

JTJ

中华人民共和国行业标准

JTJ 014—97

公路沥青路面设计规范

Specifications for design of
highway asphalt pavement

1997—01—06 发布

1997—10—01 实施

中华人民共和国交通部发布

关于发布《公路沥青路面设计规范》的通知

交公路发[1997]8号

各省、自治区交通厅,北京市交通局,上海市市政工程项目管理局,天津市市政工程项目局,部属公路设计、施工、科研、监督、监理单位,公路院校:

现批准发布《公路沥青路面设计规范》(编号 JTJ 014—97),作为行业标准,自 1997 年 10 月 1 日起施行。1986 年发布的《公路柔性路面设计规范》同时废止。

《公路沥青路面设计规范》由交通部公路规划设计院主编,由人民交通出版社出版。希望各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交通部公路规划设计院,以便修订时参考。

中华人民共和国交通部

一九九七年一月六日

前 言

《公路柔性路面设计规范》(JTJ 014—86)公布实行以来,对我国的公路建设发挥了重要作用。近年来高等级公路的建设,多采用半刚性基层沥青路面,原规范部分内容已不适应发展的需要,根据交通部下达的编制、修订公路工程建设标准、规范等工作计划的安排,由交通部公路规划设计院主持该规范修订工作。

为修订规范曾二次发函到各省、市有关交通部门征求意见,在此基础上提出规范修订大纲,并于1992年至1995年底开展了“沥青路面设计指标与参数的研究”。该课题由交通部公路规划设计院主持,有关交通部门的教学、科研、设计、管理等18个单位参加,历时4年。课题以现行规范的设计理论为基础,以完善弯沉和抗拉设计指标、设计参数为中心,对轴载换算公式、容许弯沉值、沥青路面和半刚性材料疲劳规律、材料设计参数、弯沉综合修正系数以及设计方法的验证、抗冻厚度设计等8个专题进行了研究。研究成果于1996年1月通过了交通部科技司主持的专家鉴定,并建议将成果纳入规范。规范编写组于1994年成立,1996年4月、11月分别召开了征求意见会和送审稿的专家审查会,12月提出报批稿,并经部审定,批准颁布执行。

本次规范修订的主要内容如下:

1. 原规范《公路柔性路面设计规范》名称与近年来公路多采用半刚性基层的沥青路面结构不符,因此,更名为《公路沥青路面设计规范》。

2. 新规范现有9章106条。增加第二章“术语及符号”和第九章“其他路面工程”,并将原规范第三章的内容分解为三、四、五章。

3. 根据课题研究成果,对沥青路面厚度计算方法进行了全面

修订,并删除了查图法和旧路补强的经验公式。新方法在理论计算体系上更加完善合理,且适合于半刚性基层和柔性基层的沥青路面的特点;设计参数的测试更加简便,计算结果更加符合实际。

4. 为吸收新的科学技术成果和公路建设的新鲜经验,对分期修建、抗滑标准、沥青层厚度等内容进行了修改,增加了沥青玛蹄脂碎石、沥青混合料的车辙指标和水稳性指标,水泥混凝土桥面铺装等内容。为了与相关规范协调一致,对有关章节的内容也作了相应的调整。

本规范及其条文说明是根据近年来的科研成果、国外的有关资料及工程实践经验而编制的,在此,对参加专题研究和为规范修订提供资料的各单位以及关心支持修订工作的各位专家、工程技术人员表示衷心地感谢。规范颁布后,各单位在使用过程中如发现有问题或有修改意见,请随时函告交通部公路规划设计院(地址:北京东四前炒面胡同 33 号,邮编:100010),以便下次修订时参考。

主编单位：交通部公路规划设计院

参编单位：长沙交通学院

交通部公路科学研究所

哈尔滨建筑大学交通学院

西安公路研究所

吉林省公路勘察设计院

江西省交通设计院

**主要起草人：杨孟余、郑健龙、杨世基、郭大智、
胡鸣琴、李桂伦、陈国垣**

目 录

1	总 则	1
2	术语及符号	3
2.1	术语	3
2.2	符号	5
3	结构设计	8
4	沥青面层	14
4.1	一般规定	14
4.2	高级路面	17
4.3	次高级路面	20
5	基层、底基层及垫层	22
5.1	基层、底基层	22
5.2	垫层	29
6	路基与排水	33
6.1	路基	33
6.2	排水	40
7	新建路面的结构厚度计算	42
8	改建路面设计	50
9	其他路面工程	55
9.1	水泥混凝土桥面铺装	55
9.2	附属部位的路面设计	56
9.3	中、低级路面	57
附录 A	各级公路路面推荐结构	59
附录 B	各种沥青面层的级配、材料规格及用量表	63
附录 C	中级路面、基层及底基层级配组成表	67

