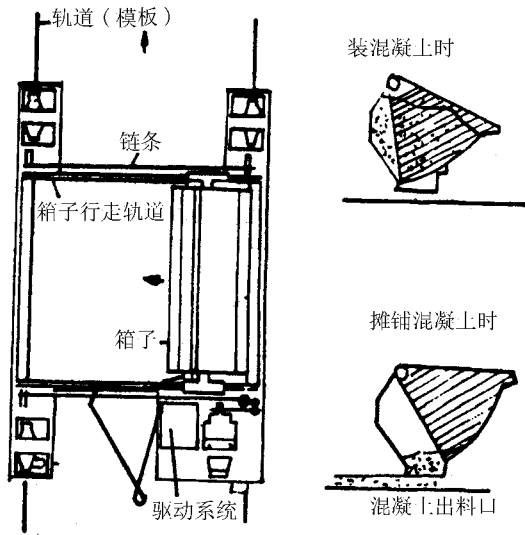


图 4-4-18 箱式摊铺机作业

由于混凝土一次全部放在箱内,所以质量大,但能摊铺均匀而且很准确。其摊铺能力大,故障较少。

(3) 螺旋式摊铺机作业

由可以正反方向旋转的螺旋杆(直径约 50cm)将混凝土摊开。螺旋后面有刮板,可以准确调整高度(如图 4-4-19)。这种摊铺机的摊铺能力大,其松铺系数一般在 1.15 ~ 1.30 之间。松铺系数与混凝土的配合比、集料粒径和坍落度等因素有关,但施工阶段主要取决于坍落度,大致的参考数值见表 4-4-18。合适的松铺系数按各工程的配合比情况由试验确定。

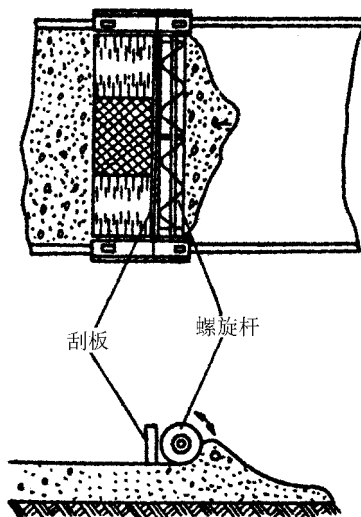


图 4-4-19 螺旋式摊铺机作业

表 4-4-18 松铺系数

| 坍落度(cm) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|------|------|------|------|------|
| 松铺系数 | 1.25 | 1.22 | 1.19 | 1.17 | 1.15 |

3. 振捣

混凝土的振捣,可采用振捣机或内部振动式振捣机进行。

混凝土振捣机是跟在摊铺机后面,对混凝土进行再一次整平和捣实的机械。振捣机的一般构造如图 4-4-20 所示(德国 VöGELE 公司采用)。在振捣梁前方设置一道与铺筑宽度同宽的复平刮梁。其作用一方面是补充摊铺机初平的缺陷,更重要的是使松铺混凝土在全宽度范围内达到正确高度,它与振捣密实度和路面平整度直接相关。其后是一道全宽的弧面振捣梁,以表面平板式振动把振动力传至全厚度。振动频率在 50Hz~100Hz 之间,属于低频振捣。按混凝土工艺学的振动机理,低频是以集料接触传递振动能量。振捣梁的弹性支承使施振时同时具有弹压力。布料的均匀和松铺厚度掌握是关键。复平梁前沿堆壅有确保充满模板的少量余料,余料堆积高度不应超过 15cm,过多会加大复平梁推进阻力。弹性振捣梁通过后混凝土已全部振实,其后部混凝土应控制有 2~5mm 回弹高度,提出的砂浆,使整平工序能正常进行。靠近模板处的混凝土,用插入式振捣器补充振捣。

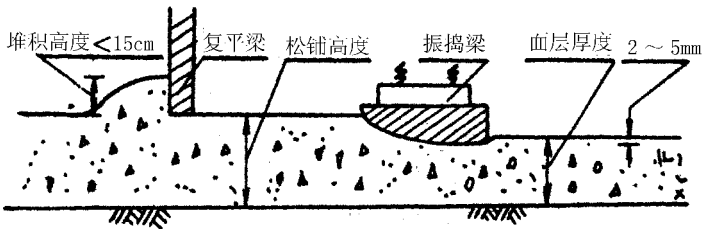


图 4-4-20 振捣机构示意图

内部振动式振捣机主要用并排安装的振捣棒插入混凝土中,由内部进行振实。振捣器一般安装在有转子的架子上,可在轨道上自行或用其它机械牵引。振捣棒有斜插入式和垂直插入式两种。

(四) 表面修整

振实后混凝土还应进一步整平、精光,做防滑处理等,以获得平整、粗糙的表面。

采用机械修整时的表面修整机有斜向移动和纵向移动两种。斜向表面修整机是通过一对与机械行走轴线成 $10^{\circ} \sim 13^{\circ}$ 的整平梁作相对运动来完成的(如图 4-4-21,其中一根整平梁为振动整平梁。纵向表面修整机的整平梁在混凝土表面沿纵向滑动的同时还在横向往返移动,由于机体前进而将混凝土板表面整平(如图 4-4-22)。机械修整的

速度必须考虑混凝土的易修整性和机械的特性等。轨道或模板的顶面应经常清扫,以便机械能顺畅通过。

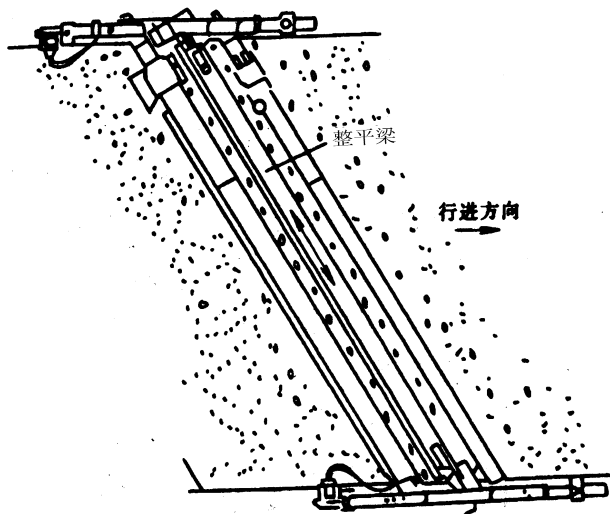


图 4-4-21 斜向表面修整机

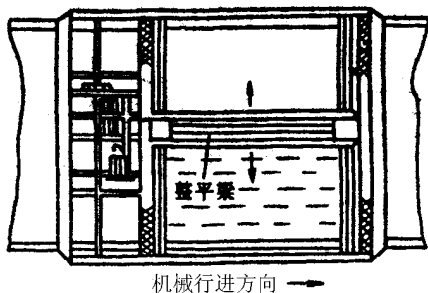


图 4-4-22 纵向表面修整机

整平操作时,应使整平机械前的拥料涌向路面横坡高的一侧。采用 VöGELE 机整平时,要注意随时清除因修光梁往复行进推到路面边沿的粗集料,确保整平效果和机械正常行驶。在施工中途有停歇时,整平梁停驻处混凝土表面常有微小的棱条出现,可辅以人工抹面。

精光工序是对混凝土表面进行最后的精细修整,使混凝土表面更加致密、平整、美观,这是混凝土路面外观质量的关键工序。国产 C-450X 机由于整机采用三点式整平原理和较为完善的修光配套机械,整平质量较高。由于国内未引进 VöGELE 机开发纵向修光机组,所以精光工作由人工辅助完成。施工中应加强质量检查、校核,保证精光质量。

为提高水泥混凝土路面行车安全性,对表面还需进行防滑处理。其处理方法前面已有介绍,这里不再赘述。

三、碾压混凝土路面施工技术

随着水泥混凝土路面施工工艺的不断发展,80年代中后期兴起的碾压混凝土(RCC)路面,目前在我国开始推广。这种路面强度高、工程投资省、施工进度快,但平整度、抗滑性和耐磨性等表面功能不足,只能适用于二级及其以下等级的公路,难以在高等级公路上一展风采。目前,改善其表面功能的办法是在碾压混凝土(RCC)路面上加铺普通水泥混凝土或沥青混凝土面层(即复合式路面)。这里主要介绍碾压混凝土路面的性能及施工方法。

(一)碾压混凝土路面的特点及发展

碾压混凝土(RCC)路面是70年代在美国和加拿大发展起来的,是使用振动压路机进行碾压和振动达到密实的一种含水率低、坍落度为零的水泥混凝土路面。碾压混凝土路面与普通混凝土路面相比,具有如下特点:

(1)施工工艺设备简单,占用劳动力少,劳动强度低,能实现快速施工作业,提高工程进度,具有良好的经济性和实用性。

(2)用水量少,采用振动碾压增加了密实性,能达到较高的强度,具有良好的抗渗性、抗冻性(掺粉煤灰降低抗冻性)、抗蚀性。同时,由于水灰比小,养生时间较短,只需7d即可开放交通,社会效益、经济效益好。

(3)碾压混凝土路面可不设纵缝和少设缩缝,能减少以往路面板接缝处板下冲蚀、唧泥、脱空乃至断裂、错台等病害,延长使用寿命。

(4)采用双层复合路面结构时,不仅平整度、耐磨性、抗滑性、行车舒适性等满足要求,而且下层混凝土对集料的要求不严格,可采用非规格集料,可掺加粉煤灰、煤渣及织物碎料等,大大减少水泥用量(可采用低标号水泥),降低工程造价,节省工程投资。

由于碾压混凝土路面具有上述特点。因此,从70年代开始,便在美国、加拿大、德国、英国、澳大利亚、瑞典等国得到推广应用。1983~1984年,德国在卡尔·马克思市区修建了长410m、宽6m,掺加织物碎料的碾压混凝土路面。又在马路德堡市市区修建长560m、宽9m的这种类型的路面。1984~1989年,西班牙在高等级干线公路上,将RCC作为路面下层,上层铺沥青层,铺筑面积已达300000m²。巴西一些城市在市区经受中等交通和重交通的道路上成功地修建了这种类型的路面。1990年,日本出版了《RCC技术指南(草案)》。并规定:在C级(单车道1000~3000次/d)、D级(单车道3000次/d以上)交通量的公路上,RCC作为基层时,其厚度可取为20~23cm,在其上铺10cm沥青混凝土,或C级交通公路上,在25cmRCC板上加铺5cm厚沥青混凝土。

在我国,从80年代初开始研究并成功地修筑RCC路面,并取得良好的初步效果。

1982年在合肥—店埠公路上铺筑了长50m、宽9m的单层试验路,1983年5月铺筑了长110m、宽4.5m的双层复合式试验路。1984年,交通部公路研究所、安徽省公路设计院等单位联合攻关,在合肥—浦江公路上铺筑了长650m、宽15m的碾压混凝土路面。1985—1986年在合肥—芜湖公路上铺筑了长460m、宽3.75m的碾压混凝土路面。目前已在江苏、山西、河北、河南、江西、陕西等十余个省、市铺筑了碾压混凝土路面。

(二) 碾压混凝土的性能及压实机理

1. 主要性能

凡在振幅为0.5mm的振动台上,以标准工业粘度计测得工作度指标大于30s,并以标准圆锥体测得坍落度为零的混凝土均属于碾压混凝土。碾压混凝土具有以下特点。

(1) 强度

①掺粉煤灰碾压混凝土的强度服从水灰比原则,28d抗压强度比同样水灰比不掺粉煤灰的要高。

②在碾压混凝土中,用超量取代法掺加粉煤灰,工作度相同,用水量随粉煤灰掺量的增加而增加。这与在塑性混凝土中掺加粉煤灰有显著不同。

③掺粉煤灰碾压混凝土的抗压强度增长情况:普通水泥掺粉煤灰,7d强度约为28d的50%,91d的强度约为28d的130%~140%,6个月的强度约为28d的150%~160%,矿渣水泥掺粉煤灰6个月的强度为28d的140%~150%。

④掺粉煤灰的碾压混凝土,当抗压强度达到30MPa时,抗折强度一般也达到4.5MPa,能满足设计要求。

⑤抗折强度相同,掺粉煤灰碾压混凝土的弯拉弹性模量比不掺粉煤灰的低约15%~20%,使路面混凝土有较高的变形能力。

⑥在碾压混凝土中掺加粉煤灰是有一定限度的。在可以利用后期强度的工程中,粉煤灰掺量:使用普通水泥,325号以掺20%为限,425号水泥以掺30%为限;使用矿渣水泥,325号以掺15%为限,425号以掺25%为限。超过以上限度,强度一般不易达到路面混凝土设计要求。

(2) 抗裂性

①掺入粉煤灰降低了水泥水化热,减少了温度收缩。较粗的粉煤灰减少收缩的效果明显,粉煤灰掺量愈多,混凝土的收缩减少愈明显。

②断裂韧性。在抗压强度或劈裂强度相同的条件下,高掺量粉煤灰的振碾混凝土阻止裂缝扩展的能力比常态混凝土强,且随着龄期的增大而增大。

③干缩性。水泥用量越大,水灰比越大,则收缩越大,因此,低塑性混凝土干缩较大。碾压混凝土施工水泥用量少且水灰比较小,且经加压振动成形,密实度增加,故比低塑混

凝土收缩小。掺粉煤灰的干硬性混凝土干缩更小。用 325 号水泥干缩较大 425 号水泥干缩较小。对于同种水泥,碾压混凝土的干缩率约比低塑性混凝土小 10%~20%,掺粉煤灰的干硬性混凝土的干缩率又比不掺粉煤灰的小 10%~20%。

(3) 抗磨耗性

①无论是碾压混凝土还是低塑性混凝土路面,表面(厚度约 1~2mm)的磨耗度均比下层大,表明铺装混凝土时表面形成的砂浆层不及下层的混凝土耐磨。

②对设计标号相同,龄期相同的路面,碾压混凝土比低塑性混凝土的磨耗度大 20%左右。这是由于在碾压混凝土的胶凝材料中掺有粉煤灰,从而降低了耐磨性。

③设计标号相同,一年期的掺粉煤灰碾压混凝土,与半年龄期不掺粉煤灰的低塑性混凝土的磨耗度大致相同,且两者的耐磨性能,都随龄期的增长而提高。

④混凝土的耐磨性能不仅取决于砂浆的成份,而且取决于混凝土中石子的硬度。掺粉煤灰的碾压混凝土路面在使用时,表层砂浆易于磨耗、剥蚀,使混凝土中的石子较早地裸露,会增加路面的粗糙度。

(4) 抗渗性

①对于塑性混凝土,抗渗性能的好坏取决于水泥用量的多少,而对于掺粉煤灰的碾压混凝土,则取决于砂浆中胶凝材料用量的多少。

②水泥用量相同时,碾压混凝土的抗渗性能和密实度比塑性混凝土好。适量掺加粉煤灰可以提高碾压混凝土的抗渗性能和密实度。

(5) 抗冻性

混凝土中含气率及空气气泡大小直接影响抗冻性。粗孔结构的混凝土抗冻性能差,所以在寒冷地区抗冻性要求高的混凝土应当加引气剂。在含气率相同的条件下,水灰比增大,抗冻性降低。增加水泥用量将降低水灰比,可以提高抗冻性。一般说水泥标号高,强度大,抗冻性也好。掺混合料的水泥水化较慢,标号较低,抗冻性也较差。在寒冷地区,掺粉煤灰的掺量应当受到限制,在碾压混凝土中,适量掺粉煤灰,从抗冻性方面说是允许的。在掺粉煤灰的混凝土中同时加减水剂可以提高抗冻性能。

(6) 混凝土的碳化

①碳化对混凝土的不利作用是引起混凝土收缩,导致表面裂缝和表面酥松。粉煤灰的掺入,会造成混凝土中碱度的降低,加速混凝土的碳化及埋在混凝土中钢筋的锈蚀。因此,粉煤灰的掺量受到限制。

②在碾压混凝土中,粉煤灰掺量越多,碳化程度越深,但碳化程度的深浅,对抗拉强度的影响不明显,不影响混凝土的正常使用,特别是做双层路面时,下面层的掺粉煤灰碾压混凝土,其碳化作用可以不予考虑。

③混凝土的碳化与空气中二氧化碳、环境温度变化以及水泥品种、骨料性质、外加剂的品种、剂量、施工条件等因素有关。使用引气剂或减水剂的混凝土,碳化程度较小。

2. 压实机理

(1) 影响振动碾压混凝土密实度的因素

① 振动频率及振幅

混凝土混合料的振动液化作用与振幅 A 、振动频率 f 的平方、振动加速度 a_{\max} 成正比,与振动波在混合料中传播速度 v 成反比。对于一定的混凝土混合料,振幅和频率应选得适宜。振幅过小则粗颗粒振不动,使振实速度慢甚至不可能得到密实的混凝土;振幅过大会使振动转化为跳跃,振实效果低,混合料出现分层,并在跳跃过程中吸入空气,密实度降低。频率过小振动衰减大;采用高频率振动可使胶凝材料颗粒产生较大的相对运动,使其凝聚结构解体,混合料振动至液化所需的时间减少,有利于提高振碾混凝土的密实度。

② 振动时的压重

在振动压路机的频率和振幅一定的情况下,振动时的压重对混合料的密实度增加有影响,即振动时的压重的大小影响混合料振碾过程液化的快慢。这是因为振碾混凝土混合料是一种含有少量液相的固体散粒体,随着振动时压重的增大,对混合料的冲击作用加强,散粒体更易于聚积在一起,便于振动波的传播。

根据国内外振动压路机的情况,线压力至少应有 62.5kgf/cm 。最好选用自行式双轮振动压路机。频率最好为变频,高频能达 $3\ 000$ 次/min,振实效力较大。如为可变振幅,应采用 0.8mm 的振幅。

③ 碾压混凝土的振实过程

碾压混凝土的振实过程大致分为三个阶段。

a. 塑性阶段。此阶段为振碾初期。由于混凝土在此时为松散状态,振动碾对混凝土施加的静压力和激振力在混凝土内部的分布是复杂的,此时混凝土也不可能将振动能量有效地向混凝土内部传递,故此时以无振静压为宜。

b. 弹塑性阶段。无振碾压后,混凝土中架空部位得到填充,此时混凝土开始由塑性向弹性转化,具有一定的弹性模量和剪切模量,并能将表面的振动波传至内部,此时开始进行有振碾压。在振动碾的作用下,混凝土中的骨料开始产生与振动频率一致的共振,包裹在骨料周围的胶凝浆体的临界厚度变薄,骨料间的游离浆体增加,混合料中的内摩阻力减小,屈服应力和塑性粘度迅速下降,直至液化。骨料颗粒在激振力与重力作用下产生相对位移,相互填充、重新排列构成骨架,骨架间的孔隙被胶凝体填充,空气和自由水被排出混凝土表面,逐步达到密实,趋向弹性。振动停止后,则又产生内摩擦力,混合

料各组分相对位置基本上不再发生变化。在此阶段由于混凝土处于由塑性过渡到弹性过程,因此其激振力和振动频率也应由小到大,由低到高,即振碾时应由弱振(低频)到强振(高频)。

c. 弹性阶段。随着碾压遍数增加,振动能量增加,混凝土逐步密实,最后达到设计相对密度,此时混凝土基本上不再吸收能量,只是向内部传递能量。若继续增加振动时间(或振碾遍数),会使表层混合料过振,反而使混凝土相对密度下降,表面产生剪切破坏或出现“波浪”而无法继续增实。因此,振动时间及振遍数应注意控制。

(三) 施工工艺

1. 材料要求及配合比设计

(1) 材料要求

由于施工工艺不同,碾压混凝土对集料的级配要求、水泥和水的用量等与普通混凝土均有所不同。

①集料。碾压混凝土所用集料的最大粒径有 40mm 与 20mm 两种,其级配范围见表 4-4-19。试验表明,后者从强度、工作度、路面的平整度要求来看,更为合适。碾压混凝土分两层摊铺时,下层集料最大粒径可采用 40mm,上层集料最大粒径以 20mm 为宜。

表 4-4-19 碾压混凝土集料级配范围建议值

| 最大粒径 (mm) | 筛孔尺寸(mm) | | | | | | | | |
|---------------|----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | 圆孔 | | | | | | 方孔 | | |
| | 40 | 25 | 20 | 10 | 5 | 2.5 | 0.6 | 0.3 | 0.15 |
| 通过百分率(以质量计,%) | | | | | | | | | |
| 20 | | | 90~100 | 50~65 | 30~45 | 21~35 | 10~20 | 7~15 | 5~10 |
| 40 | 90~100 | 65~77 | | 35~50 | 25~40 | 19~32 | 10~20 | 7~15 | 5~10 |

②水泥。水泥的技术要求与普通混凝土相同。其用量是很重要的,水泥太少,容易发生解体现象,水泥太多,会使表面粘着力加大,随着时间的推移会发生块体裂缝及损坏。通常对两层铺筑的 RCC 路面,下层的水泥含量为 7%~8%(按骨料质量计),为改善路面强度,提高表面耐久性,上层(或一个单层)路面的水泥含量按骨料的质量计可增到 12%~15%。为了改善混合料的粘结性能,并使水化热降低,可在下层掺入适量的火山灰或粉煤灰,其剂量一般为 2%(等量取代)或 40%(超量取代)。粉煤灰的质量不低于 II 级粉煤灰的标准。

③外加剂。碾压混凝土早期强度发展较快,初凝和终凝时间较短,加之和易性较差,因此,为延长碾压时间以达到要求的密实度,特别是分两层摊铺时,为保证上下两层之间的结合,可加入一些缓凝型减水剂。如木质素磺酸钙 0.25%~0.3%(以水泥加粉煤灰的

干时质量计)。对碾压混凝土的性能具有明显的改善作用。

(2) 室内试件成型方法及工作度控制

室内试件成型采用平面振动加压成型,即在常用试模上加一均匀分布的荷载(压重块)通过机械振动台进行振密成型。该法与测定混合料工作度的改进维勃仪工作原理基本一致。压重的重力通过测定碾压混凝土密实度(即压实率)确定,压实率用振实混凝土的平均密度除以理论最大密度表示。试验表明,一般应达到96%以上,才能满足路用性能的要求。

室内工作度的测定是采用改进后的维勃仪进行的,即在圆盘上加一压重块并予以固定,测定指标为改良 V_c 值(简称 V_c 值)。 V_c 值表示在规定的重力、振频、振幅条件下,混合料振动出浆所需的时间。压块单位面积重力为 2.83MPa , V_c 值对全碾式取 $70 \pm 10\text{s}$,对复合式取 $45 \pm 15\text{s}$ 。

(3) 配合比设计

碾压混凝土配合比设计的要求有两个:一是密实填充原则,即粗集料空隙最大限度地填满砂浆,细集料的空隙最大限度地填满灰浆,二是保证碾压混凝土路面的施工可碾性,即施工过程中,既使路面碾压至最大密实度,又能顺利地提浆及保证路面要求的平整度,这二者之间常常难以达到统一,配合比设计的目的就是建立这种统一。

碾压混凝土配合比设计应以获得要求的设计强度与施工可碾性为原则,其设计步骤如下。

① 计算试配强度

$$f_r = k_i f_{rm} \quad (4-4-1)$$

式中 f_{rm} ——碾压混凝土设计弯拉强度,MPa,取值见表4-4-20;

k_i ——提高系数,其值为1.15~1.25,可根据施工的技术水平及工程的重要程度确定。

表4-4-20 碾压混凝土弯拉弹性模量

| 设计弯拉强度 f_m (MPa) | 5.0 | | 4.5 | | 4.0 | |
|-----------------------------------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 弯拉弹性模量 E_d ($\times 10^3$ MPa) | RCC | FRCC | RCC | FRCC | RCC | FRCC |
| | 35 | 33 | 33 | 31 | 31 | 29 |

注:RCC—碾压混凝土;FRCC—掺粉煤灰的碾压混凝土。

② 计算灰水比

$$\frac{c}{w} = 8.12 \left(\frac{f_r}{f_{sr}} \right)^{2.54} \quad (4-4-2)$$

式中 f_{sr} ——为水泥胶砂标准试件抗弯拉强度,MPa,应采用实际试验值,如无法取得时,可采用水泥标号的标准弯拉强度乘以水泥标号富余系数确定。

富余系数应按各地实际统计资料选用。如无统计资料时,可取 1.13。

③ 计算用水量

$$w_0 = 206.40 - 97.74c/w + 103.46s_r + 2.07V_c \quad (4-4-3)$$

式中 w_0 ——初估用水量, kg/m^3 ;

s_r ——砂率, % ,可参考表 4-4-21 选用 ;

V_c ——改良维勃值, s ;其值按现行试验规程规定测定。测定时,需在维勃仪圆盘上增加荷重 9kg。

当各种材量用量确定后,需对用水量按下式修正 :

$$w = w_0 + \alpha(w_c - 0.26) + 0.015F + w_e \quad (4-4-4)$$

式中 w ——用水量, kg/m^3 ;

c ——水泥用量, kg/m^3 ;

w_c ——水泥标准稠度用水量, % ;

F ——粉煤灰用量, kg/m^3 ;

w_e ——与小于 0.15mm 粉料通过量有关的经验用水量,从表 4-4-22 查取,若加入粉煤灰,此项不考虑。

表 4-4-21 砂率选择范围参考值

| 砂率 (%) | 碎石规格 | 碎石最大粒径范围(mm) | | 砂率 (%) | 碎石规格 | 碎石最大粒径范围(mm) | |
|--------|------|--------------|-------|--------|------|--------------|-------|
| | | 15~20 | 35~40 | | | 15~20 | 35~40 |
| 水灰比 | | | | 水灰比 | | | |
| 0.35 | | 30~34 | 35~40 | 0.45 | | 34~38 | 30~34 |
| 0.40 | | 32~36 | 29~33 | 0.50 | | 36~40 | 32~36 |

表 4-4-22 经验用水量 w_e

| | | | |
|-----------------------------|-----|------|-------|
| 小于 0.15mm 粉料通过量(%) | 5~7 | 8~10 | 11~13 |
| $w_e(\text{kg}/\text{m}^3)$ | 4 | 6 | 9 |

④ 水泥及砂石用量的计算表达式与普通混凝土相同。

⑤ 测定混合料工作度(V_c 值)。如不符合要求。则需适当调整,重新进行试验。同时制备相应的梁式试件,测定 28d 弯拉强度,直到达到要求为止。

2. 施工工艺

碾压混凝土施工工序如图 4-4-23 所示。

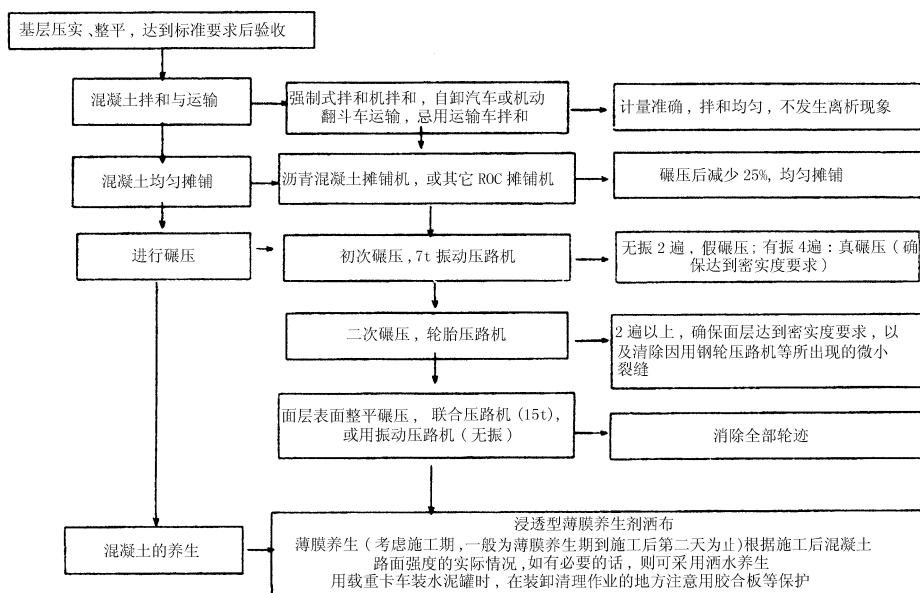


图 4-4-23 RCC 路面施工工序

(1) 路基及基层

碾压混凝土路面对路基及基层的要求与普通水泥混凝土路面相同。应平整、密实、均匀、坚实且足以承受施工机械在其上施工的能力。每天摊铺的面积应事先计划好，并打好导向线立桩。摊铺 RCC 混合料前应将基层面洒水湿润，保证含水量的控制，并提高路板与基层的粘结性。

(2) 混凝土拌和与运输

碾压混凝土宜选用强制式拌和机。国外多采用连续式双轴搅拌机（美国、加拿大在 RCC 工程中多采用澳大利亚 ARAN 公司的 ASR 系列拌和机拌和）。对于双层式路面，配合比不同的混凝土应采用不同的拌和机拌和，以避免造成混乱。同时拌和机规格、数量应与混凝土摊铺相匹配。拌和时应注意以下几点：

- ① 严格控制各种材料规格，不合格材料不准使用；
- ② 严格控制配合比，每天及气候变化或非同时进场的材料要测定砂、石材料中的含水量，以便调整用水量；
- ③ 在混凝土运输和摊铺中，由于水份蒸发，致使工作度损失，为保证在碾压时混凝土 V_c 值在 (12 ± 3) s，拌和时机口出料考虑气候及混凝土运输距离等影响，控制混凝土 V_c 值在 $5 \sim 8$ s；
- ④ 混凝土拌和时间要适当，一般控制在 $1.5 \sim 2.5$ min，并随时观察拌和物的均匀性；
- ⑤ 混凝土采用自卸汽车或机动翻斗车运输，运输车辆吨位与数量应与拌和机规格、

运距及摊铺速度匹配,混凝土从搅拌机出料至碾压完毕最好不要超过 1.5h,并尽可能选用卸料时落差小的运输车辆,以减少混凝土离析;

⑥忌用混凝土运输车拌和 RCC 混合料。因为运输车拌和的质量不够均匀,加水时细料不容易拌和彻底,且易生成球状。若须采用运输车拌和 RCC 混合料,水泥和骨料应在加水之前干拌均匀。

(3) 摊铺

RCC 路面的摊铺是由摊铺机来完成的。通常使用沥青混凝土摊铺机,其平整度的控制及机器的操作也与沥青混凝土路面无异。摊铺工作中应注意以下几点:

- ①导向线要经常检查,传感器也要经常检查,以保证摊铺机平稳地、均匀地工作;
- ②机器应连续工作,停、开次数尽量减少;
- ③振动板前的料量应保持一致;
- ④摊铺螺杆工作的时间至少要占完成整个工序时间的 80%;
- ⑤避免运料车撞摊铺轨。

在相邻路带摊铺时最好用二台摊铺机一字排成梯队形式,后边一台与前一台相距不超过 1h 的行驶长度。在摊铺过程中,摊铺机的振动板已进行了预压实,但一般留 10% ~ 15% 的预留压实高度。

RCC 混合料的摊铺最好是单层摊铺。路面板厚大于 30cm 时,应采用多层摊铺,因超过 30cm 后不易压实。当采用两层摊铺时需有一定的顺序要求。一般上、下层摊铺的相隔时间不宜太长。通常上午摊铺下层,下午摊铺上层。应遵循的原则是,在摊铺上层时,下层不应干透,下层表面应潮湿,以便上、下层的粘结。一般情况下不需对下层表面进行任何处理。但有的国家用平地机上的齿耙将下层拉出纹槽,使其与上层更好地粘结。

两层摊铺时,若对平整度要求不高,允许下层用平地机摊铺,由压路机压实到预定的密实度。上层则必须用沥青混凝土摊铺机铺筑。

RCC 混合料的摊铺设备国外目前多采用带有双振捣板熨平装置的沥青混凝土摊铺机。这种双振板系统,夯实厚度可达 18 ~ 20cm,前振捣梁预捣实,密实度可达 80% ~ 85%,后振捣板终捣实,密实度可达 98%。

应该指出的是,对于每种 RCC 工程都应仔细研究具体的摊铺工艺,使路面的冷接缝尽可能作得最少,例如,需铺筑一块长方形的货场时,可以采用与常规相反的方式沿短边摊铺,这样会使相邻车道之间的摊铺时间缩短,从而使两车道之间用新鲜缝而不用冷接缝。多车道摊铺应大力推荐机器成梯队工作,大面积摊铺建议用多台机器工作,如果所需混凝土供应不足可以降低摊铺机行进速度。

采用沥青混凝土摊铺机摊铺 RCC 混合料的问题是,由于 RCC 路面比普通的沥青混

凝土路面厚得多,因此料斗显得小了,另一问题是布料螺旋输送机容易将粗骨料输送到的两端边缘,从而使边缘处的混合料产生离析,因此必须辅以人工摊铺,找补均匀。

(4) 压实

RCC 混合料摊铺后应立即进行碾压。采用低频率、高振幅的重型钢轮振动压路机碾压。这与沥青路面所用振动压路机压实工作的要求正好相反。振动压路机压实的遍数应以不致产生有害作用为宜,通常压实 3~4 遍,以达到预定的密实度为宜。碾压遍数过多往往会引起表面细裂纹。碾压工作速度不超过 3.2km/h 时的压实效果最佳。

振动压路机碾压后,须检查现场的密实度是否符合要求。若达到了密实度,然后用重型 15~20t 轮胎压路机或轻型静力钢轮压路机作表面封层的碾压工作。通常碾压 1~2 遍即可。

在最后的几遍压实作业中,在钢轮表面加水可以使路面产生足够的浆液去填充路表面的孔隙和裂纹。但注意水量一定要加够,以防止路表面干料粘到轮上。

压实作业完成后,压路机应驶离压实现场。在相邻路带摊铺好,沿边缘应留下 30~45cm 的材料先不进行压实,待相邻路带铺好再与其一起压实从而保证与相邻的摊铺路带有一致的平整度和压实度。同时也允许路带之间的接缝被压实,以便形成平整密实的接缝。为改善支撑边外缘的密实度,将约 45cm 的外缘压实推迟 10min。若路面宽度较宽,采用一台或多台沥青摊铺机摊铺时,压实的顺序应从外缘到中心。这种压实程序可以保证整个 RCC 路面宽度的密实度。

混凝土路面压实后,要进行密实度检测。因为高密实度意味着高抗弯强度。目前 RCC 路面的密实度仍采用核子密度仪来测量。但是这种方法测 RCC 密实度的精度没有太大把握,一般采用这种方法测量现场的密实度。

RCC 路面压实后,还应进行平整度测量及防滑处理。一般用 3m 直尺靠到路表面上,测量路表面到尺下沿的最大垂直距离是否达到要求来评价平整度。

RCC 路面压实设备对操作人员的技术要求比对沥青路面压实人员要求高,因为压路机的操作人员对路面平整度起重要的作用,较厚的 RCC 路面在平整度上比较薄的沥青路面层容易增大偏差,因此,应作好操作员的培训工作,使其能熟练地操作机械设备。

关于防滑处理,前面已有介绍,不再赘述。

(5) 接缝

RCC 路面施工一般不设胀缝和纵缝,通常设工作缝和缩缝。

① 工作缝

工作缝(或称施工接缝)有两类,即新鲜接缝和冷接缝。在混凝土铺毕后 90min 内铺上新拌混凝土,并压实获得的接缝称为新鲜接缝,对新接缝无需特殊处理。为了筑成新

接缝,应将已铺好的混凝土边缘留下一段,不予压实,待卸接的混凝土铺上后再压实。

新鲜接缝无论压实情况,还是结合情况都很好,使用中很少出问题。但要注意在铺筑时不要使混合料溢到已铺好的路面上。当碾压混凝土处于塑性状态时,不应采用锯切的方式,否则会使骨料剥落下来。

当已铺好的 RCC 路面,在铺筑卸接的新拌混凝土前已明显变硬时(通常在 90min 以后)构成的接缝为冷接缝。由于 RCC 路面上面的冷接缝常常存在孔隙和蜂窝,易使路面局部损坏。因此,铺筑时应特别引起注意。

RCC 路面的冷接缝通常有两种形式。一种是相邻路带之间的纵向接缝,一种是横向接缝。横向接缝包括连续不停顿施工时的工作缝,或设备故障必须停顿时的断头接缝。对于这种接缝的碾压工作,应完全压到边缘或路沿带上。在下一次继续施工之前,必须将塑性混凝土垂直切掉一段,切至压实的平整面为宜。考虑到还要摊铺邻接的混凝土,切割面(接缝)应尽可能垂直、整洁,边缘应潮湿,最好再刷上一层水泥浆,即可进行新路板的摊铺工作。两个纵向冷接缝至少应相距 20~30m。

② 缩缝

根据许多国家试验道路的经验,在 RCC 路面中不需要作纵向缩缝。若需要设横向缩缝时,应在摊铺后 24h 之内锯出,不会导致接缝处过分松散,间距应相隔 15m 为宜。这里应说明的是:RCC 路面与水泥稳定土一样,通常不需要锯横缝,而是让其自然形成横向裂缝,以避免接缝剥落问题。所以,无论是加大拿还是美国都不采用锯缝方式,而是允许出现混凝土收缩产生自由裂缝,这种裂缝一般很快就被表面的碎料填满,不会影响路面质量,也不会进一步扩大到整个板的厚度,并且还有充分传递负荷防止错台现象的优点。

(6) 养生

RCC 路面的养生有很多种方法,但不同的养生方法将产生不同的效果。

RCC 路面的养生象水泥混凝土路面一样,需用湿治养护来获得其潜在的强度。最初 24h 的湿治养护是非常重要的。湿治养护通常是在麻布、棉毯、沙层等覆盖层上喷洒雾状水。但采用喷洒的方法养生时将会有部分细料被冲掉的危险。因此国外采用在 RCC 路板表面上铺一层沙子来避免这种情况的发生。通常将沙子洒湿,并保持 7d,但洒水车不能太重,否则会使尚未达到承受重载强度的 RCC 路面受到损坏。

在养生时,自由边是要特别注意的地方。一般用湿麻布养生比用塑料薄膜好。因为洒水车经过时麻布更易洒湿。塑料薄膜不容易使路沿得到适当的水分,易使路边处的混凝土干透。

RCC 与水泥稳定材料一样有自动愈合的特点。若 RCC 路面有早期收缩或因施工设备重载产生了裂纹,采用乳化沥青养生剂时,将对 RCC 路面的耐久性有不利影响。因为

乳液本身会渗入裂纹中,这就会使裂缝壁隔离起来,从而影响了它自身有利地愈合。

由于 RCC 含水量极低,表面极易干燥,因此应及时喷洒养生剂,绝不能待干后才进行养生,养生期间应根据气温条件定期喷洒养生剂,在养生期间路面不应出现干透现象,否则将会变成一个低质量的工程。因为在养生期间干透了,将容易产生渗透、霜冻或其它损坏。

在养生过程中,RCC 路面的湿度应保持在或低于饱和状态的 8%,可以防止过多的裂缝,这一点是重要的。

(四) 施工中应注意的问题

1. 流动性

改善 RCC 的流动性是推广 RCC 和节约水泥,保证工程质量的关键。其主要措施如下:

(1) 不要采用过少的用水量,按质量计的含水率宜控制在 3.5%~4.5% 范围内。按水灰比计通常为 0.3~0.4。如果天气的原因使水分蒸发时,应该再加上 2% 的含水量。用水量最好不低于 140L/m³;

(2) 在作 RCC 配合比设计时,必须通过试验来选定一个最合适的含砂率,这一点是非常重要的;

(3) 在保证混凝土所要求的强度情况下,应大力采用砾石混凝土。要改善石字的级配,应尽可能将石子进行人工级配;

(4) 保证足够的水泥用量。改善混合料的粘结性能,必要时,可掺入适量的火山灰或粉煤灰作为部分粘结材料,但用量应控制在一定限度内;

(5) 采用减水剂,也可改善混合料的流动性。

2. 平整度

路面平整度是评价路面质量的关键指标之一。由于 RCC 路面从开始到现在仅经历十余年时间,还处于发展的初期,其平整度还不够理想。在国外 RCC 公路的平整度也只能达到 6.25mm/mm,提高平整度是研究和努力的方向。目前单层式 RCC 路面只适用于次级道路、低速重载道路及低交通量的城市街道、车场等。在高等级公路上则采用“上低塑下振碾”或“上沥青下振碾”的复合路面。实践证明:用复合式路面结构解决 RCC 路面平整度问题,是一种较理想的办法。

(1) 上低塑、下振碾”复合式路面

“上低塑、下振碾”复合式路面板的下层为多掺粉煤灰的碾压混凝土,其厚度一般取总厚度的 2/3;上层为不掺或少掺粉煤灰的低塑性混凝土(普通混凝土),其厚度一般取总厚度的 1/3,并不宜小于 8cm。这样,既发挥了 RCC 水泥用量较普通混凝土少的优点,又

克服了 RCC 路面平整度较普通混凝土路面差的弱点。既降低了工程造价,又提高了工程质量。

由于上下两层是连续施工(时间间隔一般在 2h 以内),上下层粘结良好,一般情况下不需对下层表面作任何处理,就能完全结合。试件及路面钻取的岩芯也证明了这一点,试验的破坏面不在连接面上。有的国家和地区采用平地机上的齿耙将下层拉纹槽,使其与上层更好地粘结,效果更佳。

普通混凝土路面层按现行水泥混凝土路面施工技术规范的有关规定施工,前面已作介绍,不再赘述。

(2) 上沥青、下振碾“复合式路面

为了改善 RCC 路面的平整度及提高行车的舒适性,在 RCC 路面上加铺 2~3cm(最好为 3~5cm)沥青表面处治或细粒式沥青混凝土磨耗层的,形成“上沥青、下振碾”复合式路面结构。这种新型路面结构对下层 RCC 路面的平整度可适当放宽,以便于 RCC 的施工。同时,下层的 RCC 材料要求也可适当放宽,如掺加适量粉煤灰或用低标号水泥、地方非规格集料等修筑,并可考虑抗滑、耐磨性能,使造价降低。无论从经济上、技术上还是使用性能等方面都优于单一的柔性或刚性路面结构,将成为高等级公路路面结构的主要形式之一。

沥青层按现行沥青路面施工技术规范的有关规定施工(前面已有介绍)。为了加强层间结合,RCC 板与沥青面层之间应喷洒粘层油。粘层油可采用 AH—100 沥青,其用量视 RCC 表面粗糙程度而定,一般为 $0.3 \sim 0.6\text{kg}/\text{m}^2$ 。喷洒粘层油后须均匀撒少量砂(约为沥青用量的 30%~40%)。

“上沥青、下振碾”复合式路面结构中,存在反射裂缝问题,即当温度下降时,RCC 板产生水平位移,从而引起沥青层干裂。另外,当汽车轮载通过接缝时,相邻板的挠度差引起沥青层剪切变形,致使面层出现裂缝。为了解决反射裂缝问题,可采取如下措施。

① 铺设沥青—橡胶层(应力吸收层)。沥青—橡胶应力吸收层(SA—MI)起着软介层的作用,它能把接缝位移引起应力完全消散在夹层内。其施工方法为:把一种橡胶沥青加热到 180°C 时,以 $1.22 \sim 1.63\text{kg}/\text{m}^2$ 的用量洒铺,再趁热撒布预拌好的等粒径粗砂 $14\text{kg}/\text{m}^2$,竣工厚度为 9~13mm。这种橡胶沥青具有下列特性:在 117°C 时,绝对粘度为 $1000 \sim 8000\text{Pa}\cdot\text{s}$;在 60°C 时绝对粘度为 $7000 \sim 60000\text{Pa}\cdot\text{s}$;软化点 $54^\circ\text{C} \sim 71^\circ\text{C}$,劲度模量 $S_4^\circ\text{C} = 0.7 \sim 17.2\text{MPa}(0.5\text{s})$,及 $1.7 \sim 27.6\text{MPa}(0.2\text{s})$ 。

厂拌的 SAMI 在 $137^\circ\text{C} \sim 149^\circ\text{C}$ 时铺筑,可以使铺筑厚度均匀,注意混合料不要与刮板粘结,用轮台压路机碾压,配合比最大取 沥青:骨料 = 10:90。

② 设置过渡层。过渡层是设置在沥青混凝土与 RCC 板之间的一种碎石混合料层,

碎石的级配采用 76 ~ 10、64 ~ 2.5 及 50 ~ 0.15mm 三种。随着板的位移增大,采用粒径较大的碎石粒料。选用针入度 60 ~ 80 的沥青(1.5% ~ 3%),空隙率为 25% ~ 35%。混合料搅拌时间最长为 30s,拌和温度为 93℃ ~ 121℃,并在 65℃ ~ 80℃ 温度下,用 40 ~ 100kN 串列压路机碾压 2 ~ 3 遍,施工后一昼夜铺设整平层,随即开放交通。

③土工织物法。织物对沥青混凝土起着加强的作用,而且也是一种防水层。所用粘层沥青必须能填充织物的孔隙。当接缝较宽,又没有填封,便不会有足够的沥青渗入纤维织物,织物也就起不到防止的作用。当然,土工织物的物理力学性质,如抗腐蚀、耐热、抗拉强度、撕裂强度及变形特性等也要满足路面性能的要求。施工时,清扫水泥混凝土路面,洒乳化沥青,铺土工布,并立即铺筑沥青混凝土。施工中,土工布粘在混凝土板上,成为上层沥青层的粘结层,但应防止泛油。

④锯口封缝法。目前的各种技术均不能根本上解决反射裂缝问题。在沥青层上锯缝并密封,既可防止水或不良异物进入,还可为释放沥青层内的应力提供一个平面。这种处理方法可以减少反射裂缝处的剥落。

德国沿水泥混凝土路面板的伸缩缝位置,切断铺设的沥青混凝土面层,填入填缝料,取得了良好的效果。日本对 4cm 厚度的沥青混凝土层采用了同样的方法,但未填缝,取得了防止产生不规则反射裂缝的效果。最新出版的《RCCP 技术纲要》中规定,RCC 作为基层时,应设置横缝,沥青混凝土层设缝位置应与 RCC 板缝位置相一致。

锯缝可以干锯或湿锯,锯口必须保持干燥,清洁以使填缝料粘结得好。美国某些州,在封缝前已将粘连间断带置于接缝底部。

美国用一种热橡胶沥青填缝料,作为新封缝的材料。填缝料应填满整个接缝以使冷却后填缝料的水平面低于路表面 1.6 ~ 3.2mm。封缝应干净,不要有稀疏的填缝料溢出。

锯缝的时间应当在任何低于冰点的温度出现前将沥青层锯开,要尽早或至少在开放交通前封缝。

四、特殊季节的施工工艺

水泥混凝土路面施工受气候条件的影响较大,对高、低温季节及雨季施工应考虑其特殊性,采取不同措施以确保工程质量。

(一)雨季施工

我国有些地区,特别是江南地区,每年有雨季或梅雨季。雨季施工主要是采取措施防止多雨季节和雨天影响水泥混凝土路面施工,保证铺筑后的路面质量。

1. 注意事项

(1)在雨季来临之前,应做好下述准备工作:

①掌握气象资料。与当地气象台联系,定期获得天气变化资料,掌握年、月、旬降雨趋势的中期预报,尤其是近期预报的降雨时间和雨量,以便安排施工;

②拟订雨季施工方案和建立雨季施工组织管理机构。制定雨季和雨天实施工艺规程和预防措施,组织防雨防洪抢险队,准备防洪抢险机具和材料;

③搞好现场调查。了解和掌握施工路段的汇水面积和历年水情,调查施工区段内,桥梁和人工排水构造物系统是否畅通可靠,事前应予疏通和防护,防止雨水和洪水影响施工场地和拌和场地。

(2)在拌和场地对拌和设备可搭雨棚遮雨。砂石料在这个时期含水量变化较大,需要经常测定,以调整拌和时的加水量。雨季空气潮湿,水泥储存要注意期限,防止漏雨和受潮。

(3)混凝土在运输途中应加以遮盖,严禁淋雨并要防止雨水流入运输车厢中。如混凝土中已渗入雨水,则应采取措施处理后方能使用。

(4)在铺筑现场,如铺筑前现场有雨水,应及时排除基层积水。对刚铺的路面,遇下雨时,即以工作雨棚放上,也可以利用它继续铺筑。一般在下雨时,应铺筑未浇完的一块板,并停工做工作缝,不要再另行铺筑另一块。雨棚应轻便易于移动,尺寸设计应方便操作。在混凝土达到终凝之前,应覆盖塑料膜,不允许雨水直接淋浇在已抹平的路面上,冲毁面层。

2. 雨水毁坏路面地修复

水泥混凝土路面的施工,属大规模、长时间的野外作业。在铺筑及养生初期,常常会受到长达几小时,甚至十几小时的大雨冲毁,难以及时补救。遇到这种情况,传统的处理方法有两种:一种是另拌同级配砂浆及时找补被雨水冲掉的面层,或者立即拌制1:1.5~1:2.0的水泥砂浆加以粉面(厚度不超过4mm,水灰比为0.4)。实践证明,这种方法极不可靠,路面在营运中极易出现剥削、脱皮等病害。另一种是将被雨水毁坏的路面板全部清除,清理干净后重新浇筑。这种处理方法不但给施工企业造成很大的损失,而且浪费严重。我们通过研究和实践,认为采用修复补强措施,技术上可行,经济上合理。

修复补强的基本概念是:在被雨水冲毁的水泥混凝土路面上,剔除被毁坏的表层,在经过清理和用水泥浆或环氧树脂混合物结合剂处理的完整的原水泥混凝土上,加铺一层新拌混凝土面层(通常为3~5cm),使之完全结合,牢固粘结成一整体,形成整体单层板,使其能较好地满足使用及规范之各项要求。

(1)补强层厚度

雨水冲毁路面的表面修复补强可视为结合式双层板,只要补强层和原混凝土板的组合厚度大于或等于设计荷载要求的单层板厚度即可。其厚度计算表达式为:

$$h_1 = h_0 - h \quad (4-4-5)$$

式中 h_1 ——补强层厚度, cm, 通常取 3~5cm, 并不得小于 3cm;

h_0 ——设计荷载需要的单层板厚度, cm;

h ——被剔除表层后的原混凝土板厚, cm。

(2) 补强层混凝土强度

在加铺补强层混凝土时, 其标号宜比原路面板略大一些为宜, 这样, 补强层不但可以用来改善路面表面缺陷, 同时也提高了路面的承载能力。这里应指出的是: 补强层没有必要加配钢筋及采用钢纤维混凝土, 因为, 补强层处于混凝土板块的中性轴以上, 只受压应力作用, 一般水泥混凝土路面层均能满足要求。

(3) 结合面质量

上下层水泥混凝土板能否牢固结合, 成为一整体, 这与结合面的质量有很大关系, 如果结合面的质量差, 上下层混凝土板则不能完全结合, 从而形成分离式双层板。使补强层在受力情况和工作性质上发生质的变化, 在车辆荷载作用下, 补强层将发生严重碎裂等工程质量事故。

(4) 补强层施工注意事项

①要把握好剔除受毁混凝土表层的时间。就剔除处理的时间来说有两种情况。

a. 在混凝土路面浇筑后未达到初凝时的剔除, 这种情况可视为连续施工的新鲜接缝, 但暴雨一下往往就是几个小时, 乃至十几个小时, 在初凝内完成补强层的施工作业, 在施工中是很难做到的。

b. 在水泥混凝土终凝后, 强度达到 5MPa 以上, 时间约 3d (指真空吸水混凝土) 以后进行剔除补强, 这主要是考虑到混凝土在剔除过程中, 有一个扰动层 (或松动层), 在混凝土浇筑后 1~3d 这段时间, 混凝土强度较低, 在剔除层表面, 易出现松动或半松动的混凝土层。松动程度与混凝土强度有关, 强度越高, 松动层越小, 也就是说松动的程度越小。松动层是直接影响混凝土面上下层结合的主要因素。所以, 建议剔除补强的时间在 3d 以后为宜, 也就是说在水泥混凝土终凝后为宜。

②结合面清除处理应符合质量要求。一般来说, 在新建的混凝土路面上, 只要将混凝土下层板表面凿毛, 洗净凉干, 随即浇筑上层补强混凝土, 就能满足结合式双层板之要求。在结合面不能有松动的或松散的混凝土残渣。最好是在清净后的粗糙结合面上喷刷高标号水泥浆或环氧树脂等粘结剂, 以保证上下层的结合质量。否则, 松动 (散) 的混凝土或残渣将形成一隔离层, 影响结合质量, 产生质量问题。

(5) 接缝处理

对结合式双层板, 下层的裂缝和接缝会直接反射到上层板。因此有如下要求:

- ①上层的接缝形式必须与下层板相同；
- ②上下两层板的接缝位置必须对整齐；
- ③施工时应注意保证接缝质量，缩缝宜采用锯缝形式，胀缝在施工中注意将上下板胀缝连接贯通。

(6) 施工工艺

补强层的质量好坏，与施工工艺有关，建议用真空吸水工艺，真空吸水工艺有以下优点：

- ①真空吸水混凝土强度增长快，有利于层间结合；
- ②真空混凝土表面强度高、耐磨性、抗冻性、抗渗性能较好；
- ③真空吸水可避免或减少混凝土收缩开裂。

这些都正是补强层的根本要求，将大大增强补强层的使用寿命和使用效果。

(二) 高温季节施工

施工现场(拌和和铺筑场地)的气温达到 30°C 时，即属于高温施工。在高温季节施工时，应尽可能降低混凝土的浇筑温度，缩短从开始浇筑到表面修整完毕的操作时间，保证混凝土进行充分的养生，同时，应作好高温施工的工艺设计，包括降温措施，保持混凝土可工作性和基本性质，以确保工作质量。

1. 高温对混凝土路面施工的影响

有关混凝土各种性能的基本理论都是在常温条件下研究出来的，通常制备混凝土也只考虑它在最佳情况下拌成。夏季高温混凝土路面施工受温度影响，会带来如下几个问题：

(1)高温情况下混凝土坍落度降低快(特别是在运输过程中)，会失去原有的施工和易性，给混凝土铺筑、振捣密实等带来困难；

(2)水分过快地蒸发，使混凝土凝结硬化加快，泌水减少，表面干燥快，混凝土表面很难振出足够的砂浆，且操作时间缩短，给表面整平、收水、抹面、防滑处理带来困难；

(3)高温会促进水化作用，水化发热在初期速度大，散热少，温度上升快，易因温差作用产生裂缝；

(4)白天高温时浇筑，黑夜周围温度下降，易因温差作用产生断板；

(5)高温烈日下会使混凝土表面因水分蒸发过快而失水，产生严重的龟裂、网裂。裂缝长度可达 $20\sim 100\text{cm}$ ，深度可达 $3\sim 5\text{cm}$ 。

此外，高温时浇筑混凝土，在不同程度上影响其强度、抗渗性、稳定性以及耐磨性和抗蚀性。若不采取措施，难以生产出优质混凝土路面。

2. 高温季节混凝土路面施工措施

当整个施工环境气温达到 35°C 且没有专门的工艺措施时,不应进行混凝土路面施工。在我国地理纬度和气候条件下,绝大部分地区高温季节是可以铺筑水泥混凝土路面的,但应根据工程的条件采取相应措施。

(1) 材料

①砂石料降温。砂石料是混凝土拌和物中占比例最大的组分,热容总量最大。降低集料温度是降低混凝土温度最有效的措施。集料温度降低 1°C ,混凝土拌和物的温度可降低 0.6°C 。降温措施有:在砂石料场搭盖棚遮阳,避免阳光直晒;对当天使用的石料洒水降温;尽可能从料堆内部取料。

②降低水温。降低水温是一般工程单位容易办到的方法,但效果不太显著,水温每降低 2°C ,拌和物温度才能降低 0.5°C 。降低水温的措施有:抽用深层地下水;避免日光直射储水柜及输水管;在储水柜内投放冰块;同时在储水柜周壁设隔热层等。

③掺加缓凝剂。在整个环境炎热的条件下,采取降温措施费力而且成本较高。最简便易行的方法是掺缓凝剂,延缓混凝土初凝时间,使其能保持较长时间的合适的工作度,并降低拌和时的稠度,使之易于拌和和出料。

