

JTG

中华人民共和国行业标准

JTG D50—2006

公路沥青路面设计规范

Specifications for Design of Highway Asphalt Pavement

2006-10-10 发布

2007-01-01 实施

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

公路沥青路面设计规范

Specifications for Design of Highway Asphalt Pavement

JTG D50—2006

主编单位:中交公路规划设计院
批准部门:中华人民共和国交通部
实施日期:2007年01月01日

人民交通出版社

2006·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

公路沥青路面设计规范: JTG D50—2006/ 中交公路
规划设计院主编. —北京: 人民交通出版社, 2006.12
ISBN 7-114-06248-6

I . 公 ... II . 中 ... III . 沥青路面—设计—规范—
中国 IV . U416.217.02-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 132384 号

中华人民共和国行业标准

公路沥青路面设计规范

JTG D50—2006

中交公路规划设计院 主编

人民交通出版社出版发行

(100011 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号)

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

开本: 880 × 1230 1/16 印张: 9 字数: 178 千

2006 年 12 月 第 1 版

2006 年 12 月 第 1 次印刷

印数: 0001—30000 册 定价: 36.00 元

ISBN 7-114-06248-6

中华人民共和国交通部公告

2006 年第 39 号

关于发布《公路沥青路面设计规范》 (JTG D50—2006)的公告

现发布《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006),自 2007 年 1 月 1 日起施行,原《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97)同时废止。该规范的管理权和解释权归交通部,日常解释和管理工作由主编单位中交公路规划设计院负责。

请各有关单位在实践中注意积累资料,总结经验,及时将发现的问题和修改意见函告中交公路规划设计院(北京东四前炒面胡同 33 号,邮政编码:100010,联系电话:010-65237331),以便修订时研用。

特此公告。

中华人民共和国交通部
二〇〇六年十月十日

主题词:公路 规范 发布 公告

交通部办公厅

2006 年 10 月 12 日印发

前 言

《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97)颁布实施以来,对提高公路沥青路面设计质量发挥了重大作用。但随着公路建设的不断发展,沥青路面技术水平的不断提高,规范部分内容已经不能满足实际要求,需进一步修订完善。根据交通部规范修订要求,由中交公路规划设计院主持,由有关院校、科研、设计单位参加组成的编制组,在总结近年来的工程实践经验和科研成果的基础上,经过大量调研,经反复修改,完成了《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006)。

本规范由 11 章、7 个附录构成,较原规范主要变化有:

1. 强调按实际情况做好交通荷载分析与预测,按照全寿命周期成本的理念进行路面设计;

2. 采取了防治早期损坏的技术措施,加强了材料、混合料和路面结构组合设计的要求,增加了柔性基层、贫混凝土基层等设计内容;

3. 细划了半刚性基层混合料级配类型,调整了集料级配范围,补充了二灰稳定集料的抗冻性设计要求;

4. 路面厚度计算方法在参数取值和旧路补强公式上有所改进;

5. 增加了旧水泥混凝土路面加铺沥青层设计内容;

6. 补充了水泥混凝土桥面沥青铺装设计内容,等等。

各单位在使用过程中,若发现问题或提出意见、建议,请及时与主编单位联系(地址:北京东四前炒面胡同 33 号,邮政编码:100010,电话:010-65237331, E-mail: sso@hpdi.com.cn),以便修订时参考。

主 编 单 位:中交公路规划设计院

参 编 单 位:哈尔滨工业大学

长安大学

江苏省交通科学研究院

四川省交通厅公路规划勘察设计研究院

长沙理工大学

山东省交通科研所

主要起草人:杨孟余 冯德成 沙爱民 符冠华

崔世斌 周志刚 王 林

目 录

1	总则	1
2	术语、符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	一般规定	5
3.1	标准轴载及设计交通量	5
3.2	路用材料	7
4	结构层与组合设计	10
4.1	结构层设计	10
4.2	结构组合设计	12
5	路基与垫层	14
5.1	路基回弹模量	14
5.2	垫层与抗冻层设计	17
6	基层、底基层	19
6.1	半刚性基层、底基层	19
6.2	柔性基层、底基层	22
6.3	刚性基层	24
7	沥青面层	25
7.1	沥青混合料面层	25
7.2	沥青贯入式路面与表面处治	27
8	新建路面结构厚度	30
9	改建路面设计	36
9.1	一般规定	36
9.2	沥青路面加铺层	36
9.3	水泥混凝土路面加铺沥青路面	39
10	排水设计	41
11	桥面铺装及其他工程	44
11.1	桥面铺装	44
11.2	其他工程	45
附录 A	半刚性基层材料振动法试件成型方法和抗冻性试验方法	46

附录 B 气候区有关资料	51
附录 C 沥青混合料矿料级配与沥青贯入式、沥青表面处治材料规格和用量	56
附录 D 无结合料材料的级配组成	59
附录 E 材料设计参数参考资料	61
附录 F 查表法估计土基回弹模量参考值	63
附录 G 本规范用词说明	72
附件 《公路沥青路面设计规范》(JTJ D50—2006)条文说明	73
1 总则	75
2 术语、符号	77
3 一般规定	79
4 结构层与组合设计	84
5 路基与垫层	87
6 基层、底基层	90
7 沥青面层	104
8 新建路面结构厚度	113
9 改建路面设计	122
10 排水设计	128
11 桥面铺装及其他工程	129

1 总则

1.0.1 为适应公路建设发展的需要,使沥青路面满足使用要求,保证路面质量,提高工程耐久性,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于各级公路沥青路面新建和改建设计,专用公路可参照执行。

1.0.3 沥青路面设计包括交通量实测、分析与预测,材料选择,混合料配合比设计,设计参数的测试与确定,路面结构组合设计与厚度计算,路面排水系统设计和路面工程设计等。并进行路面结构方案的技术经济综合比较,提出推荐方案。

1.0.4 高速公路、一级公路的沥青路面不宜采用分期修建。软土地区或高填方路基、黄土湿陷地区等可能产生较大沉降的路段,以及初期交通量较小的公路可“一次设计、分期修建”。

1.0.5 沥青路面设计遵循下列原则:

1 开展现场资料调查和收集工作,做好交通荷载分析与预测,按照全寿命周期成本的理念进行路面设计。

2 调查掌握沿线路基特点,查明土质、路基干湿类型,在对不良地质路段处理的基础上,进行路基路面综合设计。

3 遵循因地制宜、合理选材、节约资源的原则,选择技术先进、经济合理、安全可靠、方便施工的路面结构方案。

4 结合当地条件,积极、慎重地推广新技术、新结构、新材料、新工艺,并认真铺筑试验路段,总结经验,不断完善,逐步推广。

5 符合国家环境保护的有关规定,保护相关人员的安全和健康,重视材料的再生利用与废弃料的处理。

1.0.6 规范中指标具有一定的使用前提和适用条件,具体设计应结合工程实际,在保证工程质量的前提下合理运用。

1.0.7 多年冻土、沙漠、盐渍土、膨胀土等特殊地区的路面结构,应考虑当地的气候、水文、土质、材料等特点,参照本规范的规定,结合实践经验进行设计。

1.0.8 路面设计除应符合本规范的规定外,还应符合现行国家和行业有关标准、规范的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 沥青路面 asphalt pavement

铺筑沥青面层的路面结构。

2.1.2 半刚性基层 semi-rigid base

采用无机结合料稳定集料或土类材料铺筑的基层。

2.1.3 刚性基层 rigid base

采用普通混凝土、碾压式混凝土、贫混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土等材料做的基层。

2.1.4 柔性基层 flexible base

采用热拌或冷拌沥青混合料、沥青贯入式碎石,以及不加任何结合料的粒料类等材料铺筑的基层。粒料类材料,包括级配碎石、级配砾石、符合级配的天然砂砾、部分砾石经轧制掺配而成的级配碎砾石,以及泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石等基层材料。

2.1.5 轴载谱 axle load spectrum

各种车辆不同轴重的概率分布。

2.1.6 当量轴次 equivalent single axle loads

按弯沉等效或拉应力等效的原则,将不同车型、不同轴载作用次数换算为与标准轴载100kN相当的轴载作用次数。

2.1.7 累计当量轴次 cumulative equivalent axle loads

在设计年限内,考虑车道系数后,一个车道上的当量轴次总和。

2.1.8 设计年限 design period

在计算累计当量轴次时所取用的基准时间。

2.1.9 冻结指数 freezing index

一年中日平均负温度的累计值(℃)。

2.1.10 设计弯沉值 design deflection

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、路面结构类型而确定的路表设计弯沉值。

2.1.11 最大粒径 maximum grain size

混合料中筛孔通过率为 100% 的最小标准筛孔尺寸。

2.1.12 公称最大粒径 nominal maximum aggregate size

混合料中筛孔通过率为 90% ~ 100% 的最小标准筛孔尺寸。

2.1.13 封层 seal coat

在沥青面层之上或基层之上或在沥青层之间,铺筑的阻止雨水下渗的沥青薄层。

2.1.14 稀浆封层 slurry seal

用具有一定级配的石屑或砂、填料(水泥、石灰、粉煤灰、石粉等)与乳化沥青、外掺剂和水,按一定比例拌制成流动型混合料,再均匀洒布于路面上的封层。

2.1.15 微表处 micro-surfacing

用具有一定级配的石屑或砂、填料(水泥、石灰、粉煤灰、石粉等)与聚合物改性乳化沥青、外掺剂和水,按一定比例拌制成流动型混合料,再均匀洒布于路面上的封层。

2.1.16 抗拉强度结构系数 tensile strength structural coefficient

考虑沥青混合料和半刚性材料疲劳破坏特性的安全系数,是根据一次荷载作用下的破坏强度与不同应力作用下的疲劳破坏强度之比,并考虑公路等级、室内与现场差异等因素而确定。

2.1.17 容许拉应力 allowable tension stress

混合料的极限抗拉强度与抗拉强度结构系数之比。

2.1.18 弯沉综合修正系数 deflection combined correctness factor

实测弯沉值与理论弯沉值之比。

2.1.19 最不利季节 worst season

路基路面结构处于最不利工作状态的季节。

2.1.20 非不利季节 non-disadvantageous season

一年中除去不利季节之外的季节。

2.2 符号

AC——密级配沥青混合料

AC-C——密级配粗型沥青混合料

AC-F——密级配细型沥青混合料

SMA——沥青玛蹄脂碎石混合料

OGFC——开级配沥青磨耗层

AM——半开级配沥青碎石

ATB——密级配沥青稳定碎石

ATPB——开级配沥青稳定碎石

3 一般规定

3.1 标准轴载及设计交通量

3.1.1 路面设计采用双轮组单轴载 100kN 作为标准轴载,以 BZZ-100 表示。标准轴载的计算参数按表 3.1.1 确定。

表 3.1.1 标准轴载计算参数

标准轴载	BZZ-100	标准轴载	BZZ-100
标准轴载 P (kN)	100	单轮传压面当量圆直径 d (cm)	21.30
轮胎接地压强 p (MPa)	0.70	两轮中心距(cm)	1.5 d

对于运煤或运建筑材料等大型载重车为主的公路,应根据实际情况,经论证单独选用设计计算参数。

3.1.2 各种车型的不同轴载应换算成 BZZ-100 标准轴载的当量轴次。

1 当以设计弯沉值和沥青层层底拉应力为指标时,各级轴载均应按公式(3.1.2-1)换算成标准轴载 P 的当量轴次 N 。

$$N = \sum_{i=1}^K C_1 C_2 n_i \left(\frac{P_i}{P} \right)^{4.35} \quad (3.1.2-1)$$

式中: N ——以设计弯沉值和沥青层层底拉应力为指标时的标准轴载的当量轴次(次/d);

n_i ——被换算车型的各级轴载作用次数(次/d);

P ——标准轴载(kN);

P_i ——被换算车型的各级轴载(kN);

C_1 ——被换算车型的轴数系数;

C_2 ——被换算车型的轮组系数,双轮组为 1.0,单轮组为 6.4,四轮组为 0.38;

K ——被换算车型的轴载级别。

当轴间距大于 3m 时,应按单独的一个轴载计算;当轴间距小于 3m 时,双轴或多轴的轴数系数按公式(3.1.2-2)计算。

$$C_1 = 1 + 1.2(m - 1) \quad (3.1.2-2)$$

式中: m ——轴数。

2 当以半刚性材料层的拉应力为设计指标时,各级轴载均应按公式(3.1.2-3)换算成标准轴载 P 的当量轴次 N' 。

$$N' = \sum_{i=1}^K C'_1 C'_2 n_i \left(\frac{P_i}{P} \right)^8 \quad (3.1.2-3)$$

式中： N' ——以半刚性材料层的拉应力为设计指标时的标准轴载的当量轴次(次/d)；

C'_1 ——被换算车型的轴数系数；

C'_2 ——被换算车型的轮组系数，双轮组为 1.0，单轮组为 18.5，四轮组为 0.09。

其余符号含义参照式(3.1.2-1)。

以拉应力为设计指标时，双轴或多轴的轴数系数按式(3.1.2-4)计算。

$$C'_1 = 1 + 2(m - 1) \quad (3.1.2-4)$$

式中： m ——轴数。

3 上述轴载换算公式，适用于单轴轴载小于或等于 130 kN 的各种车型的轴载换算。

3.1.3 设计年限应根据经济、交通发展情况以及该公路在公路网中的地位，考虑环境和投资条件综合确定。各级公路的沥青路面设计年限不宜低于表 3.1.3 的要求，若有特殊使用要求，可适当调整。

表 3.1.3 各级公路的沥青路面设计年限

公路等级	设计年限(年)	公路等级	设计年限(年)
高速公路、一级公路	15	三级公路	8
二级公路	12	四级公路	6

3.1.4 沥青路面的设计交通量，应在实测各类相关车型轴载谱的基础上，参照项目可行性研究报告等有关交通量预测资料，考虑未来各种车型的组成论证确定各种车型的代表轴载，进行不同车型的轴载换算，计算交工后第一年双向日平均当量轴次 N_1 。

3.1.5 设计年限内交通量的平均增长率 γ ，在项目可行性研究报告等资料基础上，经研究分析确定。

3.1.6 车道系数 η ，按照表 3.1.6 选用。公路无分隔时，车道窄宜选高值，车道宽宜选低值。

表 3.1.6 车道系数

车道特征	η	车道特征	η
双向单车道	1.0	双向六车道	0.3~0.4
双向两车道	0.6~0.7	双向八车道	0.25~0.35
双向四车道	0.4~0.5		

当上下行交通荷载有明显差异时，可按上下行交通特点分别进行结构与厚度设计。

3.1.7 设计时按公式(3.1.7)计算设计年限内一个车道上的累计当量轴次 N_e 。

$$N_e = \frac{[(1 + \gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} N_1 \eta \quad (3.1.7)$$

式中： N_e ——设计年限内一个车道的累计当量轴次(次/车道)；

t ——设计年限(年)；

N_1 ——营运第一年双向日平均当量轴次(次/d)；

γ ——设计年限内交通量的平均年增长率(%)；

η ——车道系数；见表 3.1.6。

3.1.8 交通量宜根据表 3.1.8 的规定划分为四个等级。设计时可根据累计当量轴次 N_e (次/车道) 或每车道、每日平均大型客车及中型以上的各种货车交通量[辆/(d·车道)], 选择一个较高的交通等级作为设计交通等级。

表 3.1.8 交通等级

交通等级	BZZ-100 累计标准 轴次 N_e (次/车道)	大客车及中型以上的各种货车交通量 [辆/(d·车道)]
轻交通	$< 3 \times 10^6$	< 600
中等交通	$3 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^7$	600 ~ 1 500
重交通	$1.2 \times 10^7 \sim 2.5 \times 10^7$	1 500 ~ 3 000
特重交通	$> 2.5 \times 10^7$	$> 3 000$

3.2 路用材料

3.2.1 沥青路面应采用道路石油沥青或其加工产品, 沥青标号的选择应根据公路等级、气候条件、交通量及其组成、路线线形、面层结构与层次、施工工艺等因素, 并结合当地使用经验确定。

各种路用沥青的技术指标应符合有关国家标准、规范及行业标准、规范的要求。

3.2.2 液体石油沥青宜用作透层、表面处治或冷拌沥青混合料的黏结料, 应视其用途、气候条件和施工情况选择类型与标号。

3.2.3 乳化沥青宜用作透层、黏层、稀浆封层、冷拌沥青混合料、表面处治。

改性乳化沥青适用于交通量较大或重要道路的黏层、稀浆封层、桥面铺装的黏层、表面处治、冷拌沥青混合料、微表处等。

3.2.4 对于特重交通、重交通、重要公路, 或温差变化较大、气候严酷地区, 或铺筑特殊结构层, 以及连续长、陡纵坡段等, 可选用改性沥青。

改性沥青的改性剂应根据改性目的与实践效果, 结合加工工艺难易、质量稳定性等因素进行技术经济比较后选定。

改性沥青的技术指标应符合现行国家标准、规范,行业标准、规范的相关要求。

3.2.5 应根据混合料类型与使用要求,合理选择纤维稳定剂类型与掺配剂量。纤维稳定剂包括木质素纤维、合成纤维、矿物纤维等。

纤维稳定剂的技术指标应符合现行国家标准、规范,行业标准、规范的相关要求。

3.2.6 沥青路面应选用质量符合行业技术标准要求的粗集料(含轧制的碎砾石)、细集料和矿粉。

3.2.7 沥青路面的粗集料应选用碎石,也可选用经轧制的碎砾石。三级、四级公路的沥青层可用经筛选的砾石。

3.2.8 高速公路和一级公路、二级公路沥青表面层用粗集料应选用硬质、耐磨碎石,其石料磨光值应符合表 3.2.8 的要求,其他等级公路可参照执行。

表 3.2.8 石料磨光值的技术要求

公路等级 PSV 年降雨量(mm)	高速公路和一级公路	二级公路
	> 1 000	> 42
500 ~ 1 000	> 40	> 38
250 ~ 500	> 38	> 36
< 250	> 36	—

3.2.9 粗集料与沥青应具有良好的黏附性,对年平均降雨量在 1 000mm 以上地区的高速公路和一级公路,表面层所用集料与沥青的黏附性宜达到 5 级;其他情况黏附性不宜低于 4 级。当黏附性达不到要求时,应掺入高温稳定性好的抗剥落剂或选用改性沥青提高粗集料与沥青的黏附性。

3.2.10 沥青混合料中的细集料,可选用机制砂、天然砂、石屑配制。细集料应具有一定棱角性,洁净、干燥、无风化、无杂质。天然砂宜选用中砂、粗砂,天然河砂不宜超过集料总质量的 20%,沥青玛蹄脂碎石混合料和开级配抗滑表层的混合料不宜使用天然砂。

3.2.11 矿粉必须采用石灰石等碱性石料磨细的石粉。矿粉应干燥、洁净、不成团块。若需利用拌和机回收的粉尘时,其掺入比例不得大于矿粉总量的 25%,且混合后矿粉的塑性指数不得大于 4%。

3.2.12 半刚性基层所用水泥应符合国家技术标准的要求,初凝时间应大于 4h,终凝时

间应在 6h 以上。

3.2.13 石灰、粉煤灰稳定土类和石灰稳定土类的半刚性基层、底基层,粉煤灰中 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的总含量应大于 70%,烧失量不宜大于 20%,比表面积宜大于 $2500\text{cm}^2/\text{g}$ 或 0.075mm 筛孔通过率应大于 60%。

石灰等级宜高于 III 级,技术指标应符合表 3.2.13 有关要求。

表 3.2.13 石灰技术指标

技术指标		材料种类			
		钙质生石灰	镁质生石灰	钙质消石灰	镁质消石灰
有效钙加氧化镁含量(%) 不小于		70	65	55	50
未消化残渣含量(5mm 圆孔筛筛余,%) 不大于		17	20	—	—
含水量(%) 不大于		—	—	4	4
细度	0.71mm 方孔筛筛余(%) 不大于	—	—	1	1
	0.125mm 方孔筛累计筛余(%) 不大于	—	—	20	20
钙镁石灰的分类界限,氧化镁含量(%)		≤5	>5	≤4	>4

3.2.14 基层、底基层的集料压碎值应符合表 3.2.14 的要求。

表 3.2.14 基层、底基层的集料压碎值(%)

材料类型		公路等级		
		高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
水泥、石灰粉煤灰稳定类		≤30	≤35	≤35
石灰稳定类	基层	—	≤30	≤35
	底基层	≤35	≤40	≤40
级配碎石	基层	≤26	≤30	≤35
	底基层	≤30	≤35	≤40
填隙碎石	基层	—	—	≤26
	底基层	≤30	≤30	≤30
级配或天然砂砾	基层	—	—	≤35
	底基层	≤30	≤35	≤40

4 结构层与组合设计

4.1 结构层设计

4.1.1 沥青路面结构层可由面层、基层、底基层、垫层等多层结构组成。

1 面层可为单层、双层或三层。双层结构分为表面层、下面层。三层结构分为表面层、中面层、下面层。表面层应具有平整密实、抗滑耐磨、抗裂持久的性能；中、下面层应具有高温抗车辙、抗剪切、密实、基本不透水的性能；下面层应具有耐疲劳开裂的性能。

2 基层是主要承重层，应具有稳定、耐久、较高的承载能力，可为单层或双层。无论是沥青混合料、粒料类柔性基层，还是半刚性基层、刚性基层，均要求具有相对较高的物理力学性能指标。

3 底基层是设置在基层之下，并与面层、基层一起承受车轮荷载反复作用的次承重层。

4 垫层是设置在底基层与土基之间的结构层，具有排水、隔水、防冻等作用。各级公路应根据具体情况设置必要的结构层。

4.1.2 面层类型应与公路等级、使用要求、交通等级相适应。

- 1 热拌沥青混凝土可用于各级公路的面层。
- 2 贯入式沥青碎石和上拌下贯式沥青碎石可用于三、四级公路的面层。
- 3 沥青表面处治和稀浆封层可用于三、四级公路的面层。
- 4 冷拌沥青混合料可用于交通量小的三、四级公路面层。

4.1.3 各沥青层的厚度应与混合料的公称最大粒径相匹配，沥青混合料的一层压实最小厚度不宜小于混合料公称最大粒径的 2.5~3 倍，OGFC 或 SMA 的一层压实最小厚度不宜小于混合料公称最大粒径的 2~2.5 倍。

各结构层的设计厚度应根据级配类型、结构组合及施工条件等确定。沥青混合料的压实最小厚度与适宜厚度宜符合表 4.1.3-1 的要求。贯入式沥青碎石、沥青表面处治的压实最小厚度与适宜厚度宜符合表 4.1.3-2 的要求。

4.1.4 基层、底基层设计应贯彻就地取材的原则，认真做好当地材料的调查，根据交通量及其组成、气候条件、筑路材料以及路基水文状况等因素，选择技术可靠、经济合理的结

表 4.1.3-1 沥青混合料的压实最小厚度与适宜厚度

沥青混合料类型		最大粒径 (mm)	公称最大粒径 (mm)	符 号	压实最小厚度 (mm)	适宜厚度 (mm)
密级配沥青混合料 (AC)	砂粒式	9.5	4.75	AC-5	15	15 ~ 30
	细粒式	13.2	9.5	AC-10	20	25 ~ 40
		16	13.2	AC-13	35	40 ~ 60
	中粒式	19	16	AC-16	40	50 ~ 80
		26.5	19	AC-20	50	60 ~ 100
粗粒式	31.5	26.5	AC-25	70	80 ~ 120	
密级配沥青碎石(ATB)	粗粒式	31.5	26.5	ATB-25	70	80 ~ 120
		37.5	31.5	ATB-30	90	90 ~ 150
	特粗式	53	37.5	ATB-40	120	120 ~ 150
开级配沥青碎石(ATPB)	粗粒式	31.5	26.5	ATPB-25	80	80 ~ 120
		37.5	31.5	ATPB-30	90	90 ~ 150
	特粗式	53	37.5	ATPB-40	120	120 ~ 150
半开级配沥青碎石(AM)	细粒式	16	13.2	AM-13	35	40 ~ 60
	中粒式	19	16	AM-16	40	50 ~ 70
		26.5	19	AM-20	50	60 ~ 80
	粗粒式	31.5	26.5	AM-25	80	80 ~ 120
	特粗式	53	37.5	AM-40	120	120 ~ 150
沥青玛蹄脂碎石混合料 (SMA)	细粒式	13.2	9.5	SMA-10	25	25 ~ 50
		16	13.2	SMA-13	30	35 ~ 60
	中粒式	19	16	SMA-16	40	40 ~ 70
		26.5	19	SMA-20	50	50 ~ 80
开级配沥青磨耗层 (OGFC)	细粒式	13.2	9.5	OGFC-10	20	20 ~ 30
		16	13.2	OGFC-13	30	30 ~ 40

表 4.1.3-2 贯入式沥青碎石、沥青表面处治压实最小厚度与适宜厚度

结构层类型	压实最小厚度(mm)	适宜厚度(mm)
贯入式沥青碎石	40	40 ~ 80
上拌下贯沥青碎石	60	60 ~ 80
沥青表面处治	10	10 ~ 30

构层。

基层可选用无机结合料稳定集料类或沥青混合料、粒料、贫混凝土等材料,底基层应充分利用沿线地方材料,可采用无机结合料稳定细粒土类或粒料类等。

4.1.5 基层、底基层厚度应根据交通量大小、材料性能,充分发挥压实机具的功能,以及考虑有利于施工等因素选择各结构层的厚度。为便于施工组织、管理,各结构层的材料不宜频繁变化。各种结构层压实最小厚度与适宜厚度应符合表 4.1.5 的要求,并不得设计小于 150mm 厚的半刚性材料薄层。

表 4.1.5 各种结构层压实最小厚度与适宜厚度

结构层类型	压实最小厚度(mm)	适宜厚度(mm)
级配碎石	80	100 ~ 200
水泥稳定类	150	180 ~ 200
石灰稳定类	150	180 ~ 200
石灰粉煤灰稳定类	150	180 ~ 200
贫混凝土	150	180 ~ 240
级配砾石	80	100 ~ 200
泥结碎石	80	100 ~ 150
填隙碎石	100	100 ~ 120

4.2 结构组合设计

4.2.1 应根据公路所在区域的水文地质、气候特点,公路等级与使用要求,交通量及其交通组成等因素,结合当地实践经验,选择适宜的路面结构组合,拟定沥青层厚度。

4.2.2 对半刚性基层沥青路面的结构层组合设计,基层与沥青面层的模量比宜在 1.5 ~ 3 之间;基层与底基层的模量比不宜大于 3.0;底基层与土基模量比宜在 2.5 ~ 12.5 之间。

4.2.3 刚性基层沥青路面应采取措施加强沥青层与刚性基层间的结合,并提高沥青混合料的抗剪强度。

4.2.4 为防止雨水、雪水渗入路面结构层、土基,沥青面层应选用密级配沥青混合料。当采用排水基层时,其下应设防水层,并设置结构内部的排水系统,将水排出路基。

4.2.5 为排除路面、路基中滞留的自由水,确保路面结构处于干燥或中湿状态,下列情况下的路基应设置垫层。

- 1 地下水位高,排水不良,路基经常处于潮湿、过湿状态的路段。
- 2 排水不良的土质路堑,有裂隙水、泉眼等水文不良的岩石挖方路段。
- 3 季节性冰冻地区的中湿、潮湿路段,可能产生冻胀需设防冻垫层的路段。
- 4 基层或底基层可能受污染以及路基软弱的路段。

4.2.6 对于半刚性基层沥青路面宜采取以下措施减少收缩开裂和反射裂缝。

- 1 选用骨架密实型半刚性基层,严格控制细料含量、结合料剂量、含水量,及时养生。
- 2 适当增加沥青层的厚度,在半刚性材料层上设置沥青碎石或级配碎石等柔性基层。
- 3 在半刚性基层上设置改性沥青应力吸收膜、应力吸收层或铺设经实践证明有效的土工合成材料等。

4.2.7 设计时应采取技术措施,加强路面各结构层之间的结合,提高路面结构的整体性,避免产生层间滑移。

- 1 沥青层之间应设黏层。黏层沥青可用乳化沥青、改性乳化沥青或热沥青,洒布数量宜为 $0.3 \sim 0.6\text{kg}/\text{m}^2$ 。
- 2 各种基层上宜设置透层沥青。透层沥青应具有良好的渗透性能,可用液体沥青(稀释沥青)、乳化沥青等。
- 3 在半刚性基层上应设下封层。
- 4 新、旧沥青层之间,沥青层与旧水泥混凝土板之间应洒布黏层沥青,宜用热沥青或改性乳化沥青、改性沥青。
- 5 拓宽路面时,新、旧路面接茬处,宜喷涂黏结沥青。
- 6 双层式半刚性材料基层宜采取连续摊铺、碾压工艺,增强层间结合,以形成整层。

4.2.8 下封层可用沥青单层表面处治或砂粒式、细粒式密级配沥青混合料,稀浆封层等。其材料规格与要求宜符合本规范有关规定。

5 路基与垫层

5.1 路基回弹模量

5.1.1 路基必须密实、均匀、稳定。填方路基的填料选择、路床的压实度以及填方路堤的基底处理等均应符合相应公路路基设计规范的规定。

必须采取防止地面水和地下水浸入路面、路基的措施,以保证路基的强度和稳定性。设计宜使路基处于干燥或中湿状态,土基回弹模量值应大于 30MPa,重交通、特重交通公路土基回弹模量值应大于 40MPa。

潮湿、过湿状态的路基,应采取换填砂、砂砾、碎石渗水性材料处理地基,或采取掺入消石灰,固化材料处理,设置土工合成材料,加强路基排水等,进行综合处治。根据各种路基处理措施,确定土基回弹模量的设计值。

5.1.2 多雨地区土质路堑、强风化岩石路段,应注意填挖交界处及路堑段的排水设计,以改善路基的水文状况。土质路堑的干湿类型,一般应降低一个等级,按中湿或潮湿路段进行路面设计。

5.1.3 石方路堑必须设置坚实、稳定的基层。对路基超挖部分应用贫混凝土或无机结合料稳定碎(砾)石的整体性材料作整平层,严禁用土填筑。视山体岩石风化、开裂和降雨情况,应全断面设置级配碎(砾)石垫层 150~250mm。

当路面可能受裂隙水、泉眼等地下水影响时,应加强路基排水,如设置渗沟等。

5.1.4 路面设计时应根据路基土的分界稠度确定路基干湿类型。路基的干湿类型可以实测不利季节路床顶面以下 800mm 深度内土的平均稠度 w_c ,再按表 5.1.4-1 路基干湿状态的稠度建议值确定。也可根据公路自然区划、土质类型、排水条件以及路床表面距地下水水位或地表积水水位的高度按表 5.1.4-2 的一般特征确定。

表 5.1.4-1 路基干湿状态的分界稠度建议值

土质类别	干湿状态	干燥状态	中湿状态	潮湿状态	过湿状态
		$w_c \geq w_{c1}$	$w_{c1} > w_c \geq w_{c2}$	$w_{c2} > w_c \geq w_{c3}$	$w_c < w_{c3}$
土质砂		$w_c \geq 1.20$	$1.20 > w_c \geq 1.00$	$1.00 > w_c \geq 0.85$	$w_c < 0.85$
黏质土		$w_c \geq 1.10$	$1.10 > w_c \geq 0.95$	$0.95 > w_c \geq 0.80$	$w_c < 0.80$
粉质土		$w_c \geq 1.05$	$1.05 > w_c \geq 0.90$	$0.90 > w_c \geq 0.75$	$w_c < 0.75$

注: w_{c1} 、 w_{c2} 、 w_{c3} 分别为干燥和中湿、中湿和潮湿、潮湿和过湿状态路基的分界稠度, w_c 为路床顶面以下 800mm 深度内的平均稠度。

路基的平均稠度 w_c 按下式计算:

$$w_c = \frac{w_L - \bar{w}}{w_L - w_p} \quad (5.1.4)$$

式中: w_c ——土的平均稠度;

\bar{w} ——土的平均含水量;

w_L, w_p ——分别为土的液限、塑限,按现行的《公路土工试验规程》中液限塑限联合测定法测定。

对新建公路可根据当地稳定的平均天然含水量、液限、塑限计算平均稠度,并考虑路基填土高度,有无地下水、地表积水的影响,论证后确定路基土的干湿类型。

表 5.1.4-2 路基干湿类型

路基干湿类型	路床顶面以下 800mm 深度内平均稠度 w_c 与分界稠度 w_{ci} 的关系	一般特征
干燥	$w_c \geq w_{c1}$	土基干燥稳定,路面强度和稳定性不受地下水和地表积水影响。路基高度 $H_0 > H_1$
中湿	$w_{c1} > w_c \geq w_{c2}$	土基上部土层处于地下水或地表积水影响的过渡带区内。路基高度 $H_2 < H_0 \leq H_1$
潮湿	$w_{c2} > w_c \geq w_{c3}$	土基上部土层处于地下水或地表积水毛细影响区内。路基高度 $H_3 < H_0 \leq H_2$
过湿	$w_c < w_{c3}$	路基极不稳定,冰冻区春融翻浆,非冰冻区软弹土基经处理后方可铺筑路面。路基高度 $H_0 \leq H_3$

注:1. H_0 为不利季节路床顶面距地下水或地表积水水位的高度。

2. 地表积水指不利季节积水 20d 以上。

3. H_1, H_2, H_3 分别为干燥、中湿和潮湿状态的路基临界高度,见附录 F。

4. 划分土基干湿类型以平均稠度 w_c 为主,缺少资料时可参照表中一般特征确定。

5.1.5 路基回弹模量设计值宜按下列方法确定:

1 新建公路初步设计时,可根据查表法(或现有公路调查法)、室内试验法、换算法等,经综合分析、论证,确定沿线不同路基状况的路基回弹模量设计值。

2 通过现场测定路基回弹模量值与压实度 K 、路基稠度 w_c 或室内试验测定路基土回弹模量值与室内路基土 CBR 值等资料,建立可靠的换算关系,利用换算关系计算现场路基回弹模量。

3 当路建成建后,在不利季节实测各路段路基回弹模量代表值,以检验是否符合设计值的要求。现场实测方法宜采用承载板法,也可采用贝克曼梁弯沉仪法。若在非不利季节测试,则应进行修正。

4 若现场实测路基回弹模量代表值小于设计值或弯沉值大于要求的检验值,应采取翻晒补压、掺灰处理或调整路面结构厚度等措施,以保证路基路面的强度和稳定性。

5.1.6 室内试验法测定土的回弹模量应按以下要求进行。

1 应选择土料场,取土样,宜采用 100mm 直径承载板,按照现行的《公路土工试验规程》中的小承载板法试验要求进行试验。回弹模量测试结果应采用下式修正:

$$E_{0S} = \lambda E \quad (5.1.6-1)$$

式中: E_{0S} ——修正后的回弹模量(MPa);

λ ——试筒尺寸约束修正系数,50mm 直径承载板取 0.78,100mm 直径承载板取 0.59;

E ——室内试验法回弹模量实测值(MPa)。

2 试件制备应根据重型击实标准确定的最佳含水量,采用三组试样,每组三个试件,每个试件分别按重锤三层 98 次、50 次、30 次击实制件,测得不同压实度与其相对应的回弹模量值,绘成压实度与回弹模量间的关系线,查图求得标准压实度条件下土的回弹模量值。

3 路基回弹模量设计值,应考虑公路等级、不利季节和路基干湿类型的影响,采用下式计算。

$$E_{0D} = \frac{Z}{K} E_{0S} \quad (5.1.6-2)$$

式中: E_{0D} ——路基回弹模量设计值(MPa);

E_{0S} ——室内承载板法考虑试筒尺寸约束修正后的回弹模量测试结果(MPa);

Z ——考虑保证率的折减系数,高速公路、一级公路为 0.66,二、三级公路为 0.59,四级公路为 0.52;

K ——考虑不利季节和路基干湿类型的综合影响系数,参考表 5.1.6 选取,或者根据室内承载板法回弹模量与稠度的关系分析确定,或者根据当地经验确定。

表 5.1.6 综合影响系数 K

土基稠度值 w_c	$w_c \geq w_{c1}$	$w_{c1} > w_c \geq w_{c2}$	$w_c < w_{c2}$
综合影响系数	1.3	1.6	1.9

5.1.7 采用承载板法测定已建成的路基回弹模量,利用式(5.1.7-1)计算测点处路基回弹模量值 E_{0b} 。

$$E_{0b} = \frac{\sum P_i}{D \sum l_i} (1 - \mu_0^2) \times 10^5 \quad (5.1.7-1)$$

式中: D ——承载板直径(mm);

P_i, l_i ——第 i 级荷载(kN)及其检测的回弹变形(0.01mm);

μ_0 ——路基的泊松比,取 0.35。

某路段路基回弹模量设计值应按式(5.1.7-2)计算。

$$E_{0D} = (\bar{E}_0 - Z_a S) / K_1 \quad (5.1.7-2)$$

式中: E_{0D} ——某路段土基回弹模量设计值(MPa);

\bar{E}_0, S ——实测土基回弹模量的平均值和均方差;

Z_a ——保证率系数,高速公路、一级公路为 2,二、三级公路为 1.648,四级公路为 1.5;

K_1 ——不利季节影响系数,可根据当地经验确定。

5.1.8 可采用贝克曼梁弯沉仪测定路基弯沉值,检验路基设计回弹模量相对应的弯沉值。

1 将路基回弹模量设计值按式(5.1.8-1)计算其相应的路基设计弯沉值 l_{0D} ,作为检验路基强度的简便方法。

$$l_{0D} = \frac{2p\delta}{K_1 E_{0D}} (1 - \mu_0^2) \alpha_0 \times 10^2 \quad (5.1.8-1)$$

式中: l_{0D} ——路基设计弯沉值(0.01mm);

p, δ ——测定车轮胎接地压强(MPa)与当量圆半径(mm);

α_0 ——均匀体弯沉系数,取 0.712。

K_1 ——不利季节影响系数,可根据当地经验确定。

2 某路段实测的弯沉代表值 l_0 应不大于路基弯沉设计值 l_{0D} 。

$$l_0 = \bar{l}_0 + Z_a S \leq l_{0D} \quad (5.1.8-2)$$

式中: \bar{l}_0, S ——分别为该路段实测路基弯沉平均值(0.01mm)与均方差(0.01mm);

Z_a ——保证率系数,高速公路、一级公路为 2,二、三级公路为 1.645,四级公路为 1.5。

5.2 垫层与抗冻层设计

5.2.1 垫层材料可选用粗砂、砂砾、碎石、煤渣、矿渣等粒料以及水泥或石灰煤渣稳定类、石灰粉煤灰稳定类等。各级公路的排水垫层应与边缘排水系统相连接,垫层宽度应铺筑到路基边缘或与边沟下的渗沟相连接。

1 防冻垫层应采用透水性好的粒料类材料,通过 0.075mm 筛孔颗粒含量不宜大于 5%。采用煤渣时,小于 2mm 的颗粒含量不宜大于 20%。垫层厚度视具体情况而定,一般为 150~200mm,重冰冻地区潮湿、过湿路段可为 300~400mm。

2 采用碎石和砂砾垫层时,最大粒径应与结构层厚度相协调,一般最大粒径应不超过结构层厚度的 1/2,以保证形成骨架结构,提高结构层的稳定性。颗粒组成宜满足附录 D 的要求。

3 可在路基顶面设土工合成材料隔离层,以防止路基污染粒料垫层或隔断地下水。

5.2.2 冰冻区根据 20 年以上的冻结指数平均值,按表 5.2.2 划分为重冰冻区、中冰冻区、轻冰冻区、非冰冻区。冻结指数见附录 B。

表 5.2.2 冰冻区划分

冰冻区划分	重冰冻区	中冰冻区	轻冰冻区	非冰冻区
冻结指数(°C)	≥ 2000	2000~800	800~50	≤ 50

5.2.3 道路多年最大冻深 Z_{max} 按下列公式计算:

$$Z_{max} = abcZ_d \quad (5.2.3)$$

式中: Z_{max} ——多年最大冻深(m);

- Z_d ——大地标准冻深(m);
 a ——路面路基材料热物性系数,见表 5.2.3-1;
 b ——路基湿度系数,见表 5.2.3-2;
 c ——路基断面形式系数,见表 5.2.3-3。

表 5.2.3-1 路面路基材料热物性系数 a

路基材料	黏质土	粉质土	粉土质砂	细粒土质砾、黏土质砂	含细粒土质砾(砂)
热物性系数	1.05	1.1	1.2	1.3	1.35
路面材料	水泥混凝土	沥青混凝土	二灰土及水泥石	二灰碎石及水泥碎(砾)石	级配碎石
热物性系数	1.4	1.35	1.35	1.4	1.45

注: a 值取大地冻深范围内路基及路面各层材料的加权平均值。

表 5.2.3-2 路基湿度系数 b

干湿类型	干燥	中湿	潮湿	过湿
湿度系数	1.0	0.95	0.90	0.80

表 5.2.3-3 路基断面形式系数 c

填挖形式	路基填土高度(m)					路基挖方深度(m)			
	零填	2m	4m	6m	6m 以上	2m	4m	6m	6m 以上
断面形式系数	1.0	1.02	1.05	1.08	1.10	0.98	0.95	0.92	0.90

5.2.4 冰冻区各级公路的中湿、潮湿路段,应进行防冻厚度验算。

根据交通量计算的结构层总厚度应不小于表 5.2.4 中最小防冻厚度的规定。防冻厚度与路基潮湿类型、路基土类、道路冻深以及路面结构层材料的热物性有关。若结构层总厚度小于最小防冻厚度,则应增加防冻垫层使其满足最小防冻厚度的要求。