附录 D 材料设计参数	69
附录 E 土基回弹模量参考值	71
本规范用词说明	81
附件:公路沥青路面设计规范(JTJ 014—97)条文说明	82
修订说明	83
1 总 则.....	86
3 结构设计.....	91
4 沥青面层.....	94
5 基层、底基层及垫层	99
6 路基与排水	104
7 新建路面的结构厚度计算	117
8 改建路面设计	132
9 其他路面工程	146

1 总 则

1.0.1 目的

为适应公路交通量不断增长的需要,贯彻“精心设计、质量第一”的方针,提高路面设计质量,使路面在设计年限内满足各级公路相应的承载能力、耐久性、舒适性、安全性的要求,确保工程质量、降低工程造价,特制定本规范。

1.0.2 适用范围

本规范适用于各级公路沥青路面新建和改建设计,以及四级公路的中、低级路面设计。

1.0.3 设计内容

路面设计应包括路面结构层原材料的选择、混合料配合比设计、设计参数的测试与确定,路面结构层组合与厚度计算,路面结构的方案比选等内容,以及路面排水系统设计和路肩加固等的设计。

路面结构层设计除包括行车道部分的路面外,对高速公路、一级公路还应包括路缘带、硬路肩、加、减速车道、爬坡车道、紧急停车带、匝道、收费站和服务区的路面设计。

1.0.4 设计原则

1. 路面设计应根据使用要求及气候、水文、土质等自然条件,密切结合当地实践经验,进行路基路面综合设计。

2. 在满足交通量和使用要求的前提下,应遵循因地制宜、合理选材、方便施工、利于养护、节约投资的原则,进行路面设计方案的技术经济比较,选择技术先进、经济合理、安全可靠、有利于机械化、工厂化施工的路面结构方案。

3. 结合当地条件,积极推广成熟的科研成果,对行之有效的

新材料、新工艺、新技术应在路面设计方案中积极、慎重地加以运用。

4. 路面设计方案应注意环境保护和施工人员的健康和安全。

5. 为提高路面工程质量,应推行机械化施工。对高速公路、一级公路,应采用大型、高效的成套机械设备施工,以确保工程质量。

6. 高速公路、一级公路的路面不宜分期修建。

对软土地区或高填方路基等可能产生较大沉降的路段,宜按“分期修建”或“一次设计分期实施”的原则进行设计。设计时,应按远景交通量设计路面结构与厚度,铺筑时可减薄沥青面层,待路基趋于稳定后,视路面实际情况再加铺沥青面层。

1.0.5 设计理论与方法

路面设计应采用双圆垂直均布荷载作用下的多层弹性连续体系理论,以设计弯沉值为路面整体刚度的设计指标,计算路面结构厚度。

对高速公路、一级公路、二级公路的沥青混凝土面层和半刚性材料的基层、底基层应进行层底拉应力的验算。

计算路面厚度应采用多层弹性连续体系理论解的专用设计程序。

1.0.6 特殊地区的路面结构

多年冻土、沙漠、盐渍土、膨胀土等特殊地区的路面结构,除按本规范的规定进行设计外,应考虑当地的气候、水文、土质、材料等特点,并结合各地的科研成果和实践经验进行设计。

1.0.7 公路自然区划

设计路面时,路面结构类型的选择,路基和路面各项设计参数的确定,以及对筑路材料的要求等,应结合公路工程所在地的自然区进行考虑。自然区的划分应按交通部颁发的《公路自然区划标准》(JTJ 003)执行。