(2) 拌和与运输

①搅拌站应有遮阳棚,搅拌时间宜短些。应定期专门测量混凝土拌和物的温度,无论什么情况和条件,混凝土拌和物的温度不能超过 35°C 。

②预先估计到混凝土在运输、摊铺过程中水分过快蒸发所造成的坍落度的降低,事先调整好配合比,适当增加用水量。至于用水量增加多少,应根据运距、气温、日照、风力大小及施工工序来决定,一般在 30°C 气温下,要保持气温 20°C 时的坍落度,就要增加单位用水量 $4 \sim 7\text{kg}$ 。

③混凝土在运输时要遮盖,及时运送至工地,中途应避免贻误和停顿,使混凝土在拌和后 60min 内到达,进行摊铺操作。

(3) 摊铺及养生

①对模板和基层喷洒水,以降低其温度,同时可以保持基层湿润状态,有利于保证混凝土质量。

②摊铺、振捣、收水抹面等道工序应衔接紧凑,尽可能缩短施工时间。若气温过高时,宜避开中午,可在夜间进行施工。

③表面修整抹面后应尽快覆盖或搭设遮阳棚,以避免混凝土表面遭到烈日暴晒。也可以设置临时防风墙,降低吹到路面上的风速,减少水分蒸发量,保持混凝土表面湿度。

④在高温下极需连续养生,并以洒水法为宜,在灌筑后的最初几小时,应不间断洒水,防止路面表面干燥,但应注意洒水冲坏表层。

(三) 低温季节施工

水泥混凝土路面施工操作和养护环境的昼夜平均气温连续 5d 低于 5°C 或最低气温低于 -3°C 时,应视为低温施工。低温施工虽然不会改变水泥的化学性质,但却对水泥浆体的微观结构产生影响,使孔隙率及孔隙半径增大,体积膨胀,给混凝土的强度、抗渗性、粘结性及耐磨性等力学性能造成不可恢复的损害。因此,在低温季节施工时,施工单位必须提出低温施工的工艺设计,包括低温操作和养护的各项措施,以确保混凝土路面的施工质量。

1. 低温对混凝土路面施工的影响

水泥的水化程度决定着混凝土的强度,水化速度也就是混凝土强度增长的速度。若气温降至 5°C 时,混凝土内水化反应显著减慢,降低至 0°C 时,水化反应几乎停止;再降至 -3°C 时,混凝土浆体孔隙间的自由水冻结成冰,使混凝土受冻后停止硬化,即使龄期再长也不会有任何强度增长。

在终凝前,混凝土冻结,水变成冰,体积膨胀,其冰晶压力会破坏正在形成的混凝土结构,使混凝土强度降低 50% 以上,甚至使内部结构松散,导致全部破坏,即使采取措施,经过正常的养护,丧失的强度也无法恢复。在终凝后冻结,强度也会因孔隙率增大而要比正常情况下降低 20% 左右。只有在达到临界强度后,即使受冻也不致使强度受到大的影响。

关于临界强度,其含义为:水泥混凝土在水化到一定程度后,达到相应的强度,在此强度下的混凝土内部形成的结构已经能经受得住水由液相变成冰的体积膨胀所产生的压力,此时混凝土中的水大都已经水化而呈胶凝水状态,冰点也大为降低,这个强度界限称之为临界强度。在此情况下,受冻结后的混凝土恢复正温,按标准养护条件养护仍能达到应有强度的 95%。因此,规定混凝土低温施工应在正温下养护到临界强度后才允许遭冻结。临界强度不是定值,取决于含水量、环境温度、冻融次数、水泥品种和强度等。对于硅酸盐水泥,临界强度约为设计强度的 30%,对于矿渣水泥,约为设计强度的 40%。但临界强度均不应低于 5.0MPa (抗压强度)。

2. 材料要求及配合比设计

(1) 材料的选择

① 水泥

水泥品种很多,各具有其特性。水泥的早期强度,水化放出热量和低温性能等因素与低温施工效果有密切关系。因此在制订低温施工措施时,应该将施工工艺的选择与水泥品种及标号的选择结合起来。气温低时,混凝土强度增长慢,为了加速工程进度,节约养护费用,在一般情况下应尽量选用标号在 425 号以上的硅酸盐水泥或早强型普通硅酸盐水泥,有条件时可选用快硬水泥。

②集料

集料是混凝土的骨架,约占混凝土体积的70%~80%。在低温施工中对集料的基本要求如下:

- a. 混凝土遭冻害是由于拌和水结冰造成的。因此在选用骨料时,应尽量选用含水量较低的集料,如较大粒径的卵石粗集料及中砂、粗砂等细集料;
- b. 若集料中含有活性二氧化硅,则极易发生碱—集料反应,造成混凝土膨胀开裂。因此,应尽量避免选用蛋白石、玉髓、鳞石英、方石英、流纹岩、安山岩及凝灰岩等活性集料;
- c. 某些集料如石灰石、燧石和多孔集料,容易冻裂,使用时应注意。同时,在集料中不得混有冰雪和冰块。

③外加剂

外加剂是在混凝土拌制过程中掺入的,是可以改善混凝土性能的可溶性物质。在低温施工中,由于外加剂对养护效果影响甚大,因此选择养护工艺要与选择外加剂结合起来。外加剂的掺量往往很小,在施工时要严格掌握计量精度,过少不起作用,过多则造成质量事故。

- a. 减少剂。当混凝土拌和物中渗入减水剂后,在坍落度相同的条件下,可以减少拌和用水量,这对低温施工混凝土具有重要意义。减少剂按减水能力划分为普通型和高效型两种。高效型减水剂不仅对混凝土凝结时间无影响,而且属非引气型减水剂,不会因养护温度过高而使气泡体积增加而降低混凝土的密实度,低温施工效果良好。
- b. 早强剂。在混凝土拌和物中掺入适量的早强剂,可以提高早期强度而缩短养护时间,加快进度和节省能耗,具有明显的经济效益。在低温施工的混凝土中,不论采用何种养护工艺,均应掺入早强剂。

早强剂按化学成分分为无机早强剂和有机早强剂两种。用得最普遍的早强剂有硫酸钠、三乙醇胺和氯化钙等。实践证明:在混凝土路面低温施工中宜选用三乙醇胺为最佳。适量的三乙醇胺不会改变水泥的水化产物,与其它早强剂比较,掺量相对小,且无潜在危险性,故应提倡使用。

- c. 防冻剂。掺有防冻剂的混凝土,可以在负温下硬化而不需要保温或加热,最终能达到与常温养护的混凝土相同的质量水平。低温施工混凝土路面,当采用负温养护或综合养护工艺时,都要掺用防冻剂。防冻剂的应用可使养护工艺简化,节约能耗和费用。

(2)配合比设计

低温水泥混凝土路面配合比设计与路面的养护工艺有关。当采用正温养护工艺时,其配合比设计与正常气候条件下混凝土路面配合比设计相同;当采用负温养护或综合养

护工艺时,其配合比设计(包括防冻剂配方设计)必须通过严格的试验确定,绝不能简单地将现成的混凝土配合比与已知的防冻剂配方直接搭配使用。

低温混凝土路面配合比设计的步骤如下。

①收集资料

- a. 实际使用材料的品质;
- b. 混凝土从浇筑之日起若干天(当使用普通水泥时为 3d,当使用矿渣水泥时为 5d)内的日平均气温;
- c. 工程设计方面对混凝土质量的要求,如强度等级、抗渗或抗冻标号等;
- d. 工程施工方面对配合比的要求,如集料粒径、混凝土稠度以及反映施工单位质量管理水平的强度标准等。

②确定试配强度

当混凝土强度质量的保证率为 95% 时,混凝土配合比设计所要达到的抗弯拉强度即试配强度按下式计算:

$$f_c = f_{cm} + \lambda_s \quad (4-4-6)$$

式中 f_c ——试配强度,MPa;

f_{cm} ——混凝土设计抗弯拉强度,MPa;

λ ——保证率系数,保证率为 95% $\lambda = 1.645$;

s ——实际工程中统计得出的混凝土强度标准差,也可按经验取 $s = 0.4$ 。

③提出初步配合比

根据以往经验并通过计算提出初步配合比。当采用负温养护工艺时,防冻剂配方可参考表 4-4-23 选样,当采用综合养护工艺时,防冻剂配方可参考表 4-4-24 选样。当采用市场销售的商品防冻剂,可参考其说明书选用。

防冻剂中的减水组分,如果采用的是高效减水剂,则掺有该防冻剂的混凝土与相等坍落度的空白混凝土相比,经 20℃ 标准养护 28d 的强度大致相同。防冻剂中的减水组分如果采用的是木钙减水剂,则将使强度明显降低,在配合比设计时要注意到这一点。

在初步配合比中应含有混凝土各种组成材料(包括防冻剂)的比例,或在每立方米混凝土中的用量,并提出坍落度和表观密度的指标。

④常温试验的内容

- a. 按照初步配合比进行试拌,测定表观密度和坍落度,如与原定指标不符,应作适当调整后再行试拌,重新测定。
- b. 当坍落度、表观密度均符合原定要求以后,在保持用水量不变的前提下,将水灰比分别增加及减少 0.05,得出 3 个不同的配合比。

表 4-4-23 负温养护工艺防冻剂参考配方

| 水泥品种 | 规定温度(℃) | 防冻剂配方(%) | 备注 |
|------|---------|--|--|
| 普通水泥 | -10 | 亚硝酸钠(13.4)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 亚硝酸钠(6.1)+硝酸钠(9.7)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 尿素(4.5)+硫酸钠(5.7)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) | ①防冻剂中括号内为占用水量的百分比,其余为占水泥用量的百分比 ②食盐配方仅用于无筋混凝土,其余均可用于钢筋混凝土 ③木钙可用适量的其它减水剂取代 |
| | -5 | 亚硝酸钠(6.9)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 亚硝酸钠(3.4)+硝酸钠(5.7)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 尿素(4.5)+硝酸钠(5.7)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) | |
| | 0 | 亚硝酸钠(3.2)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 尿素(4.4)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 食盐(4.4)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) | |
| 矿渣水泥 | -5 | 亚硝酸钠(9.0)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 亚硝酸钠(4.4)+硝酸钠(6.6)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 尿素(6.6)+硝酸钠(6.6)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) | |
| | 0 | 亚硝酸钠(3.1)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 尿素(4.1)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 食盐(4.1)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) | |

表 4-4-24 综合养护工艺防冻剂参考配方

| 规定温度(℃) | 防冻剂配方(水泥质量%) | 备注 |
|---------|---|-----------------------------------|
| -5 | 亚硝酸钠(2)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 尿素(1)+硝酸钠(2)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) | ①带*的配方不适用于矿渣水泥 ②木钙可用适量的其它减水剂取代 |
| -10 | 亚硝酸钠(3.5)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 亚硝酸钠(2)+硝酸钠(2)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) 尿素(2)+硝酸钠(2)+硫酸钠(2)+木钙(0.25) | |

c. 将 3 个配合比各制作一组抗折强度试件,经 20℃ 标准养护 28d 后试压,将试压结果与试配强度相对照,选取符合试配强度的配合比作下一步试验。

d. 路面混凝土还有抗渗、抗冻等要求,应加作相应的试件,经 20℃ 标准养护 28d 后试验,若试验结果不能满足要求,应将配合比作适当的调整,再行试验,直到满足要求为止。此时的配合比如同时满足试配强度的要求,即可进行低温养护试验。

⑤ 低温养护试验

按照常温试验后选定的配合比拌制混凝土,在同一批中取同时成型的两组抗折强度试件,其中一组从成型起即置于 20℃ 标准条件下养护至 28d 时试压得强度 f_{28} ,另一组成型后先在 20℃ 室内静置若干小时(一般 2h),然后送入具有规定温度的低温室。规定温

度等于实际施工时混凝土硬化初期若干天内(通常 5d)的日平均温度。低温室内温度波动幅度应不高于士 2℃。试件在低温室内存放至 14d 时取出转入 20℃标准养护室,继续养护 21d,至总龄期为 35d 时取出试压,得强度 f_{14+21} 应满足下列要求:

$$f_{14+21} \geq f_{28} \quad (4-4-7)$$

$$f_{28} \geq f_c \quad (4-4-8)$$

式中 f_c ——试配强度,MPa。

如试压结果满足公式(4-4-7)的要求,说明防冻剂可以达到防冻目的,混凝土未遭冻害。相反时则需增加防冻组分的掺量或改用其它防冻剂。如试压结果满足公式(4-4-8)的要求,说明该配合比可以达到设计规定的强度等级,否则需减少水灰比或改用高标号水泥。

调整后的配合比须重作试验,直至完全满足上述要求为止。此时的配合比即可换算为施工配合比提供施工使用。应说明的是,混凝土路面,一般还有抗渗、抗冻等要求,因此应加作试件,并通过低温养护试验,所得结果必须满足设计要求,如不能满足要求,则必须调整配合比,重作试验,直至所有指标均满足要求为止。

3. 混合料的拌制与铺筑

(1) 材料加热与混合料拌制

混凝土路面在低温施工时,为了取得较好的养护效果,拌和物铺筑后的温度通常都应在 10℃以上,即使采用负温养护工艺,也应在 5℃以上。但为了不致因水泥的水化速率过高而降低混凝土的强度,拌和物出搅拌机时的温度也不应超过 30℃。当用快硬水泥拌制混凝土时,出料温度应控制在 20℃以下。

① 材料加热

材料加热主要包括水及集料的加热。当施工期间日平均气温达到 -5℃时,只加水即可满足施工要求,日平均气温低于 5℃时,可考虑再将细集料(砂)加热。细集料的加热温度一般不宜大于 40℃,而粗集料(石子)除非气温过低,尽可能不进行加热。石子加热的温度一般控制在 15℃左右即可。

水的加热温度不宜超过 80℃。水泥与 80℃以上热水接触会发生假凝或形成团块,所以,当水温大于 60℃时,就要调整投料顺序,使水先与集料预拌,然后投入水泥开始正式搅拌。

水泥应储存在暖棚内,使用时保持 5℃以上温度,不得加热。

图 4-4-24 所示是一种简易的水、集料加热装置,使用煤炭或木柴作燃料,一个工地至少设置 2 套装置,一套加热,一套供料,交替使用,可满足 1 台容量为 L400 的混凝土搅拌机使用。

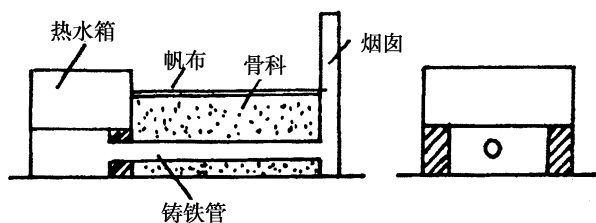


图 4-4-24 一种简易加热装置

②混凝土拌制

低温混凝土在拌制过程中要严格将水灰比控制在 0.45 以内。严格掌握水泥用量，不得小于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，拌和物的坍落度应尽量控制在 2cm 左右，要注意投料顺序，当集料温度在 0°C 以下时，为避免集料表面出现冰膜，应先使集料与热水预拌 1~2min，然后将其它材料投入搅拌。拌制时间应比常温时延长 50%，混凝土搅拌机应注意保暖，减少热量损失。混凝土出机温度应控制在 $10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 为宜。

(2)混凝土的运输与铺筑

①混凝土运输

混凝土在运输过程中要尽量减少热量损失，事先选择好运输路线，使距离较短和运输时间较少，采用封闭式料斗，容量不宜太小，并且要有保温构造，避免或尽量减少中间倒运，要使拌和物直达浇筑地点并一次卸入模板内。

②混凝土铺筑

低温混凝土路面的铺筑与常温条件下的施工作业有所区别，在铺筑时应注意以下几点：

a. 混凝土路面铺筑前，要将附着在模板及铺筑面上的冰雪污垢清扫干净（尽量不要用蒸汽、热水直接融化冰雪，因为融化的水会重新冻结）；

b. 混凝土铺筑时，不宜把工作面铺大、拉长，应集中力量全幅尽快推进，加速完成摊铺工艺。对于双层式混凝土路面，上下层应紧密衔接，下层已振捣完成的混凝土的温度，在覆盖上层时，不应低于计算所需要的温度，并不得小于 5°C ；

c. 混凝土在振捣密实、表面成活后，应立即用塑料薄膜覆盖，以防止混凝土脱水，避免保温材料吸水。保温材料要根据工艺设计的要求准备好，以便及时围护。

(3)拌和物的温度计算

混凝土路面低温施工时，对混凝土在拌和、运输、铺筑等各个环节的温度进行控制，是一项十分重要的工作。

①公式法

根据对原材料的加热程度，可以计算出水泥混凝土拌和物的温度，其公式如下：

$$T_h = \frac{0.2(T_A m_A + T_C m_C) + T_F m_F + T_m m_m}{0.2(m_A + m_C) + m_F + m_m} \quad (4-4-9)$$

式中 m_A 、 T_A ——表面干燥饱水态的集料质量及温度 kg, °C；

m_C 、 T_C ——水泥的质量及温度 kg, °C；

m_F 、 T_F ——集料所含水的质量及温度 kg, °C；

m_W 、 T_W ——搅拌用水的质量及温度 kg, °C；

②查表法

用公式计算比较繁琐,也可以通过查表方法大致得到混凝土拌和物的温度。由表 4-4-25,以水加热后的温度查出混凝土混合料所增加的温度,从表 4-4-26 右侧以砂加热后温度查得拌和物增加温度,从表 4-4-26 左侧石料加热后的温度查得拌和物增加温度,相加即是混凝土拌和物的温度。

表 4-4-25 混凝土拌和物温度估算(一)

| 水的加热温度 (°C) | 水泥温度 (°C) | 混凝土拌和物的增加温度(°C) | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 砂的含水量(%) | | | | | | | | | | |
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 5 | 0.5 | 1.45 | 1.40 | 1.35 | 1.30 | 1.25 | 1.20 | 1.15 | 1.10 | 1.05 | 1.00 | 0.95 |
| 10 | 1.0 | 2.90 | 2.80 | 2.70 | 2.60 | 2.50 | 2.40 | 2.30 | 2.20 | 2.10 | 2.00 | 1.90 |
| 15 | 1.5 | 4.35 | 4.20 | 4.05 | 3.90 | 3.75 | 3.60 | 3.45 | 3.30 | 3.15 | 3.00 | 2.85 |
| 20 | 2.0 | 5.80 | 5.60 | 5.40 | 5.20 | 5.00 | 4.80 | 4.60 | 4.40 | 4.20 | 4.00 | 3.80 |
| 25 | - | 7.25 | 7.00 | 6.75 | 6.50 | 6.25 | 6.00 | 5.75 | 5.50 | 5.25 | 5.00 | 4.75 |
| 30 | - | 8.70 | 8.40 | 8.10 | 7.80 | 7.50 | 7.20 | 6.90 | 6.60 | 6.30 | 6.00 | 5.70 |
| 35 | - | 10.10 | 9.80 | 9.45 | 9.10 | 8.75 | 8.40 | 8.05 | 7.70 | 7.35 | 7.00 | 6.65 |
| 40 | - | 11.60 | 11.20 | 10.80 | 10.40 | 10.00 | 9.60 | 9.20 | 8.80 | 8.40 | 8.00 | 7.60 |
| 45 | - | 13.05 | 12.60 | 12.15 | 11.70 | 11.25 | 10.80 | 10.35 | 9.90 | 9.45 | 9.00 | 8.55 |
| 50 | - | 14.50 | 14.00 | 13.50 | 13.00 | 12.50 | 12.00 | 11.50 | 11.00 | 10.50 | 10.00 | 9.50 |
| 55 | - | 15.95 | 15.40 | 14.85 | 14.30 | 13.75 | 13.20 | 12.65 | 12.10 | 11.55 | 11.00 | 10.45 |
| 60 | - | 17.40 | 16.80 | 16.20 | 15.60 | 15.0 | 14.4 | 13.80 | 13.20 | 12.60 | 12.0 | 11.40 |

表 4-4-26 混凝土拌和物温度估算(二)

| 混凝土拌和物 增加温度(°C) | 碎石 原材料加热温度(°C) | 混凝土拌和物所增加的温度(°C) | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 砂 (含水量%) | | | | | | | | | | |
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 2.10 | 5 | 0.95 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.15 | 1.20 | 1.25 | 1.30 | 1.35 | 1.40 | 1.45 |
| 4.20 | 10 | 1.90 | 2.00 | 2.10 | 2.20 | 2.30 | 2.40 | 2.50 | 2.60 | 2.70 | 2.80 | 2.90 |
| 6.30 | 15 | 2.85 | 3.00 | 3.15 | 3.30 | 3.45 | 3.60 | 3.75 | 3.90 | 4.05 | 4.20 | 4.35 |

第四章 水泥混凝土路面施工质量控制与管理

| 混凝土拌和物增加温度(℃) | 碎石 砂 | 混凝土拌和物所增加的温度(℃) | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--|
| | | 砂 (含水量%) | | | | | | | | | | | |
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | 原材料加热温度(℃) | | | | | | | | | | | | |
| 8.40 | 20 | 3.80 | 4.00 | 4.20 | 4.40 | 4.60 | 4.80 | 5.00 | 5.20 | 5.40 | 5.60 | 5.80 | |
| 10.50 | 25 | 4.75 | 5.00 | 5.25 | 5.50 | 5.75 | 6.00 | 6.25 | 6.50 | 6.75 | 7.00 | 7.25 | |
| 12.60 | 30 | 5.70 | 6.00 | 6.30 | 6.60 | 6.90 | 7.20 | 7.50 | 7.80 | 8.10 | 8.40 | 8.70 | |
| 14.70 | 35 | 6.65 | 7.00 | 7.35 | 7.70 | 8.05 | 8.40 | 8.75 | 9.10 | 9.45 | 9.80 | 10.15 | |
| 16.80 | 40 | 7.60 | 8.00 | 8.40 | 8.80 | 9.20 | 9.60 | 10.0 | 10.4 | 10.8 | 11.2 | 11.60 | |

在拌和混凝土时,由于拌和机的温度高于自然气温,拌和期间热量要损失。其损失量同拌和物温度与气温相对温差有关,见表 4-4-27。

表 4-4-27 拌和混凝土时的热量损失

| 拌和物温度与环境的温度差(℃) | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 拌和时热量损失(℃) | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.5 |

此外,还有运输时的温度损失,分两部分,即运输工具在运输中的热量失散和混凝土装卸时的热量损失。可分别按表 4-4-28 和表 4-4-29 查算。

表 4-4-28 混凝土运输时温度与环境每差 1℃时热量损失

| 运输工具种类 | 保暖措施 | 每分钟热量损失(℃) | |
|---------------|---------|---------------|-------|
| 混凝土搅拌机 | 无 | 0.035 | |
| 3.5t 自卸汽车 | 有盖,无保护层 | 0.038 | |
| | 有盖,有保护层 | 0.009 | |
| 木斗双轮车 | 有盖 | 0.010 | |
| | 无盖 | 0.012 | |
| 独轮车 | 木斗 | 无盖 | 0.015 |
| | | 有盖 | 0.013 |
| | 铁斗 | 有盖,无保护层 | 0.038 |
| | | 有盖,斗外有毛毡、麻袋包钉 | 0.009 |
| 无盖,斗外有毛毡、麻袋包钉 | 0.011 | | |

表 4-4-29 混凝土装卸一次热量损失

| 拌和物温度与环境温度差(℃) | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 |
|----------------|----|----|------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 一次装卸的热量损失(℃) | - | - | 0.75 | 0.9 | 1.0 | 1.25 | 1.5 | 1.75 | 2.0 | 2.25 | 2.5 | 2.75 | 3.0 |

拌和物运到工地后,摊铺时的热量损失可查表 4-4-30。

表 4-4-30 混凝土摊铺时的热量损失

| 拌和物温度与环境温度差(℃) | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 摊铺时的热量损失(℃) | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 |

综合上述各施工环节的热量损失,可以了解在特定气温条件下为达到混凝土铺筑完成后预定的温度而必须对材料加热的程度。利用此总散热量,可以估计所采取的加热措施能否满足要求。

③示例

施工时气温为 1℃,运输工具为 3.5t 自卸加盖有保护层的汽车,运输时间为 50min。设材料加热措施为:水加热到 60℃,砂和碎石加热到 40℃。砂含水量为 4%,水泥温度为 0℃,确定各环节的热量损失和铺筑完成后的混凝土温度。

a. 混凝土拌和时的温度。查表 4-4-25,砂含水量为 4%和水温为 60℃时,混合料增温 15℃。查表 4-4-26,砂含水量为 4%和集料加热温度为 40℃时,砂增温 9.2℃,碎石增温 16.8℃。因而,混凝土拌和物的温度为: $15 + 9.2 + 16.8 = 41(℃)$

b. 混凝土出料时的温度。混合料同时气温的温差为 $41 - 1 = 40(℃)$,由表 4-4-27 可得拌和时的热量损失为 6℃,因此,拌和物出料时的温度为: $41 - 6 = 35(℃)$ 。

c. 运到工地时的混凝土的温度。出料时的混合料同环境的温度差为 $35 - 1 = 34(℃)$,由表 4-2-29,混合料卸入汽车的热量损失为 0.98℃,而由表 4-2-28 知,当温度差为 1℃时每分钟的热量损失为 0.009℃,因此,运输的总热量损失为 $(35 - 0.98 - 1) \times 50 \times 0.009 = 14.9(℃)$,运到工地时混合料的温度为 $35 - 0.98 - 14.9 = 19.1(℃)$ 。

d. 摊铺完成后混凝土的温度。摊铺过程中的热量损失可由表 4-4-30 查得,相应于温度差为 $19.1 - 1 = 18.1℃$ 时的热量损失为 2.3℃。由此,摊铺完成后混凝土的温度为 $19.1 - 2.3 = 16.8℃$ 。此温度符合低温季节施工要求,说明工程中所采用的材料加热措施是恰当的。

4. 低温施工混凝土路面养生工艺

低温施工混凝土路面,主要采用正温养护、负温养护和综合养护等三种养生工艺。

(1) 负温养生工艺

混凝土负温养护工艺的基本作法是:原材料预先适当加热,使混凝土在浇筑完成时的温度在 5°C 以上,拌和物中掺入防冻剂,在一般情况下,浇筑后混凝土的表面仅有塑料薄膜作保护性覆盖,目的在于避免脱水和防止霜雪侵袭。负温养护的混凝土,在终凝前,其本身强度即降至 0°C 以下,混凝土在负温中硬化。它的优点是工艺简单,节约能源,缺点是强度增长较慢。

采用负温养护工艺时应注意的是:要掺入适量的防冻剂。只有当混凝土达到抗冻临界强度(混凝土中掺防冻剂适用的规定温度为 -5°C 或更低时,混凝土的抗冻临界温度为 7.0MPa)后,如受更低气温的袭击,才不至于造成冻害。

(2) 正温养生工艺

低温气候虽然处于 0°C 以下,但可以通过原材料加热、运输工具保温、覆盖保温材料等技术手段,使混凝土于浇筑之后先保持一段时间的正温,待逐渐硬化直至达到临界强度以后,才冷却至 0°C 以下,这种工艺称为正温养护工艺。混凝土路面正温养护工艺主要采用蓄热法。其工艺特点是:对拌和水和集料适当加热,用热的拌和物铺筑,铺筑完成的路面用保温材料覆盖养护。利用在原材料中预加的热量和水泥放出的水化热,使混凝土缓慢冷却,于温度降至 0°C 前获得临界强度或达到预定的目标。这种方法施工简便,易于控制,附加费用低,是最简单、最经济的施工养护手段。缺点是当日平均气温低于 -10°C ,而又未掺加减水剂和早强剂时,蓄热法不易奏效。

延长混凝土的冷却时间是蓄热工艺的关键。提高混凝土入模温度是延长冷却时间的手段之一,因此,混凝土在铺筑完成后的温度应控制在 $15^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 为宜。延长冷却时间的另一有效手段是加盖保温材料,即保温层。保温层应就地取材,在能满足保温要求的同时要注意经济性。常用麦秸、谷草、稻草、油毡纸、锯末等,保温层至少要有 10cm 厚,视气温而测试确定。

①稻草保温层。稻草编成草帘和草袋使用。以帘袋加盖,相互要求搭接至少 5cm ,多层叠用时,邻层要纵横交替叠盖,以增加保温效果。材料要求干燥并不能夹有冰雪。

②麦秸保温层。用麦秸、谷草(即玉米秸)、高粱秸或芦苇等当地农作物材料均匀撒铺在路面板上。高粱秸和芦苇也可以编成席片,有条件时可以压成多孔板材使用,这种材料导热差但容易透风,应保持干燥以保证其隔热性,如果在覆盖物上加铺一层毡布或厚塑料布可以防风,效果更好。

③土(锯末)保温层。贴近混凝土面层铺细锯末 $2 \sim 3\text{cm}$,上面再铺粗锯末或细土 5cm ,上面再盖草帘。4d后撤去草帘,改盖 20cm 厚的松干土,土的覆盖厚度应根据测温记录酌情增减。

④油毡纸保温层。油毡纸和水泥袋整体性好,不易透风,但导热系数大,成本较高,适宜与麦秸、稻草和锯末等松料合用。

(3)综合养护工艺

在路面混凝土达到临界强度之前,若积蓄热量不足以维持混凝土硬化所需要的正常环境温度时,须考虑将蓄热法同其它方法结合使用,称之为综合养护工艺。

综合养护工艺的基本做法是:在拌和物中掺少量防冻剂,原材料预先加热,搅拌站和运输工具适当保温,混凝土浇筑后的温度一般达到 10°C 以上,通过蓄热保温或人工加热,使混凝土在浇筑后有一个短暂的约 $1\sim 1.5\text{d}$ 的正温养护阶段,直至达到临界强度后温度才降至 0°C 以下,然后逐渐与环境气温相平衡。此时混凝土的强度虽然较低,但依靠防冻剂的作用,混凝土在负温中继续硬化。该工艺与负温养护工艺相比,防冻剂掺量可以减少,混凝土强度增长也较快。与正温养护工艺相比,可以减少能源,具有较好的技术经济效果。该工艺一般适用于混凝土自浇筑起 6d 内日平均气温不低于 -10°C 或极端最低气温不低于 -16°C 的施工条件。

综合养护开始时的正温养护过程称为预养。预养程度和防冻剂掺量是综合养护工艺的两个关键问题。试验表明,防冻剂掺量较高时,混凝土抵抗冻害能力强,但最终强度损失较大,预养程度较高时,混凝土的强度增大较快,防冻剂的掺量也可相应减少,但对掺有一定数量防冻剂的混凝土而言,如预养程度过高,则最终强度将受到削弱。因此,在工程实践中,必须对预养程度和防冻剂掺量两个进行试验优化,才能取得较好的技术经济效果。

在严寒地区,预养期内往往还需辅以人工加热,才能达到混凝土要求的养护温度。其加热方法主要有以下几种。

①覆盖发热保温层。石灰锯末是一种本身就能发热的保温材料,发热温度最高可达 90°C ,保温作用强,但成本较高。一般采用的配比(按质量计)为:水:锯末:生石灰:1:2:0.7。操作时,以定量的水与锯末拌匀(要扣除锯末的含水量),再加入生石灰拌匀。生石灰应先碾碎,使其粒径在 $2\sim 3\text{cm}$ 以内,其颗粒含量不少于70%,筛去过多的灰粉。生石灰与锯末必须拌匀,以免石灰集中,使局部温度过高而引起火灾。当气温过低或时间较久,石灰锯末的温度已降至 0°C 而混凝土板体尚未达到要求强度时,应更新石灰锯末。保温过程中应加强测量工作,如发现温度高于 90°C 时,可洒水降温。从事此项工作的人员应有防护用品,避免烧灼受伤。

②热空气加热。其基本做法是:在路面上面搭设大棚,通过人工加热使棚内空气保持正温。混凝土的浇筑与养护均在棚内进行。搭设大棚费用较昂贵,能耗也较大,在道路施工中很少采用。

③电加热法 :以电为能源 ,利用电的热效应对混凝土进行加热养护的方法称电加热法。电加热法按发热元件的不同又分为电极法、电热毯法、工频感应模板法、线圈感应法和红外线法等 ,可根据工程具体条件选用。

电热法与其它人工加热方法相比 ,施工现场较为干净整洁 ,混凝土温度易于控制 ,强度增长较快。但电能耗用较大 ,造价较高 ,同时 ,路面施工系长距离的带状作业 ,沿途电源条件很难具备 ,因此 ,在路面养护上难以推广应用。

④蒸汽加热法。是以蒸汽为热源对混凝土进行加热养护。它可分为直接加热和间接加热两种。蒸汽加热法的优点是能耗成本较低 ,用蒸汽直接加热混凝土时 ,不仅可以提供热量 ,还可提供湿度 ,混凝土不致因高温养护而脱水。缺点是工地内需设置锅炉 ,铺设管道 ,在管道外还要保温 ,辅助工作量较大 ,加热温度不易控制 ,如发生漏汽、冻结等情况 ,将使热量受到损失并给施工带来麻烦 ,在路面施工中应用有一定难度。

5. 低温混凝土路面施工温度测量与强度评定

(1) 温度测量与控制

混凝土路面低温季节施工 ,对质量的最大威胁是冰害。为避免其发生冻害 ,在混凝土的搅拌、成型及养护过程中 ,必须经常进行温度测量。

①大气温度。测量大气温度所用仪器主要是温度自动记录仪和温度计。仪器置于 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 400\text{mm}$ 的白色百叶箱中 ,设于工地附近 ,箱底离地面 1.5m ,箱距热源或建筑物 10m 以上。

②暖棚内及搅拌站温度。可用温度自动记录仪 ,也可用悬挂在室内的玻璃棒温度计测量 ,每 4h 测读并记录一次。

③原材料温度测量。测量集料、水和水泥的温度 ,可用电子测量仪或玻璃棒温度计进行 ,每 2h 测读并记录一次。

④拌和物温度测量。混凝土拌和物从搅拌机中倾出时的温度及拌和物入模并经振捣后的温度 ,每 2h 测读并记录一次。

⑤浇筑后混凝土的温度测量。当采用正温养护时 ,从浇筑完毕时起至降为 0°C 时止的整个养护过程都要进行温度观测。当采用综合养护或负温养护时 ,从浇筑完毕时起到混凝土强度达到抗冻临界强度为止的整个过程 ,都要进行温度观测。混凝土测温时间间隔一般为 :当采用人工加热时 ,在升温阶段每 1h 测一次 ;在恒温阶段和降温阶段每 2h 测一次 ;在其它情况下 ,每 4h 测一次。

测温方法有后置式和预埋式两种。后置式就是在混凝土路面的适当部位预留孔洞 ,直径为 $10 \sim 12\text{mm}$,孔内放置玻璃棒温度计并用棉花塞实 ,随时可读。预埋式就是先选定测量部位 ,将热电偶的接点浇筑于混凝土中 ,用电位差计测读各接点的温度。

(2) 强度检查与评定

低温季节施工混凝土路面强度检查原则是:低温施工工程与常温施工工程相比,路面强度不应降低,其具体检查与评定方法如下:

①在浇筑地点随机抽取混凝土试样,每工作班或每 200m^3 混凝土取试样制作抗折强度试件两组;

②取其中的一组试件,置于 20°C 标准条件下养护,至 28d 时试压,得强度值 f_{28} 。取其中另一组试件,与路面在相同条件下养护,至 14d 时转入 20°C 标准养护室,继续养护 21d,至总龄期为 35d 时取出试压,得强度 f_{14+21} ;

③若 $f_{14+21} \geq f_{28}$,则可判定混凝土未遭冻害。然后将 f_{28} 作为混凝土强度代表值,根据设计路面提出的强度等级要求进行评定,若 $f_{14+21} < f_{28}$,则可判定混凝土曾遭冻害,此时不论 f_{28} 是否达到设计要求,均应视为不合格;

④与路面同条件养护的试件,成型后的表面应用塑料薄膜覆盖。在露天置放的试件,应避免阳光直射。以负温养护工艺施工的混凝土路面,不论路面是否用保温材料覆盖,其同条件养护的试件,必须用保温材料覆盖。

五、其它混凝土路面施工

(一) 钢筋混凝土路面

钢筋混凝土路面是指板内配置有纵横向钢筋(或钢丝)网的混凝土路面。当混凝土板的平面尺寸较大(如板长为 $10 \sim 20\text{m}$)、或者板下埋设地下设施或基层可能产生不均匀沉陷,或者板的平面形状不规则(如检查井等处的板)时,宜采用钢筋混凝土路面。

钢筋混凝土路面可采用滑模式摊铺机或小型机具进行施工作业。用滑模式摊铺机摊铺钢筋混凝土路面前面已有介绍,不再赘述。用小型机具施工时,必须把握好钢筋网安装和混凝土的振捣这两个重要环节。钢筋的安装和混凝土铺筑可采用如下两种方法:一是用钢筋架固定钢筋网位置,混凝土混合料卸入模板内一次完成铺筑、振捣、做面作业。此方法的缺点是混合料的卸入、摊铺和振捣使钢筋架及钢筋网容易变形,钢筋网下层的混凝土只能用振捣棒振捣,且不易振实。另一种是采用两次铺筑即以钢筋网位置为分界线,下层混凝土浇筑振捣密实后,安装钢筋网,然后再浇筑上层混凝土。这种方法钢筋网不易变形,钢筋网的位置较为准确,混凝土的振捣操作简便可靠,因此,在施工中被广泛采用。

(二) 钢纤维混凝土路面

钢纤维混凝土是一种性能优良的新型路用材料。它能显著地提高混凝土的抗拉强度、抗弯拉强度、抗冻性、抗冲性、抗磨性、抗疲劳性。在路面工程中应用可以明显减薄厚

度,改善路用性能。国外主要用于公共汽车站、收费站和行驶重型汽车的路面以及旧路面的加铺层。近年来,我国有关单位及地区开始研究并试用于路面工程。由于其造价较普通混凝土路面高,一般仅用于地面标高受限制地段的路面、桥面铺装、停车场和旧混凝土路面的加铺层。在砂石材料运距远的路段,经分析比较后,也可选用此种路面。

1. 材料要求及配合比设计

(1) 材料的基本要求

钢纤维混凝土的特性除了与基本混凝土有关外,还受钢纤维品种、方向性、长径比及掺率的影响。钢纤维掺率通常用体积率表示,即 1m^3 钢纤维混凝土所含钢纤维的体积百分率。

钢纤维材料由于原材料及加工工艺不同,品种很多。路面用钢纤维宜用剪切型纤维或熔抽型钢纤维。其抗拉强度不应低于 550MPa 。纤维直径一般为 $0.4\sim 0.7\text{mm}$,长度一般为直径的 $50\sim 70$ 倍。

粗集料最大粒径对钢纤维混凝土中纤维的握裹力有较大影响,粒径过大对抗弯拉强度有明显影响,要求最大粒径不超过纤维长度 $1/2$ 为宜,但不得大于 20mm 。对钢纤维混凝土混合料中其它材料的要求,与普通混凝土路面相同。

(2) 配合比设计

钢纤维混凝土配合比设计应满足抗弯拉强度和抗压强度的要求及施工的工作度。应采用以抗弯拉强度为指标的计算方法,按下式进行计算:

$$f_t = R_c \left(0.0802 \frac{c}{w} + 0.008 V_f \frac{L_f}{d_f} - 0.001 \right) \quad (4-4-10)$$

式中 f_t ——钢纤维混凝土的抗弯拉强度, MPa ;

R_c ——水泥标号, MPa ;

c/w ——灰水比;

V_f ——钢纤维的体积含率, %;

L_f 、 d_f ——钢纤维的长度和当量直径, mm , mm 。

钢纤维混凝土的工作度,宜采用维勃稠度值表征。它同单位加水量 w 和钢纤维体积含率 V_f 之间存在下述试验关系式:

$$V_B = 0.191 e^{(44.36 V_f + 722.38/w)} \quad (4-4-11)$$

式中 V_B ——钢纤维混凝土混合料的流动性指标, s 。

钢纤维混凝土配合比设计步骤如下。

① 确定钢纤维混凝土的配制强度 f_t :

$$f_t = k_t f_{tm} \quad (4-4-12)$$

式中 k_i ——提高系数,其值为 1.15 ~ 1.25,可根据施工技术水平及工程的重要程度确定;

f_{lm} ——钢纤维混凝土设计抗弯拉强度,MPa。

②确定钢纤维用量 V_q 和水灰比 w/c ,根据工程经验, V_q 一般为 1.0 ~ 1.2%(交通繁重的道路取高限); w/c 一般为 0.45 左右,不应大于 0.50。

③确定单位用水量 w 。根据所需的工作度(V_B),利用式 4-4-11 确定 w 。

④确定单位水泥用量。

⑤确定含砂率。取值较普通混凝土略有增大,增大范围与钢纤维用量有关,一般采用 45% ~ 55%,或按下式估算:

$$s_{tr} = s_{cr} + 10 V_t \quad (4-4-13)$$

式中 s_{tr} ——钢纤维混凝土的砂率,%;

s_{cr} ——普通混凝土的砂率,%;

V_t ——钢纤维体积含率,%。

⑥按绝对体积或假定容量法计算粗、细集料用量并确定试用配合比,为保证施工时混合料质地均匀、不离析、集料宜采用连续级配。

⑦钢纤维混凝土强度检查应以抗弯拉强度为主,同时校核抗压强度,试件至少三个,其中一个为基准配合比,另外两个配合比的水灰比应较基准配合比各增减 0.05,钢纤维体积含率较其准配合比增减 0.2%。

2. 厚度确定与接缝设置

(1) 厚度确定

钢纤维混凝土的弯拉强度约为普通混凝土的 1.5 ~ 2 倍,且影响因素甚多,弯拉弹性模量仅提高 5%。钢纤维混凝土路面的厚度,可先按普通混凝土路面厚度设计的各项设计参数及规定计算普通混凝土路面基(垫)层和面板的厚度,然后其基(垫)层厚度取普通混凝土路面的基(垫)层厚度,其面板厚度则根据钢纤维用量取普通混凝土路面面板厚度的 0.55 ~ 0.65 倍(钢纤维体积率高的取低限,体积率低的取高限)。为保证施工质量和满足路面的使用功能要求,面板的最小厚度为 10cm。

由于钢纤维混凝土路面厚度一般比普通混凝土路面薄,因此,要求基层结构具有足够的稳定性,以防止唧泥或细料流失等现象发生,通常采用水泥稳定或二灰稳定粒料基层。

(2) 接缝设置

国外对钢纤维混凝土路面接缝间距的采用不一,意大利为 15 ~ 20m,挪威、比利时等国为 10 ~ 15m。我国混凝土路面设计规范规定横向缩缝间距采用 15 ~ 20m,纵向缩缝可

根据施工条件及实际需要确定,全幅摊铺的路面可不设。

胀缝和施工缝的设计原则与普通混凝土相同,但其构造目前尚无成熟的经验。我国有的在接缝处设缝枕、不设传力杆,有的在接缝处的两侧做成厚端式,并加设传力杆。其效果尚有待时间的考验。

3. 施工

钢纤维混凝土路面施工过程中应注意使钢纤维混凝土均匀分散于混凝土中,严禁结团现象的产生,钢纤维混凝土表面避免有纤维露出或直立,要严格控制路面厚度,为此,在施工过程中应切实掌握以下要点。

(1)基(垫)层顶面平整度

钢纤维混凝土路面厚度较薄,要求在平整的面层上铺筑,以避免板厚不匀而影响强度,缩短使用寿命。

(2)搅拌

不论采用强制式搅拌机或自由落体式搅拌机,应采用先干后湿的拌和工艺。投料顺序为水泥、粗集料、细集料、钢纤维,其中纤维拌和时分三次加入拌和机中。全部料投入后,干拌均匀,再加足水湿拌,整个拌和时间一般为2~3min。

(3)摊铺和振捣

从车上卸下后,用铁锹或二齿钩将混合料大致摊平。摊铺一段后就应及时用平板振动器振捣密实,平整表面,并有一薄层砂浆提取到表面,不使纤维外露。切忌使用插入式振捣器。其它与普通混凝土相同,可参考有关章节,不再赘述。

(三)连续配筋混凝土路面

不配筋的素混凝土路面在温度、湿度发生变化时,体积将发生膨胀或收缩,产生变形。若混凝土路面受某种约束而不能自由变形,必将产生断裂或其它破坏。预留胀缝、缩缝便是为了避免产生不规则裂缝,在施工时专门设置的。从外观方面看,设置胀缝、缩缝后,路面分块虽然比较整齐,但是各种接缝却成了路面的薄弱位置,车轮跳动,雨水渗入,天长日久容易发生沉降或断裂,影响路面使用品质。设置温度钢筋,可以将混凝土收缩应力传给钢筋,使混凝土保持紧密接触,以此可以适当延长缩缝的间隔距离,但是还要根据钢筋的受力状态,在适当位置设置缩缝。

连续配筋混凝土路面在路面纵方向配有足够数量的钢筋,以防混凝土路面板纵向收缩产生断裂,因此连续配筋混凝土路面完全不设胀缝及缩缝(施工缝及构造需要的胀缝除外),形成一完整而平坦的行车表面,改善了汽车行车的平稳性,同时也增加了路面板的整体强度。

事实上,连续配筋混凝土路面并非真正设有裂缝,只是由于混凝土的收缩变形为钢

筋所约束。收缩应力为钢筋所承担,因此裂缝分散在更多的部位,通常 1.5~4.0m 即有一微小裂缝,但是由于钢筋的作用,使之仍然保持紧密接触,裂缝宽度极微小,通常用肉眼无法看清,只是在雨后开始干燥的时候,才能勉强地看出来。这种微小的裂缝不致破坏路面的整体连续性、行车的平稳性,如同无缝的路面一样,路面表面雨水也不易渗入,因此使用效果比较理想。

美国最先使用连续配筋混凝土路面,早在 1971 年,在华盛顿特区修建了第一条连续配筋混凝土路面,以探索这种路面的工作原理与使用效果,之后得克萨斯州、弗吉尼亚州、宾夕法尼亚州、马里州等地开展了大规模的工程实验,得到了比较满意的结果。并在修建高速公路时大量采用了连续配筋混凝土路面,据统计,这种路面的总里程已达 30000km。经过二十多年的使用实践,绝大部分路面完好无损。除美国之外,也有许多国家在研究及试用连续配筋混凝土路面,如比利时大约已铺筑 600km。日本、西班牙等国也已铺筑了少量的连续配筋混凝土路面。连续配筋混凝土路面的主要缺点是用钢筋的数量较多,对施工工序有比较严格的要求,此外,对于连续配筋混凝土路面的端部,与桥梁及其它结构物连接的部位,需进行特殊处理。

连续配筋混凝土路面在我国除少量试验工程外,尚未在实践中使用。考虑到发达国家的经验及近年来连续配筋混凝土路面对改善混凝土路面使用品质,改造旧水泥混凝土路面有明显成效,因此,为适应我国高等级公路发展的需要,预计在今后一定时期内,连续配筋混凝土路面将在高速公路、一级公路及旧混凝土路面的改造中使用。

连续配筋混凝土路面的施工与钢筋混凝土路面的施工相似,可参考有关章节。

(四) 预应力混凝土路面

预应力混凝土路面是在 40 年代后期发展起来的一种特殊的水泥混凝土路面。从 1946 年开始,最早在法国使用,后来在英国和其它欧洲国家先后使用于道路路面或机场道面。美国、日本和俄罗斯等国家也都修建了一定数量的预应力混凝土路面和机场道面。

普通的无筋素混凝土路面依靠路面板抗弯拉强度来承担车轮荷载,由于混凝土抗拉强度很低,因此,一般都采用相当厚度的路面板才能满足强度要求。而混凝土的抗压强度却远大于抗拉强度,因此,在受弯截面上,虽然抗拉强度接近极限,但是抗压强度却没有充分发挥其潜力。预应力混凝土路面则事先在工作截面上施加压应力,待荷载作用于路面时,混凝土截面产生的拉应力较普通混凝土路面低,从而提高了它的抗弯拉强度。

1. 预应力混凝土路面的铺筑方式

预应力混凝土路面的铺筑方式有以下几种。

(1) 无筋预应力混凝土路面

这种路面不配钢筋,在面板两端设置墩座埋入地基内,面板中央设加力缝。混凝土浇筑 1~2d 后往加力缝内塞入千斤顶,对混凝土施加应力。开始时为 1.5MPa,以后逐渐增大,到第 7d 约为 5MPa。待混凝土凝结后,即在加力缝内填塞混凝土预制块,并取出千斤顶,用混凝土填塞缝隙。两端墩座与板之间尚需设弹力缝,放进钢质弹簧,以储存部分预应力。

(2) 有筋预应力混凝土路面

在路面板的拉压区分别配制一定数量的预应力钢筋。这种路面按照施加预应力的先后次序又可分为先张法、后张法两种。先张法是在混凝土浇筑之前,将钢筋加力至规定程度,然后浇筑混凝土,待混凝土硬化,并达到规定强度时,将钢筋切断。先张法在生产实际中应用较少,多采用后张法。后张法是指在浇筑混凝土板时,留下若干条孔道,待混凝土凝结后,将钢丝束或钢筋穿进孔道,再张拉并将两端锚固,最后在孔道内灌注水泥浆,使钢丝束或钢筋与混凝土粘牢(也可采用无粘结预应力混凝土)。宽小于 7m 的板仅在纵向加力,但是必须配置横向构造钢筋;宽度在 7m 以上的板需在纵横两向加力,其钢丝束或钢筋可沿纵横两向安设或沿与路中线成小于 45°角的方向安设。后者在优点是可以连续浇筑很长的路面板,需预加应力可以在板的两侧进行。钢丝束或钢筋一般设在板厚的中央,有时亦可在板的上下部对称地设置。所加的预应力,在纵向要达到 2~4MPa,在横向有 0.4~1.4MPa 即可。钢筋的极限抗拉强度应达 1000MPa。钢丝束则达 1700MPa。

(3) 自应力混凝土路面

自应力混凝土路面不用千斤顶加压,而是选用膨胀水泥,混凝土硬化膨胀时体积增大。如果配筋可通过面板的膨胀产生预应力,如不配筋,需在板的两板设置墩座以产生预应力。一般地,配筋的自应力混凝土路面裂缝较少,效果较好。

2. 预应力混凝土路面的构造及特点

配筋预应力混凝土路面经过几十年的研究和工程实践,设计方法及施工程序已比较成熟,因此,大部分采用这种形式。下面介绍配筋预应力混凝土的特点。

由图 4-4-25 可以了解预应力混凝土路面构造的一般情况。每一个预应力混凝土路面路段长 100~200m。路段长度可根据地基摩擦系数、温度梯度等因素确定。若路段太短,施工中工艺过于复杂,路段太长,则消耗在克服地基摩阻力的预加应力过大,不经济。在预应力路面段之内,无需设置接缝。在各路段连接处,以及在桥涵结构物附近,为防止路面发生过量位移,设置锚固板。锚固板的构造形式与连续配筋混凝土路面中使用的端部锚固装置相似,如图 4-4-26 所示。

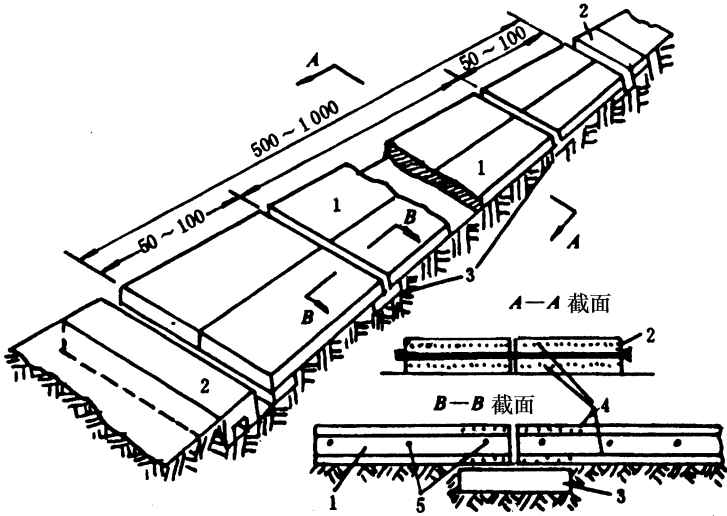
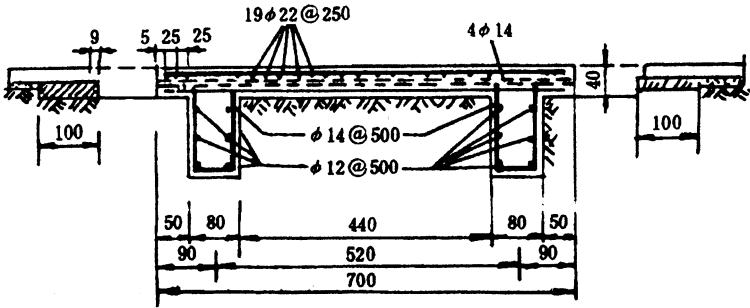


图 4-4-25 预应力混凝土路面简图(单位:cm)

- 1—混凝土路面板; 2—端部锚固装置;
3—枕垫板; 4—纵向预应力筋; 5—横向构造筋



(单位:cm)

图 4-4-26 预应力混凝土路面端部锚固板

预应力混凝土路面的地基强度要求与普通混凝土路面相同,要求稳定、坚实、且具有足够的承载能力。此外,要求地基顶面与路面板的接缝面尽量光滑(可铺薄层砂、沥青砂或塑料薄膜等),摩擦系数不能太大,否则由摩擦引起的预应力损失将超过限度。在两个路段相连接处多做成胀缩缝,以保证路面伸长时有变形的余地,但是接缝底部的基层材料,容易遭受雨水浸蚀,也可能形成荷载应力集中。因此,可以在缝下设置枕垫板,对基层顶面进行加固。

由于预应力混凝土路面提高了截面实际抗弯强度,因而,在相同的荷载作用之下,路面板的厚度比普通混凝土路面薄,一般为 15cm 左右。路面板过薄会增大路面挠度,这无论对于行车的平稳和基础的稳定都不利,应该避免。路面板的厚度与板的长度和地基摩

擦系数等有直接关系,有时为了控制路面厚度,可以通过调节板的长度,使之符合理想的要求。

铺筑预应力混凝土路面,宜用抗压强度至少为 35 ~ 45MPa 的混凝土。

从上述论述可以看出,预应力混凝土路面有如下优点:

- (1) 接缝数量减少,明显改善了行车平稳性;
- (2) 路面整体性比较强,边角软弱部分减少,从而提高了路面的耐久性;
- (3) 混凝土强度较高,提高了路面的承载能力;
- (4) 与相同的不配筋素混凝土路面相比,提高了抗变形能力;
- (5) 减少了出现裂缝的可能性。

从经济的观点来看,预应力混凝土路面虽然减薄了路面板的厚度,但是也增加了钢筋用量,施工工艺也比较复杂,因此必须根据工程的实际条件,通过综合比较,才能确定其经济价值。预应力混凝土路面最大的缺点是手工操作的工作量偏大,难以实现全盘机械化、自动化施工工艺,这是预应力混凝土路面不容易推广的主要障碍。

第三节 水泥混凝土路面滑模机械施工

一、概述

(一) 国内、外水泥混凝土路面滑模施工技术概况

1. 国外水泥混凝土路面滑模施工技术的发展

水泥混凝土路面的滑模机械施工始自 20 世纪 60 年代中期,70 ~ 80 年代逐渐发展成熟。该项技术在美国、德国等发达国家经过 30 多年的发展和应用,他们在机械设计、施工技术等方面都积累了相当丰富的经验。以下概述西方发达国家滑模摊铺机的发展历程,以期能对我国滑模摊铺机械及施工技术的进一步发展有所裨益。

(1) 滑模摊铺机的设计及改进

西方国家在滑模摊铺机的设计上经过了多轮的改进和提高,大约到 90 年代,大型滑模摊铺机的基本设计思想、主要结构和具备的施工功能才相对确定下来。

最初的滑模摊铺路面的设想显然是受到高耸钢筋混凝土结构垂直顶升滑动活模板的启发。设计者期望通过随机活动模板取消费时费力的固定模板施工方式,提高水泥混凝土路面的施工效率。全世界第一家生产滑模摊铺机的制造商是比利时的 SGME -