表 5.2.4 最小防冻厚度

路基类型	道路冻深(cm)	黏性土、细亚砂土			粉性土		
		砂石类	稳定土类	工业废料类	砂石类	稳定土类	工业废料类
中湿	50 ~ 100	40 ~ 45	35 ~ 40	30 ~ 35	45 ~ 50	40 ~ 45	30 ~ 40
	100 ~ 150	45 ~ 50	40 ~ 45	35 ~ 40	50 ~ 60	45 ~ 50	40 ~ 45
	150 ~ 200	50 ~ 60	45 ~ 55	40 ~ 50	60 ~ 70	50 ~ 60	45 ~ 50
	> 200	60 ~ 70	55 ~ 65	50 ~ 55	70 ~ 75	60 ~ 70	50 ~ 65
潮湿	60 ~ 100	45 ~ 55	40 ~ 50	35 ~ 45	50 ~ 60	45 ~ 55	40 ~ 50
	100 ~ 150	55 ~ 60	50 ~ 55	45 ~ 50	60 ~ 70	55 ~ 65	50 ~ 60
	150 ~ 200	60 ~ 70	55 ~ 65	50 ~ 55	70 ~ 80	65 ~ 70	60 ~ 65
	> 200	70 ~ 80	65 ~ 75	55 ~ 70	80 ~ 100	70 ~ 90	65 ~ 80

注:1.在《公路自然区划标准》中,对潮湿系数小于 0.5 的地区,II、III、IV 区等干旱地区防冻厚度应比表中值减少 15% ~ 20%。

2.对 II 区砂性土路基防冻厚度应相应减少 5% ~ 10%。

6 基层、底基层

6.1 半刚性基层、底基层

6.1.1 半刚性基层、底基层应具有足够的强度和稳定性、较小的收缩(温缩及干缩)变形和较强的抗冲刷能力,在中冰冻、重冰冻区应检验半刚性基层、底基层的抗冻性能。

6.1.2 半刚性基层、底基层按其混合料结构状态分为骨架密实型、骨架空隙型、悬浮密实型和均匀密实型四种结构类型。

6.1.3 半刚性基层适用条件

1 水泥稳定集料类、石灰粉煤灰稳定集料类材料适用于各级公路的基层、底基层。冰冻地区、多雨潮湿地区,石灰粉煤灰稳定集料类材料宜用于高速公路、一级公路的下基层或底基层。石灰稳定类材料宜用于各级公路的底基层以及三、四级公路的基层。

2 高速公路、一级公路的基层或上基层宜选用骨架密实型混合料。二级及二级以下公路的基层和各级公路的底基层可采用悬浮密实型混合料。均匀密实型混合料适用于高速公路、一级公路的底基层,二级及二级以下公路的基层。骨架空隙型混合料具有较高的空隙率,适用于需考虑路面内部排水要求的基层。

6.1.4 半刚性基层配合比设计按无侧限抗压强度试验方法确定满足设计要求的配合比。

6.1.5 水泥稳定类材料的压实度、7d龄期无侧限抗压强度代表值应符合表 6.1.5 规定范围的要求,且不宜超过高限。混合料试件成型宜采用振动成型方法,见附录 A 的 A.1,缺乏试验条件时对悬浮密实和均匀密实型混合料可采用静压成型方法。

表 6.1.5 水泥稳定类材料的压实度及 7d 无侧限抗压强度

层位	稳定类型	特重交通		重、中交通		轻交通	
		压实度(%)	抗压强度(MPa)	压实度(%)	抗压强度(MPa)	压实度(%)	抗压强度(MPa)
基层	集料	≥98	3.5~4.5	≥98	3~4	≥97	2.5~3.5
	细粒土	—	—	—	—	≥96	
底基层	集料	≥97	≥2.5	≥97	≥2.0	≥96	≥1.5
	细粒土	≥96		≥96		≥95	

水泥稳定集料的水泥剂量一般为 3% ~ 5.5%, 当达不到强度要求时应调整级配, 水泥的最大剂量不应超过 6%。

6.1.6 悬浮密实型水泥稳定类基层集料的最大粒径不大于 31.5mm, 底基层集料的最大粒径不大于 37.5mm, 集料级配范围宜符合表 6.1.6-1 的要求。

表 6.1.6-1 悬浮密实型水泥稳定类集料级配

层位	通过下列方筛孔(mm)的质量百分率(%)							
	37.5	31.5	19.0	9.50	4.75	2.36	0.6	0.075
基层		100	90 ~ 100	60 ~ 80	29 ~ 49	15 ~ 32	6 ~ 20	0 ~ 5
底基层	100	93 ~ 100	75 ~ 90	50 ~ 70	29 ~ 50	15 ~ 35	6 ~ 20	0 ~ 5

骨架密实型水泥稳定类基层集料的最大粒径不大于 31.5mm, 集料级配范围宜符合表 6.1.6-2 的要求。

表 6.1.6-2 骨架密实型水泥稳定类集料级配

层位	通过下列方筛孔(mm)的质量百分率(%)							
	31.5	19.0	9.50	4.75	2.36	0.6	0.075	
基层	100	68 ~ 86	38 ~ 58	22 ~ 32	16 ~ 28	8 ~ 15	0 ~ 3	

6.1.7 对水泥稳定含泥量大的砂、砂砾, 宜掺入一定石灰进行综合稳定。当水泥用量占结合料总质量的 30% 以上时, 应按水泥稳定类进行设计, 否则按石灰稳定类设计。

对集料颗粒较均匀而无级配, 或含细料很少的砂砾、碎石或不含土的砂, 宜在集料中添加适量的粉煤灰或剂量为 8% ~ 12% 的石灰土进行综合稳定。

6.1.8 石灰粉煤灰稳定类材料的压实度和 7d 龄期的无侧限抗压强度代表值应符合表 6.1.8 的要求。

表 6.1.8 石灰粉煤灰稳定类材料的压实度及 7d 无侧限抗压强度

层位	稳定类型	特重、重、中交通		轻交通	
		压实度(%)	抗压强度(MPa)	压实度(%)	抗压强度(MPa)
基层	集料	≥98	≥0.8	≥97	≥0.6
	细粒土	—	—	≥96	
底基层	集料	≥97	≥0.6	≥96	≥0.5
	细粒土	≥96		≥95	

6.1.9 骨架密实型石灰粉煤灰稳定类基层集料的最大粒径不大于 31.5mm, 级配范围宜符合表 6.1.9 的要求。

表 6.1.9 骨架密实型石灰粉煤灰稳定类集料级配

层位	通过下列方筛孔(mm)的质量百分率(%)								
	31.5	26.5	19.0	9.50	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
基层	100	95~100	48~68	24~34	11~21	6~16	2~12	0~6	0~3

6.1.10 悬浮密实型石灰粉煤灰稳定碎石基层、底基层,集料的最大粒径分别不大于 31.5mm、37.5mm,其级配范围宜符合表 6.1.10-1 的要求。

表 6.1.10-1 悬浮密实型石灰粉煤灰稳定碎石的集料级配

层位	通过下列方筛孔(mm)的质量百分率(%)								
	37.5	31.5	19.0	9.50	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
基层		100	88~98	55~75	30~50	16~36	10~25	4~18	0~5
底基层	100	94~100	79~92	51~72	30~50	16~36	10~25	4~18	0~5

悬浮密实型石灰粉煤灰稳定砂砾基层、底基层,砂砾级配范围宜符合表 6.1.10-2 的要求。

表 6.1.10-2 悬浮密实型石灰粉煤灰稳定砂砾的集料级配

层位	通过下列方筛孔(mm)的质量百分率(%)								
	37.5	31.5	19.0	9.50	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
基层		100	85~98	55~75	39~59	27~47	17~35	10~25	0~10
底基层	100	85~100	65~89	50~72	35~55	25~45	17~35	10~27	0~15

6.1.11 中冰冻、重冰冻区的高速公路、一级公路采用石灰粉煤灰稳定类材料做基层时,应进行抗冻性能检验,试验方法见附录 A 的 A.2。

抗冻性能采用 28d 龄期的试件经 18℃ ~ -18℃ 的 5 次冻融循环后的残留抗压强度与 28d 龄期的抗压强度(MPa)之比进行评价,其指标应符合表 6.1.11 的要求。

表 6.1.11 石灰粉煤灰稳定类材料抗冻性能技术要求

气候分区	重冻区	中冻区
残留抗压强度比(%)	≥70	≥65

6.1.12 可在石灰粉煤灰稳定类材料中掺入水泥或其他早强剂,提高其早期强度或越冬的抗冻性能,掺入剂量通过试验确定。

6.1.13 水泥粉煤灰稳定类材料的压实度和 7d 龄期的无侧限抗压强度代表值应符合表 6.1.13 的要求。

表 6.1.13 水泥粉煤灰稳定类材料的压实度及 7d 无侧限抗压强度

层位	类别	特重、重、中交通		轻交通	
		压实度(%)	抗压强度(MPa)	压实度(%)	抗压强度(MPa)
基层	集料	≥98	1.5~3.5	≥97	1.2~1.5
底基层	集料	≥97	≥1.0	≥96	≥0.6

6.1.14 水泥粉煤灰稳定类材料的水泥剂量宜为 3%~6%，水泥粉煤灰与集料的质量比宜为(13~17):(87~83)，集料级配要求与石灰粉煤灰稳定类混合物相同。

6.1.15 石灰稳定类材料的压实度和 7d 龄期的无侧限抗压强度代表值应符合表 6.1.15 的要求。

表 6.1.15 石灰稳定类材料的压实度及 7d 无侧限抗压强度

层位	类别	重、中交通		轻交通	
		压实度(%)	抗压强度(MPa)	压实度(%)	抗压强度(MPa)
基层	集料	—	—	≥97	≥0.8 ^①
	细粒土	—		≥95 ^②	
底基层	集料	≥97	≥0.8	≥96	≥0.7 ^②
	细粒土	≥95		≥95	

注：①在低塑性土(塑性指数小于 10)地区，石灰稳定砂砾土和碎石土的 7d 抗压强度应大于 0.5MPa。

②低限用于塑性指数小于 10 的土，高限用于塑性指数大于 10 的土。

③三、四级公路，压实机具有困难时压实度可降低 1%。

6.1.16 石灰稳定集料用于基层时，最大粒径不应大于 37.5mm；用于底基层时，最大粒径不得大于 53mm。不含黏性土的砂砾、级配碎石和未筛分碎石最好用水泥稳定，若无条件只能用石灰稳定时，应采用石灰土稳定，石灰土与集料的质量比宜为 1:4，集料应具有良好级配。

6.2 柔性基层、底基层

6.2.1 柔性基层、底基层可用于各级公路。热拌沥青碎石宜用于中等交通及其以上的公路基层、底基层；贯入式沥青碎石宜用于中、重交通的公路基层或底基层；热拌沥青碎石、贯入式沥青碎石可用于改建工程的调平层。

级配碎石可用于各级公路的基层和底基层。级配砾石、级配碎砾石以及符合级配、塑性指数等技术要求的天然砂砾，可用作轻交通的二级及二级以下公路的基层和各级公路的底基层。

填隙碎石适用于三、四级公路的基层和各级公路的底基层。

6.2.2 按照空隙率的大小,沥青碎石混合料的级配类型可分为密级配、半开级配和开级配。密级配沥青碎石混合料具有较高的承载能力;半开级配沥青碎石混合料具有承重、减缓反射裂缝和一定的排水能力。开级配沥青碎石混合料适用于排水基层。基层用沥青碎石的公称最大粒径宜等于或大于 26.5mm。

6.2.3 密级配沥青碎石(ATB)的级配可参照附录 C 表 C.1 的要求,根据试验和使用经验确定集料级配。混合料配合比设计宜按马歇尔试验进行,也可用其他有效方法进行设计。

6.2.4 半开级配沥青碎石(AM)和开级配沥青碎石(ATPB)的公称最大粒径宜用 26.5mm 或 37.5mm。半开级配和开级配沥青碎石的结合料宜用黏度较高的沥青。混合料配合比设计可用马歇尔试验方法,其级配可参照附录 C 表 C.1 的要求。混合料的技术指标宜符合表 6.2.4 的要求。

表 6.2.4 混合料配合比设计技术指标

试验指标	单位	半开级配沥青碎石(AM)	开级配沥青碎石(ATPB)
公称最大粒径	mm	等于或大于 26.5	等于或大于 26.5
马歇尔试件尺寸	mm	$\phi 152.4 \times 95.3$	$\phi 152.4 \times 95.3$
击实次数(双面)	次	112	75
设计空隙率 $VV^{\text{①}}$	%	12 ~ 18	> 18
沥青膜厚度	μm	> 12	—
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失	%	不大于 0.2	—
肯塔堡飞散试验的混合料损失或浸水飞散试验	%	不大于 20	—

注:试件的毛体积密度,按体积法确定。

6.2.5 当用贯入式沥青碎石做基层或调平层时,其沥青、碎石等材料的规格要求与材料用量,宜符合本规范有关条文及附录 C 表 C.2 的要求。

6.2.6 级配碎石宜用几种粒径不同的碎石和石屑掺配拌制而成,分为骨架密实型与连续级配型,其集料的级配组成可参照附录 D 表 D.1 确定。当采用重型击实标准设计时,基层压实度应大于 98%,CBR 值不应小于 100%;底基层压实度应大于 96%,CBR 值不应小于 80%。

6.2.7 级配砾石或天然砂砾其颗粒组成应符合附录 D 表 D.2 的要求,且级配宜接近圆滑曲线。级配砾石或天然砂砾用作基层,当采用重型击实标准设计时,其压实度不应小于 98%,CBR 值不应小于 80%;用作底基层时,其压实度不应小于 96%,CBR 值对轻交通的公路不应小于 40%,对中等交通的公路不应小于 60%。

6.2.8 填隙碎石可用于二级以下公路的底基层。最大粒径宜为厚度的 0.5~0.7 倍。用作基层时,最大粒径不应超过 60mm;用作底基层时,最大粒径不应超过 80mm。填隙料可用石屑或最大粒径小于 10mm 的砂砾料或粗砂,填隙碎石的压实度以固体体积率表示。用作底基层时,压实度不应小于 83%;用作基层时,不应小于 85%。

6.3 刚性基层

6.3.1 刚性基层适用于重交通、特重交通及运煤、矿石、建筑材料等的公路工程。

刚性基层厚度一般为 200~280mm,最小厚度应大于 150mm。

6.3.2 当用贫混凝土做刚性基层时,贫混凝土的配合比设计应根据 28d 龄期的抗弯拉强度试验确定水泥剂量,宜为 8%~12%。贫混凝土的强度应符合表 6.3.2 的要求,施工质量管理与控制,宜用 7d 龄期的抗压强度评价。贫混凝土基层集料的最大粒径不应大于 31.5mm。

表 6.3.2 贫混凝土基层材料的强度要求

试验项目	特重、重交通	中交通
28d 龄期抗弯拉强度(MPa)	2.5~3.5	2.0~3.0
28d 龄期抗压强度(MPa)	12~20	9~16
7d 龄期抗压强度(MPa)	9~15	7~12

6.3.3 掺入粉煤灰的贫混凝土基层,28d 龄期的抗弯拉强度要求与表 6.3.2 相同。14d 的抗压强度合格值应达到表 6.3.2 中 28d 抗压强度的 85%。粉煤灰的掺入量宜为水泥质量的 20%~40%。

6.3.4 贫混凝土基层应设置纵缝、横缝,并灌入填缝料,其上应设置热沥青或改性沥青、改性乳化沥青黏结层等,以加强层间结合。

7 沥青面层

7.1 沥青混合料面层

7.1.1 沥青面层应具有平整、密实、抗滑、耐久的品质,并具有高温抗车辙、低温抗开裂,以及良好的抗水损害能力。新建高速公路、一级公路沥青路面的路用性能应符合表 7.1.1 的要求。

表 7.1.1 高速公路、一级公路沥青路面技术指标

项 目	目 标 值	测 试 方 法
平整度	国际平整度指数 $IRI < 2.0\text{m/km}$ 、 $\sigma < 1.0\text{mm}$	T0933、T0932
抗滑性能	横向力系数、构造深度符合表 7.1.2 要求	T0965、T0961、T0963
高温稳定性	动稳定度符合 7.1.6 条的规定	T0719
水稳性	冻融劈裂试验强度比符合表 7.1.7 要求	T0709、T0729
抗裂性能	极限弯曲应变符合表 7.1.8 要求	T0715

7.1.2 表面层抗滑性能以横向力系数 SFC_{60} 和路面宏观构造深度 $TD(\text{mm})$ 为主要指标。高速公路、一级公路在交工验收时,其抗滑技术指标宜符合表 7.1.2 的要求。二级公路可参照执行。

表 7.1.2 抗滑技术指标

年平均降雨量 (mm)	交 工 检 测 指 标 值	
	横向力系数 SFC_{60}	构造深度 $TD(\text{mm})$
> 1 000	≥ 54	≥ 0.55
500 ~ 1 000	≥ 50	≥ 0.50
250 ~ 500	≥ 45	≥ 0.45

注:1.横向力系数 SFC_{60} ——用横向力系数测试车,在 $60\text{km/h} \pm 1\text{km/h}$ 车速下测得的横向力系数。

2.路面宏观构造深度 $TD(\text{mm})$ ——用铺砂法测定。

7.1.3 面层用热拌沥青混凝土按设计空隙率可分为密级配、开级配两种类型,见表 7.1.3。

表 7.1.3 热拌沥青混合料分类

沥青混合料类型		最大粒径 (mm)	公称最大粒径 (mm)	级配类型与设计空隙率(%)		
				密级配		开级配
				3~5	3~4	>18
AC	砂粒式	9.5	4.75	AC-5		
	细粒式	13.2	9.5	AC-10		
		16	13.2	AC-13		
	中粒式	19	16	AC-16		
		26.5	19	AC-20		
粗粒式	31.5	26.5	AC-25			
SMA	细粒式	13.2	9.5		SMA-10	
		16	13.2		SMA-13	
	中粒式	19	16		SMA-16	
		26.5	19		SMA-20	
OGFC	细粒式	13.2	9.5			OGFC-10
		16	13.2			OGFC-13

注: SMA用于夏热区或重交通、特重交通公路时,设计空隙率高限可适当放宽至4.5%。

7.1.4 应根据使用要求、气候特点、交通条件、结构层功能等因素,结合沥青层厚度和当地实践经验,合理地选择各结构层的沥青混合料类型。

1 抗滑面层宜选用沥青玛蹄脂碎石 SMA、密级配粗型沥青混合料 AC-C,有条件时可用开级配抗滑面层 OGFC。

2 在各沥青层中至少有一层应为密级配沥青混合料。

7.1.5 高速公路、一级公路的沥青混合料配合比设计应选择工程用的材料,并参照附录 C 表 C.1 级配范围和实践经验,选择几条级配曲线,进行配合比设计、沥青混合料性能试验和设计参数的测试,根据试验结果确定目标配合比范围。

二级及二级以下公路可根据附录 C 表 C.1 级配范围和实践经验确定工程目标配合比。

沥青混合料配合比设计宜用马歇尔试验方法。有条件时,可选用经实践证明行之有效的其他配合比设计方法。

7.1.6 沥青混合料的高温稳定性以动稳定度来评价。

中等交通以上的公路表面层和中面层沥青混合料,其动稳定度可参照《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ F40)并根据当地的工程经验确定设计值。对炎热地区、重交通、特重交通,连续长、陡纵坡路段,桥面铺装以及有特殊使用要求时,应提高动稳定度指标的要求。

当需提高沥青混合料的高温稳定性时可采取调整集料级配和沥青用量、提高沥青稠

度、选用改性沥青等技术措施。

7.1.7 密级配热拌沥青混合料的水稳定性应符合表 7.1.7 的要求。当沥青混合料水稳定性技术指标不满足要求时,应在沥青混合料中掺入适量消石灰或水泥;也可掺入一定量的石灰岩细集料或粗集料,提高其水稳定性。

表 7.1.7 热拌沥青混合料水稳定性技术指标

年降雨量(mm)	≥ 500	< 500	试验方法
冻融劈裂试验劈裂强度比(%)	≥ 75	≥ 70	T0729
浸水马歇尔试验残留稳定度(%)	≥ 80	≥ 75	T0709

注:对多雨潮湿地区的重交通、特重交通等公路,其冻融劈裂强度比的指标值可增加 5%。

7.1.8 对高速公路、一级公路表面层宜在 -10℃ 的低温条件下进行弯曲试验,检验密级配沥青混凝土的低温抗裂性能,其极限破坏应变宜符合表 7.1.8 的要求。

表 7.1.8 沥青混合料低温弯曲试验破坏应变(με)技术指标

气候条件及技术指标	年极端最低气温(℃)				试验方法
	< -37.0	-21.5 ~ -37.0	-9.0 ~ -21.5	> -9.0	
极限破坏应变(με)	≥ 2 600	≥ 2 300	≥ 2 000		T0728

注:当采用改性沥青时,极限破坏应变指标值可适当提高。

7.1.9 SMA 宜采用改性沥青,并掺入纤维稳定剂,剂量应通过试验确定。

SMA 可采用马歇尔试验等方法进行配合比设计,并检验高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性等指标。

7.1.10 OGFC 适用于年平均降雨量大于 800mm 地区的磨耗层和排水路面的表面层。

1 开级配沥青混合料磨耗层厚度为 20mm 左右,排水表面层宜为 30 ~ 40mm。集料的级配可参照附录 C 表 C.1 的要求,结合料应采用高黏度改性沥青,混合料中应掺入适量的消石灰和纤维稳定剂。

2 开级配沥青混合料磨耗层或排水表面层下应设置防水层,并将雨水排出路基。

7.1.11 冷拌沥青混合料可用于三、四级公路面层,可用乳化沥青、改性乳化沥青或液体沥青,并应选择密级配沥青混合料,其级配可参照附录 C 表 C.1 的要求。混合料配合比设计可根据当地成功的经验或试拌、试铺确定。

7.2 沥青贯入式路面与表面处治

7.2.1 沥青贯入式路面的厚度宜为 40 ~ 80mm;采用上拌下贯式沥青路面时,拌和层的厚度宜为 25 ~ 40mm,其总厚度宜为 70 ~ 100mm。沥青贯入式路面的结合料宜用石油沥青。

7.2.2 沥青贯入式路面(包括上拌下贯式路面)的材料规格和用量应符合附录 C 表 C.2、表 C.3 的要求。拌和层的沥青混合料应选用密级配热拌沥青混合料 AC-10、AC-13,混合料的级配宜符合附录 C 表 C.1 的要求。沥青混合料的配合比设计应符合有关规定。

7.2.3 沥青表面处治适用于三级、四级公路的面层,可分为单层、双层、三层。单层表处厚度为 10~15mm;双层表处厚度为 15~25mm;三层表处厚度为 25~30mm。

7.2.4 沥青表面处治可采用道路石油沥青或乳化沥青作为结合料,集料的规格与用量应符合附录 C 表 C.4 的要求。

7.2.5 微表处按照矿料粒径的不同,可分为 MS-2 型和 MS-3 型,单层厚度分别为 4~6mm 和 8~10mm。稀浆封层按照矿料粒径的不同,可分为 ES-1 型、ES-2 型和 ES-3 型,单层厚度分别为 2.5~3mm、4~6mm 和 8~10mm。

1 MS-3 型微表处,适用于高速公路、一级公路的罩面。ES-3 型稀浆封层,适用于二级公路的罩面,以及新建公路的下封层。

2 MS-2 型微表处,适用于中等交通量高速公路,一、二级公路的罩面。ES-2 型稀浆封层适用于二级及二级以下公路的罩面,以及新建公路的下封层。

3 ES-1 型稀浆封层,适用于三、四级公路、停车场的罩面。

7.2.6 微表处和稀浆封层用矿料级配应符合表 7.2.6-1 的要求,稀浆混合料的室内试验技术指标应满足表 7.2.6-2 的要求。

表 7.2.6-1 微表处和稀浆封层矿料级配

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
ES-1		100	90~100	65~90	40~65	25~42	15~30	10~20
MS-2, ES-2	100	90~100	65~90	45~70	30~50	18~30	10~21	5~15
MS-3, ES-3	100	70~90	45~70	28~50	19~34	12~25	7~18	5~15
允许波动范围	—	±5%	±5%	±5%	±5%	±4%	±3%	±2%

表 7.2.6-2 稀浆混合料技术指标

试验项目	标准	标准		
		微表处	稀浆封层	
			快开放交通型	慢开放交通型
可拌和时间(25℃)	不小于(s)	120	120	180
黏聚力试验	不小于(N·m)			
30min(初凝时间)		1.2	1.2	—
60min(开放交通时间)		2.0	2.0	—

续上表

试验项目		标准		
		微表处	稀浆封层	
			快开放交通型	慢开放交通型
负荷车轮黏附砂量	不大于(g/m^2)	450	450 ^①	
湿轮磨耗损失 浸水 1h	不大于(g/m^2)	540	800	
浸水 6d	不大于(g/m^2)	800	—	
轮辙变形试验的宽度变化率 ^②	不大于(%)	5	—	

注:①用于轻交通量道路的罩面和下封层时,可不要求黏附砂量指标。

②微表处混合料用于修复车辙时,需进行轮辙试验。

8 新建路面结构厚度

8.0.1 路面结构设计采用双圆均布垂直荷载作用下的弹性层状连续体系理论进行计算,路面荷载及计算点如图 8.0.1 所示。

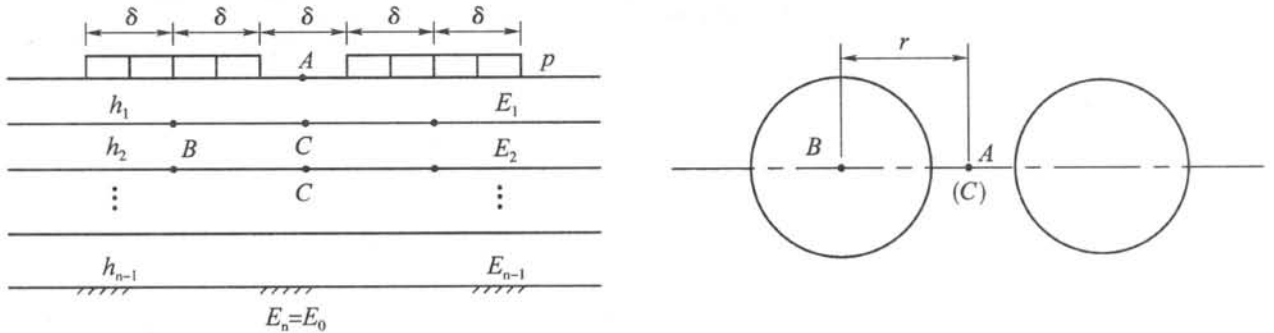


图 8.0.1 路面荷载及计算点图示

8.0.2 路面结构层厚度的确定应满足结构整体刚度(即承载力)与沥青层或半刚性基层、底基层抗疲劳开裂的要求。

- 1 轮隙中心处(A点)路表计算弯沉值 l_s 应小于或等于设计弯沉值 l_d , 即:

$$l_s \leq l_d \quad (8.0.2-1)$$

- 2 轮隙中心(C点)或单圆荷载中心处(B点)的层底拉应力 σ_m 应小于或等于容许拉应力 σ_R , 即:

$$\sigma_m \leq \sigma_R \quad (8.0.2-2)$$

8.0.3 高速公路、一级公路、二级公路的路面结构,以路表面回弹弯沉值、沥青混凝土层的层底拉应力及半刚性材料层的层底拉应力为设计指标。三级公路、四级公路的路面结构以路表面设计弯沉值为设计指标。有条件时,对重载交通路面宜检验沥青混合料的抗剪切强度。

8.0.4 路面结构设计应按图 8.0.4 所示的流程进行,主要包括:

- 1 根据设计要求,按弯沉或弯拉指标分别计算设计年限内一个车道的累计标准当量轴次,确定设计交通量与交通等级,拟定面层、基层类型,并计算设计弯沉值或容许拉应力。
- 2 按路基土类与干湿类型及路基横断面形式,将路基划分为若干路段,确定各个路段土基回弹模量设计值。

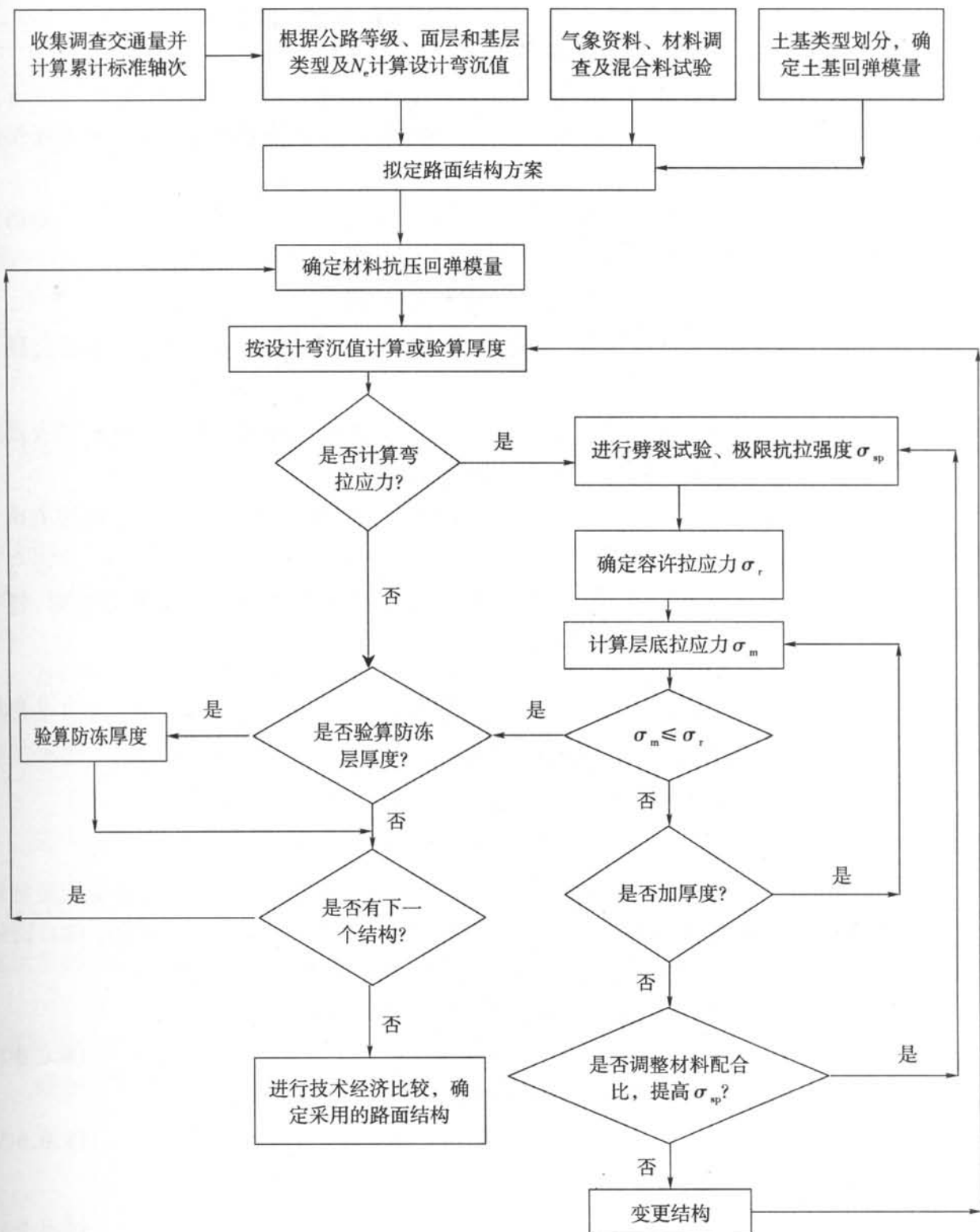


图 8.0.4 设计流程图

3 参考本地区的经验拟定几种可行的路面结构组合与厚度方案,根据工程选用的材料进行配合比试验,测定各结构层材料的抗压回弹模量、劈裂强度等,确定各结构层的设计参数。

4 根据设计指标采用多层弹性体系理论设计程序计算或验算路面厚度。

- 5 对于季节性冰冻地区应验算防冻厚度是否符合要求。
- 6 进行技术经济比较,确定路面结构方案。

8.0.5 设计弯沉值应根据公路等级、设计年限内累计标准当量轴次、面层和基层类型按式(8.0.5)计算确定。

$$l_d = 600 N_e^{-0.2} A_c A_s A_b \quad (8.0.5)$$

式中: l_d ——设计弯沉值(0.01mm);

N_e ——设计年限内一个车道累计当量轴次(次/车道);

A_c ——公路等级系数,高速公路、一级公路为 1.0,二级公路为 1.1,三、四级公路为 1.2;

A_s ——面层类型系数,沥青混凝土面层为 1.0,热拌和冷拌沥青碎石、沥青贯入式路面(含上拌下贯式路面)、沥青表面处治为 1.1;

A_b ——路面结构类型系数,半刚性基层沥青路面为 1.0,柔性基层沥青路面为 1.6。

8.0.6 沥青混凝土层、半刚性材料基层和底基层以拉应力为设计或验算指标时,材料的容许拉应力 σ_R 应按式(8.0.6-1)计算:

$$\sigma_R = \frac{\sigma_S}{K_S} \quad (8.0.6-1)$$

式中: σ_R ——路面结构层材料的容许拉应力(MPa);

σ_S ——沥青混凝土或半刚性材料的极限劈裂强度(MPa);

K_S ——抗拉强度结构系数。

1 对沥青混凝土的极限劈裂强度,系指 15℃时的极限劈裂强度;对水泥稳定类材料系指龄期为 90d 的极限劈裂强度;对二灰稳定类、石灰稳定类材料系指龄期为 180d 的极限劈裂强度;对水泥粉煤灰稳定类材料系指龄期为 120d 的极限劈裂强度。

2 对沥青混凝土层的抗拉强度结构系数,按下式计算:

$$K_S = 0.09 N_e^{0.22} / A_c \quad (8.0.6-2)$$

对无机结合料稳定集料类的抗拉强度结构系数,按下式计算:

$$K_S = 0.35 N_e^{0.11} / A_c \quad (8.0.6-3)$$

对无机结合料稳定细粒土类的抗拉强度结构系数,按下式计算:

$$K_S = 0.45 N_e^{0.11} / A_c \quad (8.0.6-4)$$

8.0.7 路面设计中各结构层的材料设计参数应根据公路等级和设计阶段的要求确定。

1 高速公路、一级公路施工图设计时应选取工程用路面材料实测设计参数;各级公路采用新材料时,也必须实测设计参数。

2 高速公路、一级公路初步设计或二级及二级以下公路设计时可借鉴本地区已有的试验资料或工程经验确定。

3 可行性研究阶段可参考附录 E 确定设计参数。

8.0.8 半刚性材料的设计参数应按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》的规定测定。沥青混合料的设计参数应按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》的规定测定。

8.0.9 以路表弯沉值为设计或验算指标时,设计参数采用抗压回弹模量,对于沥青混凝土试验温度为 20℃;计算路表弯沉值时,抗压回弹模量设计值 E 应按式(8.0.9)计算。

$$E = \bar{E} - Z_a S \quad (8.0.9)$$

式中: \bar{E} ——各试件模量的平均值(MPa);

S ——各试件模量的标准差;

Z_a ——保证率系数,按 95% 保证率取 2.0。

8.0.10 以沥青层或半刚性材料结构层层底拉应力为设计或验算指标时,应在 15℃ 条件下测试沥青混合料的抗压回弹模量;半刚性材料应在规定龄期(水泥稳定类材料龄期为 90d,二灰稳定类、石灰稳定类材料为 180d,水泥粉煤灰稳定类为 120d)测定抗压回弹模量。

计算层底应力时应考虑模量的最不利组合。在计算层底拉应力时,计算层以下各层的模量应采用式(8.0.9)计算其模量设计值;计算层及以上各层模量应采用式(8.0.10)计算其模量设计值 E 。

$$E = \bar{E} + Z_a S \quad (8.0.10)$$

式中符号同式(8.0.9)。

8.0.11 各地区应建立劈裂强度、回弹模量与龄期的相关关系,以及快速养生方法等预估规定龄期的材料强度、模量的换算关系,经充分论证后作为设计参数的取值依据。

8.0.12 轮隙中心路表回弹弯沉的计算

路表计算弯沉值应按式(8.0.12-1)计算。

$$l_s = 1\,000 \frac{2p\delta}{E_1} \alpha_c F \quad (8.0.12-1)$$

其中:

$$\alpha_c = f\left(\frac{h_1}{\delta}, \frac{h_2}{\delta}, \dots, \frac{h_{n-1}}{\delta}, \frac{E_2}{E_1}, \frac{E_3}{E_2}, \dots, \frac{E_0}{E_{n-1}}\right)$$

$$F = 1.63 \left(\frac{l_s}{2\,000\delta}\right)^{0.38} \left(\frac{E_0}{p}\right)^{0.36} \quad (8.0.12-2)$$

式中: l_s ——路表计算弯沉值(0.01mm);

F ——弯沉综合修正系数;

p, δ ——标准车型的轮胎接地压强(MPa)和当量圆半径(cm);

α_c ——理论弯沉系数;

E_0 或 E_n ——土基抗压回弹模量值(MPa);

E_1, E_2, \dots, E_{n-1} ——各层材料抗压回弹模量(MPa);

h_1, h_2, \dots, h_{n-1} ——各结构层厚度(cm)。

8.0.13 层底拉应力计算

层底拉应力以单圆中心(B点)及双圆轮隙中心(C点)为计算点,并取较大值作为层底拉应力。按式(8.0.13)计算层底最大拉应力:

$$\sigma_m = p \bar{\sigma}_m \quad (8.0.13)$$

$$\bar{\sigma}_m = f\left(\frac{h_1}{\delta}, \frac{h_2}{\delta}, \dots, \frac{h_{n-1}}{\delta}, \frac{E_2}{E_1}, \frac{E_3}{E_2}, \dots, \frac{E_0}{E_{n-1}}\right)$$

式中: $\bar{\sigma}_m$ ——理论最大拉应力系数。

其他符号意义同式(8.0.12)。

8.0.14 路面各结构层的厚度可按算法或验算法确定。

1 算法:根据路用性能要求或工程经验确定路面结构组合类型,先拟定某一层作为设计层,然后根据混合料类型与施工工艺要求确定其他各层的厚度,按8.0.4条规定的流程计算设计层厚度。设计层厚度应不小于最小施工厚度。

2 验算法:根据本地区典型结构确定路面结构组合类型,然后根据混合料类型与施工工艺拟定各结构层的厚度,按8.0.4条规定的流程进行结构验算,验算通过后即可作为备选结构。

8.0.15 路面交工时应在不利于季节采用BZZ-100标准轴载实测轮隙中心处路表弯沉值。其弯沉代表值应符合式(8.0.15-1)的要求,即:

$$l_{0j} \leq l_a \quad (8.0.15-1)$$

式中: l_{0j} ——实测某路段的代表弯沉值(0.01mm);

l_a ——路表面弯沉检测标准值(0.01mm),按最后确定的路面结构厚度与材料模量计算的路表面弯沉值。

1 检测代表弯沉值应用标准轴载BZZ-100的汽车实测路表弯沉值,若为非标准轴载应进行换算。对半刚性基层结构宜用5.4m的弯沉仪;对柔性结构可用3.6m的弯沉仪测定。

检测时,当沥青层厚度小于或等于50mm时,可不进行温度修正;其他情况下均应进行温度修正。若在非不利季节测定,应考虑季节修正。

2 测定弯沉时应以1~3km为一评定路段。检测频率视公路等级每车道每10~50m测一点,高速公路、一级公路每公里检查不少于80个点,二级及二级以下公路每公里检查不少于40个点。

3 路段内实测路表弯沉代表值(0.01mm) l_0 按式(8.0.15-2)计算:

$$l_0 = (\bar{l}_0 + Z_a S) K_1 K_3 \quad (8.0.15-2)$$

式中: l_0 ——路段内实测路表弯沉代表值(0.01mm);

\bar{l}_0 ——路段内实测路表弯沉平均值(0.01mm);

S ——路段内实测路表弯沉标准差(0.01mm);

Z_a ——与保证率有关的系数,高速公路、一级公路 $Z_a = 1.645$,其他公路沥青路面 $Z_a = 1.5$;

K_1 ——季节影响系数,根据当地经验确定;

K_3 ——温度修正系数,温度修正方法:可按照《公路路基路面现场测试规程》中的规定进行或根据条文说明或当地的实测资料进行修正。

9 改建路面设计

9.1 一般规定

9.1.1 改线路段应按新建路面设计。加宽路面、提高路基、调整纵坡的路段应视具体情况按新建或改建路面设计。在原有路面上补强时,按改建路面设计。

9.1.2 调查原路面现状,对路面破损程度进行分段评价,分析路面损坏原因,分段拟定路面改建工程设计方案。

9.1.3 交通量大的高速公路、一级公路以及城市郊区公路宜选择施工方便、工期短、对交通干扰少的设计方案。设计方案应在保证一定使用年限的要求下,尽量减少原路的开挖工程数量,减少废弃材料。

9.1.4 设计方案应考虑原路面沥青混合料、半刚性基层材料的再生利用,并结合已有成果和经验,积极慎重地推广再生技术。

9.1.5 在原路扩宽工程中应采取措施加强新、老路面之间的结合,防止加宽部分与原有路面间产生差异沉降。

9.1.6 大型改扩建工程应根据设计方案修建试验路,以总结交通组织疏导、施工组织、施工工艺、施工质量控制等方面经验,改进设计方案。

9.2 沥青路面加铺层

9.2.1 原有路面主要调查分析内容如下:

- 1 调查破损情况,包括裂缝率、车辙深度、修补面积等。
- 2 评价原路面结构承载能力。
- 3 根据破损情况调查和承载能力测试与评价,选择路面外观为好、中、差的典型使用状况,进行分层钻芯或探坑取样,采集沥青混合料和基层、底基层、土基的样品试验,分析破坏原因,判断其破坏层位及是否可以利用。
- 4 取样调查路床范围内路基土的分层含水量、土质类型及承载力等,分析路基的稳

定性、强度以及路基路面范围内排水状况等。

9.2.2 设计应根据下列情况将全线划分为若干段。分段时,应考虑下列因素:

- 1 将原路面的破损形态、弯沉值、破损原因相近的划分为一个路段。
- 2 在同一路段内中,若局部路段弯沉值很大,可先修补处理再进行补强。在计算该段代表弯沉值时,可不考虑个别弯沉值大的点。
- 3 一般按 1km 为单位对路况进行评价,当路况评价指标基本接近时可将路段延长。在水文、土质条件复杂或需要特殊处理的路段,其分段最小长度可视实际情况确定。