1.0.8 相关规范

设计路面时除应符合本规范的规定外,还应符合现行国家或行业有关标准、规范的规定。

2 术语及符号

2.1 术 语

2.1.1 设计年限

高级路面的设计年限是指在规定期限内满足预测标准累计轴次所需承载力,并允许在该期限内进行一次恢复路表功能的维修(罩面),路面应具有的使用寿命。

次高级路面或中、低级路面的设计年限是指满足规定时间内预测标准累计轴次所需承载力,在小修保养的条件下,路面应具有的使用寿命。

2.1.2 当量轴次

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称为当量轴次。

2.1.3 累计当量轴次

在设计年限内,考虑车道系数后,一个车道上的累计当量轴次总和。

2.1.4 设计弯沉值

根据设计年限内一个车道上预测通过的累计当量轴次、公路等级、面层和基层类型而确定的路面弯沉设计值。

2.1.5 竣工验收弯沉值

竣工验收弯沉值是检验路面是否达到设计要求的指标之一。当路面厚度计算以设计弯沉值为控制指标时,则验收弯沉值应等于设计弯沉值;当厚度计算以层底拉应力为控制指标时,应根据拉

应力计算所得的结构厚度,重新计算路表弯沉值,该值即为竣工验收弯沉值。

2.1.6 抗拉强度结构系数

抗拉强度结构系数是一个考虑沥青混合料和半刚性材料疲劳破坏特性的安全系数,它是根据一次荷载作用下的破坏强度与不同轴次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。

2.1.7 容许拉应力

容许拉应力是混合料的极限抗拉强度与抗拉强度结构系数之比。

2.1.8 半刚性基层

采用无机结合料稳定集料或稳定土类,且具有一定厚度的基层结构称为半刚性基层。

2.1.9 半刚性基层沥青路面

在半刚性基层上铺筑一定厚度沥青混合料面层的结构称为半刚性基层沥青路面。

2.1.10 柔性基层

用有机结合料或有一定塑性细粒土稳定各种集料的基层、沥青贯入碎石基层、热拌沥青碎石或乳化沥青碎石混合料、不加任何结合料的各种集料基层和泥灰结碎石等结构均称为柔性基层。

2.1.11 柔性路面

在柔性基层上铺筑沥青面层或用有一定塑性的细粒土稳定各种集料的中、低级路面结构,因具有较大的塑性变形能力而称这类结构为柔性路面。

2.1.12 沥青路面

在柔性基层、半刚性基层上,铺筑一定厚度的沥青混合料面层的路面结构均称为沥青路面。

2.1.13 中级路面

用水结碎石或泥结碎石、级配碎(砾)石、不整齐石块等作面层

的路面,称中级路面。

2.1.14 低级路面

用当地砂砾、未筛分碎石、碎砖、炉渣、矿渣等粒料或其他地方材料改善土的路面,称低级路面。

2.1.15 弯沉综合修正系数

由于理论假设与实际路面工作状态的差异而形成实测弯沉值与理论计算值不等,将实测弯沉值与理论弯沉值之比定义为弯沉综合修正系数。

2.2 符 号

P ——标准轴载(kN)

BZZ—100——表示单后轴载为 100kN 的标准轴载

N ——以弯沉值为设计指标时,各种轴载换算为 BZZ—100 标准轴载的当量轴次(次/日)

p ——标准轴载的轮胎接地压强(MPa)

d ——标准轴载单轮传压面当量圆直径(cm)

δ ——标准轴载单轮传压面当量圆的半径(cm)

P_1 ——被换算车型的各级轴载(kN)

C_1 ——以弯沉值为设计指标时,被换算车型的各级轴载轴数系数

C_2 ——以弯沉值为设计指标时,被换算车型的各级轴载的轮组系数

N' ——以拉应力为验算指标时,标准轴载当量轴次(次/日)

C'_1 ——以拉应力为验算指标时,被换算车型的各级轴载的轴数系数

C'_2 ——以拉应力为验算指标时,被换算车型的各级轴载的轮组系数

N_e ——设计年限内一个车道上的累计当量轴次(次)