Moser,他于1963年生产了第一台GUN—TERT & ZIMMERMAN滑模摊铺机,遗憾的是该滑模摊铺机制造公司在1986年倒闭了。

在60~70年代,德国、法国使用的滑模摊铺机基本结构与沥青摊铺机是相近的,首先从前方将混凝土卸于摊铺机上,由摊铺机分料机构向后和侧向分料,没有挤压功能,摊铺宽度相对较小,使用的电振捣棒也只是采用普通频率的,后来发现这种结构的滑模摊铺机一遍的振捣强度远远达不到施工密实混凝土路面厚板的要求。它不像沥青摊铺机,靠一次摊铺厚度薄,密实度靠后续碾压来增强,同时也不能像轨道摊铺机靠反复多次的振捣来保证密实度。

70年代以后,美国、德国的一些厂商就开始进行滑模摊铺机的整体改进研究,取消了由摊铺机进行的混凝土输送,将混凝土料直接倒在基层上,开发液压超高频振捣棒,加大了挤压成型底板对混凝土路面板的挤压作用力,将行走部分改进为液压驱动,同时将传感器也改成了液压控制。实现了全液压工作方式,密实度靠超高频液压振捣棒、挤压底板及坍落度较大的混凝土共同实现,同时采用了平滑不锈钢底板防粘技术,开发了中间前部和侧向拉杆自动插入装置。

80年代,瑞士WALO公司生产了传力杆插入配件(DBI:DowelBars Inserting)这种重要的施工自动化部件,使全部缩缝都插入传力杆的水泥混凝土路面自动化施工成为可能。这使水泥混凝土路面的抵抗长期运营时的板间错台的能力大为提高,路面行车舒适性有了极大改善。欧洲和北美一些国家,在高速公路修筑上相当普遍地采用了DBI技术。

1988年,人们开始考虑滑模摊铺机的边界最小间隙摊铺问题,以适应城市道路紧贴路缘石的滑模施工,桥面板紧贴栏杆的施工及边侧有障碍物场地的施工,美国CMI和GOMACO公司将四履带的滑模摊铺机在工作时配置成三履带,德国则采用四履带悬臂式滑模摊铺解决了这个难题。

1990年,美国开发了后部超级抹平器,德国开发了振动搓平梁,进一步提高了路面平整度,与此同时,开发出后置式拉杆插入装置,插入的缺陷将由抹平器和搓平梁来修复。由于是在已经振捣密实挤压成形的混凝土路面板上插入拉杆,所以插入的拉杆的位置精度较前置插入装置为高。

90年代中期,为了适应各种厚度的路面和机场跑道的施工,美国和德国开发出了液压伸缩式侧模板,我国从90年代前期大量进口的美国滑模摊铺机,不少是固定高度的侧向模板,对路基的不平整和铺装桥面板是极不适应的。德国还开发了楔形和波浪形的侧模板,以提高路面板之间侧向传荷能力。后来发现使用楔形模板当面板厚度 $h \leq 30\text{cm}$ 时,使用一段时间会造成公路混凝土路面纵缝破损,于是将其取消了,但波浪形模板在 $h \geq 30\text{cm}$ 的机场跑道上使用情况良好。

最新的滑模摊铺机机械的主要技术特点有：

- ①激光导向和坡度弯道控制技术；
- ②计算机施工自动控制和智能化操作系统；
- ③增加滑模摊铺机的机动性、摊铺宽度自动伸缩系统及适应中部和边侧悬臂伸出施工的装备可变动性；

④单机一次双层混凝土路面板的施工，德国、法国等国家对水泥混凝土路面的舒适性，特别是噪声控制要求很高，上部湿接一层低噪声 C70 高强混凝土抗滑表层。超大型滑模摊铺机（摊铺宽度 $B \geq 12\text{m}$ ）加装一节表层夯实摊铺设备和跨越输送皮带和料斗，改进成湿接湿双层滑模摊铺机。

（2）滑模摊铺施工技术的发展

滑模摊铺水泥混凝土路面施工技术的发展几乎与滑模摊铺机械的发展同步。最初 60 年代的滑模摊铺施工只能满足普通素混凝土路面的施工，后来有了传力杆自动插入装置，可以施工所有缩缝都设传力杆的混凝土路面。

在 70 年代，随着发达国家的钢筋混凝土路面增多，以美国为代表的多机链式组合工作方式产生了。它施工时，在滑模摊铺机前方有三台机械：第一台前方布料机布置钢筋网下部的混凝土；第二台为钢筋网摆放机；第三台是侧向布料机，松铺钢筋网上部的混凝土；中间是滑模摊铺机，其后是拉毛养生机。这种链式作业虽然各种机械各司其职，效率较高，但其最大缺点是无论链式系统中哪台设备出故障，整个系统就会瘫痪。而且正常工作时，每台机械的施工速度要保持一致，距离不可拉大，加之链式作业需要投入的设备资金很大，没有很大的施工场地也无法施展。

针对链式作业方式的缺陷，法国和德国在施工钢筋混凝土路面时，多采用简化作业方式，在滑模摊铺机上附加钢筋网定位装置，或事先在基层上设钢筋网支架、接缝支架来施工。目前，在对路面噪声要求较低的欧洲国家特别是德国的施工标准中，要求一台滑模摊铺机除了钢筋定位支架外，同时施工两层混凝土路面：下层是要求较低的普通混凝土路面，可采用再生混凝土来充当骨料；上层是 5cm 厚的低噪声高强混凝土路面，单机一次施工。

在发达国家的高速公路水泥混凝土路面的施工技术标准中，主要是针对滑模摊铺方式提出技术要求，一般而言他们的人工费用较高，因此除了少量修补工程，采用轨道摊铺或三辊轴施工外，大规模水泥混凝土路面均采用滑模摊铺方式，主要目的是既提高施工效率，又保障工程质量。

在滑模摊铺混凝土材料要求上，发达国家一般都比我国的高。例如，美国的滑模摊铺水泥混凝土路面的砂石材料要求洁净，一般规定不得在施工场地上露天堆放，必须罐

装。这个措施保证了洗净的原材料不会在施工现场重新被污染,含泥量得以严格控制;同时,较好地控制了砂石料的含水量,使混凝土配合比的误差极小,混凝土拌和物的均匀稳定性很高。

美国规定石料的最大粒径为 20mm 以内,两级配,砂规定用中砂。而德国在水泥混凝土路面上要求的集料级配非常严格,20mm 以内粒径要求使用 4 级配来配制混凝土。这样采用优良的级配曲线,使路面混凝土的变形及干缩大为减小,有利于接缝使用寿命。

发达国家在水泥混凝土路面上多采用 500 号波特兰水泥,相当于我国的 625 号硅酸盐水泥,水泥用量较大,超过 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 。水泥用量一般由滑模摊铺粘聚性和可摊铺的工作性及耐久性来控制。抗折强度有富余,因为西方国家在高速公路水泥混凝土路面上,设计抗折强度多采用 4.5MPa,而不是我国的 5.0MPa。西方国家为了提高新拌混凝土的粘聚性,使用了很大砂率,一般都采用 40%~50%的砂率。西方国家滑模混凝土的配合比设计基本沿用了泵送混凝土的要求,目的在于使摊铺出的路面外观光滑平整。但是,试验与工程实践表明,砂率过大,塑性收缩裂缝很严重,硬化后干缩亦很大。我国依据砂的总表面积原理,按砂的细度模数优选砂率,在软作抗滑构造时,在最优砂率基础上增加 1%~2%的砂率;在硬刻槽情况下,则直接使用该细度模数的最优砂率。

美国、德国、法国、英国在水泥混凝土路面材料上均规定必须使用引气剂,减水剂则根据需要采用,没有强制规定。理由是引气剂全面提高了水泥混凝土路面的整个技术性能和耐久性,在没有抗冻性要求的地方也规定采用,以提高路面结构的耐候性、抗渗性与抗侵蚀性。我国新编的《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》关于外加剂的要求是与上述国际标准接轨的。

2. 滑模施工技术在我国的发展

(1) 国家“八五”攻关前国内滑模摊铺机的使用情况

我国上海市政工程公司最早于 1986 年引进美国 Powercuber 公司的路缘石滑模摊铺机,但是,由于使用的是加水量无法控制的小型自落式滚筒搅拌机,混合料坍落度波动过大而试验失败后,该机就再也没有使用了。

1989 年,黑龙江省引进美国 GOMACO 公司的一台 2000 型路面滑模摊铺机,同时引进意大利的大型混凝土搅拌楼和一台拉毛养生机,在哈尔滨到大庆的一级公路上使用,由于存在塌边和麻面及纵向接缝连接得不好等问题。该路段上滑模摊铺了大约单幅 20km 路面,绝大部分水泥混凝土路面仍采用人工加小型机具的方式施工,到 1990 年哈大路单幅通车,水泥混凝土路面滑模摊铺中暴露的问题并没有很好解决。

1990 年,安徽省公路局引进美国 GOMACO 公司的一台 2000 型路面滑模摊铺机,同时引进意大利的中型混凝土搅拌楼,在合肥到南京的一级公路上使用,一个车道 4.5m 宽

摊铺了约 20km 水泥混凝土路面,安徽省在滑模摊铺机的使用上下了较大功夫,体会到其施工效率高所带来的好处。他们在塌边问题上解决得比较好,重新研究了适宜滑模摊铺的混凝土配合比和控制标准,由坍落度控制改为用 VB 值控制。但是,同时出现了较多的麻面,必须进行人工修补。后来,安徽省针对这些问题设立了高速公路水泥混凝土路面成套施工技术研究项目,其中列了滑模摊铺技术内容,研究取得了一定的成效。

1990 年,江西省引进了一台美国 GOMACO 公司的 2000 型滑模摊铺机,引进意大利 ALBA 中型搅拌楼,在萍乡 102 国道上施工了 15km 水泥混凝土路面。由于产生了较多的有规律的纵向塑性收缩裂缝,平整度亦不理想,使施工一度中断,同时也存在较多的塌边和麻面问题,因此江西省后来就没有进行滑模摊铺施工了。

1990 年,湖北省路桥总公司引进一台美国 GOMACO 公司的 2500 型滑模摊铺机,进行了试摊铺,结果由于混凝土供应跟不上以及塌边麻面等原因,施工效率上不去,后来就停止使用了。与此同时,武汉市政公司也引进了一台 GOMACO2000 滑模摊铺机,也因为相同的原因而停用。

(2) 国家“八五”攻关后国内滑模摊铺机的使用情况

我国滑模摊铺机械使用中存在的普遍问题是:塌边、麻面、裂缝,平整度不理想,机械化施工效率上不去等等。与此同时,我国水泥混凝土路面建设又在逐年增大,为此,为提高水泥混凝土路面的施工质量,交通部通过国家计委设立了《滑模摊铺水泥混凝土路面修筑成套技术研究》的“八五”国家重点科技(攻关)项目(85—403—01—01),由交通部公路科学研究所、河北省交通厅、湖南省交通厅和重庆公路科学研究所共同承担,开始了有组织有目标的大规模工业化生产的攻关研究和推广应用。

(二) 推广滑模机械施工技术的必要性

1. 我国高等级公路水泥混凝土路面的施工技术现状

我国每年在建的 1.5 万余公里水泥混凝土路面,有 90% 左右是人工施工的,人工施工的高速公路水泥混凝土路面数量也不少。以目前高速公路交通载荷情况看,高速公路水泥混凝土路面的施工必须采用大型滑模机械施工技术,人工施工的水泥混凝土路面即使采用钢筋混凝土也难以承受交通载荷的破坏作用。同时,要求应用最新的混凝土材料科学技术及现代化的滑模施工机械装备。只有这样才能保证水泥混凝土路面具有的比沥青路面长一倍的设计使用年限,这不仅有利于我们节省高等级公路建设的投资,带动当地经济发展,而且有利于提高公路行业的装备标准、技术水平和人员技术素质。

2. 人工施工混凝土路面难以抵抗高速公路上的巨大冲击破坏动能

在高速公路上巨大的车轮破坏力作用下,材料不精良,面板不密实或欠密实,局部抗折强度很差的水泥混凝土路面肯定比机械施工的沥青路面破坏还要快。我国目前在高

速公路上水泥混凝土路面质量不如沥青路面,最主要的问题是施工技术原始落后。目前我国的水泥混凝土路面无论施工技术还是装备水平都明显落后于沥青路面。

3. 滑模机械施工可以达到“材料精良,面板密实”

人工施工水泥混凝土路面时,其配套的混凝土生产设备一般难以达到基本要求,更别说达到材料精良的要求。

人工施工水泥混凝土路面的前台,一根振捣棒,一个振动板,一根振动梁加一个辊杠,漏振、欠振动的部位很多,作者曾在某工地实测结果表明,配合比为 28d 的 6MPa 的混凝土,振捣不密实时其抗折强度仅为 2.6MPa,这样的水泥混凝土路面,早期破坏在所难免。因此,推广使用滑模机械施工方式是解决好高速公路水泥混凝土路面的“材料精良,面板密实”的关键措施。滑模摊铺水泥混凝土路面施工速度很快,必然要配备大型自动化控制的混凝土搅拌楼。这样首先保证了混凝土的搅拌质量,其次滑模摊铺机配备有密集排列(40cm)的超高频率的振捣棒(11000~12000次/min),比人工手持振捣棒 3000次/min 的振捣烈度和振动加速度高 10 倍以上,并且有滑模摊铺机的挤压力压实作用。这不仅保证了路面混凝土密实度和抗折强度,而且保证了高平整度和表面抗滑、抗磨性能。

4. 滑模摊铺施工是国内、外高速公路混凝土路面成熟的主导施工技术

滑模摊铺施工方式是目前国际上所有发达国家和中等发达国家普遍采用的水泥混凝土路面成熟的主导施工技术,属于计算机技术、液压技术、自动控制、机械制造、混凝土材料科学与施工工艺等众多高新技术集成的施工设备,具有自动施工数据输入、自动防差错、自学习以及通过英特网与生产厂和全世界同类机械交换施工经验和数据的能力。国外有人称滑模摊铺机为施工机器人(Robot machine)。

我国的施工实践证明,滑模摊铺水泥混凝土路面的平整度和质量有可能不亚于沥青路面。1998年至1999年,采用滑模技术施工的高速公路水泥混凝土路面的平整度已经达到 $\delta = 0.8 \sim 1.0$ (IRI = 1.3 ~ 1.7)。内在质量比人工施工的高得多,国内有几条采用滑模施工和人工施工同时进行的水泥混凝土路面,很能说明问题,运行 5~10 年后,人工施工的水泥混凝土路面已经严重损坏,而滑模施工的水泥混凝土路面状态良好,基本没有出现损坏。

5. 我国已经编制出高速公路混凝土路面滑模施工技术规程

通过近 10 年研究和 10 余个省区 1400km 高等级公路大规模施工实践经验总结的基础上,我国的《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》(以下简称《规程》)已经编制完成,将在 2000 年颁布施行。这标志着我国高速公路水泥混凝土路面滑模机械施工技术已经走向成熟,逐步成为规范化的施工方式,在我国高速公路水泥混凝土路面建设中更大规模应用滑模技术的条件已经具备。它不仅使我国建设、施工、监理、监督各部门有章

可循,而且使现代化的滑模施工高新技术通过规范变为推动我国高等级公路水泥混凝土路面建设,提高技术水平和工程质量的强大动力。

(三) 滑模施工技术特点

水泥混凝土路面的滑模机械施工技术是当今世界上施工速度最快、工程质量最高、施工规模巨大的现代化、机械化和智能化先进技术。其主要特点是:

1. 施工速度快

滑模摊铺水泥混凝土路面的施工使用的是不支模板的施工方式,其路面的摊铺、振捣、挤压成形是机动的滑模摊铺机一次完成的。其施工速度是目前已知的和使用的混凝土路面施工系统中速度最快的。按照滑模摊铺机的设计理论上讲,其施工速度可达 $1\sim 3\text{m}/\text{min}$,按平均速度 $1.5\text{m}/\text{min}$ 计算,能够完成 $90\text{m}/\text{h}$,8h可完成720m,12h可完成1080m。发达国家如美国、德国等国家的水泥混凝土路面滑模施工的最快速度一般接近和达到日施工1609m(1mile)。1996年我国最快日施工速度8.5m宽的路面1.2km,平均日施工速度8.5m宽路面600m。在广东省深汕东段高速公路上一套滑模摊铺系统在7个月内完成25m宽的水泥混凝土高速路面35km,每月完成了25m宽,26cm厚的水泥混凝土路面5km。图4-4-27是广东省深汕东段高速公路滑模摊铺水泥混凝土路面情形(日进度为8.5m宽,26cm厚路面为926m)。1998年9月,吉林省梅河口市远通实业股份有限公司在湖北省黄(石)黄(梅)高速公路创造了国内施工速度的最快记录是8m宽、24cm厚的混凝土路面一天完成1.6km。这样快的施工速度对于任何其它水泥混凝土路面施工方式而言是无法匹敌的。事实上,滑模摊铺水泥混凝土路面的施工速度比沥青路面机械摊铺还要快,原因是沥青在高速公路上,要铺3层,由于原材料不同,必须摊铺3遍才能完成。而滑模施工在特定宽度内只要摊铺一遍,一次形成了路面。目前,国际上采用滑模摊铺的机场跑道最厚为50cm,一次摊铺,一遍完成。



图4-4-27 广东深汕东高速公路滑模摊铺施工图

施工速度快会带来技术经济优势是显而易见的,因此,滑模摊铺水泥混凝土路面显现出了极强的优势。

2. 施工规模大

滑模摊铺水泥混凝土路面是大规模的工业生产模式,如果按 8.5m 宽 26cm 厚的路面每天施工 1km 计算,日需供应混凝土 2210m^3 ,混凝土搅拌站的理论配置需要 $300\text{m}^3/\text{h}$,同时需要日供应水泥 900t 左右;石料约 2700t;砂约 1800t;水 380t 以上。搅拌站日进出的原材料数量和混凝土运输量达 11050t。这些原材料和混凝土能装满 20t 的卡车 553 台次,5t 卡车 2210 台次。可想而知,混凝土搅拌、运输、路面摊铺工作量很大,非常繁忙,施工组织调度的工作量很大。

在国家经贸委的领导下,“九五”期间,设立了 12.5m 宽的滑模摊铺机消化引进吸收项目,如果摊铺 12m 宽、26cm 厚的路面 1km,日供应混凝土 3120m^3 ,则混凝土搅拌站的理论配置要求达到或超过 $400\text{m}^3/\text{h}$,日供应水泥 1250t,石料 3744t,砂 2500t,水 530t 以上,进出搅拌站的混凝土和原材料数量达 15600t,需要 20t 卡车 780 台次,5t 卡车 3120 台次。如果不使用大吨位的车辆,小吨位卡车的车流密度将达 6~7 辆/min,如果施工组织上如果不能有效分流车辆,将使搅拌站无法容纳如此多货运车辆。

我们在经济建设上强调要实现工程施工的规模效益,滑模摊铺是实现水泥混凝土路面施工的规模效益的最佳选择。规模效益最终实现了施工速度快,劳动生产率高,其工期效益及经济效益都很高。当然,就目前我国相关行业的供应规模来看,摊铺宽度在 8.5m 时的施工规模就相当大了,这是在搅拌站储备了大量的砂石材料、建立了储备 3000t 以上大型水泥储仓的条件下实现的。大规模的滑模摊铺施工要求水泥、砂石材料、钢材、外加剂等相关行业的供应规模也相应增大,否则会造成停工待料。

3. 自动化程度高

滑模摊铺水泥混凝土路面施工的自动化程度主要体现在混凝土搅拌楼和滑模摊铺机的自动化上,滑模摊铺混凝土路面要求的混凝土搅拌楼应在 $150\text{m}^3/\text{h}$ 左右比较合适。最小摊铺宽度 8.5m,这些超大型设备的自动化程度都相当高,搅拌楼是由电子计算机自动控制混凝土配合比和称料精度的,同时,有的还配备有电视机监视和打印数据系统。滑模摊铺机也配置有电子计算机的自动控制和防差错系统。只要这些设备的最优工作参数通过试铺调整好以后,操作者的劳动强度并不高,只进行有效的监控即可。

大型滑模摊铺设备的自动化程度大大提高,不仅减轻了工人的劳动强度,而且节省了大量劳动力,使滑模摊铺系统的劳动生产率大大提高。在 8.5m 摊铺宽度时,大约需要机手和劳动力 100 人左右。而一个相同劳动力的人工和小型机具施工队,最多每天能完成 8.5m 宽路面 100m 左右。滑模摊铺系统的劳动生产率是它的 8 倍~15 倍。

滑模摊铺机的自动化还体现在能够适应施工各种混凝土路面结构,如:通过钢筋孔施工钢筋混凝土路面,所有缩缝均由自动传力杆插入装置(DBI)设置传力杆的混凝土路面。并配备侧向拉杆自动打入装置,使手工施工降低到最少,具有很高的生产效率。

当然,这么高的劳动生产率除了高素质的管理人员、工程技术、技术工人外,必须依靠大型先进的自动化施工机械设备。一般而言,一套日生产能力 2000m^3 混凝土,平均日摊铺 5000m^2 路面的滑模摊铺系统需要的系统设备投入约10130~1500万元左右。与同等生产能力的沥青路面摊铺系统相比,其设备投资大约省 $1/3\sim 1/2$ 左右。

4. 滑模摊铺机具备一定的智能化程度

滑模摊铺施工机械系统的智能化程度,主要指滑模摊铺机具备一些基础的人工智能。主要体现在下述几个方面(1)具备一定的自学习功能(2)具有路面线形和路拱自动形成功能(3)具备防施工差错及自保护功能(4)能对每个振捣棒的工作状态进行监控。

(四)滑模施工的经济分析

1. 滑模摊铺水泥混凝土路面成套机械装备的投资比沥青路面施工成套设备低

水泥混凝土路面滑模摊铺成套机械装备的投资仅为同样生产能力沥青路面的 $1/3\sim 1/2$ 。按照我国高速公路建设的设备投资状况,能够购买沥青路面施工设备也肯定能购置水泥混凝土路面滑模施工设备。要提高水泥混凝土路面的施工质量,必须与世界各国一样,使用现代最先进的大型滑模机械摊铺设备。高速公路建设的实践表明,建设高速公路没有现代化的机械装备是达不到它所要求的近乎苛刻的高技术指标的,在高速公路上采用人海战术是无济于事的。高速公路建设必须用现代化的装备投入换取高技术指标和高质量,这一点已经被越来越多的决策者所认同。在我国使用滑模机械设备较早的湖南和广东两个省交通厅,已经有明确的规定,在高等级公路水泥混凝土路面施工中,必须采用滑模机械,否则就没有投标和施工资格。

2. 滑模摊铺水泥混凝土路面比同档次的沥青路面节省投资

在我国高速公路一级公路上,采用滑模技术施工水泥混凝土路面比使用沥青摊铺机摊铺沥青路面节省投资,最关键的因素是水泥的价格远低于沥青,按典型厚度:水泥路面 25cm ,沥青路面 15cm 计算表明,考虑水泥路面上设置钢筋和比重较大,不考虑沥青路面的石粉及加热能耗,在砂石料价格相同时,等投资价格平衡点是:沥青与水泥的比为 $4.6:1$ 。而目前国内的平均水平为 $7.14:1$,超过平衡价格比,建设水泥路面工程投资低于沥青路面。按照1995年山东泰化高速公路两种路面各 35km 路面工程决算对比,水泥 $220\text{元}/\text{t}$,沥青 $1800\text{元}/\text{t}$ 。从底基层到面层,水泥路面比沥青路面造价低 25% 。从目前全国的平均价格来看,建造普通素水泥混凝土路面($85\text{元}/\text{m}^2$)大致比沥青路面节省 15% 左右;

建设全缩缝带传力杆的水泥混凝土路面(100元/m²)与使用进口重交通沥青铺筑的沥青路面造价相当;1999年湖南在益阳至常德高速公路软基路段采用双层配筋的连续钢筋混凝土路面,决算表明,其造价155元/m²,与改性沥青路面造价相当。建造单层连续钢筋混凝土路面的造价不高于改性沥青路面。

在上述经济分析中,使用了高速公路一级公路“黑白”两种路面目前使用的典型厚度,如果在二级以下公路上,只使用4~8cm的沥青路面或者三、四级公路上仅使用沥青薄层表处,它们与厚度22cm以上水泥混凝土路面相比,那还是薄层沥青表处和不大于8cm的沥青路面造价更低。

3. 滑模摊铺水泥路面施工速度高于沥青路面

由于滑模机械施工水泥混凝土路面可以一次一层摊铺22~50cm厚度,比之沥青路面分粗、中、细三层三次摊铺的速度要快得多,因此,在搅拌设备配套容量适宜的条件下,可以有效缩短施工工期。

4. 与人工施工相比滑模施工必须具备10km以上的工程规模

滑模施工水泥混凝土路面时,要求搅拌站的生产能力和规模远大于人工施工,设备和建站费用较大,这些费用都将分摊到每平方米路面上,因此,滑模摊铺要达到与人工施工等费用就必须具备起码的施工里程和规模,至少应具备10km以上的高速公路或一级公路规模,才比人工施工节省造价。

这就要求我们若要取得较高的施工效益,就应改变目前的施工组织模式,建立路面施工的专业化队伍,将路基桥涵与路面工程分开招投标,路基桥涵可使用小标段,基层和路面为满足路面施工经济性和高质量要求,应采用大标段装备良好有经验的专业化施工队伍。

(五) 滑模施工技术进步、存在问题及发展前景

国家计委在国家“八五”重点攻关项目中,重点支持了水泥混凝土路面大型机械化施工的两项技术:一是滑模摊铺施工成套技术;二是振碾混凝土施工技术。通过河北、湖南、广东、吉林、福建、贵州、山东、新疆、湖北等省区的1400余公里高等级公路大规模的工程实验及10年的研究和经验积累,我国已经掌握了滑模摊铺水泥混凝土路面的关键技术。以下介绍“九五”滑模技术推广期间取得的主要技术进步。

1. 水泥混凝土路面的滑模施工技术上取得的最新进展

(1) 平整度优良

湖北黄黄高速公路78km高速公路水泥混凝土路面4个车道连续检测的总体动态平整度 $\delta = 0.92$;其中有28km达到 $\delta = 0.85$,见图4-4-28,施工最好的8km路段可达到 $\delta = 0.44 \sim 0.46$ 。湖南长益高速公路76km的4个车道的动态平整度 $\delta = 0.90$,其中4km

路段的 $\delta = 0.45$,见图 4-4-29。1996 年施工的山东泰化高速公路 35km 动态平整度 $\delta = 0.90$,见图 4-4-30。可以说 ,水泥混凝土路面平整度不及沥青路面的历史在中国已经结束。 $\delta = 0.45$ 的实测数据使我们建立了信心 ,而且水泥混凝土路面优质平整度保持年限比沥青路面长得多。

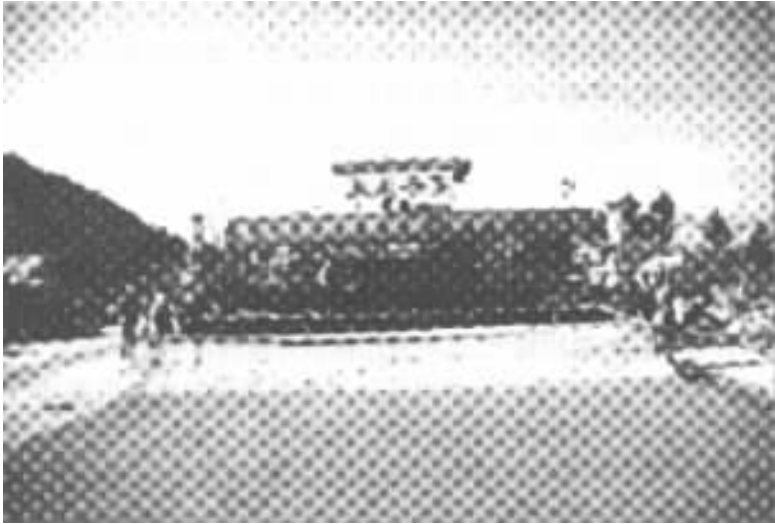


图 4-4-28 湖北黄黄高速公路滑模施工图(平整度 $\delta = 0.92$)



图 4-4-29 湖南益常高速公路滑模施工图(平整度 $\delta = 0.90$)

(2) 高弯拉强度

1998 年施工的湖北黄黄高速公路路面钻芯检测表明 :28d 平均弯拉强度不小于 5.6 MPa ;因于使用了优质掺量 15% 的粉煤灰 ,90d 抗折强度不小于 6.0MPa ,一年抗折强度在 6.5 ~ 7.0MPa 之间 ,最高弯拉强度可达 7.2MPa ,平均抗压强度在 40 ~ 60MPa 之间。在此基础上 ,1999 年 ,作者提议在山西京大高速公路(超重轴载)全线水泥混凝土路面设

计中使用了弯拉强度 5.5MPa ,要求施工弯拉强度为 6.35MPa ,实际施工钻芯达到平均弯拉强度 6.5MPa ,最小值 5.95MPa ,最大值 7.9MPa。在京大高速公路河北段设计了高弯拉强度水泥混凝土路面试验路段 ,设计弯拉强度 6.0MPa ,施工弯拉强度不小于 7.0MPa。采用的主要技术手段是双掺技术。外加剂使用高效减水剂加引气剂和保塑剂 ,混合材料主要是高品质 I 级粉煤灰。可以有效地将水胶比压低到 0.35 ~ 0.38 来进行滑模施工。高强度不仅保证了水泥混凝土路面的高承载能力和高抗断裂能力 ,而且保证了高耐久性 ,特别是抗磨性。



图 4-4-30 山东泰化高速公路滑模摊铺现场施工图

(3) 施工速度

湖北黄黄高速公路每套滑模机械平均每天施工 24cm 厚 8m 宽的路面 1km ;最快时吉林梅河口远通公司施工速度达到每天完成 1.6km ,这与发达国家每天完成 1 609m (1mile)已经持平。湖南和广东的滑模摊铺 8 ~ 8.5m 宽 ,25 ~ 26cm 厚路面日施工速度接近 1km。不仅比人工施工的速度快 10 倍 ,而且比沥青路面铺 3 层 3 遍要快得多 ,这将有利于加快高速公路的建设速度。

(4) 滑模连续配筋混凝土桥面铺装技术

广东深汕东和湖北黄黄高速公路上突破了连续配筋混凝土滑模铺装桥(涵)通道技术 ,除了个别特大桥外 ,全部实现了路面和桥面连续摊铺 ,不仅滑模施工无断头 ,而且桥(涵)面、桥头搭板的平整度、抗滑和抗磨性能大大提高 ,见图 4-4-31 湖北黄黄高速公路水泥混凝土路面滑模连续桥面铺装。1999 年在广东湛江至电白高速公路 ,源水河 1180m 跨度的特大桥上 ,采用混凝土运罐车、布料机、滑模摊铺机和拉毛养生机配合铺装桥面 ,施工后的桥面 4 个车道的总平整度为 $\delta = 0.85$ (见图 4-4-32)。

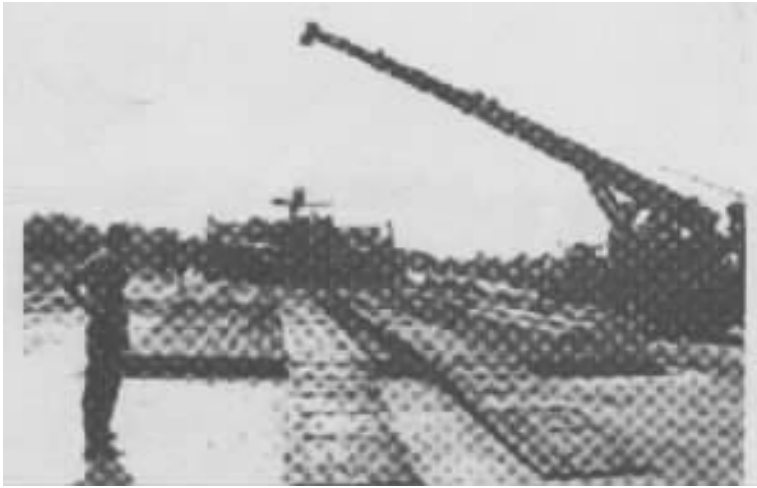


图 4-4-31 湖北黄黄高速公路使用大型滑模摊铺机
连续铺装中、小桥涵和通道



图 4-4-32 广东湛江高速公路和源水河 1180m 跨度的
特大桥面的滑模摊铺(平整度 $\delta = 0.85$)

(5) 滑模连体摊铺硬路肩和路缘石技术

在湖北黄黄高速公路上,在硬路肩和路缘石连体滑模摊铺施工技术上,也已经取得突破性进展。硬路肩的强度、平整度和路缘石的顺直度都达到了高速公路规范中的技术要求,见图 4-4-33。

(6) 滑模摊铺全部缩缝带传力杆的水泥混凝土路面

1999 年我国在超轴载特重交通的高速公路上,广东(京珠路)、湖南(益常路)、河北和山西(京大路)等几个省份已经展开了滑模摊铺这种型式路面的大规模建设,传力杆的施工设置主要靠预制传力杆支架和 DBI(传力杆自动插入机械手)两种施工方式。预制传

力杆支架法是传力杆设置精度最高、较稳妥的方法,见图 4-4-34。山西京大高速公路滑模摊铺高弯拉强度(6.5MPa),全部缩缝插传力杆的超重轴载(30cm 厚度)混凝土路面。

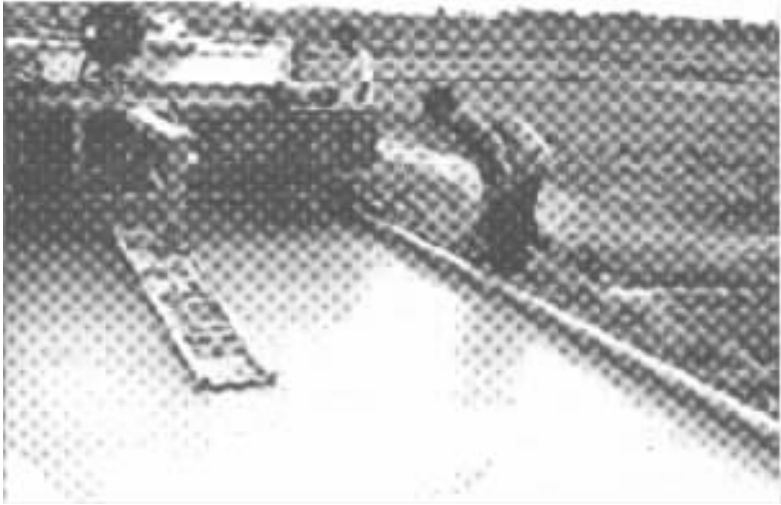


图 4-4-33 湖北黄黄高速公路使用滑模摊铺机悬臂连体摊铺硬路肩和路缘石



图 4-4-34 山西京大高速公路滑模摊铺高弯拉强度全部缩缝插传力杆的超重轴载混凝土路面

(7) 连续式搅拌楼 2 级搅拌超大容量滑模混凝土

湖北黄黄高速公路首次采用 3 台国产连续式搅拌楼 2 级搅拌方式生产满足滑模摊铺的水泥混凝土,总容量 $390\text{m}^3/\text{h}$, 有效地保证了快速施工进度,发挥了滑模摊铺机巨大的生产能力和施工效率。计算机控制连续搅拌楼应配备二级搅拌锅,混合料在搅拌机内

的被搅拌时间不应小于 40s,方可满足精良路面混凝土的搅拌质量要求。

(8)路面使用粉煤灰技术

在广东、湖北、山西等省份采用加粉煤灰的优化模混凝土配合比,如黄黄高速公路全线 104km(包括连接线 26km)水泥混凝土路面,都掺 12%~15%的Ⅱ级磨细粉煤灰,保证了长期强度的提高,3个月弯拉强度达到 6MPa,一年可达到 7MPa。山西京大高速公路 70km 全线使用 15%的神头电厂的 1 级粉煤灰,28d 弯拉强度超过 6.3MPa,2 个月平均弯拉强度达到 6.5MPa,3 个月弯拉强度已接近 7MPa。

2. 滑模摊铺技术存在的问题

(1)滑模摊铺机应当改进的地方

①滑模摊铺机的振动仓应该加宽前后间距 根据振动粘度和排气密实理论,目前我国所使用的国内、外的滑模摊铺机均应加宽振动仓的前后间距——至少应达到 1m,而不是目前的仅 50cm 左右。混凝土中的气泡接受了振动,开始从板底向上运动,而此时摊铺机也在向前移动,为了保证不塌边,滑模摊铺机使用的是高振动粘度系数(小坍落度 0~5cm)的粘聚性很大的混凝土,高粘度的混合料,气泡的上浮速度是很慢的,当振动仓前后的几何尺寸过短($\leq 50\text{cm}$)摊铺机施工速度较快($\geq 2\text{m}/\text{min}$)时,会将大量的气泡压制在路面板内无法排放,面板密实度就会严重不足,严重损失抗折强度和耐磨性。要求摊铺速度越快的滑模摊铺机的振动仓尺寸应该越大;反之,振动仓间距越小的滑模摊铺机,越不可以快速摊铺。只有加大了振动仓的前后间距,才能在保证混凝土路面密实度的同时,加快摊铺速度和提高施工效率。

②实现振动仓料位及松方控制板的自动联合调控 我国的水泥混凝土路面滑模摊铺施工大多数没有配备布料机械,只是滑模摊铺机单机作业,因此要求对滑模摊铺机振动仓内的料位高度实施监测,并与松方高度的控制板实现联动,通过控制进料量实现振动仓料位的自动监控。因为振动仓料位高低对于混凝土路面板的施工质量有较大影响。首先,振动仓内的料位形成了对混凝土板的预挤压力,这个压力与挤压底板施加的压力应基本接近,如果仓内的料位过低,机械施加在挤压底板上的挤压水平分力会将混凝土料向前方推动,摊铺出的路面即使没有缺料现象,表面标高会降低,局部低洼,不仅密实度不足,而且可能拉裂面板,影响路面平整度和强度;当料位过高,由于高料位的压制,新拌混凝土受振时,大气泡由于排放受压制和路径过长,排放不出而挤压在路面内,造成路面混凝土不密实,抗折强度等一系列性能将受到严重影响。

③路面混凝土密实度和摊铺机振动频率、摊铺速度自动控制 根据笔者进行的滑模摊铺工艺基础——振动粘度理论及其应用的研究结果,滑模摊铺机的振动频率和摊铺推进速度必须与所摊铺的混凝土的振动粘度系数实现最优匹配,才能施工出高质量的、密

实平整的水泥混凝土路面。目前实现这一点是通过操作手的眼睛观察和及时调整,但肉眼对于混凝土路面板内的不密实情况、过振厚砂浆情况和平整度的微小变化观察不到,待路面已经出现了可见的局部麻面、砂浆过厚和边沿塌边,其施工工况已远远偏离了优化匹配,不合格的路面已经摊铺出来了,滑模摊铺机不可能倒车重新摊铺。所以应当采用现代电子技术对所摊铺路面的密实度进行监测,并及时反馈给滑模摊铺机自动调节其推进速度,或指示操作手调整振动频率,这样才有可能实现更高质量的路面施工。

④对滑模摊铺机底板的挤压力进行监控 滑模摊铺机上的挤压底板对混凝土有挤压成形作用,其挤压力是靠摊铺机自身的重力通过底板的前仰角度形成的。挤压作用一方面增大了混凝土路面板的整体密实度;另一方面对于边角挤压成平整光滑的表面、规矩的外观形状、减少缺边掉角是必不可少的。挤压力是一个斜向力,可分解为一个垂直分力和一个向前的水平分力。垂直分力构成对混凝土路面板的竖向挤压,水平分力构成了滑模摊铺机的一部分前进阻力,并使挤压底板有充足的物料可施加压力。同时,水平分力是引起路面横向拉裂的根源,当前仰角调得过大,水平分力大于塑性混凝土本身的抗剪强度时,路面将被拉裂。这种拉开的塑性裂缝是贯穿面板的,应该坚决防止。

由此可见,挤压力的大小不仅对于滑模摊铺机的阻力,而且对于混凝土路面板的密实度、平整度、强度和抗拉裂性能均很重要。在施工山区混凝土路面时,上坡挤压力大,下坡挤压力小。同样的前仰角,混合料干时阻力大,料偏稀时阻力小,挤压力是随施工条件变化的。如果对它的变化不能及时调整,挤压力过大时,阻力过大,甚至可能将滑模摊铺机托起来,挤压力过小,物料不足,严重时出现麻面。在这两种情况下,均会使标高不够而影响平整度。需要在特定施工纵坡和混合料条件下,通过协调合适的滑模摊铺阻力和获得优良的路面外观及其质量,得到一个最佳前仰角度,并将挤压力维持在相对恒定的优化施工范围内。这就有必要对挤压底板上的挤压力进行自动化监控及反馈调整,以满足施工高质量水泥混凝土路面的需要。

⑤减少停机造成的压槽 滑模摊铺机挤压底板设计有前仰角,在停机时,由于其静压力作用,会造成停机横向压槽,影响平整度。施工中,完全不停机是不可能的,因此有必要对此进行改进。2000年德国Wirtgen的滑模摊铺机,就设置了停机挤压底板后两点自动抬起5mm,开机摊铺再自动返回到原先挤压位置,消除停机持续挤压力对平整度的不良影响。

⑥进口滑模摊铺机人机对话的操作界面应实现中文化 滑模摊铺机的自动控制及人工智能都是建立在熟练的计算机操作和施工技术数据化的基础上,我国从国外引进的滑模摊铺机,由于其操作界面,计算机数据输入没有实现中文化,给我国的操作人员使用这些高新技术带来了较大困难。这是滑模摊铺机上的人工智能使用不好的重要原因,亟

待改进。

(2) 机械配套

迄今为止,我国滑模施工的机械配套容量依然不足。《规程》规定:滑模摊铺单车道路面的配套混凝土额定生产容量不小于 $100\text{m}^3/\text{h}$;一次摊铺两个车道路面时,不应小于 $200\text{m}^3/\text{h}$ 。目前仍有相当数量的滑模设备的机械配套达不到此要求,这就使滑模难于发挥其强大生产能力,不仅不停机连续摊铺的要求达不到,而且路面高平整度难以保证。

(3) 施工技术

目前,我国在水泥路面施工技术方面,原材料控制、配合比及施工工艺逐多方面仍存在不少问题。我国已制定的《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》,并将在 2000 年颁布施行,只要我们严格按规程要求施工,就一定能够做出高质量的高速公路、一级公路水泥混凝土路面。

二、滑模式摊铺机施工技术

滑模式摊铺机的特点是不需轨模,用由四个液压缸支承腿控制的履带行走机构行走。整个摊铺机的机架支承在四个液压缸上,它可以通过控制机构上下移动,调整摊铺层厚度。在摊铺机的两侧设置有随机移动的固定滑模板,因此不需另设轨模。这种摊铺机一次通过就可以完成摊铺、捣实、整平等多道工序。

(一) 施工工艺

1. 工艺特点

(1) 摊铺与捣实

滑模式摊铺机的摊铺过程如图 4-4-35 所示。首先由螺旋摊铺器把堆积在基层上的水泥混凝土向左右横向铺开,刮平器进行初步刮平,然后振捣器进行捣实,刮平器进行振捣后整平,形成密实而平整的表面,再利用搓动式振捣板,对混凝土层进行振实和整平,最后用光面带光面。

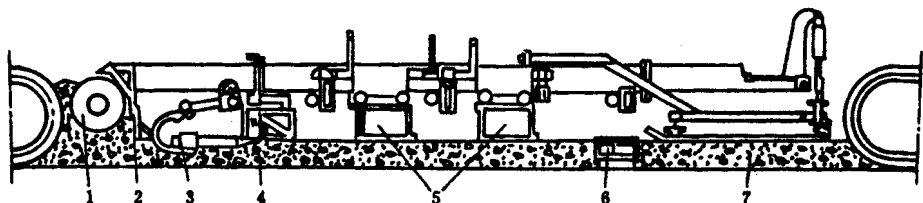


图 4-4-35 滑模式摊铺机摊铺过程示意图

1—螺旋摊铺器 2—刮平器 3—振捣器 4—刮平板 5—搓动式振捣板 6—光面带 7—混凝土面层

(2) 整面与防滑处理

滑模式摊铺机的整面工作与轨道式基本相同(只是工作时各工作装置均由电子液压操纵机械来控制),如图 4-4-36 所示,它由三个行程完成。

第一行程(如图 4-4-36a)所示。把振捣梁、振捣板和整平梁放下到离混凝土面层顶面标高 1.5~3cm 的上方,启动振动器,整面机以一档速度前进,而振捣梁和整平梁却以二或三档的速度进行横向摆动。此时振动梁推动着较厚的混凝土粒堆,而整平梁只刮着较薄的砂浆。当这一行程至终点时,稍微提升这三个装置,再倒档退回原处。

第二行程(如图 4-4-36b)所示,此时整面机以二档前进,在行进中均匀地将工作装置全部放下,而三者都作横向摆动,振捣梁同时振动,因此,只是在振捣梁的前面积聚着少量的混凝土。

第三行程(如图 4-4-36c)所示。整面机仍以四个工作装置同时工作,但行驶速度较慢。这一行程是在混凝土初凝后进行的。此时整平梁以 36 次/min 的速度横向摆动,而其幅度约 180~250cm,同时又以较小的振幅作上下振动。光面带是橡胶编织物,主要用作表面整平抹光。

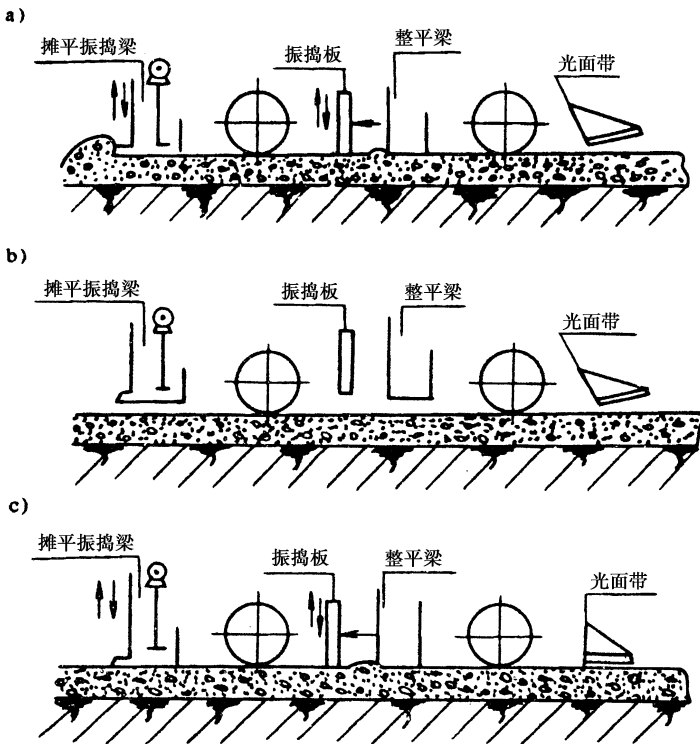


图 4-4-36 水泥混凝土整面机工作过程

a) 第一行程 b) 第二行程 c) 第三行程

为了提高水泥混凝土面层的抗滑能力,当混凝土层整面结束后,应采取防滑处理。

其处理方法前面已作介绍,不再赘述。

2. 工艺过程

滑模式摊铺机的施工工艺过程与轨道式基本相同,但轨道式摊铺机与之配套施工的机械较复杂,程序多,特别是拆装固定式轨模,不仅费工,而且施工成本也大大增加,同时操作又比较复杂,而滑模式摊铺机则不同,由于整机性能好,操纵方便和采用电子导向,因此生产效率高。

下面以铺筑加筋混凝土路面为例,介绍滑模式摊铺机的工艺过程。

采用滑模式摊铺机铺筑加筋混凝土路面进行双层施工时,其工艺过程如图 4-4-37 所示。整个施工过程由下列两个连续作业行程来完成。

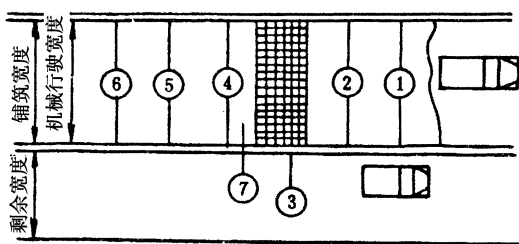


图 4-4-37 滑模式摊铺机施工时的施工机械组合

- 1—摊铺机 2—钢筋网格平板车 3—混凝土输送机 4—混凝土摊铺机;
5—切缝机 6—养护剂喷洒机 7—传送带

第一作业行程,摊铺机牵引着装载钢筋网格的大平板车,从已整平的基层地段开始开始摊铺,此时可从正面或侧面供应混凝土,随后的钢筋网格大平板车,按规定位置将钢筋网格自动卸下,并铺压在已摊平的混凝土层上,如此连续不断地向前铺筑。

第二作业行程,它是紧跟在第一行程之后,压入钢筋网格,混凝土面层进行摊铺、振实、整平、光面等作业程序。钢筋网格是用压入机压入混凝土的,压入机是摊铺机的一个附属装置,不用时可以卸下,使用时安在摊铺机的前面,它由几个液压千斤顶组成。施工开始时,摊铺机推着压入机前进,并将第一行程已铺好的钢筋网格压入混凝土内。摊铺机则进行摊铺、振捣、整平、光面等工作。最后进行切缝、喷洒养护剂和防滑处理。

(二) 施工实例

滑模式摊铺机的修筑技术在我国还处在研究和试验阶段。自从 1986 年以来,黑龙江、湖南、安徽等省先后引进了 SF-250、SF-350、GP-2000 等滑模式摊铺机。下面介绍两个施工实例,并就施工中存在问题作一讨论。

1. SF-250 滑模式摊铺机施工

黑龙江省 1986 年引进美国 CMI 生产、CAT 公司销售的 SF-250 混凝土滑模摊铺

机,在施工中一次完成混凝土面板的摊铺、振捣、成形、打传力杆等工序,通过传感器自动调节方向和高程,效率比较高。随同主机引进的还有 TC-3000A 纹理养生机(可拉毛和自动喷洒养生剂)。SF-250 滑模机主要技术参数为:柴油机功率:145KW;摊铺宽度:3.66~7.92m;摊铺厚度:15~25cm;摊铺速度:0.8~1.5m/min;空驶速度:20m/min;振捣梁振频:120~137次/min;外形尺寸 3048mm×9233mm×3200mm;质量:20412kg;要求混凝土坍落度 4~6cm,平整度可达 3mm。

(1) SF-250 混凝土滑模机的工作流程

SF-250 混凝土滑模机是由推进和摊铺两个基本装置组成。通过四个支柱油缸系统调整摊铺机的水平与横向位置,或在摊铺第二幅时将一侧履带抬高到先浇的第一幅混凝土路面上。随机行走过程中,拉杆按间距从横向自动打入。滑模机工作时,通过螺旋布料器,将混凝土送入刮平器下,由刮平器计量进入内振器(即振捣棒)工作区内,振捣棒振频为 9000~12000 次/min,振捣有效半径为 30cm,经振捣棒振捣的混凝土再经振捣梁振捣,强制混凝土骨料下沉,部分水泥浆上浮。然后由成形盘,通过侧模摊铺成所要求的混凝土层。

(2) 摊铺前的主要准备工作

① 基层的质量检验及准备。一般情况下完工长度不少于 4km,检验项目及标准同轨道式摊铺机施工,基层宽度应比混凝土板每侧宽出 50~80cm。

② 测量放样,悬挂基准绳。摊铺机一侧有导向传感器,另一侧有高程传感器,导向传感器接触导向绳,导向绳的位置依据路线方向安装,测量时每 500m 或小于 500m 设固定桩,并用三角法引至路线外加以固定。高程传感器接触高程引导绳,高程引导绳的空间位置是依据路线高程相对位置安装的,测量前,沿线每 200~250m 增设一水准点,控制精度,平差后方可使用。方向和高程准确与否,取决于引导绳的准确程度,引导绳皆固定在打入基层的钢钎上。

③ 选择适合的混凝土配合比和外加剂。滑模机对混凝土品质要求十分严格,最大集料规格一定要小于 40mm,混凝土摊铺时的坍落度,必须严格控制在 4~6cm,为增加混凝土和易性与达到所需要的坍落度,常使用外加剂,外加剂需事先通过试验确定。

④ 确定摊铺宽度。根据路面宽度,调整滑模板的摊铺宽度。

⑤ 安装拉杆。准备好弯成 90°的纵向拉杆,将其打入混凝土。在浇筑第二幅时,再将拉杆校正成直线形。

(3) 滑模施工工艺

采用自卸翻斗汽车运输混凝土,将混凝土卸在摊铺宽度内,螺旋器前的混凝土高度控制在螺旋器高度的 1/2~2/3,过低混凝土供应量不足,过高滑模机会因阻力大而机身

上翘。滑模机工作速度一般为 $0.8 \sim 1.0 \text{m}/\text{min}$ 。通过侧模成形的混凝土,混凝土表面常出现一些麻面、气泡,有的边角坍塌不齐,需由人工修整与处理。在混凝土表面稍形成强度时,用拉毛机拉毛,拉毛器形似钢丝刷,使用时容易带起砂粒,纹理不够均匀。养生、切缝、灌缝同轨道式摊铺机施工。配合摊铺机所需辅助人工,其劳动力分配大致是:测量固定导向绳 11 人,指挥卸车、运送纵向拉杆、滑模机司机各 1 人;拉毛机、清除车斗残留混凝土、盖麻袋片各需 2 人;摊铺混凝土需 3 人;修边、刷平需 6 人;盖草袋养生需 8 人;切缝机(4 台)需 9 人;共计 46 人。

SF-250 滑模摊铺机摊铺速度快,8h 可铺筑 $500 \sim 600 \text{m}$,振捣密实,平整度合格率比较高,可达 $80\% \sim 90\%$ 。

2. GP-2000 滑模式摊铺机施工

安徽省于 1990 年在 312 国道安徽段水泥混凝土路面施工中采用了美国 GOMACO 公司生产的 GP-2000 型滑模机。其主要参数为:发动机功率:138KW(二冲程四缸增压柴油机);摊铺宽度:3.3~7.6m;行走速度:0~11.6m/min;工作速度:2~4m/min;摊铺厚度:10~50cm;履带对地面工作压力:0.12MPa。施工中,分别与国产 HIQ50 和日产 S₄S₁₀₀P 拌和站配套。

(1) GP-2000 型滑模机的组成及主要特性

GP-2000 型滑模机由动力部分、机架、行走装置、操作台、工作装置等部分组成。其中工作装置包括:滑模——通过连接支架固定在机架横梁下面,密实的混凝土通过滑模的挤压成形路面;振动器(振动棒)——L 型液动插入式振动器是密实混凝土的关键部件,它以一定间距均布于滑模板前部支架上;振捣器(夯锤)——紧贴于滑模板的前部,并上下往复运动;布料器——螺旋式布料装置,实现滑模前部混凝土拌和料均匀分布;抹光板——通过悬臂悬挂在主机后部;打入传力杆装置——通过压缩空气带动气缸工作,完成传力杆安装工作,此装置安装在滑模与抹光板之间。

滑模机的主要特性是:采用电液控制,自动化程度高,操纵轻便省力,无级控制的振捣器,可实现多种混凝土振实要求,振动器的振动频率为 $0 \sim 10500 \text{次}/\text{min}$,振捣器的振动频率为 $60 \sim 120 \text{次}/\text{min}$,可实现联机作业,分层摊铺,滑模宽度具有可调性。

(2) 工作原理

GP-2000 滑模机工作原理如图 4-4-38 所示。运输车将混凝土拌和料卸于滑模机的前部。通过螺旋式布料器,将堆积的混凝土均匀地分布在滑动模板的前面,机械以一定的工作速度前进,各工作装置启动运行,L 形液动式振动器以 $9500 \sim 10500 \text{次}/\text{min}$ 的振动频率振实混凝土,液化而密实的混凝土在振捣器以 $60 \sim 120 \text{次}/\text{min}$ 的运动速度上下振捣。通过振捣器的振捣,将一定料径的骨料压入滑动模板以下,便于滑动模板通过,

同时使混凝土进一步密实。随着机械的前进,滑动模板将密实的混凝土挤压成形路面。同时,它既左右、前后运动,又与主机随抹光板对成形的混凝土路面表面进行搓揉,不但具有抹光作用,而且还能消除表面气泡及少量麻面等缺陷。