9.2.3 各路段的计算弯沉值

各路段应采用 BZZ-100 标准轴载汽车,用贝克曼梁测定原有路面的弯沉值,每 20 ~ 50m 测一点,弯沉值变化较大时可加密测点,每车道、每路段的测点数不少于 20 点。若为非标准轴载应进行换算。各路段的计算弯沉值 l_0 按式(9.2.3)计算。

$$l_0 = (\bar{l}_0 + Z_a S) K_1 K_2 K_3 \quad (9.2.3)$$

式中: K_2 ——湿度影响系数,根据当地经验确定。

其他符号意义同式(8.0.15-2)。

9.2.4 旧沥青路面处理

- 1 沥青路面整体强度基本符合要求,车辙深度小于 10mm,轻度裂缝而平整度及抗滑性能较差时,可直接加铺罩面,恢复表面使用功能。
- 2 对中度、重度裂缝段宜视具体情况铣刨路面,否则,应进行灌缝、修补坑槽等处理,必要时采取防裂措施后再加铺沥青层。对沥青层网裂、龟裂或沥青老化的路段应进行铣刨并清除干净,并设黏层沥青后,再加铺沥青层。
- 3 对整体强度不足或破损严重的路段,视路面破损程度确定挖除深度、范围以及加铺补强层的结构与厚度。

9.2.5 加铺面层

- 1 可用沥青混凝土罩面、表面处治或其他预防性养护措施改善提高沥青表面层的服务功能。一般单层沥青混凝土罩面厚度可为 30 ~ 50mm;超薄层罩面厚度宜为 20 ~ 25mm。预防性养护可选用稀浆封层、微表处或养护剂等。
- 2 超薄磨耗层结合料宜用改性沥青或掺入其他添加剂,提高超薄磨耗层的水稳性。

9.2.6 原路面当量回弹模量的计算

- 1 确定原路面的当量回弹模量时,应根据路段的划分计算当量回弹模量值。
- 2 各路段的当量回弹模量应根据各路段的计算弯沉,按式(9.2.6-1)(轮隙弯沉法)计算。

$$E_1 = 1\,000 \frac{2p\delta}{l_0} m_1 m_2 \quad (9.2.6-1)$$

式中: E_1 ——原路面的当量回弹模量(MPa);

p, δ ——标准车型的轮胎接地压强(MPa)和当量圆半径(cm);

l_0 ——原路面的计算弯沉(0.01mm);

m_1 ——用标准轴载的汽车在原路面上测得的弯沉值与用承载板在相同压强条件下所测得的回弹变形值之比,即轮板对比值;

m_2 ——原路面当量回弹模量扩大系数。

比值 m_1 应根据各地的对比试验结果论证地确定,在没有对比试验资料的情况下,可取 $m_1 = 1.1$ (轮隙弯沉法)进行计算。

3 计算与原路面接触的补强层层底拉应力时, m_2 按式(9.2.6-2)计算;计算其他补强层层底拉应力及弯沉值时, $m_2 = 1.0$ 。

$$m_2 = e^{0.037 \frac{h'}{\delta} \left(\frac{E_{n-1}}{p} \right)^{0.25}} \quad (9.2.6-2)$$

式中: E_{n-1} ——与原路面接触层材料的抗压模量(MPa);

h' ——各补强层相当于原路面接触层的模量 E_{n-1} 的等效总厚度(cm)。

4 等效总厚度 h' 按式(9.2.6-3)计算。

$$h' = \sum_{i=1}^{n-1} h_i (E_i / E_{n-1})^{0.25} \quad (9.2.6-3)$$

式中: E_i ——第 i 层补强层材料的抗压回弹模量(MPa);

h_i ——第 i 层补强的厚度(cm);

$n - 1$ ——补强层层数。

9.2.7 加铺补强层结构设计

1 当强度不足时应进行补强设计,设计方法与新建路面相同。

2 加铺补强层的结构设计应根据原路面综合评价,公路等级、交通量,考虑与周围环境相协调,结合纵、横断面调坡设计等因素,选用直接加铺,或开挖原路至某一结构层位,或采取加铺一层或多层沥青补强层,或加铺半刚性基层、贫混凝土基层等结构层设计方案。在确定设计弯沉值时,应根据加铺层的结构选用路面类型系数。

3 原路面与补强层之间视加铺层的结构与厚度,宜洒布黏层沥青,或采取相应的减裂措施,或铺设调平层,或直接加铺结构层等。

9.2.8 加铺补强层设计步骤

1 计算原路面的当量回弹模量。

2 拟定几种可行的结构组合与结构层厚度,并通过试验或参照当地成熟经验确定各补强层的材料参数。

3 根据加铺层的类型确定设计指标,当以路表回弹弯沉为设计指标时,弯沉综合修正系数按式(9.2.8)计算。

$$F = 1.45 \left(\frac{l_s}{2000\delta} \right)^{0.61} \left(\frac{E_t}{p} \right)^{0.61} \quad (9.2.8)$$

式中: E_t ——原路面的当量回弹模量(MPa)。

其他符号意义同式(8.0.12-2)。

当以拉应力为控制指标时,确定了设计厚度后,宜按式(8.0.12-2)计算弯沉综合修正系数,最后计算路表回弹弯沉。

4 采用弹性层状体系理论设计程序计算设计层的厚度或进行结构验算。对季节性冰冻地区的中、潮湿路段还应验算防冻厚度。

5 进行技术经济比较,确定补强设计方案。

9.3 水泥混凝土路面加铺沥青路面

9.3.1 水泥混凝土路面应重点调查以下内容:

1 破碎板块、开裂板块、板边角的破损状况,并逐个记录破损板块的位置和数量或按车道绘出破损状况草图,计算每公里断板率。调查纵、横向接缝拉开宽度、错台位置与高度,计算错台段的平均错台高度;调查板底脱空位置等。

2 用落锤式弯沉仪或贝克曼弯沉仪进行现场测定。

1)视路况每块板或每2~4块板选一测点,在横向接缝板边距板角30~50cm处测定弯沉,全面了解水泥混凝土路面的承载能力情况。

2)根据测定弯沉值或弯沉盆资料,选择典型路段测量横向接缝或裂缝两侧板边的弯沉值,以评价原混凝土板的承载能力、接缝传荷能力,并结合平均错台高度判断板底脱空情况。

3 选择典型路面状况,分层钻芯取样,测定原混凝土强度、模量等,分析破坏原因。

9.3.2 原路面接缝传荷能力的评价

1 横向接缝两侧板边的弯沉差宜按式(9.3.2-1)计算。

$$\Delta_D = D_u - D_e \quad (9.3.2-1)$$

式中: Δ_D ——弯沉差(0.01mm);

D_u ——未受荷板接缝边缘处的弯沉值(0.01mm);

D_e ——受荷板接缝边缘处的弯沉值(0.01mm)。

2 用贝克曼弯沉仪或落锤式弯沉仪测定横向接缝两侧板边的弯沉时,宜用平均弯沉值按式(9.3.2-2)评价水泥混凝土板的承载能力,并区分不同情形对水泥混凝土板进行处治。

$$\bar{D} = \frac{D_u + D_e}{2} \quad (9.3.2-2)$$

式中: \bar{D} ——平均弯沉值(0.01mm)。

9.3.3 原混凝土路面结构参数,包括面板厚度、弯拉强度、弯拉弹性模量、基层顶面当量回弹模量标准值,可按《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)的有关规定确定。

9.3.4 根据破损调查和承载能力测试资料,原水泥混凝土路面可按表 9.3.4 进行处理。若路面结构承载能力不满足现有交通荷载要求,应采取补强措施。

表 9.3.4 原水泥混凝土路面处理方法

原路面状况	评价等级	平均弯沉值(0.01mm)	修补方法
路面破损状况	优和良	20 ~ 45	局部处理:更换破碎板、修补开裂板块、脱空板灌浆,使处治后的路段代表弯沉值低于 20(0.01mm),然后加铺沥青层
	中等及中等以下	> 45	采取打裂或各种破碎技术将混凝土板打碎、压实,然后加铺补强层
接缝传荷能力不足		$\Delta_D \geq 6$	压浆填封,或增加传力杆,或采取打裂工艺消除垂直、水平方向变形,然后加铺沥青层
板底脱空			灌浆或打裂工艺、压实,消除垂直、水平方向变形,使路面稳定,然后加铺沥青层

9.3.5 沥青加铺层可设单层或双层沥青面层,视具体情况增加调平层或补强层等。加铺层设计应根据公路等级和使用要求、交通量、环境条件和纵、横向调坡设计,在处理破损原水泥混凝土板使其稳定的基础上,综合考虑防止反射裂缝措施,结合已有经验确定。

1 在稳定的原水泥混凝土板上加铺沥青层时,对高速公路、一级公路(或中等及中等以上交通)厚度不宜小于 100mm,其他公路不宜小于 70mm。

2 在原水泥混凝土路面上加铺沥青层时宜用热沥青或改性乳化沥青、改性沥青做黏层。为防止渗水、减缓反射裂缝及加强层间结合,宜设置 20 ~ 25mm 厚的聚合物改性沥青应力吸收层、应力吸收膜,或铺设长纤维无纺聚酯类土工织物等。

3 按本规范有关规定增加或完善路面结构排水系统和防水措施。

9.3.6 破碎板的沥青面层补强设计

1 当原路面板接缝或裂缝处平均弯沉大于 45(0.01mm)以上时,宜采取打裂措施,消除原水泥混凝土板脱空,使其与基层紧密结合、稳定后,再加铺结构层。

2 当原路面板接缝或裂缝处平均弯沉大于 70(0.01mm)或水泥混凝土板较破碎时,可将板破碎成小块或碎石,作为下基层或底基层用。采用贝克曼弯沉仪或落锤式弯沉仪测定其当量回弹模量,按本规范 9.2 节规定设计补强层和沥青层。

10 排水设计

10.0.1 一般规定

1 路面排水设计应根据公路等级、降水量、路线纵坡等因素,结合路基、桥涵结构物排水设计,合理选择排水方案,布置排水设施,形成完整、畅通的排水体系,保证路基路面稳定。

2 路面排水包括路表排水、中央分隔带排水及路面结构内部排水。

3 路面排水设计重现期,高速公路、一级公路宜为 5 年,二级及二级以下公路宜为 3 年,对于多雨地区的公路或特殊路段,可适当提高。

4 城镇路段公路排水,宜与城镇地表排水体系相协调。

10.0.2 路表排水型式

1 分散排水——由路面横坡、路肩和边坡防护组成,适用于路线纵坡平缓、汇水量较小,路堤高度较低的路段。

2 集中排水——由路面横坡、拦水缘石或矩形槽、泄水口和急流槽组成,适用于路堤高度较高,或路堤易受冲刷的粉性土、砂性土路段,凹形曲线底部等。

10.0.3 分散排水路段的土路肩边部构造

1 一般情况下,土路肩采用生态防护,种植适合当地气候、土质条件的草皮,并在底基层顶面外侧设置横向排水管,将滞留在填土绿化层底面的渗水通过横向排水管排到路基外,如图 10.0.3a)所示,对于低填方路堤可采用图 10.0.3b)所示构造,垫层铺至路基边缘。

2 冲刷相对较大等路段,土路肩宜用不小于 50mm 厚的预制水泥混凝土块铺砌或现场浇注混凝土,下设砂砾、砂、碎石等透水材料,以利于路面结构排水,如图 10.0.3c);也可用碎石、砂砾加固,如图 10.0.3d)。

3 分散排水设计应与路基边坡防护、边沟或排水沟相结合。

10.0.4 直线段的集中排水

1 泄水口的间距应按有关规范计算确定,一般 30 ~ 50m 设一处,其开口宽度一般为 0.5m。在凹形竖曲线的底部或其他位置,宜适当加密。

2 拦水带可用沥青混凝土或预制水泥混凝土制作。当用沥青混凝土拦水带时,其沥青混凝土混合料的级配宜符合表 10.0.4 的规定,沥青用量宜按马歇尔试验确定的最佳沥青用量增加 0.5% ~ 1%,采用双面击实 50 次,空隙率宜为 2% ~ 4%。预制水泥混凝土拦

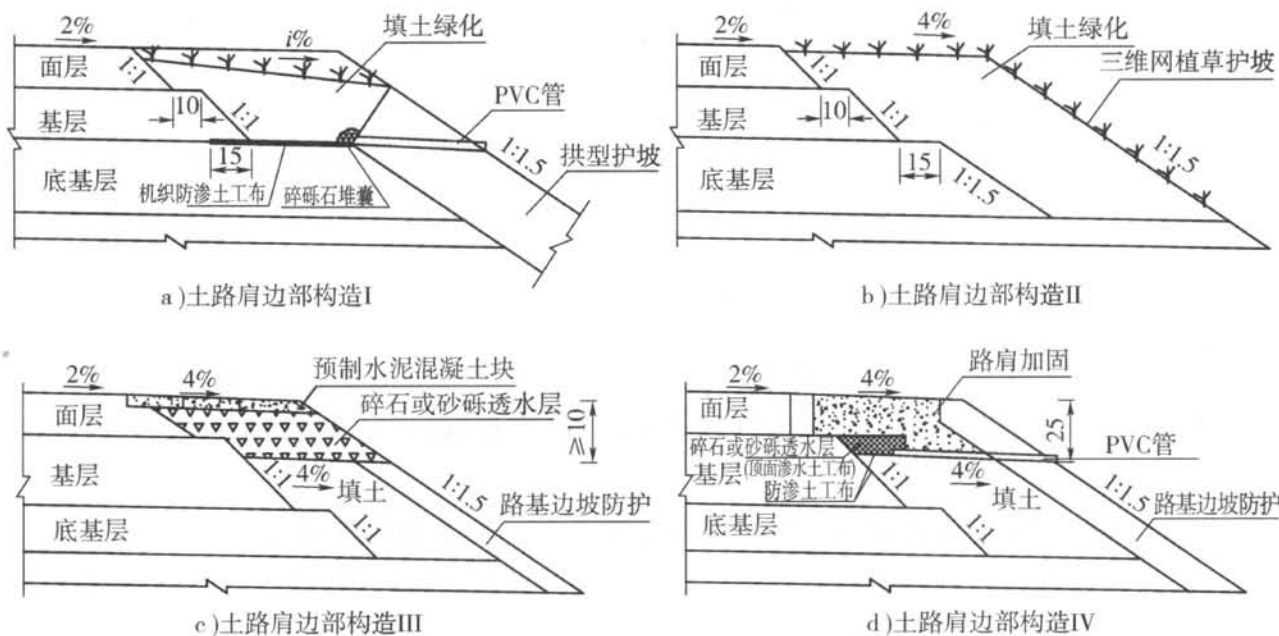


图 10.0.3 分散排水路肩构造图(尺寸单位:cm)

水缘石,应预留相应的出水孔,以免阻止路面结构内部排水。

表 10.0.4 沥青混凝土拦水带的矿料级配

方孔筛(mm)	16	13.2	4.75	2.36	0.3	0.075
通过质量百分率(%)	100	85~100	65~80	50~65	18~30	5~15

10.0.5 对新建高速公路超高段的集中排水,宜采用在左侧路缘带左侧设置有钢筋混凝土盖板的预制整体式 U 形混凝土沟或缝隙式排水沟,每 25~50m 设一处集水井,并通过横向排水管引至边坡的急流槽或暗管,如图 10.0.5。

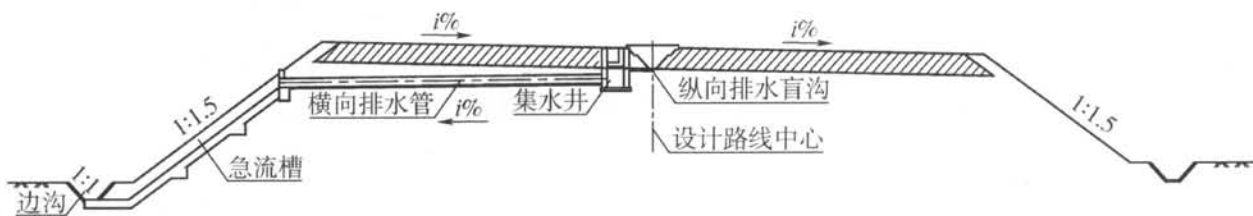


图 10.0.5 超高段集中排水

10.0.6 中央分隔带的排水设施由排水沟(明沟、暗沟)、渗沟、雨水井、集水井、横向排水管道等组成,中央分隔带可用凸式、平式或凹式。一般不封闭,也可封闭,如图 10.0.6 所示。

1 为排除渗入分隔带内的表面水,中央分隔带内可设置纵向排水渗沟,并间隔 40~80m 设一条横向排水管将渗沟内的水排引出,渗沟周围包裹反滤织物(土工布),以免渗入水携带的细粒将渗沟堵塞。渗沟上的回填料与路面结构的交界处铺设防水土工布。

2 中央分隔带封闭后可不设内部排水系统。封闭可用 40~80mm 预制混凝土或现浇混凝土,其下设砂砾垫层。

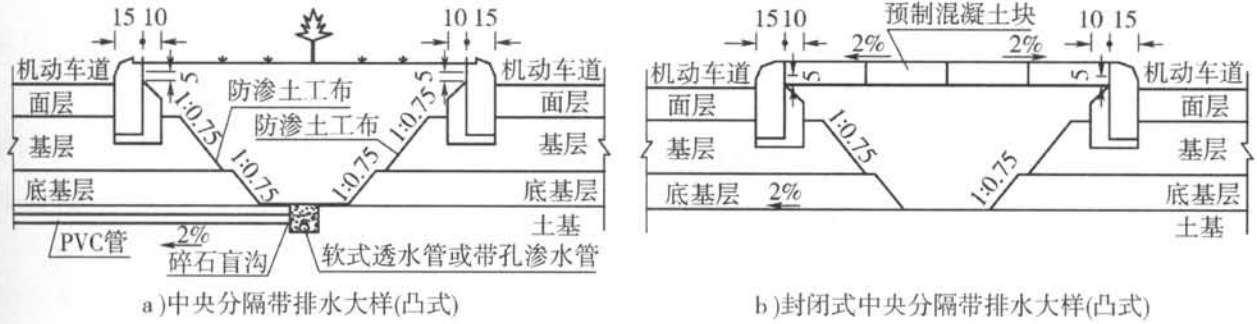


图 10.0.6 中央分隔带排水(尺寸单位:cm)

10.0.7 路面内部排水系统设计要求

- 1 当路面内部可能出现自由水滞留时,可采用沥青碎石或骨架空隙型水泥稳定碎石或级配碎石做排水基层。
- 2 排水基层的集料应选用洁净、坚硬而耐久的碎石,其压碎值不应大于 28%,最大粒径可为 20mm 或 25mm,集料级配应满足透水性要求(渗透系数不得小于 300m/d),可通过常水头或变水头渗透试验确定。
- 3 骨架空隙型水泥稳定碎石,其 7d 浸水抗压强度不得低于 3~4MPa,开级配沥青碎石集料的沥青用量可为集料干重的 2.5%~4.5%。

10.0.8 路面边缘排水应结合当地经验设计,可用碎石、砂砾、砂等透水性填料填筑路肩,并与横向出水管、过滤织物(土工布)组成排水系统。

10.0.9 桥面铺装排水

- 1 桥面水通过横坡和纵坡排入泄水口,并汇集到纵向排水管排出。对于跨越一般河流的桥梁,桥面水可通过泄水管直接向下排放。
- 2 为了排出铺装结构内部积水,应在桥面铺装边缘设置 40 mm 宽、50mm 深的小碎石渗沟,渗沟与泄水口相接,泄水口间距宜为 5~10m。
- 3 对特大桥和重要桥梁应加强排水设计,边缘部排水可参照图 10.0.9 设计。

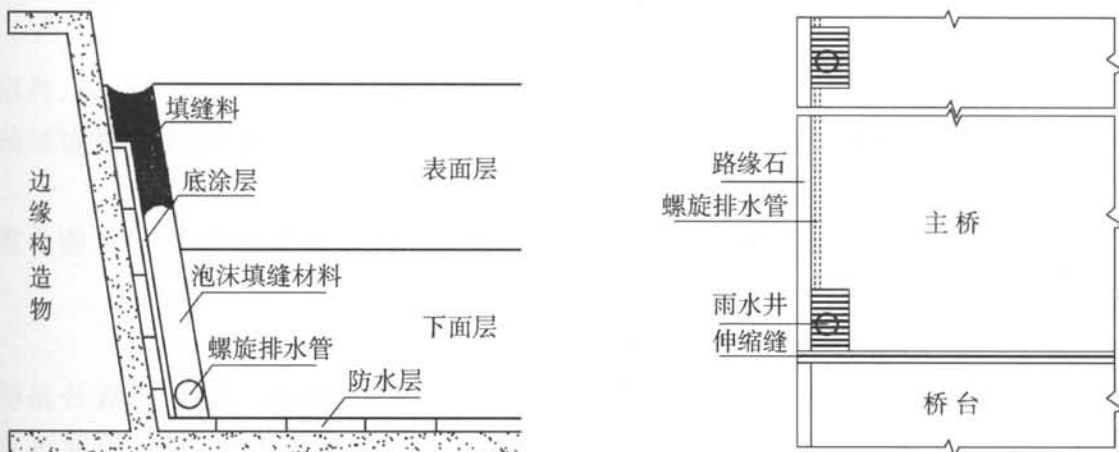


图 10.0.9 桥面边缘部排水

11 桥面铺装及其他工程

11.1 桥面铺装

11.1.1 水泥混凝土桥面采用沥青面层铺装时,桥面板应满足以下技术要求:

1 混凝土桥面板应平整粗糙,干燥整洁,不得有浮浆、尘土、水迹、杂物或油污等。对高速公路、一级公路的桥面宜进行打毛处理。特大桥、重要大桥桥面宜进行表面喷砂处理。

2 当混凝土桥面板需要设置调平层时,混凝土调平层厚度不宜小于 80mm,且应按要求设置钢筋网;纤维混凝土调平层厚度不宜小于 60mm;调平层混凝土强度等级应与梁体一致,并应与桥面板结合紧密。当调平层厚度较薄时,可用沥青混合料或通过加厚下面层进行调平。

11.1.2 桥面沥青铺装结构,可由防水层和下面层、表面层组成,如图 11.1.2。防水层和下面层共同组成防水体系,应重视下面层的密水性和热稳性。

1 应根据桥梁类型、设计安全等级,并考虑工程环境条件等因素(如冰冻地区或海洋地区,有工业酸雾、雨影响等)确定防水层和下面层。

2 对特大桥、重要大桥,宜在混凝土桥面板顶面设下封层。



图 11.1.2 桥面沥青铺装结构示意图

11.1.3 防水层主要包括:涂膜、卷材等专用防水材料;沥青砂、沥青玛蹄脂、热融沥青碎石、稀浆封层等聚合物改性沥青类防水材料;环氧树脂下封层等反应性树脂类防水材料。

当下面层采用浇注式沥青混凝土时可视为防水层,但在动荷载作用下可能出现负弯矩的位置宜采取一定防裂措施。

11.1.4 高速公路、一级公路的桥面铺装厚度宜为 70~100mm,二级、三级公路桥面铺装厚度宜为 50~90mm。表面层厚度不小于 30mm。若桥面铺装为单层时,厚度不宜小于 50mm。

1 当路面与桥面连续施工时,高速公路、一级公路的大、中、小桥的面层结构与厚度宜与两端路线的表面层、中面层相同。

2 各级公路的大、中、小桥可用沥青砂、热融沥青碎石封层、稀浆封层、涂膜、卷材等做防水层,并视具体情况设置专门的底涂层加强联结作用。下面层可选用密级配沥青混凝土、沥青玛蹄脂碎石等组成防水体系。应严格控制沥青混合料的现场空隙率。

3 表面层必须用密实型沥青混合料,在多雨潮湿地区、纵坡大于 3.5% 或设计车速大于 50km/h 的桥面上应铺设抗滑表面层。

11.1.5 对特大桥、重要大桥等的桥面铺装应进行专项设计。

1 特大桥、重要大桥可选择浇注式沥青混凝土、沥青玛蹄脂、涂膜等防水层,下面层可用浇注式沥青混凝土、沥青玛蹄脂碎石组成防水体系。

2 应检验桥面铺装各结构层间的抗剪强度和抗拔强度。

11.2 其他工程

11.2.1 桥头衔接

桥面铺装与桥头引道的路面应平稳、顺适地衔接,大、中桥的桥头必须设置搭板,桥头两端应采取换填稳定土、砂砾,或用土工格栅加固路基等技术措施,减少工后沉降,防止或减轻桥头跳车。

11.2.2 高速公路、一级公路路面的边缘构造宜按图 11.2.2 进行设计。

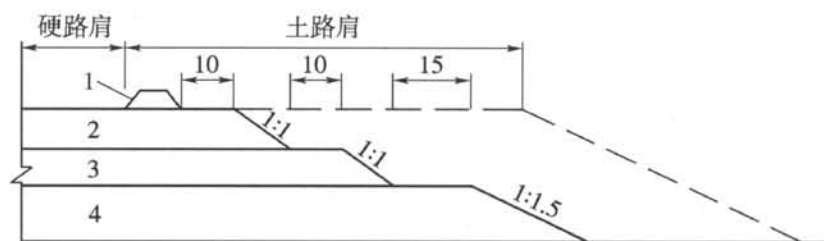


图 11.2.2 路面边缘构造(尺寸单位:cm)

1-路缘石;2-面层;3-基层;4-底基层

附录 A 半刚性基层材料振动法试件成型方法和抗冻性试验方法

A.1 半刚性基层材料振动法试件成型方法

A.1.1 目的和适用范围

本试验方法适用于采用振动压实方法成型无机结合料稳定粒料的各种试件,其中包括用于测试无侧限抗压强度、间接抗拉强度和抗压回弹模量的圆柱体试件和用于温缩系数、干缩系数、抗折强度以及抗折回弹模量测试的梁式试件。

圆柱体试件尺寸:直径 150mm,高 150mm;梁式试件尺寸:长 400mm,宽 100mm,高 100mm。

A.1.2 仪器设备

1 振动压实成型机(图 A.1.2):静压力、激振力和频率可调(与振动法确定压实标准所用设备相同)。配有 $\phi 150\text{mm}$ 的圆形压头和 $100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 长方形压头。

2 圆柱体试件模具

钢模:内径 152mm,高 170mm,壁厚 10mm;

钢模套环:内径 152mm,高 50mm,壁厚 10mm;

筒内垫块:直径 151mm,厚 20mm;

钢模底板:直径 300mm,厚 10mm。

以上各部件可用螺栓固定成一体。

3 梁式试件模具

钢侧板:长 450mm,宽 180mm,厚 150mm;

钢垫块:长 400mm,宽 100mm,厚 25mm。

以上各部件可用螺栓固定成一体。

4 台秤:量程 15kg,感量 5g;电子秤:量程 3kg,感量 0.01g。

5 方孔筛:孔径 37.5mm、31.5mm、26.5mm、19mm、9.5mm、4.75mm、2.36mm、0.6mm 以及 0.075mm 的标准筛各一个。

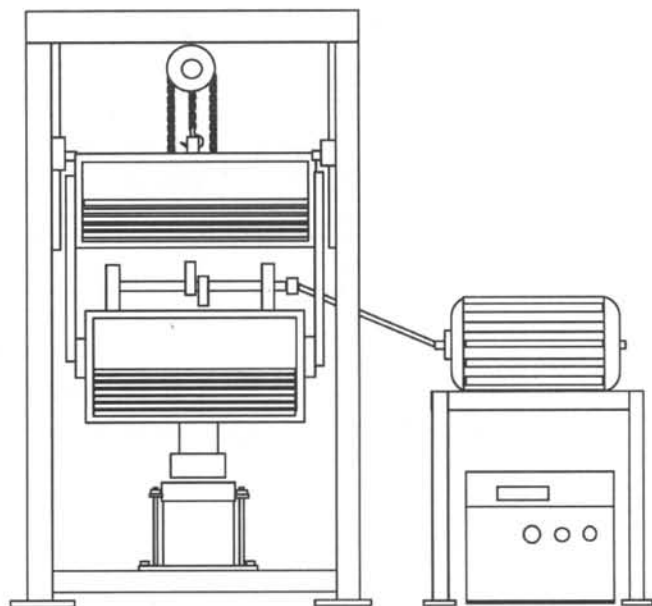


图 A.1.2 振动压实成型机示意图

- 6 量筒:50mL、100mL 和 500mL 的量筒各一个。
- 7 直刮刀:长 200~250mm,宽 30mm,厚 3mm,一侧开口的直刮刀,用以刮平和修饰粒料大试件的表面。
- 8 拌和工具:约 400mm×600mm×70mm 的长方形金属盘、拌和用平头小铲等。
- 9 脱模器。
- 10 用于固紧试模螺栓的扳手、钳子,用于调节偏心块夹角的小榔头等。

A.1.3 试料准备

在预定做试验的前一天,取有代表性的试料测定其风干含水量。对于细粒料,试料应不少于 100g;对于中粒料,试料应不少于 1 000g;对于粗粒料的各种集料,试料应不少于 2 000g。同时测定石灰和水泥的含水量。

按照压实标准试验确定的最大干密度、设计的集料级配以及试件的体积计算各种集料的重量并配料,配料的份数由测试的试验要求而定。

对于无侧限抗压强度、间接抗拉强度、抗压回弹模量试验每种配合比需要 13 个试件,对于温缩系数、干缩系数、抗折强度、抗折回弹模量测试的梁式试件每种配合比需要 6 个试件。

A.1.4 试件制作步骤

1 调节振动成型机的振动参数,对无机结合料稳定粒料一般选用静压力 1 900N、激振力 6 800~6 900N、振动频率为 28~30Hz 的振实条件。根据需要成型试件的形状分别安装圆形压头或长方形压头,然后仔细地确定出混合料振动压实并需要达到的规定尺寸,据此调节振动压实机振动器上标尺应达到的位置。

2 取 1 份试料平铺于金属盘内,按事先通过压实标准试验确定的最佳含水量计算得的每份试料的应加水量将水均匀地喷洒在试料上,用小铲将试料充分拌和到均匀状态。

应加水量可按下式计算:

$$Q_w = \left(\frac{Q_n}{1 + 0.01w_n} + \frac{Q_c}{1 + 0.01w_c} \right) \times 0.01w - \frac{Q_n}{1 + 0.01w_n} \times 0.01w_n - \frac{Q_c}{1 + 0.01w_c} \times 0.01w_c \quad (\text{A.1.4})$$

式中: Q_w ——混合料中应加的水量(g);

Q_n ——混合料中集料的质量(g),其原始含水量为 w_n ,即风干含水量(%);

Q_c ——混合料中水泥或石灰的质量(g),其原始含水量为 w_c (%);

w ——要求达到的混合料的含水量(%)。

3 将所需要的结合料,如水泥、二灰等加到浸润后的试料中,并用小铲、泥刀或其他工具充分拌和到均匀状态。对于加有水泥的试料,应在拌和后 1h 内完成下述振实试验,拌和后超过 1h 的试样,应予作废(石灰稳定和石灰粉煤灰稳定除外)。

4 将钢模套环、钢模及钢模底板紧密连接,然后将其放在坚实地面上,将拌和好的混合料按四分法分成四份,依次将混合料倒入筒内,一边倒一边用直径 2cm 左右的木棒插捣。混合料一次装完后整平其表面并稍加压紧,然后覆盖一片事先剪好的塑料纸。将钢

模连同混合料放在振动压实机的钢质底板上,用螺栓将钢模底板与振动压实机底板固定在一起。

5 将振动压头对准钢模后,拉动手动葫芦放下振动器,使振动压头与钢模内的混合料紧密接触,然后取下手动葫芦吊钩,放好手动葫芦拉链。检查振动压实成型机上的螺栓及相关连接处,确定没有任何物品放在振动压实成型机上。

6 启动振动压实成型机开关,开始振动压实。仔细观察振实压实成型机上振动器标尺的位置变化,达到预定的标尺位置后立即关闭,同时记下振动压实时间。

7 用手动葫芦拉起振动压头。松开钢模底板的螺栓,将钢模连同经过振实后的混合料一起卸下,松开螺栓后取下钢模套环,此时振动压实后的混合料顶面应与钢模的上边缘齐平。

8 托住钢模底部的垫块,小心将钢模与其中的混合料一起放到合适地方,根据混合料的类型静置一段时间后用脱模器将振实以后的混合料推出钢模。

对于梁式试件,需要松开螺栓后,小心地将侧板取掉,但试件仍要放在钢垫板上不能移动,等混合料具有初步强度后方可移动。

9 试件脱模或可以搬动后应马上用塑料薄膜包裹并放入养生室中进行养生,养生条件与规范中静压法相同。

A.1.5 注意事项及相关说明

1 对于水泥稳定类材料,从加水拌和到进行压实试验间隔的时间愈长,水泥的水化作用和结硬程度就愈大。因此要求以水泥为结合料的试验拌和后要在 1h 内完成压实试验。

2 由于振动容易对仪器造成损伤,在振动压实前需仔细检查仪器螺栓的紧固程度,操作时一定要遵守操作规程,不可疏忽大意。振动压实过程较短,应认真观察振动器压头是否达到跳起的状态,不要使振动压实成型机长时间在回弹跳起状态运行。

3 对于振动压实后的混合料来说,为了防止变形或松散,圆柱体试件不宜立即脱模。振实后混合料脱模的时间应根据混合料的结构类型而定:

悬浮密实类结构混合料:2~3h;

骨架密实类结构混合料:5~6h;

骨架空隙类结构混合料:10~12h。

与圆柱体试件相比,梁式试件刚成型后更易受损,所以对于梁式试件而言,振动压实并拆除侧板后,试件仍需放置在钢垫板上,最好 24h 以后再移动。如确需临时移动,应托住钢垫板小心移动。

4 在混合料装模并将其表面大致整平后应铺上塑料纸,然后进行振动压实。这样做主要是防止混合料中的细料浆粘在振动压头上,振动压头上黏附细料后不但对振动有影响,而且在振动完后提起振动压头时容易造成试件表面不平整。

5 混合料拌和后装料时应严格按四分法进行,对于半刚性基层混合料而言,离析对室内试验的结果有很大影响。

A.2 半刚性基层材料抗冻性试验方法

A.2.1 目的和适用范围

本试验方法适用于二灰稳定类、水泥稳定类等半刚性材料抗冻性试验。

半刚性基层材料的抗冻性,是以规定龄期(28d或180d)的半刚性基层材料在经过数个冻融循环后的饱水无侧限抗压强度与冻前饱水无侧限抗压强度之比值来评价。

试件采用直径为150mm的圆柱体,高度与直径之比为1:1。

A.2.2 仪器设备

- 1 路用材料强度试验仪或规格不小于200kN的压力机。
- 2 试模:试模直径 \times 高=150mm \times 150mm。
- 3 天平:感量0.01g。
- 4 脱模器。
- 5 恒温(20 $^{\circ}$ C \pm 2 $^{\circ}$ C)保湿(97%)养生箱。
- 6 恒温冰箱:能保持温度为-18 $^{\circ}$ C。当缺乏专用的恒温冰箱时,可采用家用电冰箱的冷冻室代替,控温准确度为 \pm 1 $^{\circ}$ C。
- 7 台秤:称量15kg,感量5g。
- 8 水槽:深度大于试件高度50mm。
- 9 其他仪器:量筒、拌和工具、漏斗、大小铝盒、烘箱等。

A.2.3 试料的准备

试料的准备按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057—94)中的T 0805—94第4.0.3条进行。

A.2.4 试件制备

1 无机结合料稳定材料的最大干密度和最佳含水量按照击实试验方法确定,或者按振动压实试验方法确定。静压法成型试件压实度取98%。

2 每组试件个数为2 \times 9个。

A.2.5 试件养生

养生温度取20 $^{\circ}$ C \pm 2 $^{\circ}$ C;

冻融5次循环的试件养生期为28d,冻融10次循环的试件养生期为180d。

A.2.6 试验步骤

1 养生龄期结束前一天,将试件在室温下饱水24h。

2 将饱水后的试件从水中取出,拭干表面的水分、称重。用游标卡尺量试件的高度

h_1 , 准确到 0.1mm。

3 把试件分成两组, 每组 9 个试件。第一组试件放到路面材料强度试验仪的升降台上(台上先放一个扁球座), 进行抗压试验。试验过程中, 应使试件的形变等速增加, 并保持速率约为 1mm/min。记录试件破坏时的最大压力 $P(N)$ 。

4 将第二组试件放入恒温冰箱(或家用冰箱的冷冻室), 冷冻温度为 $-18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 保持冰冻 $16\text{h} \pm 1\text{h}$ 。

5 将第二组经过冰冻的试件取出, 称重, 用游标卡尺量试件的高度 h_2 , 准确到 0.1mm, 然后放入室温为 20°C 的水槽中融化, 保持 $8\text{h} \pm 1\text{h}$ 。

6 将第二组经过冻融循环的试件从水槽中取出, 用软物吸去试件表面自由水, 并称试件的质量, 然后放入冰箱中, 重复第一个冻融循环的过程。

7 根据试验要求, 分别冻融 5 个或 10 个循环。对最后一个冻融循环的试件, 从冰箱中取出, 放入水槽中饱水 24h, 饱水结束后从水中取出, 拭去表面的自由水, 然后称重, 量高。

8 把经过冻融循环的试件放到路面材料试验仪的升降台上, 进行抗压试验。试验过程中, 应使试件的形变等速增加, 并保持速率约为 1mm/min。记录破坏时的最大压力 $P(N)$ 。

A.2.7 计算

1 试件的无侧限抗压强度按下式计算。

$$R_c(R_{DC}) = P/A = 0.000\ 057P \quad (\text{A.2.7-1})$$

式中: R_c, R_{DC} ——试件冻融前、后的饱水无侧限抗压强度(MPa);

P ——试件破坏时的最大压力(N);

A ——试件的截面积(mm^2)。

2 试验的允许误差

试件的试验偏差系数 $C_v(\%)$ 应不大于 20%。

3 半刚性基层材料冻融残留抗压强度比的计算

$$\text{BDR} = (R_{DC}/R_c) \times 100\% \quad (\text{A.2.7-2})$$

式中: BDR——半刚性基层材料冻融残留强度比(%)。

R_c, R_{DC} 意义同式(A.2.7-1)。

附录 B 气候区有关资料

表 B.1 1960~2000 年各省(市、自治区)气候统计资料

站名	省份	纬度(°)	气温(°C)						最高、最低气温(°C)			冻结指数	
			最低气温		最高气温		98%保证率		多年平均	极大值			
			多年平均	标准差	最热7d多年平均	标准差	最高气温	最低气温					
亳州	安徽	33.87	-12	3	36	2	40	-18	39	81			
合肥	安徽	31.87	-9	2	36	1	38	-13	16	33			
黄山	安徽	30.13	-18	2	23	1	25	-22	249	347			
北京	北京	39.93	-16	3	34	2	38	-22	178	308			
厦门	福建	24.48	4	1	34	1	36	2	—	—			
九仙山	福建	25.72	-10	2	25	1	27	-14	—	—			
建瓯	福建	27.05	-5	2	37	1	39	-9	—	—			
福州	福建	26.08	1	2	36	1	38	-3	—	—			
酒泉	甘肃	39.77	-25	3	31	1	33	-31	699	858			
兰州	甘肃	36.05	-17	2	33	2	37	-21	276	338			
天水	甘肃	34.58	-14	2	32	2	36	-18	105	154			
湛江	广东	21.22	6	2	34	1	36	2	—	—			
广州	广东	23.13	3	2	35	1	37	-1	—	—			
韶关	广东	24.8	-1	2	36	1	38	-5	—	—			
南宁	广西	22.82	2	2	35	1	37	-2	—	—			

续上表

站名	省份	纬度(°)	气温(°C)						最高、最低气温(°C)			冻结指数	
			最低气温		最高气温		标准差	最高气温	98%保证率	多年平均	极大值		
			多年平均	标准差	最热7d多年平均	最高气温							
北海	广西	21.48	4	2	33	1	35	0	—	—			
桂林	广西	25.32	-2	2	35	1	37	-6	—	—			
威宁	贵州	26.87	-9	2	25	1	27	-13	—	—			
贵阳	贵州	26.58	-5	2	31	1	33	-9	—	—			
罗甸	贵州	25.43	-1	2	35	1	37	-5	—	—			
三亚	海南	18.23	12	3	33	1	35	6	—	—			
海口	海南	20.03	8	2	35	1	37	4	—	—			
西沙	海南	16.83	18	1	33	1	35	16	—	—			
石家庄	河北	38.03	-15	3	35	1	37	-21	113	184			
围场	河北	41.93	-26	2	29	2	33	-30	1 083	1 233			
张家口	河北	40.78	-21	2	33	2	37	-25	599	708			
安阳	河南	36.12	-13	3	35	1	37	-19	69	153			
三门峡	河南	34.8	-11	2	35	2	39	-15	53	93			
郑州	河南	34.72	-12	2	35	2	39	-16	48	91			
南阳	河南	33.03	-10	3	35	2	39	-16	22	67			
漠河	黑龙江	53.47	-47	3	29	2	33	-53	3 573	4 148			
黑河	黑龙江	50.25	-37	3	30	2	34	-43	2 450	2 843			
哈尔滨	黑龙江	45.75	-34	3	31	1	33	-40	1 623	2 140			
绥芬河	黑龙江	44.38	-31	2	29	2	33	-35	1 586	2 009			
宜昌	湖北	30.7	-4	2	37	1	39	-8	1	10			
荆州	湖北	30.33	-6	3	35	1	37	-12	2	12			
武汉	湖北	30.62	-9	3	36	1	38	-15	5	19			
衡阳	湖南	26.9	-4	2	37	1	39	-8	—	—			