- N_1 ——路面竣工后第一年的双向日平均当量轴次(次/日)
- N_t ——设计年限末年的双向日平均当量轴次(次/日)
- γ ——设计年限内交通量年平均增长率(%)
- t ——设计年限(年)
- η ——车道系数
- l ——标准轴载作用下轮隙中心处的路表弯沉值(0.01mm)
- l_d ——路面设计弯沉值(0.01mm)
- A_c ——公路等级系数
- A_s ——面层类型系数
- A_a ——沥青混凝土级配类型系数
- A_b ——基层类型系数
- σ_m ——结构层底面某计算点的拉应力(MPa)
- σ_{sp} ——沥青混凝土或半刚性基层材料的极限劈裂强度(MPa)
- K_s ——抗拉强度结构系数
- w_c ——路床 80cm 深度内的平均稠度
- w ——路床 80cm 深度内的平均含水量(%)
- w_L ——100g 平衡锥所测土样液限含水量(%)
- w_P ——100g 平衡锥所测土样塑限含水量(%)
- I_P ——用 100g 平衡锥测定而求得的塑性指数
- H_1, H_2, H_3 ——分别为干燥、中湿、潮湿状态的路基临界高度
- E_0 (或 E_n)——土基回弹模量(MPa)
- E_i ——结构层材料回弹模量(MPa)
- h_i ——结构层厚度(cm)
- α_L ——理论弯沉系数
- F ——弯沉综合修正系数

- $\bar{\sigma}_m$ ——理论层底拉应力系数
- l_r ——某路段的代表弯沉值(0.01mm)
- \bar{l} ——某路段内的平均弯沉值(0.01mm)
- S ——某路段内弯沉值的标准差(0.01mm)
- Z_a ——保证率系数
- K_1 ——季节影响系数
- K_2 ——湿度影响系数
- K_3 ——温度修正系数

3 结构设计

3.0.1 路面结构组成

1. 沥青路面结构层可由面层、基层、底基层、垫层组成。

2. 面层是直接承受车轮荷载反复作用和自然因素影响的结构层,可由一至三层组成。表面层应根据使用要求设置抗滑耐磨、密实稳定的沥青层;中面层、下面层应根据公路等级、沥青层厚度、气候条件等选择适当的沥青结构层。

3. 基层是设置在面层之下,并与面层一起将车轮荷载的反复作用传布到底基层、垫层、土基,起主要承重作用的层次。基层材料的强度指标应有较高的要求。

4. 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,起次要承重作用的层次。底基层材料的强度指标要求可比基层材料略低。

5. 基层、底基层视公路等级或交通量的需要可设置一层或两层。当基层或底基层较厚需分两层施工时,可分别称为上基层、下基层,或上底基层、下底基层。

6. 垫层是设置在底基层与土基之间的结构层,起排水、隔水、防冻、防污等作用。

3.0.2 路面等级与类型

路面等级、面层类型应与公路等级、交通量相适应。路面等级、面层类型的选择应根据公路等级与使用要求、设计年限内标准轴载的累计当量轴次、筑路材料和施工机械设备等因素按表 3.0.2 确定。

表 3.0.2 路面类型的选择

公路等级	路面等级	面层类型	设计年限 (年)	设计年限内累计标准轴次 万次/一车道
高速公路、 一级公路	高级路面	沥青混凝土	15	>400
二级公路	高级路面	沥青混凝土	12	>200
	次高级 路面	热拌沥青碎石混合料、 沥青贯入式	10	100~200
三级公路	次高级 路面	乳化沥青碎石混合料、 沥青表面处治	8	10~100
四级公路	中级路面	水结碎石、泥结碎石、 级配碎(砾)石、 半整齐石块路面	5	≤10
	低级路面	粒料改善土	5	

对有特殊使用要求的公路,其路面等级与面层类型的选择可根据实际情况选用。

3.0.3 标准轴载及轴载换算

路面设计以双轮组单轴载 100kN 为标准轴载,以 BZZ—100 表示。标准轴载的计算参数按表 3.0.3 确定。

表 3.0.3 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)	1.5d

1. 当以设计弯沉值为指标及沥青层层底拉应力验算时,凡轴载大于 25kN 的各级轴载(包括车辆的前、后轴) P_1 的作用次数 n_1 , 均应按公式(3.0.3-1)换算成标准轴载 P 的当量作用次数 N 。

$$N = \sum_{i=1}^K C_1 \cdot C_2 n_1 \left(\frac{P_1}{P} \right)^{4.35} \quad (3.0.3-1)$$