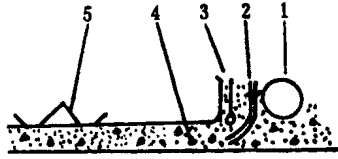


图 4-4-38 GP-2000 滑模机工作原理示意图

1—布料器 2—振动器 3—振捣器 4—滑动模板 5—抹光板

(3) 生产组织

CP-2000 型滑模机的生产组织安排见表 4-4-31。为便于与轨道式摊铺机的生产安排进行对比,表中列出了 V8CELE 摊铺机的生产组织情况。

表 4-4-31 生产组织安排对比表

| 工号 | 工作名称 | | 工作内容 | | 配备人员及机具 | |
|----|-----------|---------|----------------------|----------------------------|---------------------------------|--|
| | 滑模机 | 轨道机 | 滑模机 | 轨道机 | 滑模机 | 轨道机 |
| 1 | 安装引导线 | 安装模板或轨道 | ①打钢桩 ②测量放样 ③复核 | ①运送钢模板 ②安装、测量、调整 ③复核 | 大锤 1 把 打桩工 2~3 人, 测工 2 人 测工具一套。 | 小四轮或汽车 1 台, 运装工 3~4 人, 木垫小钢桩 1 宗(配小板车), 测工 6~8 人, 工具一套 |
| 2 | 刷柏油(或分离脂) | | 刷切缝和工作缝 | ①刷切缝和工作缝 ②刷钢模板 | 刷柏油工具一套 3~4 人 | 刷柏油工具一套 3~4 人 |
| 3 | 就位模板 | | ①自行就位 ②摊铺操作 | ①吊装就位 ②摊铺 | 操作手 1 人, 指挥 1 人, 辅助工 1~2 人 | 吊装工具, 操作手 2~3 人, 指挥倒料 1 人, 辅助工 3 人 |
| 4 | 拆线、拔桩 | 拆钢模轨道 | ①收引导线 ②拔钢桩 | ①拆轨道 ②拔钢模固定桩 ③拆钢模 | 由每班安装引导线人员同班完成 | 隔班拆除, 配员 4~5 人, 配钢钎、扳手等工具 |

实践证明,在供料充足的情况下,滑模机的生产率为轨道机的 2~4 倍。各项指标平均合格率为 98.3%。

(三) 施工中应注意的问题

滑模摊铺机施工中,最常见的问题是塌边和麻面。

1. 坍边问题

坍边的主要形式有边缘出现坍落,或边缘倒坍,或松散无边等。由于坍边的存在,既影响路面质量,又增加了修边的工作量。所以坍边是不允许的。如果拌和质量高,坍边现象则可减少到零。

(1)边缘坍落。边缘坍落影响路面的平整度和横坡。对双幅施工的整体路面,往往表现为中间积水。造成边缘坍落的主要原因有:模板边缘调整角度不正确,正确的调整应根据混凝土的坍落度调整一定的预抛高,使坍落定形时恰好符合设计的边缘要求;摊铺速度过慢,当摊铺机工作速度在 $0.5 \sim 0.8\text{m}/\text{min}$ 时,由于L型振动器强有力的振动影响到滑模机已摊铺好的边缘,引起边缘坍落,滑模机的理想速度为 $2 \sim 4\text{m}/\text{min}$ 。

(2)倒边和松散无边。

①拌和料出现离析现象。使用立轴式混凝土拌和设备时离析尤为严重,因为它的出料靠拌叶将混凝土拌和料刮出,由于混合料各成份的密度不一,在刮出力的作用下抛出距离不同,大骨料常被抛在一起,使骨料和砂浆离析。这种现象若处在边缘,就不可避免地出现倒边。若处在中间,就会出现麻面。因此,发现骨料集中在一起时,就需要处理,将骨料散开,或除去,或开动螺旋布料器实现二次布料等。

②布料器布料往往将振捣的混凝土稀浆分到两边而导致倒边。其解决办法是人工粗布料或适当调整靠边侧的振动器的振动频率。

③骨料形状和配比。扁平状或圆状骨料成形差,边缘在脱离滑模板后失去支承就会发生倒边。若混凝土的坍落度不大,坍边是可以避免的。

2. 麻面问题

混凝土的坍落度值低是形成麻面的主要原因,其次是拌和不匀。严格控制混凝土的坍落度是减少或消除麻面的首要工作,这就要求拌和设备的计量装置精度必须符合要求。

三、滑模摊铺混凝土路面抗滑、养生和接缝施工

(一)滑模水泥混凝土路面抗滑构造

1. 滑模混凝土路面抗滑构造的技术要求

在水泥混凝土路面高速公路、一级公路上对抗滑构造的要求有两项:一是宏观抗滑构造,其主要作用是雨天行车横向排水,使降雨和暴雨时,车轮和路面之间尽量紧密贴合,防止高速行驶时的车辆漂滑现象(降雨时车辆漂滑是高速公路出交通事故的重要原因之一);二是微观抗滑构造,它提供潮湿路面的侧向摩擦系数。高速公路、一级公路和低速行车的二级以下公路和市政道路不同,宏观和微观两级抗滑构造都是需要的,而且

都是为雨天高速行驶准备的安全技术措施。

(1) 宏观抗滑构造的要求

按照《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071-98)的规定,高速公路一级公路竣工时的水泥混凝土路面宏观抗滑构造深度(填砂法)TD不应低于0.8mm,其它公路TD不应低于0.6mm。在《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012-94)中,还提出:对年降雨量在500mm以下的地区,可适当降低。

《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规范》对宏观抗滑构造深度增加了上限要求:高速公路一级公路还应 $TD \leq 1.2$,即竣工时 $0.8\text{mm} \leq TD \leq 1.2\text{mm}$;其它公路还应 $TD \leq 1.0$,即 $0.5\text{mm} \leq TD \leq 1.0\text{mm}$ 。高速公路一级公路这个上限指标来自民航机场跑道。我们施工中发现,抗滑构造深度除了最浅的规定外,还应该有更深的规定。当摊铺机施工操作不正常或混合料过稀时,表层砂浆深度过大,软拉出的宏观抗滑构造最深可达 $TD = 2.5\text{mm}$,这种局部路面的过深抗滑构造在路面上保持不住,实际使用半年左右,会整体剪断脱落,这将使路面平整度严重丧失,促使冲击坑洞的产生。所以,应该将TD控制在既满足深度要求,又保证经久耐用的合适范围之内。要求宏观抗滑构造深度均匀,不损坏构造边棱,不影响施工好的路面平整度。

据有些地区施工技术人员反映,TD $\geq 0.8\text{mm}$ 时,刻槽深度需达4mm左右,槽口易受硬质粒料挤压损坏。认为槽深3mm,TD $\geq 0.6\text{mm}$,可显著减少此种损坏并保证抗滑要求。首先,应该注意统一使用铺砂法评定宏观抗滑构造时,槽深度、宽度和槽间距(这些数据的规定范围详见宏观抗滑构造的施工条款)要密切配合,槽间距大时,槽深要深一些,槽宽也应大一些,反之亦然。若这三个数据不匹配,高速公路一级公路保证 $0.8\text{mm} \leq TD \leq 1.2\text{mm}$ 之间是有困难的。其次,针对这个问题,作者查阅了多个国家资料,首先这项指标与设计车速、降雨强度、弯道和坡度大小或公路等级有关,英国0.65~1.35mm,法国1.0mm,德国0.5~0.8mm,西班牙0.7~1.0mm,美国PCA规定平均值0.8mm,最小值0.5mm等。对比来看,我国制定的抗滑标准略偏高一点。是否可将高速公路一级公路抗滑标准定在 $0.7\text{mm} \leq TD \leq 1.0\text{mm}$;其它公路制定在 $0.5\text{mm} \leq TD \leq 0.8\text{mm}$,有待规范重新规定,这里对此暂不变动。各地可通过试验路段积累相关数据,为修订规范提供依据。

(2) 微观抗滑构造的要求

微观抗滑构造虽然对安全行车很重要,但现行所有水泥混凝土路面设计、施工及质量验收有关的规范,均没有对微观抗滑构造提出技术要求。《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014-97)中,只有高速公路一级公路竣工验收时的横向力系数(有水条件下的侧向摩擦系数)SFC ≥ 54 ,摆值Fb ≥ 45 ,构造深度TC ≥ 0.55 。参照此规定,仅规定高速公路一

级公路的横向力系数 SFC 应不大于 55。

2. 抗滑构造的检测

(1) 宏观抗滑构造深度的测量和计算

水泥混凝土路面上宏观抗滑构造深度 TD 采用填砂法量测。

按 (4-4-14) 式计算：

$$TD = 40 V / \pi d^2 \quad (4-4-14)$$

式中 TD——构造深度, mm；

V——填满圆面积内凹下部分所用砂量, mm³；

d——圆面积的直径, cm。

(2) 横向力系数的测量

横向力系数 SFC 是用专门摩擦系数检测车在有水条件下测量得到的。

3. 滑模摊铺混凝土路面抗滑构造的施工

(1) 微观抗滑构造的滑模施工

在滑模摊铺机后应设钢支架, 拖挂 1~3 层叠合麻布、帆布或棉布, 洒水湿润后, 软拖制作微观抗滑构造。布片接触路面的拖行长度以 0.7~1.5m 为宜。砂的细度模数偏大的粗砂, 拖行长度取小值; 值细中砂, 取大值。人工修整过的路面, 微观抗滑构造已被抹掉, 必须再拖麻袋处理, 以恢复微观抗滑构造。若想同时增强表面耐磨性, 滑模施工的水泥混凝土路面也可直接使用抹平板抹出的“鱼鳞”形细观抗滑构造。表面修整时, 不应使用钢抹刀, 可直接使用木抹刀抹出的粗糙砂浆表面。

(2) 宏观抗滑构造的滑模施工

①软作宏观抗滑构造 当滑模施工的水泥混凝土路面工程量大, 日施工进度超过 500m 时, 塑性拉槽宏观抗滑构造制作宜选用拉毛机械施工, 没有拉毛机时可采用人工拉槽方式。在混凝土表面泌水完毕 20~30min 内应及时地进行拉槽。拉槽深度应为 2~3mm, 槽宽 3~5mm, 槽间距 15~25mm。每耙之间衔接间距应保持一致。耙齿可用塑料, 也可用钢片或钢条制作。实践证明, 采用辊子制作抗滑槽, 容易沾砂浆, 外形不规矩, 齿板拉槽, 由于粗集料的顶托, 亦较难做好。国内外机械或人工拉槽均逐渐统一使用齿耙。

软作抗滑构造的优点是施工速度与滑模摊铺速度几乎同步, 施工速度快, 施工费用省。但也有明显的缺点: 一是软拉抗滑构造会使一些砂和小石翘起来, 影响平整度, 当通车 1 年后, 会自动磨掉, 总体动态平整度会提高 $\Delta\delta \approx 0.05$ 左右; 二是边缘不整齐, 宏观抗滑构造的槽口不可能是矩形, 往往是有损伤的倒台形, 这样的宏观抗滑构造的耐磨性显然较差; 三是构造深度不均匀, 拉槽时, 局部表面较湿砂浆多, 拉出的槽较深, 表面较干硬, 拉出的抗滑构造就很浅, 深浅不一, 构造不匀。

②硬刻宏观抗滑构造 湖北黄黄高速公路对滑模施工水泥混凝土路面表面耐磨性和抗滑性的研究表明,上述用拖麻袋片施工微观抗滑构造的方法,由于拖动了表面的砂粒,对表面砂浆结构有所破坏,因此,尽管细观抗滑构造满足要求,但耐磨性与不拖麻袋的表面相比损失 $1/3$,是最不耐磨的表面。他们采取两个措施来解决耐磨性与抗滑性之间的矛盾:一是不拖麻袋,直接使用自动抹平板抹出的“鱼鳞形”表面纹理;二是改用硬刻槽方式施工宏观抗滑构造。1999年以来,我国在云南、广西、山西、湖南、湖北等省的高速公路水泥混凝土路面滑模施工中,均采用了硬刻槽机的方法施工宏观抗滑构造,取得了提高平整度、增强耐磨性,同时保证了矩形规的宏观抗滑构造的效果。硬刻槽方式制作宏观抗滑构造,其几何尺寸与上条相同。硬刻槽重量宜重不宜轻,最小整刻宽度不小于 50cm ,硬刻槽宜在摊铺3天后开始,并应在两周内完成。

采用硬刻槽方式施工宏观抗滑构造的优点是外观规矩,槽口为矩形,槽深均一,且不影响路面平整度,在同一条路面上使用拉槽和硬刻槽对比检测表明,硬刻槽大约能够提高动态平整度 $\Delta\delta\approx 0.05$;其次是耐磨性较高。硬刻槽的缺点是施工费用高,效率低,使用的人工多 $5\sim 8$ 倍,刻槽机多,摊铺速度快时,10台刻槽机都跟不上滑模摊铺机的施工进度,锯片损耗多,锯片又较贵。目前我国高速公路水泥混凝土路面硬刻抗滑构造的施工费用在 $5\sim 8$ 元/ m^2 左右。对高速公路和一级公路而言,一般是能够接受的,但对二级以下公路,则难以接受这样高的造价,所以在我国二级以下公路水泥混凝土路面,以软拉抗滑构造居多。

4. 研磨后或旧表面的抗滑构造恢复

(1)新建水泥混凝土路面研磨后的抗滑构造的恢复

对摊铺平整度不佳已经硬化路表面的施工接头、停机部位、桥面、桥头搭板,局部经磨平达标(3m 平整度 $\leq 3\text{mm}$)后,应采用人工凿毛或喷砂法做出微观抗滑构造,宏观抗滑构造用硬刻槽机刻槽恢复。

(2)旧水泥混凝土路面的抗滑恢复

水泥混凝土路面经过几年的使用磨损,宏观、微观两级抗滑构造均有严重的衰减,为了保证高速公路和一级公路的抗滑安全性,应采用硬刻槽机刻槽恢复宏观抗滑构造,未磨损露粗集料或轻微露骨的路面,微观抗滑构造可视表面的横向力系数满足与否,决定是否用喷砂法恢复微观抗滑构造;严重露骨的路面,则可采用洗刨或加铺层解决恢复抗滑构造问题。

(二)滑模摊铺水泥混凝土路面的养生

1. 养生方式选择

混凝土路面及桥面板抗滑构造软拉制作完毕后应及时养生。滑模摊铺混凝土路面

及桥面施工规模大、速度快,宜采用喷洒两种两层养生剂或喷洒一层养生剂,再加盖塑料薄膜保湿的养生方式。在雨季或养生用水充足的情况下,也可采用覆盖砂、旧麻袋、草袋、草帘、稻草等洒水湿养生方式。因养生面积过大、过多,不宜使用围水养生方式,由于路面有横坡,围水养生难于全表面泡水。昼夜温差大的地区,路面摊铺后 3d 内应采取保温防裂措施。

2. 喷洒养生剂养生

滑模摊铺水泥混凝土路面宜采用喷洒养生剂及覆盖的方式养生。当采用喷洒养生剂方式养护时,喷洒养生剂的厚度应足以形成完全封闭的薄膜,喷洒应均匀,厚度一致,喷洒后的表面不得有颜色差异。喷洒剂量应根据试验确定,每层一般应喷洒 $\geq 300 \text{ mL/m}^2$ 的原液。单独采用一种养生剂养生时,保水率应达到 90% 以上。对保水率达不到此要求的养生剂,应再加盖塑料薄膜或喷两种两层养生剂,第一层宜用对表面有硬化作用的水玻璃养生剂,第二层可采用其它不易被水冲刷的养生剂。对易被雨水冲刷掉的对混凝土路面强度有影响的养生剂不得使用。养生剂喷洒时间应通过试验确定,必喷洒时间宜在表面混凝土泌水完毕后进行。喷洒高度视现场风力大小和喷头压力而定,一般宜控制 0.5 ~ 1m,有风取小值,无风取大值。当水泥混凝土路面泌水较多时,应延迟喷洒养生剂的时间,待泌水基本结束后再喷洒养生剂。除喷洒上表面时,面板两侧也应喷洒。

3. 盖塑料薄膜养生

采用加盖塑料薄膜的养生方式时,其厚度(韧度)要合适,宽度应大于覆盖面 60cm,以便压住薄膜。在两条薄膜对接时,对接长度应不小于 40cm,塑料薄膜在路面上应加细土或砂盖严实,防止挂烂及被风吹破或掀走。盖塑料薄膜的时间,以不压没微观抗滑构造为度。塑料薄膜覆盖养生的优点是保水彻底,费用较省,但易被风刮破,也宜被人揭走,应对处于养生期间的路面派专人巡查薄膜的覆盖情况。发现破损或掀掉的情况,及时进行覆盖。

4. 覆盖洒水湿养生

如用砂、旧麻袋、草袋、草帘、稻草等洒水湿养生时,要及时洒水,在任何气候条件下,均应保证覆盖物在养生期间始终处于潮湿状态,并由此确定每天洒水遍数。

5. 养生时间

应根据混凝土弯拉强度增长情况而定,养生时间以混凝土弯拉强度小于设计弯拉强度的 80% 为宜,一般宜为 14 ~ 21d,不得少于 14d。混凝土桥面的养生时间不得少于 21d,掺粉煤灰的水泥混凝土路面应加强湿养生,养生时间应不少于 28d。

6. 养生期保护

混凝土路面和桥面板在养生期间和填缝前,应禁止人、畜、车辆通行,在达到设计强

度的 40% ,撤除养生覆盖物后 ,方可允许行人通行。在确需行人、牲畜、畜力车、人力车、汽车横穿的平面道口 ,路面养生期间 ,应搭建临时便桥。

(三) 滑模摊铺水泥混凝土路面接缝技术

水泥混凝土刚性路面分缝是为了使荷载应力、疲劳应力、温差应力及干缩应力等导致的不规则自然断裂变为可控断裂和规则接缝。本世纪初西方国家最初的试验性水泥混凝土路面与后来的沥青路面一样也是不分缝的 ,结果其不规则自然断裂的尺寸与目前所设置的接缝基本一致 ,纵向 3 ~ 4.5m ,横向 4 ~ 6m。近年来 ,某些发达国家在一些沥青混凝土路面上与水泥混凝土路面一样也进行切缝灌缝 ,切缝长度 10 ~ 15m。

接缝不仅是水泥混凝土路面上最易损坏的部位 ,而且是发生唧泥、错台和断角等病害的根源 ,是水泥混凝土路面上的技术难点之一 ,可以说 ,水泥混凝土路面的接缝技术迄今为止仍是世界难题 ,必须引起高度重视。

下面主要根据《水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012 - 94)“八五”国家科技攻关课题 85 - 403 - 01 - 05 专题“高等级公路水泥混凝土路面接缝技术研究”的成果和近年来的滑模摊铺施工实践写作滑模摊铺水泥混凝土路面接缝技术这一节。其中的主要技术内容已经编进了《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》中。

1. 接缝分类及设置规定

滑模摊铺水泥混凝土路面接缝分横向接缝和纵向接缝两大类。纵缝又可分为纵向缩缝和纵向施工缝 ,横缝可分为横向缩缝、胀缝和横向施工缝。

(1) 纵向接缝设置

混凝土板的纵缝必须与路线中线平行。纵缝间距(即板宽)应根据摊铺机摊铺宽度、路面总宽、车道分隔线位置综合确定 ,其最大板宽不应超过 4.5m ;最小宽度不应小于 3.75m。间断钢筋混凝土路面、桥面、搭板最大宽度不宜超过 10 ~ 15m ;最大长度不宜超过 20 ~ 30m。连续钢筋混凝土路面的最大长度不宜超过 1000m。

纵缝设置拉杆时 ,拉杆采用螺纹钢筋 ,其直径和设置间距应符合《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012 - 94)的规定。

① 纵向缩缝

当摊铺宽度大于 4.5m 时 ,应设置纵向假缩缝。其构造采用假缝拉杆型 ,如图 4 - 4 - 39 所示。缩缝上部的槽口 ,应采用切缝法施工。

② 纵向施工缝

当摊铺机一次摊铺宽度小于路面宽度时 ,应设置纵向施工缝。其构造采用平缝加拉杆型 ,如图 4 - 4 - 40 所示。当板厚 $\geq 30\text{cm}$ 时 ,也可设计成榫卯形或波浪形。施工缝的拉杆 ,在前一幅摊铺时 ,用摊铺机的侧向拉杆插入装置插入。根据摊铺机打拉杆装置的

方式,插入时的拉杆或为直的或为“L”形的。在后一幅摊铺前,应扳直和校正前幅路面已插入的纵缝拉杆,并在侧壁上半部涂饱满沥青。

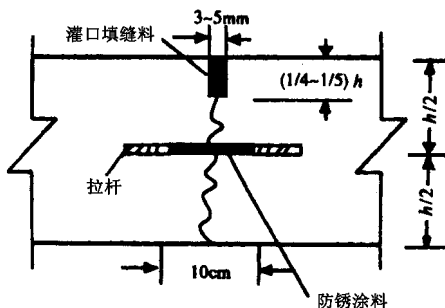


图 4-4-39 纵向缩缝构造

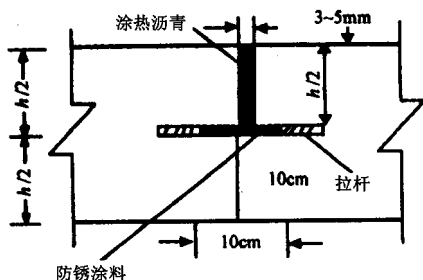


图 4-4-40 纵向施工缝构造

(2) 横向接缝

① 横向施工缝

每天摊铺结束或摊铺过程中因故中断摊铺,而中断时间超过初凝时间的 $2/3$ 时,必须设置横向施工缝。横向施工缝的位置宜与胀缝或缩缝设计相吻合。横向施工缝应与路面中心线垂直。横向施工缝构造采用平缝加传力杆型,如图 4-4-41 所示。横向施工缝应采用钢制焊接牢固的端头模板,每 1.5m 不少于 1 个钉钢钎的垂直固定孔。传力杆插入水平孔在端模上的间距 30cm ,内径 33mm ,边侧传力杆到自由边距离宜为 20cm ,每根传力杆必须在端头模板上离外侧插入孔 10cm 处焊接内径 33mm 、长度 5cm 的短钢管进行水平位置固定,如图 4-4-42 所示。

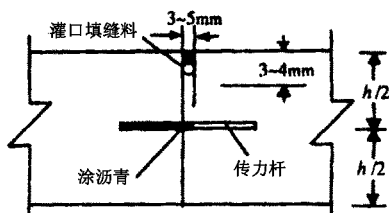


图 4-4-41 横向施工缝构造

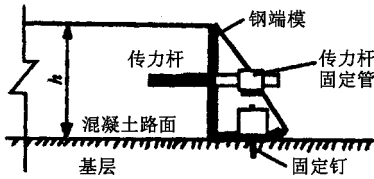


图 4-4-42 工作缝端模

② 胀缝

滑模混凝土路面的胀缝分为以下三类：

a. I 类胀缝

I 类胀缝是路面中间胀缝和离开桥头钢筋混凝土搭板之外的胀缝，I 类胀缝还包括与沥青路面连接处、变板厚处、纵曲线的凹点、小半径弯道曲线的渐变段与顺直段结合部、与隧道相接部位的胀缝。

中间胀缝设置间距视施工季节的气温确定，夏季热天施工，宜不设中间胀缝；春秋季节施工，宜在两个构造物间距不小于 500m 时，在构造物之间的路面中间设置；冬季低湿施工，宜在两个构造物间距不小于 350m 时，在构造物之间的路面中间位置设一道 I 类胀缝。此外，在与沥青路面连接处、变板厚处、纵曲线的凹点、小半径弯道曲线的渐变段与顺直段结合部、与隧道相接部位应设置 I 类胀缝。

I 类胀缝构造采用加强钢筋支架加传力杆型，加强钢筋支架一侧的宽度应不小于 50cm，总宽度不小于 102cm。支架环箍钢筋直径 12~16mm，间距 20cm，胀缝钢筋支架、传力杆及胀缝板的详细构造如图 4-4-43 所示。胀缝板应与路面中心线垂直，缝壁垂直，缝隙宽度一致，缝中完全不连浆。

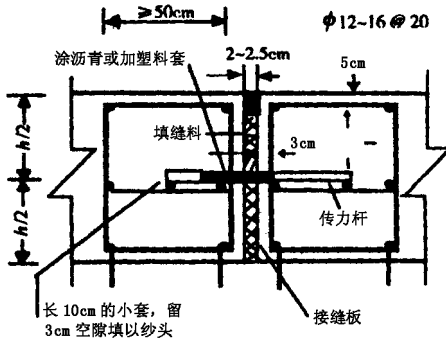


图 4-4-43 I 类胀缝构造

b. II 类胀缝

II 类胀缝为路面与桥头双层钢筋混凝土搭板之间的胀缝，其加强钢筋支架的钢筋网

一侧应与其相焊接,每米不少于 3 个焊接点。也可在双层钢筋混凝土搭板一侧取消胀缝支架,直接焊接在双层钢筋网上。Ⅱ类胀缝构造如图 4-4-4 所示。

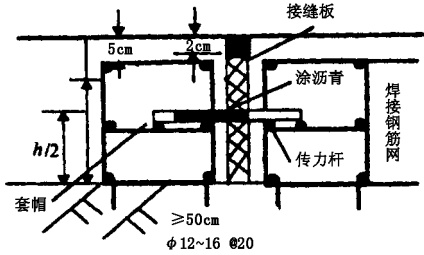


图 4-4-44 Ⅱ类胀缝传力杆安装图

c. Ⅲ类胀缝

Ⅲ类胀缝为桥背上部桥面板与搭板之间的隔离伸缩缝,其中无传力杆,中间胀缝板和表面填缝料与其它胀缝相同。当梁跨 $> 10\text{m}$,宜设桥梁伸缩缝;梁跨 $\leq 10\text{m}$,设槽钢或角钢焊接加强胀缝上边缘,两侧钢筋网均应与槽钢和锚固钢筋相焊接,焊接点不少于每米 4 个。搭板与桥背之间除设锚固钢筋并戴套帽保证转动外,应垫双层沥青油毡。Ⅲ类胀缝细部构造如图 4-4-45 所示。

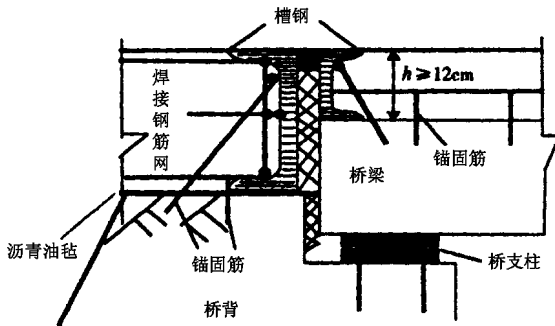


图 4-4-45 桥台上部钢筋混凝土桥面与搭板之间加强Ⅲ胀缝

这些胀缝的规定及分类,与现行《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012-94)全然不同。胀缝的三类区分是必要的,由于其钢筋细部的结构完全不同,Ⅰ类是孤立或称中间胀缝;Ⅱ类是路面连接搭板双层钢筋网的胀缝;Ⅲ类是桥背上的胀缝。与设计规范中最大的不同有两点,一是Ⅰ、Ⅱ类胀缝板两侧设环形加强箍筋。胀缝结构的有限元研究计算表明(详见下面的胀缝研究),水泥混凝土路面胀缝很容易早期破坏的重要原因之一是在胀缝板两侧 $30 \sim 40\text{cm}$ 范围内的温度应力及车载拉应力已经超过了混凝土的抗拉强度,因此必须加强,而且所有混凝土路面无论施工方式为哪种,均应按此设置加强胀缝支

架,胀缝在使用中的内应力与施工方式无关,抵抗能力的大小与不同施工方式得到的抗拉强度有关。它同时满足滑模连续施工过胀缝的工艺构造要求。二是Ⅲ类桥背上部胀缝处在上下全部刚性结构上,是遭受冲击力最大的部位,因此,是高速公路上破坏得最多最快,返修也最多的接缝,大部分使用完好期不到一年。因此,疏忽不得,在高速公路10倍于一般公路上的巨大破坏冲击能量的作用下,任何部位稍有不慎,都会带来问题。有鉴于此,本书建议在跨度大于10m的梁,该部位设置伸缩缝以外,跨度不大于10m,也用角钢或槽钢焊接加强,并填筑C40级钢纤维混凝土。

前置法施工时,锚固钢钎的数量及刚度视基层刚度而定,以摊铺时支架不推移,胀缝板不弯曲不倾斜为度。

为保证滑模摊铺混凝土路面的施工质量和摊铺的连续性,所有三类胀缝均宜采用前置法施工。Ⅰ类胀缝要预先加工好钢筋支架,传力杆无沥青涂层的一端焊接在支架上,接缝板夹在两支架之间。施工前运至现场,无布料机(件)时,待摊铺至胀缝位置前方1~2m处,将支架准确定位,用钢钎将支架与胀缝板锚固在基层上,然后卸料或布料,滑模机摊铺通过;有布料机(件)时,应将带传力杆的缩缝支架和胀缝支架提前安装好,采用侧向上料方式施工。Ⅱ、Ⅲ类胀缝,在滑模连续铺装搭板和桥面前,与钢筋网同时加工安装好。Ⅰ、Ⅱ类胀缝应不待混凝土硬化,剔除胀缝板上部的混凝土,嵌入2cm×2cm的木条,修整好表面。在填缝之前,凿去接缝板顶部的木条,涂粘结剂后,嵌入多孔橡胶条。桥背上Ⅲ类胀缝与桥梁伸缩缝在铺装后应软挖掉混凝土,安装焊接胀缝加强槽钢或角钢,伸缩缝制做完毕后,再浇筑C40级钢纤维混凝土,钢纤维掺量在60~100kg/m³。全部三类胀缝板的横向长度,应连续做到硬路肩外边缘。

③ 横向缩缝

缩缝应等间距布置,一般采用5m板长,当面板设计厚度受到投资限制,明显不足时,可采用4.5m的等长缩缝采减小应力,抵抗重型交通量和超重载破坏。1/6斜缩缝实践证明易断角,不宜采用。不等间距的缩缝,短板应力小,长板应力大,长板比短板容易断板,而且不同板长的使用寿命相差较大,长板寿命短,短板寿命长。在构造物外,除非非调整板长不可,不宜采用不等间距缩缝。当不得不调整板长时,最大板长应≤5.5m,最小板长不宜小于板宽。当板长小于板宽时,路面设计上采用的最不利荷载位置将由纵横边缘改变到横缝边缘,设计计算应力因失真而无效。在路面上的平面交叉口横向变宽度处的缩缝,不得已,可以设计和切割成小转角的折线,但转角必须在有拉杆的纵缝处,缩缝切口应缝对缝。否则,因拉杆传递变形,很容易发生断角和断板。在硬路肩上的搭板锐角处,可以不设(双层)钢筋网,但应设角隅钢筋补强。

除有特殊要求外,横向缩缝宜采用假缝型,不设传力杆,如图4-4-46a所示。

在邻近胀缝、路面自由端的 3 条缩缝内,横向缩缝采用假缝加传力杆型。如图 4-4-46b)所示。采用缩缝钢筋支架固定传力杆。

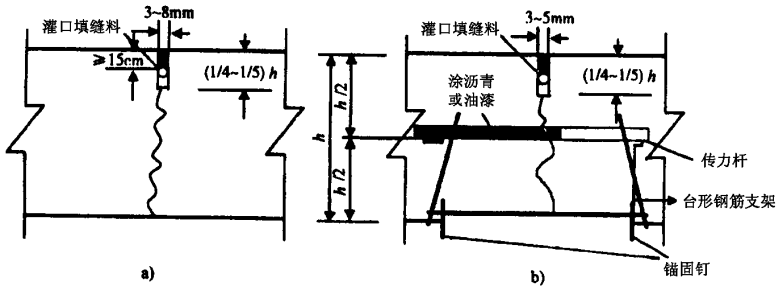


图 4-4-46 横向缩缝构造

a)假缝型 b)假缝加传力杆型

在超重载或特重交通量的水泥混凝土路面上或渠化交通严重的收费站广场,应设计成所有缩缝均插传力杆的素混凝土路面或钢筋混凝土路面。假缝加传力杆型缩缝的施工,可用摊铺机配备的传力杆自动插入装置 DBI 在摊铺时插入传力杆,或使用钢筋定位支架前置法施工方式。所有缩缝带传力杆的水泥混凝土路面上每条缩缝传力杆支架的结构和构造与图 4-4-46b)相同,支架必须有足够的刚度,支架钢筋直径一不小于 8mm,并于摊铺之前用钢钎将其锚固在基层上。钢筋混凝土路面的滑模施工,参照桥头搭板和桥面钢筋混凝土的施工方法。无论采用哪种方式,都应在路侧作缩缝切割位置记号,保证切缝在传力杆中间以上。

④传力杆胀缝板设置精度与固定

胀缝、施工缝和加传力杆和缩缝中的传力杆设置精度,结合国外施工规范和我们的研究,提出应符合表 4-4-32 的要求。若传力杆设置安装精度不足,当板在胀缩时,半年内,将由传力杆顶坏接缝。前置法施工时,钢筋支架的锚固钢钎,直径应不小于 10mm,长度不小于 15cm,锚固钢钎的数量及刚度视基层刚度而定,以摊铺时支架不推移、不弯曲、不倾斜为度。一般情况下,固定胀缝和缩缝钢筋支架的钢钎,每米每侧不少于 2 根,打入基层的深度不小于 5cm。为了防止胀缝板倾斜、位移,胀缝板应采用长钢钎固定,直径不小于 12mm,长度与路面厚度相同或略长(25cm 厚路面胀缝板高度 20cm,钉入基层深度 5cm)。

表 4-4-32 传力杆及胀缝板安装精度技术要求

| 项 目 | 技术要求(mm) | 备 注 |
|---------------|----------|----------|
| 传力杆端上下左右偏斜误差 | ≤10 | 在传力杆两端测量 |
| 传力杆在板中心上下左右误差 | ≤20 | 以板面为基准测量 |

| 项 目 | 技术要求(mm) | 备 注 |
|--------------|------------|---------|
| 传力杆沿路面纵向前后偏位 | ≤30 | 以缝中心线为准 |
| 胀缝板倾斜误差 | ≤20 | 以板底为准 |
| 胀缝板的弯曲和位移误差 | ≤5 | 以缝中心线为准 |

注:胀缝板不允许混凝土连浆,必须完全隔断。

这一条现行施工规范中没有规定,但确是水泥混凝土路面施工中必需控制项目。胀缝快速破坏的原因有两个:一是拉应力超过混凝土的抗拉强度;二是传力杆设置精度不够。通过钢筋支架加强和严格控制传力杆设置精度,可将达到设置好胀缝、工作缝,经久耐用,不发生早期破坏之目的。

(3)切缝施工

目前混凝土路面切缝技术有很大进展,有软切缝机、普通切缝机、支架切缝机等。切缝方法也有硬切缝和软切缝两种。下面提出切缝施工的技术要求。

①对缩缝、施工缝上部的槽口,应采用切缝法施工。当混凝土达到设计强度 25% ~ 30%时,采用硬切缝机切割。滑模混凝土路面宜采用支架式硬切缝机以保证切缝顺直度和速度。横向缩缝硬切缝的时间,在任何情况下,不得大于 24h。气温突变时,应适当提早切缝时间,防止产生不规则裂缝或断板。

②为防止断板,视施工时白天和夜晚温差、板内温度应力大小和混凝土板抗拉强度的发展情况,采用适宜的横缝切缝方式。可参照表 4-4-33 选择。纵向缩缝可全部硬切缝,最长时间不得超过 48h。

表 4-4-33 施工气温与防止断板应采用的切缝技术

| 昼夜温差(℃) | 切缝方工 | 缩缝切深 |
|---------|-------------------------------|--|
| < 10 | 以 200 度时控制硬切缝,最长时间不得超过 24h | 硬切缝 1/4 ~ 1/5 板厚 |
| 10 ~ 15 | 每隔 1 ~ 2 条提前软切缝,其余用硬切缝补切,软硬结合 | 软切深度 4 ~ 5cm,补深 1/4 板厚(已断开的缝可不补切)缝深不小于 6cm |
| > 15 | 宜全部采用软切缝 | 软切缝深不小于 5cm |

注:注意降雨后刮风引起的路面温度骤然变化,面板表面温差在表中规定范围内,亦应按表中的方法,提前切缝。

分前后幅摊铺时,对铺好的混凝土板沿切缝已断裂的地方,应做上记号。后幅切缝时,已断开的缩缝应提前先软切缝。软切缝时间为混凝土摊铺后,人能在其上面行走,抗压强度约为 5 ~ 1.0MPa 为宜。

这些切缝要求将极大地减少水泥混凝土路面的施工期断板。实践已经证明,按此要求严加控制,可以将断板率控制在 1%以内。

无论采取什么切缝施工方式,普通水泥混凝土路面的接缝技术是水泥混凝土路面设

计、施工和运营管理中的关键技术难点,并被一些水泥混凝土路面专家称为“世界难题”。可见此项技术的重要性和难度。在滑模摊铺水泥混凝土路面施工技术中亦不例外。在国家“八五”科技攻关课题《滑模摊铺水泥混凝土路面修筑成套技术》的研究中,专门设了“高等级公路水泥混凝土路面接缝技术”研究专题(85-403-01-05),针对性地对适宜滑模机械施工的水泥混凝土路面接缝技术进行了较系统地研究。本文介绍了这项研究中获得的一些重要研究成果,特别强调了那些与现行水泥混凝土路面设计与施工规范不同的内容,以便使滑模、轨道及人工施工的水泥混凝土路面接缝的设计和施工,能够建立在最新科技成果的基础上,其目的是提高水泥混凝土路面接缝的质量和使用寿命。

2. 混凝土路面的胀缝研究

(1) 胀缝的其它结构形式

滑模摊铺水泥混凝土路面采用预制钢筋支架的形式如前所述。在高等级公路的Ⅰ、Ⅱ两类胀缝结构的下部,为了加强荷载传递,均可设置混凝土枕梁,见设计规范。同时,为了防止在使用过程中的推挤隆起,应在枕梁和面板之间设置锚固钢筋拉住向上的推移。只有这样才能保证设枕梁胀缝结构的使用性能。

不少地方制作的隔离缝,中间不是夹 $2 \sim 2.5\text{cm}$ 的胀缝板,而是将间距加大到 $20 \sim 30\text{cm}$,中间灌沥青混凝土,这种做法每年都要对沥青混凝土进行修补,而且平整度受到很大影响,在高等级公路上是不能使用的。

需要指出的是:由于设计规范在叙述边缘钢筋补强和枕梁加厚边型胀缝构造时,一侧图上画的是建筑物,致使很多人误解,以为桥头搭板与桥面板之间的一条隔离缝(Ⅲ类胀缝)就是路面胀缝。结果在路面和桥头搭板之间未设胀缝。某高速公路这样作的后果是使用一年后,搭板被水泥混凝土路面膨胀顶推,搭板比钢筋混凝土桥面板高出 $5 \sim 8\text{cm}$,隔离缝两侧全部破坏。不得不重新制作隔离缝和胀缝。

路上的胀缝可以作成带枕梁的胀缝,一般公路胀缝可设计成为 $20 \sim 30\text{cm}$ 的隔离缝形式,但桥头搭板和桥面板之间的Ⅲ类胀缝与路面胀缝不同,它是隔离缝,严格讲,属于桥梁工程部分,它们与其下部结构必须有钢筋锚固。桥头搭板与水泥混凝土路面之间的一侧连续两条胀缝是不可缺少的,水泥混凝土路面一侧的3条带传力杆的缩缝也不得缺少,这一点在设计和施工中应该澄清,不能混淆。

(2) 胀缝间距的确定

胀缝是水泥混凝土路面上最容易被破坏的一种接缝。从防止胀缝破坏的观点出发,胀缝宜尽可能少设,但又不能不设,因为在不少水泥混凝土路面上,夏季热天水泥混凝土路面会隆起,有的甚至会压爆。现行设计规范上只讲尽量少设,但是没有明确的间距要求。这样就给胀缝的设计和施工带来了不确定因素。在实际水泥混凝土路面工程中,

许多设计和施工技术人员对“尽可能少设”始终把握不确切,而且,个人的理解有相当差异。

从理论上讲,胀缝的设置间距主要应从混凝土板的年温差、混凝土的温度系数、基层的约束情况及缩缝密合情况等综合确定。在前一版本的水泥混凝土路面设计规范中,没有考虑基层的约束,仅通过混凝土板的温度系数和年温差计算得到的胀缝间距是200m。我们的计算也证明如此。但是混凝土路面板是受到基层约束的,并非自由伸缩板。无疑,胀缝间距在计算中应当考虑基层对面板的摩阻约束及每条缩缝的密合作用。任何有水泥混凝土路面施工经验的技术人员都认为200m胀缝间距显然是不妥当的。

如果考虑基层与面板间的摩阻力,正确的方法是对不同种类的基层和粗集料类型的混凝土路面板,在层间设检测面板变形和推移量的传感器,通过多年的观测确定摩阻力的大小及每条缩缝的密合情况。国外有人做过这方面的研究,但这种观测的难度较大,而且具有很大的地域性差别。另一种方法是设置不同胀缝间距路面,通过大量观察来解决这个问题,我们采用了后者,虽然这样得出的结果是经验性的,但也很实用,能够解决问题。

在滑模机械施工的条件下,宜采用尽可能大的胀缝间距。并应采用前置支架法设置胀缝。

对照美国各州的规范,在滑模摊铺水泥混凝土路面上,除了在构造物处外,其它均不设胀缝,最大的胀缝间距超过数英里。美国这样设置胀缝,有一个基本前提,那就是在缩缝可自由胀缩的条件下,待水泥混凝土路面整体膨胀推移起来之前,每条缩缝都有分担膨胀量的作用。这只有在全封闭、全密封的车辆运营、路面很干净条件下才能做到,在我国货运车辆车厢板敞开运输的条件下,我们不具备全面取消胀缝的条件。

通过我们对我国河北、山东、新疆、湖南、福建和广东等省区的滑模摊铺水泥混凝土路面不同胀缝间距的多年观察,在水泥稳定砂砾、碎石基层上的水泥混凝土路面的胀缝间距可以放大到500~1000m。多年的工程实践表明:冬季施工,胀缝间距350m比较适宜;春、秋两季节施工,胀缝间距宜设到500m一条;夏季热天施工(日平均气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$),可将胀缝间距放长到1000m(因为来年的混凝土路面板的最高温度与施工时基本相同,不可能有过大的膨胀量)。在这种条件下,1000m胀缝间距同时考虑了使用不隆起、不爆裂的使用安全性。我国不少地方,夏季热天施工时,无论多长的路面均不设胀缝。这种作法实践证明也是可行的,但使用安全性没有考虑。无论是1000m设1条胀缝还是无论距离长短,热天均不设胀缝,桥头、隧道口、变板厚处、与沥青路面相接处、弯道及平、竖曲线处均应按现行设计规范设置胀缝。特别是在竖曲线的凹点,由于面板本身重力和行车离心力的作用,推挤力本来就很大,一定要设置胀缝。

按照本文提出的胀缝间距设计胀缝数量,大约可以按以前设计规范设计时减少 $1/2 \sim 2/3$ 的胀缝数量。这样在保障胀缝使用完好的前提下,大大提高了滑模摊铺水泥混凝土路面的施工速度,同时亦贯彻了胀缝尽可能少设的原则。

(3) 胀缝部位的应力分析及加强

在胀缝数量大大减少的情况下,有限的胀缝必须尽可能做好,少发生破坏。为了达到这个目的;“高等级公路水泥混凝土路面接缝技术研究”85-403-01-05 专题组专门对胀缝的应力状态进行了有限元力学分析计算,使用的计算简图如图 4-4-47 所示。

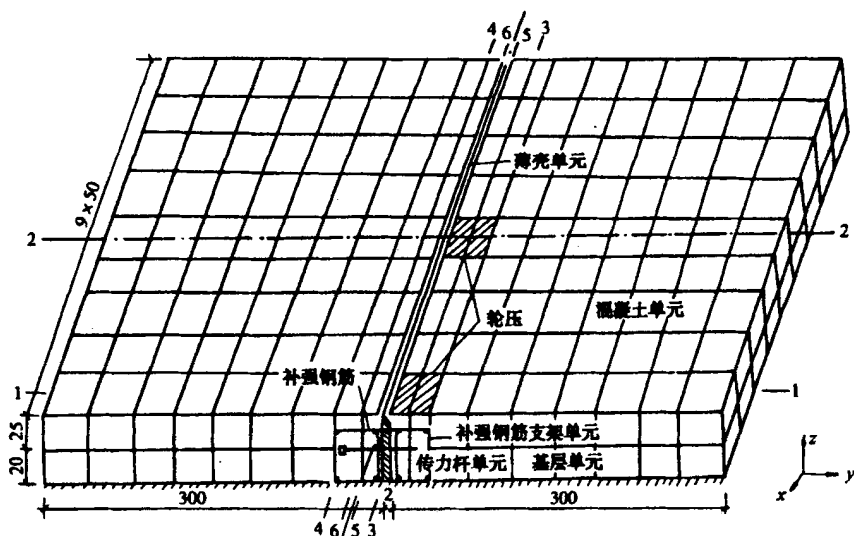


图 4-4-47 有限元空间计算模型示意图(尺寸单位 cm)

分析研究的结论是:

①在标准汽车荷载作用下,胀缝结构各构件均属安全,只有当汽车荷载达到 3 倍以上时,传力杆钢筋开始屈服并失效。

我国胀缝传力杆是按其弯曲屈服强度作为设计准则的,而美国是按混凝土不能承受的传力杆的弯曲变形量作为失效标准,所以,国外的传力杆比我国大得多,直径为 35~40mm,长度比我国采用的短,仅 30~40cm 左右。在我国超载车多的水泥混凝土路面上加大传力杆的直径似有必要。在现行设计规范中,规定板厚在 26~30cm 的路面上,传力杆直径 30mm,长度 50cm。

②降温作用对胀缝结构不利,是控制胀缝结构正常使用的关键因素之一。当施工时温度 25℃,冬季降低到 -40℃,即总温差 65℃,胀缝内间距增大,两侧混凝土板双向弯曲呈凹形,在胀缝两侧混凝土板底 30~40cm 范围,最大拉应力 4.42MPa,超过 30 混凝土极限抗拉强度 3.2MPa,会造成板底开裂;如果降温加上标准车轴载共同作用,在胀缝两侧

混凝土板底 30~40cm 范围,最大拉应力 46.4MPa,在这种条件下,不仅是造成板底开裂,还会导致裂缝穿顶。造胀缝结构的破坏。注意在此项计算中,未考虑车辆超载和疲劳应力。因此,建议在胀缝两侧 30~40cm 范围内板底设防裂补强钢筋网。

③在升温情况下,当施工温度 -15℃,实测混凝土路面板温度为 55℃,总温升 70℃。胀缝内间距缩小,两侧混凝土板双向弯曲呈凸形,在胀缝两侧板顶 20~30cm 范围受拉,最大拉应力 1.763MPa,当标准车轴载与升温共同作用,胀缝两侧 20~30cm 范围,板顶最大拉应力为 3.913MPa,也超过 C30 混凝土的极限抗拉强度 3.2MPa,将造成顶面开裂,(同样未考虑车辆超载和疲劳),建议在胀缝两侧 20~30cm 范围内混凝土路面板上缘设置防裂钢筋网补强。

上述高低温两项计算中,降温 65℃,升温 70℃,在我国不少地方很常见。如施工温度 30℃,冬季最低气温 -25℃,或施工温度 10℃,夏季中午路面最高温度 60℃,叠加标准车轴载,同时考虑胀缝的动荷载系数 1.08~1.15,再考虑超载因素,计算分析条件在我国大多数地区,为水泥混凝土路面运营中的常见情况。因此,该项研究的计算分析结果是可信的,能够作为胀缝用钢筋支架加强的内应力分析依据。

由此项研究得出结论,在我国大多数地区,对水泥混凝土路面的胀缝结构有必要进行钢筋支架网格加强,至少应在胀缝两侧 30~40cm 范围内用钢筋网补强,考虑该计算未考虑超载因素和疲劳应力,为安全起见,补强钢筋的范围应为两侧各不小于 50cm,以防止胀缝两侧混凝土面板由于拉应力在使用过程中超限,造成开裂,进而导致形成破碎条带而完全破坏。这是保持胀缝良好使用的设计保证,根据此项研究改进后的前置式胀缝钢筋补强支架见图 4-4-43。其中,从加强的抗拉应力方向来看,补强钢筋支架的箍筋最重要,要求箍筋直径不小于 12mm,箍筋间距不大于 20cm。

从应力分析可知,必须加密胀缝支架的箍筋间距并保证强度,这个要求尽管在我国现行水泥混凝土路面设计中是没有的,但仍是必要的。如果要提高混凝土路面胀缝的运行质量和使用完好率,建议我国所有施工方式施工的(包括滑模摊铺)水泥混凝土路面均应参照此项研究进行胀缝的合理应力设计和箍筋加强。要知道,胀缝的应力状态并不取决于施工方式。当然,滑模摊铺水泥混凝土路面除了应力的要求外,还有施工工艺的要求。

(4) 胀缝的滑模施工方法

滑模摊铺水泥混凝土路面的胀缝施工,目前国内外均采用预制胀缝支架(包括钢筋混凝土路面施工),即将胀缝板、传力杆、传力杆帽及补强钢筋网构造成完整的胀缝支架组件,施工时牢固安装在胀缝位置,令滑模摊铺机连续摊铺通过,我们称为“前置式胀缝支架施工方法”。滑模摊铺时,有三点要特别注意:一是胀缝支架固定要牢固,不允许被

滑模摊铺机强大的挤压力推挤移动、变形、弯曲和倾斜；二是振捣棒的最低位置应高于胀缝板的顶面，不得拖斜胀缝板或将振捣棒挂坏；三是胀缝板的位置应严格标记，便于施工软嵌其上部的木条时（木条是施工临时填缝及控制胀缝填缝料宽度的措施），扒出胀缝板。

用叠合双锯片切出胀缝上部，剔除胀缝内混凝土，胀缝填缝材料的施工方法目前已经不再使用，其原因是：施工单位往往没有双锯片切缝机，同时，在胀缝板有少量变形（经常不可避免）情况下，胀缝板与填缝槽对中不好，槽宽不均一，无法固定安装胀缝多孔橡胶条。最为严重的是：等到可以硬切胀缝上部时，由于混凝土的收缩，加上胀缝板的隔离，上部早已断开，自由断开的胀缝上部弯弯曲曲，弯曲宽度已大大超过胀缝上部填缝宽度，即便使用双锯片切割，缝边也是缝。改进的施工方法是滑模摊铺机通过后，即刻将胀缝板上部的混凝土剔除，对中夹上3~4cm高，2cm宽的木条，顶面与路面持平，用人工捣实并抹平混凝土路面的胀缝部位，夹木条软做胀缝板上部。等到胀缝填缝时，再将夹入的木条剔出，填缝。这种施工的好处是：在施工条件下，路面上可以通行施工运输车辆，而对胀缝无影响；同时，胀缝槽的宽度均一，缝壁无损坏，可顺利完美地夹入胀缝多孔嵌缝条，保证其使用性能。

①前置式胀缝支架的胀缝施工方法的优点如下：

a. 适应滑模摊铺机连续施工，从而保证了胀缝部位的平整度和强度，胀缝槽口外形规矩，便于后续填缝。

b. 前置法施工要求配置固定传力杆和胀缝板的钢筋固定支架，只要固定的钢筋支架满足上述应力分析的补强钢筋网尺寸要求，就是一举两得，既满足了施工固定的构造要求，又实现了胀缝应力分析对两侧混凝土应力补强的要求。

②前置法胀缝施工的不足：

a. 在没有布料机的情况下，要等到滑模摊铺机基本到达胀缝位置，才能安装胀缝支架组件，否则将阻碍混凝土卸料，这就势必影响滑模摊铺机施工作业的速度和进度。在有布料机或布料机械情况下，提前固定胀缝支架，可克服此不足，加快摊铺速度。

b. 由于安装时间紧迫，往往安装刚度不足，固定不牢。有可能在滑模摊铺机施工通过时，造成胀缝板被挤压前倾，严重时会造成支架局部推移、弯曲，在摊铺路面侧边找不到胀缝的位置，给后续施工带来困难。为了防止胀缝板倾斜及胀缝钢筋支架移位，必须加强胀缝支架及胀缝板的固定工作，不仅胀缝钢筋支架要求严格固定，防止发生推移和弯曲，而且胀缝板也要求用较长钢钎固定，使其在滑模摊铺时不倾斜。施工实践证明，胀缝板固定每侧应不少于每米1根长钢钎，胀缝钢筋支架每侧每米不少于1根钢钎。钢钎打入基层的深度不小于5cm，并保证传力杆及胀缝板的安装精度。

(5) 传力杆及胀缝板安装精度

对胀缝、工作缝和缩缝中的传力杆安装精度,我国现行水泥混凝土路面施工规范没有提出控制技术要求,施工、监理均没有依据对其进行检验。通过大量工程实践,一般认为,胀缝容易破坏的原因有两个:一方面,在我国不少气候严酷的地区,超载车辆较多的混凝土路面上,胀缝两侧一定范围内拉应力超过混凝土的抗拉强度;另一方面,在我国一些气候较温和的地区,胀缝破坏的主要原因是传力杆安装精度过低造成的,传力杆七上八下,左偏右斜,当面板伸缩时,传力杆端部将混凝土顶坏而过早破碎。

由此,研究认为:从施工质量控制的角度看,必须对胀缝、工作缝和缩缝中的传力杆及胀缝板的安装精度提出定量技术指标要求,参照美国及其它国家的施工规范,提出的具体要求见表 4-4-32,这样就使业主、监理和承包商有了胀缝和传力杆质量控制的依据。

严格按表 4-4-32 的技术指标要求安装胀缝板以及横同工作缝、缩缝中的传力杆,是从施工上保障这些接缝具有良好运营性能的基本条件。要知道,设计得再好的接缝(包括桥梁伸缩缝),当安装精度达不到要求时,在使用过程中的破坏在所难免。

3. 混凝土路面缩缝研究

(1) 缩缝间距

水泥混凝土路面横向缩缝有等间距缩缝、不等间距缩缝和斜缩缝各种形式。水泥混凝土路面一般情况下,按现行规范的设计计算,应均匀布置缩缝,间距 5m,但是在桥涵部位不得不调整缩缝间距时,也可布置成不等间距的缩缝。

国际上,有的国家为了减少对车辆的共振,将缩缝有意布置成不等间距:5.6m、4.9m、5.3m、4.5m 或 4.0m、5.8m、5.5m、3.7m 重复设置。在调整缩缝布置成不等间距的缩缝时,任何情况下,最大不超过 6m,因间距大于 6m 时,反算混凝土设计抗折强度将超限;间距最小不应小于板宽。这种不等间距的缩缝布置形式不推荐在我国水泥混凝土路面中采用,显然,短板弯拉应力小,而长板弯拉应力大,在长期使用过程中,长板行断裂,短板后断裂破坏,按照疲劳理论不同长度面板使用不到同样的使用年限。

为了减少车辆的同时振动问题,国外也有布置斜缩缝的做法,在板长 5m 的相同条件下,允许斜缩缝的斜度为 1/6。通过我们 1991 年所做的高碑店试验路的多年连续观察,采用斜缩缝应慎重。因为锐角不设角隅钢筋时,比直角更容易断角,8 年之内的断角已有 1/5,大小不等,以后还将发展。

在某些高等级公路上,由于所采用的水泥稳定砂砾基层的强度偏高,加上温度骤降,基层甚至连路基已经形成了横向贯穿裂缝。在路面半幅摊铺的条件下,由于已开裂基层对路面拉力过大,一般会将刚施工完成、强度较低的混凝土路面板拉裂,此时,宜采用软