站名	省份	纬度(°)	气温(°C)						最高、最低气温(°C)			冻结指数	
			最低气温		最高气温		98%保证率		多年平均	极大值			
			多年平均	标准差	最热7d多年平均	标准差	最高气温	最低气温					
南岳	湖南	27.3	-12	2	27	1	29	-16	-	-			
岳阳	湖南	29.38	-5	3	35	1	37	-11	-	-			
白城	吉林	45.63	-31	3	32	2	36	-37	1 487	2 092			
长春	吉林	43.9	-29	3	31	2	35	-35	1 308	1 799			
桦甸	吉林	42.98	-37	4	30	2	34	-45	1 504	2 088			
松江	吉林	42.53	-38	3	29	2	33	-44	1 631	1 958			
徐州	江苏	34.28	-12	3	35	1	37	-18	42	76			
南京	江苏	32	-10	2	35	1	37	-14	15	33			
南通	江苏	32.02	-8	2	34	1	36	-12	9	25			
赣州	江西	25.85	-3	1	36	1	38	-5	-	-			
南昌	江西	28.6	-5	2	37	1	39	-9	-	-			
庐山	江西	29.58	-13	2	28	1	30	-17	-	-			
景德镇	江西	29.3	-7	2	36	1	38	-11	-	-			
开原	辽宁	42.53	-31	3	31	2	35	-37	1 095	1 542			
锦州	辽宁	41.13	-21	3	31	2	35	-27	546	865			
沈阳	辽宁	41.73	-27	2	31	2	35	-31	882	1 225			
大连	辽宁	38.9	-16	3	29	1	31	-22	242	360			
图里河	内蒙古	50.48	-46	2	27	2	31	-50	3 370	3 902			
海拉尔	内蒙古	49.22	-40	3	30	2	34	-46	2 631	3 097			
乌拉特后旗	内蒙古	41.57	-29	3	31	2	35	-35	1 187	1 356			
呼和浩特	内蒙古	40.82	-25	3	31	2	35	-31	899	1 028			
锡林浩特	内蒙古	43.95	-34	3	32	2	36	-40	1 828	2 060			
银川	宁夏	38.48	-22	3	32	1	34	-28	503	607			

续上表

站名	省份	纬度(°)	气温(°C)						最高、最低气温(°C)*			冻结指数	
			最低气温		最高气温		98%保证率		多年平均	极大值			
			多年平均	标准差	最热7d多年平均	最高气温	标准差	最高气温			最低气温		
固原	宁夏	36	-24	3	28	2	32	-30	600	736			
德令哈	青海	37.37	-27	4	27	2	31	-35	952	1 093			
西宁	青海	36.62	-21	2	28	2	32	-25	594	760			
伍道梁	青海	35.22	-32	2	16	2	20	-36	2 443	2 579			
清水河	青海	33.8	-37	3	16	1	18	-43	2 362	2 804			
济南	山东	36.68	-13	2	35	1	37	-17	69	171			
泰山	山东	36.25	-22	2	23	1	25	-26	654	785			
沂源	山东	36.18	-16	2	33	1	35	-20	158	203			
青岛	山东	36.07	-11	2	30	1	32	-15	64	115			
大同	山西	40.1	-26	2	31	2	35	-30	830	940			
五台山	山西	39.03	-35	3	16	2	20	-41	1 914	2 501			
太原	山西	37.78	-20	2	32	1	34	-24	331	393			
运城	山西	35.03	-14	2	36	2	40	-18	65	102			
榆林	陕西	38.23	-25	3	33	2	37	-31	651	804			
延安	陕西	36.6	-20	2	33	1	35	-24	324	466			
西安	陕西	34.3	-11	3	36	1	38	-17	46	92			
汉中	陕西	33.07	-7	1	33	2	37	-9	4	22			
上海龙华	上海	31.17	-7	2	35	1	37	-11	—	—			
石渠	四川	32.98	-32	3	18	1	20	-38	1 524	1 661			
松潘	四川	32.65	-18	2	25	2	29	-22	270	369			
成都	四川	30.67	-4	1	33	1	35	-6	0	2			

站名	省份	纬度(°)	气温(°C)						最高、最低气温(°C)		冻结指数	
			最低气温		最高气温		标准差	98%保证率	多年平均	极大值		
			多年平均	标准差	最热7d多年平均	最高气温					最低气温	
康定	四川	30.05	-12	2	23	1	25	-16	178	235		
西昌	四川	27.9	-2	2	32	2	36	-6	—	—		
万源	四川	32.07	-6	2	34	1	36	-10	1	11		
天津	天津	39.1	-15	3	33	1	35	-21	207	317		
那曲	西藏	31.48	-31	4	18	2	22	-39	1 382	1 712		
拉萨	西藏	29.72	-15	2	26	2	30	-19	108	182		
帕里	西藏	27.73	-26	3	14	1	16	-32	1 025	1 752		
阿勒泰	新疆	47.73	-35	5	32	1	34	-45	1 527	1 838		
青河	新疆	46.67	-41	5	29	2	33	-51	2 287	2 780		
乌鲁木齐	新疆	43.78	-27	4	34	2	38	-35	1 082	1 462		
喀什	新疆	39.47	-18	4	34	1	36	-26	272	383		
哈密	新疆	42.82	-23	3	37	2	41	-29	692	897		
中甸	云南	27.83	-20	3	21	1	23	-26	198	324		
昭通	云南	27.35	-8	2	28	1	30	-12	32	57		
昆明	云南	25.02	-3	2	27	1	29	-7	0	1		
景洪	云南	22	6	2	35	2	39	2	—	—		
杭州	浙江	30.23	-6	2	36	1	38	-10	4	13		
温州	浙江	28	-3	1	34	1	36	-5	—	—		
沙坪坝	重庆	29.58	1	2	38	1	40	-3	—	—		
西阳	重庆	28.8	-5	1	33	1	35	-7	—	—		

附录 C 沥青混合料矿料级配与沥青贯入式、沥青表面处治材料规格和用量

表 C.1 各种沥青混合料的矿料级配表

级配类型	通过各筛孔(mm)的质量百分率(%)														
	53	37.5	31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-5								100	90~100	55~75	35~55	20~40	12~28	7~18	5~10
AC-10							100	90~100	45~75	30~58	20~44	13~32	9~23	6~16	4~8
AC-13						100	90~100	68~85	38~68	24~50	15~38	10~28	7~20	5~15	4~8
AC-16					100	90~100	70~92	60~80	34~62	20~48	13~36	9~26	7~18	5~14	4~8
AC-20			100	100	90~100	74~92	62~82	50~72	26~56	16~44	12~33	8~24	5~17	4~13	3~7
AC-25			100	90~100	70~90	60~83	51~76	40~65	24~52	14~42	10~33	7~24	5~17	4~13	3~7
SMA-13						100	90~100	50~75	20~34	15~26	14~24	12~20	10~16	9~15	8~12
SMA-16					100	90~100	65~85	45~65	20~32	15~24	14~22	12~18	10~15	9~14	8~12
SMA-20				100	90~100	72~92	62~82	40~55	18~30	13~22	12~20	10~16	9~14	8~13	8~12
ATB-25			100	90~100	60~80	48~68	42~62	32~52	20~40	15~32	10~25	8~18	5~14	3~10	2~6
ATB-30		100	90~100	70~90	53~72	44~66	39~60	31~51	20~40	15~32	10~25	8~18	5~14	3~10	2~6
ATB-40	100	90~100	72~92	65~85	49~71	43~63	37~57	30~50	20~40	15~32	10~25	8~18	5~14	3~10	2~6
AM-13						100	90~100	50~80	20~45	8~28	4~20	2~16	0~10	0~8	0~6
AM-16					100	90~100	60~85	45~68	18~40	6~25	3~18	1~14	0~10	0~8	0~5
AM-20				100	90~100	60~85	50~75	40~65	15~40	5~22	2~16	1~12	0~10	0~8	0~5
AM-25			100	70~98	50~85	—	32~62	20~50	6~29	6~18	3~15	2~10	1~7	1~6	1~4
AM-40	100	75~98	67~96	50~80	25~60	—	15~40	10~35	6~25	6~18	3~15	2~10	1~7	1~6	1~4
ATPB-25			100	80~100	60~100	45~90	30~82	16~70	0~3	0~3	0~3	0~3	0~3	0~3	0~3
ATPB-30		100	80~100	70~95	53~85	36~80	26~75	14~60	0~3	0~3	0~3	0~3	0~3	0~3	0~3
ATPB-40	100	70~100	65~90	55~85	43~75	32~70	20~65	12~50	0~3	0~3	0~3	0~3	0~3	0~3	0~3

表 C.2 沥青贯入式面层材料规格和用量(方孔筛)

沥青品种	石油沥青					
	40		50		60	
厚度(mm)	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
沥青品种	石油沥青				备 注	
厚度(mm)	70		80			
规格和用量	规格	用量	规格	用量		
封层料	S13(S14)	4~6	S13(S14)	4~6		
第三遍沥青		1.0~1.2		1.0~1.2		
第二遍嵌缝料	S10(S11)	11~13	S10(S11)	11~13		
第二遍沥青		2.4~2.6		2.6~2.8		
第一遍嵌缝料	S6(S8)	18~20	S6(S8)	20~22		
第一遍沥青		3.3~3.5		4.0~4.2		
主层石料	S3	80~90	S1(S2)	95~100		
沥青总用量	6.7~7.3		7.6~8.2			

1. 在高寒地区及干旱风沙大的地区,可超出高限,再增加5%~10%。
2. 集料用量单位为 $m^3/1000m^2$, 沥青及沥青乳液用量单位为 kg/m^2

表 C.3 表面加铺拌和层时(上拌下贯式)贯入层部分的材料规格和用量(方孔筛)

沥青品种	石油沥青					
	40		50		60	
厚度(mm)	规格	用量	规格	用量	规格	用量
第二遍嵌缝料	S12	5~6	S12(S11)	7~9	S12(S11)	7~9
第二遍沥青		1.4~1.6		1.6~1.8		1.6~1.8
第一遍嵌缝料	S10(S9)	12~14	S8	16~18	S8(S7)	16~18
第一遍沥青		2.0~2.3		2.6~2.8		3.2~3.4
主层石料	S5	45~50	S4	55~60	S3(S2)	66~76
沥青总用量	3.4~3.9		4.2~4.6		4.8~5.2	

续上表

沥青品种	石油沥青		备 注
厚度(mm)	70		
规格和用量	规格	用量	
第二遍嵌缝料	S10(S11)	8~10	
第二遍沥青		1.7~1.9	
第一遍嵌缝料	S6(S8)	18~20	
第一遍沥青		4.0~4.2	
主层石料	S2(S3)	80~90	
沥青总用量	5.7~6.1		在高寒地区及干旱风沙大的地区,可超出高限,再增加5%~10%

表 C.4 沥青表面处治面层材料规格和用量(方孔筛)

沥青种类	类型	厚度 (mm)	集料(m ³ /1 000m 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
			规格	用量	规格	用量	规格	用量				
石油沥青	单层	10	S12	7~9					1.0~1.2			1.0~1.2
		15	S10	12~14					1.4~1.6			1.4~1.6
	双层	15	S10	12~14	S12	7~8			1.4~1.6	1.0~1.2		2.4~2.8
		20	S9	16~18	S12	7~8			1.6~1.8	1.0~1.2		2.6~3.0
		25	S8	18~20	S12	7~8			1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2
	三层	25	S8	18~20	S12	12~14	S12	7~8	1.6~1.8	1.2~1.4	1.0~1.2	3.8~4.4
30		S6	20~22	S12	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	05	S14	7~9					0.9~1.0			0.9~1.0
	双层	10	S12	9~11	S14	4~6			1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2
	三层	30	S6	20~22	S10	9~11	S12 S14	4~6 3.5~5.5	2.0~2.2	1.8~2.0	1.0~1.2	4.8~5.4

注:1.表中乳化沥青的乳液用量按照蒸发残留物含量60%计算,如含量不同应予换算。

2.在高寒地区及干旱风沙大的地区,可超出高限5%~10%。

附录 D 无结合材料材料的级配组成

表 D.1 级配碎石混合料的级配组成

层位	通过下列筛孔(mm)质量百分率(%)												液限 (%)	塑指 (%)	备 注			
	37.5	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3				0.15	0.075	
上基层			100		85~100		60~80	30~50		15~30	10~20			0~5			防治反射裂 缝过渡层	
基层	100	90~100	79~95	60~85	53~80	48~74	40~65	25~50	18~40	13~32	9~25	6~20	3~13	0~7			连续型	
		100	90~100	75~95	66~88	59~82	46~71	30~55	18~40	13~32	9~25	6~20	3~13	0~7				
		100	85~95	66~80	44~56	37~48	31~41	28~38	18~28	12~20	8~14	5~11	3~9	0~6		<25	<8	骨架密实型
底基层 及垫层	95~100	85~95	75~90	60~82	53~78	48~74	40~65	25~50	18~40	13~32	9~25	6~20	3~13	0~7				连续型
	100	85~100	65~85		42~67		20~40	10~27		8~20	5~18			0~10				骨架型
		100	80~100		56~87		30~60	18~46		10~33	5~20			0~10				连续型

注:1.上基层是指沥青面层下与半刚性基层之间设置级配碎石,该层的级配宜符合此规定。

2.潮湿多雨地区的基层塑性指数不大于4%。

3.为排水与防冻垫层时,其0.075mm通过率不超过5%。

表 D.2 级配砾石结构层的级配组成

层位	编号	通过下列筛孔(mm)质量百分率(%)										液限 (%)	塑指 (%)
		53	37.5	31.5	26.5	19	9.5	4.75	1.18	0.6	0.075		
砂石路面层 ^①	1		100	90~100		65~85	45~70	30~55	20~37	15~25	7~12	<43	12~21
	2			100	85~100	70~90	50~70	40~60	25~40	20~32	8~15	<43	12~21
	3			100		85~100	60~80	45~65	30~50	20~32	8~15	<43	12~18
基层及底基层 ^②	1		100	90~100		65~85	45~70	30~55	15~35	10~20	4~10	<28	<9
	2			100	90~100	75~90	50~70	30~55	15~35	10~20	4~10	<28	<9
	3				100	85~100	60~80	30~50	15~30	10~20	2~8	<28	<9
垫层	1	100		90~100		65~85		30~50		8~25	0~5	<28	<9

注:①层面上可不设磨耗层,若加铺磨耗层,0.5mm以下细料含量和塑性指数宜用下限。

②潮湿多雨地区的基层塑性指数不大于6%。

附录 E 材料设计参数参考资料

表 E.1 沥青混合材料设计参数

材料名称		抗压模量 (MPa)		15℃劈裂强度 (MPa)	备注
		20℃	15℃		
细粒式沥青混凝土	密级配	1 200 ~ 1 600	1 800 ~ 2 200	1.2 ~ 1.6	AC-10, AC-13
	开级配	700 ~ 1 000	1 000 ~ 1 400	0.6 ~ 1.0	OGFC
沥青玛蹄脂碎石		1 200 ~ 1 600	1 600 ~ 2 000	1.4 ~ 1.9	SMA
中粒式沥青混凝土		1 000 ~ 1 400	1 600 ~ 2 000	0.8 ~ 1.2	AC-16, AC-20
密级配粗粒式沥青混凝土		800 ~ 1 200	1 000 ~ 1 400	0.6 ~ 1.0	AC-25
沥青碎石基层	密级配	1 000 ~ 1 400	1 200 ~ 1 600	0.6 ~ 1.0	ATB-25, ATB-35
	半开级配	600 ~ 800	—	—	AM-25, AM-40
沥青贯入式		400 ~ 600	—	—	—

表 E.2 基层、底基层材料设计参数

材料名称	配合比或规格要求	抗压模量 E (MPa) (弯沉计算用)	抗压模量 E (MPa) (拉应力计算用)	劈裂强度 σ (MPa)
水泥砂砾	4% ~ 6%	1 100 ~ 1 500	3 000 ~ 4 200	0.4 ~ 0.6
水泥碎石	4% ~ 6%	1 300 ~ 1 700	3 000 ~ 4 200	0.4 ~ 0.6
二灰砂砾	7:13:80	1 100 ~ 1 500	3 000 ~ 4 200	0.6 ~ 0.8
二灰碎石	8:17:80	1 300 ~ 1 700	3 000 ~ 4 200	0.5 ~ 0.8
石灰水泥粉煤灰砂砾	6:3:16:75	1 200 ~ 1 600	2 700 ~ 3 700	0.4 ~ 0.55
水泥粉煤灰碎石	4:16:80	1 300 ~ 1 700	2 400 ~ 3 000	0.4 ~ 0.55
石灰土碎石	粒料 > 60%	700 ~ 1 100	1 600 ~ 2 400	0.3 ~ 0.4
碎石灰土	粒料 > 40% ~ 50%	600 ~ 900	1 200 ~ 1 800	0.25 ~ 0.35
水泥石灰砂砾土	4:3:25:68	800 ~ 1 200	1 500 ~ 2 200	0.3 ~ 0.4
二灰土	10:30:60	600 ~ 900	2 000 ~ 2 800	0.2 ~ 0.3
石灰土	8% ~ 12%	400 ~ 700	1 200 ~ 1 800	0.2 ~ 0.25
石灰土处理路基	4% ~ 7%	200 ~ 350	—	—
级配碎石	基层连续级配型	300 ~ 350	—	—
	基层骨架密实型	300 ~ 500	—	
	底基层、垫层	200 ~ 250	—	

续上表

材料名称	配合比或规格要求	抗压模量 E (MPa) (弯沉计算用)	抗压模量 E (MPa) (拉应力计算用)	劈裂强度 σ (MPa)
填隙碎石	底基层	200 ~ 280	—	—
未筛分碎石	做底基层用	180 ~ 220	—	—
级配砂砾、天然砂砾	做底基层用	150 ~ 200	—	—
中粗砂	垫层	80 ~ 100	—	—

注:拉应力计算参数以实测为主,此表仅供参考。

表 E.3 碎砾石土设计参数

碎石含量 (%)	路基干湿类型	回弹模量值 (MPa)	密度 (t/m^3)	含水量 (%)
> 70	干燥	90 ~ 100	2.05 ~ 2.25	7
	中湿	70 ~ 80	2.00 ~ 2.20	8
	潮湿	55 ~ 65	1.95 ~ 2.15	11
50 ~ 70	干燥	75 ~ 85	2.00 ~ 2.20	7
	中湿	55 ~ 65	1.95 ~ 2.15	8
	潮湿	45 ~ 55	1.90 ~ 2.10	11
30 ~ 50	干燥	47 ~ 57	1.90 ~ 2.10	< 10
	中湿	30 ~ 40	1.85 ~ 1.95	10 ~ 15
	潮湿	20 ~ 30	1.75 ~ 1.85	> 15
< 30	干燥	30 ~ 40	1.80 ~ 1.90	< 10
	中湿	15 ~ 25	1.70 ~ 1.80	10 ~ 15
	潮湿	15	1.60 ~ 1.70	> 15

附录 F 查表法估计土基回弹模量参考值

F.0.1 确定临界高度

临界高度指在不利季节,路基分别处于干燥、中湿或潮湿状态时,路床顶面距地下水或地表积水水位的最小高度,可根据土质、气候条件按当地经验确定。当缺乏实际资料时,中湿、潮湿状态的路基临界高度(H_1 、 H_2 、 H_3)可参考表 F.0.1 选用。

F.0.2 拟定路基土的平均稠度

在新建公路的初步设计中,因无法实测土的平均稠度,可根据当地经验或路基临界高度,判断各路段路基的干湿类型,利用条文中表 5.1.4-1 和表 5.1.4-2 及论证得到各路段路基土的平均稠度 w_c 值。

F.0.3 估计路基回弹模量设计值

根据路基土的土类和气候区以及拟定的路基土的平均稠度,可参考表 F.0.3 估计路基回弹模量设计值。当采用重型击实标准时,路基回弹模量设计值可较表列数值提高 20% ~ 35%。模量设计值可较表列数值提高 20% ~ 35%。

表 F.0.1 路基临界高度参考值

自然 区划	土组 路床面至各水位 临界高度(m)		砂 性 土								
			地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水		
			H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
II ₁											
II ₂											
II ₃	1.9 ~ 2.2	1.3 ~ 1.6									
II ₄											
II ₅	1.1 ~ 1.5	0.7 ~ 1.1									
III ₁											
III ₂	1.3 ~ 1.6	1.1 ~ 1.3	0.9 ~ 1.1	1.1 ~ 1.3	0.9 ~ 1.1	0.6 ~ 0.9	0.9 ~ 1.1	0.6 ~ 0.9	0.4 ~ 0.6		
III ₃	1.3 ~ 1.6	1.1 ~ 1.3	0.9 ~ 1.1	1.1 ~ 1.3	0.9 ~ 1.1	0.6 ~ 0.9	0.9 ~ 1.1	0.6 ~ 0.9	0.4 ~ 0.6		
III ₄											
III _{1a}											

续上表

自然 区划	土组 路床面至各水位 临界高度(m)		砂 性 土						
	地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水		
	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
III _{2a}	1.4~1.7	1.0~1.3							
IV ₁ 、IV _{1a}									
IV ₂									
IV ₃									
IV ₄	1.0~1.1	0.7~0.8							
IV ₅									
IV ₆	1.0~1.1	0.7~0.8							
IV _{6a}									
IV ₇				0.9~1.0	0.7~0.8	0.6~0.7			
V ₁	1.3~1.6	1.1~1.3	0.9~1.1	1.1~1.3	0.9~1.1	0.6~0.9	0.9~1.1	0.6~0.9	0.4~0.6
V ₂ 、V _{2a} (紫色土)									
V ₃									
V ₂ 、V _{2a} (黄壤土、现代冲积土)									
V ₄ 、V ₅ 、V _{5a}									
VI ₁	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(1.8)	(1.4)	(1.0)	<u>0.7</u>	<u>0.3</u>	
VI _{1a}	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(1.7)	(1.3)	(1.0)	(1.0)	(0.5)	
VI ₂	1.4~1.7	1.1~1.4	0.9~1.1	1.1~1.4	0.9~1.1	0.6~0.9	0.9~1.1	0.76~0.9	0.4~0.6
VI ₃	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(1.9)	(1.5)	(1.1)			
VI ₄	(2.2)	(1.8)	(1.4)	(1.9)	(1.5)	(1.2)	<u>0.8</u>		
VI _{4a}	(1.9)	(1.5)	(1.1)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)		
VI _{4b}	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(1.7)	(1.3)	(1.0)			
VII ₁	(2.2)	(1.9)	(1.6)	(2.1)	(1.6)	(1.3)	(0.8)	(0.4)	
VII ₂									
VII ₃	1.5~1.8	1.2~1.5	0.9~1.2	1.2~1.5	0.9~1.2	0.6~0.9	0.9~1.2	0.7~0.9	0.4~0.6
VII ₄	(2.1)	(1.6)	1.3	(1.8)	(1.4)	1.0	(0.9)		
VII ₅	(3.0)	(2.4)	1.9	(2.4)	(2.0)	1.6	(1.5)	(1.1)	(0.5)
VII _{6a}									

续上表

自然 区 划	土 组 路床面至各水位 临界高度 (m)			黏 性 土								
				地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水		
	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
II ₁	2.9	2.2										
II ₂	2.7	2.0										
II ₃	2.5	1.8										
II ₄	2.4~2.6	1.9~2.1	1.2~1.4									
II ₅	2.1~2.5	1.6~2.0										
III ₁												
III ₂	2.2~2.75	1.7~2.2	1.3~1.7	1.75~2.2	1.3~1.7	0.9~1.3	1.3~1.75	0.9~1.3	0.45~0.9			
III ₃	2.1~2.5	1.6~2.1	1.2~1.6	1.6~2.1	1.2~1.6	0.9~1.2	1.2~1.6	0.9~1.2	0.55~0.9			
III ₄												
III _{1a}												
III _{2a}												
IV ₁ 、IV _{1a}	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9									
IV ₂	1.6~1.7	1.1~1.2	0.8~0.9									
IV ₃	1.5~1.7	1.1~1.2	0.8~0.9	0.8~0.9	0.5~0.6	0.3~0.4						
IV ₄	1.7~1.8	1.0~1.2	0.8~1.0									
IV ₅	1.7~1.9	1.3~1.4	0.9~1.0	1.0~1.1	0.6~0.7	0.3~0.4						
IV ₆	1.8~2.0	1.3~1.5	1.0~1.2	0.9~1.0	0.5~0.6	0.3~0.4						
IV _{6a}	1.6~1.7	1.1~1.2	0.7~0.8									
IV ₇	1.7~1.8	1.4~1.5	1.1~1.2	1.0~1.1	0.7~0.8	0.4~0.5						
V ₁	2.0~2.4	1.6~2.0	1.2~1.6	1.6~2.0	1.2~1.6	0.8~1.2	1.2~1.6	0.8~1.2	0.45~0.8			
V ₂ 、V _{2a} (紫色土)	2.0~2.2	0.9~1.1	0.4~0.6									
V ₃	1.7~1.9	0.8~1.0	0.4~0.6									
V ₂ 、V _{2a} (黄壤土、现代冲积土)	1.7~1.9	0.7~0.9	0.3~0.5									
V ₄ 、V ₅ 、V _{5a}	1.7~1.9	0.9~1.1	0.4~0.6									
VI ₁	(2.3)	(1.9)	(1.6)	(2.1)	(1.7)	(1.3)	0.9	0.5				
VI _{1a}	(2.2)	(1.9)	(1.5)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)				
VI ₂	2.2~2.75	1.65~2.2	1.2~1.65	1.65~2.2	1.2~1.65	0.75~1.2	1.2~1.65	0.75~1.2	0.45~0.75			
VI ₃	(2.4)	(2.0)	(1.6)	(2.1)	(1.7)	(1.4)	(0.8)	(0.6)				
VI ₄	2.4	2.0	1.6	(2.2)	(1.7)	(1.3)	<u>1.0</u>	<u>0.6</u>				
VI _{4a}	(2.2)	(1.7)	(1.4)	(1.9)	(1.4)	(1.1)	<u>0.7</u>					

续上表

自然区划		黏性土								
		地下水			地表长期积水			地表临时积水		
		H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
	土组 路床面至各水位 临界高度(m)									
	VI _{4b}	(2.3)	(1.8)	(1.4)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(0.8)		
	VII ₁	2.2	(1.9)	(1.5)	(2.1)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)	
	VII ₂	(2.3)	(1.9)	(1.6)	1.8	1.4	1.1	0.8	0.4	
	VII ₃	2.3~2.85	1.75~2.3	1.3~1.75	1.75~2.3	1.3~1.75	0.75~1.3	1.3~1.75	0.75~1.3	0.45~0.75
	VII ₄	(2.1)	(1.6)	(1.3)	(1.8)	(1.4)	(1.1)	(0.7)		
	VII ₅	(3.3)	(2.6)	(2.1)	(2.4)	(2.0)	(1.6)	(1.5)	(1.1)	(0.5)
	VII _{6a}	(2.8)	2.4	1.9	2.5	2.0	1.6	1.4	(0.8)	
自然区划		粉性土								
		地下水			地表长期积水			地表临时积水		
		H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
	土组 路床面至各水位 临界高度(m)									
	II ₁	3.8	3.0	2.2						
	II ₂	3.4	2.6	1.9						
	II ₃	3.0	2.2	1.6						
	II ₄	2.6~2.8	2.1~2.3	1.4~1.6						
	II ₅	2.4~2.9	1.8~2.3							
	III ₁	2.4~3.0	1.7~2.4							
	III ₂	2.4~2.85	1.9~2.4	1.4~1.9	1.9~2.4	1.0~1.9	1.0~1.4	1.4~1.9	1.0~1.4	0.5~1.0
	III ₃	2.3~2.75	1.8~2.3	1.4~1.8	1.8~2.3	1.4~1.8	1.0~1.4	1.4~1.8	1.0~1.4	0.55~1.0
	III ₄	2.4~3.0	1.7~2.4							
	III _{1a}	2.4~3.0	1.7~2.4							
	III _{2a}	2.4~3.0	1.7~2.4							
	IV ₁ 、IV _{1a}	1.9~2.1	1.3~1.4	0.9~1.0						
	IV ₂	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9						
	IV ₃	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9	0.9~1.0	0.6~0.7	0.3~0.4			
	IV ₄									
	IV ₅	1.79~2.1	1.3~1.5	0.9~1.1						
	IV ₆	2.0~2.2	1.5~1.6	1.0~1.1						
	IV _{6a}	1.8~2.0	1.3~1.4	0.9~1.1						

续上表

自然 区 划	土 组 路床面至各水位 临界高度 (m)	粉 性 土								
		地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水		
		H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3	H_1	H_2	H_3
IV ₇										
V ₁		2.2~2.65	1.7~2.2	1.3~1.7	1.7~2.2	1.3~1.7	0.9~1.3	1.3~1.7	0.9~1.3	0.55~0.9
V ₂ 、V _{2a} (紫色土)		2.3~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7						
V ₃		1.9~2.1	1.3~1.5	0.5~0.7						
V ₂ 、V _{2a}		2.3~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7						
(黄壤土、现代冲积土)										
V ₄ 、V ₅ 、V _{5a}		2.2~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7						
VI ₁		(2.5)	(2.0)	(1.6)	(2.3)	(1.8)	(1.3)	(1.2)	0.7	0.4
VI _{1a}		(2.5)	(2.0)	(1.5)	(2.2)	(1.7)	(1.2)	0.6		
VI ₂		2.3~2.15	1.85~2.3	1.4~1.85	1.85~2.3	1.4~1.85	0.9~1.4	1.4~1.85	0.9~1.4	0.5~0.9
VI ₃		(2.6)	(2.1)	(1.6)	(2.4)	(1.8)	(1.4)	(1.3)	(0.7)	
VI ₄		(2.6)	(2.2)	<u>1.7</u>	<u>2.4</u>	1.9	1.4	1.3	0.8	
VI _{4a}		(2.4)	(1.9)	<u>1.4</u>	<u>2.1</u>	1.6	<u>1.1</u>	<u>1.0</u>	0.5	
VI _{4b}		(2.5)	<u>1.9</u>	<u>1.4</u>	(2.2)	(1.7)	(1.2)	<u>1.0</u>	0.5	
VII ₁		(2.5)	(2.0)	(1.5)	(2.4)	<u>1.8</u>	1.3	1.1	0.6	
VII ₂		(2.5)	(2.1)	(1.6)	(2.2)	(1.6)	(1.1)	0.9	0.4	
VII ₃		2.4~3.1	2.0~2.4	1.6~2.0	(2.0~2.4)	(1.6~2.0)	(1.0~1.6)	(1.6~2.0)	1.0~1.6	0.55~1.0
VII ₄		(2.3)	(1.8)	(1.3)	(2.1)	(1.6)	(1.1)			
VII ₅		(3.8)	(2.2)	(1.6)	(2.9)	(2.2)	(1.5)		(1.3)	(0.5)
VII _{6a}		(2.9)	(2.5)	<u>1.8</u>	(2.7)	2.1	<u>1.5</u>	<u>1.6</u>	1.1	

注:1.表中 H_1 、 H_2 、 H_3 分别为路基干燥、中湿、潮湿状态的临界高度;路床面至地下水位高度小于 H_3 时为过湿路基,须经处治后方能铺筑路面。

2. VI、VII 区有横线者,表示实测资料较少,有括号者表示没有实测资料,根据规律推算的。

3. III₂、III₃、VI₂、VII₃ 资料系甘肃省 1984 年所提建议值,其他地区供参考。

4. 缺少资料的二级区可论证地参考相邻二级区数值,并应积极调研积累本地区的资料。

表 F.0.3 二级自然区划各土组土基回弹模量参考值(MPa)

区划	稠度		0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
	土组												
II ₁	黏质土		19.0	22.0	25.0	26.5	28.0	29.5	31.0				
	粉质土		18.5	22.5	27.0	29.0	31.5	33.5					
II ₂	黏质土		19.5	22.5	26.0	28.0	29.5	31.5	33.5				
	粉质土		20.0	24.5	29.0	31.5	34.0	36.5					
II _{2a}	粉质土		19.0	22.5	26.0	27.5	29.5	31.0					
II ₃	土质砂		21.0	23.5	26.0	27.5	29.0	30.0	31.5	34.5	37.0	45.5	
	黏质土		23.5	27.5	32.0	34.5	36.5	39.0	41.5				
	粉质土		22.5	27.0	32.0	34.5	37.0	40.0					
II ₄	黏质土		23.5	30.0	35.5	39.0	42.0	45.5	50.5	57.0	65.0		
	粉质土		24.5	31.5	39.0	43.0	47.0	51.5	56.0	66.0			
II ₅	土质砂		29.0	32.5	36.0	37.5	39.0	41.0	42.5	46.0	49.5	59.0	69.0
	黏质土		26.5	32.0	38.5	41.5	45.0	48.5	52.0				
	粉质土		27.0	34.5	42.5	46.5	51.0	56.0					
II _{5a}	粉质土		33.5	37.5	42.5	44.5	46.5	49.0					
III ₁	粉质土		27.0	36.5	48.0	54.0	61.0	68.5	76.5				
	土质砂		35.0	38.0	41.5	43.0	44.5	46.0	47.5	50.5	53.5	62.0	70.0
III ₂	黏质土		27.0	31.5	36.5	39.0	41.5	44.0	46.5	52.0	57.5		
	粉质土		27.0	32.5	38.5	42.0	45.0	48.5	51.5	59.0			
III _{2a}	土质砂		37.0	40.0	43.0	44.5	46.0	47.5	49.0	52.0	54.5	62.5	70.0
III ₃	土质砂		36.0	39.0	42.5	44.0	45.5	47.0	48.5	51.5	54.5	63.0	71.0
	黏质土		26.0	30.0	34.5	36.5	38.5	41.0	46.0	47.5	52.0		
	粉质土		26.5	32.0	37.0	40.0	43.0	46.0	49.0	55.0			

区划	稠度		0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
	土组												
III ₄	粉质土		25.0	34.0	45.0	51.5	58.5	66.0	74.0				
			21.5	25.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.5				
			22.0	26.5	32.0	35.0	37.5	40.5					
IV ₂	黏质土 粉质土		19.5	23.0	27.0	29.0	31.0	33.0	35.0				
			31.0	36.5	42.5	45.5	48.5	51.5					
IV ₃	黏质土 粉质土		24.0	28.0	32.5	35.0	37.5	39.5	42.0				
			24.0	29.5	36.0	39.0	42.5	46.0					
IV ₄	土质砂 黏质土 粉质土		28.0	30.5	33.5	35.0	36.5	38.0	39.5	42.0	45.0	53.0	61.0
			25.0	29.5	34.0	36.5	38.5	41.0	43.5				
			23.0	28.0	33.5	36.0	39.0	42.0					
			24.0	26.0	28.0	29.0	30.0	30.5	31.5	33.5	35.0	40.0	44.5 皖、浙、 赣
IV ₅	土质砂 黏质土 粉质土		24.0	26.0	28.0	29.0	30.0	30.5	31.5	33.5	35.0	40.0	44.5 皖、浙、 赣
			22.0	27.0	32.5	33.5	38.5	41.5	44.5				
			28.5	34.0	39.5	42.5	45.5	48.5	51.5				
			26.5	31.0	36.5	39.0	42.0	45.0					
IV ₆	土质砂 黏质土 粉黏土		33.5	37.0	41.0	43.0	44.5	46.5	48.5	52.0	55.5	66.5	77.0
			27.5	33.0	38.0	41.0	44.0	46.5	50.5				
			26.5	31.5	36.5	39.0	42.0	45.0					
IV _{6a}	土质砂 黏质土 粉质土		31.5	35.0	38.5	40.0	42.0	43.5	45.0	48.5	52.0	62.0	72.0
			26.0	31.0	35.5	38.0	40.5	43.5	46.0				
			28.0	34.5	41.0	44.5	48.5	52.0					
IV ₇	土质砂 黏质土 粉质土		35.0	39.0	43.0	45.0	47.0	49.0	51.0	55.0	59.0	70.5	82.0
			24.5	29.5	34.5	37.0	40.0	42.5	44.5				
			27.5	33.5	40.0	43.5	47.5	51.0					

续上表

区划	稠度		0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00	
	土组													
V ₇	土质砂黏质土 粉质土		27.5	31.5	35.5	37.5	39.5	41.5	43.5	48.0	52.0	65.0	78.5	
			27.0	32.0	37.0	39.0	42.5	45.5	48.0	54.0	60.0			
			28.5	34.0	40.0	43.0	46.0	49.5	52.5	59.5				
V ₁ V ₂ V _{2a}	紫色黏质土 紫色粉质土 黄壤黏质土 黄壤粉质土		22.5	26.0	30.0	32.0	34.0	36.0	38.0					
			22.5	27.5	33.5	36.5	40.0	43.0						
			25.0	29.0	33.0	35.5	37.5	40.0	42.0					
			24.5	30.5	37.5	41.0	45.0	49.0						
V ₃	黏质土 粉质土		25.0	29.0	33.0	35.5	37.5	39.5	42.0					
			24.5	30.5	37.5	41.0	45.0	48.5						
V ₄ (四川)	红壤黏质土 红壤粉质土		27.0	32.0	38.0	41.0	44.0	47.0	50.5					
			22.0	27.0	32.5	35.5	38.5	41.5						
VI	土质砂 黏质土 粉质土		51.0	54.0	57.0	58.5	60.0	61.0	62.0	64.5	67.0	73.5	80.0	
			33.5	37.0	41.0	42.5	44.0	45.5	47.2	50.5				
			34.0	38.0	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0					
VI _{1a}	土质砂 黏质土 粉质土		52.5	55.0	58.0	59.0	60.5	61.5	62.5	65.0	67.0	73.0	79.0	
			27.0	31.0	34.5	36.0	38.0	40.0	42.0	45.5				
			31.5	36.5	41.5	44.0	46.5	49.0	51.5					
VI ₂	土质砂黏质土 粉质土		42.0	45.5	49.0	50.5	52.0	53.5	55.5	58.5	61.5	69.0	78.0	
			27.0	30.5	33.5	35.0	37.0	38.0	40.0	43.0	46.5			
			25.5	30.5	35.5	38.0	41.0	43.5	46.0	52.0				
VI ₃	土质砂 黏质土 粉质土		46.0	50.0	53.5	55.0	56.5	58.5	60.0	63.0	66.0	75.0	83.0	
			29.5	33.5	37.5	39.5	44.0	44.0	46.8	50.0				
			29.5	35.0	41.0	43.5	49.5	49.5	52.5					

区 划	稠度		0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
	土组												
VI ₄	土质砂		51.0	53.5	56.5	57.5	59.0	60.0	61.0	63.5	65.5	72.0	77.5
	黏质土		28.5	32.0	36.0	37.5	39.5	41.5	43.5	47.5			
	粉黏土		30.5	34.5	39.0	41.0	43.5	45.5	48.0				
VI _{4a}	土质砂		45.5	49.0	52.5	54.0	56.0	57.5	59.0	62.0	65.0	73.5	81.5
	黏质土		31.0	34.5	38.0	40.0	42.0	44.0	45.5	49.5			
	粉质土		33.0	38.5	44.0	47.0	50.0	52.0	56.0				
VI _{4b}	土质砂		49.5	52.5	55.5	57.0	58.5	59.5	61.0	63.5	65.5	72.5	78.5
	黏质土		30.0	33.0	36.5	38.0	39.5	41.0	42.5	45.5			
	粉质土		31.0	35.5	40.5	43.0	45.5	48.5	51.0				
VII ₁	土质砂		52.0	55.0	58.0	59.5	61.0	62.0	63.5	66.0	69.0	76.0	82.5
	黏质土		26.5	31.5	36.5	39.5	42.0	45.0	48.0	54.0			
	粉质土		30.5	37.0	44.0	47.5	51.5	55.0	59.0				
VII ₂	土质砂		48.0	51.0	54.0	55.0	56.5	58.0	59.0	61.5	64.0	71.0	77.0
	黏质土		25.5	29.5	33.0	35.0	37.0	39.0	41.5	45.5			
	粉质土		28.0	33.5	39.0	42.0	45.0	48.5	51.5				
VII ₃	土质砂		42.5	45.5	49.0	50.5	52.5	53.5	55.0	58.0	60.5	68.5	76.5
	黏质土		20.5	24.5	28.5	30.5	32.5	35.0	37.0	41.5			
	粉质土		23.5	28.0	33.0	36.0	38.5	41.0	44.0				
VII ₄	土质砂		47.0	50.0	53.0	54.5	56.0	57.0	58.5	61.0	63.5	70.5	77.0
	黏质土		22.0	25.5	29.0	30.5	32.5	34.5	36.0	40.0			
VII _{6a}	粉质土		27.5	32.5	37.5	40.5	43.0	46.0	49.0				
	土质砂		45.5	49.0	52.0	53.0	54.5	56.0	57.5	60.0	62.5	70.0	76.5
VII ₅	黏质土		30.0	33.0	37.5	39.5	41.5	43.5	45.0	49.0			
	粉质土		32.5	38.0	43.5	46.0	49.0	51.5	54.5				

附录 G 本规范用词说明

为准确地掌握规范条文,本规范对要求严格程度的用词特作如下规定:

(1)表示很严格,非这样做不可时:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做时:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择,在条件许可时,首先应这样做时:

正面词采用“宜”或“可”;反面词采用“不宜”。

附件

《公路沥青路面设计规范》

(JTG D50—2006)

条 文 说 明

1 总则

1.0.1 随着国民经济的持续发展,公路交通量激增且重载车辆增多,这对路面设计和施工是一个挑战。为提高路面设计水平和工程质量,减少早期损害,总结工程实践的经验教训,吸纳新的科研成果,根据交通部的要求,对原规范进行了修订。

1.0.3 路面设计工作是一个系统工程,不仅限于厚度计算。因原材料性质决定沥青混合料或各种基层混合料的物理力学特性,各种混合料的性质决定各结构层的路用性能,所以,材料选择直接影响路面质量与耐久性。各结构层的组合与当地的气候、交通量与交通组成密切相关,合理的结构组合使路面获得经济、耐久的效果。厚度计算与材料设计参数取值直接相关,没有实测材料参数,厚度计算缺乏依据。若原材料调查不落实,无合理的材料单价,可导致变更设计,突破概、预算,致使投资失控,故应重视材料调查,防止简单地套用路面结构,避免设计变成单纯的厚度计算。

设计工作包括以下具体内容:

(1)调查与收集有关交通量及其组成资料,积极开展轴载谱分布的调查、测试,分析预测设计交通量。

(2)收集当地气候、水文资料,了解沿线地质、路基填挖及干湿状况,通过试验或论证确定路基回弹模量。

(3)应认真做好路用各种材料的调查,并取样试验,根据试验结果选定路面各结构层所需的材料。

(4)施工图设计阶段应进行混合料的目标配合比设计,并测试、确定材料设计参数。

(5)拟定路面结构组合,计算结构厚度。

(6)对路面结构方案进行初期投资技术经济比较或长期成本寿命分析,提出推荐的设计方案。目前我国尚未建立初期投资、营运中的维修、养护费用等全过程的技术经济预估模型,希望有条件的设计、科研单位开展这方面的工作,积累资料。

(7)认真做好路面排水、路面结构内部排水和中央分隔带排水系统设计。

1.0.4 分期修建的方案,由设计单位根据实际情况决定。

1.0.5 路面设计原则强调了认真进行现场调查和交通量的分析预测,是做好设计的基础。对高速公路、一级公路、交通量繁重的公路,设计应根据其重要性和交通量发展的预测,从全寿命成本分析的角度出发进行技术经济比较,推荐设计方案。路面设计除应保护环境和施工人员健康安全外,还应注意废弃料的处理,不污染环境。鼓励积极开展旧沥青

面层、破碎水泥混凝土板和旧基层材料的再生利用,节约资源和投资,保护环境,以利于可持续发展。

1.0.6 根据交公路发〔2001〕620号文关于发布《公路工程行业标准管理导则》的通知,规范分为公路工程建设标准强制性条文、工程行业标准、公路工程行业协会标准、公路工程行业地方标准。本规范为公路工程行业标准,公路工程项目应执行公路工程行业标准。公路工程行业标准中有部分直接涉及质量、安全、环保和其他公众利益的条文为公路工程建设标准强制性条文,是必须执行的规定,其他条文属推荐性条文,可根据当地具体情况运用。

规范对用词有明确规定,应认真理解“本规范用词说明”的含义,领会条文精神实质,并结合当地实际情况和实践经验,合理运用规范条文,使设计更加经济合理,符合实际。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 近年来,由于公路交通事业的迅速发展,出现了路面结构类型多样化的趋势,有必要明确各种沥青路面结构的定义,因此,将基层分为三种:半刚性、柔性、刚性基层,由此组合而成的沥青路面,可分为半刚性基层沥青路面、柔性基层沥青路面、刚性基层沥青路面。

2.1.8 设计年限是指路面在计算厚度时预测交通量的年限。预测未来交通量发展应有一个基准年限,不同公路等级采用不同的基准年限。但设计年限不等于使用年限,因预测交通量与实际交通量往往不一致。我国正处于高速发展时期,公路交通的发展不是按一个固定的模式变化,而是跳跃式发展、不均衡发展,以及超载运输等不确定的因素较多,都会造成预测交通量的偏差。路面设计是以累计标准当量轴次作用下路面产生疲劳破坏计算结构厚度,若交通量发展比预测快、重载车比预测多,则路面可能在达到设计年限之前就产生破坏。路面设计应满足预测累计标准当量轴次所需承载能力和服务功能。维修保养是保证路面处于正常工作状态的关键,路面失养只会加速破坏、缩短使用寿命,因此,在设计年内允许在营运过程中进行恢复表面功能的养护维修或罩面工程。

2.1.11、2.1.12 原规范未明确最大粒径和公称最大粒径的定义,新规范对此加以明确。最大粒径是指混合料中筛孔通过率为100%的最小筛孔尺寸。公称最大粒径是指混合料中筛孔通过率为90%~100%的最小筛孔尺寸。级配的粒径以公称最大粒径命名。如AC-13其公称最大粒径为13mm,最大粒径为16mm;AC-16其公称最大粒径为16mm,最大粒径为19mm或26.5mm。

2.1.18 路面计算采用弹性层状体系理论,由于假设条件与实际路面工作状态的差异,造成弯沉实测值与理论计算值不相等,故通过多条试验路测试、分析总结,提出弯沉综合修正系数。

2.1.19 路面结构或混合料的设计应考虑其最不利状态。在计算厚度时应考虑路面材料、路基的回弹模量在一年的季节变化中处于强度最低的状态为最不利。对路基而言,冰冻地区系指春季冻融时期,非冰冻地区系指雨季。因各地的雨季不同,不利季节也不同,

有的地区是梅雨季节最不利,有的地区是雨量大或雨期长的季节是最不利季节。

对沥青混合料设计而言,对无冰冻地区以夏季高温状态为最不利季节;对冰冻地区以冬季低温状态为最不利季节。

在测试或确定有关材料参数值时,应考虑工程所在地区不同年份、不同季节变化或一年中最不利季节的温度、湿度状态的影响。

3 一般规定

3.1 标准轴载及设计交通量

3.1.1 根据“重载沥青路面设计规范”研究报告,国外资料表明“世界上采用 100kN 为标准轴载的国家最多,占 34%;以 80kN 为标准轴载的国家次之,占 28%;标准轴载大于 100kN 的国家占 26%;标准轴载为 60kN 或 90kN 的国家各占 6%”。由于我国规定的汽车轴重限值单轴为 100kN,双轴 180kN,虽然某些公路超载现象严重,各省已采取了限制超载措施,故仍以双轮组单轴 100kN 为标准轴载。

据调查,重载、超载车多的公路,其轮胎接地压强可达 0.8~1.1MPa,相应的接地面积也有一定增加。对运煤、运建筑材料、疏港公路以及大型车辆为主的公路,设计人员可根据实测汽车的轴重、轮胎压力、当量圆直径资料,经论证适当提高荷载参数。

3.1.2 原规范以弯沉等效的轴载换算公式推导:

不同轴载的弯沉与轴载的关系

$$L_1/L_2 = (P_1/P_2)^b \quad (3-1)$$

设计弯沉值

$$L_d = AN^{-c} \quad (3-2)$$

不同轴载的设计弯沉等效关系

$$L_1/L_2 = AN_1^{-c}/(AN_2^{-c}) = (P_1/P_2)^b \quad (3-3)$$

$$N_1^{-c}/N_2^{-c} = (P_1/P_2)^b \quad (3-4)$$

$$N_1/N_2 = (P_2/P_1)^{b/c} \quad (3-5)$$

$$n = b/c \quad (3-6)$$

式中: $L_1, L_2, P_1, P_2, N_1, N_2$ ——分别为不同车型的弯沉值、轴载和作用次数;

b, c, n, A ——相关系数。

据交通部公路研究所提出的“重载沥青路面设计课题”研究报告,根据理论计算和实际检测的结果,再次确认路面弯沉比与荷载比的 b 次方成正比关系;并根据 ALF 加速加载试验、湖北襄樊试验路、津围公路,以及用落锤式弯沉仪 FWD 在郑洛高速公路、八达岭高速公路的试验分析结果可知,当路面弯沉在 20~40(0.01mm)之间时, b 值平均为 0.93, n 值为 4.65。长安大学提出的“重载沥青路面研究”报告表明:“沥青路面弯沉、弯拉应力曲线随轴重的增加呈非线性增加,轴重 50~130kN 为线性,轴重大于 130kN 呈非线性,考

考虑非线性特点,当轴重大于 130 ~ 300kN 时按弯沉设计的轴载换算公式 n 值可达 5.0 ~ 5.8,推荐 n 值为 5.0,弯拉应力的轴载换算公式中 n 值为 9.0”。

国外资料显示,法国柔性路面用 5 次方,美国沥青协会 AI 采用 4 次方,英国采用 4 次方,澳大利亚采用 5 次方,日本采用 4 次方。因此,本规范规定当轴重小于 130kN 时仍用原规范。

鉴于轴重大于 130kN 时尚缺更充分的依据,对轴重为 130 ~ 220kN 情况可参考上述研究成果,对弯沉设计的轴载换算公式 n 值可取 5.0,弯拉应力 n 值为 9.0。

关于贫混凝土基层,以拉应力为设计指标进行轴载换算时,采用拉应力等效模式的轴载换算公式。对贫混凝土基层疲劳方程做的工作不多。从长安大学的研究结果得知,贫混凝土的疲劳方程如下式,轴载换算采用 12.79 次方。

$$K_s = \sigma_s / \sigma_r = 0.513 N_e^{0.0677} \quad (3-7)$$

根据国外资料,法国为 12 次方,澳大利亚对稳定类的指数也为 12 次方,因此,对贫混凝土基层可参考上述资料用 12 次方计算。

3.1.3 路面设计交通量是根据初期交通量考虑一定设计年限内预估的交通量来计算累计标准当量轴次。因此设计年限是一个计算累计标准当量轴次的基准年限。设计年限不等于使用年限或路面的使用寿命。原规范设计年限一般为 6 ~ 15 年。但与国外相比,我国的设计年限较短。根据国外资料,路面设计中有设计年限和分析年限之分,设计年限的概念与我国相同,分析年限用于进行长期性能、寿命评价。如美国 AASHTO 设计法,分析年限对交通量大的城市道路为 30 ~ 50 年,交通量大的郊区道路为 20 ~ 50 年;对交通量小的城市道路为 15 ~ 25 年,交通量小的砂砾路面为 10 ~ 20 年;设计年限一般为 10 ~ 20 年。英国、法国、德国、南非设计年限一般为 20 年。澳大利亚设计年限为 20 ~ 40 年,加铺罩面为 10 ~ 20 年。日本的设计年限,从疲劳开裂的角度考虑为 20 年,但是,管理者可根据交通情况、环境、路面寿命成本效益,采用稍长或稍短的设计年限。因此,新规范考虑我国的工程经验和经济发展情况,规定了一般情况下各级公路的设计年限,并考虑我国各地经济发展的不均衡和交通量差异较大的实际情况,适当放宽限制。对改、扩建工程或大修、加铺工程以及有特殊使用要求的公路,可根据具体情况调整设计年限。

3.1.4 新建公路根据项目可行性研究报告提供的交通量 OD 调查资料,可得到多年各种汽车交通量(自然车辆数)构成,即小型客车、小型货车、大型客车、中型货车、大型货车、拖挂车等各种车型组成的比例,以及预测第一年或设计年末的日平均汽车交通量。设计时应对各种车型的轴重分布情况进行调查,主要调查小型货车、中型客车、大型客车、中型货车、大型货车、拖挂车等的数量与轴重分布情况,并应根据交通载重的实际情况,计入空载、满载、超载等因素,更真实地预测设计交通量。

对改建工程,宜根据有代表性的年、月、日、时的实测轴载谱,或调查的各类型车的轴

载分布资料,进行预测计算。

3.1.8 增加交通量等级划分的原因:

(1)路面厚度计算中采用设计年限内一个车道累计当量标准轴次 N_e 作为设计荷载的依据。但是,累计当量标准轴次不能反映交通量的组成情况,也不能反映车辆荷载对路面产生车辙、平整度、耐磨抗滑等性能指标的直接影响,因此难以用累计当量标准轴次建立相关关系。

(2)对原材料的技术指标要求,以及在混合料设计、结构设计等方面,一般与公路等级有关,公路等级越高,技术指标要求越高。但是,从有关调查资料分析可知,同一公路等级的交通量及组成却大不相同。这样造成对交通量小的高速公路的技术要求过高,而对交通量很大的二级公路的技术要求却偏低,因此,有必要根据国内交通的实际情况,在考虑公路等级的同时,也考虑交通量等级的影响。

(3)在国外,多采用日平均货车或大型车对交通量进行分级,如澳大利亚、法国、德国、日本等,也有用累计当量轴次(万次)进行交通量分级的,如美国沥青协会 AI、南非等,一般分为四至七级或更多。我国过去多以累计当量轴次(万次)表征交通量的大小,鉴于考虑多种性能指标,以及对材料、混合料设计、结构设计等方面的技术要求,有必要增加以货车为主划分交通量等级的方法。根据国家干线公路交通调查资料,将交通量划分为七级。经综合分析,考虑我国汽车交通量构成比例、国道交通量和高速公路上(中型标准车)的分级以及部分专家意见,将我国交通量简化为四级,分为轻、中、重、特重交通等级。经厚度计算检验,各交通等级对路面厚度计算的影响基本适当。

3.2 路用材料

3.2.1 沥青标号和沥青技术指标的选择与工程所在地的气候密切相关。

沥青路面气候分区可根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)确定,沥青标号可按气候区,并结合工程实践经验选择。气候区划为夏炎热区,对夏季持续高温较长、重载车较多的公路,纵坡大、长坡路段可选用稠度高、60℃黏度大的沥青、改性沥青等。交通量大、重载车较多的路段应选择较硬的沥青。改性沥青的基质沥青、表面处治和贯入式碎石宜选稠度较低的沥青。

由于沥青的气候分区是以最热月份每天最高气温的平均值表示,但该值往往低于最热月份连续 7d 的最高气温平均值,而车辙则是最容易发生在这最热的几天,因此,有的地区在选择沥青标号和沥青技术指标时,参考了美国 Superpave 的 PG 分级方法,用历年最高月气温中连续 7d 高温的平均值和 98% 保证率,并考虑气温与路面温度的相关关系,计算路面最高温度,以此选择沥青高温技术指标。同时以历年极限最低气温选择低温技术指标。

该方法已在部分省份的工程实践中运用。附录 B 提供了部分地区 1960~2000 年累计的气象资料。各地可根据气温资料,建立路面下 2cm 深处的温度与当地的气候、地理参

数等的相关关系,预估路面最高温度。

3.2.4 以下情况可采用改性沥青,以改善沥青混合料的路用性能:

(1)当拌制的沥青混合料的高温稳定性、水稳定性、低温抗裂性能达不到技术指标要求时可采用改性沥青。

(2)对特重交通、重交通或重要公路,大桥、特大桥桥面铺装等的沥青表面层应选用改性沥青;并视具体情况中面层也可选用改性沥青或稠度更高的沥青等。

(3)温差变化较大、高温或低温持续时间较长的严酷气候条件的公路可采用改性沥青。

(4)铺筑沥青玛蹄脂碎石、超薄罩面层、开级配抗滑面层、彩色路面等特殊结构时可采用改性沥青。

(5)路线线形处于连续长纵坡、陡坡及半径较小匝道,制动、起动频繁,停车场等路段以及有特殊要求的公路可采用改性沥青。

目前国内各种改性剂或改性沥青较多,应通过掺配试验和混合料性能试验进行技术经济论证和比选,选择施工方便、质量稳定、改性效果好的改性剂。

为提高路面的高温抗车辙能力,宜使用热塑性橡胶类(简称 SBS)、热塑性树脂类(简称 EVA、PE)或其他化学、物理改性剂,以及天然沥青。

热塑性橡胶类改性剂——最广泛运用的是苯乙烯—丁二烯—苯乙烯嵌段共聚物(简称 SBS)。

热塑性树脂类改性剂——已有实践经验的乙烯—醋酸乙烯酯聚合物(简称 EVA)、聚乙烯(简称 PE)等。

天然沥青——有天然湖沥青(如特立尼达湖沥青)、页岩沥青等。

为提高低温抗裂性,宜使用热塑性橡胶类、橡胶类及其他化学改性剂。

橡胶类改性剂——使用较多的是丁苯橡胶(简称 SBR)乳液,以及废旧橡胶粉等。

改性剂的品种较多,同一改性剂因剂量不同或添加剂不同,获得的改性沥青的质量也有差异,应加强质量检测工作,严格控制改性沥青的质量。

当采用两种以上的改性剂(如天然沥青与 SBS)进行复合改性或采用新品种的改性剂时,宜参考国内外有关技术标准或规范,并经实践验证。

3.2.5 沥青玛蹄脂碎石中掺入木质素纤维、合成纤维、矿物纤维等稳定剂,已广泛地应用于工程实践。近年来有些特大桥梁或交通量繁重的公路的中面层,采用 SBS 改性沥青混凝土中掺入合成纤维如聚丙烯腈纤维、聚酯纤维或矿物纤维等,取得较好的路用效果,明显提高了动稳定度。选择纤维稳定剂应考虑使用要求和技术经济比较,宜选择性价比高的材料。纤维质量宜符合交通部发布《路桥用材料标准九项》(JT/T 531 ~ 538、589—2004)中有关木质素纤维、沥青路面用聚合物纤维的技术要求。掺配剂量应通过试验确定,一般为 0.25% ~ 0.4%。

3.2.8 路面的横向力系数与沥青混合料的石料品质、构造深度及集料的级配密切相

关。因此,应认真调查沥青表面层用粗集料,选择强度较高、磨光值大、耐磨耗、符合石料磨光值 PSV 要求的碎石。对三级公路线形条件较差的急弯陡坡等行车不良路段,可参考表 3.2.8 的要求选用表面层的粗集料,以提高其安全性。

常用的石料有玄武岩、安山岩、片麻岩、辉绿岩、砂岩、花岗岩、闪长岩、硅质石灰岩以及经轧制破碎的砾石等。在年平均降雨量大于 500mm 的地区,高速公路和一级公路抗滑表面层所用的细集料,可掺入一定量的石灰岩石屑或其他磨光值较小的石屑;二级公路和三级公路表面层所用的粗集料,可掺入一定量的石灰岩碎石或其他磨光值较小的碎石。在年平均降雨量小于 500mm 的地区,各级公路的表面层粗、细集料均可掺入一定比例的石灰岩或其他磨光值较小的碎石或石屑。

3.2.9 为提高沥青与碎石的黏附性,可在沥青中采取掺入耐高温、耐水性持久的抗剥离剂或采用改性沥青等措施;同时为提高沥青混合料的水稳定性,应掺入一定的消石灰或水泥代替矿粉。并检验沥青混合料的水稳定性,使其达到本规范第 7 章中有关水稳定性指标的要求。

4 结构层与组合设计

4.1 结构层设计

4.1.1 国外一般将沥青面层分为双层,称为表面层、下面层,另设沥青基层、底基层等。我国习惯将半刚性基层沥青路面中的三层沥青层都称为面层,分别称表面层、中面层、下面层,本次修订仍保留此称法。新规范增加了柔性基层,可在两层或三层沥青面层下设沥青混凝土、沥青碎石、级配碎石等结构层,此时,沥青混凝土、沥青碎石可称为上基层,半刚性基层可称为下基层,改变了原规范将沥青层都称为面层的传统习惯。

4.1.2 原规范中,沥青混凝土路面均为高级路面,沥青贯入式路面、沥青碎石、表面处治为次高级路面;泥结碎石、级配碎砾石等为过渡式路面,砂石路面为低级路面。由于沥青混凝土适用于各级公路,仅仅是不同等级的公路因交通量不同,所选用的沥青层厚度不相同,若将三级公路一般铺筑的 30~40mm 沥青混凝土也称高级路面显然是不妥的,故本规范修改了沿用四十年的路面等级划分方法,并考虑国内的拌和设备、摊铺设备的普及,一般高速公路、一级公路、二级公路都用拌和法施工,很少采用沥青贯入式路面,仅在缺拌和设备或无拌和场地的特殊情况下采用,因此,规定沥青贯入式路面可用于三级、四级公路面层或特殊情况,表面处治可用于三、四级公路面层。

4.1.3 本次修订对沥青路面结构层最小厚度有一些调整,主要是考虑路面压实,沥青层的厚度与沥青混合料的公称最大粒径应相适应,并结合实践经验提出表 4.1.3 的压实最小厚度和适宜厚度。适宜厚度是从发挥机械摊铺效能和碾压密实的角度考虑,以利于提高耐久性、水稳定性,防止水损害,设计各结构层时宜根据具体情况确定各层厚度。

4.1.5 由于曾出现将一层半刚性材料基层厚度设计为 250~270mm,施工单位则将一层分为 120mm+130mm、150mm+120mm 或 130mm+140mm 两层施工的情况,使半刚性材料结构层厚度小于最小厚度,在重载车的作用下,薄的半刚性基层易产生过大拉应力而出现开裂。因此,该条强调在设计时应避免设置过厚或过薄的基层或底基层。基层、底基层的一层摊铺压实厚度宜为 180~200mm,在有特重型的压实设备并经实测能保证压实度的条件下可适当增厚。另外,山东省研究了半刚性基层连续摊铺、压实的施工工艺,加强了双层半刚性材料层之间的联结,可使双层结构成为单层式整体结构,提高了承载力和耐久性。

4.2 结构组合设计

4.2.1 我国地域广阔,气候、材料、水文条件以及经济发达程度、交通量和组成情况差异很大,各地应根据具体情况选择适合本地区的路面结构。

沥青层厚度与所采用的结构类型有关,可参考沥青层最小厚度,并结合沥青和混合料性能,综合当地的工程实践经验,拟定或计算沥青层厚度。

(1)半刚性基层沥青路面,高速公路的沥青层最小厚度为 120mm,一级公路的沥青层最小厚度为 100mm,二级公路的沥青层最小厚度为 60mm,三级公路的沥青层厚度为 30~50mm(拌和法)或 15~30mm(层铺法表面处治),四级公路的沥青面层厚度宜为表面处治 10~30mm 或稀浆封层。

(2)柔性基层沥青路面结构,面层可选用 100mm 或 120mm 厚的两层式,其下设沥青混合料基层、贯入式碎石、级配碎石等柔性材料基层。各沥青层厚度应根据公路等级、交通量等具体情况计算而定。

(3)刚性基层沥青路面,高速公路、一级公路的沥青层最小厚度不宜小于 100mm。因沥青层较薄,层间模量比大,应采取提高沥青混合料高温抗剪强度和加强层间结合的措施,防止沥青层剪切、推移与反射裂缝。

4.2.2 根据理论分析可知,路面结构厚度与层间模量比有密切关系,故对半刚性基层提出适当控制层间模量比的要求。沥青层的回弹模量一般小于半刚性基层材料的回弹模量。从理论上分析,若沥青层与半刚性基层材料之间是连续体系时,沥青层多数处于受压状态或出现较小拉应力,半刚性材料层主要承受拉应力。上下层间模量比越小,随着沥青层剪应力增大,下层拉应力越大,故半刚性基层的刚度不宜太大。若层间接触面处于浸水状态可能导致界面产生滑移时,上层底面可能出现比连续状态大 1~2 倍的拉应力。因此,从设计上应采取层间结合的可靠技术措施,防止层间滑移。

对柔性基层沥青路面结构,沥青层与沥青层之间模量相差比较小,而沥青层与级配碎石之间模量则相差比较大,此时沥青层底的拉应力较大。选用各结构层间模量逐渐递减的材料组合,可使结构层受力更合理。

4.2.3 贫混凝土基层沥青路面,目前尚没有成熟的设计方法,应根据工程实践慎重地设计。贫混凝土基层的模量比半刚性基层大,层底拉应力有所增加,沥青层的剪应力、沥青层与贫混凝土基层界面之间的剪应力增大。因此,贫混凝土基层上的沥青面层应有适当的沥青层厚度,更应重视提高沥青混合料抗剪强度和层间界面的紧密结合,防止层间界面推移。有条件时应验算沥青层的剪应力和界面剪应力。

4.2.6 为防止反射裂缝,在高速公路、一级公路用级配碎石作基层或过渡层时,应先修试验段,注意抓好材料规格、施工工艺管理、工程质量过程的控制,总结经验,不能盲目地

推广,尤其在交通量大、重车多的公路上应慎重采用。

沥青应力吸收膜、沥青应力吸收层具有防止反射裂缝和加强层间结合的作用。

在半刚性基层上洒布富有弹性恢复能力的聚合物改性沥青,如高含量的 SBS 改性沥青、橡胶沥青等,洒布量为 $1.0 \sim 1.4\text{kg}/\text{m}^2$,再撒布粒径为 $3 \sim 8\text{mm}$ 的小碎石或预拌碎石,经碾压形成应力吸收膜。

沥青应力吸收层是采用黏结力大、弹性恢复能力很强的改性沥青砂粒式或细粒式沥青混凝土,具有空隙率较小、密实不透水、抗变形能力与抗疲劳能力强的薄层结构,一般为 $20 \sim 25\text{mm}$ 厚,也有防止反射裂缝的效果。

在某些特殊情况下,可考虑铺设聚酯长丝土工布或聚酯玻纤等土工合成材料。

4.2.7 关于黏层沥青,本次修订与原规范规定不同的是,各沥青层之间都要求洒布黏层沥青。一般新建沥青面层之间可洒布乳化沥青,乳化沥青洒布量宜为 $0.3 \sim 0.6 \text{L}/\text{m}^2$ (沥青含量约为 $0.15 \sim 0.3\text{L}/\text{m}^2$),也有用高级沥青洒布机,在高温下洒布雾状热沥青的。在水泥混凝土路面及桥面板上洒布黏层沥青时,宜洒布同标号热沥青或改性沥青。有一种沥青黏结层,可用于半刚性基层上、桥面铺装及表面层与中面层之间,以此防止雨水下渗,加强层间结合。改性沥青洒布量宜为 $0.8 \sim 1.6 \text{L}/\text{m}^2$,并撒布粒径为 $4.75 \sim 9.5\text{mm}$ 或 $3 \sim 8\text{mm}$ 预拌碎石或碎石,撒布数量以洒布沥青面积的 $60\% \sim 70\%$ 、不满铺、不重叠为宜。

4.2.8 封层的结构应根据设置目的选择材料和工艺,结合料一般可选用道路石油沥青、改性沥青、改性乳化沥青等,也可用与原有沥青面层标号一致的沥青或更高一级标号的沥青。

下封层是设在半刚性基层表面上,为了保护基层不被施工车辆破坏,利于半刚性材料养生,同时也为了防止雨水下渗到基层以下结构层内,以及加强层间结合而设置的结构层。新建工程中也有在表面层与中面层之间设封层的,以防止雨水下渗。下封层有多种做法,实践证明沥青单层表处是较经济、有效的方法之一。

5 路基与垫层

5.1 路基回弹模量

5.1.1~5.1.4 本节删除了原规范中与《公路路基设计规范》相关的内容,即路基填料、压实度等,保留了与路面工程密切相关部分,如路基干湿类型的划分,路基回弹模量值查表法、承载板法、弯沉法等测定土基模量的方法。

5.1.5 关于查表法的路基回弹模量,是 20 世纪 70 年代通过对全国各省份公路的路基压实度、含水量、填土高度、路基填土、排水状况、地下水位及承载板试验等调查和试验资料,经计算分析提出来的。由于当时公路等级低,均为轻型压实标准,故路基回弹模量也偏低。根据路基回弹模量专题研究的成果,对几个省份不同土质的室内承载板进行的重型与轻型击实标准对比试验研究表明,在相同压实度条件下(最佳含水量分别按各自的击实试验结果选取),重型标准模量基本上是轻型标准模量的 2 倍。因此,用查表法预估路基回弹模量时,可将附录 F 表 F.2 所列的 E_0 值提高 15%~30%。

5.1.6 关于室内小承载板测试土基回弹模量的问题,根据路基回弹模量专题研究的成果,对几个省份不同路基土的室内承载板试验结果表明,路基回弹模量与压实度基本呈线性关系。

1 由于进行室内承载板试验时,土样受到土工试筒的筒底和筒壁的约束作用,所以当采用弹性半空间理论的弯沉公式计算路基回弹模量时,应进行试筒尺寸约束的修正。为此,将筒底约束视为刚性下卧层,推导了具有刚性下卧层的弹性层应力、应变和位移的计算公式,并结合轴对称有限元分析和室内外承载板实测结果的对比较证,确定了室内承载板法试筒尺寸的综合修正系数 λ 。综合修正系数 λ 值与承载板直径大小有关,不同直径承载板的 λ 值可采用以下经验公式确定:

$$\lambda = 1.2381 \times 10^{-5} D^2 - 5.5838 \times 10^{-3} D + 1.0283 \quad (R^2 = 0.99996) \quad (5-1)$$

式中: λ ——试筒尺寸约束综合修正系数;

D ——承载板直径(mm)。

由此得到,当采用 50mm 直径承载板时, λ 值为 0.78;当采用 100mm 直径承载板时, λ 值为 0.59。

2 路基回弹模量专题研究表明,由于室内外实测的路基回弹模量的变异性往往很大,若采用常规方法[式(5-2)]计算路基回弹模量代表值,当变异系数超过 0.5 时,容易导

致代表值为负值,这显然不符合实际情况。

$$E_0 = \bar{E}_0 - Z_a S \quad (5-2)$$

式中: Z_a ——保证率系数,高速公路、一级公路为 2,二、三级公路为 1.645,四级公路为 1.5;

E_0 ——路基回弹模量代表值(MPa);

\bar{E}_0 和 S ——实测路基回弹模量的平均值(MPa)和均方差(MPa)。

实际上,式(5-2)是基于路基回弹模量服从正态分布建立的,而根据《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283)的规定,路基回弹模量服从对数正态分布。路基回弹模量代表值应采用下式计算:

$$E_0 = e^{\ln \bar{E}_0 - \frac{1}{2} \ln(1 + \delta^2) - Z_a \sqrt{\ln(1 + \delta^2)}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \delta^2} e^{Z_a \sqrt{\ln(1 + \delta^2)}}} \bar{E}_0 = Z \bar{E}_0 \quad (5-3)$$

式中: δ ——路基回弹模量的变异系数;

Z ——考虑保证率的折减系数,即:

$$Z = \frac{1}{\sqrt{1 + \delta^2} e^{Z_a \sqrt{\ln(1 + \delta^2)}}} \quad (5-4)$$

其余字母含义同式(5-2)。

根据《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283)中有关各级公路采用的变异水平等级的规定,以及相应的路基回弹模量变异系数推荐范围,从而由式(5-4)综合提出各级公路 Z 的推荐值,见表 5-1。

表 5-1 折减系数 Z 推荐值

计算参数	公路等级	高速公路、一级公路	二级公路、三级公路	四级公路
变异系数	变异水平等级	低	中	高
	变异系数	0.15 ~ 0.25	0.25 ~ 0.35	0.35 ~ 0.45
保证率系数	保证率(%)	97.7	95.0	93.3
	保证率系数 Z_a	2.0	1.645	1.5
折减系数	折减系数 Z	0.59 ~ 0.73	0.54 ~ 0.65	0.48 ~ 0.57
	推荐值 Z	0.66	0.59	0.52

当室内外实测了大量的路基回弹模量数据以后,可根据实测数据进行统计分析,由式(5-4)确定相应的考虑保证率的折减系数 Z 。

5.1.7 当路建成建后,应在不利季节实测各路段土基回弹模量代表值,以检验是否符合设计值的要求,实测法有承载板法、弯沉值法。由于路基设计回弹模量值是在最不利年份、最不利季节条件下考虑一定保证率后推荐的土基回弹模量值,而现场测定时间不一定是不利季节,实测值可能比设计值高,因此,可参考旧规范或当地经验进行不利季节影响系数的折减。

5.1.8 当用贝克曼梁测定路基弯沉值,计算该路段的路基弯沉代表值,以检验路基压

实质量是否达到设计路基回弹模量值的要求时,同样应考虑不利季节和路基干湿类型的综合影响,所以,检验弯沉值应除以不利季节影响系数 K_1 。若不考虑不利季节影响系数,直接用设计回弹模量值反算弯沉值去检验,则其弯沉值偏大,失去检测意义。近年来实测法中研制了便携式落锤弯沉仪(PFWD),这是一种简便的土基强度的检验方法,尚需在实践中进一步累积资料。

5.2 垫层与抗冻层设计

5.2.1 当路线通过潮湿、过湿地区及软弱地基时,可采取设置垫层,或换填砂砾等透水材料,或掺入无机结合料或固化剂等处理地基,根据实际情况或实测资料,适当提高路基回弹模量设计值。

垫层采用未筛分碎石和天然砂砾时,应根据结构层厚度 h 确定最大粒径,一般最大粒径应在 $(1/3 \sim 2/3)h$ 之间,以保证集料骨架的形成,提高结构层的稳定性。

5.2.2 冰冻区是以冻结指数为指标划分。冻结指数是每年冬季负温度与天数乘积的累积值($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$),各地可根据气象部门的 20 年以上的观测资料或附录 B 资料查得。

5.2.4 抗冻层验算,仍采用原规范条文。

6 基层、底基层

6.1 半刚性基层、底基层

6.1.2 研究和工程实践表明,集料在混合料中的分布状态与材料性能有密切关系。本次修订中,明确将半刚性基层划分为均匀密实、悬浮密实、骨架密实和骨架空隙四种结构类型。均匀密实型主要指无机结合料稳定细粒土,如石灰土、水泥土、二灰土等。

划分悬浮密实、骨架密实和骨架空隙这三种类型时,首先应明确混合料中粗集料与细集料的分界尺寸。从强度、变形以及稳定性方面来看,以筛孔尺寸为 4.75mm 作为粗、细集料的分界尺寸比较合理。判定这三种结构类型,主要是根据粗集料经压实后,粗颗粒间空隙体积与压实后起填充作用的细料体积之间的关系。悬浮密实型混合料中细料的压实体积应大于粗集料形成的空隙体积,即粗集料在压实混合料中处于“悬浮状态”;骨架密实型混合料中细料的压实体积应“临界”于粗集料形成的空隙体积,粗集料在压实混合料中有一定“骨架作用”;骨架空隙型混合料中细料的压实体积则小于粗集料形成的空隙体积,压实混合料中形成“骨架”的粗集料之间存有一定的空隙。

参照《公路路面基层施工技术规范》中推荐的级配,分别拟定了悬浮密实型、骨架密实型和骨架空隙型三种水泥稳定碎石。根据压实后粗集料形成空隙的体积与混合料中压实后细料部分(包括水泥、细集料和水)的体积关系,按照“体积法”确定,各结构类型的集料级配见表 6-1。试验中对于每种类型分别采用 3 种水泥剂量,其中悬浮密实型和骨架密实型分别为 4%、5%、6%,骨架空隙型分别为 6%、8%、10%。下文中以 XM 表示悬浮密实型结构,GM 表示骨架密实型结构,GK 表示骨架空隙型结构。

表 6-1 不同类型水泥稳定碎石的集料级配

筛孔孔径(mm)	31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
悬浮密实型 XM	100	96.8	93.5	84.7	75.9	67.0	39.0	26.0	20.5	15.0	11.2	7.3	3.5
骨架密实型 GM	100	90.4	73.6	65.2	58.0	46.0	26.8	25.8	18.0	9.1	4.4	1.6	0.5
骨架空隙型 GK	100	86.3	62.8	52.5	41.1	26.3	11.2	5.0	3.0	2.0	1.0	0.0	0.0

分别采用振动法和重型击实法确定不同结构类型、不同结合料剂量的水泥稳定碎石材料压实标准。对试件进行的无侧限抗压强度(7d、28d、90d)、劈裂强度(28d、90d)和抗折强度(28d、90d)室内试验表明:

(1)在水泥用量、养生条件相同时,骨架密实型(GM)水泥稳定碎石的抗压强度、抗压回弹模量略大于悬浮密实型(XM),而骨架空隙型(GK)的最小;

(2)劈裂强度、抗折强度和抗折回弹模量的规律为悬浮密实型(XM)水泥稳定碎石最

大,骨架密实型(GM)次之,骨架空隙型(GK)最小;

(3)在 $+55^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}$ 范围内,骨架密实型(GM)水泥稳定碎石的平均温缩系数、平均干缩系数小于悬浮密实型(XM)水泥稳定碎石,骨架空隙型(GK)水泥稳定碎石的两种收缩系数最小;

(4)当强度相当时,抗冲刷能力的排序为骨架空隙型(GK)好于骨架密实型(GM),悬浮密实型(XM)最差,如图 6-1。

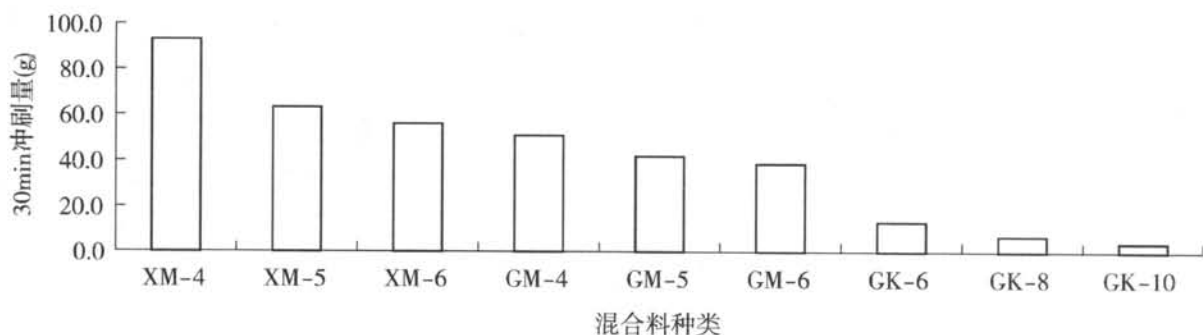


图 6-1 不同类型水泥稳定碎石的抗冲刷能力

注:XM-4 表示水泥剂量为 4% 的悬浮密实型结构,其他类同。

根据上述试验与工程实践,对不同结构类型的半刚性材料规定其适用条件。

6.1.5 根据施工现场的反映,有的水泥稳定集料基层出现早期开裂现象,实测结果表明 7d 抗压强度偏高,水泥剂量达 6% 以上所致。由于水泥剂量的提高,基层的强度相应地提高,但脆性也相应增大,易出现收缩开裂。因此,本规范一方面明确 7d 抗压强度代表值为一个范围,同时,根据不同的交通等级提出不同的抗压强度高限标准值。新规范适当降低了水泥稳定集料基层的抗压强度高限标准值,使水泥剂量不超过 6%。根据力学计算,半刚性底基层的拉应力多数情况起控制作用,故保证水泥稳定类底基层具有一定抗压强度,并适当提高其标准值,以提高其抗弯拉强度是必要的。在混合料配合比设计时,首先应调整、改善集料的级配和混合料的结构形态,使其达到设计强度要求,不宜盲目地增加水泥剂量。

新规范推荐用振动法成型试件,采用振动法成型进行配合比设计可减少水泥用量,因同样水泥用量其强度明显高于击实法成型;振动法成型与现场压实工艺更为接近,故用振动法成型更符合实际。

6.1.6 原规范中提出的各类无机结合料稳定粒料类的基层材料,其级配是按最大密实原理设计的连续级配,经试验分析均属于悬浮密实类型。研究成果与工程实践表明:随着混合料中 4.75mm、2.36mm、0.075mm 的通过量减少,尤其是 0.075mm 的通过量减少,对基层的抗裂和抗冲刷性能明显提高。因此,悬浮密实型结构的集料级配对 2.36mm 以下的细料含量,尤其是 0.075mm 以下的细料含量的限制提高。在总结各单位工程实践的基础上,提出骨架密实型结构的集料级配范围。但是,骨架密实状态是否形成,必须根据具体级配和混合料配合比进行检验。骨架密实型混合料要求集料的最大粒径不宜太大,以减小混合料离析。在确定骨架密实型粗集料的级配试验时,应先将粗集料划分成 2~3 档,通过表面振动压实的方法逐级填充,并

计算振实密度和空隙率,直到找出振实密度最大的粗集料组成。在此基础上,用体积法计算确定细集料和结合料的压实体积和重量,从而确定细集料的组成和结合料的比例。

骨架密实型集料级配在多项工程运用中取得较好效果。例如,2000年河南省某高速公路某标段的水泥稳定碎石基层,采用了与规范中值级配相比,粗颗粒含量相对较多,且小于0.075mm的细颗粒较少的集料,接近于骨架密实型结构。经过了一个寒冷的冬季,试验段尚未铺筑沥青混凝土面层,每个观测段长度不少于500m,骨架密实型试验段最小裂缝间距为35m,最大为105m,平均裂缝间距为55m;其他标段裂缝最大间距为35m,个别路段间距为5m。2003年3月天津市某高速公路铺筑了骨架密实型水泥稳定碎石基层的试验路,通过施工期间的观测发现试验段内基本没有发现裂缝,在相邻等长度的非试验段出现了5条裂缝。山东省某高速公路,采用骨架密实型水泥稳定碎石,同样证明在提高抗裂性方面具有较好的效果。

6.1.9 各地对石灰粉煤灰混合料的配合比研究较多,主要是寻求基层抗裂和抗冲刷性能的改善。从表6-2可知,级配趋向于变粗,2.36mm和4.75mm以上的粗集料的比例提高较多,向骨架密实型靠近。

表 6-2 不同单位实际使用的二灰稳定碎石集料级配

筛孔孔径(mm)	沪杭高速	上海浦东大道	江苏交科院	天津市政
31.5	100	99.2	100	100
26.5	85~93	65.8	70~90	—
19	—	—	—	46
16	54~80	39.9	38~65	—
9.5	30~48	28.2	20~42	24
4.75	14~34	20.3	8~31	11
2.36	—	11.4	—	5
1.18	—	9.3	—	2
0.6	—	6.1	—	0
0.075	0~4	0.6	0~4	0

江苏省曾在沪宁高速公路、宁连一级公路、宁通一级公路和南京机场高速公路等采用二灰稳定碎石做路面基层,并做了大量的试验研究。南京机场高速公路采用二灰碎石材料做基层,经过室内外试验研究,从强度特性、抗裂性能分析以及温缩、干缩等试验,提出的级配范围见表6-3。该集料级配与原规范级配相比,集料级配中大于4.75mm的粗集料明显增加,接近骨架密实结构。

表 6-3 南京机场路二灰碎石集料级配

筛孔尺寸(mm)	40	30	20	10	5	2.0	1.0	0.5	0.075
通过率(%)	100	80~90	50~70	26~46	20~30	14~20	9~15	6~10	0~4

从使用情况来看,通过调整集料中粗集料含量,加强施工过程中的质量控制,二灰稳定碎石基层表面平整,强度高而均匀,出现开裂现象较少。另外,江苏省在二级公路上施

工的二灰碎石基层集料多为单一级配,粗粒料约占二灰稳定碎石的 75% ~ 80%。从击实及现场取样结果可以看出,这种级配粒料在混合料中形成骨架,石灰粉煤灰起填充作用和胶结作用,可称为“骨架密实式二灰粒料”。根据原沪宁二级公路等施工及使用情况来看,其收缩裂缝几乎没有或至少 50m 以上才出现一条。因此,本规范在总结各地实践经验的基础上,经认真分析提出了推荐集料级配范围。