切缝机对应切缝,然后适当调整其余面板的长度,防止产生对应断板。或对基层横向裂缝进行贴油毛毡处理后,再摊铺路面。

在弯道或弯道上的桥涵附近,必须布置斜缩缝时,必须设角隅钢筋进行补强。

我国不少高速公路水泥混凝土路面在建成通车 2~3 年就产生了明显的错台,这主要是因为大量重载交通荷载条件下,基层强度、耐冲刷性和稳定性不足造成的。为了防止错台,在不能强化基层时,宜在大交通量的重载高速公路水泥混凝土路面的所有缩缝中,设计传力杆,在大型滑模摊铺机上,配备有自动插入传力杆的机械手(DBI)选购件,可以精确完成每条缩缝传力杆的插入工作。

上述的缩缝尺寸设计要求仅针对素水泥混凝土路面,对各种配筋混凝土路面而言,缩缝长度等尺寸完全不同,例如,间断钢筋混凝土路面缩缝间距可为 10~20m,连续钢筋混凝土路面根据施工能力等缩缝间距可设计到 200~500m,最长可达 1000m。即使在普通水泥混凝土路面上,桥头双层钢筋混凝土搭板其宽度和长度也与素混凝土路面不同,这有两种情况:一是设计成连续双层钢筋混凝土搭板,宽度与滑模摊铺机施工宽度等宽,中间不切纵向缩缝,为了有效控制桥头跳车现象,其长度应大于路面缩缝长度,最短边应 $\geq 10\text{m}$;二是双层钢筋混凝土搭板设计成与路面缩缝间距相同,整体摊铺的宽度内不切纵缝,长度 5m,但要在搭板与路面连接处设计一块不小于 5m 长的单层钢筋混凝土过渡路面板。双层钢筋混凝土搭板与单层钢筋混凝土路面板之间设拉杆并切缝,单层钢筋混凝土路面与水泥混凝土路面板之间设计 2 条胀缝和 3 条加传力杆的缩缝。在滑模摊铺水泥混凝土路面上,后者施工时的钢筋网绑扎方式有两种,施工较复杂。使用证明其防止桥头跳车效果相对较差,建议在高等级公路上采用第一种长搭板方式。搭板一端有锚固钢筋搭桥台台帽上;另一端,有的地方在搭板下设计了枕梁。枕梁下多设计旋喷桩,以加强支撑能力。在有枕梁的条件下,搭板在使用过程中,随着路基下沉,有可能完全脱空,这时,应按薄板梁设计计算配筋量。同时,使用中应经常检查脱空情况,及时灌浆,防止断板。

(2) 缩缝施工

素水泥混凝土路面横同缩缝有带与不带传力杆两种,缩缝的切割方式有普通(硬)切缝方法和软切缝法等。

① 缩缝传力杆的插入方式

a. 前置预制支架法

在水泥混凝土路面纵横曲线弯道、接近桥头、涵洞等构造物处,凡是设置了胀缝的路面前后侧,都要求在 3 条缩缝内设置传力杆。缩缝中传力杆不戴套帽,一侧要涂沥青、油漆等润滑剂,平面上涂沥青与不涂的要交错设置,中间没有胀缝板。钢筋支架传力杆的

安装精度应与加强胀缝支架要求相同。

滑模施工时,先将缩缝支架固定在基层上,令滑模摊铺机连续摊铺过去。滑模摊铺时,要注意振捣棒的最低位置应高于支架箍筋的上部,目的是既不挂损振捣棒,又不推移传力杆支架。同时,应在路侧精确标出支架的切缝中心位置,不得错位。

b. 滑模摊铺机自动传力杆插入机械装置

滑模摊铺机配置自动传力杆插入机械装置(DWI)在国外主要用于全部缩缝都要求插传力杆的重载大交通量的高等级公路上。我国尚未使用。预计在2000年施工的河北宣大重交通高速公路上,采用全部缩缝由滑模摊铺机的DWI插入传力杆的施工方法。DWI的购置价格较高,大约需要120万元;DBI的使用与混凝土坍落度大小有关,大于4cm坍落度时,传力杆因自重容易产生偏斜,所以在使用美国生产的较大坍落度的滑模摊铺机上要慎重,在美国一些州的规范中是不允许采用的。我国没有经验,需要通过工程实验,证明其使用效果。

c. 人工辅助的传力杆插入工具

鉴于DWI的成本高,欧洲一些国家如法国等在全国缩缝插入传力杆的水泥混凝土路面上使用了一种简易的人工插入装置。据介绍使用效果不错,在没有条件购置DWI时,可以加工采用这种装置。但作者较担心,人工辅助机具插入传力杆后,破坏了滑模摊铺机施工好路面的优异平整度,插入传力杆的上部,已经插坏,仍需要人工振捣抹面,其次,软混凝土再振捣肯定有些下沉,对路面平整度可能有较大的影响。到底影响有多大?能否在高等级公路上采用?还有待试用效果来回答,鉴于其缺点较明显,没有试验成功之前,暂不采用为宜。

② 缩缝施工的普通(硬)切缝技术

在水泥混凝土路面上施工缩缝的技术有三种:硬切缝、软切缝和软作缝。软作缝不仅对平整度影响大,而且缩缝深度、宽度和顺直度均不及切缝,所以,此方法在高等级公路水泥混凝土路面中早已在施工规范中禁止使用,但一般公路水泥混凝土路面可以采用。这里仅介绍前两种。

a. 切缝时间 缩缝施工一般是采用切缝机切割出来的假缝形式,其施工难点不在于锯缝,而在于掌握切缝时间,使路面不在切缝前断板。国内外对应切缝的时间掌握上有两种方法:一是规定最长的锯缝时间,如美国规范规定最长切缝时间为任何情况下均不得大于24h,但是在我国长江流域等许多地方,冬季施工气温5℃左右时,24h路面混凝土仍很软,切缝啃边,锯不了缝;二是采用度时积或混凝土成熟度来控制,这种方法比单用切缝时间控制切缝效果略好一些。但是实践证明,这两种方法均不能有效地将施工断板率控制在2‰以内。

原因何在?根据研究,断板的产生与否与时间关系不大,断板与气温的关系也是间接的。首先,断板产生的直接原因是板内降低温度造成的拉应力超过了当时混凝土的抗拉强度。板内的混凝土温度由三部分构成:一是混凝土搅拌后的自身温度,二是水化热引起的温升,三是外界气温。外界气温在不覆盖养生条件下,有很大影响,但采用覆盖养生时,影响很小。路面不覆盖时,混凝土路面板内的温度过程线是本身温度加水化热并受外界气温影响的复杂曲线,它有升温 and 降温过程组成,混凝土内部应力过程线比复合温度过程线大约滞后 $1\sim 2\text{h}$,升温时,甚至有压应力,降温并滞后 1h ,才能够出现拉应力,路面断板与否,关键取决于当时由于降温造成的拉应力是否大于其抗拉强度。时间只有与降温联系起来才有意义,而度时积和成熟度仅间接代表当时的混凝土强度,并不表示拉应力形成与否及其大小。

按照上述介绍的混凝土路面板内复合温度造成的拉应力断板判断方法,应当根据板内复合温度造成的拉应力曲线来定硬切缝时间。但是这在实际施工中,使用起来很困难。一个简单的方法是只关注气温曲线,将混凝土复合温度曲线和拉应力滞后均作为断板的安全储备,那么最长的切缝时间应该从夜间1点到3点气温降温(复合温度曲线的最高点)开始切缝,到凌晨4点混凝土温度曲线降低到最低点以前,可能断板的拉应力尚未到达,前一天摊铺的路面均应切缝完毕。

在气温较低的季节施工,硬切缝机锯不了缝,应该用软切缝机锯缝。特别在冬季有保温覆盖的情况下,则完全是另外一回事。但也在混凝土路面能够锯缝时,即行锯缝,并切记,在撤除覆盖前,必须锯完缝。

b. 切缝深度 锯缝时的混凝土强度越高,裂纹断裂敏感性越差,所以,硬切缝的锯缝深度应大于软切缝,一般应控制在 $1/3\sim 1/4$ 板厚。但应注意,并非切缝越深越好,恰好发生切口内断裂的深度是最佳深度,过深的切缝深度将削弱缩缝在行车荷载传递时的齿合能力,降低荷载传递效率。

c. 缩缝切口宽度 由于我国货车绝大多数为车厢板敞开运输,泄漏在路面上的砂、石、煤等杂物很多。所以我国水泥混凝土路面缩缝的切缝宽度,从使用耐久性考虑,原则上是越窄越好。使用一般切缝机时, $3\sim 5\text{mm}$ 宽度较好。一般不应使用国外的 $8\sim 12\text{mm}$ 宽缩缝或台阶缝。在高速公路上,即使采用泡沫塑料垫条,灌树脂类填缝料,也不推荐采用宽台阶形式。因为,垫条只起到维持均一灌缝高度的作用,并不起固定作用。宽缩缝口将使砂、石、玻璃等坚硬物体挤压进接缝得更多,对缩缝的伸缩性能影响更大,往往缩缝只能收缩,无法膨胀,影响到不能采用较长的胀缝间距;同时,宽缩缝口的缩缝边壁和填缝材料的破坏也很快。

③ 缩缝施工的软切缝技术

缩缝是水泥混凝土路面上数量最多的横缝,以前在缩缝施工方法上有预振软做和硬切割两种方式。由于预振软做的缩缝宽度过大,并且缩缝边沿平整度难于控制,我国在高等级公路水泥混凝土路面上规定采用硬切割方式,但是这种施工方式要求采用度时积或成熟度来控制缩缝的切割时间。实践证明,在一些日间温差较大的地区,很难有效地将断板率控制在验收规范规定的2‰范围以内。必须寻求新的切割方式。

软切缝技术是美国在SHARP计划中研究开发出的缩缝施工的新技术,其基本原理是采用超高速锯缝,在相同的条件下,超高速锯缝每个锯齿的吃进量非常小,大大地减小了锯片对混凝土集料的扰动,同时,为了实现软切缝时不啃边,软切缝机在锯片部位配备了一个船形挤压底板,压住缩缝边角,以保证缩缝切割质量。

美国的研究表明:在混凝土路面强度很低时软切缝,混凝土的切缝敏感性大,软切缝深度可以大大减小,他们的软切缝机的切缝深度仅2.0~2.5cm。

交通部公路科学研究所与唐山宏远工程机械厂合作,研制了我国自己的软切缝机,已经在国内数十项水泥混凝土路面工程中使用,效果良好,并取得中国专利。特别在新疆、黑龙江等日夜温差较大的地区,防止断板的效果尤其显著。有全部采用软切缝机施工的,也有软切缝机先每隔1~2条缩缝软切,然后用硬锯缝机补切其余未切缩缝的,何时采用全软切或间隔软切缝,与摊铺完当天日夜温差有关,实践证明,这两种方式都能有效地将断板率控制在1‰以内。

我国研制的软切缝机与国外进口的相比,具有如下特点:

a. 切缝深度较大,可达到4.5~5.0cm,我国的路面用水泥混凝土的均匀性不及国外,面板厚度的差别比国外大,在施工中采用美国软切缝机时,我们发现它的切缝深度过浅,防止不了断板。我们研制的软切缝机加大一倍切缝深度后,基本覆盖了板厚变化的全部范围,因而有效地保证了混凝土板不在其它地方断裂,只在缝内断,防止了发生断板。另一方面,从保持缩缝具有较大的荷载传递能力来看,只要切缝深度能够保证仅在缩缝内断开,切缝深度越浅,荷载传递能力越大。

b. 切缝时具有自行功能,一方面使切缝速度和负荷均匀,切缝速度3~5m/min,另一方面,不需人力推动,减少了工人的劳动强度。

c. 切缝时,不用加水冷却,软切缝机施工时,只要求供电,无需供水。

d. 自备照明和对线系统,可以保证夜间及时切缝。

e. 软切缝机上路的切缝时间一般为摊铺后5h左右,视气温高低有一些差别,切缝时的混凝土抗压强度大致为0.5~1.0MPa,当人与软切缝机上路不出现印迹即可开始软切缝作业。软切缝机为宽胶轮,其压强小于成人鞋底压强。并且软切缝机总重量远小于硬切缝机。

4. 混凝土路面纵缝和工作缝研究

(1) 纵缝

水泥混凝土路面上的纵缝有施工工作缝真缝和锯缝机切出的假缝两种。当一次滑模摊铺混凝土路面宽度小于(单幅)路面宽度时,有施工真纵缝。当一次滑模摊铺混凝土路面宽度大于单幅宽度时,有施工假纵缝,假纵缝是切割而成的。在新拌混凝土混合料稠度的均匀稳定性不佳时,滑模摊铺水泥混凝土路面由于没有固定模板支撑,混凝土路面板侧边即使没有明显的塌边,也会有水平涨宽,纵向工作缝的顺直度和整齐性一般不及有固定模板的施工方式。

要说明的是:大家不必过于担心滑模摊铺水泥混凝土路面纵向工作缝的顺直度及整齐性,工程实践已经证明,当滑模摊铺混凝土混合料的均匀性和稳定性控制在适宜范围内时,其纵向工作缝的顺直度和整齐性可以做得很好。

另一方面,纵向工作缝中要插入拉杆,实践证明,滑模摊铺水泥混凝土路面必须采用机械打拉杆部件来插入拉杆,才能保证纵缝边部的质量。手工在摊铺后的侧面打拉杆时,不仅会造成塌边,而且纵向工作缝的顺直度和平整度无法保障。当滑模摊铺机配备有一侧打拉杆装置时,在要求双向打拉杆时,可参照已有的机械部件来加工另一侧打拉杆的装置。

当滑模摊铺水泥混凝土路面宽度大于一块板的宽度时,还必须在摊铺机前部振动仓内或挤压底板后部配置中间插入拉杆装置。在机后配插入拉杆装置时,应配备表面修整的超级抹平器或振动搓平梁,以便修复因中间拉杆插入带来的表面缺陷。前后两种方法机械插入拉杆均无问题,从拉杆插入精度上看,后置法较好。

与下一次摊铺路面连接时的纵向工作缝,可在已摊铺路面的侧壁上部涂沥青,摊铺中认真修好纵向接口。也可施工完后,再用锯缝、填缝的方式施工。在我国降雨量较大的地区,为了做好纵缝防水,建议同时采用涂沥青及切缝、灌缝的方法施工纵向工作缝。

(2) 横向工作缝

横向工作缝是指滑模摊铺水泥混凝土路面的起终点位置设置的工作缝。横向工作缝目前施工中存在两个问题:一是人工抹面的平整度不佳,有明显的跳车现象,需要认真对待,精心制作,提高横向工作缝的平整度,努力消除跳车现象;二是其位置较难对应缩缝或胀缝。

国外对横向工作缝有以下两种做法:

一是在终点用滑模摊铺机多施工出1~2m的路面,然后待路面混凝土硬化后将平整度不够的部位切除不要,再用多钻头钻机钻孔,插入传力杆后灌浆,再连接施工。我国全

部缩缝加传力杆支架施工时,已经采用这种方法,在传力杆中间切缝,再用手工凿除下部的混凝土,摊铺时间仅一夜,混凝土凿除较容易,应防止损伤上部缝壁。

二是软做横向施工缝,在起终点挡端头模板,后由人工修整平。施工实践证明,横向工作缝是滑模摊铺水泥混凝土路面上平整度最不理想的部位,经常会做低,形成路面颠簸。一般情况下,在滑模摊铺水泥混凝土路面的起点,尚可认真做好平整度,但到每天施工结束时,所有的工人都相当劳累,终点平整度很难做到规范的要求。

做好横向工作缝应从滑模摊铺机上作文章,使摊铺机的侧模板可提升到零位置,或者可侧向打开,在施工起点处,预先固定支好端头模板,令滑模摊铺机尽量后退到模板位置上,便于在端头模板内浇注满混凝土拌和物。然后摊铺机起步振动挤压施工。终点部位也应预先支好端头模板,使混凝土料供应略多一些,令摊铺机施工通过,多余的翻在端模外的料不要。连接施工时,令滑模摊铺机倒退至前一天工作缝部位,连续起步施工。作者在马来西亚新国际机场考察时,德国 Wirtgen 的滑模机械施工,就采用这种方法,其工作缝做得相当好,基本不需要人工补料,只需做少量修整。

滑模摊铺横向工作缝的原则是滑模摊铺机与端模密切配合,尽可能减少人工补料和修整,尽量令滑模摊铺机一次做好横向工作缝。这样才能保证滑模摊铺出的水泥混凝土路面横向工作缝部位具有优良的密实度、强度和平整度。横向工作缝的传力杆设置精度与胀缝传力杆要求相同。

对采用人工施工工作缝的路面表面,必须采用测量仪器,对其标高进行复测控制,不使其有拉头。并认真采用抄平工具保证其平整度。

5. 填缝

在我国卡车敞开运输和基层较弱的情况下,不能像某些国家那样,缩缝仅切 3mm 宽,不填缝。我国水泥混凝土路面上做的缩缝,从使用、防水和防错台上考虑,必须灌缝。同时,也不能采用开口宽度过大的 8~12mm 的宽切口或台阶切口缩缝。

混凝土板养生期满后,缝槽口应及时填缝。在填缝前,必须保持缝内清洁,防止砂石等杂物掉入缝内。高速公路、一级公路应采用树脂类和橡胶类填缝材料;二、三级公路灌缝材料可使用(聚氯乙烯)胶泥类、(改性)沥青类等灌缝料。后两种灌缝材料的最浅灌入深度不得小于 3cm。

高速公路、一级公路或二、三级公路高填方(路基 $\geq 10\text{m}$)路段、桥头搭板部位纵向施工缝在涂沥青的基础上,还应切缝并灌缝。二、三级公路的一般路段,已涂饱满沥青的纵向施工缝可不切缝填缝。后铺路面强度较先铺路面低,切缝易跑锯时,可等到 3~5d,再切缝灌缝。

(1) 清洁接缝

混凝土板养护期满后,缝槽口应及时填缝。在填缝前,必须用不小于 3MPa 的压力水和压缩空气彻底清除接缝中砂石及其它污染物,清洗并保证缝内清洁、干燥,防止砂石等杂物掉入缝内。

灌缝前对所灌的接缝槽要认真加以清缝。美国的清缝程序要求如下:

- ①在锯缝时须用高压水冲洗掉锯缝残渣。
- ②待填缝槽干燥后,用压缩空气喷砂清理出新鲜缝壁。
- ③最后用不小于 0.63MPa 的喷口空气压力,吹净灌缝槽中砂粒、夹杂物和尘土。
- ④要求清理过的灌缝槽洁净、新鲜,用手检查缝壁,无任何尘土。

我国的接缝清洁几乎没有达到这样的要求,再好的填缝材料也粘不牢,难免开裂,这是我们的接缝使用性能差的重要原因之一。加强灌缝前的清洁工作是提高我国水泥混凝土路面接缝质量的当务之急。

灌注填缝料必须在缝槽口干燥清洁状态下进行,缝壁检验以擦不出灰尘为可灌标准。适宜的缩缝填缝形状系数(填缝深度和宽度之比)应在 2~4 之间,同时,考虑抗硬物嵌入切割的要求,填缝的灌注深度宜为 2~3cm,最浅不得小于 2cm,高等级公路应填入多孔泡沫塑料柔性背衬材料,背衬泡沫塑料垫条的压入深度应不小于 20mm。填缝料的灌注高度,夏天宜与板面平,冬天宜低于板面 2~3mm。填缝必须饱满、均匀、连续贯通。填缝料与缝壁粘结好,应不开裂,不渗水。

(2) 填缝槽的断面尺寸及形状系数

我国在设计和施工规范中,对水泥混凝土路面接缝填缝槽断面尺寸和形状系数没有要求,也不要求填背衬垫条。因此,灌入接缝中的填缝材料随意流淌,深浅度不一,处于灌缝深度失控状态,有的灌上了,有的没有,灌进的填缝料在使用当中,开裂失去密封的不少,灌缝效果很差,形同虚设。致使我国水泥混凝土路面因接缝密封不好,运行状况很糟,很容易形成错台、接缝破坏和断角。因此,填缝槽的断面尺寸和形状系数必须引起足够的重视,通过研究来纠正这种状态。

填缝槽的断面尺寸或形状系数(深度与宽度之比)是保持接缝经久耐用的重要因素,合适的形状系数能够降低面板收缩时的内拉应变和应力,不致于因接缝材料表面的最大拉应变过大而拉裂,可减少填缝材料本身及与边壁的粘接剂损失性破坏。按美国的接缝技术要求,填缝槽的形状系数 = 1。美国 ACPA 的研究表明,当灌缝槽的形状系数为 1 时,填缝料上下纤维可能承受到的最大拉应变为 62%;当其形状系数为 2 时,填缝料上下纤维可能承受到的最大拉应变为 94%。当灌缝槽的形状系数小于 1 时,要保证缝壁结构不破坏,在不扩宽填缝槽的情况下,灌缝料宽度过窄,填缝材料会因损失粘结而断裂;形状系数大于 1,则拉伸应变过大,绝大多数填缝材料会因承受不了而开裂,达不到填缝密

封效果。为了达到形状系数的要求,则要求在缩缝上部扩宽填缝槽,做成上大下小的截面形状,上部宽度 $8\sim 12\text{mm}$,最小宽度要求 8mm ,这样插入背衬泡沫塑料垫条后,仅在上部灌缝,这是仅从填缝材料本身及其粘接来考虑长期使用效果。

但在我国卡车开敞运输的条件下,接缝嵌入的砂石较多,扩大接缝槽上部宽度并非有利于保持接缝结构的使用性能,它会使颗粒更大更硬的石子嵌入接缝,路面膨胀时,更容易将接缝边壁顶坏,同时,有可能被嵌入的砂石切断而丧失粘结密封,所以,作者不赞成扩宽填缝槽的做法。形状系数的确定应对填缝料及结构相互矛盾的因素加以协调得出,首先满足接缝中不嵌入大石子,接缝边壁不被顶坏、被嵌入的砂石切断的结构要求,同时基本达到填缝材料拉伸应变小、不拉裂、粘结不失效的要求。填缝材料的拉伸应变不足,应提高填缝材料的相应技术要求,而不能有损接缝结构。

我国《公路水泥混凝土路面接缝材料》(JT/T 203—95)中对各种缩缝填缝料在 -10°C 时,填缝料宽度 15mm ,拉伸量的要求是:热灌低弹性大于 5mm ;热灌高弹性大于 15mm 。常温填缝料的拉伸量小于 15mm 。满足我国填缝料标准要求的填缝料低温拉伸时的拉应变在 $33\%\sim 100\%$ 之间。由此可见,只有热灌高弹性的填缝料可以达到灌缝槽形状系数为2时的低温最大拉应变要求,同时满足了不扩缝和填缝材料不拉裂的两项要求。热灌低弹性及常温灌缝的填缝料只有当拉伸量不小于 10mm 时,方能满足形状系数为2,低温最大拉应变下不开裂的要求。

根据上述研究,有必要在《公路水泥混凝土路面接缝材料》(JT/T 203—95)规范中将这两种填缝料的低温拉伸量修改为不小于 10mm ,同时按作者提出的缩缝形状系数 $2\sim 4$ 并嵌入背衬垫条的要求填缝。才有可能做好我国水泥混凝土路面的接缝灌缝和密封,使水泥混凝土路面错台、接缝破坏和断角数量尽可能减少,努力提高我国水泥混凝土路面的防水密封性及使用品质。

为何我国选定的填缝形状系数大于美国?一是我们从路面结构完好性的要求不扩大缝口,缝宽较窄,填缝太浅,粘结不牢,并抵抗不了石子玻璃等硬物切割破坏;二是提高填缝料的技术指标可以做到,目前我国高速公路水泥混凝土路面上使用的填缝料的技术指标均远高于《公路水泥混凝土路面接缝材料》(JT/T 203—95)规范规定值。

(3)填(嵌)缝技术要求

①一般规定

混凝土板养生期满后,缝槽口应及时填缝。在填缝时,必须保持缝内清洁,防止砂石等杂物掉入缝内。填缝材料应符合《公路水泥混凝土路面接缝材料》(JT/T 203—95)规范规定的技术要求。

②灌缝技术要求

采用常温施工式或加热施工式填缝料填缝,应符合下列规定:

- a. 填缝前,应采用压缩水和压缩空气彻底清除接缝中砂石及其它污染物,确保缝壁及内部清洁、干燥。
- b. 当使用常温施工式聚氨脂和硅树脂等填缝料时,按规定比例将两组份材料按 1h 灌缝量混合均匀,并应随拌随用;当使用加热施工式填缝料时,将填缝料加热至规定温度。加热过程中应不断搅拌均匀,将填缝料融化并保温使用。
- c. 灌注填缝料必须在缝槽口干燥清洁状态下进行,缝壁检验擦不出灰尘为可灌标准。适宜的缩缝填缝形状系数应在 2~4 之间,填缝灌注深度宜为 2~3cm。高速公路、一级公路应挤压填入多孔泡沫塑料柔性背衬材料。填缝料的灌注高度,夏天宜与板面平;冬天宜低于板面 1~2mm。二、三级公路使用(聚氯乙烯)胶泥类、(改性)沥青类等灌缝料时,最浅灌入深度不得小于 3cm。填缝必须饱满、均匀、连续贯通。填缝料应与缝壁粘结实好,不开裂,不渗水。
- d. 常温施工式填缝料的养生期,冬天宜为 24h,夏天宜为 6~12h。加热施工式填缝料的养生期,冬天宜为 2h,夏天宜为 3~6h。填缝期间应封闭交通。

③ 嵌缝技术要求

采用预制橡胶嵌缝条等嵌缝,应符合下列规定:

- a. 嵌入嵌缝条必须在缝槽口干燥清洁状态下进行,以缝壁擦不出灰尘为可嵌缝标准。
- b. 粘接剂应均匀地涂在缝壁上部(1/2 以上深度),形成一层连续的约 1mm 厚的粘接剂膜,以使粘结紧密,不渗水。
- c. 填缝条在嵌入过程中在长度方向应既不拉伸也不压缩,保持自然状态;在宽度方向应压缩 40%~60% 嵌入。填缝条高度宜为 2.5cm。
- d. 填缝施工完成后,养生 12~48h。当粘接剂固化后,将胀缝两端多余的填缝条齐路面边沿裁掉,并用闭孔海绵塞住填缝条的两个通孔。

(4) 纵缝填缝

填方不高($< 10\text{m}$)的一般路段已涂饱满沥青的纵向施工缝可不填缝外;未涂饱满沥青,有可能透水的纵向施工缝应与纵向假缝一样切缝并灌缝。各级公路高填方(路基高度 $\geq 10\text{m}$)路段、桥面、桥头搭板部位的纵向施工缝在涂沥青的基础上,还应切缝并灌缝。后铺路面强度较先铺路面低,切缝易跑锯时,可等到一周后,再切缝灌缝。纵缝灌缝材料可使用缩缝聚(氨)脂灌缝材料,也可使用聚氯乙烯胶泥、(改性)沥青等灌缝料。后两种灌缝材料的深度应不小于 3cm。

第四节 滑模摊铺水泥混凝土路面质量控制

一、滑模混凝土原材料的质量控制

建好高速公路水泥混凝土路面的基本物质条件是路面水泥混凝土原材料要精良,进场前控制好原材料的质量相当重要,无论工期多么紧张,不合格的原材料不得进场。

(一)水泥

对高速公路水泥混凝土路面而言,控制水泥的下述指标相当重要:

1. 水泥的抗折强度

水泥混凝土路面对混凝土结构力学指标的要求与其它结构不同,它是以抗折强度为首要力学指标,而水泥规范中对水泥标号是以抗压强度作为划分标准的。所以在高速公路水泥混凝土路面使用水泥标号时要加以注意,若以抗折强度来衡量,当采用硅酸盐水泥和普通水泥 525 号时,相当于使用 425 号道路水泥,其规范规定值 28d 抗折强度为 7MPa。

从目前国内施工高速公路水泥混凝土路面的经验来看,要在较低单位水泥用量条件下,做到高速公路水泥混凝土路面所要求的设计抗折强度加上施工保证率 5.75 ~ 6.0MPa 的较高抗折强度配制指标,所用的水泥抗折强度以接近或超过 7.5 ~ 8.0MPa 为宜,因为同水灰比条件下,标准砂浆的抗折强度是混凝土的极限。那么,按高速公路用水泥的强度指标,达到 7.5MPa 以上的抗折强度,硅酸盐水泥、普通水泥的标号是 625 号,而道路水泥是 525 号。

国内高速公路上使用的旋窑普通水泥 525 号,视矿物成分的不同,绝大部分抗折强度不小于 8.0MPa,最高的华新厂普通水泥,有时可达抗折强度 9.2MPa。在高速公路水泥混凝土路面工程中,要求采用旋窑水泥,一个重要原因是其抗折强度富裕量大于立窑水泥,游离氧化钙含量小于 1%,抗疲劳荷载的路用性能好,而且抗折强度的变异性小得多。具体到某项工程中使用的水泥,当然是哪个厂生产的水泥抗折强度越高,游离氧化钙含量低,抗折强度波动越小越好。

在实际滑模摊铺当中,施工现场的实验室要至少 1500t 水泥检测一次抗折强度值,当水泥质量不稳定或刚开工时,要减小检验的水泥批量,800t 左右检测一组水泥抗折强度。水泥的抗折强度是必须现场及时检验的项目,不允许工地实验室不配设备,送样外出检

验。这样会误事,一旦路面上混凝土抗折强度出了问题,由于缺乏数据,无法进行分析判断。

2. 水泥的安定性及游离氧化钙含量

水泥的安定性与抗折强度一样是高速公路水泥混凝土路面施工中的必检项目。施工中我们已经发现,有的较高游离氧化钙的水泥,施工当中,某些批量水泥的安定性检验不合格。这样的水泥,应坚决退货,不得使用。

3. 水泥的细度、干缩率与凝结时间

水泥的细度越细,强度越高,但同时,发热量大,干缩大,容易开裂,凝结时间越短。反之则反。因此,在控制抗折强度、安定性等满足要求的前提下,冬季或冷天施工,应控制细度细些,使用R型水泥;夏季热天施工则宜粗不宜细,使用普通型中热或低热水泥。在工地应该检验,并反馈给水泥厂进行有效地控制。

4. 水泥的含碱量

水泥中的高含碱量不仅造成混凝土中的碱集料反应,而且影响水泥对外加剂的适应性。高速公路水泥混凝土路面工程规定:当发现或怀疑有碱活性集料时, $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O} \leq 0.6\%$,并对怀疑有碱活性的粗细集料进行碱活性集料检验。无碱活性集料时,水泥的碱度 $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O} \leq 1.0\%$ 。我国华北地区的大部分水泥厂的水泥含碱量都接近或超过1%。目前路面混凝土施工中解决这个问题的办法有两个:一是使用粉煤灰等混合材料,压制高碱度可能引发的碱集料反应,要知道水泥中的碱度是粉煤灰等混合材料的激发剂,在粉煤灰的水化反应过程中,高碱度将被消耗掉;二是使用酸类的缓凝保塑剂,特别是在热天施工,使用高效减水剂的情况下,必须使用酸来减缓坍落度损失和缓凝,使用酸缓凝的同时,酸将水泥中的一部分碱度中和掉,使所使用混凝土中的总碱度不超过 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 。

现在的问题是一般的工地实验室均不具备随时检测水泥碱度的条件,需要送样到有关部门做检测,所以实验频率不可能高,我们积累的数据有限。从目前高速公路水泥混凝土路面的破坏情况来看,还没有发现典型的路面碱集料反应,用上述两种定性的方法加上有限的含碱量检验,在一般情况下,可实现有效控制,但是对于其它行业或公路上怀疑确有潜在碱集料反应的集料,需要委托进行必要的岩相分析和变形量等碱集料反应检验。

5. 控制水泥中的混合材料

普通水泥中在水泥厂掺加的混合材料种类及其性能,施工单位必须有所了解,在与水泥厂谈供销合同条款中,必须进行明确的限制。高速公路混凝土路面用的普通水泥,原则上不允许掺体积收缩率很大的粘土、火山灰、煤矸石和高碱度窑灰,这些混合材料极

易引起路面的开裂、断板或碱集料反应破坏。有抗盐冻要求时,水泥中不得掺生石灰石粉。

6. 控制夏季热天施工所用水泥的施工温度

在我国南方夏季施工中,由于我国水泥规范中,对水泥的出厂温度没有限制,造成了一些新建高速公路水泥混凝土路面出现了温度裂缝,温度裂缝是面板中心裂缝,只有严重的温度裂缝才反映到表面上,形成可见裂缝。不可见的温度裂缝,通车后很快会反映成为断板,危害很大。因此,我们一方面对建材行业建议限制水泥的出厂温度,路面混凝土用的水泥,不允许出厂温度大于 55°C ;在现行水泥规范没有修改前,高速公路的施工部门应该进行限制并采取一定的降温措施,一是限制水泥的入罐温度不大于 55°C ;水泥搅拌时的温度不得大于 50°C ,这是国际上通行的水泥混凝土路面搅拌的限温标准。二是超过该温度限的过热水泥,采用多个水泥罐采储存洒水降温。在夏季应采用冰屑水拌和混凝土降温措施。

(二) 粉煤灰

对使用粉煤灰的高速公路水泥混凝土路面,控制粉煤灰必须是一、二级灰,最主要的是控制粉煤灰烧失含碳量和细度,等级合格、细度不合格的粉煤灰必须磨细使用,并严格控制粉煤灰质量的变异性。

(三) 外加剂

在高速公路水泥混凝土路面材料中控制并选用优良外加剂,是国际惯例,是高新技术在混凝土路面材料中具体体现。可以说,高速公路水泥混凝土路面正确合理使用外加剂是路面混凝土材料科学中的关键技术。也是公路行业相对比较陌生,容易在使用中出现差错、存在问题较多的地方,因此对外加剂的使用技术要特别加以重视。

目前,我国滑模摊铺水泥混凝土路面工程中使用的外加剂有引气剂、缓凝保塑(高效)减水剂、防冻剂等。在向国际标准靠拢中,引气剂是必须使用的外加剂,其它可根据工程的需要优选使用。在各等级公路水泥混凝土路面工程中使用的各种外加剂必须满足一等品的技术要求。

外加剂的施工质量控制中,首先是应进行适宜路面工程的外加剂优选试验,通过性能比较和招标来确定性能价格比最优的外加剂。在进行性能比较实验时,一是满足其适应性要求,施工单位在使用某种外加剂施工前,必须了解所用水泥与外加剂的化学适应性,找到最优掺量及其减水率,解决好剂量适应问题。二是满足施工混凝土路面所要求的较低水泥用量下的高抗折强度。三是满足所用的机械施工方式对可施工性能的要求,特别是满足不同施工季节所要求的引气、缓凝、保塑、防冻等性能。四是满足小变形和耐久性要求,高速公路水泥混凝土路面和桥梁(预应力)钢筋混凝土结构,应使用减少收缩

型的减水剂,以防止这些薄壁结构因使用外加剂不当而开裂。

使用粉状外加剂如高效减水剂时,必须了解其有效成份多少,特别是不溶物和沉淀量大小,以便确定清理外加剂池的时间,防止使用沉淀物,给路面工程造成不应有的损失。

使用液体外加剂如多功能复合外加剂时,施工单位应批量 10t,检测一次浓度和含固量,浓度可用比重计测量,含固量可用烘箱烘干后称量得到。一般而言,液体外加剂含固量不应小于 40%。达不到外加剂产品规定或承诺含固量的液体外加剂,坚决退货。

使用引气剂必须在水泥浸出液中按使用浓度进行摇泡实验,以引气剂引出的气泡细密、数量多而稳定的引气剂为优良。在新拌混凝土中引气剂的掺量一般与含气量成线性关系,如果发现这一规律反常的引气剂,除非使用粉煤灰,否则是劣质产品;其次,在新拌混凝土搅拌出的不同时间测含气量,可以发现引气剂所引出的气泡稳定性优劣,稳定性好的引气剂在 1h 内的含气量减少量应小于 0.5%,2h 内应小于 1%。这样才便于控制稳定的新拌混凝土含气量。

上述控制措施对保证新拌混凝土中的外加剂用量波动不超过 1%;含气量波动不大于 1%具有重要意义。同时,能够有效控制国内众多混凝土外加剂民营厂的伪劣产品进入高速公路混凝土路面工程而造成的一系列问题。

(四) 粗集料

我国对高速公路路面混凝土的粗集料技术要求越来越高,在施工质量控制中,主要表现在以下几个方面:

1. 减小路面混凝土的最大粒径

碎石混凝土最大粒径控制在 30mm 以内,砾石混凝土控制在 20mm 以内,并严格限制超径粒料含量不大于 5%。

2. 粗集料岩石的种类及坚硬度

从岩石的抗压强度应大于路面混凝土强度的 1.5 倍左右来看,路面 C40 的混凝土宜采用火成岩和变质岩,而不宜使用沉积岩。这样可以保证岩石的坚硬度,从而保证混凝土的抗折强度,但要注意岩石的软硬程度除了基岩的种类外,很大程度上取决于岩石的风化程度。再坚硬的岩石表面严重风化后的强度均很差。要在粗集料的加工过程中,消除表面严重风化层,再破碎使用。同时要以压碎值不大于 15%,进行必要的岩石抗压强度控制。在个别气候恶劣地区,埋藏相当深度的岩石裂隙亦很严重,破碎以后,仍有相当多的小碎石裂缝,要找到满足路面混凝土抗折强度要求的碎石场是一个难题。

岩石的化学种类与所拌混凝土温度收缩的关系很大,碱性岩石的温度变形比酸性岩石小一倍以上。但这一条往往受到施工地域岩石种类的限制,不必强求,仅在可选择的

条件下应选用碱性石料。如果只有酸性石料而无选择余地,只要严格控制粗集料的级配,实践证明,也能生产出适宜路面使用的酸性集料混凝土。

3. 粗集料的粒形

施工中控制碎石粗集料粒形的最佳手段是采用反击式、冲击式或锤式二级破碎设备,仅用颚式破碎是难于满足路面混凝土对针片状颗粒限制在 10% 以内要求的。

粗集料粒形的另一个问题是路面工程是使用碎石还是使用砾石生产混凝土,在相同水泥用量和水灰比条件下,碎石混凝土的抗折强度确高于砾石混凝土,而抗压强度则相反。但是对路面混凝土动载性能、耐疲劳极限而言,砾石混凝土远优于碎石混凝土,是碎石混凝土的 2~3 倍,现存国际上使用年限最长(60 年以上)的水泥混凝土路面多是本世纪初采用砾石混凝土建造的。由此,砾石也是优良的混凝土路面制作材料,绝非像一些人理解的路面混凝土非碎石不可。同时,只要控制砾石的最大粒径不超过 20mm,其抗折强度也能满足要求,也不是非破口砾石不可。破口石虽然抗折强度略有提高,但损失的疲劳循环周次较大,又需要加工破碎,是不合算的。

在某些河流较多的地区,用砾石生产路用水泥混凝土比碎石具有很大的经济效益。砾石的主要问题是河流中的岩石品种较复杂不单一,实际上,只要砾石在河流推移过程中,具有足够的强度,压碎值不大于 12%,砾石混凝土所表现的是混合岩石的综合性能,其温度变形系数介于酸性和碱性岩石中间,既然酸性岩石可用,实际已经证明,砾石混凝土路面不会有问题。

4. 含泥量

粗集料中的含泥量具体讲是石粉、土和泥块,主要应在加工过程中严格控制。石粉和土在正确的碎石筛分过程中可以基本去除。关键是泥块和附着在石料表面的土,在碎石加工设备的最前部,应采用能够筛除土和泥块的条形筛筛选,并禁止在雨天或泥水中铲运并加工碎石。砾石的含泥量控制应通过认真的筛分中水洗来清除。

施工过程中含泥量控制主要是用混凝土或基层材料处置堆料场,防止二次污染,同时,防止拉铲式搅拌楼在铲运过程中石粉和土的富积,对这种搅拌楼要规定一个最低铲料高度,长期使用后,最低铲料高度以下富积石粉和土的粗集料,使用前必须进行筛分。

(五) 细集料

细集料砂在施工原材料质量控制中的最主要问题是两项:一是砂中的含泥量控制;二是控制适宜水泥混凝土路面机械化施工的细度模数。

河砂的含泥量通过采砂时的严格清洗来控制,开采的古河床沉积的河砂往往没有水清洗条件,而且,沉积层中夹泥层,危害很大。这种开采古河床砂必须清洗合格,方可使用。含泥和石粉量最大的是碎石砂,它可达 10% 以上的含量,尽管筛除很困难,也要筛选

后使用。海砂的问题是含盐量大大超标,一般不得在高速公路上使用。

(六) 拌和水

混凝土拌和和养生用水,宜采用可饮用软水,其它水在使用前,应满足表 4-4-34 的技术要求,方可使用。

关于上述混凝土原材料的检测项目和频率规定见表 4-4-34。

表 4-4-34 混凝土原材料的检测项目和频率

| 材料 | 检查项目 | 检查频率 | |
|---------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | 高速公路、一级公路 | 二级公路、三级公路 |
| 水 泥 | 抗折强度 抗压强度及标号 | 1500t ,1 批 | 1500t ,1 批 |
| | 安定性 | 1500t ,1 批 | 1500t ,1 批 |
| | 凝结时间 | 2000t ,1 批 | 3000t ,1 批 |
| | 标准稠度用水量 | 2000t ,1 批 | 3000t ,1 批 |
| | 细度 | 2000t ,1 批 | 3000t ,1 批 |
| | f - CaO 含量 | 必要时,每标段不少于 3 次 | 必要时,每标段不少于 3 次 |
| | MgO 含量 | 必要时,每标段不少于 3 次 | 必要时,每标段不少于 3 次 |
| | SO ₃ 含量 | 必要时,每标段不少于 3 次 | 必要时,每标段不少于 3 次 |
| | 铝酸三钙 | 必要时,每标段不少于 3 次 | 必要时,每标段不少于 3 次 |
| | 铁铝酸四钙 | 必要时,每标段不少于 3 次 | 必要时,每标段不少于 3 次 |
| | 干缩率 | 必要时,每标段不少于 3 次 | 必要时,每标段不少于 3 次 |
| | 耐磨性 | 必要时,每标段不少于 3 次 | 必要时,每标段不少于 3 次 |
| | 碱度 | 开工 施工 结束 测三次 | 开工 施工 结束 测三次 |
| | 混合材料种类及数量 | 开工 施工 结束 测三次 | 开工 施工 结束 测三次 |
| 温度 | 冬夏季施工随时检测 | 冬夏季施工随时检测 | |
| 水化热 | 冬夏季施工随时检测 | 冬夏季施工随时检测 | |
| 粗 集 料 | 颗粒外观(针片状、超径含量) | 2000m ³ ,1 批 | 4000m ³ ,1 批 |
| | 颗粒级配 | 2000m ³ ,1 批 | 4000m ³ ,1 批 |
| | 含泥量 | 1000m ³ ,1 批 | 2000m ³ ,1 批 |
| | 压碎值 | 1000m ³ ,1 批 | 2000m ³ ,1 批 |
| | 含水量 | 随时 | 随时 |
| | 松方单位重 | 施工需要时 | 施工需要时 |
| | 砂 | 颗粒外观(河砂、山砂、机制砂) | 必要时 |
| 颗粒粗细(细度模数)和级配 | | 1000m ³ ,1 批 | 2000m ³ ,1 批 |
| 含泥量 | | 1000m ³ ,1 批 | 2000m ³ ,1 批 |
| 含水量 | | 随时 | 随时 |
| 松方单位重 | | 施工需要时 | 施工需要时 |
| 外 加 剂 | | 减水剂(最优)减水率 | 10t ,1 批 |
| | 液水外加剂含固量和比重 | 10t ,1 批 | 10t ,1 批 |
| | 粉装外加剂的不溶物含量 | 10t ,1 批 | 10t ,1 批 |
| | 引气剂引气量 | 2t ,1 批 | 3t ,1 批 |
| | 气泡细密程度和稳定性 | 随时 | 随时 |

| 材料 | 检查项目 | 检查频度 | |
|-----|---------|------------|------------|
| | | 高速公路、一级公路 | 二级公路、三级公路 |
| 养生剂 | 养生剂保水率 | 开工前或有变化随时检 | 开工前或有变化随时检 |
| | 弯拉强度保持率 | 开工前或有变化随时检 | 开工前或有变化随时检 |
| | 含固量 | 施工需要时 | 施工需要时 |
| | 成膜时间 | 随时 | 随时 |
| | 浸水软化性 | 随时 | 随时 |
| 水 | pH 值 | 开工前和水源有变化时 | 开工前和水源有变化时 |
| | 含盐量 | 开工前和水源有变化时 | 开工前和水源有变化时 |
| | 硫酸根含量 | 开工前和水源有变化时 | 开工前和水源有变化时 |

注 ①所有项目开工前 均应检验。

②数量不足一批时,按一批检验。

③当原材料规格、品种、生产厂、来源变化时,必须检验。

二、混凝土拌和、运输质量控制

(一) 搅拌楼生产混合料的技术要求

搅拌楼拌和混凝土计量精度的要求见表 4-4-35。投料顺序、搅拌时间、控制生产方式、外加剂使用方法和注意事项等见相关资料中的搅拌楼生产混凝土控制技术要求。

规程规定滑模施工新拌混凝土匀质性的最低要求:楼与楼之间、盘与盘之间均为 1cm 以内,当发现料堆上砂石料的含水量发生变化时,应微调拌和加水量。微调加水量的目的是使混凝土已反复调整好的单位用水量、水灰比、砂率等配合比参数不变,以保证新拌混凝土的坍落度适合滑模摊铺,保证混凝土的强度稳定。

(二) 混凝土混合料的检测项目和频率

水泥混凝土拌和料及水泥混凝土路面检测项目和频率见表 4-4-35。

表 4-4-35 新拌混凝土混合料和水泥混凝土路面的检验项目和频率

| 材料 | 检查项目 | 检查频度 | |
|--------|----------|----------------------|----------------------|
| | | 高速公路、一级公路 | 二级公路、三级公路 |
| 混凝土混合料 | 坍落度及其均匀性 | 每天施工测 3 次,有变化随时测 | 每天施工测 3 次,有变化随时测 |
| | 坍落度损失率 | 开工、气温较高和有变化时随时测 | 开工、气温较高和有变化时随时测 |
| | 振动粘度系数 | 配合比试拌、原材料和配合比有变化时测 | 配合比试拌、原材料和配合比有变化时测 |
| | 含气量 | 每天测 1~2 次有抗冻要求 2~4 次 | 每天测 1~2 次有抗冻要求 2~4 次 |
| | 泌水率 | 必要时测 | 必要时测 |
| | 容重 | 每天施工测 1 次 | 每天施工测 1 次 |
| | 温度 | 必要时测 冬季、夏季每天 1~2 次 | 必要时测 冬季、夏季每天 1 次 |
| | 施工时的凝结时间 | 必要时测 冬季、夏季每天 1~2 次 | 必要时测 冬季、夏季每天 1 次 |
| | 混凝土水化发热量 | 冬季、夏季施工必要时测 | 冬季、夏季施工必要时测 |
| | 离析 | 随时观察 | 随时观察 |

| 材料 | 检查项目 | 检查频度 | |
|-------|--|--|---|
| | | 高速公路、一级公路 | 二级公路、三级公路 |
| 混凝土路面 | 弯拉强度 | 每班留 2~4 组试件,日进度 < 500m 取 2 组; ≥ 500m 取 3 组; ≥ 1000m 取 4 组。测平均 R, R _{min} , C _V 。 | 每班留 2~4 组试件,日进度 < 500m 取 1 组; ≥ 500m 取 3 组; ≥ 1000m 取 3 组。测平均 R, R _{min} , C _V 。 |
| 混凝土路面 | 钻芯劈裂强度 3m 直尺平整度 动态平整度 板厚 抗滑构造深度 横坡度 接缝顺直度 摊铺中线偏位 纵断高程 板宽 切缝及灌缝深度 连接摊铺纵缝高差 胀缝缺陷 胀缝板偏位倾斜 胀缝缩缝传力杆偏斜 | 每 3km 每车道钻取 1 个岩芯,硬路肩为 1 个车道,测平均 R, R _{min} , C _V 和板厚 H。 随机抽一条车道连续检测 所有车道连续检测 每 100m 路面摊铺宽度内左右各 2 处,连接摊铺每天 100m 边缘 1 处,并参考岩芯 铺砂法:每 200m ¹ 处 水准仪:每 200m ⁴ 个断面 拉线法:每 200m ⁴ 条 经纬仪:每 200m ⁴ 点 水准仪:每 200m ⁴ 点 尺测:每 200m ⁴ 处 尺测:每 100m ² 处 尺测:每 200m ⁴ 横尺 每条观察填缝及啃边断角 尺测:每块板每条两侧 钢筋保护层仪:每车道 3~5 根 | 每 3km 每车道钻取 1 个岩芯,硬路肩为 1 个车道,测平均 R, R _{min} , C _V 和板厚 H。 随机抽一条车道连续检测 所有车道连续检测 每 100m 路面摊铺宽度内左右各 1 处,连接摊铺 100m 边缘 1 处,参考岩芯 铺砂法:每 200m ¹ 处 水准仪:每 200m ⁴ 个断面 拉线法:每 200m ⁴ 条 经纬仪:每 200m ⁴ 点 水准仪:每 200m ⁴ 点 尺测:每 200m ⁴ 处 尺测:每 100m ² 处 尺测:每 200m ⁴ 横尺 每条观察填缝及啃边断角 尺测:每块板每条两侧 钢筋保护层仪:每车道 3~5 根 |

滑模水泥混凝土的最短及适宜的搅拌时间限定,需要满足搅拌均匀时的最小搅拌圈数,按照 1994 年版英国 A. M. NEVILLE《Properties of Concrete》一书,提出全部物料到齐,单立轴搅拌楼搅拌圈数 > 20 圈、叶片平均最短行程 > 80m 即可,书中未介绍新型双卧轴搅拌楼的最小圈数。作者通过实际检测,认为这个最小圈数偏少,最小应大于 25 圈以上,叶片平均最短行程不应小于 100m。具体最短搅拌时间应按机型和拌和匀质性效果而定。本规程规定最短纯搅拌时间,单立轴式不小于 30s,双卧轴不小于 35s,连续双锅不小于 40s。搅拌时间是从进料开始到拌和完成出料的时间,其中最短搅拌时间为材料到齐后的纯拌和时间。连续搅拌时,指原材料在两级搅拌锅内的总逗留时间。目前我国施工混凝土路面时,最大的问题之一是混凝土生产能力不足,无论是进口还是国产的大型搅拌楼,由于滑模混凝土是相对低塑性混凝土,几乎都达不到额定容量或标称产量。给定间歇搅拌楼容量可否更好、更多、更快地供给混凝土,能否在保证搅拌匀质性前提下,尽量压缩搅拌时间,按照实际情况修改搅拌楼设置的搅拌程序是一个很现实的施工问题。使用这个概念在搅拌楼上实测圈数和匀质性,再将满载圈数换算为搅拌时间,就可

以实现这个目的。编者依此方法,有效地实现了将标称产量 $20\text{m}^3/\text{h}$ 的搅拌楼,在保证搅拌均匀性的前提下,提高到 $25\text{m}^3/\text{h}$ 。按照搅拌楼进料—搅拌—卸料关键线路图,有可重叠和改进的余地。由此提出科学编制计算机搅拌程序,合理控制搅拌时间,在保证质量前提下,增加产量的要求。

(三)运输

新拌水泥混凝土运输允许最长时间比《水泥混凝土路面施工及验收规范》(GBJ97—87)的规定延长了半小时,增加了防止离析、覆盖和初凝后混凝土处置措施。滑模混凝土的最大运输距离视路况好坏和气温高低,一般不应大于 20km 。实测表明,运距大于 20km 时,所发生的离析现象会使平整度变差。

第五节 水泥混凝土路面质量通病及防治

一、水泥混凝土路面断板原因

温度应力与荷载应力超过混凝土的抗拉强度,水泥混凝土路面板就会产生断裂并发展为断板。这些断裂,有的是在施工期间由于混凝土的初期收缩受到阻碍而产生的拉应力超过了混凝土的抗拉强度而引起的横向裂缝;有的是由于板块尺寸过大所产生的温度翘曲应力超过了混凝土的抗弯拉强度而引起的横向裂缝;有的是由于地基的不均匀沉降或地基受侵蚀而使板底出现脱空后,致使应力增加而引起的纵向、横向或角隅断裂;有的是由于车辆荷载的多次重复作用,所产生的重复荷载应力超过了混凝土的疲劳强度而引起的纵向或横向裂缝。

有的研究认为:水泥混凝土路面开裂的主要原因是混凝土的自身收缩(包括干燥收缩和温度收缩)及其与基层间的强大的摩阻力(包括静摩擦力和层间粘结剪应力),因此减少或改善混凝土的自身收缩及其与基层的摩阻力,就能有效地防止开裂。

下面将早期开裂断板和使用期开裂断板的原因作以下分析:

(一)早期开裂断板原因

1. 原材料不合格

(1)水泥安全性差,强度不足。水泥中的游离氧化钙($f-C_3O$)在凝结过程中水化很慢,水泥凝结硬化后还在继续起水化作用,当 $f-C_3O$ 超过一定限量时,就会破坏已经硬化的水泥石或使抗拉强度下降。水泥强度不足也会影响混凝土的初期强度,使开裂断板

的几率大大增加。水泥的水化热高、收缩大,也易导致开裂。

(2)集料(砂、碎石等)含泥量及有机质含量超标。水泥混凝土中水泥石与骨料的界面粘结不良,往往是产生初期开裂的薄弱部位。集料的含泥量和有机质含量超过规范要求,必然会造成界面缺陷,容易开裂。另外,有资料表明,在同样的水灰比条件下,石灰岩、石英岩等亲水性骨料与水泥石界面粘结力大,花岗岩等亲水性差的骨料则反之。

2. 基层标高失控和不平整

(1)基层标高失控,造成路面厚度不一致,过薄或厚薄交界处将成为薄弱断面,在混凝土收缩时,难以承受拉应力而开裂。

(2)基层不平整会大大地增加其与混凝土界面的摩阻力,易在较薄弱路面开裂。

(3)用松散材料处理基层标高失控或不平整时,上层混凝土拌和物的水分或砂浆会下渗或被基层吸收,使下部混凝土变得疏松,强度下降。

(4)基层干燥会吸收混凝土拌和物中的水分,使底部混凝土失水,强度降低,导致开裂。

3. 混凝土配合比不当

(1)单位水泥用量偏大。混凝土中引起收缩的主要是水泥石部分,过多的水泥用量,必然会导致较大的收缩。

(2)水灰比偏大。水泥完全水化的最低水灰比约为 $0.26 \sim 0.29$,施工中采用较高的水灰比是为了满足和易性需要。但偏大的水灰比,增大了水泥水化初期骨料表面的水膜厚度,影响了混凝土强度。

(3)施工中计量不准,尤其是未根据集料中的含水量及时调整用水量,会影响混凝土的配合比的准确性,从而影响其初期强度。

(4)一般情况下,混凝土配合比按“饱和面干”状态设计,如使用长期在日光曝晒下的过干骨料,会大量吸收拌和用水而影响水灰比的准确性,影响混凝土强度。

4. 施工工艺不当

(1)搅拌不足或过分,振捣不密实,形成的混凝土强度不足或不均匀,易导致早期开裂断板。振捣时间不易过长,否则会造成分层,粗骨料沉入底层,细骨料留在上层,强度不均匀,表面收缩裂缝增加。

(2)混凝土拌和时,如果水泥或集料温度过高,再加上水泥的水化热,会使混凝土拌和物的温度很高,在冷却、硬化过程中会使温差收缩加大,导致开裂。

(3)混凝土浇筑间断。因停电、机械故障、运输不畅、气候突变、停料等原因使混凝土浇筑作业中断,再浇筑时未按施工缝处理,新旧混凝土由于结合不良和收缩不一致会形成一条不规则的接缝。

(4)养生不及时或养护方法不当。尤其是气温高,湿度小,风速大的不利条件下,就会使混凝土表面水分蒸发太快,从而形成干缩裂缝。

(5)切缝不及时。由于机具故障或操作人员切缝时间掌握不准确或切缝深度不足,造成混凝土内应力集中,在混凝土板的薄弱处形成不规则的贯穿裂缝。

(6)施工车辆过早通行。某些施工作业面,由于受到地理条件的限制或因混凝土养护作业需要在混凝土强度不足条件下过早地通车,产生荷载应力,这是产生裂缝的又一个原因。

(7)采用真空吸水工艺时,如果因两吸垫之间未重叠而导致漏吸,则漏吸处水灰比较大,混凝土强度较低,收缩也大,会形成薄弱环节而开裂。

(8)传力杆安装不当,上下翘曲,则在混凝土伸缩和传力过程中混凝土就会被破坏,形成裂缝损坏。

(9)在日温差较大的季节和地区,混凝土表面修整过程中,要避免阳光直射,整修后要及时覆盖养生,防止混凝土白天过多的升温,造成夜间降温时收缩过大。

5. 边界原因

(1)在双幅路面施工中,已浇筑一边的缩缝在另一边未开始浇筑前已经裂通,气温下降一定幅度时,断裂的缩缝两边混凝土板收缩,这样后浇筑还来切割的混凝土板受到较大的拉应力,而这时其混凝土强度还较低,当拉应力大于混凝土初期抗拉强度时,就会在先浇筑板缩缝对应位置发生不规则裂缝。

(2)有中央分隔带路缘石等的高速公路和街道施工中,路缘石常设有混凝土平基背座,由于路缘带先于路面施工,当温度下降时路缘带本身会收缩,路缘带下半部具有粗糙面会带动初期强度很低的混凝土面板在路缘带裂缝处产生边界裂缝。

(3)同样原因,如果基层稳定层已经发生裂缝,裂缝两边基层在气温下降时收缩,由于摩擦力作用,同样也会带动上面初期混凝土面板开裂。

(二)使用期开裂断板原因

1. 设计不当

(1)路面厚度偏薄。根据美国的研究资料,路面的使用寿命与路面厚度成5次方关系,如果设计时交通量调查不准,路基、基层、底基层的模量和材料参数选用不当等原因而使路面厚度偏薄,就会使路面寿命缩短,过早地出现开裂、断板。

(2)板块平面尺寸不当。

(3)混凝土原材料的配合比不当,混凝土产生碱-集料反应或抗冻融差等耐久性问题。

(4)排水设计不当。

水泥混凝土路面直接暴露在大气之中,一年四季大气温度、湿度周期性的变化,以及每一昼夜气温的变化,都会使得混凝土路面在不断的伸缩和翘曲中处于拉应力和压应力的反复交替作用状态,此拉、压应力称为温度应力。混凝土板越长,温度应力就越大。若设计时板块过长或长宽比例不当,温度应力超出容许范围,路面即产生开裂断板。

2. 超重车的影响

由于交通运输业的迅速发展,大吨位车辆逐年增多,单轴轴载比原设计计算轴载增加几倍,由于轴载等效换算系数 $n = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{16}$,即超重轴载与标准轴载换算成16次方关系,所以,超重车的增加是水泥混凝土路面使用期开裂断板的重要原因。

3. 路基不均匀沉降

路基不均匀沉降主要发生在:

- (1)填控相交断面处,半填半挖结合处,新老路基交接处,土基密度不同部位;
- (2)软弱地基、湿陷性黄土以及采空区、陷穴等特殊路段;
- (3)桥涵、构造物附近压实机械难以施工的部位;
- (4)路基不同填料的界面或层面;
- (5)压实度不足。

压实不均匀路段,在路面长期使用过程中,由于水温条件的变化和行车荷载作用,路基产生不均匀沉降,致使沉降量不同的结合面产生错台,面板由于荷载作用导致断裂。

4. 基层失稳

(1)基层施工质量不好,强度不均匀或较低,使用中基层松散或在渗水作用下材料被吸往一边,面层脱空,当受到的弯拉应力大于混凝土板强度时面板即发生断裂。

(2)面层接缝填封料失效,板的弯沉使空隙内的积水变成有压水,侵蚀冲刷基层,并沿接缝缝隙喷出,即产生唧泥。如果唧泥现象不断产生,面板边缘部分将失去支承,在荷载作用下产生断裂。

5. 初期微裂缝的扩展

初期混凝土收缩形成未反映到表面的微小裂缝,使用一段时间后,受行车荷载及温度应力的双重作用,部分裂缝将逐渐增长、变深,以至造成面板断裂。

6. 排水不良

(1)路基及基层排水不良,长期受水浸泡,引起路基失稳或强度不足,使路面产生不规则断裂。

(2)裂隙水或边沟水等渗入路基、基层和底基层,冬季冻胀时使路面产生纵向开裂。

7. 桥(涵)面铺装损坏

钢筋混凝土明盖板桥涵上的水泥混凝土路面铺装层,由于厚度不足或与盖板、涵台

结合部处理不当,在行车作用和盖板胀缩下,产生层间搓动和面板断裂。

某些产生初期断板的原因也会在使用期继续强化,导致路面开裂、断板或使病害程度更趋恶化。

二、水泥混凝土路面断板预防措施

针对上节中造成水泥混凝土路面断板原因的分析,采取行之有效的、全面的预防措施,可减少断板数量,延长混凝土路面的使用年限,提高行车的舒适性。

(一)早期开裂断板的预防

1. 合格的原材料是保证混凝土质量的必要条件

(1)对于安定性差、游离氧化钙(CaO)超标及强度不足的水泥应禁止使用;不同标号、不同厂家、不同种类、不同批产的水泥严禁混合使用;尽量采用旋转窑生产的发热量少、收缩量小的硅酸盐道路水泥或普通硅酸盐水泥。

(2)集料(砂、碎石)含水量超标时应更换料源,选择合格的、含水量较少的材料,或将其认真冲洗至达到要求方可使用。对有机质含量超标的集料应严格禁止使用。

2. 基层标高、平整度的控制

(1)严格控制基层顶面标高,确保混凝土路面板厚度的均匀一致。

(2)按水泥混凝土路面平整度要求控制基层平整度,采取加铺塑料薄膜等方法减少水泥混凝土路面板与基层的摩阻力。

(3)对于标高不足的基层应坚决返工重做、禁止采用抛撒松散基层材料填补标高的方法。

(4)加强基层养护工作,保持基层湿润状态,直至浇筑水泥混凝土路面板。

3. 严格控制混凝土配合比

(1)按试验混凝土配合比准确配料;单位水泥用量要精确称量,误差值控制在1%以内。

(2)集料的含水量要及时试验取得,控制适宜的用水量,保持水灰比准确;为减少用水量,改善和易性可使用合适的外掺剂;用水量误差不超过1%,外加剂控制在2%以内。

(3)采用电子秤或其他现代化配料机械设备准确配料,尽量不采用人工手推车按车计量的配料方法;集料称量误差控制在3%以内。

4. 施工工艺的控制

(1)混凝土的拌和时间要根据机械性能准确掌握,最长拌和时间不应超过最短拌和时间的3倍,振捣应均匀密实,避免漏振或超振现象产生。

(2)混凝土拌和时,若集料温度过高,应采用降温措施后再配料拌和。若采用撒水降

温方法,应及时测定含水量,调整拌和水用量,保证水灰比值不致增大。

(3)混凝土路面施工开盘前,要仔细检查发电机、振动梁、运输车辆等机具设备,确保其完好。现场中要有备用机具,严禁故障机具施工,并检查施工运料道路是否通畅,确保施工的连续性。配料、拌和、运输、摊铺作业面要有序配合,对于气候突变、停电、停料等情况,应提前做好准备工作,调整工序,暂停面板施工。重新铺装时应按施工缝处理接缝。

(4)重视混凝土面板养生,采用优质养护剂,或湿法养护,不要采用没有覆盖物仅洒水的养生方法。

(5)及时切缝,根据施工现场气温及水泥品种试验确定最早切缝时间,一般应采用多台切缝机同时作业,以保证切缝及时。切缝深度为混凝土板厚的 $1/3$ 至 $1/4$,不宜切缝太浅(少于 $1/4$)或太深(多于 $1/3$),剩余断面部分能吸收由于高温产生的内应力。有资料表明,软切缝工艺可提前切缝时间,预防水泥混凝土路面断板。

(6)控制交通车辆,避免在混凝土强度不足的条件下,过早开放交通,养护车辆也应尽量避免直接在面板上通行。

(7)采用真空吸水工艺时,一定要注意两吸垫之间重叠足够尺寸,避免漏吸。

(8)正确安装传力杆,防止上下翘动,可采用双模板控制。浇筑下一混凝土板时要按设计要求安设塑料套管和涂沥青隔层。

(9)在昼夜温差较大的季节或地区,混凝土表面修整过程中,要设遮阳棚,避免阳光直射,修整完成后要覆盖养生,以保持温度变化不致太大。

5. 边界影响的控制

(1)要尽早将后浇筑的面板切缝。

(2)有中央分隔带、路缘石等结构物施工时,应在与混凝土面板接触处涂刷沥青,使双方自由伸缩。

(3)基层养生结束后,及时浇筑水泥混凝土路面,以防止基层因暴露时间长产生干缩裂缝。若出现裂缝,浇筑前应采取封闭裂缝处理,预防因基层裂缝反射到面板上来。

(二)使用期开裂断板的预防

1. 设计要与社会发展相一致

(1)在混凝土路面厚度、平面尺寸的设计计算阶段,应充分考虑交通发展状况,准确调查交通量及运输车辆的发展状况,避免因设计厚度偏小,平面尺寸不合理,在设计使用年限内由于交通量的快速增长或重载车辆增加造成面板提前破坏。

(2)选用适合当地环境条件的原材料,重视冻融性和耐久性。

(3)设计全面的排水系统,确保地表水、地下水不会对路基、路面造成浸蚀破坏。

2. 依法治路 ,严格控制超重车辆通行。

3. 路基质量的控制

(1)路基压实质量要求达到规定的压实度值和弯沉值 ,特别是桥涵、构造物附近(死角部位)更应加强压实工作 ,保证路基有足够的、均匀的强度 ;

(2)排水设施应完善 ,并要充分考虑地下水对路基稳定的影响 ;

(3)路基填筑中 ,不同类型的土壤应分层填筑 ,避免土壤类型在路基上的突变造成沉降不一致 ,影响路面板结构性能 ;

(4)对于填挖交界、半填半挖结合处应按路面板的要求进行特殊设计 ,施工中要对路槽以下部分进行处理 ;

(5)对于路基不稳定 ,特殊软弱土基、湿陷性黄土、采空区、陷穴、滑坡等路段 ,应避免采用水泥混凝土路面 ,其他特殊路基应经过特殊处理后方可进行水泥混凝土路面施工。

4. 路面基层质量的控制

水泥混凝土路面不要求基层有很高的强度 ,最重要的是基层强度的均匀性、稳定性要好。

(1)基层应尽可能采用水泥稳定基层 ,严格控制细料 ,以增加基层的水稳性 ,防止唧泥 ;

(2)建立验槽制度 ,确保基层厚度均匀一致 ,保证强度的均匀 ;

(3)采用厂拌法拌基层料 ,确保拌和均匀和配料准确 ;

(4)按照设计要求 ,保证基层的密实度 ;

5. 其它预防措施

(1)及时采取措施 ,封填微裂缝 ,如灌注环氧树脂。

(2)加强养护工作 ,对排水系统中发现的问题及时处理 ,避免造成较大的病害。

(3)桥涵施工过程中 ,应结合桥面铺装 ,认真处理好路桥结合部位 ,防止不均匀沉降。

三、断板的处理与修复

断板的处理 ,应根据其损坏程度不同分别对待。处理断板的方法分为裂缝修补、局部修补、整块板更换三种。

(一)裂缝修补

对于轻微断裂 ,裂缝无剥落或轻微剥落 ,裂缝宽度小于 3mm 的断板 ,应采用灌入粘结剂的方法进行修补。

粘结剂灌入方法分为 :直接灌入法、喷嘴灌入法、钻孔灌浆法、注射器注射法。

1. 粘结剂材料有聚胺脂、聚硫环氧树脂(聚硫橡胶 + 环氧树脂)、甲凝、环氧树脂(6101、6343、618 等品种)、日产 BL—GROUT 等高分子树脂工程材料。

(1)聚胺树脂灌缝料:为双组份,A组为多元醇和二异氰酸脂的预聚体;B组为固化剂,A、B二料可采用100:27比例配成聚胺脂灌缝料,抗弯拉强度达6.5MPa,适宜于灌宽缝。这种材料的特点是在潮湿界面以及碱性界面处,能与界面紧密结合,延伸性好和耐老化。

(2)聚硫环氧树脂灌缝料:采用聚硫橡胶:环氧树脂=16:(2~16)配成聚硫环氧树脂灌缝料,其抗拉强度可达32MPa,用于灌窄缝。特点是改善了环氧树脂的耐老化性能和脆性。

(3)甲凝灌缝料:由甲基丙烯酸甲脂(主剂)、甲基丙烯酸丁脂(增塑剂)、甲基丙烯酸(亲水剂)、过氧化二苯酰(引发剂)、二甲基苯胺(促凝剂)、对甲苯亚磺酸(除氧剂)六种材料组成,采用配合比为主剂:增塑剂:亲水剂:引发剂:促凝剂:除氧剂=100ml:25ml:20ml:1.5g:2ml:1g。在材料不易采集的情况下,也可用简化配方,其配合比为主剂:引发剂:促凝剂=100ml:2g:2.5ml。配制顺序:先将主剂、增塑剂、亲水剂按比例依次混合,然后加入除氧剂、引发剂,最后加入促凝剂,待混合液呈枯黄色,即进行灌缝。抗拉强度达57~70MPa,宜于灌细缝。特点是粘度小,收缩性小(1%以下),耐酸碱、油等。

(4)环氧树脂灌缝料:由环氧树脂(胶结剂)、二甲苯(稀释剂)、邻苯二甲酸二丁脂(增韧剂)、乙二胺(固化剂)、水泥或滑石粉(填料)组成,采用配合比为胶结剂:稀释剂:增韧剂:固化剂:填料=100:40(20~40):10:8:(200~400),填料视缝隙宽度掺加。

(5)BL-GROUT高分子粘结剂:为双组份,A组为主剂,B组为固化剂,A、B二料采用2:1的比例配成灌缝料,抗弯拉强度达6.5MPa,适宜于灌宽度为3mm左右裂缝。特点是粘度小,收缩性小,耐老化和延伸性好,操作简便,易于掌握,但要求裂缝结合界面干燥。BL—GROUT粘结剂有小包装成品专售,使用医用注射器注射即可。

2. 裂缝修补工艺

(1)直接灌入法:适用于施工中产生的混凝土收缩裂缝。在未通车前,一旦发现混凝土板出现裂缝,可用聚硫环氧树脂材料等直接灌注。

(2)喷嘴灌入法:适用于通车路段冬季修补裂缝。操作工序:清缝——埋设灌浆嘴封闭裂缝——配灌缝材料——灌浆——加热增强。

①清缝:采用压缩空气配特制喷嘴(鸭嘴形为好),配细铅丝小钩子掏除缝隙中的泥土等杂物。

②埋设灌浆嘴封闭裂缝:灌浆嘴一般约30cm设一个,用按1:2配比的松香和石蜡加热熔化粘住裂缝,再用胶布将缝口贴好,并涂上松香和石蜡。

③配灌缝材料:根据缝口宽窄及要求开放通车时间选用适宜的灌浆材料及配比混合调匀倒于小铝锅中。

④灌浆 将配制的灌浆材料倒入有机玻璃管注射器或其他特制的灌浆器中,一般宜在 30~40min 以内用压力将灌缝料由各灌浆嘴中灌入缝中,至灌满将要顶动上面的胶布为止。其上宜加一层水泥浆或砂浆抹面并喷养护剂,使表面颜色一致。

⑤加热增强:一般宜用红外线灯或装有 60~100W 灯泡的长条形灯罩,在已灌缝上加温,温度控制在 50℃~60℃,加热 1~2h,即可开放通车。

(3) 钻孔灌浆法:可用于非冬季修补裂缝。

①沿裂缝用冲击电钻打一排直径为 15mm 的孔槽,以形成一带状槽;

②用压缩空气喷枪伸入槽孔内清除混凝土残屑;

③向孔槽内填洁净的小碎石(直径 5~10mm);

④沿孔槽灌浆;

⑤用乳胶拌和水泥覆盖装饰槽口;

⑥用红外线灯加热 1~2h,促使灌浆料增强,即可开放通车。

(4) 注射器注射法:此法适用于通车时间短,裂缝杂物少,较清洁、干燥,裂缝宽度在 3mm 左右的路面断板修补。

①清缝:采用空气压缩机配特制喷嘴吹干净缝隙,并配细铅丝小钩子充分掏尽缝隙中的泥土等杂物;

②配灌缝材料:将小包装主剂与固化剂按 2:1 比例掺配。一般小包装为 1kg 混合剂分 A 桶主剂 0.67kg 和 B 桶固化剂 0.33kg 二个桶装,操作时只需将固化剂直接倒入主剂中,拌和至颜色均匀即可。

③注射器注射:使用 50ml 医用注射器抽入混合剂,对准插入缝隙注射(可不使用针头),由中线向两边逐点注射至缝隙填满。若先注射段落渗入较多,应及时补注至饱满,若 15min 内不再渗入则可认为已注满缝隙。整个缝隙注射完成后,撒少许干水泥拌砂混合料覆盖,三小时后即可开放通车。该操作应在配料开始 90min 内完成,否则材料将凝固无法使用。

(二) 局部修补

板面局部断裂损坏,进行小块修复时,应视桥面断裂损坏程度不同分三种方式修补:

(1) 对于轻微断裂,裂缝有轻微剥落的,先画线放样,按画线范围开凿成深约 5~7cm 的长方形凹槽,刷洗干净后,用快凝小石子混凝土填补(图 4-4-48)。

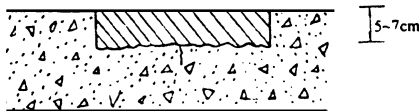


图 4-4-48

(2)对于轻微断裂,裂缝较宽且有轻微剥落的断板,应按裂缝两侧至少各 20cm 的宽度放样,按画线范围开凿成深至板厚一半的凹槽,此凹槽应与中线垂直,刷洗干净凹槽,在凹槽底部裂缝的两侧用冲击钻沿与中线平行方向,间距 30~40cm,打眼贯通至板厚达基层表面,然后再清干净凹槽和孔眼,在孔眼安设 II 形钢筋,冲击钻钻头采用 $\phi 30$ 规格,II 形钢筋采用 $\phi 22$ 螺纹钢筋制作,安设钢筋完成后,用高标号砂浆填塞孔眼至密实,最后用与原路面相同标号的快凝混凝土浇筑至路面齐平(图 4-4-49)

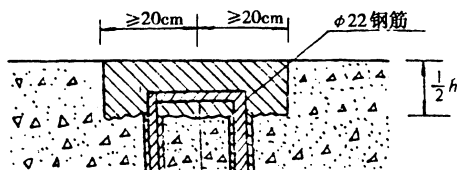


图 4-4-49

(3)较为彻底的办法是将凹槽凿至贯通板厚,在凹槽边缘两侧板厚中央打洞,深 10cm,直径 4cm,水平间距 30~40cm。每个洞应先将其周围润湿,插入一根直径 18~20mm、长约 20mm 的钢筋,然后用快凝砂浆填塞捣实,待砂浆硬后浇筑快凝混凝土夯捣实齐平路面即可(图 4-4-50)。

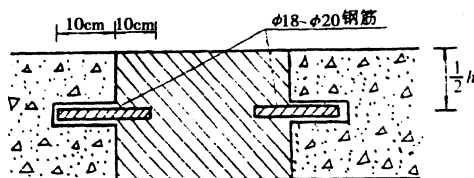


图 4-4-50

(三)整块板更换

对于严重断裂,裂缝处有严重剥落,板被分割成 3 块以上,有错台或裂块已开始活动的断板,应采用整块板更换的措施。

由于基层强度不足或渗水软化,以及路基不均匀沉降,造成混凝土板断裂成破碎板或严重错台时,应将整块板凿除,在处治好基层以及路基后,重新浇筑新的混凝土板,或采用混凝土预制块或条块石换补。对于路基稳定性差,沉降没有完全结束的段落,建议采用预制块换补断板。对基层也要求采用水泥稳定结构层。修补块的缝隙宜用水泥砂浆或沥青橡胶填满,以防渗水破坏。

采用重新浇筑新的混凝土板时,若采用常规材料修复或更换,则养护期长,影响交通,建议采用快凝材料。

快凝材料种类较多,下面简要介绍几种快凝材料的性能及使用配合比及操作方法。

(1)江苏省交通工程公司研制的 KS 型快速修补材料分为 KS—6、KS—12 及 KS—24 三种,强度高、强粘结,修补后若干小时即可通车。

KS 材料性能及每立方米混凝土用量见表 4-4-36。

表 4-4-36 KS 型粘结剂性能及配制每立方米混凝土用量(kg)

| 名称 | 525 号水泥 | KS 剂 | 水 | 砂 | 碎石直径 0.5~1.5 cm | 碎石直径 1~3 cm | 碎石直径 2~4 cm | 28d 抗 弯拉强度 (MPa) | 24h 抗 弯拉强度 (MPa) | 价格 |
|--------------|---------|-------|-----|-------|-----------------------|-------------------|-------------------|------------------------|------------------------|----|
| KS-6 混凝土 | 366 | 112.6 | 160 | 530 | 233.4 | 479.8 | 584 | | 4.65 | 较贵 |
| KS-12 混凝土 | 346 | 89.2 | 160 | 535.9 | 236.2 | 485.4 | 590.4 | 6.25 | 4.56 | 较贵 |
| KS-24 混凝土 | 387.5 | 60 | 155 | 551 | 242.8 | 499.1 | 607.1 | 5.04 | 1.98 | 较廉 |

(2)江苏省建筑科学研究院研制的 JK 型快凝快速修补材料价廉料广,并且强度高,强粘结。用 JK 型复合剂配制混凝土配合比为:

JK 复合剂:525 号普通水泥:水:砂:碎石 = 1.158:1:0.4:0.88:2.27。其坍落度为 1cm,便于修补施工。28d 抗弯拉强度为 5.49MPa,抗压强度为 47.5MPa。1d 抗弯拉强度为 3.10MPa,抗压强度为 18.9MPa。

(3)由南京水利科学研究院研制的 AS 型快速修补材料是一种以冶金工业废渣和化学激发剂为主要成分的水硬性胶凝材料,它可代替水泥材料,直接与砂、石、水配制成 AS 型混凝土或 AS 型砂浆。

(4)由上海市市政工程研究所研究配制的 SC 型快凝修补材料,工厂化生产,价较低。SC 粘结剂由液体、粉剂二种材料组成,取代水泥,配制成 SC 型混凝土或 SC 型砂浆。

混凝土路面断板修复及处理的措施、工艺方法较多,无法一一详述,请参阅有关文献。

第五章 路基路面工程施工现场试验检测

第一节 压实度试验检测

路基、路面压实质量是公路工程施工质量管理最重要的内在指标之一,只有对路基、路面结构层进行充分压实,才能保证路基、路面的强度、刚度及路面的平整度,并可以保证及延长路基、路面工程的使用寿命。

现场压实质量用压实度表示,对于路基土及路面基层,压实度是指工地实际达到的干密度与室内标准击实试验所得的最大干密度的比值;对沥青路面,压实度是指现场实际达到的密度与室内标准密度的比值。

一、标准密度(最大干密度)和最佳含水量的确定方法

由于筑路材料结构层次等因素的不同,确定室内标准密度的方法也多样化,有些方法需在实践中进一步完善。最大干密度是指在标准击实曲线(驼峰曲线)上最大的干密度值,该值对应的含水量即为最佳含水量。

(一)路基土的最大干密度和最佳含水量确定方法

路基受到的荷载应力,随深度而迅速减少,所以路基上部的压实度应高一些;另外,公路等级高,其路面等级也高,对路基强度的要求则相应提高,所以对路基压实度的要求也应高一些。因此,高速、一级公路路基的压实度标准,对于路床0~80cm应不小于95%,路堤80~150cm应不小于93%,150cm以下应不小于90%;对于零填及路堑、路槽底面以下0~30cm应不小于95%。

在平均年降雨量少于 150mm 且地下水位低的特殊干旱地区(相当于潮湿系数 ≤ 0.25 地区)的压实度标准可降低 2% ~ 3%。因为这些地区雨量稀少,地下水位低,天然土的含水量大大低于最佳含水量,要加水到最佳含水量情况下进行压实确有很大困难,压实度标准适当降低也不致影响路基的强度和稳定性。在平均年降雨量超过 2000mm,潮湿系数 > 2 的过湿地区和不能晾晒的多雨地区,天然土的含水量超过最佳含水量 5% 时,要达到上述的要求极为困难,应进行稳定处理后再压实。

由于土的性质、颗粒的差别,确定最大干密度的方法也有区别,除了一般土的“击实法”以外,还有粗粒土和巨粒土最大干密度的确定方法。不同性质土的最大干密度确定方法及各方法的适用范围见表 4-5-1。

表 4-5-1 土的最大干密度确定方法比较

| 试验方法 | 适用范围 | 土的粒组 |
|----------|--|------------|
| 轻型、重型击实法 | 小试筒适用于粒径不大于 25mm 的土 大试筒适用于粒径不大于 38mm 的土 | 细粒土 粗粒土 |
| 振动台法 | ①本试验规定采用振动台法测定无粘性自由排水粗粒土和巨粒土(包括堆石料)的最大干密度。②本试验方法适用于通过 0.074mm 标准筛的干颗粒质量百分数不大于 15% 的无粘性自由排水粗粒土和巨粒土。③对于最大颗粒大于 60mm 的巨粒土,因受试筒允许最大粒径的限制,宜按相似级配法的规定处理 | 粗粒土 巨粒土 |
| 表面振动压实仪法 | 同上 | 粗粒土 巨粒土 |

击实试验由于击实功的不同,可分为重型和轻型击实,两个试验的原理和基本规律相似,但重型击实试验的击实功提高了 4.5 倍。击实试验中按采集土样的含水量,分湿土法和干土法,按土能否重复使用,也分为两种,即土能重复使用和不能重复使用。选择时应根据下列原则进行:根据工程的具体要求,按击实试验方法种类中规定选择轻型或重型试验方法,根据土的性质选用干土法或湿土法,对于高含水量土宜选用湿土法;对于非高含水量土则选用干土法,除易击碎的试样外,试样可以重复使用。

振动台法与表面振动压实仪法均是采用振动方法测定土的最大干密度。前者是整个土样同时受到垂直方向的振动作用,而后者是振动作用自土体表面垂直向下传递的。研究表明,对于无粘聚性自由排水土这两种方法最大干密度试验的测定结果基本一致,但前者试验设备及操作较复杂,后者相对容易,且更接近于现场振动碾压的实际状况。因此,使用时可根据试验设备拥有情况择其一即可,但推荐优先采用表面振动压实仪法。

已有的国内外研究结果表明,对于砂、卵、漂石及堆石料等无粘聚性自由排水土而

言,一致公认采用振动方法而不是普通击实法。因此,建议采用振动方法测定无粘聚性自由排水土的最大干密度。

各试验方法的仪器设备、试验步骤等详见《公路土工试验规程》(JTJ 051-93)。

(二)路面基层混合料最大干密度及最佳含水量确定方法

常见的路面基层材料有半刚性基层及粒料类基层,粒料类基层最大干密度的确定可参照粗粒土和巨粒土的振动法。半刚性基层材料按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057-94)执行,用标准击实法求得,但当粒料含量高时(50%以上),由于击实筒空间的限制,现行方法就不能得出真正的最大干密度。若以此为准,按施工规范要求的压实度成型,所测得的强度和有关参数太小,据此进行设计,势必造成浪费。同样,如以此为准进行施工质量控制,必然要求太低,不能保证施工质量,因此,需要寻求更科学的方法。下面介绍一种确定最大干密度和最佳含水量的方法,即理论计算法。

1. 石灰土、二灰稳定粒料

根据室内试验测得结合料的最大干密度 ρ_1 和集料的相对密度 γ ,把已确定的结合料与集料的质量比换算为体积比 $V_1:V_2$,则混合料的最大干密度 ρ_0 为:

$$\rho_0 = V_1\rho_1 + V_2\gamma \quad (4-5-1)$$

石灰土、二灰稳定粒料的最佳含水量 w_0 是结合料的最佳含水量 w_1 和集料饱水裹覆含水量 w_2 的加权值,可按下式计算:

$$w_0 = w_1A + w_2B \quad (4-5-2)$$

式中 A, B ——结合料和集料的质量百分比,以小数计。

饱水裹覆含水量是指把集料浸水饱和后取出,不擦去表面裹覆水时的含水量。除吸水率特大的集料外,此值对于砾石可以取 3%,碎石可取 4%。

2. 水泥稳定粒料

此类材料的最大干密度 ρ_0 与集料的最大干密度 ρ_G 和水泥硬化后的水泥质量有关,即:

$$\rho_0 = \frac{\rho_G}{\left[1 - \frac{(1+k)a}{100}\right]} \quad (4-5-3)$$

式中 ρ_G ——集料在振动台上加载振动而得到的最大干密度, g/cm^3 ;

a ——水泥含量, %;

k ——水泥水化时水的增量,视水泥品种不同而异,一般为水泥质量的 10% ~ 25%,以小数计。

水泥加水拌匀后,在 105℃ 烘箱中烘干,称试验前水泥质量和烘干后硬化的水泥质量,即可求得水泥水化的水增量。

因水泥中含有水化水,故用烘箱法不能正确测出水泥稳定粒料的最佳含水量。根据对比试验,水泥稳定粒料的最佳含水量 w_0 由水泥的水化水、集料的饱水裹覆含水量和拌和水泥所需要的水(水灰比为 0.5)三者组成,即:

$$w_0 = (0.5 + k)a + w_2 \left(1 - \frac{a}{100} \right) \quad (4-5-4)$$

式中 a ——水泥含量,%;

w_2 ——集料饱水裹覆含水量,%,同式(4-5-2)中规定;

k ——水泥水化水增量,以小数计,同式(4-5-3)中规定。

(三) 沥青混合料标准密度确定方法

沥青混合料标准密度,以沥青拌和厂取样试验的马歇尔密度或者试验段密度为准,当采用前者方法时,压实度标准比后者高,无论是用哪种方法,均存在对试件(马氏试件或芯样试件)测密度的问题,在进行密度试验时应根据混合料本身的特点,可采用下列方法之一:

(1)水中重法:本法仅适用于密实的 I 型沥青混凝土试件,不适用于采用了吸水性大的集料的沥青混合料试件。

(2)表干法:本法适用于表面较粗但较密实的 I 型或 II 型沥青混凝土试件,但不适用于吸水率大于 2% 的沥青混合料试件。

(3)蜡封法:本法适用于吸水率大于 2% 的 I 型或 II 型沥青混凝土试件以及沥青碎石混合料试件,不能用水中重法或表干法测密度时,应用蜡封法测定。

(4)体积法:本法适用于空隙率较大的沥青碎石混合料及大空隙透水性开级配沥青混合料试件。

具体的试验方法见《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052-93)。

二、现场密度试验检测方法

现场密度主要检测方法及各方法的适用范围见表 4-5-2。

表 4-5-2 现场密度检测方法及适用范围比较

| 试验方法 | 适用范围 |
|------|---|
| 灌砂法 | 适用于在现场测定基层(或底基层)、砂石路面及路基土的各种材料压实层的密度和压实度,也适用于沥青表面处治、沥青贯入式面层的密度和压实度检测,但不适用于填石路堤等有大孔隙或大孔隙材料的压实度检测 |
| 环刀法 | 适用于细粒土及无机结合料稳定细粒土的密度测试。但对无机结合料稳定细粒土,其龄期不宜超过 2d,且宜用于施工过程中的压实度检验 |

| 试验方法 | 适用范围 |
|------|---|
| 核子法 | 适用于现场用核子密度仪以散射法或直接透射法测定路基或路面材料的密度和含水量,并计算施工压实度。适用于施工质量的现场快速评定,不宜用作仲裁试验或评定验收试验 |
| 钻芯法 | 适用于检验从压实的沥青路面上钻取的沥青混合料芯样试件的密度,以评定沥青面层的施工压实度,同时适用于龄期较长的无机结合料稳定类基层和底基层的密度检测 |

(一)灌砂法

灌砂法是利用均匀颗粒的砂去置换试洞的体积,它是当前最通用的方法,很多工程都把灌砂法列为现场测定密度的主要方法。该方法可用于测试各种土或路面材料的密度,它的缺点是:需要携带较多量的砂,而且称量次数较多,因此它的测试速度较慢。

采用此方法时,应符合下列规定:

(1)当集料的最大粒径小于 15mm、测定层的厚度不超过 150mm 时,宜采用 $\phi 100\text{mm}$ 的小型灌砂筒测试。

(2)当集料的粒径等于或大于 15mm,但不大于 40mm,测定层的厚度超过 150mm,但不超过 200mm 时,应用 $\phi 150\text{mm}$ 的大型灌砂筒测试。

1. 仪器与材料

(1)灌砂筒:有大小两种,根据需要采用。型式和主要尺寸见图 4-5-1 及表 4-5-3。储砂筒筒底中心有一个圆孔,下部装一倒置的圆锥形漏斗,漏斗上端开口,直径与储砂筒的圆孔相同。漏斗焊接在一块铁板上,铁板中心有一圆孔与漏斗上开口相接。储砂筒筒底与漏斗之间设有开关。开关铁板上也有一个相同直径的圆孔。

(2)金属标定罐:用薄铁板制作的金属罐,上端周围有一罐缘。

表 4-5-3 灌砂仪的主要尺寸

| 结 构 | | 小型灌砂筒 | 大型灌砂筒 |
|--------|----------------------|-------|-------|
| 储砂筒 | 直径 (mm) | 100 | 150 |
| | 容积 (cm^3) | 2120 | 4600 |
| 流砂孔 | 直径 (mm) | 10 | 15 |
| 金属标定罐 | 内径 (mm) | 100 | 150 |
| | 外径 (mm) | 150 | 200 |
| 金属方盘基板 | 边长 (mm) | 350 | 400 |
| | 深 (mm) | 40 | 50 |
| | 中孔直径 (mm) | 100 | 150 |

注:如集料的最大粒径超过 40mm,则应相应地增大灌砂筒和标定罐的尺寸。如集料的最大粒径超过 60mm,灌砂筒和现场试洞的直径应为 200mm。

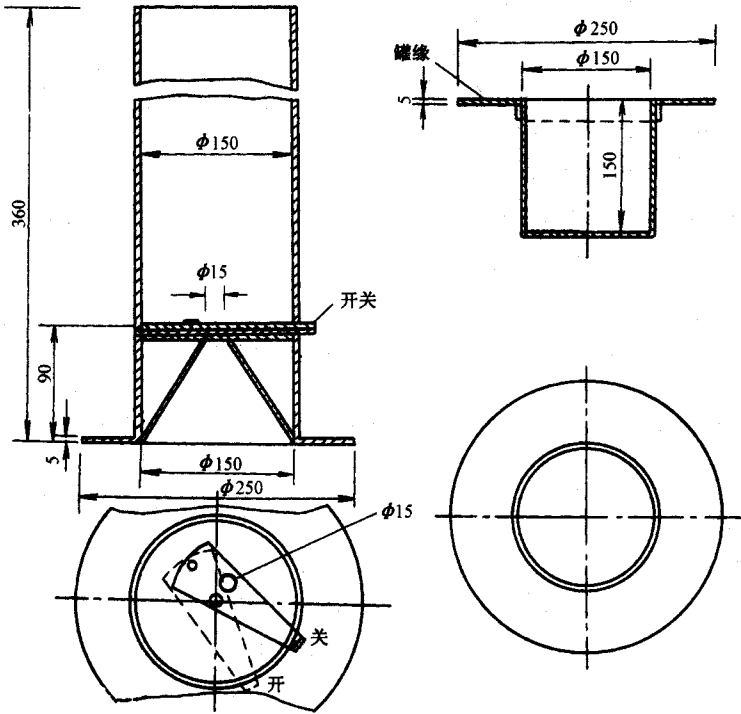


图 4-5-1 灌砂筒和标定罐 (单位: mm)

(3) 基板: 用薄铁板制作的金属方盘, 盘的中心有一圆孔。

(4) 玻璃板: 边长约 500 ~ 600mm 的方形板。

(5) 试样盘: 小筒挖出的试样可用铝盒存放, 大筒挖出的试样可用 300mm × 500mm × 40mm 的搪瓷盘存放。

(6) 天平或台称: 称量 10 ~ 15kg, 感量不大于 1g。用于含水量测定的天平精度, 对细粒土、中粒土、粗粒土宜分别为 0.01g、0.1g、1.0g。

(7) 含水量测定器具: 如铝盒、烘箱等。

(8) 量砂: 粒径 0.30 ~ 0.60mm 及 0.25 ~ 0.50mm 清洁干燥的均匀砂, 约 2040kg, 使用前须洗净、烘干, 并放置足够长的时间, 使其与空气的湿度达到平衡。

(9) 盛砂的容器: 塑料桶等。

(10) 其他: 凿子、改锥、铁锤、长把勺、小簸箕、毛刷等。

2. 试验方法与步骤

(1) 标定筒下部圆锥体内砂的质量

① 在灌砂筒筒口高度上, 向灌砂筒内装砂至距筒顶 15mm 左右为止。称取装入筒内砂的质量 m_1 , 准确至 1g。以后每次标定及试验都应该维持装砂高度与质量不变。

②将开关打开,让砂自由流出,并使流出砂的体积与工地所挖试坑内的体积相当(可等于标定罐的容积),然后关上开关,称灌砂筒内剩余砂质量 m_5 ,准确至 1g 。

③不晃动储砂筒的砂,轻轻地将灌砂筒移至玻璃板上,将开关打开,让砂流出,直到筒内砂不再下流时,将开关关上,并细心地取走灌砂筒。

④收集并称量留在板上的砂或称量筒内的砂,准确至 1g 。玻璃板上的砂就是填满锥体的砂 m_2 。

⑤重复上述测量三次,取其平均值。

(2) 标定量砂的单位质量 γ_s

①用水确定标定罐的容积 V ,准确至 1mL 。

②在储砂筒中装入质量为 m_1 的砂,并将灌砂筒放在标定罐上,将开关打开,让砂流出,在整个流砂过程中,不要碰动灌砂筒,直到砂不再下流时,将开关关闭。取下灌砂筒,称取筒内剩余砂的质量 m_3 ,准确至 1g 。

③按式(4-5-5)计算填满标定罐所需砂的质量 m_a :

$$m_a = m_1 - m_2 - m_3 \quad (4-5-5)$$

式中 m_a ——标定罐中砂的质量 g ;

m_1 ——装入灌砂筒内的砂的总质量 g ;

m_2 ——灌砂筒下部圆锥体内砂的质量 g ;

m_3 ——灌砂入标定罐后,筒内剩余砂的质量 g 。

④重复上述测量三次,取其平均值。

⑤按式(4-5-6)计算量砂的单位质量 :

$$\gamma_s = \frac{m_a}{V} \quad (4-5-6)$$

式中 γ_s ——量砂的单位质量 g/cm^3 ;

V ——标准罐的体积 cm^3 。

(3) 试验步骤

①在试验地点,选一块平坦表面,并将其清扫干净,其面积不得小于基板面积。

②将基板放在平坦表面上。当表面的粗糙度较大时,则将盛有量砂 m_5 的灌砂筒放在基板中间的圆孔上,将灌砂筒的开关打开,让砂流入基板的中孔内,直到储砂筒内的砂不再下流时关闭开关。取下灌砂筒,并称量筒内砂的质量 m_6 ,准确至 1g 。当需要检测厚度时,应先测量厚度后再进行这一步骤。

③取走基板,并将留在试验地点的量砂收回,重新将表面清扫干净。

④将基板放回清扫干净的表面上(尽量放在原处),沿基板中孔凿洞(洞的直径与灌

砂筒一致)。在凿洞过程中,应注意勿使凿出的材料丢失,并随时将凿出的材料取出装入塑料袋中,不使水分蒸发,也可放在大试样盒内。试洞的深度应等于测定层厚度,但不得有下层材料混入,最后将洞内的全部凿松材料取出。对土基或基层,为防止试样盘内材料的水分蒸发,可分几次称取材料的质量。全部取出材料的总质量为 m_w ,准确至 1g。

⑤从挖出的全部材料中取出有代表性的样品,放在铝盒或洁净的搪瓷盘中,测定其含水量(w ,以%计)。样品的数量如下:用小灌砂筒测定时,对于细粒土,不少于 100g;对于各种中粒土,不少于 500g。用大灌砂筒测定时,对于细粒土,不少于 200g;对于各种中粒土,不少于 1000g;对于粗粒土或水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定材料,宜将取出的全部材料烘干,且不少于 2000g,称其质量 m_d ,准确至 1g。当为沥青表面处治或沥青贯入结构类材料时,则省去测定含水量步骤。

⑥将基板安放在试坑上,将灌砂筒安放在基板中间(储砂筒内放满砂质量 m_1),使灌砂筒的下口对准基板的中孔及试洞,打开灌砂筒的开关,让砂流入试坑内。在此期间,应注意勿碰动灌砂筒。直到储砂筒内的砂不再下流时,关闭开关。小心取走灌砂筒,并称量筒内剩余砂的质量 m_4 ,准确到 1g。

⑦如清扫干净的平坦表面的粗糙度不大,也可省去上述②和③的操作。在试洞挖好后,将灌砂筒直接对准放在试坑上,中间不需要放基板。打开筒的开关,让砂流入试坑内。在此期间,应注意勿碰动灌砂筒。直到储砂筒内的砂不再下流时,关闭开关,小心取走灌砂筒,并称量剩余砂的质量 m'_4 ,准确至 1g。

⑧仔细取出试筒内的量砂,以备下次试验时再用,若量砂的湿度已发生变化或量砂中混有杂质,则应该重新烘干、过筛,并放置一段时间,使其与空气的温度达到平衡后再用。

3. 计算

(1)按式(4-5-7)或(4-5-8)计算填满试坑所用的砂的质量 m_b :

灌砂时,试坑上放有基板时:

$$m_b = m_1 - m_4 - (m_5 - m_6) \quad (4-5-7)$$

灌砂时,试坑上不放基板时:

$$m_b = m_1 - m'_4 - m_2 \quad (4-5-8)$$

式中 m_b ——填满试坑的砂的质量, g;

m_1 ——灌砂前灌砂筒内砂的质量, g;

m_2 ——灌砂筒下部圆锥内砂的质量, g;

m_4 、 m'_4 ——灌砂后,灌砂筒内剩余砂的质量, g;

$m_5 - m_6$ ——灌砂筒下部圆锥体内及基板和粗糙表面间砂的合计质量, g。

(2)按下式计算试坑材料的湿密度 ρ_w :

$$\rho_w = \frac{m_w}{m_b} \times \gamma_s \quad (4-5-9)$$

式中 m_w ——试坑中取出的全部材料的质量 ,g ;

γ_s ——量砂的单位质量 ,g/cm³。

(3)按下式计算试坑材料的干密度 ρ_d :

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{1 + 0.01 w} \quad (4-5-10)$$

式中 w ——试坑材料的含水量 ,%。

(4)水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定土 ,可按下式计算干密度 ρ_d :

$$\rho_d = \frac{m_d}{m_b} \times \gamma_s \quad (4-5-11)$$

式中 m_d ——试坑中取出的稳定土的烘干质量 ,g。

当试坑材料组成与击实试验的材料有较大差异时 ,可以试坑材料作标准击实 ,求取实际的最大干密度。

4. 试验中应注意的问题

灌砂法是施工过程中最常用的试验方法之一。此方法表面上看起来较为简单 ,但实际操作时常常不好掌握 ,并会引起较大误差 ;又因为它是测定压实度的依据 ,故经常是质量检测监督部门与施工单位之间发生矛盾或纠纷的环节 ,因此应严格遵循试验的每个细节 ,以提高试验精度。为使试验做得准确 ,应注意以下几个环节 :

(1)量砂要规则。量砂如果重复使用 ,一定要注意晾干 ,处理一致 ,否则影响量砂的松方密度。

(2)每换一次量砂 ,都必须测定松方密度 ,漏斗中砂的数量也应该每次重做。因此量砂宜事先准备较多数。切勿到试验时临时找砂 ,又不作试验 ,仅使用以前的数据。

(3)地表面处理要平整 ,只要表面凸出一点(即使 1mm) ,使整个表面高出一薄层 ,其体积也算到试坑中去了 ,会影响试验结果。因此本方法一般宜采用放上基板先测定一次粗糙表面消耗的量砂 ,按式(4-5-7)计算填坑的砂量 ,只有在非常光滑的情况下方可省去此操作步骤。

(4)在挖坑时试坑周壁应笔直 ,避免出现上大下小或上小下大的情形 ,这样就会使检测密度偏大或偏小。

(5)灌砂时检测厚度应为整个碾压层厚 ,不能只取上部或者取到下一个碾压层中。

(二)环刀法

环刀法是测量现场密度的传统方法。国内习惯采用的环刀容积通常为 200cm³ ,环刀

高度通常约 5cm。用环刀法测得的密度是环刀内土样所在深度范围内的平均密度。它不能代表整个碾压层的平均密度。由于碾压土层的密度一般是从上到下减小的,若环刀取在碾压层的上部,则得到的数值往往偏大,若环刀取的是碾压层的底部,则所得的数值将明显偏小。就检查路基土和路面结构层的压实度而言,我们需要的是整个碾压层的平均压实度,而不是碾压层中某一部分的压实度,因此,在用环刀法测定土的密度时,应使所得密度能代表整个碾压层的平均密度。然而,这在实际检测中是比较困难的,只有使环刀所取的土恰好是碾压层中间的土,环刀法所得的结果才可能与灌砂法的结果大致相同。另外,环刀法适用面较窄,对于含有粒料的稳定土及松散性材料无法使用。

1. 仪器与材料

(1)人工取土器或电动取土器:人工取土器包括环刀、环盖、定向筒和击实锤系统(导杆、落锤、手柄)。环刀内径 6~8cm,高 23cm,壁厚 1.52mm。

电动取土器由底座、行走轮、立柱、齿轮箱、升降机构、取芯头等组成。

电动取土器主要技术参数为:工作电压 DC24V(36Ah);

转速 5070r/min,无级调速,整机质量约 35kg。

(2)天平:感量 0.1g(用于取芯头内径小于 70mm 样品的称量),或 1.0g(用于取芯头内径 100mm 样品的称量)。

(3)其他:镐、小铁锹、修土刀、毛刷、直尺、钢丝锯、凡士林、木板及测定含水量设备等。

2. 试验方法与步骤

(1)用人工取土器测定粘性土及无机结合料稳定细粒土密度

①擦净环刀,称取环刀质量 m_2 ,准确至 0.1g。

②在试验地点,将面积约 30cm×30cm 的地面清扫干净。并将压实层铲去表面浮动及不平整的部分,达到一定深度,使环刀打下后,能达到要求的取土深度,但不得扰动下层。

③将定向筒齿钉固定于铲平的地面上,顺次将环刀、环盖放入定向筒内与地面垂直。

④将导杆保持垂直状态,用取土器落锤将环刀打入压实层中,至环盖顶面与定向筒上口齐平为止。

⑤去掉击实锤和定向筒,用镐将环刀及试样挖出。

⑥轻轻取下环盖,用修土刀自边至中削去环刀两端余土,用直尺检测直至修平为止。

⑦擦净环刀外壁,用天平称取环刀及试样合计质量 m_1 ,准确至 0.1g。

⑧自环刀中取出试样,取具有代表性的试样,测定其含水量。

(2)用人工取土器测定砂性土或砂层密度

①如为湿润的砂土,试验时不需要使用击实锤和定向筒。在铲平的地面上,细心挖出一个直径较环刀外径略大的砂土柱,将环刀刃口向下,平置于砂土柱上,用两手平稳地将环刀垂直压下,直至砂土柱突出环刀上端约 2cm 时为止。

②削掉环刀口上的多余砂土,并用直尺刮平。

③在环刀上口盖一块平滑的木板,一手按住木板,另一只手用小铁锹将试样从环刀底部切断,然后将装满试样的环刀转过来,削去环刀刃口上部的多余砂土,并用直尺刮平。

④擦净环刀外壁,称环刀与试样合计质量 m_1 ,精确至 0.1g。

⑤自环刀中取具有代表性的试样测定其含水量。

⑥干燥的砂土不能挖成砂土柱时,可直接将环刀压入或打入土中。

(3) 用电动取土器测定无机结合料细粒土和硬塑土密度

①装上所需规格的取芯头。在施工现场取芯前,选择一块平整的路段,将四只行走轮打起,四根定位销钉采用人工加压的方法,压入路基土层中。松开锁紧手柄,旋动升降手轮,使取芯头刚好与土层接触,锁紧手柄。

②将电瓶与调速器接通,调速器的输出端接入取芯机电源插口。指示灯亮,显示电路已通;启动开关,电动机工作,带动取芯机构转动。根据土层含水量调节转速,操作升降手柄,上提取芯机构,停机,移开机器。由于取芯头圆筒外表有几条螺旋状突起,切下的土屑排在筒外顺螺纹上旋抛出地表,因此,将取芯套筒套在切削好的土芯立柱上,摇动即可取出样品。

③取出样品,立即按取芯套筒长度用修土刀或钢丝锯修平两端,制成所需规格土芯,如拟进行其他试验项目,装入铝盒,送实验室备用。

④用天平称量土芯带套筒质 m_1 ,从土芯中心部分取试样测定含水量。

3. 计算

按下式分别计算试样的湿密度 ρ_w 及干密度 ρ_d :

$$\rho_w = \frac{4 \times (m_1 - m_2)}{\pi d^2 h} \quad (4-5-12)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_w}{1 + 0.01 w} \quad (4-5-13)$$

式中 ρ_w ——试样的湿密度 g/cm^3 ;

ρ_d ——试样的干密度 g/cm^3 ;

m_1 ——环刀或取芯套筒与试样合计质量 g ;

m_2 ——环刀或取芯套筒质量 g ;

d ——环刀或取芯套筒直径 cm ;

h ——环刀或取芯套筒高度, cm;

w ——试样的含水量, %。

(三) 核子密度湿度仪法

该法是利用放射性元素(通常是 γ 射线和中子射线)测量土或路面材料的密度和含水量。这类仪器的特点是测量速度快,需要人员少。该类方法适用于测量各种土或路面材料的密度和含水量,有些进口仪器可贮存打印测试结果。它的缺点是,放射性物质对人体有害,另外需要打洞的仪器,在打洞过程中使洞壁附近的结构遭到破坏,影响测定的准确性。对于核子密度湿度仪法,可作施工控制使用,但需与常规方法比较,以验证其可靠性。

1. 仪器与材料

(1)核子密度湿度仪:符合国家规定的关于健康保护和安全使用标准,密度的测定范围为 $1.12 \sim 2.73 \text{g/cm}^3$,测定误差不大于 $\pm 0.03 \text{g/cm}^3$,含水率测量范围为 $0 \sim 0.64 \text{g/cm}^3$,测定误差不大于 $\pm 0.015 \text{g/cm}^3$ 。它主要包括下列部件:

- ① γ 射线源:双层密封的同位素放射源,如铯—137、钴—60或镭—226等。
- ②中子源:如镭(241)—铍等。
- ③探测器: γ 射线探测器或中子探测器等。
- ④读数显示设备:如液晶显示器、脉冲计数器、数率表或直接读数表。
- ⑤标准板:提供检验仪器操作和散射计数参考标准用。
- ⑥安全防护设备:符合国家规定要求的设备。
- ⑦刮平板、钻杆、接线等。

(2)细砂:0.15~0.3mm。

(3)天平或台称。

(4)其他:毛刷等。

2. 试验方法与步骤

本方法用于测定沥青混合料面层的压实密度时,在表面用散射法测定,所测定沥青面层的层厚应不大于根据仪器性能决定的最大厚度。用于测定土基或基层材料的压实密度及含水量时,打洞后用直接透射法测定,测定层的厚度不宜大于20cm。

1)准备工作

(1)每天使用前按下列步骤用标准板测定仪器的标准值:

①接通电源,按照仪器使用说明书建议的预热时间,预热测定仪。

②在测定前,应检查仪器性能是否正常,在标准板上取34个读数的平均值建立原始标准值,并与使用说明书提供的标准值校对,如标准读数超过使用说明书规定的界限时,

应重复此标准的测量,若第二次标准计数仍超出规定的界限时,需视作故障并进行仪器检查。

(2)在进行沥青混合料压实层密度测定前,应用核子法对钻孔取样的试件进行标定;测定其他材料密度时,宜与挖坑灌砂法的结果进行标定。标定的步骤如下:

①选择压实的路表面,按要求的测定步骤用核子仪测定密度,记录读数;

②在测定的同一位置用钻机钻孔法或挖坑灌砂法取样,量测厚度,按规定的标准方法测定材料的密度;

③对同一种路面厚度及材料类型,在使用前至少测定 15 处,求取两种不同方法测定的密度的相关关系,其相关系数应不小于 0.9。

(3)测试位置的选择

①按照随机取样的方法确定测试位置,但与距路面边缘或其他物体的最小距离不得小于 30cm。核子仪距其他射线源不得少于 10m。

②当用散射法测定时,应用细砂填平测试位置路表结构凹凸不平的空隙,使路表面平整,能与仪器紧密接触。

③当使用直接透射法测定时,应在表面上用钻杆打孔,孔深略深于要求测定的深度,孔应竖直圆滑并稍大于射线源探头。

(4)按照规定的时间,预热仪器。

2)测定步骤

(1)如用散射法测定时,应按图 4-5-2 的方法将核子仪平稳地置于测试位置上。

(2)如用直接透射法测定时,应按图 4-5-3 的方法将放射源棒放下插入已预先打好的孔内。

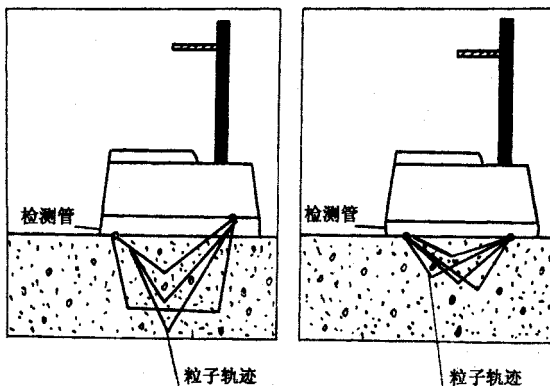


图 4-5-2 用散射法测定的方法

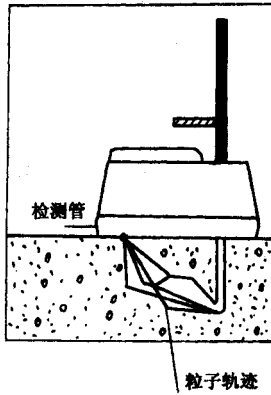


图 4-5-3 用透射法测定的方法

(3) 打开仪器, 测试员退出仪器 2m 以外, 按照选定的测定时间进行测量, 到达测定时间后, 读取显示的各项数值, 并迅速关机。

各种型号的仪器具体操作步骤略有不同, 可按照仪器使用说明书进行。

3. 使用安全注意事项

(1) 仪器工作时, 所有人员均应退到距仪器 2m 以外的地方。

(2) 仪器不使用时, 应将手柄置于安全位置, 仪器应装入专用的仪器箱内, 放置在符合核辐射安全规定的地方。

(3) 仪器应由经有关部门审查合格的专人保管, 专人使用。对从事仪器保管及使用的人员, 应遵照有关核辐射检测的规定, 不符合核防护规定的人员, 不宜从事此项工作。

(四) 钻芯法测定沥青面层密度

沥青混合料面层的施工压实度是指按规定方法测得的混合料试样的毛体积密度与标准密度之比, 以百分率表示。对沥青混合料, 国内外均以取样测定作为标准试验方法。

1. 仪器与材料

(1) 路面取芯钻机。

(2) 天平: 感量不大于 0.1g。

(3) 溢流水槽。

(4) 吊篮。

(5) 石蜡。

(6) 其他: 卡尺、毛刷、小勺、取样袋(容器)、电风扇。

2. 试验方法与步骤

1) 钻取芯样

按“路面钻孔及切割取样方法”钻取路面芯样, 芯样直径不宜小于 $\phi 100\text{mm}$ 。当一次

钻孔取得的芯样包含有不同层位的沥青混合料时,应根据结构组合情况用切割机将芯样沿各层结合面锯开分层进行测定。

2) 测定试件密度

(1) 将钻取的试件在水中用毛刷轻轻刷净粘附的粉尘。如试件边角有松散颗粒,应仔细清除。

(2) 将试件晾干或用电风扇吹干不少于 24h,直至恒重。

按现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052-93)的沥青混合料试件密度试验方法测定试件的视密度或毛体积密度。当试件的吸水率小于 2% 时,采用水中重法或表干法测定;当吸水率大于 2% 时,用蜡封法测定;对空隙率很大的透水性混合料及开级配混合料用体积法测定。