无论是水泥稳定基层还是石灰粉煤灰稳定基层,混合料中 4.75mm 以上粗集料形成骨架状态时,粗集料的分布状态是一样的。对于石灰粉煤灰稳定基层,细集料包括小于 4.75mm 的细集料和约 20% 的石灰粉煤灰。骨架密实二灰碎石的合理比例应该通过粗集料骨架空隙体积与包括石灰、粉煤灰和细集料在内的填充料的体积关系来确定。在混合料中如果将小于 4.75mm 的材料(石灰、粉煤灰、细集料)当作填充粗集料骨架空隙的“填充料”,则“填充料”的含量应该在 20% ~ 30% 之间。填充料含量的变化取决于粗集料的级配类型、压实程度、石料颗粒形状以及结合料与集料的比值等因素。

6.1.11 当采用二灰稳定类材料做下基层或底基层时,暂不要求做抗冻性能检验;水泥稳定类基层抗冻性能优于二灰稳定类,一般可不做抗冻性能检验,有特殊要求时可参照下列规定进行。冻融试验方法应参照抗冻设计指南,试验采用快冻法进行,在 $-18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 下,冻 8h,再在常温 $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 下,融化 8h,即 16h 作为一次冻融循环,经 5 次冻融循环后,测试试件残留强度,并按式(6-1)计算残留强度比:

$$\Delta f_m = \frac{f_{m2}}{f_{m1}} \times 100 \quad (6-1)$$

式中: Δf_m ——5 次冻融循环后的残留强度比(%);

f_{m1} ——未经冻融试件的饱水抗压强度平均值(MPa);

f_{m2} ——经 5 次冻融循环后的试件饱水抗压强度平均值(MPa)。

5 次冻融循环后的残留强度比应符合规范要求。

6.1.13 粉煤灰与石灰稳定土类具有较好的稳定效果。但是有些地区缺乏石灰,或质量不合格,只有用水泥和粉煤灰稳定。河南、河北等省的实际工程中采用水泥粉煤灰稳定基层的实例,取得了较好的应用效果。

根据工程实践和室内试验可知,水泥粉煤灰稳定类材料的强度发展特征介于水泥稳定和石灰粉煤灰稳定的情况之间,即早期强度高于石灰粉煤灰稳定而低于水泥稳定;后期强度发展幅度高于水泥稳定而低于石灰粉煤灰稳定。河南某高速公路路面基层结构设计为水泥粉煤灰稳定碎石,配合比为水泥:粉煤灰:碎石 = 5.5:10:84.5。试验段施工、养生期发现的裂缝间距一般在 2km 甚至更长。该路于 2002 年底正式通车,目前使用效果良好。

本条文根据有关室内试验和工程实践,提出配合比设计的强度指标。

6.1.14 水泥粉煤灰稳定类基层材料的强度随着水泥剂量的增大而增大。根据相关试验结果,从基本强度要求和抗冲刷角度考虑,水泥剂量不宜低于 3%。同水泥稳定类基层

材料一样,随着水泥剂量的增大,材料的收缩性增大,脆性增大。虽然水泥粉煤灰稳定时的收缩性要好于单纯水泥稳定类,但从强度和收缩性角度综合考虑,水泥剂量不宜大于6%。

6.2 柔性基层、底基层

6.2.2 在原规范中沥青碎石主要是指半开级配沥青碎石 AM,空隙率一般为 10% ~ 18%。而国外普遍采用的沥青稳定碎石混合料(简称沥青碎石)基层分为三类:①密级配沥青碎石(ATB, Asphalt-treated base),设计空隙率为 3% ~ 6%;②开级配沥青碎石(ATPB, Asphalt-treated permeable base),设计空隙率大于 18%;③半开级配沥青碎石,设计空隙率为 6% ~ 12%。近年来随着级配设计与混合料性能研究的发展,在密级配沥青碎石基层的基础上,国外提出了大粒径沥青混合料(LSM)的概念并广泛应用于柔性基层。大粒径沥青碎石基层最大粒径通常为 25 ~ 63mm(1 ~ 2 英寸),该类混合料是为重交通荷载而开发的,粗集料嵌锁成骨架,细集料填充空隙而构成骨架密实型或骨架空隙型结构,以抵抗车辆荷载作用下的永久变形。密级配大粒径沥青碎石在充分压实后,对提高疲劳寿命,减少永久变形,减少水敏感性,提高强度与稳定性有利。

大粒径沥青碎石作基层的公称最大粒径,一般等于或大于 26.5mm,配合比试验应采用大型马歇尔试件试验,击实成型时,试件尺寸为 $\phi 152.4\text{mm} \times 95.3\text{mm}$ 。

大型马歇尔试件的尺寸比标准马歇尔试件尺寸放大 50%,在落锤高度不变的前提下,落锤质量为 10.2kg,击实次数 112 次。经对比试验结果,大型马歇尔试件可提高沥青混凝土的密实度、降低油石比,其稳定性和流值分别可提高 2.25 倍和 1.5 倍,动稳定度、抗压回弹模量、抗压强度、劈裂强度均有较大提高。

有关试验路的取芯结果表明,采用标准马歇尔击实法,压实度较易于达到规定值的 98%,并超过 100%,波动范围为 105% ~ 114%,而且击实法易打碎石料,改变了原有级配。采用振动压实时,压实度为 97% ~ 101%,更符合实际。推荐采用振动成型、旋转压实仪成型,只有在无试验设备时,可暂用击实法成型。

6.2.3 关于大粒径密级配沥青碎石(LSM)的级配与混合料技术指标是根据江苏省交通科学研究院、哈尔滨工业大学等的“大粒径沥青混合料试验研究及工程应用实践”专题研究成果编制而成。大粒径沥青混合料是指公称最大粒径等于或大于 26.5mm 的混合料,适宜于柔性基层。研究工作包括室内配合比试验、级配比选、物理力学性能测试以及试验路、实体工程等,并参考了美国大粒径沥青混合料集料的级配,提出推荐级配和混合料设计指标。在室内试验中拟定了六种设计级配曲线(图 6-2),进行了配合比设计和各种路用性能试验。六种大粒径沥青混合料的永久变形、蠕变劲度模量、抗压回弹模量、劈裂强度等力学性能试验结果,见图 6-3、图 6-4。从而优选级配曲线进行工程实践检验,在多个实体工程中,取得了良好效果。江苏省在宁连一级公路等重交通道路上运用 LSM,通车四年,使用状况良好。

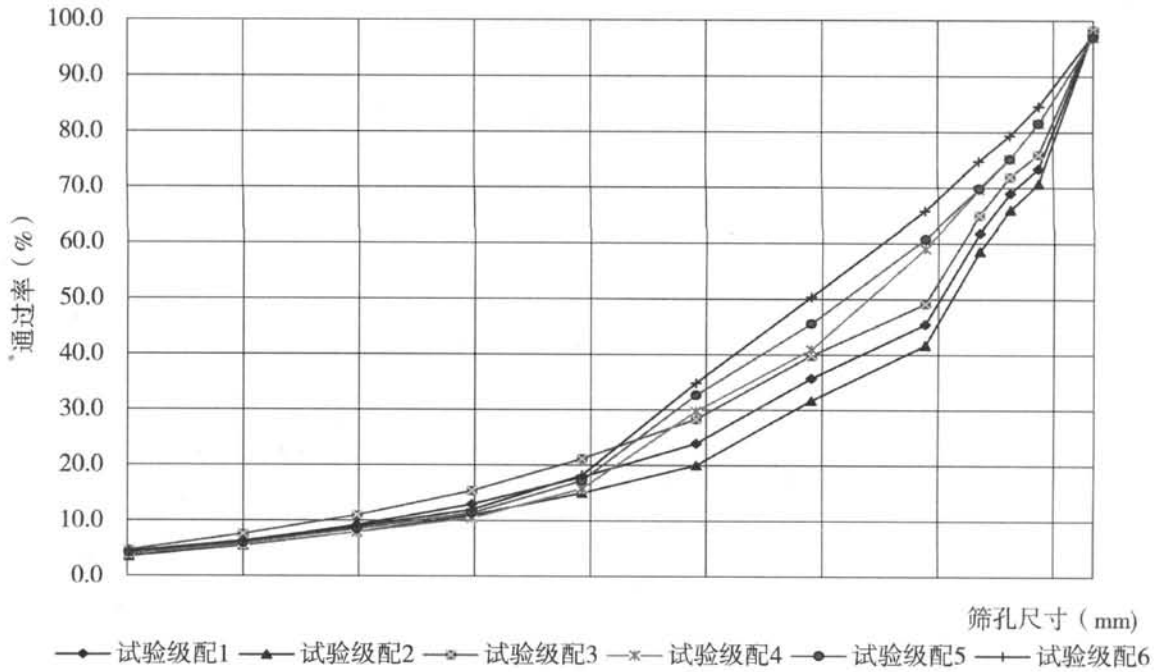


图 6-2 六种大粒径沥青碎石的级配曲线

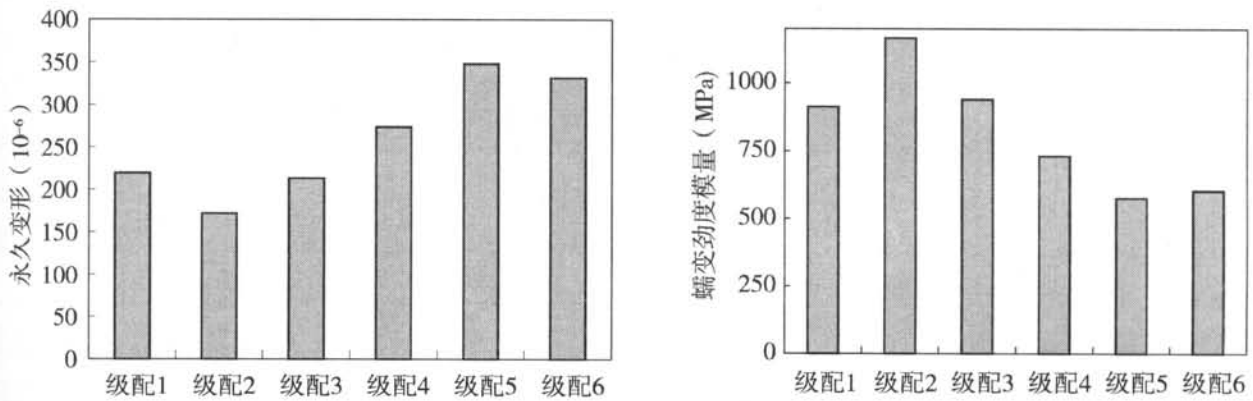


图 6-3 六种混合料的永久变形、蠕变劲度模量

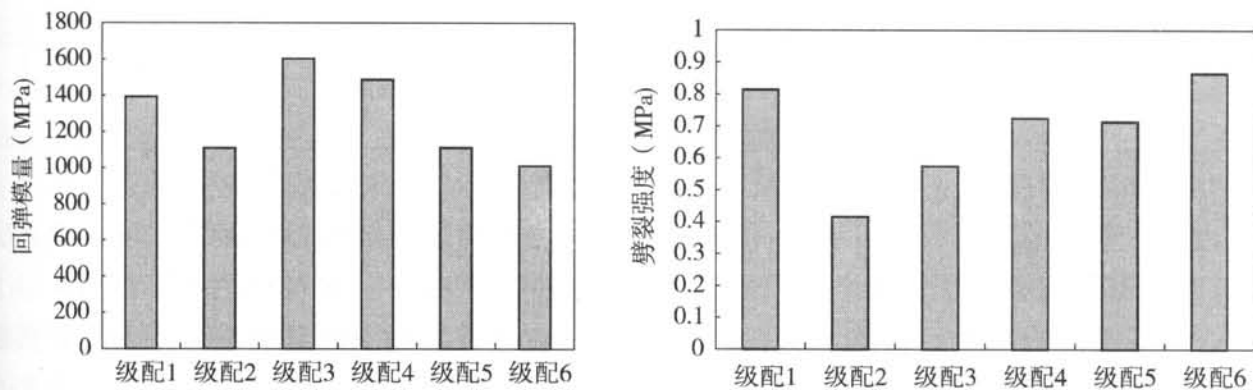


图 6-4 六种混合料的抗压回弹模量、劈裂强度

大粒径密级配沥青碎石(LSM)属于沥青稳定碎石类(ATB),但是 LSM 与 ATB 的集料级配与混合料技术指标有所不同。为方便使用,根据实体工程总结,提出了大粒径沥青碎石(LSM)的级配和混合料技术指标,详见表 6-4 和表 6-5。

表 6-4 LSM 的集料级配范围

级配类型	筛孔尺寸(mm)	大粒径密级配沥青碎石(LSM)		
		LSM-25	LSM-30	LSM-40
通过筛孔百分率(%)	53			100
	37.5		100	90~100
	31.5	100	90~100	75~90
	26.5	90~100	75~90	65~85
	19	70~90	60~85	55~75
	16	55~75	45~70	50~70
	13.2	45~65	40~60	35~55
	9.5	35~55	35~55	30~50
	4.75	25~45	23~45	23~45
	2.36	17~35	17~35	17~35
	1.18	10~25	10~25	10~25
	0.6	8~20	8~20	8~20
	0.3	5~15	5~15	5~15
	0.15	3~12	3~12	3~12
0.075	3~7	3~7	3~7	

表 6-5 LSM 马歇尔试验技术指标

试验项目		技术要求	
试件尺寸(mm)		$\phi 152.4 \times 95.3$	
击实次数(双面)		112	
设计空隙率(%)		4~6	
矿料间隙率(%)	最大公称尺寸(mm)	26.5	> 12.5
		31.5	> 12.0
		37.5	> 11.5
稳定度(kN)		> 15	
流值		实测	
饱和度(%)		55~70	
浸水马歇尔残留稳定度(%)		> 75	

6.2.4 半开级配沥青碎石混合料用于排水基层,近年来在国内外引起了关注。这种大粒径沥青混合料来源于美国一些州的经验。美国中西部的一些州对使用了三十多年以上的、运营状况相对较好的路面进行了调查,发现许多成功的路面其基层采用的是较大粒径的或单粒径嵌挤型沥青混合料,于是认为这种混合料对抵抗重交通荷载作用有着相当的潜能,因此提出以单粒径粗集料形成嵌挤状态为基础的混合料设计。美国 NCHRP 联合攻关项目也对大粒径沥青混合料进行了大量研究,最终得到了研究报告 NCHRP Report

386。我国一些省市近年来进行了研究和应用,取得了良好的使用效果。

半开级配沥青碎石混合料基层在美国的中西部一些州如印第安纳州取得了良好的使用效果。印第安纳州标准规范(Indiana DOT STANDARD SPECIFICATION 1999)将半开级配沥青混合料作为主要的基层材料,推荐了两种级配组成,见表 6-6。

表 6-6 印第安纳州基层沥青混合料级配范围表

筛孔尺寸 (mm)	52	37.5	26.5	19	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	AC 含量
25°		100	70~98	50~85	28~62	15~50	6~29	6~18	2~15	1~10	0~7	0~6	0~4	3.2
40	100	45~75	30~60	20~50	15~40	10~35	5~25	6~18	2~15	1~10	0~7	0~6	0~4	3.0

大粒径半开级配沥青碎石与通常的沥青稳定碎石不同。其一,采用粗集料的骨架结构,最粗一级的粗集料含量通常在 50% 左右,使其具有良好的抗车辙能力。大粒径半开级配沥青碎石的级配范围采用体积法级配设计,NCHRP Report 386 采用体积填充的方法通过线性规划求解混合料的级配组成。其二,与开级配沥青碎石(ATPB)相比,半开级配大粒径沥青碎石在满足排水要求的条件下采用了更小的空隙率。根据近年来的研究,空隙率较大的开级配排水基层(空隙率在 18%~24%)所涉及到的问题较多,其抗疲劳性能和水稳定性令人担心。如瑞典国家道路与运输研究所(Swedish National Road and Transport Research Institute)通过实验室研究、加速加载试验、现场 FWD 检测等研究,比较了四种不同结构的沥青基层材料使用性能,认为空隙率较大的开级配排水基层其耐久性能较差。其三,所设计的沥青混合料有较厚的沥青膜厚度,半开级配的沥青碎石(AM)要求其沥青膜最小厚度为 12 μ m。通常情况下所设计的沥青膜厚度在 15 μ m 以上,因此宜使用低标号或者高黏度沥青,参考沥青用量 2.8%~3.5%。

为了兼顾排水和耐久性,山东省对大粒径半开级配沥青碎石混合料的排水性能进行了研究,公称最大粒径、空隙率与渗透系数密切相关。一般条件下,当半开级配沥青碎石混合料的水空隙率大于 12% 时,其渗透系数(按照 ASTM PS 129—01 的试验方法测定)大于 0.01cm/s,空隙率 12%~18%。渗透系数增大,但是空隙率大于 18%,渗透系数变化有所减缓。当渗透系数大于 0.01cm/s 时,即可以满足开级配沥青磨耗层 OGFC 的渗水要求。

因此,在满足排水要求的条件下,适当减小混合料的水空隙率,以提高混合料的耐久性是必要的。通过工程实践,推荐了 AM-25、AM-40 的级配和混合料技术指标。设计空隙率一般在 15% 左右时,该混合料具有一定的排水能力和承载能力,故用 AM 符号表示。但是,推荐的半开级配大粒径沥青碎石基层(AM)的级配和设计方法与原规范中 AM 已不同了。半开级配排水沥青碎石具有一定承载能力,以及缓解反射裂缝、排除路面结构内部滞留水的作用,适用于做柔性基层、底基层。

厚度计算时应拟定该层厚度,计算其他结构层厚度。近年来山东省高速公路在新建和维修工程中已修建了该类排水基层,开通时间已有 1~5 年,使用状况良好。

排水基层(ATPB)适用于路面结构内部可能出现自由水,需考虑路面结构内部排水的特殊路段,因空隙率大于 18%,耐久性令人担忧。开级配排水基层(ATPB)在我国尚缺少实践,应通过试验研究慎重使用。

6.2.6 级配碎石是一种古典的路面结构层,常用几种粒径不同的碎石和石屑掺配拌制而成,适用于各级公路的基层和底基层。级配碎石可分为骨架密实型与连续型两类。

通过分析可知,几个主要国家的级配建议值几十年来很少变化,主要有以下特点:

(1)级配建议值范围波动幅度太宽(日本沥青路面纲要,美国 AASHO)。

(2)虽然按粗、中、细分为三类,但基本上都属于较为圆滑的连续级配。

(3)作为上基层,我国级配碎石的级配建议值,经过几次调整后甚至较现行规范的沥青下面层(AC-25I)还偏细。

各国规范的级配范围较宽,在建议范围内可做成不同的混合料,如悬浮-密实、骨架-密实、骨架-空隙等,同时还有不同的级配原则如连续级配、间断级配等,这为就地取材的设计原则拓宽了空间。有关试验研究表明:不同成型方法得到不同的 CBR 值和回弹模量。用振动法成型时,符合紧排骨架-密实原则的级配碎石,当达到振动压实标准 98% 压实度时,其回弹模量可在 500 ~ 550MPa 范围内变化。可见,对于交通量较大的公路可宜用骨架密实型级配。条文中级配碎石的 CBR 值是采用重型击实法标准的要求,若用振动法成型, CBR 值均有所提高。

目前压实工艺已发展到以调频调幅式的振动压路机为主,轮胎压路机的吨位也不断增大,击实法已落后于生产实际,在混合料的组成设计时应尽可能考虑材料与碾压工艺的相互作用,以便混合料形成最佳的组成结构。

在质量检验时,应加强级配管理、压实度检验,并进行现场承载板或简易落锤弯沉仪检验。根据综合模量检测,为今后的修订提供资料。

为减少沥青路面的反射裂缝,在交通量大、重车多时宜在半刚性基层上设置沥青碎石,在交通量较小、轻车多公路上可用级配碎石等柔性基层。对于高速公路、一级公路采用级配碎石用作基层或过渡层时,应先修试验段,注意抓好材料规格、级配碎石混合料的配制及施工质量的过程控制,总结经验,不能盲目地推广,尤其在交通量大、重车多的公路上应慎重采用。

6.3 刚性基层

6.3.1 贫混凝土、碾压式混凝土、水泥混凝土等刚性基层与其他基层相比具有较高的强度、刚度,较好的整体性和稳定性,良好的抗冲刷性能,多孔透水混凝土还兼有内部排水功能,可用于重载交通的路面基层。

从结构组成特征看,贫混凝土基层可分为密实贫混凝土和多孔贫混凝土。多孔贫混凝土指无砂或少砂透水贫混凝土。

贫混凝土基层沥青路面 LC-AC 设计方法可借鉴 RCC-AC 复合式路面的设计方法。荷载应力分析时,先利用三维有限元及正交异性接触单元计算无沥青层(AC 层)时贫混凝土基层(LC 层)底的最大荷载应力-弯拉应力,再利用弹性层状体系理论分析沥青层(AC 层)对贫混凝土基层(LC 层)的影响。

荷载应力分析得出:LC 层底荷载应力受沥青层厚度 h_a 、贫混凝土层厚度 h_c 、贫混凝土

土模量与底基层模量比 E_c/E_s 、贫混凝土模量与沥青混凝土层模量比 E_c/E_a (a 指 AC, c 指 LC, s 指底基层) 的影响变化规律在连续和光滑两种情况下相同。贫混凝土层底弯拉应力随沥青层厚度 h_a 的增大而线性减小; 随贫混凝土层厚度 h_c 的增大而减小; 随 E_c/E_s 的增大而增大, 增大幅度随着 h_c 的减小越为明显; 随 E_c/E_a 的增大而增大, 但增大幅度较为缓慢, 在 h_a 减小到 2~6cm 时已不明显。贫混凝土层底弯拉应力分析结果如图 6-5 ~ 图 6-10。

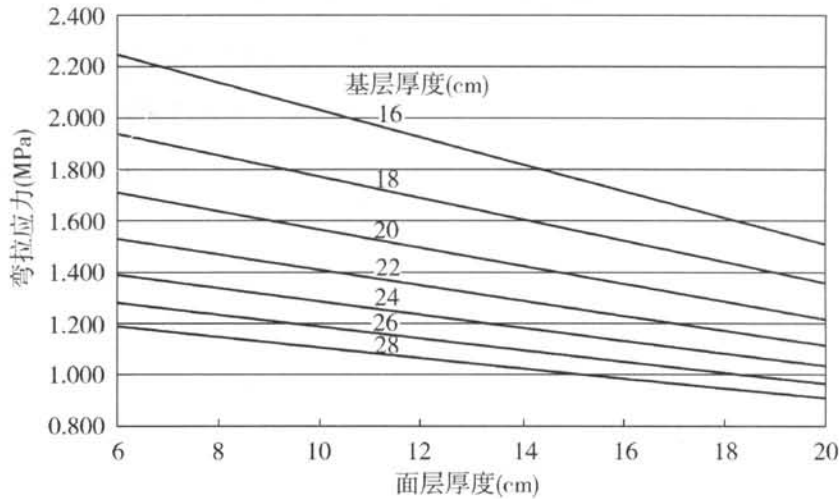


图 6-5 不同基层厚度时面层厚度对弯拉应力的影响

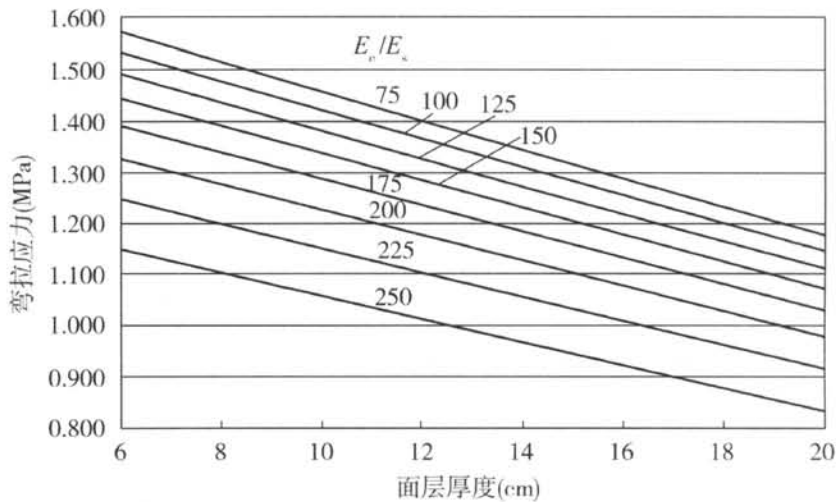


图 6-6 不同 E_c/E_s 时面层厚度对弯拉应力的影响

温度应力分析时, 借鉴 RCC-AC 的温度场和温度应力的分析方法, 利用有限元法求解 LC-AC 路面的非线性瞬态温度场, 空间上利用有限元, 时间上采用差分法, 获得不同自然区划的温度场和最大温度梯度推荐值, 计算出温度翘曲应力。由温度应力分析结果得出: 层间光滑时, LC 层的温度应力随 h_a 的增加而线性减小, 随 h_c 或 E_c 的增加而线性增加; 层间连续时, 由于要考虑底基层的热物理特性, 计算复杂, 但结果与层间光滑较为接近, 层间连续时的温度应力大约是层间光滑时的 96%。贫混凝土基层温度应力分析结果如图 6-11 ~ 图 6-16。

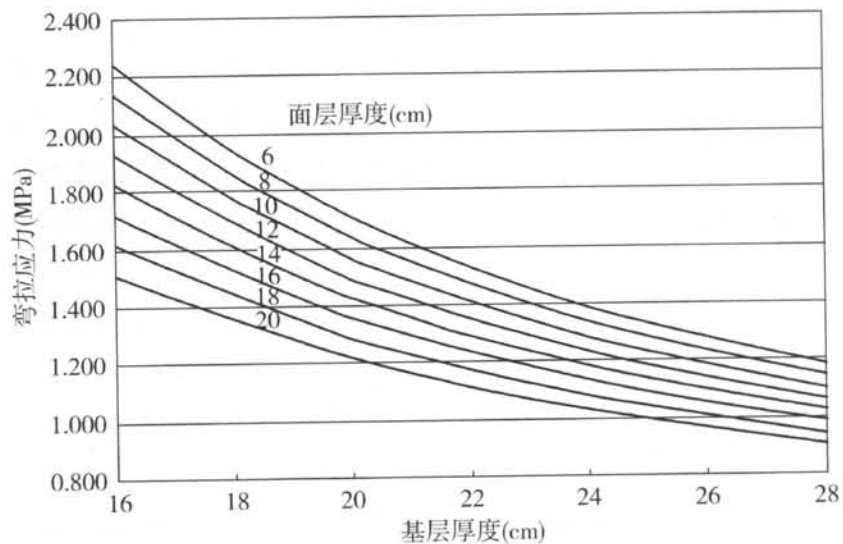


图 6-7 不同面层厚度时基层厚度对弯拉应力的影响

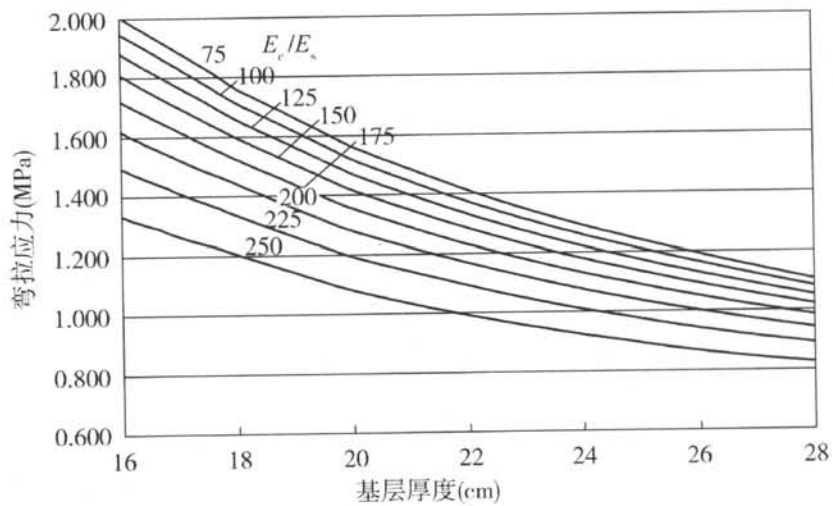


图 6-8 不同 E_c/E_s 时基层厚度对弯拉应力的影响

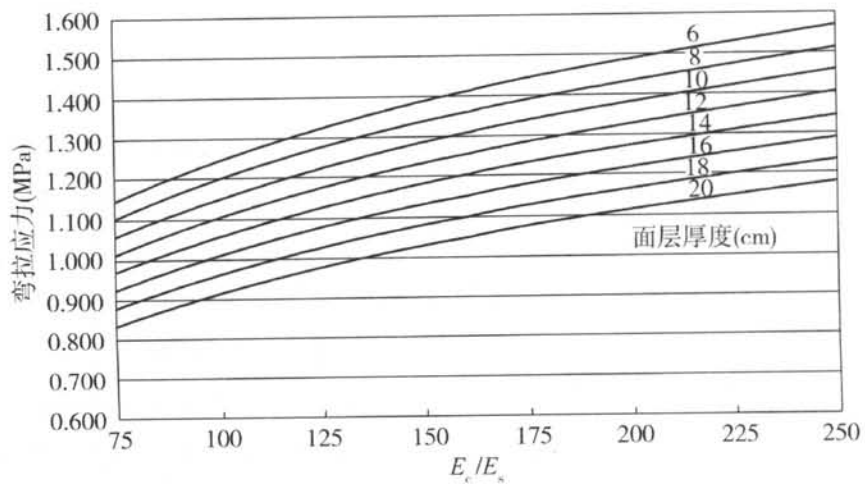


图 6-9 不同面层厚度时 E_c/E_s 对弯拉应力的影响

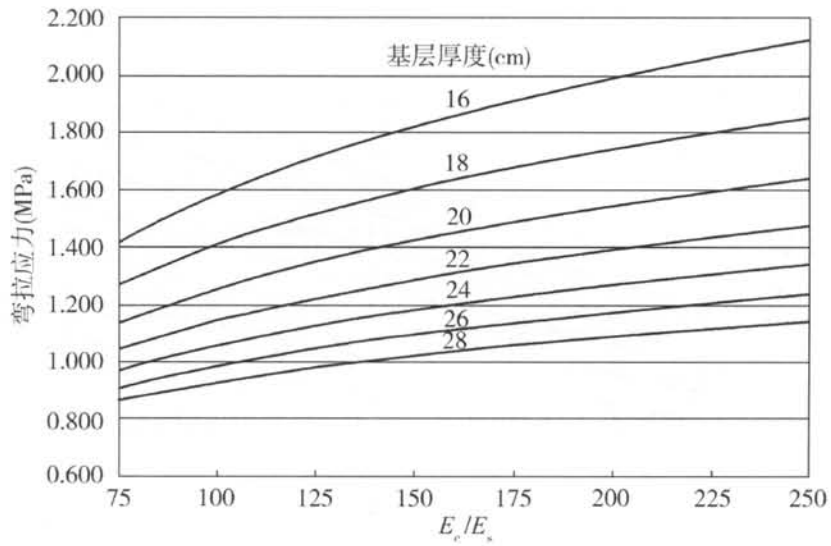


图 6-10 不同基层厚度时 E_c/E_s 对弯拉应力的影响

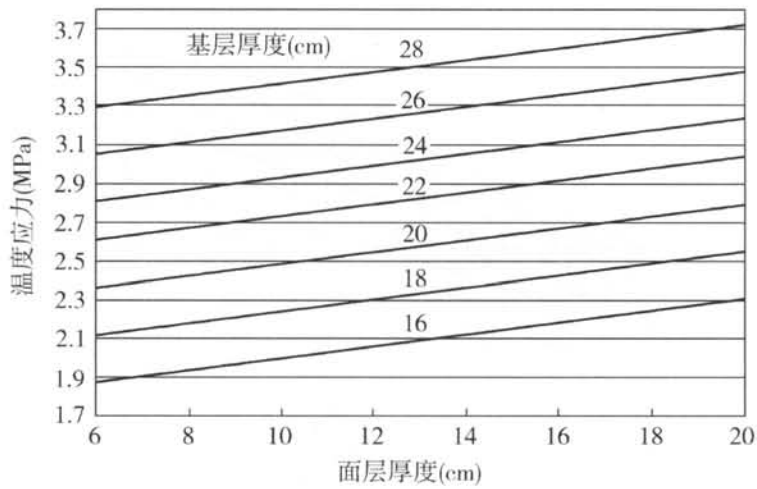


图 6-11 不同基层厚度时面层厚度对温度应力的影响

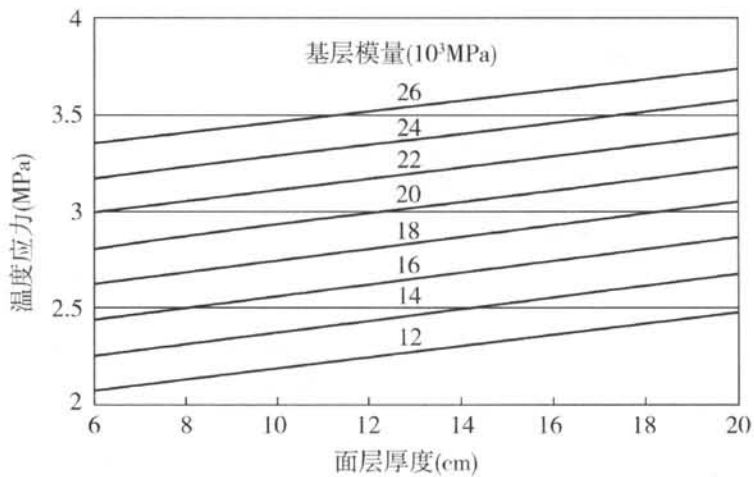


图 6-12 不同基层模量时面层厚度对温度应力的影响

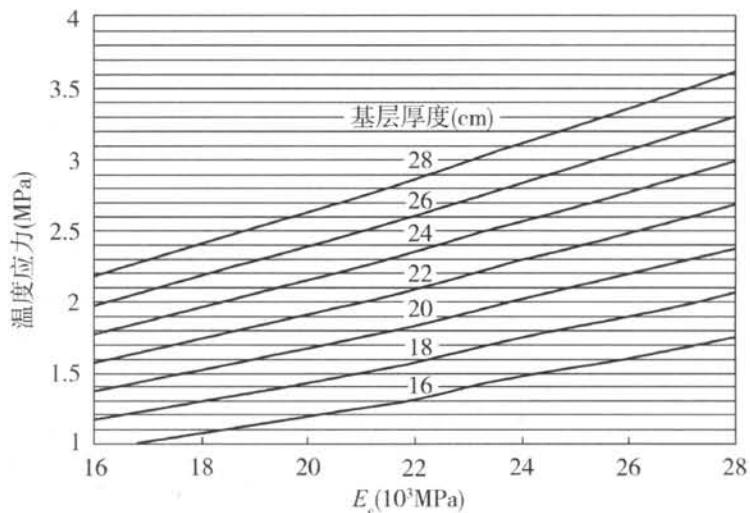


图 6-13 不同基层厚度时基层模量对温度应力的影响

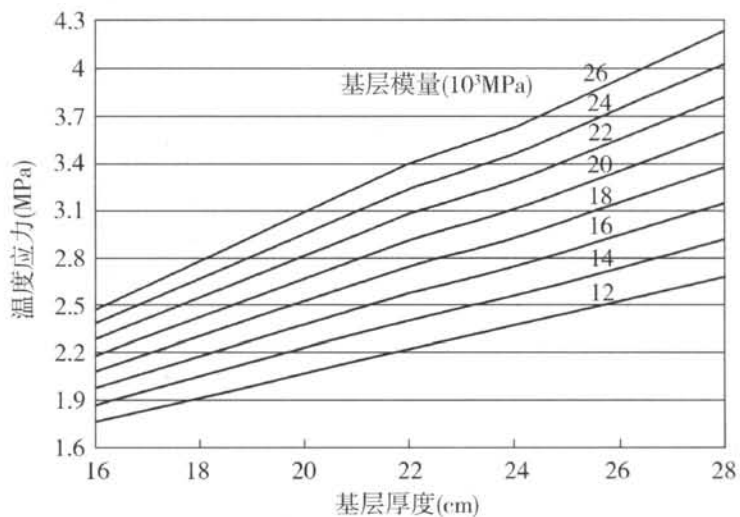


图 6-14 不同面层厚度时基层模量对温度应力的影响

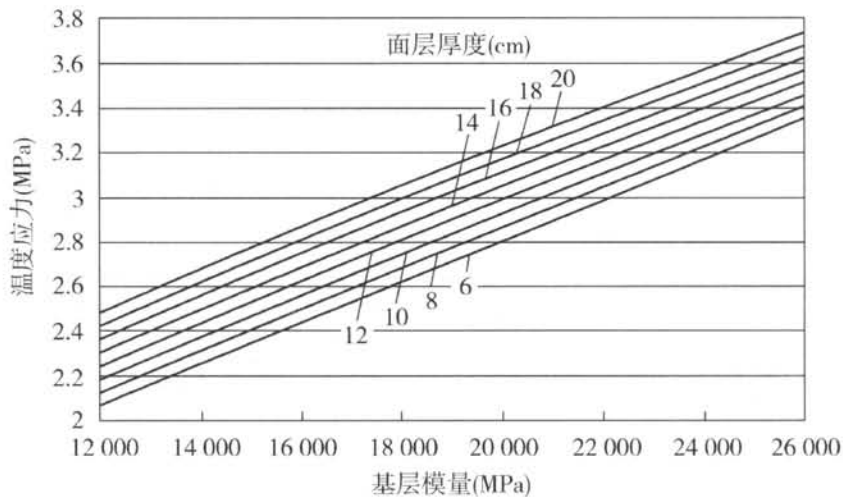


图 6-15 不同基层模量时基层厚度对温度应力的影响

6.3.2、6.3.3 贫混凝土基层材料的配合比设计和结构的设计龄期均取 28d。研究表

明,不掺粉煤灰的贫混凝土的强度随龄期增长幅度较低,90d的抗压强度是28d的105%,180d的抗压强度是28d的119%;掺粉煤灰的贫混凝土的抗压和抗弯拉强度随龄期的增长幅度高于不掺灰的贫混凝土;掺粉煤灰对强度增长是有利的。采用28d龄期的设计标准,也是兼顾掺粉煤灰贫混凝土基层的强度发展特性。

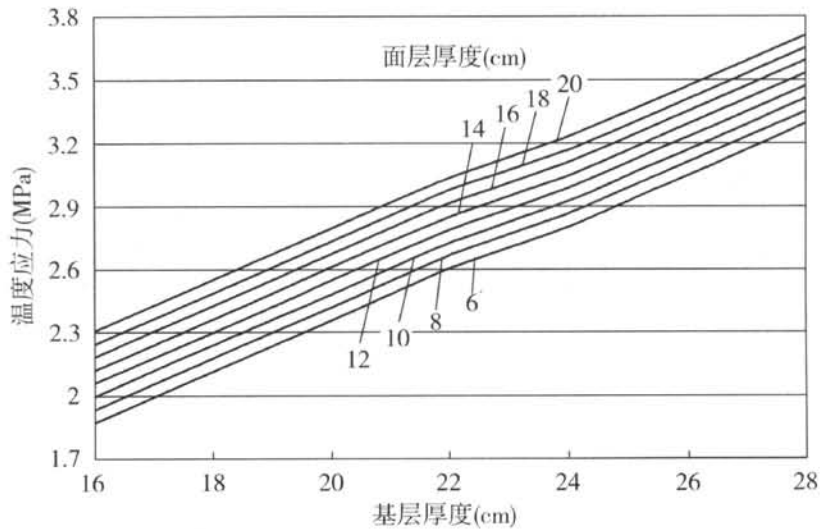


图 6-16 不同面层厚度时基层厚度对温度应力的影响

贫混凝土基层材料的配合比设计指标一般为28d抗弯拉强度。贫混凝土基层的7d抗压强度用于施工质检。由于掺粉煤灰贫混凝土基层强度增长较慢,施工质检以14d抗压强度控制较为稳定。

6.3.4 贫混凝土基层属刚性基层,在原材料选择、配合比设计和施工技术要求等方面,均与半刚性基层的差异较大,而更接近于水泥混凝土,原则上可沿用水泥混凝土现有的原材料检验、配合比设计、施工设备、铺筑技术及所有的试验检测方法和手段。

7 沥青面层

7.1 沥青混合料面层

7.1.1 该条内容是路面设计的两大目标之一,即在路面满足了结构性能要求的基础上,应满足行车的各项服务功能要求。但是,随着车辆反复作用和气候的四季变化,路用性能如平整度、摩擦系数等会逐年下降,营运期间的维修养护是不可缺少的部分。

7.1.2 关于沥青路面抗滑技术指标的条文,本次修订根据交通部“沥青路面抗滑标准”专题研究成果进行了修改。该成果是根据东北地区、华北地区、西北地区、华东地区、华南地区等7条高速公路(长平、长吉、石安、西宝、沪宁、杭甬、泉厦)的路面抗滑能力调查,并结合气候数据、交通事故等9万多个原始数据(表7-1)的分析结果提出的。

表 7-1 数据调查资料

地 区	路线	长度(km)	气候数据	路面数据	事故数据
东北地区	长平	83	240	6 500	488
	长吉	133	144	4 125	1 320
华北地区	石安	216	1 440	10 525	1 984
西北地区	西宝	130	576	6 896	1 840
华中地区	沪宁	275	720	12 200	22 544
华东地区	杭甬	145	144	6 861	6 512
华南地区	泉厦	81	96	4 016	2 224
合计		1 063	3 360	51 123	36 912

(1)新抗滑检测标准主要考虑了年降雨量。雨天路面抗滑性能下降,事故比平常多的事实早已被调查研究证实,因此,原规范未考虑降雨量大小,全国采用统一抗滑标准是不妥的。对不同的降雨量采用了不同的标准,避免一刀切的不合理现象。这样放宽了降雨量小的地区和干旱地区的路面防滑要求,可充分利用当地材料资源,节省工程造价。与原规范相比,这是一大进步。有些国家对一些行驶条件不良路段(如收费站口、匝道、急弯、陡坡等)提高了对摩擦系数的要求,也有些国家对不同的设计速度有不同的摩擦系数要求。理论上讲这是对的。但我们已经作了不同降雨量分区,若再进行其他分类,整个标准