3. 计算

(1) 当计算压实的沥青混合料的标准密度采用马歇尔击实试件成型密度或试验路段钻孔取样密度时,沥青面层的压实度按下式计算:

$$K = \frac{\rho_s}{\rho_o} \times 100 \quad (4-5-14)$$

式中 K ——沥青面层的压实度, %;

ρ_s ——沥青混合料芯样试件的视密度或毛体积密度, g/cm^3 ;

ρ_o ——沥青混合料的标准密度, g/cm^3 。

(2) 由沥青混合料实测最大密度计算压实度时,应按式(4-5-15)进行空隙率折算,作为标准密度,再按式 4-5-14 计算压实度:

$$\rho_o = \rho_t \times \left(\frac{100 - VV}{100} \right) \quad (4-5-15)$$

式中 ρ_t ——沥青混合料的实测最大密度, g/cm^3 , 具体试验方法见《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052-93);

ρ_o ——沥青混合料的标准密度, g/cm^3 ;

VV ——试件的空隙率, %。

4. 试验检测中应注意的问题

压实度的大小取决于实测的压实密度,同样也与标准密度的大小有关。但目前对标准密度的规定并不统一,有些工程在压实度达不到时便重新进行马歇尔试验,调整标准密度使压实度达到要求,这样实际上是弄虚作假。为防止这种情况,新的检测方法规定了三种标准密度,一种是马歇尔击实试件密度;一种是试验路段钻孔取样密度;第三种是由实测最大密度按空隙率折算的标准密度。在进行检测时,应结合工程实际情况,采用相应的标准密度。

(五)落锤频谱式路基压实度快速测定仪

落锤频谱式路基压实度快速测定仪是利用落锤的冲击使土体产生反弹力,并利用低频测出土体响应值的一种不测含水量就能得到路基压实度的测试仪器。检测时,不需挖坑,每测一个点,只需 2~3min。该仪器体积小(仪器外形尺寸:320mm×140mm×300mm,冲击架高 460mm),质量轻(8.8kg),携带使用方便,既可在施工工地现场使用,也可在实验室土槽中使用。

1. 工作原理

落锤频谱式路基压实度快速测定仪的原理图具体如图 4-5-4 所示。

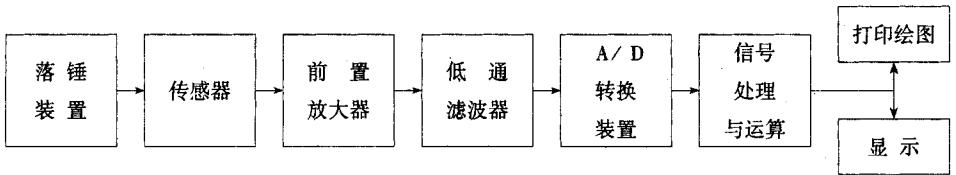


图 4-5-4 落锤频谱式路基压实度快速测定仪原理框图

在已碾压的路基表面上,使落锤自由落下,接触地面时,土体表面随即产生一反弹力。从理论上讲,土体愈密实,吸能作用愈弱,则反弹力愈强。反弹力随即使加速度传感器工作,记录加速度值。经过电荷放大器的前置放大,并以电压信号输出,随即又通过低通滤波器,进入峰值采样保持电路。然后,再由阈值触发电路,进入 10 位数(精度高)A/D 模数转换电路,CPU8098 单片机进行数据处理,最后,由 LED 显示器显示,同时,由 16 针打印机输出压实度数值。

2. 使用技术要点

(1)压实度曲线的标定

路基压实度曲线的标定工作十分重要,应在仪器各部分功能正常的情况下进行。标定工作实质上就是制作标定线,这种工作一般在试验室内进行。

标定时一定要选择工程所使用的土类,而且,选择的土类要具有工程代表性,这是确保标定精度的必要条件。压实度标定就是建立压实度加速度传感器响应值与压实度大小的关系曲线。

(2)测点数与测点布置

路基压实度测定以两次平均值作为测点压实度数值。如两次压实度测值的相对误差超过 1%,则需要进行第三次实测,利用三次平均值作为压实度最终结果。几次测定测点位置的安排主要取决于落锤的底面直径 d ,以及路基土冲击后回弹恢复的时间 t 。当 $t = 1\text{min}$ 之内,就要将落锤的位置向旁侧移动 $1.50d$ 的距离作第二次测定;当 $t = 3\text{min}$

时,则可在同一位置测定第二次,这样的安排不会引起误差。

三、压实度检测结果评定

路基、路面压实度以 1~3km 长的路段为检验评定单元,按要求的检测频率及方法进行现场压实度抽样检查,求算每一测点的压实度 K_i 。

压实度评定要点是:

(1)控制平均压实度的置信下限,以保证总体水平;(2)规定单点极值不得超出给定值,防止局部隐患;(3)规定扣分界限以区分质量优劣。

检验评定段的压实度代表值 K (算术平均值的下置信界限)为:

$$K = \bar{k} - t_{\alpha} S / \sqrt{n} \geq K_0 \quad (4-5-16)$$

式中 \bar{k} ——检验评定段内各测点压实度的平均值;

t_{α} —— t 分布表中随测点数和保证率(或置信度 α)而变的系数;

高速、一级公路:基层、底基层为 99%,路基、路面面层为 95%;

其他公路:基层、底基层为 95%,路基、路面面层为 90%;

S ——检测值的均方差;

n ——检测点数;

K_0 ——压实度标准值。

1. 路基、基层和底基层: $K \geq K_0$,且单点压实度 K_i 全部大于等于规定值减 2 个百分点时,评定路段的压实度可得规定满分;当 $K \geq K_0$,且单点压实度全部大于等于规定极值时,对于测定值低于规定值减 2 个百分点的测点,按其占总检查点数的百分率计算扣分值。

$K < K_0$ 或某一单点压实度 K_i 小于规定极值时,该评定路段压实度为不合格,评为零分。

路堤施工段落短时,分层压实度要点点符合要求,且实际样本数不小于 6 个。

2. 沥青面层:当 $K \geq K_0$ 且全部测点大于等于规定值减 1 个百分点时,评定路段的压实度可得规定的满分;当 $K \geq K_0$ 时,对于测定值低于规定值减 1 个百分点的测点,按其占总检查点数的百分率计算扣分值。

$K < K_0$ 时,评定路段的压实度为不合格,评为零分。

第二节 回弹弯沉测试

一、概述

国内外普遍采用回弹弯沉值来表示路基路面的承载能力,回弹弯沉值越大,承载能力越小,反之则越大。通常所说的回弹弯沉值是指标准后轴载双轮组轮隙中心处的最大回弹弯沉值。在路表测试的回弹弯沉值可以反映路基、路面的综合承载能力。回弹弯沉值在我国已广泛使用且有很多的经验及研究成果,它不仅用于路面结构的设计中(设计回弹弯沉);用于施工控制及施工验收中(竣工验收弯沉值);同时还用在旧路补强设计中,是公路工程的一个基本参数,所以正确的测试具有重要的意义。

(一)弯沉值的几个概念

1. 弯沉

弯沉是指在规定的标准轴载作用下,路基或路面表面轮隙位置产生的总垂直变形(总弯沉)或垂直回弹变形值(回弹弯沉),以 0.01mm 为单位。

2. 设计弯沉值

根据设计年限内一个车道上预测通过的累计当量轴次、公路等级、面层和基层类型而确定的路面弯沉设计值。

3. 竣工验收弯沉值

竣工验收弯沉值是检验路面是否达到设计要求的指标之一。当路面厚度计算以设计弯沉值为控制指标时,则验收弯沉值应小于或等于设计弯沉值;当厚度计算以层底拉应力为控制指标时,应根据拉应力计算所得的结构厚度,重新计算路面弯沉值,该弯沉值即为竣工验收弯沉值。

(二)弯沉值的测试方法

弯沉值的测试方法较多,目前用的最多的是贝克曼梁法,在我国已有成熟的经验,但由于其测试速度等因素的限制,各国都对快速连续或动态测定进行了研究,现在用得比较普遍的有法国洛克鲁瓦式自动弯沉仪,丹麦等国家发明并几经改进形成的落锤式弯沉仪(FWD),美国的振动弯沉仪等。这些在我国均有引进,现将几种方法各自的特点作简单比较,见表4-5-4。

表 4-5-4 几种弯沉测试方法比较

| 方 法 | 特 点 |
|---------|---|
| 贝克曼梁法 | 传统方法 , 速度慢 , 静态测试 , 比较成熟 , 目前属于标准方法 |
| 自动弯沉仪法 | 利用贝克曼梁原理快速连续 , 属于静态测试范畴 , 但测定的是总弯沉 , 因此使用时应用贝克曼梁进行标定换算 |
| 落锤式弯沉仪法 | 利用重锤自由落下的瞬间产生的冲击荷载测定弯沉 , 属于动态弯沉 , 并能反算路面的回弹模量 , 快速连续 , 使用时应用贝克曼梁法进行标定换算 |

二、贝克曼梁法

1. 试验目的和适用范围

(1) 本方法适用于测定各类路基、路面的回弹弯沉 , 用以评定其整体承载能力 , 可供路面结构设计使用。

(2) 本方法测定的路基、柔性路面的回弹弯沉值可供交工和竣工验收使用。

(3) 本方法测定的路面回弹弯沉可为公路养护管理部门制定养路修路计划提供依据。

(4) 沥青路面的弯沉以标准温度 20°C 时为准 , 在其他温度(超过 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围) 测试时 , 对厚度大于 5cm 的沥青路面 , 弯沉值应予温度修正。

2. 仪器与材料

(1) 测试车 : 双轴、后轴双侧 4 轮的载重车 , 其标准轴荷载、轮胎尺寸、轮胎间隙及轮胎气压等主要参数应符合表 4-5-5 的要求。测试车可根据需要按公路等级选择 , 高速公路、一级及二级公路应采用后轴 100kN 的 BZZ-100 ; 其他等级公路也可采用后轴 60kN 的 BZZ-60。

表 4-5-5 测定弯沉用的标准轴参数

| 标准轴载等级 | BZZ-100 | BZZ-60 |
|--------------------------|--------------------|-----------------|
| 后轴标准轴载 $F(\text{kN})$ | 100 ± 1 | 60 ± 1 |
| 一侧双轮荷载 (kN) | 50 ± 0.5 | 30 ± 0.5 |
| 轮胎充气压力 (MPa) | 0.70 ± 0.05 | 0.50 ± 0.05 |
| 单轮传压面当量圆直径 (cm) | 21.30 ± 0.5 | 19.50 ± 0.5 |
| 轮隙宽度 | 应满足能自由插入弯沉仪测头的测试要求 | |

(2) 路面弯沉仪 : 由贝克曼梁、百分表及表架组成 , 贝克曼梁由铝合金制成 , 上有水准泡 , 其前臂(接触路面) 与后臂(装百分表) 长度比为 $2:1$ 。弯沉仪长度有两种 : 一种长 3.6m , 前后臂分别为 2.4m 和 1.2m ; 另一种加长的弯沉仪长 5.4m , 前后臂分别为 3.6m 和 1.8m 。当在半刚性基层沥青路面或水泥混凝土路面上测定时 , 宜采用长度为 5.4m 的

贝克曼梁弯沉仪,并采用 BZZ—100 标准车。弯沉值采用百分表量得,也可用自动记录装置进行测量。

(3)接触式路面温度计 端部为平头,分度不大于 1°C 。

(4)其它:皮尺、口哨、白油漆或粉笔、指挥旗等。

3. 试验方法与步骤

1) 试验前准备工作

(1)检查并保持测定用标准车的车况及刹车性能良好,轮胎内胎符合规定充气压力。

(2)向汽车车槽中装载(铁块或集料),并用地中衡称量后轴总质量,符合要求的轴重规定,汽车行驶及测定过程中,轴重不得变化。

(3)测定轮胎接地面积,在平整光滑的硬质路面上用千斤顶将汽车后轴顶起,在轮胎下方铺一张新的复写纸,轻轻落下千斤顶,即在方格纸上印上轮胎印痕,用求积仪或数方格的方法测算轮胎接地面积,精确至 0.1cm^2 。

(4)检查弯沉仪百分表测量灵敏情况。

(5)当在沥青路面上测定时,用路表温度计测定试验时气温及路表温度(一天中气温不断变化,应随时测定),并通过气象台了解前 5d 的平均气温(日最高气温与最低气温的平均值)。

(6)记录沥青路面修建或改建时材料、结构、厚度、施工及养护等情况。

2) 测试步骤

(1)在测试路段布置测点,其距离随测试需要而定。测点应在路面行车车道的轮迹带上,并用白油漆或粉笔划上标记。

(2)将试验车后轮轮隙对准测点后约 $3\sim 5\text{cm}$ 处的位置上。

(3)将弯沉仪插入汽车后轮之间的缝隙处,与汽车方向一致,梁臂不得碰到轮胎,弯沉仪测头置于测点上(轮隙中心前方 $3\sim 5\text{cm}$ 处),并安装百分表于弯沉仪的测定杆上,百分表调零,用手指轻轻叩打弯沉仪,检查百分表是否稳定回零。

弯沉仪可以是单侧测定,也可以双侧同时测定。

(4)测定者吹哨发令指挥汽车缓缓前进,百分表随路面变形的增加而持续向前转动。当表针转动到最大值时,迅速读取初读数 L_1 。汽车仍在继续前进,表针反向回转,待汽车驶出弯沉影响半径(3m 以上)后,吹口哨或挥动红旗指挥停车。待表针回转稳定后读取终读数 L_2 。汽车前进的速度宜为 5km/h 左右。

4. 弯沉仪的支点变形修正

(1)当采用长度为 3.6m 的弯沉仪对半刚性基层沥青路面、水泥混凝土路面等进行弯沉测定时,有可能引起弯沉仪支座处变形,因此测定时应检验支点有无变形。此时应用

另一台检验用的弯沉仪安装在测定用的弯沉仪的后方,其测点架于测定用弯沉仪的支点旁。当汽车开出时,同时测定两台弯沉仪的弯沉读数,如检验用弯沉仪百分表有读数,即应该记录并进行支点变形修正。当在同一结构层上测定时,可在不同的位置测定5次,求平均值,以后每次测定时以此作为修正值,支点变形修正的原理如图4-5-5所示

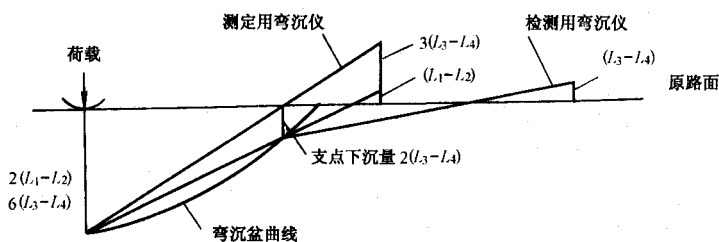


图4-5-5 弯沉仪支点变形修正原理

(2)当采用长5.4m的弯沉仪测定时,可不进行支点变形修正。

5. 结果计算及温度修正

1)测点的回弹弯沉值按下式计算:

$$L_T = (L_1 - L_2) \times 2 \quad (4-5-17)$$

式中 L_T ——在路面温度为 T 时的回弹值 0.01mm ;

L_1 ——车轮中心临近弯沉仪测头时百分表的最大读数即初读数 0.01mm ;

L_2 ——汽车驶出弯沉影响半径后百分表的最大读数即终读数 0.01mm 。

2)进行弯沉仪支点变形修正时,路面测点的回弹弯沉值按下式计算:

$$L_T = (L_1 - L_2) \times 2 + (L_3 - L_4) \times 6 \quad (4-5-18)$$

式中 L_1 ——车轮中心临近弯沉仪测头时测定用弯沉仪的最大读数 0.01mm ;

L_2 ——汽车驶出弯沉影响半径后测定用弯沉仪的终读数 0.01mm ;

L_3 ——车轮中心临近弯沉仪测头时检验用弯沉仪的最大读数 0.01mm ;

L_4 ——汽车驶出弯沉影响半径后检验用弯沉仪的终读数 0.01mm 。

此式适用于测定用弯沉仪支座处有变形,但百分表架处路面已无变形的情况。

3)沥青面层厚度大于5cm且路面温度超过 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 范围时,回弹弯沉值应进行温度修正,温度修正有两种方法。

(1)查图法

①测定时的沥青层平均温度按下式计算:

$$T = (T_{25} + T_m + T_e) / 3 \quad (4-5-19)$$

式中 T ——测定时沥青层平均温度, $^\circ\text{C}$;

T_{25} ——根据 T_0 由图 4-5-6 决定的路表下 25mm 处的温度, °C ;

T_m ——根据 T_0 由图 4-5-6 决定的沥青层中间深度的温度, °C ;

T_e ——根据 T_0 由图 4-5-6 决定的沥青层底面处的温度, °C。

图 4-5-6 中 T_0 为测定时路表温度与测定前 5d 日平均气温的平均值之和, 日平均气温为日最高气温与最低气温的平均值。

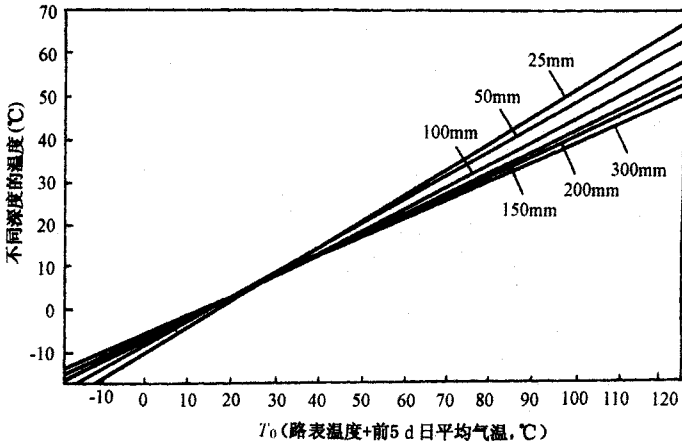


图 4-5-6 沥青层平均温度的决定

注 线上的数字表示路表下的不同温度(mm)

②不同基层的沥青路面弯沉值的温度修正系数 K , 根据沥青平均温度 T 及沥青层厚度, 分别由图 4-5-7 及图 4-5-8 求取。

③沥青路面回弹弯沉按下式计算:

$$L_{20} = L_T \times K \quad (4-5-20)$$

式中 K ——温度修正系数;

L_{20} ——换算为 20°C 的沥青路面回弹弯沉值 0.01mm;

L_T ——测定时沥青面层内平均温度为 T 时的回弹弯沉值 0.01mm。

(2) 经验计算法

①测定时的沥青面层平均温度 T 按下式计算:

$$T = a + bT_0 \quad (4-5-21)$$

式中 T ——测定时沥青面层平均温度, °C ;

a ——系数, $a = -2.65 + 0.52h$;

b ——系数, $b = 0.62 - 0.008h$;

T_0 ——测定时路表温度与前五小时平均气温之和, °C ;

h ——沥青面层厚度, cm。

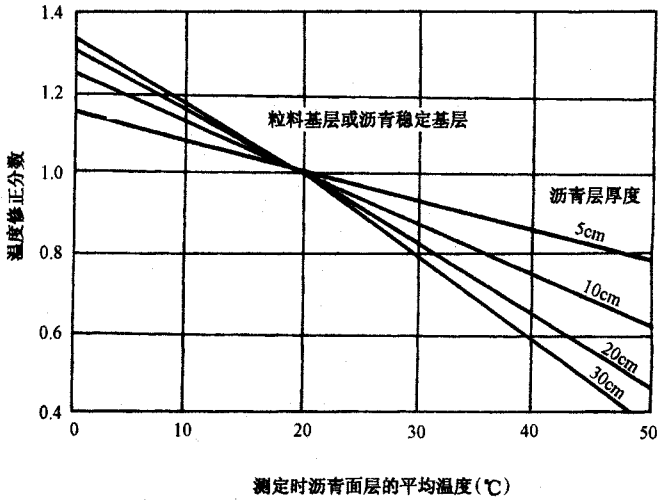


图 4-5-7 路面弯沉温度修正系数曲线
(适用于粒料基层及沥青稳定基层)

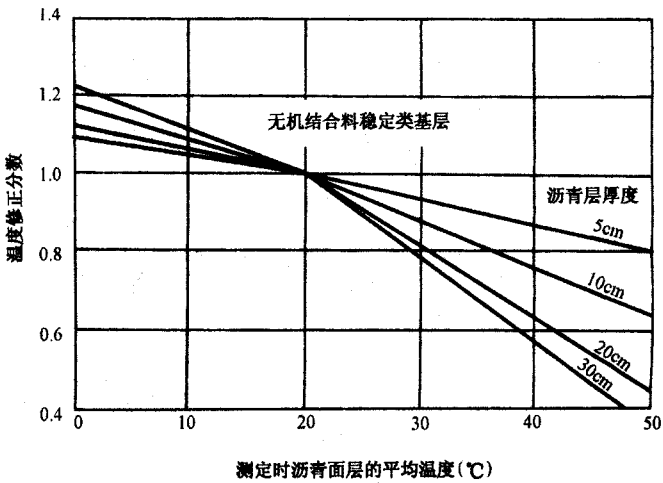


图 4-5-8 路面弯沉温度修正系数曲线
(适用于无机结合料稳定的半刚性基层)

② 沥青路面弯沉的温度修正系数 K 按下式计算：

当 $T \geq 20^\circ\text{C}$ 时：

$$K = e^{\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{20}\right)h} \quad (4-5-22)$$

当 $T < 20^\circ\text{C}$ 时：

$$K = e^{0.0021(20-T)} \quad (4-5-23)$$

③沥青路面回弹弯沉按式(4-5-20)计算。

6. 结果评定

(1)按下式计算每一个评定路段的代表弯沉：

$$L_r = \bar{L} + Z_a S \quad (4-5-24)$$

式中 L_r ——一个评定路段的代表弯沉 0.01mm ；

\bar{L} ——一个评定路段内经各项修正后的各测点弯沉的平均值 0.01mm ；

S ——一个评定路段内经各项修正后的全部测点弯沉的标准差 0.01mm ；

Z_a ——与保证率有关的系数,当设计弯沉值按《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97)确定时,采用表4-5-6中的规定值。

表 4-5-6 保证率系统 Z_a 的取法

| 层 位 | Z_a | |
|------|-----------|--------|
| | 高速公路、一级公路 | 二、三级公路 |
| 沥青面层 | 1.645 | 1.5 |
| 路 基 | 2.0 | 1.645 |

(2)计算平均值和标准差时,应将超出 $\bar{L} \pm (2 \sim 3)S$ 的弯沉特异值舍弃。对舍弃的弯沉值过大的点,应找出其周围界限,进行局部处理。用两台弯沉仪同时进行左右轮弯沉值测定时,应按两个独立测点计,不能采用左右两点的平均值。

(3)弯沉代表值不大于设计要求的弯沉值时得满分;大于时得零分。

若在非不利季节测定时,应考虑季节影响系数。

第三节 回弹模量试验检测

土基的回弹模量是公路设计中一个必不可少的参数,我国现有规范已给出了不同的自然区划和土质的回弹模量值的推荐值,具体参见《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97)中附录 E“土基回弹模量参考值”表。但由于土基回弹模量的改变将会影响路面设计的厚度,所以建议有条件时最好直接测定,而且随着施工质量的提高,回弹模量值的检验将会作为控制施工质量的一个重要指标。测定回弹模量的方法,目前国内常用的主要有承载板法、贝克曼梁法和其他间接测试方法(如贯入仪测定法和 CBR 测定法)。

一、承载板法

1. 目的和适用范围

(1) 本方法适用于在现场土基表面,通过承载板对土基逐级加载、卸载的方法,测出每级荷载下相应的土基回弹变形值,经过计算求得土基回弹模量。

(2) 本方法测定的土基回弹模量可作为路面设计参数使用。

2. 仪器与材料

(1) 加载设施:载有铁块或集料等重物、后轴重不小于 60kN 的载重汽车一辆。在汽车大梁的后轴之后约 80cm 处,附设加劲小梁一根作反力架。汽车轮胎充气压力为 0.50MPa。

(2) 现场测试装置:如图 4-5-9 所示,由千斤顶、测力计(测力环或压力表)及球座组成。

(3) 刚性承载板一块,板厚 20mm,直径为 $\phi 30\text{cm}$,直径两端设有立柱和可以调整高度的支座供安放弯沉仪测头,承载板放在土基表面上。

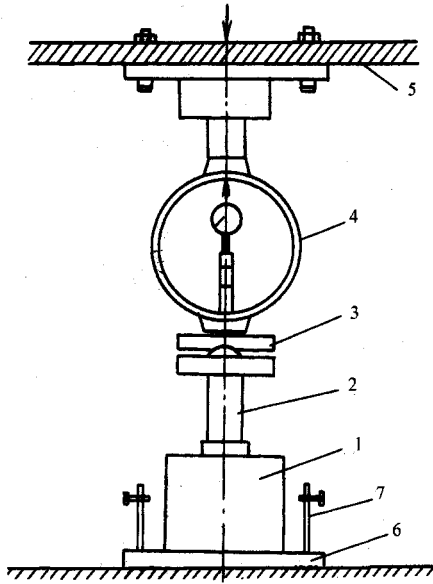


图 4-5-9 承载板测试装置图

1—加载千斤顶 2—钢圆筒 3—钢板及球座 4—测力计；
5—加劲横梁 6—承载板 7—立柱及支座

(4) 路面弯沉仪两台,由贝克曼梁、百分表及其支架组成。

(5) 液压千斤顶一台,80~100kN,装有经过标定的压力表或测力环,其容量不小于土基强度,测定精度不小于测力计量程的 1/100。

(6) 秒表。

(7) 水平尺。

(8)其他 细砂、毛刷、垂球、镐、铁锹、铲等。

3. 试验前准备工作

(1)根据需要选择有代表性的测点,测点应位于水平的路基上,土质均匀,不含杂物;

(2)仔细平整土基表面,撒干燥洁净的细砂填平土基凹处,砂子不可覆盖全部土基表面避免形成一层。

(3)安置承载板,并用水平尺进行校正,使承载板置水平状态。

(4)将试验车置于测点上,在加劲小梁中部悬挂垂球测试,使之恰好对准承载板中心,然后收起垂球。

(5)在承载板上安放千斤顶,上面衬垫钢圆筒,并将球座置于顶部与加劲横梁接触。如用测力环时,应将测力环置于千斤顶与横梁中间,千斤顶及衬垫物必须保持垂直,以免加压时千斤顶倾倒发生事故并影响测试数据的准确性。

(6)安放弯沉仪,将两台弯沉仪的测头分别置于承载板立柱的支座上,百分表对零或其他合适的初始位置。

4. 测试步骤

(1)用千斤顶开始加载,注视测力环或压力表,至预压 0.05 MPa,稳压 1min,使承载板与土基紧密接触,同时检查百分表的工作情况是否正常,然后放松千斤顶油门卸载,稳压 1min,将指针对零或记录初始读数。

(2)测定土基的压力—变形曲线。用千斤顶加载,采用逐级加载卸载法,用压力表或测力环控制加载量,荷载小于 0.1 MPa 时,每级增加 0.02 MPa,以后每级增加 0.04 MPa 左右。为了使加载和计算方便,加载数值可适当调整为整数。每次加载至预定荷载后,稳定 1min,立即读记两台弯沉仪百分表数值,然后轻轻放开千斤顶油门卸载至 0,待卸载稳定 1min 后,再次读数,每次卸载后百分表不再对零。当两台弯沉仪百分表读数之差小于平均值的 30% 时,取平均值。如超过 30%,则应重测。当回弹变形值超过 1mm 时,即可停止加载。

(3)各级荷载的回弹变形和总变形,按以下方法计算:

回弹变形 $L = (\text{加载后读数平均值} - \text{卸载后读数平均值}) \times \text{弯沉仪杠杆比}$

总变形 $L' = (\text{加载后读数平均值} - \text{加载初始前读数平均值}) \times \text{弯沉仪杠杆比}$

(4)测定汽车总影响量 a 。最后一次加载卸载循环结束后,取走千斤顶,重新读取百分表初读数,然后将汽车开出 10m 以外,读取终值数,两只百分表的初、终读数差之平均值乘弯沉仪杠杆比即为总影响量 a 。

(5)在试验点下取样,测定材料含水量。取样数量如下:

最大粒径不大于 5mm,试样数量约 120g;

最大粒径不大于 25mm ,试样数量约 250g ;

最大粒径不大于 40mm ,试样数量约 500g。

(6)在紧靠试验点旁边的适当位置 ,用灌砂法或环刀法或其他方法测定土基的密度。

5. 计算

(1)各级压力的回弹变形加上该级的影响量后 ,则为计算回弹变形值。表 4-5-7 是以后轴重 60kN 的标准车为测试车的各级荷载影响量的计算值。当使用其它类型测试车时 ,各级压力下的影响量 a_i 按下式计算 :

$$a_i = \frac{(T_1 + T_2) \pi D^2 P_i}{4 T_1 Q} \cdot a \quad (4-5-25)$$

式中 T_1 ——测试车前后轴距 ,m ;

T_2 ——加劲小梁距后轴距离 ,m ;

D ——承载板直径 ,m ;

Q ——测试车后轴重 ,N ;

p_i ——该级承载板压力 ,Pa ;

a ——总影响量 0.01mm ;

a_i ——该级压力的分级影响量 0.01mm。

表 4-5-7 各级荷载影响量(后轴 60kN)

| 承载板压力(MPa) | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 影响量 | 0.06a | 0.12a | 0.18a | 0.24a | 0.36a | 0.48a | 0.60a |

(2)将各级计算回弹变形值点绘于标准计算纸上 ,排除显著偏离的异常点并绘出顺滑的 $P-L$ 曲线 ,如曲线起始部分出现反弯 ,应按图 4-5-10 所示修正原点 O , O' 则是修正后的原点。

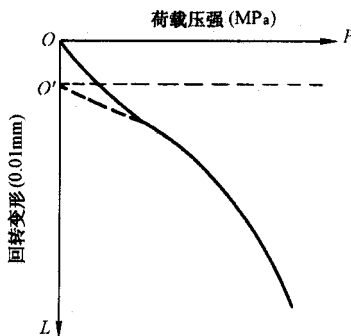


图 4-5-10 修正原点示意图

(3)按下式计算相应于各级荷载下的土基回弹模量值：

$$E_i = \frac{\pi D}{4} \cdot \frac{P_i}{L_i} (1 - \mu_0^2) \quad (4-5-26)$$

- 式中 E_i ——相应于各级荷载下的土基回弹模量,MPa；
 μ_0 ——土的泊松比,根据部颁路面设计规范规定选用；
 D ——承载板直径 30cm；
 P_i ——承载板压力,MPa；
 L_i ——相对于荷载时的回弹变形,cm。

(4)取结束试验前的各回弹变形值按线形回归方法由下式计算土基回弹模量 E_0 值：

$$E_0 = \frac{\pi D}{4} \cdot \frac{\sum P_i}{\sum L_i} (1 - \mu_0^2) \quad (4-5-27)$$

- 式中 E_0 ——土基回弹模量,MPa；
 μ_0 ——土的泊松比,根据部颁设计规范规定取用；
 L_i ——结束试验前的各级计算回弹变形值；
 P_i ——对应于 L_i 的各级压力值。

6. 报告

- 1)本实验采用的记录格式如表 4-5-8。
- 2)试验报告应记录下列结果：
 - (1)试验时所采用的汽车；
 - (2)近期天气情况；
 - (3)试验时土基的含水量；
 - (4)土基密度和压实度；
 - (5)相应于各级荷载下的土基回弹模量值；
 - (6)土基回弹模量值。

表 4-5-8 承载板测定记录表

| 路线和编号： | | | | | | 路面结构： | | | | |
|---------------------|----------------|----------------|---------------|-----|-----|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| 测定层位： | | | | | | 测定用汽车型号： | | | | |
| 承载板直径(cm)： | | | | | | 测定日期： 年 月 日 | | | | |
| 千斤顶 读数 | 荷载 F (kN) | 承载板压 力(MPa) | 百分表读数(0.01mm) | | | 总变形 (0.01mm) | 回弹变形 (0.01mm) | 分级影响量 (0.01mm) | 计算回弹变形 (0.01mm) | E_i (MPa) |
| | | | 加载前 | 加载后 | 卸载后 | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 总影响量 a | | | | | | | | | | |
| 土基回弹模量 E_0 值(MPa) | | | | | | | | | | |

二、贝克曼梁法

1. 目的和适用范围

本方法适用于在土基、厚度不小于 1m 的粒料整层表面,用弯沉仪测试各测点的回弹弯沉值,通过计算求得该材料的回弹模量值的试验;也适用于在旧路表面测定路基路面的综合回弹模量。

2. 试验方法与步骤

1) 准备工作

(1) 选择洁净的路基表面、路面表面作为测点,在测点处作好标记并编号。

(2) 无结合料粒料基层的整层试验段(试槽)应符合下列要求:

① 整层试槽可修筑在行车带范围内或路肩及其他合适处,也可在室内修筑,但均应适用于用汽车测定弯沉。

② 试槽应选择在干燥或中湿路段处,不得铺筑在软土基上。

③ 试槽面积不小于 $3\text{m} \times 2\text{m}$,厚度不宜小于 1m。铺筑时,先挖 $3\text{m} \times 2\text{m} \times 1\text{m}$ (长 \times 宽 \times 深)的坑,然后用欲测定的同一种路面材料按有关施工规定的压实层厚度分层铺筑并压实,直至顶面,使其达到要求的压实度标准。同时应严格控制材料组成,配比均匀一致,符合施工质量要求。

④ 试槽表面的测点间距可按图 4-5-11 布置在中间 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 的范围内,可测定 23 点。

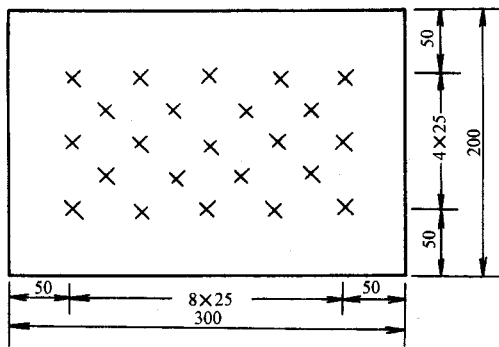


图 4-5-11 试槽表面的测点布置(单位:cm)

2) 测试步骤

按上述方法选择适当的标准车,实测各测点处的路面回弹弯沉值 L_r 。如在旧沥青面层上测定时,应读取温度,并按规定的方法进行测定弯沉值的温度修正,得到标准温度

20℃时的弯沉值。

3. 计算

(1) 计算全部测定值的算术平均值、单次测量的标准差和自然误差：

$$\bar{L} = \frac{\sum L_i}{n} \quad (4-5-28)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (L_i - \bar{L})^2}{n-1}} \quad (4-5-29)$$

$$r_0 = 0.675 \times S \quad (4-5-30)$$

式中 \bar{L} ——回弹弯沉的平均值 0.01mm；
 S ——回弹弯沉测定值的标准差 0.01mm；
 r_0 ——回弹弯沉测定值的自然误差 0.01mm；
 L_i ——各测点的回弹弯沉值 0.01mm；
 n ——测点总数。

(2) 计算各测点的测定值与算术平均值的偏差值 $d_i = L_i - \bar{L}$ ，并计算较大的偏差与自然误差之比 d_i/r_0 。当某个测点观测值 d_i/r_0 的值大于表 4-5-9 中的 d/r 极限值时则应舍弃该测点，然后重新计算所余各测点的算术平均值(\bar{L})及标准差(S)。

表 4-5-9 相应于不同观测次数的 d/r 极限值

| n | 5 | 10 | 15 | 20 | 50 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| d/r | 2.5 | 2.9 | 3.2 | 3.3 | 3.8 |

(3) 按下式计算代表弯沉值：

$$L_r = \bar{L} + S \quad (4-5-31)$$

式中 L_r ——计算代表弯沉；
 \bar{L} ——舍弃不符合要求的测点后所余各测点弯沉的算术平均值；
 S ——舍弃不符合要求的测点后所余各测点弯沉的标准差。

(4) 按下式计算土基、整层材料的回弹模量(E_1)或旧路的综合回弹模量：

$$E_1 = \frac{2Pr}{L_r} (1 - \mu^2) K \quad (4-5-32)$$

式中 E_1 ——计算的土基、整层材料的回弹模量或旧路的综合回弹模量，MPa；
 P ——测定车轮的平均垂直荷载，MPa；
 r ——测定用标准车双圆荷载单轮传压面当量圆的半径，cm；
 μ ——测定层材料的泊松比，根据部颁路面设计规范的规定取用；

K ——弯沉系数,为 0.712。

4. 报告

报告应包括弯沉测定表、计算的弯沉、采用的泊松比及计算得到的材料回弹模量 E_1 等,对沥青路面应报告测试时的路面温度。

三、其它间接测试方法

土基回弹模量也可用长杆贯入综合次数法和 CBR 间接推算法来求算。长杆贯入综合次数法是利用长杆贯入仪,试验时记录测头击入土中每 10cm 所需的锤击次数,直至贯入土中 80cm 为止。综合贯入次数是按布辛公式以距路基表面深度为 5cm、15cm、25cm、35cm、45cm、55cm、65cm 和 75cm 时压应力略加调整作为各层的权数。综合贯入次数 N_{80} 计算式为:

$$N_{80} = (20N_1 + 2N_2 + 7N_3 + 4N_4 + 2.5N_5 + 2N_6 + 1.5N_7 + N_8) / 50 \quad (4-5-33)$$

路基回弹模量 E_0 可按下式计算:

$$E_0 = KN_{80} \quad (4-5-34)$$

式中 K ——实验确定系数,一般为 12~20;

N_{80} ——综合贯入次数。

CBR 值间接推算法是利用 CBR 测试结果按下列关系式求算 E 值:

$$E = n\text{CBR} \quad (4-5-35)$$

式中 n ——常数,一般为 80~100,需经试验确定。

第四节 水泥混凝土芯样劈裂强度试验

水泥混凝土路面强度的控制指标是弯拉或劈裂强度。由于弯拉强度试件成型及试验过程比较麻烦,现多用劈裂强度来代替。

需要强调的一点是快速无破损方法与传统的钻芯试验方法比较,有其较大的优势,但不能代替钻芯的劈裂强度试验结果,也不能代替试验室标准条件下的弯拉强度,不适作为仲裁试验或工程验收的最终依据。

1. 目的和适用范围

从硬化混凝土结构中钻取和检查芯样,测定芯样的劈裂抗拉强度,作为评定结构

品质的主要指标。

2. 仪器与材料

(1) 压力机。

(2) 劈裂夹具、木质三合板垫条,如图 4-5-12 所示。

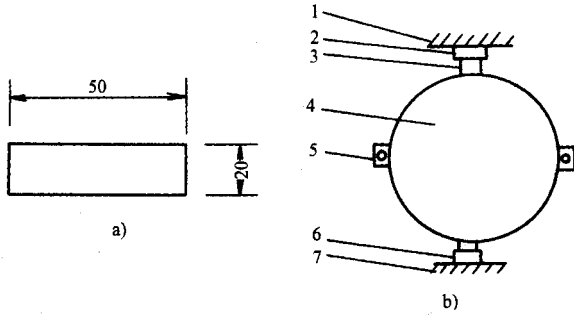


图 4-5-12 芯样劈裂试验装置示意图(单位:mm)

a) 夹具钢板条 b) 劈裂夹具

1、7—压力机压板车 2、6—夹具钢垫条 3—木质或纤维层 4—试件 5—侧件

3. 试验方法与步骤

1) 检查

(1) 外观检查:每个芯样应详细描述有无裂缝、接缝、分层、麻面或离析等情况,必要时应记录以下事项:

① 集料情况:估计集料的最大粒径、形状及种类,粗组集料的比例与级配。

② 密实性:检查并记录存在的气孔及其位置、尺寸与分布情况,必要时应拍下照片。

(2) 测量

① 测平均直径 d_m :在芯样的中间及两面各 1/4 处按两个垂直方向测量三对数值确定芯样的平均直径 d_m ,精确到 1.0mm。

② 测平均长度 L_m :取芯样直径两端侧面测定钻取后芯样的长度及端面加工后的长度,精确至 1.0mm。

(3) 表面密度:如有必要,应测定芯样的表观密度。

2) 试验步骤

(1) 试件的制作:试件两端平面应与它的轴线相垂直,误差不应大于 $\pm 1^\circ$,端面凹凸每 100mm 不超过 0.05mm,承压线凹凸不应大于 0.25mm。

(2) 湿度控制:试验前试件应在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的水中浸泡 40h,从水中取出后立即进行试验。

如有专门要求,可用其他养护或湿度控制条件。

(3) 劈裂试验

① 将试件、劈裂垫条和垫层如图 4-5-12 所示放在压力机上,借助夹具两侧杆,将试件对中。

② 开动压力机,当压力机压板与夹具垫条接近时调整球座使压力均匀接触试件。当压力加到 5kN 时,将夹具的侧杆抽出,以 $(60 \pm 4) \text{N/s}$ 的速度连续、均匀加荷,直至试件劈裂为止,记下破坏荷载,精确至 0.01kN。

4. 计算

芯样劈裂抗拉强度 R_a 按下式计算:

$$R_a = \frac{2P}{\pi A} = \frac{2P}{\pi d_m L_m} \quad (4-5-36)$$

式中 R_a ——芯样劈裂抗拉强度,MPa,计算结果精确至 0.1MPa;

P ——极限荷载,N;

A ——芯样劈裂面面积,mm²;

d_m ——芯样截面的平均直径,mm;

L_m ——芯样平均长度,mm。

第五节 路面抗滑性能检测

一、路面抗滑性能及影响因素

路面抗滑性是指轮胎沿路面表面滑动时,所承受的摩擦阻力的大小,对行驶在路面的车辆而言,是指在一定条件下(速度、路面湿度等)车辆的紧急制动距离。路面抗滑性是反映路面安全性能最重要的一个指标。从路面管理的角度来看,抗滑性同时也是对路面耐久性的一个量度指标。当抗滑性衰减到最低可接受(安全)水平,将大幅度降低路面所期望的服务功能。

对优良的路面面层期望的抗滑性能是:高度的抗滑性,潮湿时的抗滑性应几乎和干燥路面一样高,随速度的增加,抗滑性降低不多,抗滑性不因磨光、磨损或压密等原因而随时间不过多降低,轮胎产生的噪声低和为保持可接受抗滑性的每年维护费用低。

轮胎与路面之间的摩阻力大小取决于三方面的因素:一方面来自于行驶中的车辆,如速度、方向、轮胎的花纹种类,轮胎与路面的接触面积及轮胎的磨损程度;第二方面来

自于路面,主要是表面构造、路面的潮湿程度等;第三方面来自于气候条件。纯粹从路面设计与施工的角度来看,路面的抗滑性是表面构造深度和碎石磨光值的函数,即路面的抗滑性取决于路面表面层的构造深度。

总的来说,对沥青路面抗滑性能的影响来自于集料特性,它包括:级配(尺寸)、形状、硬度及矿料组成。

对于影响路面抗滑性的因素分析如下:

1. 车辆

就车辆而言,在潮湿路面上对抗滑能力影响较大的因素是车辆的刹车性能、特性及行驶速度。行驶中的车辆在刹车时,轮胎与路面之间若仅产生滑动而不产生滚动则获得摩擦阻力更大。在路面表面有不同水膜厚度的情况下,轮胎的材料、轮胎的花纹形状及轮胎类型(接触面上的压力分布),尤其是轮胎花纹深度都对抗滑性能有影响,另外,轮胎的尺寸对摩擦系数也有影响,轮胎的直径增加和宽度减小对轮胎的摩擦性能均有某种程度的改善。潮湿路面的摩擦系数受车辆行驶速度影响较大。车速增加,摩擦系数则减小。尤其是当路面具有较小的宏观构造时,车速对潮湿路面的抗滑性影响特别大。

2. 气候

气候影响路面的抗滑性能,其影响主要来自于路面上的水膜及季节性变化。

影响水膜厚度的因素有很多,难于用某一种函数形式来表达,水膜的厚度与路面排水状况、路线设计要素及降雨速度关系密切,对车辆而言,存在一个与轮胎花纹和车速相关的临界水膜厚度,超过此临界值,行车可能产生水漂,此时,路面的抗滑作用将不再起作用。

季节性的影响主要来自于温度及路面的洁净程度。研究表明,轮胎与路面的摩擦力受温度影响较大,随着温度降低,橡胶与轮胎间的摩擦系数将提高。当路面表面受粉尘污染时,将导致路面构造深度的减小,从而使路面抗滑能力降低;当清洁路面后可使表面构造深度更新,使抗滑能力有所恢复。

3. 道路

轮胎与路面之间摩擦力的大小除与车辆及气候因素有关外,最重要的就是与道路设计参数、路面材料及构造密切相关。

道路设计参数如平、竖曲线及横坡度均对轮胎与路面之间的摩擦系数产生一定的影响。

微观构造指路面表层石料表面水平方向 0.5mm 以下,垂直方向 0.2mm 以下的表面纹理。不同种类的石料在经磨光后其摩擦力大小有明显的差别,微观构造大的石料其抗滑能力愈好。在任何条件下,微观构造对路面的抗滑性能均有一定的影响,尤其在低速

行车条件下,微观构造对抗滑性的影响更为显著。

宏观构造指路面表层深度大于 0.5mm 的构造或称为路面表面的凹陷与凸起,也称为表面构造深度,宏观构造主要反映了路面排水能力的大小,对临界水膜厚度有决定性的作用,因此宏观构造对高速行驶、潮湿条件下的抗滑性起主要作用。宏观构造的大小决定于路面表面层沥青混合料集料特性,它包括颗粒尺寸、级配、形状及棱角性。

4. 各因素的相互作用

上述各因素均对路面抗滑性有一定的影响,但要确定它们综合在一起的影响程度是困难的。在通常情况下,由于轮胎的磨光会降低微观构造深度,由于路面的压密会降低宏观构造深度,另外,诸如粉尘污染、汽油等都会降低路面的抗滑性能,不同地区季节性的影响也不一致。

二、路面抗滑性评价方法、指标及标准

对路面抗滑性评价方法及指标,国内外进行了大量的研究,按美国试验与材料协会(ASTM)的意见定义为:

$$F_N = 100 F / N \quad (4-5-37)$$

式中 F_N ——摩擦系数;

F ——在路面表面滑动时的摩阻力;

N ——路面表面正压力。

摩阻力可用下述方法予以测定:

(1)被锁车轮挂车法。常规定义为 ASTM 方法 E274。该测试方法中,车轮、车速及路面加水方法均有规定,用以测定纵向摩擦系数。

(2)偏移模式。使用一个有角度的车轮,在一个相对大且不变的偏角或相似的滑溜率及规定的试验条件下,测量路面的横向摩擦阻力,指标主要有横向摩擦系数 SFC。

以偏移模式测量抗滑力的设备为 SCRIM 与侧滑摩阻测试仪。

(3)便携式测滑仪。用于室内与现场测试抗滑力的便携式设备,如英国的便携式测滑仪,加利福尼亚测滑仪 keystone Drag 试验仪,这些设备一般对微观构造最为敏感。

(4)机动车法。用一双对角车轮制动装备汽车,量测从规定速度到安全停车的距离。

对已投入运营的路面多数量测是用被锁车轮挂车法或偏移模式法完成,而室内试验则用便携式测滑仪完成。

我国公路科学研究者参考国外研究成果并结合我国实际情况的基础上提出了高等级公路沥青路面抗滑性的检验方法及标准。

(5)路面摩擦系数

路面摩擦系数是反映路面在较高速行驶条件下的抗滑综合指标,一类是以英国 SCRIM 为代表,测定横向摩擦系数,它广泛应用于西欧一些国家;另一类是美国、日本等使用的纵向摩擦系数测定车。

横向摩擦系数表示车辆在路面制动时路面的拉力,同时还表征车辆在路面上发生侧滑的拉力。在我国侧向滑溜是交通事故的主要形式,纵向摩擦系数主要表示车辆在路面上沿行车方向制动时的路面拉力,与高速公路的制动距离关系更为密切。我国《公路路基路面现场测试规程》(JTJ 059 T0965—95)规定采用横向力摩擦系数测定车,测量路面横向摩擦系数 SFC。我国《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97)规定以竣工后第一个夏季测定的横向摩擦系数作为评定指标,见表 4-5-10。

表 4-5-10 沥青路面的抗滑标准(竣工验收值)

| 公路等级 | 横向摩擦系数 SFC | 摆值 FI(BPN) | 构造深度 TI(mm) |
|---------|------------|------------|-------------|
| 高速、一级公路 | ≥54 | ≥45 | ≥0.55 |

(6)路面宏观构造深度

路面宏观构造深度主要反映路面表面的排水性能,与潮湿、高速行驶条件下的路面抗滑性能密切相关,其测定方法有手工铺砂法、电动铺砂法及激光构造深度仪法。我国现行规范、规程规定,采用摆式摩擦系数测定仪测定 BPN[British Pendulum(testler)Number 摆值]来综合反映路面抗滑性能。

三、路面抗滑性检测方法

抗滑性能测试方法有:制动距离法、偏转轮拖车法(横向摩擦系数测试)、摆式仪法、构造深度测试法(手工铺砂法、电动铺砂法、激光构造深度仪法)。各方法的特点简单介绍如下:

(1)制动距离法:测试指标为摩擦系数 f 。令一辆四轮小客车或轻货车以一定速度在潮湿路面上行驶,当四个车轮被制动时,测试出从车辆减速滑移到停止的距离,运用动力学原理,算出摩擦系数。此法测试速度快,但在检测时,必须中断交通。

(2)手工铺砂法(电动铺砂法):测试指标为构造深度 TI (mm)。将已知体积的砂,摊铺在所要测试的路表的测点上,量取摊平覆盖的面积。砂的体积与所覆盖的平均面积的比值,即为构造深度。此法定点测量,原理简单,且便于携带,结果很直观。适宜于测定沥青路面及水泥混凝土路面表面构造深度,用以评定路面表面的宏观粗糙度、排水性能及抗滑性。

(3)摆式仪法:测试指标为摩擦摆值 BPN。摆式仪的摆锤底面装一橡胶滑块,当摆锤从一定高度自由下摆时,滑块面同试验表面接触。由于二者间的摩擦而损耗部分能量,

使摆锤只能回到一定高度。表面摩擦阻力越大,回摆高度越小(即摆值越大)。由于此法定点测量,原理简单,不仅可以用于室内,而且可用于野外测试沥青路面及水混凝土路面的抗滑值。

(4)激光构造深度测试法:测试指标也为构造深度 TD(mm)。由中子源发射的许多束光线,照射到路表面的不同深度处,用 200 多个二极管接受返回的光束,利用二极管被点亮的时间差算出所测路面的构造深度。此法测试速度快,适宜于测定沥青路面干燥表面的干燥深度,用以评价路面抗滑及排水能力,但不适宜于较多坑槽、显著不平整或裂缝过多的路段。

(5)摩擦系数测定车:测横向摩擦系数 SFC。测试车上装有两只标准试验轮胎,它们对车辆行驶方向偏转一定角度。汽车以一定速度在潮湿路面上行驶时,试验轮胎受到侧向摩阻作用。此摩阻力除以试验轮上的载重,即为横向摩擦系数。

以下将介绍常用的几种试验方法。

1. 手工铺砂法

铺砂法主要用于测定沥青路面及水泥混凝土路面表面构造深度,用以评定路面表面的宏观粗糙深度、路面表面的排水性能及抗滑性能。

手工铺砂法主要仪器和材料:人工铺砂仪(见图 4-5-13),粒径为 0.15~0.30mm 的量砂、量尺等。

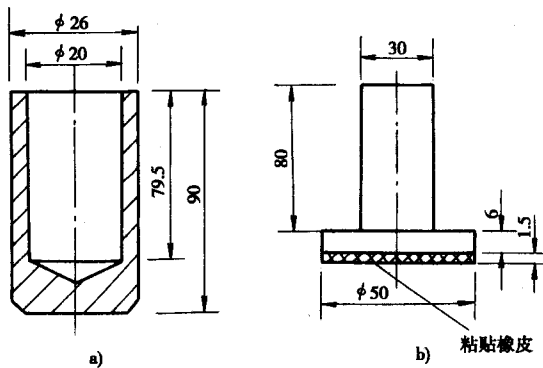


图 4-5-13 人工铺砂仪(尺寸单位:mm)

首先,准备量砂。取洁净的细砂晾干、过筛,取 0.15~0.3mm 的砂置于适当的容器中备用。量砂只能在路面上使用一次,不宜重复使用。回收的砂必须经干燥、过筛处理后方可使用。按规定的方法,对测试路段按随机取样选点,决定测点所在横断面的位置。测点应选在行车道的轮迹线上,距离路面边缘不应小于 1m。

接着开始准备铺砂。用扫帚或毛刷子将测点附近的路面清扫干净,面积不小于

30cm × 30cm。用小铲装砂向圆筒中注满砂,手提圆筒上方,在硬质路表面上轻轻的叩打 3 次,使砂密实,距路面用钢尺一次刮平。注意:不可直接将量筒来装砂,以免影响量砂密度的均匀性。

将砂倒在地上,用底面粘有橡胶片的推平板,由里向外重复做摊铺运动,稍稍用力将砂细心地尽可能的向外摊开,使砂填入凹凸不平的路表面的空隙中,尽可能的将砂摊铺成圆形,并不得在表面上留有浮动余砂。注意摊铺时不可用力过大或向外推挤。

用钢板尺测量所构成的圆的两个垂直方向的直径,取其平均值,准确至 5mm。按以上方法,同一处平行测定不少于 3 次,3 个测点均位于轮迹上,测点间距 3~5m,该处的测定位置以中点表示。

然后进行计算工作:

(1)路面表面构造深度结果按下式计算:

$$TD = \frac{1000V}{\pi D^2/4} = \frac{31831}{D^2} \quad (4-5-38)$$

式中 TD ——路面表面构造深度,mm;

V ——砂的体积(25cm³);

D ——摊平砂的平均直径,mm。

(2)每一处均取 3 次路面构造深度的测定结果的平均值作为试验结果,准确至 0.1mm。

(3)按规定的方法计算每一个评定区间路面构造深度的平均值、标准差、变异系数。

2. 电动铺砂法

电动铺砂仪是一种利用可充电的直流电源将量砂通过沙漏铺设成宽度为 5cm、厚度均匀一致的器具,如图 4-5-14 所示。首先,要进行准备工作。量砂的准备以及测点的选择与手工铺砂法一样,此处不赘述。

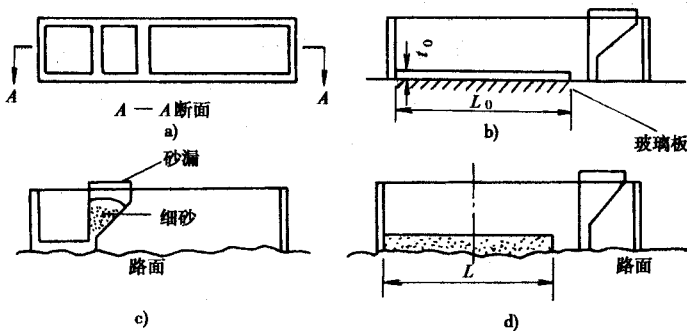


图 4-5-14 电动铺砂仪

a)平面图 b)A-A 断面 c)标定 d)测定

试验前,必须进行电动铺砂器的标定,这一项工作不可忽视或省略。先把铺砂器平放在玻璃板上,将砂漏移至铺砂器端部,令灌砂漏斗口和量筒口大致齐平。通过漏斗向量筒中缓缓注入准备好的量砂至高出量筒成尖顶状,用直尺沿筒口一次刮平,其容积为50mL。将漏斗口与铺砂器砂漏上口大致齐平。将砂通过漏斗均匀倒入砂漏,漏斗前后移动,使砂的表面大致齐平,但不得用任何其他工具刮动砂。开动电动马达,使砂漏向另一端缓缓运动,量砂沿砂漏底部铺成图4-5-15所示的宽5cm的带状,待砂全部漏完后停止。

按下式由 L_1 及 L_2 的平均值决定量砂的摊铺长度 L_0 ,准确至1mm:

$$L_0 = (L_1 + L_2) / 2 \quad (4-5-39)$$

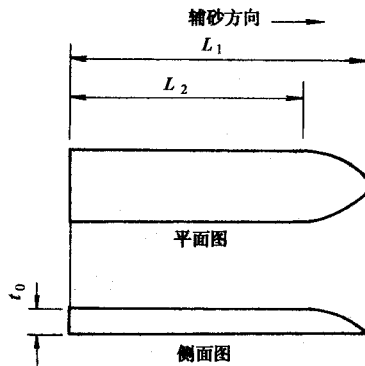


图4-5-15 决定 L_0 及 L 方法

如此重复标定3次,取平均值决定 L_0 ,准确至1mm。

必须注意的是,标定应在每次测试前进行,施用同一种量砂,且由承担测试的同一试验员操作。

标定完毕后,就可以开始进行试验。先把测试地点用毛刷刷净,其面积必须大于铺砂仪。将铺砂仪沿道路纵向平稳地放在路面上,将砂漏移至端部。按上述标定电动铺砂器时相同的步骤,在测试地点摊铺50mL量砂,按图4-5-15的方法量取摊铺长度 L_1 及 L_2 ,由下式计算 L ,准确至1mm:

$$L = (L_1 + L_2) / 2 \quad (4-5-40)$$

按以上方法,同一处平行测定不少于3次,3个测点均位于轮迹带上,测点间距3~5m。该处的测定位置以中间测点的位置表示。

若垂直方向的直径,取其平均值,准确至5mm。按以上方法,同一处平行测定不少于3次,3个测点均位于轮迹上,测点间距3~5m,该处的测定位置以中点表示。

然后进行计算工作:

(1)按下式计算铺砂仪在玻璃板上铺摊量砂的宽度 t_0

$$t_0 = \frac{1000 \times V}{B \times L_0} \quad (4-5-41)$$

式中 t_0 ——量砂在玻璃板上摊铺的标定厚度,mm;

V ——量砂的体积, $V = 50\text{mL}$;

B ——摊砂铺砂宽度, $V = 50\text{mm}$;

L_0 ——玻璃板上 50mL 量砂摊铺长度,mm。

(2)按下式计算路面表面构造深度 DT

$$DT = \frac{L_0 - L}{L} \times t_0 = \frac{L_0 - L}{L \times L_0} \times 1000 \quad (4-5-42)$$

式中 L ——路面上 50mL 量砂摊铺长度,mm。

(3)每一处均取 3 次路面构造深度的测定结果的平均值作为试验结果,准确至 0.1mm。

(4)按规定的方法计算每一个评定区间路面构造深度的平均值、标准差、变异系数。

铺砂法试验报告应逐点记录计算路面构造深度及报告 3 次的平均值,当平均值小于 0.2mm 时,试验结果以 $<0.2\text{mm}$ 表示;每一评定区间路面的构造深度的平均值、标准差、变异系数。

3. 摆式仪法

适用于以摆式摩擦系数测定仪(摆式仪)测定沥青路面及水泥混凝土路面的抗滑值,用以评定路面在潮湿状态下的抗滑能力。

主要仪器是摆式仪,摆式仪结构如图 4-5-16。进行试验之前,必须检查摆式仪的调零灵敏情况,并定期进行仪器的标定。标定内容包括:①摆及摆的连接部分的总质量(1500 ± 30)g;②摆动中心至摆的重心距离(410 ± 5)mm;③测定时摆在路面上的滑动长度(126 ± 1)mm;④摆上橡胶片端部距摆动力中心距离 508mm;⑤橡胶片对路面的正向静压力为(22.2 ± 0.5)N。当用于路面工程检查验收时,仪器必须重新标定。

摆式仪上的橡胶片是用来模拟车辆轮胎的,要求橡胶片的尺寸为 $6.35\text{mm} \times 25.4\text{mm} \times 76.2\text{mm}$,橡胶质量应符合表 4-5-11 要求。当橡胶片使用后,端部在长度方向上磨损长度超 1.6mm 或边缘在宽度上磨损超过 3.2mm,或有油污染时,即应更新橡胶片。新橡胶片应先在干燥路面上测 10 次后,才能用于正式测定。橡胶片的有效使用年限为一年。

按照规定的方法,对测试路段按随机取样选点的方法,决定测点所在横断面位置。测点应选在行车车道的轮迹带上,距路面边缘不应小于 1m,并用粉笔作出标记。测点位置宜紧靠铺砂法测定构造深度的测点位置,并一一对应。

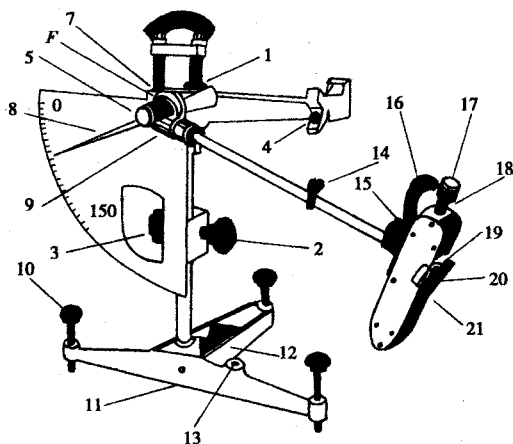


图 4-5-16 摆式仪结构示意图

- 1—固定把手 2—固定把手 3—升降把手 4—释放开关 5—转向节螺盖；
 6—针簧调节螺母 7—针簧片 8—指针 9—连接螺母 10—调平螺丝；
 11—底座 12—垫块 13—水准泡 14—卡环 15—定位螺丝 16—升举柄；
 17—平衡锤 18—并收螺母 19—溜滑块 20—橡胶片 21—止滑螺丝

表 4-5-11 橡胶片物理性质技术要求

| 性能指标 | 温 度(℃) | | | | |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 弹性(%) | 43~49 | 58~65 | 66~73 | 71~77 | 74~79 |
| 硬度 | 55±5 | | | | |

仪器调平时,将仪器置于路面测点上,并使摆的摆动方向与行车方向一致,转动底座上调零平螺栓,使水准泡居中。

再对仪器调零。放松上、下两个紧固把手,转动升降把手,使摆升高并能自由摆动,然后旋紧紧固把手。将摆向右运动,按下安装于悬臂上的释放开关,使摆上的卡环进入开关槽。放开释放开关,摆即处于水平释放位置,并把指针抬至与摆杆平行处。按下释放开关,使摆向左带动指针摆动,当摆动达到最高位置后下落时,用左手将摆杆接住,此时指针应指零。若不指零时,可稍旋紧或放松摆的调节螺母,重复本项操作,直至指针指零。调零允许误差为 ± 1 BPN。

调零完后,对滑动长度进行校核。用扫帚扫净路面表面,并用橡胶刮板清除摆动范围内路面上的松散粒料。让摆门自由悬挂,提起摆头上的举升柄,将底座上垫块置于定

位螺丝下面,使摆头上的滑溜块升高。放松紧固把手,转动立柱上升降把手,使摆缓缓下降。当滑溜块上的橡胶片刚刚接触路面时,即将紧固把手旋紧,使摆头固定。

提起举升柄,取下垫块,使摆向右运动。然后,手提举升柄使摆慢慢向左运动,直至橡胶片的边缘刚刚接触路面。在橡胶片的外边摆动方向设置标准量尺,尺的一端正对该点。再用手提起举升柄,使滑溜块向上抬起,并使继续运动至左边,使橡胶片返回落下再一次接触路面,橡胶片两次同路面接触点距离应为 (126 ± 1) mm(即滑动长度)左右。若滑动长度不符标准时,则升高或降低仪器底正面的调平螺丝来校正,但需调平水准泡,重复此项校核直至使滑动长度符合要求。而后,将摆和指针置于水平释放位置。

用喷壶的水浇洒试测路面,并用橡胶刮板刮除表面泥浆。再次洒水,并按下释放开关,使摆在路面滑过,指针即可指示出路面的摆值。第一次的测定,不做记录,当摆杆回落时,用左手接住摆,右手提起举升柄使滑溜块升高,将摆向右运动,并使摆杆指针重新置于水平释放位置。

重复上一步的操作测定5次,并读记每次测定的摆值,即BPN。5次数值中最大值与最小值的差值不得大于3BPN。如相差大于3BPN时,应检查产生的原因,并再次重复上述各项操作,至符合规定为止。取5次测定的平均值作为每个测点路面的抗滑值(即摆值 F_B)取整数,以BPN表示。

在测点位置上用路表温度计测记潮湿路面的温度,准确至 1°C 。

按以上方法,同一处平行测定不少于3次,3个测点均位于轮迹带上,测点间距3~5m。该处的测定位值以中间测点的位置表示,每一处均取3次测定结果的平均值作为试验结果,准确至1BPN。

当路面温度为 $T(^\circ\text{C})$ 时测得的摆值为 F_{BT} ,必须按下式换算成标准温度 20°C 的摆值:

$$F_{B20} = F_{BT} + \Delta T \quad (4-5-43)$$

式中 F_{B20} ——换算成标准温度 20°C 时的摆值,BPN;

F_{BT} ——路面温度 T 时测得的摆值,BPN;

T ——测定的路表潮湿状态下的温度($^\circ\text{C}$);

ΔF ——温度修正值,按表4-5-12采用。

表 4-5-12 温度修正值

| 温度 $T(^\circ\text{C})$ | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 温度修正值 ΔF | -6 | -4 | -3 | -1 | 0 | +2 | +3 | +5 | +7 |

第六节 路面平整度测定

路面平整度是评定路面使用品质的重要指标之一。它既是一个路面外观指标,又是衡量路面质量及现有路面破坏程度的一个重要指标。它直接关系到行车安全以及车辆的通行能力和运营的经济性,还影响着路面的使用年限。

路面不平使车辆在行驶中产生行驶阻力和振动,行驶阻力消耗车辆的功率并且影响车辆动力系统和传动系统的寿命。而在冲击下产生的振动,直接影响了车辆平顺性、乘坐舒适性以及承载系的可靠性和使用寿命。同时阻力和振动也对车速和操纵稳定性产生影响。所以,路面平整度是运行环境中的主要因素。另外,路面的平整性(平整度)对车辆营运费用有较大影响。平整度影响如此显著,一方面通过零件维修等费用明显的反映出不平整造成车辆振动,使零件与车辆破坏的费用猛增,远远超过了油耗;另一方面,影响费用的另一因素——速度,它是平整度的隐函数。用路面凹凸不平的程度,来表征平整性的质量。

测量路面平整度的指标:一是为了检查控制路面施工质量与验收路面工程;二是根据测定的路面平整度指标以确定养护维修计划。

路面平整度包括纵断面和横断面两个方面。测定平整度的仪器种类繁多,国外这方面从最初的直尺式测定仪发展成为可以记录车行道真实断面形状的横断面记录仪,如芬兰、日本、荷兰等国家研制了车辙深度量测仪。后来又研制了纵断面测定仪,如多轮式纵断面仪、斜率纵断面仪和美国通用汽车公司研制的 GMR 纵断面仪。国内除了 3m 直尺外,还有 JLP—80N 型间断式路面平整度仪(西安公路研究所和南京交通试验仪器厂生产的一种自行车携带的直尺式监测仪),东南大学试制的仿苏联式测振仪,辽宁锦州郊区公路段研制成的 CPJ—60S 型路面平整度检测仪,以及西安东风仪表厂生产的 XLPY—E 型连续式平整度仪。国内最常用的测试方法是 3m 直尺法和 XLPY—E 型路面平整度仪测定法。

路面平整度具有影响车辆动力性、行驶质量和路面动力载荷三者的数值特征。

路面平整度测量仪器有多种分类方法,本节采用按测量基准分类分别介绍。

一、不振动(固定)基准测量的方法和仪器

这种方法是在路面高程时,建立一个固定的不振动的基准;测量方法是量取路面与

基准之间的偏离数值,从而得到路面不平度的测量数据。

1. 用直梁作基准测量路面纵断面

图 4-5-17 是一种直梁基准测量设备,直梁 2 用可调整高度的支承 1 架设在路面 5 上。测量总成 4 沿直梁 2 移动,测量轮 3 随总成 4 一起移动,测量轮 3 在弹簧的作用下与路面 5 保持接触,并随路面的起伏而起伏。当测量轮 3 上下起伏运动时,推动该轮支承杆 6 也上下运动,利用支承杆 6 和测量总成 4 之间的相对运动进行路面不平度的测量记录。直梁的测量原理和水平仪一样,然而其效率很低,但是测量的分辨率、精度和重复性比水平仪—标杆测量有较大的提高,而且其幅频特征也是 1。这些优点使它可以作为校准设备来使用,这就是它存在的价值。这一个用途将在多轮测平车一节中提及。图 4-5-18 是这种设备的另一种结构。

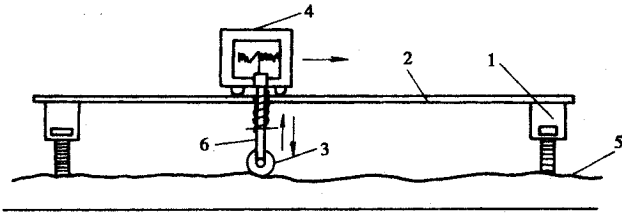


图 4-5-17 Kohler-Fusez 直梁基准的测量仪

1—支承架 2—直梁 3—测量轮 4—测量总成 5—路面 6—支承杆

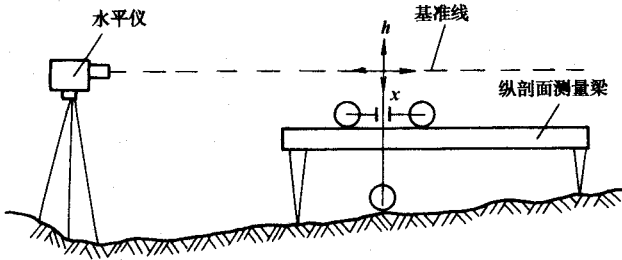


图 4-5-18 直梁基准测量仪的另外一种结构

2. 直尺及其测量方法

在我国通常称作“三米直尺”,这是因为我们采用的直尺长度是三米,其实直尺并不限于三米。在道路工程中,直尺测量具有重要的地位。国内在 20 世纪 70 年代中期以前,直尺是路面不平度测量的主要工具。

直尺也是固定基准,似乎应该放在固定基准中讨论;但是它的测量方式和计算结果都和前者不完全相同,所以单独来叙述。如图 4-5-19 所示。

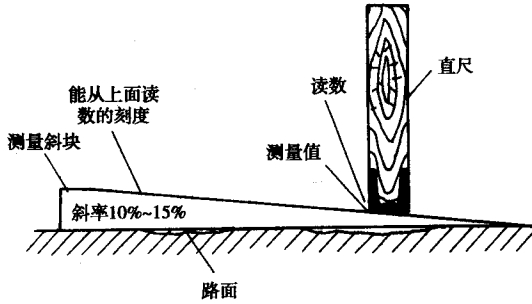


图 4-5-19 处于测量状态的直尺横断面和测量楔块

直尺的测量方法和处理内容大致相同,但不同国家的细则略有差异。其相同之处是 把直尺平放在需要测量的路面上,用楔块塞入直尺的尺底间隙,读取楔块上的测量值用以计算不平度的标准差。我国道路养护规范规定用三米直尺测量路面不平度,每 100m 至少测量三次,每次测量的读数大于表 4-5-13 中所列的值时,按三米长度计算病害。该标准并不要求连续测量,在 100m 中作若干次的抽样测量。

表 4-5-13 三米直尺标准表

| 沥青路面 (cm) | | | 水泥混凝土路面 (cm) | 沙石路面 (cm) |
|-----------|-------|------------|--------------|-----------|
| 沥青表面处置 | 沥青贯入式 | 沥青混凝土、沥青碎石 | | |
| 1.2 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | 1.5 |

该测量方法的尺位是人为选择的,测量的重复性太差,测量的结果可能因测量人而异。因而需要一种规范的方法,使测量重复性好、测量结果稳定。以下是这种连续测量方法的规定:在三米直尺两端向直尺中间各量取 75cm 的距离处画出两道标记线,测量时,沿测量方向一尺(指三米直尺,以下同)接一尺的连续测量下去。每测量一尺,应在距离端部 75cm 的两个标记处测量三米直尺底边和路面间的间隙,即三米直尺的每测一尺要量取两个读数,要求准确至 1mm。测量结果按下式计算标准差:

$$\sigma = \left(\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N} \right)^{1/2} \quad (4-5-44)$$

式中 X_i ——测量值, mm;

\bar{X} ——测量值的均值, m;

N ——测量读数的次数 m。

图 4-5-20 是一种采用四米直尺连续测量的方法。图 a) 是测量的第一步,直尺的前后着地并出现前后两个间隙,测取两个间隙的读数。b) 是测量的第二步,直尺只向前移动 2m,使本次测量的路段和上次测量路段有两米的重合。这一次的直尺前端翘起,所

以不测量前端的间隙,只测量后部的间隙。c)是测量的第三步,直尺又向前移动 2m,直尺的前后均着地,与 a)不同,最大间隙只有一个,所以只测取该间隙。d)是测量的第四步,直尺仍然向前移动两米,直尺的前后均不着地;所以前后均不测量,只测中点一处的间隙。

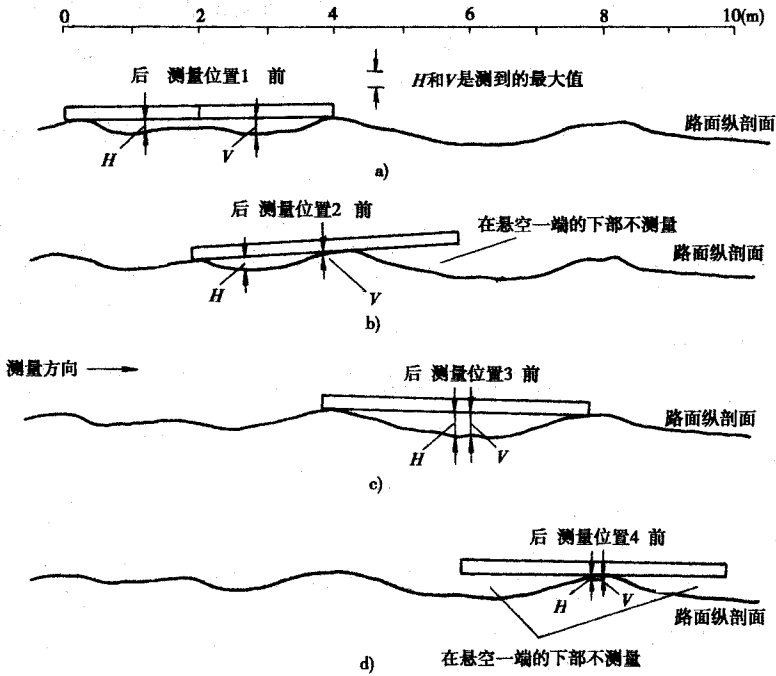


图 4-5-20 四米直尺的连续测量的方法

二、多轮测平车(随动基准)的性能及测量方法

固定基准测量方法的优点是基准稳定,缺点是不能连续测量。把基准装上支承轮,使基准沿着测量方向前进,从而实现连续测量,这就是随动基准。运用随动基准进行测量有两种方法:

第一种是采用多个平衡轮支承的直梁构成随动基准,测量参量是路面相对于基准梁的垂直位移,其应用实例就是多轮测平车。测平车也叫滚动直尺,是随动基准很形象的注释。

第二种方法是采用两支点长梁构成随动基准,测量参量是路面测量臂相对于基准梁的角度变量,应用该原理方案的有 Houboult 斜率测量车和 AASHO 纵剖面测量仪;但前者未见到产品,因后者改进为陀螺基准而收入角度基准一节中,所以本节仅介绍多轮测平车。

1. 多轮测平车原理

图 4-5-21 中平衡轮 1 两两成对地装置成平衡型式, 这样当路面 6 不平时, 各轮架可绕平衡架 2 转动, 各平衡架又可绕基准 3 转动。该方案中, 轮 1 兼有平衡和支承仪器的功能, 沿行驶方向两排平衡轮共十六个(图中未示出), 单排八个。随动基准 3 是一根直梁, 直梁的中点是测量的参考点, 该点处于十六个支承的平均位置。测量轮 4 在弹簧的作用下保持与路面接触, 它测量基准 3 和路面 6 之间的变动并记录在仪器 5 上。

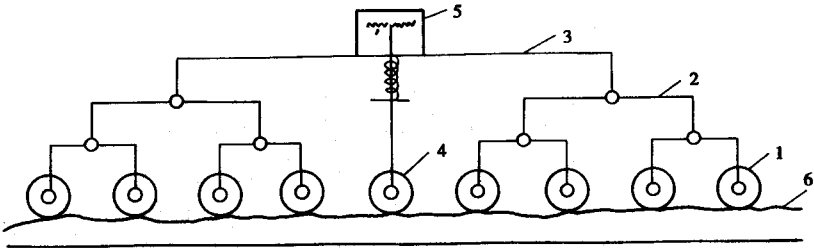


图 4-5-21 多轮测平车的原理

1—平衡轮 2—平衡架 3—随动基准 4—测量轮 5—仪器 6—路面

设每个支承轮在各自相互独立的迹道上行驶, 且各道的标准差均为 σ , 各道间的凝聚函数 $\gamma^2 = 0$, 支承轮数为 n , 参考点的标准差为 σ_0 , 有 $\sigma_0 = \sigma/\sqrt{n}$ (证明从略)。即参考点的方差随着支承轮的增多而减少。不过, 实际的路面不平度序列, 并不都能满足平稳随机过程的假设, 各支承轮也不可能行驶在相互独立的迹道上。但是用上式来定性地的描述还是有用的, 它给参考点的合理性以更为理性的解释。在实际的结构设计中, 使各成对的支承轮具有不同的轮距, 以减少路面谐量的干扰。

注意, 不能在支承点上装置减震弹簧, 因为这样就改变了基准的原理, 成为动态的间接测量装置了。

2. 多轮测平车的结构

1978 年后, 我国四轮、八轮测平车在市政和公路部门被开发出来。其中基长为 3m 的八轮测平车在道路部门得到广泛应用。如北京市政工程研究所的 CP 型路面测平仪、西安公路研究所的 XLP 型路面平整度仪、上海市政工程研究所的 XLB 型路面平整度仪等, 三种设备的参数和结构都很接近, 用 CP-1 型来代表, 见图 4-5-22。

测平车的长度是一个重要的结构参数。测平车的总长约为随动基准长度的两倍, 基准长度为 3m 的测平车总长约为 6m。我国生产的都是 3m 基长的八轮测平车, 在日本也采用 3m 基长型的测平车。由于高等级公路需要长的测量, 所以在日本发展了公团式 8m 测平车, 其总长应为 16m 左右。根据测量长波的需要, 要求测平车长些, 根据测量运行方

便、灵活的要求,则希望测平车短小些。计算出的长波为 83m,据此设计的测平车长度,将因过分长大而无法运行。这个问题其实是一个幅频特性问题,本节中不再多讨论。

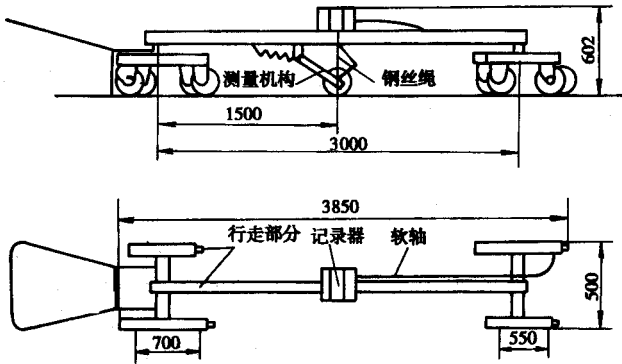


图 4-5-22 CP-1 型八轮测平车

多轮测平车的性能较好,首先是测量效率的提高,用 3km/h 的慢速测量行驶,比起水平仪-标杆测量要快 40~50 倍;其次是在基准长度的范围内,测量精度比较好;第三是结构简单可靠,成本低、操作方便。正是这些优点,使得多轮测平车在世界,特别是在 20 世纪 70 年代末和 80 年代的中国独领风骚。虽然测量的长波因衰减而失真,幅频特性不理想,但是从道路工程的角度来说,细节的平整度,即 3m 范围内的平整度,无疑是更重要些。

三、动态响应测量(间接测量)的方法和仪器

动态响应类型的平整度测量仪器是一种以一定车速在被测路面上行驶的机械振动系统。系统一般由质量 M 、弹性原元的刚度 K 和阻尼 C 构成。车辆是多自由度、多输入系统,因而其频率响应函数比较复杂,影响输出的因素多。所以,在这类测量中有一些单轮的振动系统,例如在传递函数法中第五轮方案(与汽车试验仪器五轮仪相似,以此得名)颠簸累积仪的单轴拖车。这些振动系统,其优点在于自由度少(五轮为单自由度,单轴拖车为两自由度),单输入,影响响应输出的因素相对简单,可以提高测量精度和重复性。

1. 颠簸累积仪的开发背景

传递函数法和颠簸累积仪都是应用机械系统的振动响应来测量路面的。但前者是利用传递函数来计算路面纵剖面,后者是在一定的测速下,用振幅的累计值来评价路面的行驶品质。

初期的仪器是拖车式(标准式)颠簸累积仪,后来发展了车载式颠簸累积仪。比较有

名的颠簸累积仪有美国的 BPR、英国的 BI、我国西安公路研究所的 DBY-1 型拖车式颠簸累积仪等。BPR(Bureau of Public Roads)为(美国)公路局,BI(Bump Integrate)即颠簸累积仪,DBY 是“颠簸仪”的汉语拼音。

早在 20 世纪 30 年代,美国公路局就认识到需要开发一种设备,用来比较在不同路面上车辆的乘坐(或行驶)品质,用作路面评价,并要求该设备的各个部分能够标准化,以便制造和推广,更重要的是要求保证质量以满足仪器测试性能的一致性。开发初期叫做“路面不平的相关计数器”;“相关”的含义是指测量结果不是路面不平本身,而是由之引起测量系统振动的统计。最初的仪器是用汽车改装的,排除了汽车上使振动系统不稳定的因素。1940 年有关该仪器的论文在美国公路局的会议上发表,稍后刊登在美国《公路》杂志上。论文阐述该仪器的基本原理是“由路面不平引起车辆弹簧的垂直振动与路面不平度的等级存在着接相关”。1941 年在美国印地安那州进行了约 30mile 的路面不平度测量试验。1942 年 1 月发表的初次研究结果表明,大量的路面不平度试验结果理想。后由于二次大战而中途停止。战后曾开发了一个三轮拖车方案的试验型颠簸累积仪,但因为测量结果不稳定和结构不理想而放弃了。直到 1953 年 12 月,对该仪器提出了改进方案,于 1954 年 10 月完成了该仪器的基本结构并沿用至今。到 20 世纪 60 年代,美国已拥有这种设备约 20 台,其中半数在各州的公路局。英国仿制了六台,命名为 BI。

2. 拖车式颠簸累积仪

美国 BPR 拖车式颠簸累积仪,是一个构造十分简单的单轮拖车,如图 4-5-23。用型钢作成矩形拖车架,在拖车架的两侧装有两个单片的叶片弹簧,在叶片弹簧上装有 4 层帘线 6.00-16 的充气轮胎,轮胎的轴固定在叶片弹簧的中部。牵引装置用来消除牵引力矩对拖车的干涉。车轮上方,装有与拖车架相连的支架。支架的两侧各装有一个减震器,用来匹配振动系统的阻尼。在支架上装有一个积算器,用来累计车轮和框架之间的相对振动。

3. 车载式颠簸累积仪

车载式和拖车式原理、结构均相同,区别是车载式的机械振动系统是车辆,拖车式的机械振动系统是单轴拖车。

车载式颠簸累积仪的传动结构示意图见图 4-5-24。图中积算单元装在车辆的底盘(即簧载质量)上。底盘通过两个弹簧与车桥相联(图中未示出减震器)。车桥为非驱动桥,车桥与底盘之间连接一根钢索,并没有标定用的调整机构,用来改变传动比。系统通常装在后桥部位。当仪器处于测试的行驶状态时,车桥相对于车身产生垂直位移,经标定调整机构由钢索带动积算器的传动轮,从而实现累积积算。

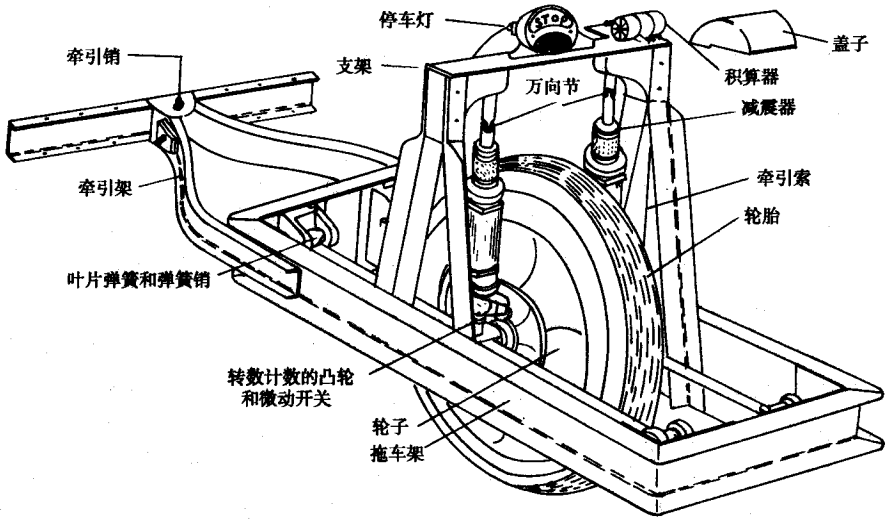


图 4-5-23 BPR 拖车式颠簸螺计仪

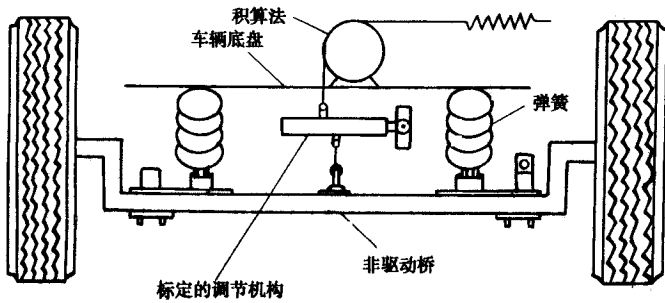


图 4-5-24 车载式颠簸累计仪的传动结构示意图

由专家评议方法选定四种标定路段,其不平度状况分别为:很好、好、中、差,路段长度均为 250m。用三米直尺、八轮测平车和水平仪以 250mm 的间隔分别测量四路段,得到以标准差和国际不平度指数“ m/km ”为单位的测量结果。用颠簸累积仪测量四种路段,得到以颠簸累积指数“ cm/km ”为单位的测量结果,然后用回归方法,计算颠簸累积仪和三米直尺、八轮测平车、水准仪测试结果之间的拟合关系。公路科学研究所的数据表明,三种标定拟合的相关系数都在 0.99 以上。

4. 颠簸累积仪的特点

颠簸累积仪具有以下特点:

1) 测量速度快、效率高,比多轮测平车快 10 倍以上,符合路面管理系统的评价测试的要求。

2) 该仪器的结构模拟了车辆行驶的某种状态,使得仪器的测试原理能保证其测试结

果必然反映车辆的行驶品质。颠簸累积仪的出现和“路面行驶品质分级”这一评价指标,标志了道路和车辆工程交叉学科的进展。

但是仪器的这一性质也具有不利影响。从仪器的幅频特性可知,仪器的输出(测量结果)对路面不同谐波有不同的加权。所以,这样的测量结果是“路面—车辆”系统的评价指标,而不是单纯的路面平整度评价指标;同时加权倍数试验随车速改变而改变,所以,测量车速的误差对试验结果也有影响。

3)可以高精度地拟合得到原有各种路面不平度仪器的路面评价指标。

4)操作方便、结构简单,故障率低、成本低等,从而易于推广。

5)还有一明显的不足之处是振动系统参数的不稳定影响到系统的振动特性不稳定,从而给测量结果带来的误差。

四、国际道路平整度指数(IRI)

1. 国际不平度试验(IRRE)

IRI 是国际道路指数(International Roughness Index)的缩写,缘起于世界银行资助的一项国际合作研究成果。该研究项目的名称为“国际道路试验”,试验缩写为 IRRE(International Road Roughness Experiment),该项目于 1982 年在巴西进行。其主要目的是寻找一项标准的指标,应用这项指标可以同各种路面不平度仪器的测量结果建立良好的相关关系。通过试验和分析比较,选择了参考平均校正坡度(Reference Average rectified Slope RARS)作为路面评价指标,并定名为国际评价指数 IRI。

IRRE 试验成果的意义如下:

1)规范了路面平整度的定义,该定义涵盖了客观评价指标(道路在路表高程上的变异)和主观评价指标(它使所通过的车辆产生振动);

2)IRI 评价指标的内涵完全符合定义的要求;

3)IRI 评价指标以车辆的数学模型作为动态计算方案,这样既具备了动态系统的优点,又避免了实际动态测量系统特性随时间变化的缺陷;

4)该指标几乎与世界上所有的平整度仪的测量指标都是可以换算或兼容的。

2. 国际指数(IRI)

如图 4-5-25 是 IRI 仿真用的模型。该系统具有簧载质量 M ,非簧载质量 m ,两质量间以线性刚度 K_M 的弹簧和线性阻尼 C_M 的减震器相连接;非簧载质量 m 通过具有线性弹簧 k 的轮胎与地面 y 相接触,轮胎对地面的包容长度为 b ,簧载及非簧载质量的垂直位移坐标分别为 z_M 和 z_m 。

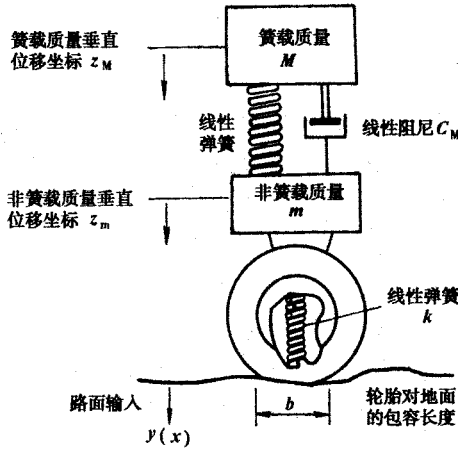


图 4-5-25 四分之一车辆的振动模拟系统

IRI 原理:当四分之一车辆以一定的速度沿路表纵剖面轨迹行驶时,在路面 y 的斜率输入激励作用之下,系统产生振动。计算每公里行驶距离内簧载质量和非簧载质量的相对位移的累计值,以“ m/km ”表示。由于模拟系统的振动与车速有关,所以国际平整度指数规定模拟计算的速度为 $80km/h$ 。

四分之一车辆的线性振动系统,文献中用 OCS(Quarter Car Simulation)表示,即四分之一车辆模拟。为求解系统的相对位移,建立二阶振动微分方程:

$$\left. \begin{aligned} M \cdot \ddot{z}_M + C_M(\dot{z}_M - \dot{z}_m) + K_M(z_M - z_m) &= 0 \\ M \cdot \ddot{z}_M + m \cdot \ddot{z}_m + k(z_m - y) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4-5-45)$$

式中 $\ddot{z}_M, \dot{z}_M, \ddot{z}_m, \dot{z}_m$ —— \ddot{z}_M, \dot{z}_M 分别表示簧载垂直加速度和速度; \ddot{z}_m, \dot{z}_m 分别表示非簧载垂直加速度和速度;

用 M 除式中各项,并令:

$$\left\{ \begin{aligned} K_1 &= k/M \\ K_2 &= C_M/M \\ \mu &= m/M \\ C &= C_M/M \end{aligned} \right. \quad (4-5-46)$$

得到:

$$\left\{ \begin{aligned} \ddot{z}_M + C(\dot{z}_M - \dot{z}_m) + K_2(z_M - z_m) &= 0 \\ \ddot{z}_M + \mu \cdot \ddot{z}_m + k_1 z_m &= K_1 y \end{aligned} \right\} \quad (4-5-47)$$

式中 $K_1 = 653s^{-2}$; $K_2 = 63.6s^{-2}$; $\mu = 0.150$; $C = 6.00s^{-1}$ 。

代入路面纵剖面值 y 求得 z_M, z_m 从而得到国际平整度指数:

$$IRI = \frac{1}{N-1} \sum_{n=2}^n |z_M \cdot z_m| \quad (4-5-48)$$

一般情况下,IRI 的实际测定方法可以有以下四类:

- 1) 精确的路面纵剖面测量,如 TRL、水平仪、光线和直梁基准测量、真实路形计等;
- 2) 它的路面纵剖面测量,如 APL 等;
- 3) 动态响应式测量仪以及其它的路面平整度测量装置;
- 4) 主观评价。

测定方法中,第 3 类多由标定试验的方法求出其拟合方程,第 4 类与前三种的评价方法不同,属于主观评价。第 1、2 类在 IRI 计算原理和方法上是一样的,仅仅存在精度上不同。

3. 各种路面平整度指标之间的换算

由于路面平整度测量仪器的原理和结构不同,路面平整度的评价指标也各不相同。因此,寻求各种平整度指标之间的换算关系是很有实际意义的事情。

我国长期以来采用的三米直尺检测法,非常简便。以直尺与路面之间的最大间隙为路面平整度的评价指标,与 IRI 之间的换算关系有着非常重要的意义。

选择了 IRI 变化范围在 2~12m/km 的七个路段进行量测,测量结果表明各种不同基长直尺的测量指标(平整度偏差)和 IRI 的测量指标(m/km)之间的拟合关系良好。表 4-5-14 是常用直尺(剔除偶然误差)以第 95 个百分点的偏差为最大偏差指标和 IRI 之间的换算关系。图 4-5-26 还绘出了偏差平均值与 IRI 的拟合关系。

表 4-5-14 偏差平均值与 IRI 的拟合关系

| 平均最大偏差值/mm | 标准误差/mm | 相关系数 |
|-----------------------|---------|-------|
| $SED_{1.0} = 1.40IRI$ | 0.60 | 0.985 |
| $SED_{2.0} = 2.29IRI$ | 0.42 | 0.997 |
| $SED_{3.0} = 2.85IRI$ | 0.76 | 0.994 |

注: SED_{λ} 基长为 λ 的直尺。以第 95 个百分点的偏差为最大偏差值。

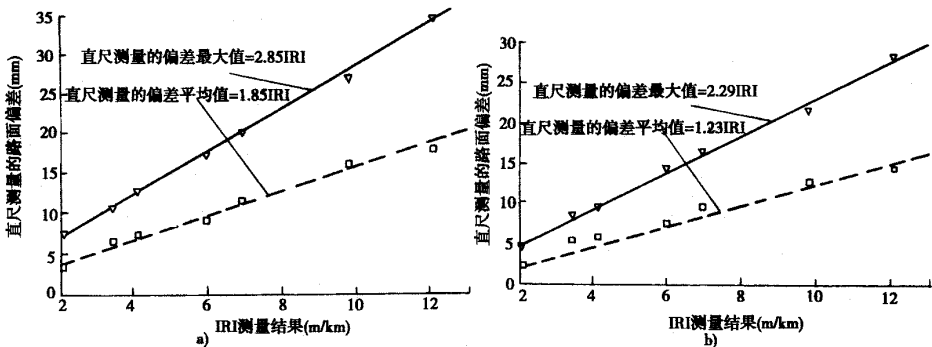


图 4-5-26 两米直尺和三米直尺的偏差值与 IRI(m/km) 指数的拟合关系

a) 两米直尺和 IRI 的拟合关系 b) 三米直尺和 IRI 的拟合关系

表 4-5-15 所示为国际上比较著名的、常用的路面平整度评价指数与 IRI 指数之间的换算关系。

表 4-5-15 路面平整度评价指数与 IRI 指数的关系

| 换算关系 | 标准误差 | 变异系数 % | 偏斜率 |
|---------------------------|-------|--------|-------|
| $IRI = QI_m/13$ | 0.919 | 15.4 | 0.989 |
| $= (Q_{Ir} + 10)/14$ | 0.442 | 7.3 | 0.975 |
| $= 0.0032BI^{0.89}$ | 0.764 | 12.7 | 1.008 |
| $= CP_{2.5}/16$ | 0.654 | 12.4 | 0.993 |
| $5.5 \log_e(5.0/PSI)$ | — | — | — |
| $= 0.80RARS_{50}$ | 0.478 | 7.9 | 1.002 |
| $= 0.78W_{Sw}^{0.63}$ | 0.693 | 11.5 | 0.994 |
| $= CAPL_{25}(2.2 + 0.8A)$ | 1.050 | 17.4 | 1.030 |

注 ①换算关系栏是指换算为 IRI 指数值 表示为“ m/km ”;

② QI_m 巴西 - UNDP 道路成本研究室的四分之一车辆型标定道路计指数 表示为次数/km ;

③ Q_{Ir} 四分之一车辆型 QI 平整度仪的“纵剖面 RMSVA 函数”表示为“次数/km”;

④ BI 英国 TRL 的拖车式颠簸累积仪指数 测量速度 32km/h 表示为“ mm/km ”;

⑤ $CP_{2.5}$ 比利时道路研究中心的 APL72 纵剖面仪。单位为“ 0.01mm ”;

⑥ $RARS_{50}$ 模拟速度为 50km/h 的参照平均移动斜率 单位为“ m/km ”;

⑦ W_{Sw} 法国道路桥梁中心试验研究所的 APL72 纵剖面仪 测量表示为 1 ~ 3m 短波的指数;

⑧ $CAPL_{25}$ 法国道路桥梁中心试验研究所的 APL25 纵剖面仪的系数;

⑨ A 沥青路面时为 1 其他路面时为 0。

第七节 路面结构层厚度检测

一、概述

在路面设计中,不论是刚性路面,还是沥青路面,最终需要决定的是各个层次的厚度。

路面厚度测定常采用射线或超声检测技术,通常用反射法测定面层厚度,但是仅仅在水泥混凝土路面厚度中使用比较成功。对于沥青路面尚在研制阶段,则难以保证测量精度。我国多采用钻取芯样或挖坑测定的方法量测沥青路面碾压的厚度,路面自动测厚仪也在研制开发。

在先进的厚度无损检测中,路面雷达测试系统能在高速行驶(100km/h)状态下实时收集路面结构层资料,并通过计算机自动分析出路面各层厚度、湿度、空隙位置和内部破

损情况,在路面检测中得到越来越广泛的应用。

公路路面工程的评价往往依据多项指标。很多发达国家都普遍装备了综合测试专用车,车上配有各种检测仪器以及数据处理等。只要到测试现场一次,就能测取各种所需的数据,方便且效率高。一台路面综合检测专用车约需要人民币几百万元,如此昂贵的价格限制了它在我国的推广与应用。但由于它有许多优点,在一些检测中心配置还是可能的。用来测定多项指标值,建立数据库,评价路面使用性能。

二、厚度检测方法

1. 挖坑法

根据现行规范的要求,随机取样决定挖坑检查的位置。如为旧路,该点有坑洞等显著缺陷或接缝时,可在其旁边检测。

选一块约 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 的平坦表面作为试验地点,用毛刷将其清扫干净。根据材料坚硬程度,选择镐、铲、凿子等适当的工具,开挖这一层材料,直至层位底面。在便于开挖的前提下,开挖面积应尽量缩小,坑洞大体呈圆形,边开挖边将材料铲出,置于搪瓷盘中。用毛刷将坑底清扫,确认为坑底面下一层的顶面。

将钢板尺平放横跨于坑的两边,用另一把钢尺或卡尺等量具在坑的中部位置垂直伸至坑底,测量坑底至钢板尺的距离,即为检查层的厚度,以 cm 计,精确至 0.1cm 。

2. 钻孔取样法

根据现行规范的要求,随机取样决定挖坑检查的位置。如为旧路,该点有坑洞等显著缺陷或接缝时,可在其旁边检测。

用路面取芯钻孔机钻孔,芯样的直径应为 100mm 。如芯样仅供测量厚度,不作其他试验,对沥青面层与水泥混凝土板也可用直径 50mm 的钻头,对基层材料有可能损坏试件时,也可用直径 150mm 的钻头,但钻孔深度必须达到层厚。仔细取出芯样,清除底面灰尘,找出与下层的分界面。

用钢板尺或卡尺沿圆周对称的十字方向四处量取表面至上下层界面的高度,取其平均值,即为该层的厚度,精确至 0.1cm 。

3. 施工过程中的简易方法

在施工过程中,当沥青混合料尚未冷却时,可根据需要,随机选择测点,用大改锥插入量取或挖坑量取沥青层的厚度(必要时用小锤轻轻敲打),但不得使用铁镐等扰动四周的沥青层。挖坑后清扫坑边,架上钢板尺,用另一钢板尺量取层厚,或用改锥插入坑内量取深度后用尺读数,即为层厚,以 cm 计,精确至 0.1cm 。

三、填补试坑或钻孔

补填工序如有疏忽,易成为隐患而导致开裂,因此,所有挖坑、钻孔均应仔细做好。按下列步骤用取样层的相同材料填补试坑或钻孔:

适当清理坑中残留物,钻孔时留下的积水应用棉纱吸干。

对无机结合料稳定层及水泥混凝土路面板,按相同配比用新拌的材料并用小锤击实。水泥混凝土中宜掺加少量快凝早强的外掺剂。对无结合料粒料基层,可用挖坑时取出的材料,适当加水拌和后分层填补,并用小锤击实。

对正在施工的沥青路面,用相同级配的热拌沥青混合料分层填补并用加热的铁锤或热夯压实。旧路钻孔也可用乳化沥青混合料修补。所有补坑结束时,宜比原面层略鼓出少许,用重锥或压路机压实平整。

四、结构层厚度的评定

路面厚度是关系质量和造价的重要指标,既不能给承包商提供偷工减料的可能机会,又考虑正常施工条件下的厚度偏差情况,采用平均值的置信下限作为否决指标,单点极值作为扣分指标。

计算一个评定路段检测的厚度的平均值、标准差、变异系数,并计算代表厚度。厚度代表值按下式计算:

$$x_1 = \bar{x} - \frac{t_\alpha S}{\sqrt{n}} \quad (4-5-49)$$

式中 x ——厚度代表值;

\bar{x} ——厚度平均值;

S ——标准差;

n ——检测数量;

t_α —— t 分布在表中随测点数和保证率(或置信度 α)而变的系数。采用保证率:高速公路、一级公路:基层、底基层为99%,面层为95%;其他公路:基层、底层为95%,面层为90%。

当厚度代表值大于等于设计厚度减代表值允许偏差时,则按单个检查值的偏差是否超过极值来评定合格率和计算应得分数;当厚度代表值小于设计厚度减去代表值允许偏差时,则厚度指标评为零分。

沥青面层一般按沥青铺筑层总厚度进行评定,但高速公路和一级公路多分2~3层铺筑,还应进行上面层厚度检查和评定。

第八节 沥青混合料渗水试验检测

由于存在降水、交通量和交通组成以及行车速度等外界因素造成沥青路面的水破坏现象,以及沥青路面本身的沥青与碎石粘结力不足、空隙率较大、压实度偏小的内部因素,使水破坏现象变得普遍而又严重。水破坏的产生会引起表面层产生坑洞、唧浆、网裂以及其他的路面破坏。沥青路面水破坏归根结底由于存在渗水现象,因此研究沥青路面的渗水性对于防止水破坏有十分重要的意义。

据相关研究表明,沥青路面的空隙率小于4%时,基本上是不透水的;当空隙率大于15%时(即接近于常见的渗水性沥青路面),其渗水性非常好,但对沥青路面不会造成太大的危害;而当空隙率处于其间时,存在着透水现象,且易造成水破坏,特别是空隙率为8%时,这种破坏更为严重。国外的研究资料也表明:热拌沥青混凝土的空隙率小于8%时,混合料的渗水性很小,空隙率大于8%时,混合料的渗水性增加很快。本文实验研究了沥青路面的渗水性及其影响因素。

沥青混合料的空隙率低于8%时,路面雨水是通过连通的空隙由表面层渗流入中面层或底面层,甚至透过基层,若要得到及时消除,则整个路面层必须构成连通状态。当空隙率高于8%时,沥青混合料内部的空隙呈连通状态,从而在有坡降、遇雨水时,水可沿接近的空隙流动,最后排走。特别是大空隙的渗水性路面(空隙率为20%左右),水在其中的渗流速度特别快,属于紊流,其渗水能力可用达西定律计算:

$$V = KI \quad (4-5-50)$$

式中 V ——为雨水渗透速度, cm/s ;

K ——为渗透系数, cm/s ;

I ——为水力坡降。

对于渗水性沥青路面,水力坡降 I 为1,故 $V = K$ 。当孔隙率为20%左右时,其渗透系数通常在 $(4 \sim 10) \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 的范围。

渗水性沥青路面雨水排水是横向排水。另有资料表明,日本对不同渗水分析渗透系数的比较结果认为:水平方向的渗透系数比垂直方向约大2~3倍,这说明由垂直方向渗透下落的水在水平方向是能很快排走的,故关键在于垂直方向的渗透能力。

沥青路面的渗水性常用渗透系数表示,故检测其渗水性实际上就是其渗透系数的测定,但迄今为止,对沥青混合料尚没有一如土壤试验那样的标准试验方法,故各国试验均

有不同。日本借用了土壤渗透的试验方法。美国采用了将待测沥青混合料置于密实的混合料上,设置一定的水头,以单位时间内水平降低某一高度所渗透的水量(mL)计。比利时则采用一种流量计,以渗透一定数量所需的时间表示。而我国则是采用公路行业标准规定的路面渗水仪(类似于比利时的测定方法)。这里介绍到的是日本道路工团的试验方法、国内常规的室内试验方法、简化的试验方法和路面现场检测方法。

1. 日本道路工团的实验方法

在此试验中,将直径为1.5cm,长为40cm的玻璃管置于沥青混合料马歇尔试件上,管的周围用胶封闭,把玻璃管中的水注满,当水面落到高度为35cm时开始读秒表,当水面落到5cm时,读表结束。

2. 简化试验方法

将沥青混合料的标准击实试件制成后不脱模,去掉试件两面的滤纸。待试件冷却后,连同试模浸入水中1h,使试件吸水饱和。试验时,将试模支放在容器中,试模底部脱空。另取100mL水,倒入试模中,同时启动秒表计,水从试件的孔隙中渗出,当试件表面水全部渗入试件内,停止秒表,记录时间,计算试件透水系数 k :

$$k = Qh/6.35At \quad (4-5-51)$$

式中 Q ——注入的水量,100mL ;

A ——试件面积,81cm² ;

t ——渗透时间,s ;

h ——试件高度,cm。

3. 国内的渗水性试验方法

本渗水试验方法适用于路面渗水仪测定碾压成型的沥青混合料试件和路面的渗水系数,以检验沥青混合料的配合比设计和沥青路面的压实情况。

试验中使用到的路面渗水仪,其形状及尺寸如图4-5-27。上部盛水量筒由透明有机玻璃制成,容积600mL,上有刻度,在100mL及500mL处有粗标线,下方通过 $\phi 10$ mm的细管与底座相接,中间开一开关。量筒通过支架联结,底座下方开口内径 $\phi 150$ mm,外径 $\phi 165$ mm,仪器附铁圈压重两个,每个质量约5kg,内径 $\phi 160$ mm。

另外还需要的仪器有:水筒及大漏斗、秒表、密封材料、黄油、玻璃腻子、油灰或橡皮泥等,也可采用其他任何能起到密封作用的材料,接水容器以及其他一些必要物品,如水、红墨水、粉笔、扫帚等。

对于沥青混合料试件的室内试验,详细的步骤如下:

准备工作:先在洁净的水桶内滴入几滴红墨水,使水成淡红色。然后组合装妥路面渗水仪。再按照沥青混合料试件成型方法(轮碾法)制作沥青混合料试件,试件尺寸为

30cm × 30cm × 5cm 脱模 揭去成型试件时垫上表面的纸。

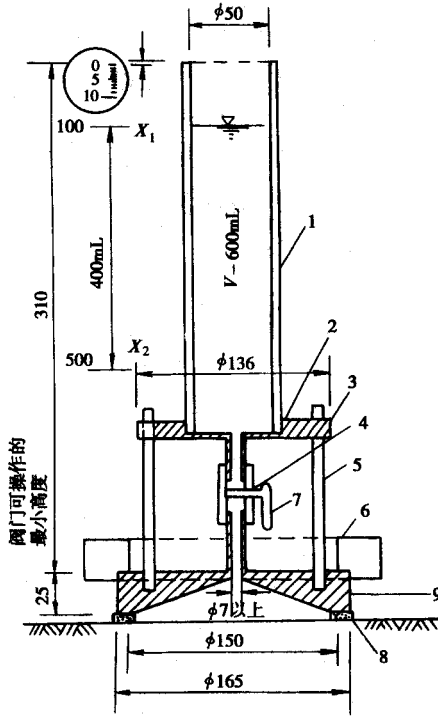


图 4-5-27 渗水仪(尺寸单位 mm)

- 1—透明有机玻璃箱 2—螺纹链接 3—顶板 4—阀 5—立柱
支架 6—压重钢圈 7—把手 8—密封材料 9—底座

试验前,将试件放置于坚实的平面上,在试件表面上沿渗水仪底座圆圈位置抹一薄层密封材料,边涂边用手压紧,使密封材料嵌满试件表面混合料的缝隙,且牢固地粘结在试件上,密封料圈的内径与底座内径相同,约 150mm。将渗水试验仪底座用力压在试件密封材料圈上,再加上铁圈压重压住仪器底座,以防压力水从底座与试件表面间流出。

用适当的垫块如混凝土试件或木块在左右两侧架起试件,试件下方放置一个接水容器。关闭渗水仪细管下方的开关,向仪器的上方量筒中注入淡红色的水至满,总量为 600mL。

迅速将开关全部打开,水开始从细管下部流出,待水面下降 100mL 时,立即开动秒表,每间隔 60s,读记仪器管的刻度一次,至水面下降 500mL 时为止。测试过程中,应观察渗水的情况,正常情况下水应该通过混合料内部空隙从试件的反面及四周渗出,如是从底座与密封材料间渗出,说明底座与试件密封不好,应另采用干燥试件重新操作。如水面下降速度很慢,从水面下降至 100mL 开始,测得 3min 的渗水量即可停止。若试验

时水面下降至一定程度后基本保持不动,说明试件基本不透水或根本不透水,则在试验报告中注明。

按以上步骤对同一种材料制作 3 块试件测定渗水系数,取其平均值,作为检测结果。

沥青混合料主件的渗水系数按式 4-5-51 计算,计算时以水面从 100mL 下降至 500mL 所需的时间为标准,若渗水时间过长,亦可采用 3min 通过的水量计算。

$$C_w = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \times 6 \quad (4-5-52)$$

式中 C_w ——沥青混合料试件的渗水系数, mL/min;

V_1 ——第一次读数时的水量(通常为 100mL), mL;

V_2 ——第二次读数时的水量(通常为 500mL), mL;

t_1 ——第一次读数时的时间, s;

t_2 ——第二次读数时的时间, s。

在试验报告中,必须逐点报告每个试件的渗水系数及 3 个试件的平均值。若路面不透水,应在报告中注明。

另外必须说明的是,本试验方法成败的关键是试验仪与试件表面的密封性,除规程中提到的黄油、玻璃腻子、油灰或橡皮泥等可作为密封材料外,各单位也可采用其他能起到密封作用的材料。

若是现场进行检测试验,则在测试路段的行车道路面上,采用随机选择测试位置,每一个检测路段应测定 5 个测点,清扫表面后并做好测试标记,其他步骤与沥青混合料试件的渗水性试验步骤相同。