体系将显得过于繁杂,这也会给路面设计带来许多不便,因此,新抗滑标准主要考虑了年降雨量、公路等级差异提出了相应的指标值。

(2)条文中表 7.1.2 是对高速公路和一级公路沥青路面的抗滑要求,二级公路可参照执行。这并不意味着二级公路危险程度的下降。事故资料表明,由于安全防护设施不完善和混合交通的原因,二级公路的事故率并不比高速公路和一级公路低。因此我们应对一般道路的安全性更加重视,应结合路线所经地区的环境、具体情况,参照条文规定进行设计。

(3)原规范中的摩擦系数以横向力系数为控制指标,基于下列理由,本次修订未作改变:①尽管有些地方引进了各种各样的纵向力系数测试仪器,但横向力系数测定仪仍是主流测试仪器。②20 世纪 90 年代曾进行过一次国际性摩擦系数测试仪器对比试验,试图建立国际摩擦系数指数(IFI),但试验结果并不理想,因此我们只能选择其中的一种仪器测值作为控制指标。③横向力系数更能表征侧滑的危险,而且可以连续测量。由于横向力系数测试车价格昂贵目前还没有普及,考虑施工控制和特殊地段的测试需要,引进了结构相对简单、使用方便的动态摩擦系数测试仪(DFT₆₀),它可用于高速公路、一级公路路面,以及施工控制、匝道、标线和其他不使用横向力系数测定车的场合。动态摩擦系数测试仪(DFT₆₀)的标准和测试方法参见美国标准 ASTM(E1911—98)。

摆式仪只能测量低速条件下的路面抗滑性能,反映路面局部微观构造情况,可用于二级公路。若用动态摩擦系数测试仪(DFT₆₀)和摆式值(BPN)检测时宜符合表 7-2 指标要求。

表 7-2 路面动态摩擦系数和摆式值

年平均降雨量(mm)	交工检测	
	高速、一级公路动态摩擦系数 DFT ₆₀	二级公路摆式值 BPN
> 1 000	≥0.59	≥58
500 ~ 1 000	≥0.54	≥56
250 ~ 500	≥0.47	≥54

(4)原规范中横向力系数测试车(SCRIM)的测试速度为 50km/h,本规范提高到 60km/h。这主要是考虑测试速度与实际行车速度更接近,虽然标准值未变,但因速度提高了,相应标准稍有提高。根据不同速度下 SFC 的试验曲线和 DFT 的试验曲线,测试速度由 50km/h 提高到 60km/h 时 SFC 大约会降低 1% ~ 3%。

(5)根据研究成果,获得横向力摩擦系数值 SFC₆₀与 DF₆₀、BPN 与 SFC₆₀的相关关系,见式(7-1)、式(7-2)。因此,可用动态摩擦系数测试仪的测定值换算成 SFC₆₀横向力摩擦系数值。目前我国横向力系数测试车的测试速度为 50km/h,故尚未建立 SFC₆₀和 DF₆₀之间的换算关系,通过实测建立的 SFC₅₀和 DF₆₀换算关系式(7-1)可参考使用。

$$SFC_{50} = 85.882 DFT_{60} + 4.6121 \quad (s = 0.95) \quad (7-1)$$

$$BPN = 0.4064 SFC_{60} + 36.353 \quad (s = 0.82) \quad (7-2)$$

另外需要说明的是,BPN 值必须用改进型的摆式摩擦系数测定仪测定。改进型摆式

仪的主要技术特征为:①用专用配方制成的橡胶片;②用挂重法测定的橡胶片对路面的正向静压力为 $22.2\text{N} \pm 0.5\text{N}$ 。

(6)本规范仍采用横向力摩擦系数和构造深度双指标控制。构造深度反映了路面表面的纹理深度,构造深度大,表示车辆高速行驶时轮隙下路表水可迅速排出,减薄水膜厚度,防止水漂现象,使路面在雨天的抗滑性能衰减减小,它是路面抗滑性能的一项重要指标,因此仍然采用。构造深度并非越大越好,构造深度过大,行车噪声增大,透水的可能性增大,施工难度也增大。为减少噪声,很多欧洲国家推崇“细而糙”的路面。因此,交工时构造深度 TD 在 $0.6 \sim 1.2\text{mm}$ 之间为宜,建议构造深度最好不大于 1.4mm 。

(7)路面抗滑标准由竣工验收标准改为交工检测标准。原规范中抗滑标准为竣工验收的标准,测试时间规定为交工验收后的第一个夏季,认为夏季是最不利季节。由于竣工验收时间往往滞后交工验收二、三年,多者达五年,摩擦系数在行车作用下随时间而衰减,衰减规律因石料品质、交通量、环境条件而异,作为竣工验收指标难以控制,故改为交工检测标准,以便于操作。在同一年中,路面摩擦系数随季节变化有一定的波动,但这种波动是有限的,除去冬天外,其他季节的差异较小。因此新规范规定在交工验收后 12 个月内进行。

7.1.3 近年来各地都进行了沥青混合料的研究与工程实践,出现了很多新的混合料设计方法,并根据工程实践总结了一些适合不同条件的级配类型,虽然有的级配名称不同,但基本原理相似。因此,为了区分各种沥青混合料的特点,首先按空隙率大小将沥青混合料分为密级配、半开级配、开级配三大类。密级配,在国外又可分粗型(AC-C)和细型(AC-F)。不同级配类型适用于不同条件。

粗级配是以粗集料为主,具有表面粗糙,构造深度较大,抗车辙、变形的性能较好等特点,适用于多雨炎热、交通量较大地区的表面层。中、下面层也可用粗级配沥青混合料,以增强抗车辙能力,但施工时应注意加强压实。

细级配因细集料较多,施工和易性较好,水稳定性、低温抗开裂及抗疲劳开裂性能等较好。但是,其表面致密,构造深度较小,可用于抗疲劳结构层或干旱少雨、交通量少、气候严寒地区的公路。

7.1.4 沥青混合料的类型选择和配合比设计是保证沥青路面质量和使用功能的关键。路面使用功能与沥青混合料组成有错综复杂而相互矛盾的关系。各结构层一般应选用密实型沥青混合料,以防止雨雪下渗,诱发水损害。同时,应考虑沥青混合料的高温抗车辙、低温抗开裂及抗疲劳、耐久等性能。由于影响各种使用性能的因素是既相关又矛盾,因此应结合当地的环境条件,抓住主要矛盾,综合、全面地考虑沥青混合料各种性能的平衡进行取舍,不能顾此失彼。由于各地气候、交通条件及使用要求不同,应根据当地实际情况和工程经验,选用适宜的级配类型和级配。

1 为了追求密实而粗糙的表面功能,克服水损害和车辙病害,总结了已有工程经验。

(1)在原规范实施时,有的地方出现了路面渗水、冒浆、坑洞的现象。据调查分析,相

同级配有的路段出现了水损害现象,有的路段却完好,其原因是复杂的,与石料质量、混合料的级配、混合料设计、沥青与石料黏附性、施工压实、层间结合不良以及管理等多方面有关。从技术上首先是减小沥青混合料空隙率、减少渗水,将原施工规范规定的 AK 型空隙率由 4%~10%降低为 3%~5%,将击实次数由 50 次增加为 75 次,加强现场压实度的控制,使现场空隙率小于 7%;将原空隙率较大的抗滑面层 AK 型级配向密实型调整,由连续级配 AC 型向 S 型调整,各地的级配均向以粗集料为主的骨架密实型级配靠近,这些改变使 AK 型级配的渗水性大大地减少。为了防止沥青与硬质石料的剥离现象,采用了改性沥青,掺入抗剥离剂或消石灰、水泥等措施,增强了沥青与石料的黏附性,提高混合料水稳定性,使水损害现象明显减少。另外,施工方面碎石规格、质量不好导致混合料离析,以及片面追求平整度,轻视压实工艺、忽视压实度等也是造成水损害的重要原因。把水损害的原因全归咎于 AK 型级配是片面的。近几年在混合料设计中注意控制空隙率、击实次数、压实度、防剥离措施以及加强施工管理,多数省份已基本解决了路面早期水损害问题。各地调整后的表面层级配,名称虽然不同,但级配却比较接近。

原规范 AK-13A 基本包括各方面的设计级配线。大量工程实践证明,经过对体积指标的调整,AK-13A 表面层可以达到粗糙、致密、均匀的效果,调整后的级配更名为粗级配 AC-13C。原规范中 AK-13B 偏粗,空隙率较大,易出现渗水现象,故不推荐。同理,原规范中的 AC-II 型级配都取消。

原规范 AK-16A 过去一般用于 4cm 的表面层,易离析,不易压实,空隙率大,表现出不同程度的渗水现象。近年来将级配曲线进行调整,控制设计空隙率在 4%~5%左右,并铺筑厚度增加为 50mm,施工时注意了防止离析和控制压实度后,渗水性减小了,仍可获得了粗糙密实表面层。同样,调整后的粗型级配改名为 AC-16C。新规范中粗级配 AC-13C、AC-16C 实际是原规范中 AK-13A、AK-16A 调整型,其级配范围可参考表 7-3。目前抗滑面层的级配类型有粗型级配 AC-13C、AC-16C, SMA-13、SMA-16、OGFC-10、OGFC-13,应根据各地的实际情况选用。

表 7-3 AC-13C、AC-16C 级配范围参考

级配类型	通过以下筛孔(mm)百分率(%)										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-13C		100	90~100	60~80	30~53	20~40	15~30	10~23	7~18	5~12	4~8
AC-16C	100	95~100	70~92	56~76	30~50	20~36	16~28	10~20	8~16	6~13	4~8

(2)原规范 AC-20I 级配,通过 4.75mm 筛孔的细集料占 38%~58%,明显偏多,沥青混合料呈悬浮密实结构,在高温季节或重载车等不利状态下,易出现车辙。因此对 AC-20I 进行改进,通过减少 4.75mm 筛孔的细集料,增加了粗集料含量,减少沥青用量,增加了高温稳定性。同样,将原规范 AC-25I 进行调整。现行施工规范中通过 4.75mm、2.36mm 筛孔的细集料的上限仍与原规范的 I 型相近,下限降低减小了 8%~10%。由于级配范围扩大,设计施工单位的灵活性虽然大了,但是在较大级配范围中确定一个符合路用性能要求的级配,设计难度增加了,因此应结合当地自然条件,认真对待混合料的级配设计。根据各地资料推荐的中、下面层级配见表 7-4,可结合当地情况选用。

表 7-4 中、下面层级配范围

级配类型	通过以下筛孔(mm)百分率												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-20C		100	90~100	74~90	62~82	50~70	32~46	22~36	16~28	10~22	6~16	4~12	3~7
AC-25C	100	90~100	70~90	60~82	51~73	40~65	24~48	14~32	10~24	7~18	6~14	4~10	3~7

2 级配类型与选择

(1) 表面层应具有密实均匀、抗滑耐磨的功能,对气候炎热、多雨潮湿地区,路线平纵线形不良路段,宜选用表面粗糙的抗滑面层(AC-C、SMA)。沥青混合料的级配与沥青层的厚度相匹配。当表面层厚度为 40mm 时,可选用 AC-13C、SMA-13 等级配类型。长大纵坡段、弯道或重车多的路段,气候严寒地区的表面层厚度宜为 45~50mm,可选用 AC-16C、SMA-16 等级配类型。

(2) 根据对车辙路段的调查,车辙变形主要产生在中面层,这与我国的中面层设计主要考虑防止渗水而采用细集料较多的密级配有关。在 2002 年我国长、陡纵坡段、重车多公路出现较多的车辙现象后,中、下面层开始选用粗级配,使混合料向骨架密实型级配发展,以提高其高温稳定性和水稳性,如选用 AC-20C、SUP-19 或 SMA-20 等级配类型。

(3) 下面层可选择沥青混凝土 AC-25 或密级配沥青碎石 ATB-25、LSM-25 做柔性基层。

(4) 半开级配沥青碎石(AM)不宜做面层,因空隙率大,渗水严重。半开级配沥青碎石 AM-13、AM-16、AM-20 主要用于调平层。

(5) 开级配磨耗层(OGFC),其设计空隙率为 18%~24%。它具有排水、减少水膜厚度,防止水漂及抗滑功能,可降低噪声。但应做好防水层与排水措施,且造价较高,尘土污染堵塞空隙,清理维护等是个问题。

7.1.5 根据工程实践经验推荐出各种沥青混合料级配表(附录 C 表 C.1),因有的级配范围较宽,应结合当地具体情况和使用经验选择级配曲线和范围。最好选择 2~3 条级配曲线,通过混合料配合比试验,结合各地经验确定油石比,并对混合料进行路用性能检验,如高温稳定性、低温稳定性、水稳性、渗水性,有条件时进行抗滑性能等检验;根据各项技术指标,综合当地实际情况,择优选定沥青混合料级配。更重要的是通过试拌试铺,检验配合比的合理性,经业主、设计、监理、施工共同确认质量合格,才能正式摊铺。

关于密级配沥青混合料配合比设计方法,详见《公路沥青路面施工技术规范》有关方法。目前主要采用马歇尔试验方法,国内部分单位引进了美国 Superpave 方法和 GTM 法等,并修建了很多实体工程,近年的使用效果较好,因此这些方法也可使用。

7.1.6 20 世纪 90 年代我国路面车辙问题不明显,但是进入 21 世纪水损害基本解决后,车辙又开始突出。特别是 2002 年夏天,全国普遍出现持续高温,无论南方或北方部分省份,在爬坡路段,重车、超载车多的路段,沿行车道轮迹带上,出现了不同程度的车辙,有的路段出现较严重推移流动和变形。据现场调查,沥青混合料的推移、变形主要是产生在中面层,少数下面层也产生流动。据理论分析,路面剪应力主要分布在路面 5~8cm 范围

内,路面剪应力的大小与轮载和路面纵坡、行车速度有关。因此,产生车辙的外因是:重载交通下,在纵坡上行驶速度慢,轴载越重,沥青面层与半刚性基层的界面剪应力和沥青层的剪应力也越大;半刚性基层与沥青面层间模量比越大,界面剪应力越大,沥青层的剪应力也越大;夏季持续高温会使沥青混合料呈塑性状态,抗剪强度下降,当剪应力大于沥青混合料的抗剪强度时路面可能产生剪切变形。内因是:沥青混合料设计或施工不当,级配中细集料偏多,空隙率偏小,沥青用量偏大,沥青稠度偏低(偏稀)等都会使抗剪强度下降;另外,石料加工的规格、品质不统一,管理混乱,级配控制不严,石料粉尘过多或粉胶比过大等,造成沥青混合料热稳定性不足而产生车辙、流动。因此,表面层、中面层的混合料设计应综合考虑防止渗水与高温稳定性两方面矛盾的统一,不能偏废。

(1)国际上对沥青混合料热稳定性的评价,尚无统一、公认的方法,各国采用的指标体系、试验设备和试验方法各异。原规范采用“七五”攻关的成果,引进了车辙试验设备和动稳定度评价指标,并采用当时的国产沥青和细集料较多的连续级配做的试验结果所提出的动稳定度标准偏低。评价高温稳定性的指标有动稳定度、相对变形、蠕变等。虽在沥青混合料的专题研究认为,相对变形与动稳定度有良好关系,单轴蠕变试验的蠕变劲度也可表征沥青混凝土的热稳定性能,但因试验资料较少尚未提出推荐值。故本次仍用车辙试验所获得的动稳定度表示。

(2)路面车辙与气候条件、交通量与交通组成有关,应根据不同气候条件、不同交通等级提出不同的动稳定度指标值。沥青混合料的动稳定度与沥青标号、改性沥青种类、级配类型、试验温度与轮压等有关。限于研究工作深度不足,仍不能如愿地明确动稳定度、车辙深度与气候、交通条件、不同结合料、沥青混合料的级配等之间的复杂关系,因此,动稳定度只是检验、评价沥青混合料高温稳定性的相对指标,目前它还不能实现对路面车辙的控制。

鉴于原规范的条文中动稳定度是全国统一一个标准,显然不适应各地气候、交通条件,因此,本条文只能给出一些定性的指导,可参考施工规范并根据当地的具体条件和工程经验提出沥青混合料动稳定度的设计值。

(3)重载交通是高温季节产生车辙的重要原因。当用动稳定度评价沥青混合料热稳定性时,试验温度一般为 60°C ,轮压为 0.7MPa ;对于重载或超载交通,轮压可达 $0.8\sim 1.1\text{MPa}$,因此,对重载车多、特重交通、重要公路,以及连续长、大纵坡、匝道、交叉口、大型车辆出入口、停车场等特殊情况,可提高动稳定度的要求或适当提高试验温度或试验轮压,对气候寒冷地区也可适当降低试验温度等。

(4)若达不到动稳定度技术要求应采取技术措施,提高沥青混合料的抗剪强度。选用骨架密实型级配,可提高沥青混合料的嵌锁能力;采用改性沥青、高黏度改性沥青或比面层更稠一级的沥青,对提高热稳定性有明显效果;掺入 $0.25\%\sim 0.4\%$ 的耐高温的合成纤维(聚丙烯腈、聚酯纤维)、矿物纤维等可提高路用性能。

7.1.7 评价沥青路面水稳定性除采用沥青与石料间的黏附性指标外,还采取了浸水马歇尔残留稳定度及冻融劈裂试验。国外采用浸水车辙试验评价沥青抗剥离性能,我国尚

缺资料,需积累资料。

原规范根据“八五”攻关成果的建议,冻融劈裂试验仅限于在年最低气温低于 -21.5°C 的寒冷地区使用,但是通过近年实践,该方法是以严酷试验条件评价沥青混凝土的水稳定性,南方多雨地区都采用该指标评价沥青混凝土的水稳定性,取得良好效果。因此,本次修订条文将冻融劈裂试验评价混合料水稳定性的适用范围扩大至全国,使沥青混凝土具有一定的水稳定性,以避免路面出现早期水损害现象。

若沥青混合料不能满足水稳定性的要求,应掺入消石灰或水泥,其掺入剂量由试验确定。一般在沥青混合料中掺入占总质量 $1.5\% \sim 2\%$ 的消石灰或 $2\% \sim 2.5\%$ 的水泥代替矿粉。因各地的石质不同,不宜照搬。

7.1.8 沥青混凝土路面的低温抗裂性能,受到广泛的重视。根据国内科研成果和近年试验结果,提出了沥青混合料低温弯曲试验破坏应变($\mu\epsilon$)技术指标。该指标是相对指标,仅用于评价沥青混凝土路面的低温抗裂性能,并不能控制低温裂缝的产生,对凉区、寒冷地区是一个参考性指标。

7.1.10 开级配磨耗层(OGFC)与排水面层都是开级配沥青混合料,路面雨水可由凹凸不平的表面迅速渗入路表层并通过内部排水系统排出,它具有表面粗糙、抗滑、减噪作用,在欧、美多称开级配抗滑磨耗层(OGFC),在日本称为排水路面。行车无水雾且视线良好,无水漂现象,明显提高行车的安全性是它们的优点。排水路面还具有一定的降低行车噪声的效果。两者主要区别见表7-5。

表 7-5 OGFC 与排水面层的区别

项 目	OGFC	排水面层
主要用途	增强雨天时的阻力,防止浸水的磨耗层(不计入厚度计算)	增强雨天时的阻力,防止浸水,降低噪声的表面层(计入厚度计算)
施工厚度(mm)	20左右	40~50
结合料	20号、30号硬质沥青等	高黏度改性沥青
集料的最大粒径(mm)	10	13或20
空隙率(%)	15左右	20左右
沥青量(%)	6.0~7.5	4.0~6.0

开级配抗滑面层在欧、美、日本等国已使用了多年,并制定了从设计、施工、养护机械等成套技术,取得了良好的综合效益。我国正开展研究,为此,参照国外资料和实践,初步提出了开级配沥青混合料的结合料、级配、混合料的技术要求,供设计参考。开级配沥青混合料宜用改性沥青、橡胶沥青或高黏度改性沥青。高黏度沥青的性能指标可参考表7-6的要求。

表 7-6 高黏度沥青性能指标技术要求

试验项目	技术指标	试验项目	技术指标
针入度(25℃,50g,5s)(0.1mm)	≥40	薄膜加热针入度比(%)	≥65
软化点 $T_{R\&B}$ (℃)	≥80.0	韧性[N·m(kgf·cm)]	≥20(200)
延度(5cm/min,15℃)(cm)	≥50	黏附性[N·m(kgf·cm)]	≥15(150)
闪点(℃)	≥260	60℃黏度[Pa·s(Poise)]	≥20 000(200 000)
薄膜加热质量变化率(%)	≤0.6		

开级配沥青混合料的技术要求见表 7-7。

表 7-7 开级配沥青混合料技术要求

试验项目	单位	技术要求
设计空隙率	%	17~23
马歇尔试验的稳定度	kN	≥3.5
析漏损失	%	≤0.3
飞散损失	%	≤20
车辙试验动稳定度	次/mm	≥3 000
水稳定性:残留马歇尔稳定度	%	≥80
冻融劈裂强度比	%	≥70
浸水飞散损失	%	≤30
排水性能:渗透系数	cm/s	>0.01
渗水量	mL/15s	>900

7.1.11 热拌沥青碎石(AM)可用于调平层。热拌沥青碎石因空隙率为 12%~18%,透水性大,不宜做面层,只有在具有良好的透水性的粒料基层上可做面层或在其上加密级配沥青混凝土。当用于调平层时,根据沥青层厚度选择级配,沥青层最小厚度应为公称最大粒径的 2~2.5 倍。

7.2 沥青贯入式路面与表面处治

7.2.1 原规范中规定沥青贯入式上部加铺拌和层的厚度宜为 30~40mm,其总厚度宜为 70~100mm;此次修改为拌和层的厚度宜为 20~40mm,其总厚度宜为 60~100mm。这是根据已有道路的成功经验进行的修改。

7.2.5 原规范中规定拌和法沥青表面处治厚度宜为 30~40mm。由于沥青贯入式路面中的拌和层厚度已修改为 20~40mm,因此拌和法沥青表面处治厚度也修改为 20~40mm。

7.2.6 稀浆封层是新增加的内容。稀浆封层可用于新建公路的磨耗层或保护层,也可

作下封层,这在我国已有了成功的经验,尤其是对于缺乏优质石料作抗滑层的地区,可以节省造价。

稀浆封层的混合料中乳化沥青及改性乳化沥青的用量应通过配合比设计确定。混合料的质量应符合有关规范的技术要求。

稀浆封层应选择坚硬、粗糙、耐磨、洁净的集料,不得含有泥土、杂物。粗集料应满足热拌沥青混合料所使用的粗集料质量技术要求,表观相对密度、压碎值、洛杉矶磨耗值等指标可使用较粗的集料或原石料进行试验。当采用与结合料黏附性达不到4级以上的酸性石料时必须掺加消石灰或抗剥离剂。细集料宜采用洁净的优质碱性石料生产的机制砂、石屑,小于4.75mm部分细集料的砂当量应符合有关规范的要求,且不得使用天然砂。如发现集料中有超规格的大粒径颗粒时,必须在运往摊铺机前将集料过筛。混合料各筛孔的通过率必须在设计标准级配的允许波动范围内波动,所得级配曲线应尽量避免出现锯齿形。有实际工程证明,使用的级配能够满足稀浆封层使用要求,并具有足够的耐久性时,经过专家论证,得到主管部门认可,也可使用。

8 新建路面结构厚度

8.0.1~8.0.4 在原规范中,路表弯沉值为设计指标,沥青层、半刚性材料基层的抗弯拉应力为验算指标,本规范将路表弯沉值和弯拉应力均作为设计指标,仍然采用双圆均布荷载作用下的弹性层状理论体系进行厚度计算。

(1)以路表回弹弯沉值作为保证路面结构整体刚度的设计指标

路表回弹弯沉是车辆荷载作用下弹性层状体系理论计算的一个指标,它与路基顶面压应变有密切关系。路表回弹弯沉是路面各结构层的变形与土基回弹变形之和,且土基回弹变形占路表总回弹变形的比例一般在90%以上,因此路表回弹变形能够反映土基的工作状态,弯沉值的大小表征了路面整体刚度的弱强,即路面结构扩散荷载应力的能力。路表弯沉值可以简单地用贝克曼梁量测,操作简便,真实可靠,廉价,易于推广。而压应变指标测试很困难,且无法用于工程质量检验与旧路面承载力评价,暂不建议采用土基压应变指标。

弯沉值标准是以路面在车辆荷载反复作用下出现纵向裂缝为临界状态,以纵向网裂为破坏状态,它主要反映在车辆荷载作用下路面结构整体,包括结构层部分应力与抗力对比失衡状态时的表观特征。

(2)以弯拉应力作为控制结构层疲劳开裂的设计指标

在车辆荷载反复作用下,沥青层层底产生拉应变或拉应力而导致路面疲劳开裂。从现行理论出发,路面裂缝是由下而上发生、发展,它的外观特征是先发生纵向裂缝再逐步发展成纵向网裂、龟裂破坏。对半刚性基层沥青路面结构,沥青层底主要是压应力或很小的拉应力,沥青层的拉应力或拉应变不起控制作用,半刚性基层、底基层的拉应力起主要控制作用。对柔性基层沥青路面结构,除用弯沉值可控制土基的压应变、压应力外,沥青层的拉应变,受沥青层与粒料层之间的模量比影响,模量比越大,沥青层的拉应变越大。但是,路面出现裂缝的原因还有以下三种:沥青层因气候、日温差或季节的热冷变化,使路面产生温度应力疲劳开裂;因突然寒流袭击,骤然降温使温度应力大于沥青抗拉强度而使路面拉裂;沥青层老化可能引起开裂。从近年来的钻孔调查可知,有的裂缝是从沥青表面层向中面层发展,并不全是半刚性裂缝反射的结果,也有的裂缝是贯穿沥青层。可见规范中的层底拉应力或拉应变指标也不能全面表征沥青层的开裂破坏现象。在国外文献中,也有关于在轮迹边缘处沥青层的裂缝从上而下扩展的报道。实际上路面产生裂缝和发展过程是复杂的。对于路面的温度应力引起疲劳、沥青老化,沥青混合料的热稳定性不足而产生的车辙变形、剪切破坏等,靠现行设计指标是不能解决的。因此,需研究新的设计指标,控制上述破坏现象的产生。目前,规范主要从材料选择、混合料优化设计、结构组合等方面弥补设计方法的不足。

(3)关于剪应力指标

由于我国重车增多、超载严重和丘陵、山区的高速公路建设,在长、大纵坡段、弯道、匝道等路段上,在夏季持续高温季节,易出现路面车辙。剪切指标与沥青混合料的热稳定性密切相关,高温时沥青混合料的黏结力 C 和内摩阻力 φ 有明显变化。对山区高速公路或者纵坡较大、坡度超长路段,应考虑车辆荷载的水平分量所产生的路表剪应力,贫混凝土基层、旧水泥混凝土板上界面的剪应力,以及交叉口制动时剪应力等理论计算。抗剪强度测定、容许剪应力等问题均需进一步研究,目前尚不能纳入规范。

(4)层间接触状态

沥青路面结构的应力与应变分析表明,路面结构设计中层间结合条件对设计结果有较大影响,尤其是对拉应力(包括剪应力),滑动状态下基层拉应力设计比连续状态提高1~2倍。设计中采用什么样的层间接触条件取决于施工条件和材料特性。如果路面按滑动状态设计就显得过于保守,路面厚度太厚。原则上我们设计时应按层间连续状态,用APDS专用程序进行厚度计算,要求设计应采取技术措施尽量保证各层的紧密结合,使其层间处于连续状态。若设计需考虑沥青层与半刚性基层之间可能出现移动时,可根据具体情况选定层间结合系数进行计算。

8.0.5 路表弯沉值的标准与材料、路面结构类型及厚度有直接关系。若控制路基容许压应变相同,则可选择若干不同路面材料和厚度的结构,但是各结构的路表弯沉则不同。由于控制路表弯沉值比控制路基容许压变更更方便可行,故以路表弯沉值为设计指标时,其设计弯沉的标准必须考虑不同路面结构的影响,采用路面结构类型系数确定设计弯沉标准是合理的。

原规范的条文说明已论述了半刚性基层和柔性结构层的路面结构系数 A_b 分别为1.0和1.6的来源。对采用柔性结构层和半刚性基层组合而成混合式基层的路面,是从柔性向半刚性过渡的结构,设计弯沉值应介于二者之间,路面结构系数 A_b 可采用内插的方法处理。即半刚性基层或底基层上柔性结构层总厚度小于180mm时为半刚性基层结构,路面结构系数 A_b 为1.0;柔性结构层大于300mm,路面结构系数 A_b 为1.6;柔性结构层为180~300mm之间,路面结构系数 A_b 可线性内插。对于交通量较大的柔性基层沥青路面结构,目前尚处于研究阶段,缺乏工程实践经验,因此采用柔性基层沥青路面结构时,应结合国外经验和国内实际,慎重为之。

8.0.7 设计参数是材料设计、混合料设计、结构设计中的重要内容,长期以来路面设计人员忽视材料设计参数测定,造成路面设计仅仅是抄录规范参数进行厚度计算的局面。因此,我国路面设计参数的资料积累非常少。为了加强这一工作,根据不同的公路等级、设计阶段提出了路面设计参数测试与取值要求。

8.0.8 材料参数的测定方法对试验结果有较大影响,如成型方法、仪器、温度控制、加载方式等,本次未对材料参数的测定方法进行研究。

设计参数应根据路面的损坏类型、受力模式采用不同方法测定相应的参数。对于拉应力计算,考虑到梁式试件笨重、试验繁琐及数据离散性大的缺点,曾在 1997 年规范修订时简化了材料参数的试验方法,提出了用抗压模量代替弯拉模量、劈裂强度代替弯拉强度,以便于普及应用。已有专题研究了抗压模量代替弯拉模量、劈裂强度代替弯拉强度的可行性,并对弯拉疲劳与劈裂疲劳进行了对比分析。但从目前路面设计来看,这套参数体系导致拉应力基本不控制路面的结构设计,从对比结果看,采用抗压模量代替弯拉模量、劈裂强度代替弯拉强度其取值偏于保守,半刚性基层的推荐抗压模量远远低于弯拉模量,弯拉模量与抗压模量比值一般大于 2~3;劈裂强度小于弯拉强度,弯拉强度与劈裂强度的比值一般在 1.1~1.7 之间,显然不是同比例的变化。从指标与计算参数统一出发,采用弯拉模量与弯拉强度更合理,但是,目前实测弯拉模量与弯拉强度数据较少,希望各省份根据当地材料制作件测试计算参数。在没有大量试验资料前,仍采用抗压回弹模量与劈裂强度作为弯拉计算的参数。

8.0.9、8.0.10 原规范在弯沉与弯拉指标的计算中,均采用均值减二倍均方差的方法计算模量,对弯拉应力的计算偏于不安全,因此,本次规范考虑模量取值的不利组合,采取计算层以上的模量用均值减二倍均方差,弯拉应力计算层的模量用均值加二倍均方差的方法,使计算获得较大拉应力。在考虑了材料模量的不利组合后,结构层弯拉应力将起控制作用。

8.0.12 早在 20 世纪 70 年代,我国在研究双圆荷载作用下双层弹性体系理论运用时,发现用整层试槽和分层反算模量确定材料模量计算得到的理论弯沉值与实测弯沉值不相吻合。这是因为弹性层状理论是在一定假设条件下(半无限空间体、材料各向同性、均质体且不计自重)经过复杂的力学、数学推演的理论体系,假设条件与路面实际不完全相符合,导致理论计算与实测值不一致。因此,在制定 1976 年《公路柔性路面设计规范》时,引入弯沉修正系数,它为实测弯沉值和理论计算值的比。

1997 年规范修订时,又扩大了试验,通过七条试验路铺筑的 49 种结构,路面总厚度在 49~93cm,实测表面弯沉值为 3~88(0.01mm),多数弯沉值为 10~50(0.01mm),土基模量大多为 30MPa 的条件下,将测试资料分析后提出弯沉修正系数 F ,使计算弯沉值与实测弯沉值趋于接近实际。本次修订规范中也修筑了试验路,对弯沉修正系数 F 进行了检验,认为原规范的弯沉修正系数 F 仍然适用,故本次未进行修改。

8.0.14 新建沥青路面结构层厚度计算示例

(1) 基本资料

① 自然地理条件

新建高速公路地处 II₂ 区,为双向四车道,拟采用沥青路面结构进行施工图设计,沿线土质为中液限黏性土,填方路基高 1.8m,地下水位距路床 2.4m,属中湿状态;年降雨量为 620mm,最高气温 35℃,最低气温 -31℃,多年最大道路冻深为 175cm,平均冻结指数为

882℃,最大冻结指数为 1 225℃。

② 土基回弹模量的确定

设计路段路基处于中湿状态,路基土为中液限黏质土,根据室内试验法确定土基回弹模量设计值为 40MPa。

③ 根据工程可行性研究报告可知路段所在地区近期交通组成与交通量,见表 8-1。预测交通量增长率前五年为 8.0%,之后五年为 7.0%,最后五年为 5.0%。沥青路面累计标准轴次按 15 年计。

表 8-1 近期交通组成与交通量

车型分类	代表车型	数量(辆/d)
小客车	桑塔纳 2000	2 280
中客车	江淮 AL6600	220
大客车	黄海 DD680	450
轻型货车	北京 BJ130	260
中型货车	东风 EQ140	660
重型货车	黄河 JN163	868
铰接挂车	东风 SP9250	330

④ 设计轴载

累计轴次计算结果见表 8-2,属于重交通等级。

表 8-2 轴载换算与累计轴载

汽车车型	前轴重(kN)	后轴重(kN)	后轴数	后轴轮组数	后轴距(m)	日交通量(辆/d)
北京 BJ130 型轻型货车	13.4	27.4	1	2	0	260
东风 EQ140 型	23.6	69.3	1	2	0	660
东风 SP9250 型	50.7	113.3	3	2	4	330
黄海 DD680 型长途客车	49.0	91.5	1	2	0	450
黄河 JN163 型	58.6	114.0	1	2	0	868
江淮 AL6600 型	17.0	26.5	1	2	0	220
换算方法	弯沉及沥青层拉应力指标			半刚性层拉应力指标		
累计交通轴次	2 098 万次			2 673 万次		

(2) 初拟路面结构

根据本地区的路用材料,结合已有工程经验与典型结构,拟定了三个结构组合方案。按算法确定方案一、方案二的路面厚度;按验算法验算方案三的结构厚度。根据结构层的最小施工厚度、材料、水文、交通量以及施工机具的功能等因素,初步确定路面结构组合与各层厚度如下:

方案一:

4cm 细粒式沥青混凝土 + 6cm 中粒式沥青混凝土 + 8cm 粗粒式沥青混凝土 + 38cm 水泥稳定碎石基层 + ? 水泥石灰砂砾土层,以水泥石灰砂砾土为设计层。

方案二:

4cm 细粒式沥青混凝土 + 8cm 中粒式沥青混凝土 + 15cm 密级配沥青碎石 + ? 水泥稳定砂砾 + 18cm 级配砂砾垫层,以水泥稳定砂砾为设计层。

方案三:

4cm 细粒式沥青混凝土 + 8cm 中粒式沥青混凝土 + 2 × 10cm 密级配沥青碎石 + 35cm 级配碎石。

(3) 路面材料配合比设计与设计参数的确定

① 试验材料的确定

半刚性基层所用集料取自沿线料场,结合料沥青选用 A 级 90 号,上面层采用 SBS 改性沥青,技术指标均符合《公路沥青路面施工技术规范》相关规定。

② 路面材料配合比设计(略)

③ 路面材料抗压回弹模量的确定

a. 根据设计配合比,选取工程用各种原材料制件,测定设计参数。

按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》中规定的顶面法测定半刚性材料的抗压回弹模量。

b. 按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中规定的方法测定沥青混合料的抗压回弹模量,测定 20℃、15℃ 的抗压回弹模量,各种材料的试验结果与设计参数见表 8-3 和表 8-4。

表 8-3 沥青材料抗压回弹模量测定与参数取值

材料名称	20℃ 抗压回弹模量(MPa)			15℃ 抗压回弹模量(MPa)			
	E_p	方差	$E_p - 2\sigma$	E_p	方差	$E_p - 2\sigma$	$E_p + 2\sigma$
		σ	$E_{p代}$		Σ	$E_{p代}$	
细粒式沥青混凝土	1 991	201	1 589	2 680	344	1 992	3 368
中粒式沥青混凝土	1 425	105	1 215	2 175	187	1 801	2 549
粗粒式沥青混凝土	978	55	868	1 320	60	1 200	1 440
密级配沥青碎石	1 248	116	1 016	1 715	156	1 403	2 027

表 8-4 半刚性材料及其他材料抗压回弹模量测定与参数取值

材料名称	抗压模量(MPa)			
	E_p	方差	$E_p - 2\sigma$	$E_p + 2\sigma$
		σ	$E_{p代}$	
水泥稳定碎石	3 188	782	1 624	4 752
水泥石灰砂砾土	1 591	250	1 091	2 091
级配碎石	400			
级配砂砾	250			

④路面材料劈裂强度测定

根据设计配合比,选取工程用各种原材料,测定规定温度和龄期的材料劈裂强度。按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》与《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》中规定的方法进行测定,结果见表 8-5

表 8-5 路面材料劈裂强度

材料名称	细粒式沥青混凝土	中粒式沥青混凝土	粗粒式沥青混凝土	密级配沥青碎石	水泥稳定碎石	水泥石灰砂砾土	二灰稳定砂砾
劈裂强度(MPa)	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.4	0.6

(4)路面结构层厚度确定

①方案一的结构厚度计算

该结构为半刚性基层,沥青路面的基层类型系数为 1.0,设计弯沉值为 20.60 (0.01mm)。利用设计程序计算出满足设计弯沉指标要求的水泥石灰砂砾土层厚度为 11.1cm;满足层底拉应力要求的水泥石灰砂砾土层厚度为 16.5cm。设计厚度取水泥石灰砂砾土层为 17 cm。路表计算弯沉为 18.57 (0.01mm)。各结构层的验算结果见表 8-6。

表 8-6 结构厚度计算结果

序号	结构层材料名称	20℃抗压模量(MPa)		15℃抗压模量(MPa)		劈裂强度(MPa)	厚度(cm)	层底拉应力(MPa)	容许拉应力(MPa)
		均值	标准差	均值	标准差				
1	细粒式沥青混凝土	1 991	201	2 680	344	1.2	4	-0.19	0.46
2	中粒式沥青混凝土	1 425	105	2 175	187	1.0	6	0.06	0.38
3	粗粒式沥青混凝土	978	55	1 320	60	0.8	8	-0.06	0.31
4	水泥稳定碎石	3 188	782	3 188	782	0.6	38	0.15	0.26
5	水泥石灰砂砾土	1 591	250	1 591	250	0.4	17	0.13	0.14
6	土基	40	0	—	—	—	—	—	—

②方案二的结构厚度计算

该结构为柔性基层与半刚性基层组合,沥青层较厚。根据工程经验,按内插法确定基层类型系数,为 1.45,设计弯沉值为 29.87 (0.01mm)。利用设计程序计算出满足设计弯沉指标要求的水泥稳定砂砾层厚度为 16.4cm;满足层底拉应力要求的水泥稳定砂砾层厚度为 19.5cm。设计厚度取水泥稳定砂砾层 20cm。路表计算弯沉为 27.0(0.01mm)。各结构层的验算结果见表 8-7。

表 8-7 结构厚度计算结果

序号	结构层材料名称	20℃抗压模量(MPa)		15℃抗压模量(MPa)		劈裂强度(MPa)	厚度(cm)	层底拉应力(MPa)	容许拉应力(MPa)
		均值	标准差	均值	标准差				
1	细粒式沥青混凝土	1 991	201	2 680	344	1.2	4	-0.28	0.46
2	中粒式沥青混凝土	1 425	105	2 175	187	1	8	0.04	0.38
3	密级配沥青碎石	1 248	116	1 715	156	0.6	15	0.04	0.23
4	水泥稳定砂砾	2 617	234	2 617	234	0.5	20	0.26	0.26
5	级配砂砾	250	0	—	—	—	18	—	—
6	土基	40	0	—	—	—	—	—	—

③方案三的结构厚度验算

该结构为柔性基层,沥青路面的基层类型系数为 1.6,设计弯沉值为 32.96(0.01mm)。利用设计程序验算结构是否满足设计弯沉与容许拉应力的要求。验算结果见表 8-8。该结构路表计算弯沉为 31.47(0.01mm),小于设计弯沉,符合要求;各结构层层底拉应力验算结果均满足要求。该结构为比较方案。

表 8-8 结构厚度计算结果

序号	结构层材料名称	20℃抗压模量(MPa)		15℃抗压模量(MPa)		劈裂强度(MPa)	厚度(cm)	层底拉应力(MPa)	容许拉应力(MPa)
		均值	标准差	均值	标准差				
1	细粒式沥青混凝土	1 991	201	2 680	344	1.2	4	-0.31	0.46
2	中粒式沥青混凝土	1 425	105	2 175	187	1	8	0.08	0.38
3	密级配沥青碎石	1 248	116	1 715	156	0.6	20	0.23	0.23
4	级配碎石	350	0	—	—	—	35	—	—
5	土基	40	0	—	—	—	—	—	—

④验算防冻厚度

方案一沥青层厚度 18cm,总厚度为 73cm。根据规范条文表 5.2.4 规定,最小防冻厚度为 40~50cm;

方案二沥青层厚度 27cm,总厚度为 65cm。根据规范条文表 5.2.4 规定,最小防冻厚

度为 45 ~ 55cm;

方案三沥青层厚度 32cm,总厚度为 67cm。根据规范条文表 5.2.4 规定,最小防冻厚度为 50 ~ 60cm。

以上路面结构厚度均满足最小防冻厚度要求。

8.0.15 交工验收时需在路表面检测路表弯沉值,因半刚性基层的强度、刚度与龄期有关,设计厚度计算时采用了标准龄期的材料模量值。若在施工过程中须检测各结构层的弯沉值时,应根据检测时半刚性基层、底基层的实际龄期所对应的材料模量值、施工厚度来计算各结构层的表面弯沉,以此作为检测各结构层的标准弯沉值。

当没有 BZZ-100 标准车测定时,可采用其他轴重的汽车测定。若用其他非标准轴载(轴载 80 ~ 130kN)的车辆测试时,则应按公式(8-1)将非标准轴载测得的弯沉值换算为标准轴载下的弯沉值。

$$\frac{l_{100}}{l_i} = \left(\frac{P_{100}}{P_i} \right)^{0.87} \quad (8-1)$$

式中: P_{100} 、 l_{100} ——100kN 标准轴载及其相对应的弯沉值;

P_i 、 l_i ——非标准轴载及其相对应的弯沉值。

当弯沉在非不利季节测定时,应根据当地经验考虑季节影响系数修正 K_1 。考虑与相关规范的关系,设计规范将竣工弯沉值改为实测路表面代表弯沉值,竣工弯沉值由相关规范确定。另外,实测路表面代表弯沉值可根据三倍均方差原则处理个别过大或过小测点,然后再计算。

路面弯沉值是以 20℃ 为测定沥青弯沉值的标准状态。当沥青面层厚度小于或等于 50mm 时不需温度修正;当路面温度在 20℃ ± 2℃ 范围内时,也不进行温度修正;其他情况下测定弯沉值均应进行温度修正。温度修正可参考式(8-2) ~ 式(8-5)或其他资料进行。

(1)测定时的沥青面层平均温度 T 按下式计算:

$$T = a + bT_0 \quad (8-2)$$

式中: T ——测定时沥青面层平均温度(℃);

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 5h 平均气温之和(℃);

h ——沥青面层厚度(cm)。

(2)沥青路面弯沉的温度修正系数 K_3 按下式计算:

$$K_3 = \frac{l_{20}}{l_T} \quad (8-3)$$

式中: l_{20} ——换算为 20℃ 时沥青路面的弯沉值(0.01mm);

l_T ——测定时沥青面层内平均温度为 T 时的弯沉值(0.01mm)。

当 $T \geq 20^\circ\text{C}$ 时

$$K_3 = e^{\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{20}\right)h} \quad (8-4)$$

当 $T \leq 20^\circ\text{C}$ 时

$$K_3 = e^{0.002(20 - T)h} \quad (8-5)$$

9 改建路面设计

9.1 一般规定

9.1.4 再生沥青混凝土的利用,在国外已有成熟的技术,不仅一次再生,而且研究再生沥青混合料的第二次再生。我国是一个缺乏沥青资源的国家,而废弃沥青会对环境造成污染,再生利用、变废为宝符合可持续发展战略,是我国一个重大技术发展方向。

目前我国进行的沥青路面再生利用技术,包括现场热再生表面层、厂拌热再生、改性沥青冷拌再生混合料等工艺,并已有试验路和实体工程。从国内外试验结果看,沥青针入度大于18(0.01mm)的原有沥青可以进行再生利用,掺入原有沥青混合料比例多为20%~30%,可用于面层或基层。当前我国沥青路面厂拌再生混合料主要用于下面层、基层、底基层或低等级道路面层。例如广佛高速公路将热再生沥青混合料部分用于下面层或柔性基层;沪宁改建工程采用冷再生沥青混合料;京塘高速公路养护中运用现场表面层再生作中面层,在其上加表面层等工艺。

半刚性材料、水泥混凝土均可打碎当集料用,也可再掺入水泥、碎石拌和作底基层用。再生沥青混合料的运用可吸收国外经验,并结合我国的具体情况进一步研究、实践,积累经验。希望在改建工程中重视原有路面或结构物建筑用材料的再生利用或处理,防止废弃物污染环境。

9.1.5 当原有路面进行加宽设计时,加宽部分沥青面层与原有路面的纵向接缝处,应采取减缓路基不均匀沉降裂缝的措施。同时铺筑路面以前应检查加宽部分路基土的密实度,并视具体情况采取措施,使加宽部分的整体强度与原有路面的整体强度相近,然后再进行补强、全幅加铺沥青层或罩面。

9.2 沥青路面加铺层

9.2.1 原路面调查应根据本规范的要求进行,同时可按《公路沥青路面养护技术规范》的规定对路面破损状况、行驶质量、强度及抗滑性能进行质量评价。

9.2.2 分段应根据路面破损程度、处治方案的一致性,并结合施工方法来进行,一般施工长度不小于300m,局部严重破损路段可采取挖补处理。

9.2.3 对冰冻地区的潮湿或过湿的路基,宜考虑路面强度逐渐衰减的影响,乘以湿度影响系数 K_2 。 K_2 根据当地经验确定。

9.2.4 当原路面有较多裂缝且加铺层较薄时,宜铣刨旧沥青层,若不铣刨应进行灌缝、局部挖补处理。为减缓反射裂缝,可在旧路面上设应力吸收层或铺设土工合成材料,如自粘式玻璃纤维格栅、耐高温的长丝针刺、烧毛聚酯土工布等,其质量应符合有关技术标准要求。玻璃纤维格栅网孔尺寸宜为其上铺筑沥青混合料最大粒径的 0.5~1.0 倍,土工合成材料之上,应有等于或大于 70mm 的沥青层。设计时应选用有较好实绩的产品,施工应严格控制施工质量。

9.2.5 薄层罩面是提高旧沥青面层服务功能的措施。当原沥青路面较平整、车辙深度小于 10mm,且路面无结构性破坏(如纵、横向裂缝、网裂)时才可使用。对于高速公路、一级公路,路面抗滑标准在良以下(不包括良);二级及二级以下公路,路面抗滑标准在中以下(不包括中)时,宜采取加铺罩面层等措施来提高路表面的抗滑能力。薄层罩面厚度,不得小于最小施工层厚度。施工时,应严格控制摊铺碾压温度,保证罩面层压实度及与下层的紧密黏结。

超薄沥青混凝土磨耗层是一种构造深度较大、抗滑性能较好的薄层结构。超薄磨耗层一般厚度为 20~25mm,混合料可选用断级配,如 SMA-10、UTAC-10 等。沥青混合料配合比设计宜按马歇尔试验方法进行。密级配沥青混合料的级配和技术指标宜符合表 9-1 和表 9-2 的要求。

为了防止超薄沥青混凝土的剥落,加强结构防水,超薄沥青混凝土下面应铺设有效的黏结层——改性沥青防水黏结层。

表 9-1 超薄沥青混凝土集料的级配

筛孔尺寸(mm)	13.2	9.5	7.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
UTAC-10	100	90~100	58~70	25~35	19~28	15~22	11~18	9~14	7~11	5~9

表 9-2 马歇尔试验技术指标

试验项目	技术要求	试验项目	技术要求
马歇尔试件击数	双面击各 75 次	饱和度(%)	> 70
设计空隙率(%)	4~5(4~6)	浸水马歇尔残留稳定度(%)	> 80
稳定度(kN)	> 7	劈裂强度比(%)	> 75
流值(0.1mm)	40~50		

9.2.7 原有公路补强设计不同于新建路面设计,设计应根据不同的破损状态采取不同的设计方案和原路面处理方案。

高速公路、一级公路、二级公路的补强设计方案应根据原路面弯沉值、破损状态为主要依据进行设计。主要方案有:当弯沉较小时可直接加铺沥青层,视加铺厚度、裂缝情况

考虑减缓反射裂缝措施;当弯沉较大、原路面破坏严重时,在不受标高限制时,可加铺半刚性基层、沥青层;当直接加铺受标高限制或原路面破坏较严重时,可下挖至某结构层再加铺补强层;设计应考虑纵、横向调坡给路面结构厚度带来的变化。

9.2.8 补强设计的弯沉综合修正系数

1976年《公路柔性路面设计规范》中的加铺层设计,依据试验路测试和理论分析提出的半经验半理论的三参数公式。当时的试验路基层大多属柔性结构层,适合于柔性结构的加铺层设计。在修订《公路柔性路面设计规范》(JTJ 014—86)时,虽然仍然采用了三参数公式的方法,但是指出有的材料设计参数 β 的取值对无机结合料稳定基层不适合。

修订《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97)时,为了新建路面与改建路面设计体系的统一,将三参数经验法改成了以弹性层状体系理论为基础的理论设计法,但由于当时的重点在新建路面的设计方法上,新、旧路采用了同一弯沉修正系数,造成补强厚度偏厚的情况。因此,有必要对旧路加铺设计中的弯沉修正系数 F 进行重新修订。

计算弯沉综合修正系数 F 公式的曲线为抛物线形式,因此存在一极值点。当 E_0 小于某个值时, l_s 随 E_0 增加而减少;当 E_0 大于某个值时, l_s 随 E_0 增加而增加。一般来说, E_0 极值点的位置与指数 B 的大小有关系。用近似求导的方法,验算了西安试验路、长农试验路、正定试验路和孟州试验路等几十种常见的半刚性路面结构,发现 B 值一般在0.5~0.6之间。也就是说,当 $B > 0.5 \sim 0.6$ 时, l_s 随 E_0 的增加而增加;当 $B < 0.5 \sim 0.6$ 时, l_s 存在一极值点。如现行规范中 $B = 0.38$,经计算表明,当土基模量 $E_0 > 300\text{MPa}$ 时, l_s 将产生随土基模量的增加而增加的不合理现象。但是在新建工程中, $E_0 > 300\text{MPa}$ 的特殊情况是几乎不存在的,对于原路面设计则不同,出现的概率很高,因此应考虑新的修正公式。

确定弯沉综合修正系数 F 时,应考虑原路面弯沉的实际变化范围,通常在40~160(0.01mm)之间,即当量土基回弹模量在100~340MPa,它与新路基一般在20~80MPa不同。根据三参数的设计厚度相应交通量下路表理论弯沉值与设计弯沉的对比分析,对于原路面补强时, F 值为:

$$F = 1.45 \left(\frac{l_s}{2\delta} \right)^{0.61} \left(\frac{E_a}{p} \right)^{0.61} \quad (n = 125, R^2 = 0.979) \quad (9-1)$$

同时,根据沈大路改建试验路的试验数据,也验证了弯沉综合修正系数,其公式如下:

$$F = 2.29 \left(\frac{l_s}{2\delta} \right)^{0.65} \left(\frac{E_a}{p} \right)^{0.65} \quad (n = 64, R^2 = 0.816) \quad (9-2)$$

通过两个公式的设计厚度对比分析,建议使用第一个公式。补强设计时,仍以设计弯沉值作为路面整体刚度的控制指标;对于二级和二级以上的公路,还应满足补强层层底拉应力的设计要求。

9.3 水泥混凝土路面加铺沥青路面

9.3.1 原有水泥混凝土路面路况如何,直接影响到其上部加铺沥青层的使用寿命。因

此,对原有水泥混凝土路面进行充分的调查,是合理进行沥青加铺层设计的基础。

关于原有水泥混凝土路面板的调查宜按现行的《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)或《公路水泥混凝土路面养护技术规范》的有关规定进行病害种类、范围及程度的评价和分级。

对原路面结构承载能力、接缝或裂缝传荷能力以及板底脱空情况,目前普遍采用落锤式弯沉仪(FWD)或贝克曼梁弯沉仪(BB)进行现场测定评价。鉴于板底脱空判断难度大,有条件的单位,应结合利用路面雷达(GPR)同时进行路况调查,根据 FWD 和 GPR 检测的资料,进行综合分析。

9.3.2 原有路面板的接缝是其最薄弱部位,水泥混凝土路面的大多数破坏都发生在接缝附近。根据研究,发现原有路面板接缝(或裂缝)的板边弯沉差别是引起沥青加铺层出现反射裂缝的主要原因。接缝或裂缝的板边弯沉差别可用弯沉差或传荷系数表示。图 9-1为落锤式弯沉仪测试路面板接缝(或裂缝)的板边弯沉差时位移传感器的布置示意。

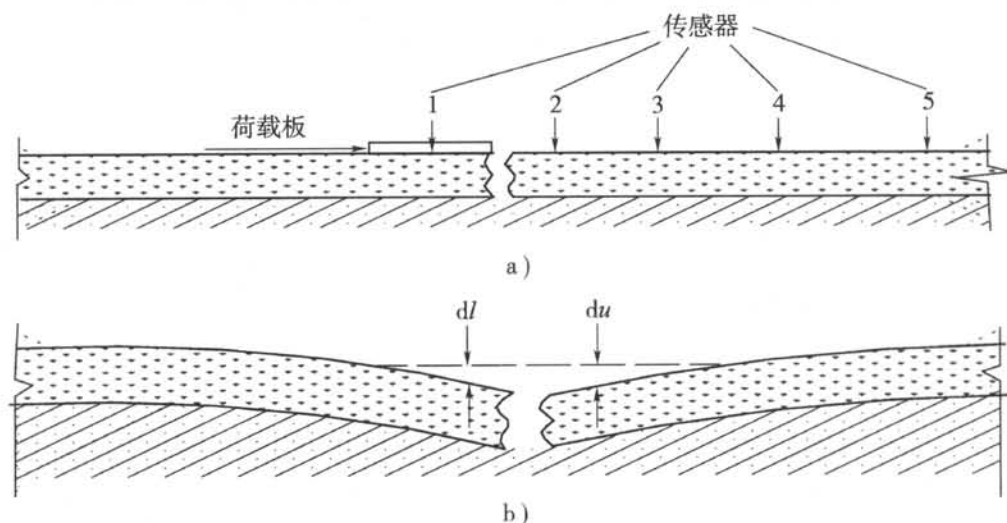


图 9-1 测量裂缝与接缝板边弯沉差的落锤式弯沉仪位移传感器布置

美国沥青协会(AI)以接缝或裂缝处的板边弯沉差作为原有水泥混凝土路面沥青加铺层设计的控制指标之一,要求加铺前必须保证弯沉差低于 0.05mm。根据交通荷载作用下沥青加铺层在反射裂缝处的疲劳断裂力学分析,0.05mm 为不使沥青加铺层疲劳寿命发生急剧衰减的临界值。在正常的基础支承状态下,此时对应的传荷系数为 75%。有关结果见图 9-2。

由于美国沥青协会(AI)以 80kN 为标准轴载,而我国以 100kN 为标准轴载,根据交通荷载作用下沥青加铺层反射裂缝处的疲劳断裂力学分析,我国宜采用弯沉差为 0.06mm 进行控制,此时对应的传荷系数仍为 75%。沥青面层加铺前,为了不使加铺层疲劳寿命发生急剧衰减,要求原有水泥混凝土板(无论是否处治)在接缝或裂缝处弯沉差或传荷系数应达到这一最低要求。

原有路面板接(裂)缝处平均弯沉是原有水泥混凝土路面沥青加铺层设计的另一项控制指标。根据疲劳力学分析,平均弯沉主要反映地基支承软弱情形,直接影响到旧水泥混

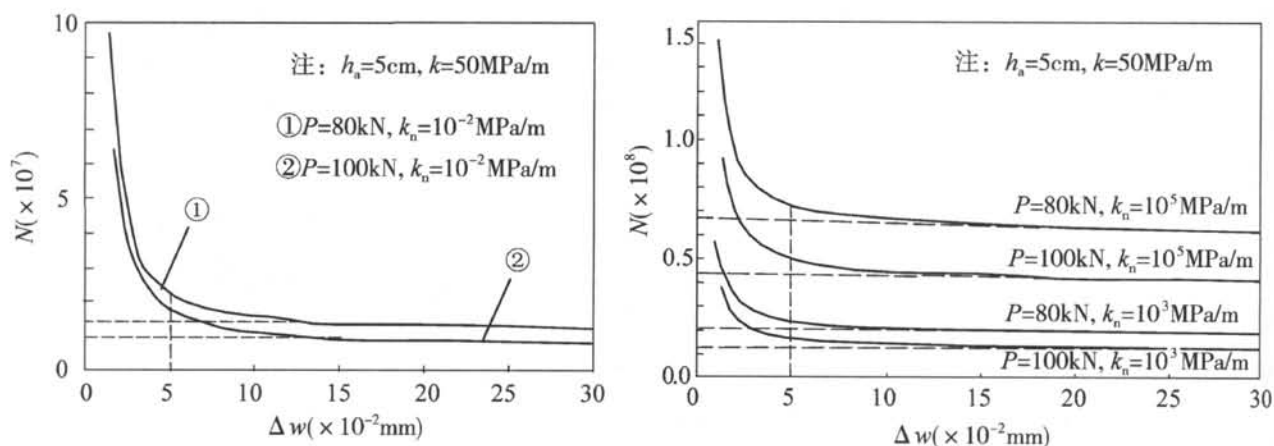


图 9-2 接缝(裂缝)弯沉差与加铺层疲劳寿命的关系

混凝土板的破坏。

美国沥青协会(AI)要求接(裂)缝处平均弯沉应不低于 0.36mm。考虑到美国与我国标准轴载的差异,结合目前国内实际应用情形,故要求平均弯沉值应不低于 0.45mm。若不能保证此项要求,结合国外相关研究成果,应将原有板开裂或打碎使其稳定后,再进行补强处理。

9.3.4 设计方案和原有路面处理应根据路面破损调查和板边弯沉测定结果,不同路段应采取不同方案。

(1)当原有水泥混凝土路面基本完好、断板率较低、承载力基本满足要求时,宜按照《公路水泥混凝土路面养护技术规范》的规定,视原有路面状况对原有水泥混凝土路面进行局部维修或少量换板处理后,考虑采取防止反射裂缝措施后再加铺沥青层。

(2)若路面结构承载能力不满足承载能力要求时,应根据接(裂)缝处平均弯沉、弯沉差、板底脱空情形采取不同的原有板加固措施,再加铺沥青层或补强层。接缝或裂缝处弯沉差和平均弯沉的路段代表值,应根据原有路面调查资料进行合理的路段划分后计算。

(3)原有混凝土板上加铺沥青路面,当考虑防止反射裂缝时,可铺设聚酯土工布黏层、改性沥青应力吸收膜、应力吸收层。聚酯土工布黏层是在洒热沥青或改性沥青、改性乳化沥青后,布设长丝无纺聚酯土工布,经轮胎压路机碾压使沥青向上浸渍而形成具有减裂、防水、加强层间结合的薄层。沥青的洒布数量宜通过试验确定,一般用量为 0.8~1.4 kg/m²。

(4)打裂工艺是用多边形冲击式或振动式或凸轮机打击原有路面板 1~2 次,使旧路面板出现 2~3 条横向发裂,并伴有不同程度的下沉,以减小纵向、垂直方向的位移,使旧混凝土板与基层紧密结合、稳定后,再加铺结构层。它是处理脱空板或连续一段有轻、中裂缝的板块的好方法,以清除隐患。

(5)打碎工艺是使用锤击、振动等机械,将原有路面板打碎成 10~50cm 的碎块,使其失掉板体性,作基层或底基层用。

(6)鉴于目前不少原有水泥混凝土路面板的破坏与其路面结构排水不良有关,因此,应重视旧水泥混凝土路面结构排水能力的改善。

9.3.5 沥青加铺层厚度设计应考虑沥青加铺层破坏和原有水泥混凝土路面板破坏两大类破坏。在现行的《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)中主要针对后一类结构破坏进行复合式路面设计,即考虑沥青面层加铺后对原有水泥混凝土板边约束效应和受力的影响,计算原有水泥混凝土板的弯拉应力。除此之外,还应考虑沥青加铺层破坏,即加铺层反射裂缝、层间剪切破坏。

沥青加铺层反射裂缝主要由交通荷载和温度荷载引起。为防止温度荷载引起沥青加铺层反射裂缝,目前主要限制接(裂)缝处板边位移。鉴于沥青混合料温度疲劳开裂研究尚不成熟,并且在工程实践中不易检测板边水平位移,因此暂不考虑温度荷载对加铺层反射裂缝的影响。实际上,在对原有水泥混凝土板进行破碎的情形下,较小尺寸的板所产生的水平位移一般不足以引起沥青加铺层开裂。

根据交通荷载下原有水泥混凝土板上沥青加铺层的疲劳损伤断裂力学分析,在原有水泥混凝土板接(裂)缝处平均弯沉、弯沉差满足相关规定的条件下,预测沥青加铺层疲劳开裂寿命。通过大量计算,获得了不同基础支承条件、接(裂)缝传荷能力、沥青加铺层厚度等条件下引起疲劳损伤断裂的标准轴载累计当量次数。由于理论分析方法还有待实践进一步验证,因此,本条文中提出的沥青加铺层厚度仅是最低要求,设计时应根据原有路面的实际情况确定加铺层厚度。水泥混凝土板上的沥青加铺层,其剪切应力较大,应注意提高沥青混合料的抗剪强度和高温稳定性。

10 排水设计

该章保留了原规范的主要内容,增加了路面结构排水、桥面排水的内容,并对土路肩加固、边缘排水进行了补充。路面结构内部排水,尚缺乏经验,不详之处可参照《公路排水设计规范》。

10.0.3~10.0.5 分散排水路段土路肩的设置和集中排水路段的泄水口、急流槽的设置是根据我国目前工程实践的现实情况增加的内容,设计时可结合当地的实际情况和使用经验确定。

10.0.6 中央分隔带排水是高速及一级公路地表排水的重要内容,应根据分隔带宽度、绿化和交通安全设施的形式、分隔带表面的处理方式等因素选择不同的排水方式。本规范将中央分隔带排水划分为封闭式与不封闭式两种类型:①封闭式中央分隔带排水,雨水可从分隔带表面流向两侧行车道排出,封闭措施可用预制混凝土小块铺砌或现浇混凝土,厚度一般可为40~80mm,其下设砂垫层;②不封闭式中央分隔带排水,多数雨水从分隔带下渗,应在分隔带内的设地下排水设施排除。各地在选用排水设施类型时,可结合地区和工程需要确定。

10.0.7、10.0.8 路面存在各种接缝和使用过程中出现裂缝或沥青混合料的部分空隙,使用过程中路面出现的松散、坑洞,当降雨、雪时,一部分水通过横坡和纵坡流向路肩和路基外,总有一部分会沿缝隙和空隙渗入路面结构内。设置路面内部排水系统和路面边缘排水系统的目的就是迅速排除积滞在路面结构内的自由水。根据近期的工程实绩,增加了路面内部排水系统和路面边缘排水系统的内容,各地应根据具体情况和工程经验选用。

10.0.9 桥面上的积水会使交通阻滞,行车出现飘滑等。同时,冰冻地区因洒盐除雪而积滞在桥面上的含氯化物的融水,会促使结构物的钢筋锈蚀,并腐蚀混凝土和铺装,从而降低桥梁的使用寿命。因此加强桥面排水是提高桥面铺装质量的重要环节。对此,新规范根据工程实践作了相关规定,各地可结合使用经验进行设计。

11 桥面铺装及其他工程

11.1 桥面铺装

11.1.1 近几年来,桥面铺装颇受到各界的重视,部分桥面铺装出现一些损坏。根据调查,沥青桥面铺装主要破坏原因如下:

(1)水泥混凝土桥面板或调平层施工质量差,致使沥青层与水泥混凝土铺装层黏结不良。

(2)水泥混凝土桥面板平整度差,未设调平层,致使沥青面层厚薄不均,压实度不一致,铺装层薄处的混合料产生严重离析。

(3)水泥混凝土桥面板或调平层顶面,尚未完全干燥时铺筑防水黏结层和沥青混合料,水分遇热可以变成水汽,使防水黏结层产生鼓包、脱皮等现象。

(4)由于北方地区冬季撒盐除雪与重复冻融的作用等,对桥面板(梁)及混凝土铺装层造成部分腐蚀。

因此,对水泥混凝土桥面板(梁)及铺装层提出了相应的技术要求,以保证桥面铺装质量。

水泥混凝土桥面板的钢筋混凝土调平层,一般用 $\phi 12$ 钢筋,15cm \times 15cm方格网。当调平层为6~8cm时,可用纤维混凝土调平,纤维可掺入钢纤维或合成纤维以提高抗拉强度。当调平层为1~5cm时,视具体情况可与沥青下面层合并为一层,或用沥青纤维混凝土铺筑。

11.1.2 桥梁所处环境的气候不同,水对桥梁结构的侵蚀和对铺装的破坏也不同,对桥面铺装的防水性能要求也不同。《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60)按持久状况承载能力极限状态设计时,公路桥涵的设计安全等级,根据结构破坏可能产生后果的严重程度划分为三个设计等级。为此,桥面铺装防水体系应与桥梁设计安全等级及气候环境条件相适应,桥梁安全等级越高,且在有冰冻的地区,对桥面铺装防水层的要求越高。本条明确规定桥面沥青铺装结构由防水层和下面层、表面层组成。为了防止雨水下渗浸入结构物,不仅要选择良好的防水层,而且下面层的密水性能是关键,因此,提出由防水层和下面层共同组成防水体系的概念。对特大桥、重要大桥要求设计下封层,建立完善的防水体系。

11.1.3 桥面铺装防水性能不仅与防水层本身的性能有关,还与防水材料的整体性、抗

裂性,防水层与混凝土板的黏结性,以及防水层在施工过程中的变异性,搭接缝部位处理的密贴性有关。我国防水层种类、材料较多,因此,应综合考虑防水性能优劣,与结构层间的黏结力是否牢固,施工工艺的可行性、施工质量的可靠性等因素,合理选择防水层材料。

(1)涂膜防水材料应有一定厚度,并与下面层沥青混合料相匹配。涂膜厚度不足,在碾压时易刺破涂膜层,导致防水性和层间结合不良。涂膜防水材料不仅应按《路桥用材料标准九项》(JT/T 531 ~ 538、589—2004)进行检测,还应进行防水性能和层间抗拉拔、抗剪切试验,以保证涂膜厚度与下面层沥青混合料类型的匹配性。

(2)选用沥青砂防水层时,应综合考虑沥青砂的密水性与热稳性的平衡,建议设计空隙率小于或等于 2.5%。

(3)选用稀浆封层防水层时,为保证防水体系的层间抗力,应用改性乳化沥青作为其结合料。

(4)热融沥青碎石作防水层是指在混凝土上洒布改性沥青或热沥青 $1.2 \sim 1.6\text{kg}/\text{m}^2$,再洒布碎石或预拌碎石碾压而成。为保证防水体系的层间抗力,宜用较铺装用的改性沥青更高一个等级的沥青。

(5)选用沥青玛蹄脂防水层时,沥青玛蹄脂应符合表 11-1 的技术要求。

表 11-1 沥青玛蹄脂技术要求

技术指标	相应于下列气候分区的技术要求								
	> 30				20 ~ 30				< 20
七月平均最高气温(℃)及气候分区	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-2
拌和温度(℃)	220 ~ 250								
流动度(s)	≤ 40								
贯入量 ≤ 5mm 时对应的试验温度(℃)	35				25				15
贯入量增量 ≤ 1.5mm 时对应的试验温度(℃)									

11.1.4 高速公路、一级公路的大、中、小桥的下面层结构、厚度,一般可与两端路线的路面相同。但防水体系是否完善与防水层的材料与厚度,防水层和混凝土板、防水层与铺装下面层是否结合成整体有关。对沥青玛蹄脂、沥青砂、稀浆封层等则需要设置专门的底涂层;热融沥青碎石封层,可根据混凝土板的情况确定是否设置底涂层。铺装结构中的底涂层是具有良好黏结能力的改性乳化沥青或溶剂型改性沥青类黏结剂材料等。

根据重庆交通科研设计院主持的西部课题“桥面铺装材料与技术研究”成果和工程实践总结,推荐了适合于非冰冻地区的桥面铺装结构,如图 11-1 所示,供设计参考选用。

另外,桥面铺装应重视防水层与下面层结构、厚度相匹配。当采用沥青混凝土下面层时,热拌沥青混凝土的空隙率宜符合表 11-2 的要求。

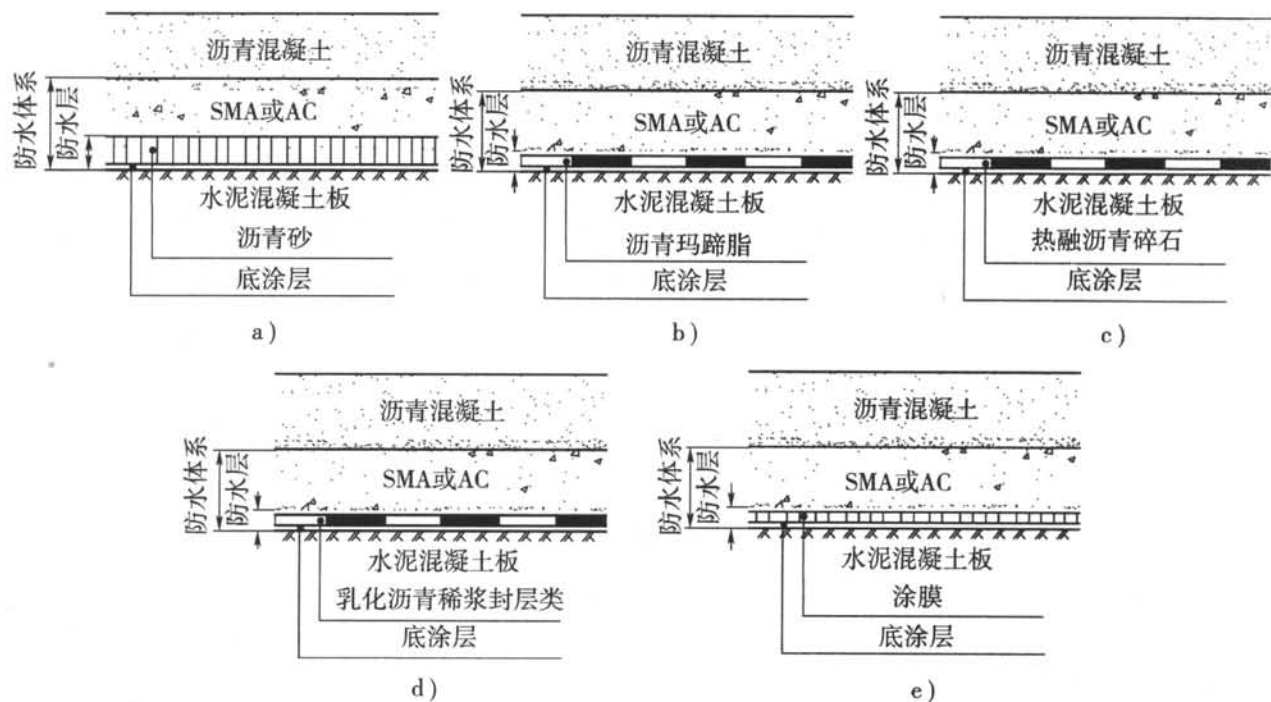


图 11-1 大、中桥梁的桥面铺装结构

表 11-2 桥面铺装用沥青混合料下面层的技术指标

气候区		项目	SMA	AC
下面层	冰冻区	现场空隙率(%)	< 5.0	< 5.0
		设计空隙率(%)	2.0~3.0	2.0~3.0
	非冰冻区	现场空隙率(%)	< 6	< 6
		设计空隙率(%)	2.0~4.0	2.0~4.0

11.1.5 特大桥、重要大桥等桥面铺装因工程的重要性,一般有较高的使用要求,技术有一定难度,故应进行专项设计。

铺装结构层设计与桥梁结构类型受力的特点、交通量与组成、气候环境条件密切相关。因沥青层厚度较薄,应进行材料试验、体系的防水性试验,以及体系的层间抗拔、抗剪试验等进行检验、确认。

(1)根据桥面铺装的受力分析可知:对防水层+6cm以上沥青层铺装,用常温沥青混凝土模量(1800MPa)和常温防水层模量进行跨中层间应力计算,不论是桥面板与防水层之间,还是防水层与沥青层之间,不论是实心板、T型板,还是箱梁,桥面板,防水层与沥青层之间或防水层与混凝土桥面板之间的法向应力均小于0.2MPa,剪应力均小于0.36MPa。考虑铺装受力分析以及国外相应沥青类防水结构体系的拉拔强度和抗剪强度要求,建议桥面铺装,在25℃温度下,防水层与沥青层之间或防水层与混凝土板之间抗剪强度应大于0.4MPa;对防水卷材,抗剪强度应大于2.5MPa,抗拔强度也应大于0.4MPa。

黏结强度和剪切强度试验条件:试件体为模拟桥面铺装结构组合,拉拔速度与剪切速度均为 10mm/min,试验温度为 25℃,混凝土表面状况为磨光状态。

从密级配沥青混凝土 AC 和 SMA、浇注式沥青混凝土与各种防水层间的冻后的室内试验结果比较可知:其黏结强度和抗剪强度,AC + 沥青玛蹄脂防水层与 AC + 热融沥青碎石相近,其次是 AC + 稀浆封层,强度最低是 AC + 卷材;SMA + 稀浆封层最好,SMA + 沥青玛蹄脂防水层与 AC + 热融沥青碎石相近,其次是 SMA + 卷材;浇注式沥青混凝土 + 沥青玛蹄脂防水层最好,浇注式沥青混凝土 + 卷材、浇注式沥青混凝土 + 热融沥青碎石效果相近。

(2)体系的防水性能试验:防水层上铺筑沥青混凝土后,以防水层作为迎水面,在 5.1m 水头(0.5bar)压力下,防水层应持续 1min 的时间不透水。

试验表明,浇注式沥青混凝土具有优良的防水性,而热碾压的 SMA 和 AC 沥青混凝土由于属颗粒组成的材料,在现场空隙率条件下,均存在一定的贯穿空隙,但在同等空隙水平的情况下,相同最大粒径的 SMA 贯穿空隙远少于 AC,而且最大粒径越小,贯穿空隙将越少,因此 SMA 的防水概率高于 AC。按水工防水的技术要求,SMA 在 5.1m 水头(0.5bar)压力下所测渗水系数小于 $10 \times 10^{-7} \text{cm/s}$,因此铺装下面层使用 SMA 的防水体系的综合防水性将优于 AC。

(3)适用于特大桥、重要大桥及冰冻地区的桥梁结构如图 11-2 所示,供设计参考。

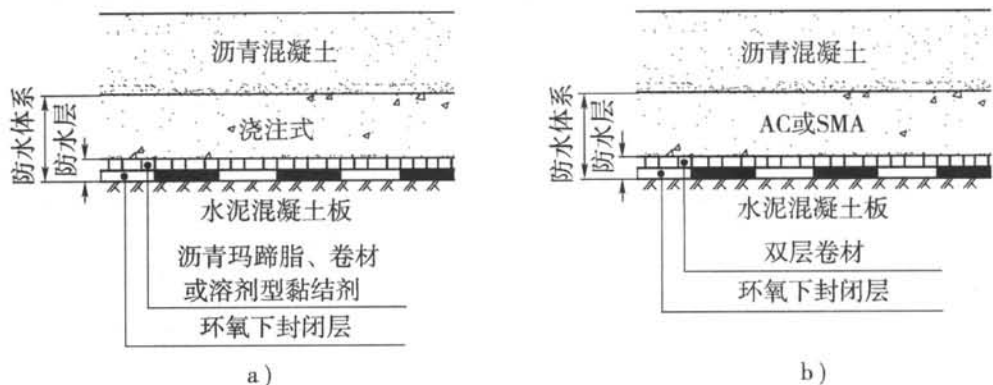


图 11-2 适合于特大桥、重要大桥梁铺装结构

浇注式沥青混凝土密实不透水,整体性强,黏韧性好,防水和抗冲击、动载能力强,具有优良的耐久性,是欧洲和日本等国的主要桥面铺装材料,近年来在我国的水泥混凝土桥面铺装工程中也开始应用。

关于浇注式沥青混凝土的热稳定性,在德国主要利用“贯入度及贯入度增量试验”来评价浇注式沥青混凝土的高温性能,而日本只有贯入度的要求,没有增量的要求。在德国及日本,根据气温和路面温度条件,试件的试验温度为 40℃。考虑到我国的气温比德国、日本高,应根据工程所在位置的气候条件,并结合桥梁实测温度,确定设计路面温度,保持其技术指标不变,即以该设计路面温度评价浇注式沥青混凝土的热稳定性。针对我国的气候条件,对浇注式沥青混凝土的热稳定性评价指标作了调整,比日本和德国的相应指标更苛刻,热稳定性要求更高。浇注式沥青混凝土技术指标见表 11-3。

表 11-3 浇注式沥青混凝土技术指标

技术指标	相应于下列气候分区的技术指标				
	> 30		20 ~ 30		< 20
七月平均最高气温(℃)及气候分区	1-1、1-2	1-3、1-4	2-1、2-2	2-3、2-4	3-2
拌和温度(℃)	220 ~ 250				
流动度(s)	≤ 40				
贯入量为 1 ~ 4mm 时对应的试验温度(℃)	55	60	45	50	40
贯入量增量 ≤ 0.4mm 时对应的试验温度(℃)					

公路工程常用标准、规范、规程、技术指南一览表

序号	类别	编 号	名 称	定价
1	基 础	JTJ 003—86	公路自然区划标准	16.00
2		JTJ 002—87	公路工程名词术语	22.00
3		JTJ 004—89	公路工程抗震设计规范	15.00
4		JTJ/T 006—98	公路环境保护设计规范	8.00
5		JTJ/T 0901—98	1:1 000 000 数字交通图分类与图示规范	78.00
6		JTG B01—2003	公路工程技术标准	28.00
7		JTG/T B05—2004	公路项目安全性评价指南	18.00
8		JTG B03—2006	公路建设项目环境影响评价规范	26.00
9		JTG/T B07-1—2006	公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范	16.00
10	勘 测	JTJ 065—97	公路摄影测量规范	15.00
11		JTJ 064—98	公路工程地质勘察规范	28.00
12		JTJ/T 066—98	公路全球定位系统(GPS)测量规范	7.00
13		JTJ 061—99	公路勘测规范	15.00
14		JTG C30—2003	公路工程水文勘测设计规范	22.00
15		JTG/T C21-01—2005	公路工程地质遥感勘察规范	17.00
16	设 计	JTJ 024—85	公路桥涵地基与基础设计规范	19.00
17		JTJ 025—86	公路桥涵钢结构及木结构设计规范	16.00
18		JTJ 018—96	公路排水设计规范	12.00
19		JTJ 027—96	公路斜拉桥设计规范(试行)	9.80
20		JTJ/T 019—98	公路土工合成材料应用技术规范	12.00
21		JTJ 026.1—1999	公路隧道通风照明设计规范	16.00
22		JTG D40—2003	公路水泥混凝土路面设计规范	26.00
23		JTG D30—2004	公路路基设计规范	38.00
24		JTG D60—2004	公路桥涵设计通用规范	24.00
25		JTG/T D60-01—2004	公路桥梁抗风设计规范	28.00
26		JTG D62—2004	公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范	48.00
27		JTG D70—2004	公路隧道设计规范	50.00
28		JTG/T D71—2004	公路隧道交通工程设计规范	26.00
29		JTG D61—2005	公路圬工桥涵设计规范	19.00
30		JTG D20—2006	公路路线设计规范	38.00
31		JTG D80—2006	高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范	25.00
32		JTG D81—2006	公路交通安全设施设计规范	25.00
33		JTG/T D81—2006	公路交通安全设施设计细则	35.00
34	JTG D50—2006	公路沥青路面设计规范	36.00	

续上表

序号	类别	编 号	名 称	定价
35	检 测	JTJ 056—84	公路工程水质分析操作规程	8.00
36		JTJ 051—93	公路土工试验规程	25.00
37		JTJ 057—94	公路工程无机结合料稳定材料试验规程	6.60
38		JTJ 059—95	公路路基路面现场测试规程	13.50
39		JTJ 052—2000	公路工程沥青及沥青混合料试验规程	40.00
40		JTG E30—2005	公路工程水泥及水泥混凝土试验规程	32.00
41		JTG E41—2005	公路工程岩石试验规程	18.00
42		JTG E42—2005	公路工程集料试验规程	30.00
43		JTG E50—2006	公路土工合成材料试验规程	28.00
44		施 工	JTJ 042—94	公路隧道施工技术规范
45	JTJ 076—95		公路工程施工安全技术规程	12.00
46	JTJ 034—2000		公路路面基层施工技术规范	16.00
47	JTJ 037.1—2000		公路水泥混凝土路面滑模施工技术规范	16.00
48	JTJ 041—2000		公路桥涵施工技术规范	52.00
49	JTG F30—2003		公路水泥混凝土路面施工技术规范	46.00
50	JTG F40—2004		公路沥青路面施工技术规范	38.00
51	JTG F80/1—2004		公路工程质量检验评定标准(土建工程)	46.00
52	JTG F80/2—2004		公路工程质量检验评定标准(机电工程)	26.00
53	JTG/T F81-01—2004		公路工程基桩动测技术规程	17.00
54	JTG/T F83-01—2004		高速公路护栏安全性能评价标准	15.00
55	JTG F10—2006		公路路基施工技术规范	40.00
56	JTG F71—2006		公路交通安全设施施工技术规范	20.00
57	监理		JTG G10—2006	公路工程施工监理规范
58	养 护 管 理	JTJ 075—94	公路养护质量检查评定标准	2.60
59		JTJ 073—96	公路养护技术规范	26.00
60		JTJ 073.1—2001	公路水泥混凝土路面养护技术规范	12.00
61		JTJ 073.2—2001	公路沥青路面养护技术规范	13.00
62		JTG H12—2003	公路隧道养护技术规范	26.00
63		JTG H11—2004	公路桥涵养护规范	30.00
64		JTG H30—2004	公路养护安全作业规程	36.00
65	技 术 指 南	中建标公路[2002]1号	公路沥青玛蹄脂碎石路面技术指南	16.00
66		交公便字[2005]330号	公路机电系统维护技术指南	30.00
67		交公便字[2005]329号	公路冲击碾压应用技术指南	15.00
68		交公便字[2005]329号	微表处和稀浆封层技术指南	18.00
69		交公便字[2006]02号	公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南	50.00
70		交公便字[2006]02号	公路工程抗冻设计与施工技术指南	26.00
71		交公便字[2006]02号	公路土钉支护技术指南	22.00
72		交公便字[2006]243号	盐渍土地区公路设计与施工指南	20.00
73		交公便字[2006]274号	公路钢箱梁桥面铺装设计与施工技术指南	25.00
74			横张预应力混凝土桥梁设计施工指南	15.00

注:JTG——公路工程行业标准体系;JTJ——仍在执行的公路工程行业原标准体系;JTG/T——公路工程行业推荐性标准体系。

人民交通出版社标准与规范图书编辑部

邮编:100011

电话:010-85285922

E-mail: bz@ccpress.com.cn

ISBN 7-114-06248-6



9 787114 062483 >

ISBN 7-114-06248-6

定 价：36.00 元