式中: N ——标准轴载的当量轴次(次/日);

n_1 ——被换算车型的各级轴载作用次数(次/日);

P ——标准轴载(kN);

P_1 ——被换算车型的各级轴载(kN);

C_1 ——轴数系数;

C_2 ——轮组系数,单轮组为 6.4,双轮组为 1,四轮组为 0.38;

当轴间距大于 3m 时,应按单独的一个轴载计算,此时轴数系数为 m ;当轴间距小于 3m 时,按双轴或多轴计算,轴数系数按公式(3.0.3-2)计算。

$$C_1 = 1 + 1.2(m - 1) \quad (3.0.3-2)$$

式中: m ——轴数。

2. 当进行半刚性基层层底拉应力验算时,凡轴载大于 50kN 的各级轴载(包括车辆的前、后轴) P_1 的作用次数 n_1 ,均应按公式(3.0.3-3)换算成标准轴载 P 的当量作用次数 N' 。

$$N' = \sum_{i=1}^k C'_1 \cdot C'_2 n_1 \left(\frac{P_1}{P} \right)^8 \quad (3.0.3-3)$$

式中: C'_1 ——轴数系数;

C'_2 ——轮组系数,单轮组为 18.5,双轮组为 1.0,四轮组为 0.09。

当轴间距小于 3m 时,双轴或多轴的轴数系数按式(3.0.3-4)计算。

$$C'_1 = 1 + 2(m - 1) \quad (3.0.3-4)$$

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

3.0.4 累计当量轴次

设计时应按公式(3.0.4-1)或(3.0.4-2)计算设计年限内一个车道上的累计当量轴次 N_c 。

$$N_c = \frac{[(1 + \gamma)^t - 1]}{\gamma} \times 365 N_1 \eta \quad (3.0.4-1)$$

$$N_c = \frac{[(1 + \gamma)^t - 1]}{\gamma(1 + \gamma)^{t-1}} \times 365 N_1 \eta \quad (3.0.4-2)$$

式中: N_c ——设计年限内一个车道上的累计当量轴次(次);

t ——设计年限(年);

N_1 ——路面竣工后第一年双向日平均当量轴次(次/日);

N_2 ——设计年限末年双向日平均当量轴次(次/日);

γ ——设计年限内交通量的平均年增长率(%),应根据实际情况调查,预测交通量增长,经分析确定;

η ——车道系数,应根据调查分析结果或参照表 3.0.4-1 确定;公路无分隔时,路面窄宜选高值,路面宽宜选低值。

表 3.0.4-1 车道系数 η

车道特征		车道系数	车道特征	车道系数
单车道		1.0	四车道	0.4~0.5
双车道	有分隔	0.5	六车道	0.3~0.4
	无分隔	0.6~0.7		

当上下行交通或轻、重车比例有明显差异时,应区别对待按实际情况进行厚度设计;当交通流出现明显的超载时,设计人员应根据调查资料对累计当量轴次进行修正。

3.0.5 沥青层厚度

设计时应根据公路等级、交通量及其组成、沥青品种和质量以及气候条件等因素,按照半刚性基层上沥青层推荐厚度表 3.0.5-1,综合论证地选用。若交通量较小或选用经实践证明行之有效的改性沥青,可选用推荐沥青层厚度的低值或中值。

表 3.0.5-1 半刚性基层上沥青层推荐厚度

公路等级	沥青层推荐厚度(cm)	公路等级	沥青层推荐厚度(cm)
高速公路	12~18	三级公路	2~4
一级公路	10~15	四级公路	1~2.5
二级公路	5~10		

3.0.6 高级路面的基层选择原则

高速公路、一级公路应采用水泥或石灰、粉煤灰稳定粒料类半刚性基层,以增强基层的强度和稳定性,减少低温收缩裂缝。条件允许时,底基层宜采用水泥或石灰、粉煤灰或石灰稳定各种集料或土类做半刚性底基层。若当地石料丰富,也可采用级配碎石或填隙

碎石或天然砂砾等粒料做底基层。

当采用半刚性基层有困难时,可选用热拌或冷拌沥青碎石混合料或沥青贯入碎石做柔性基层。

3.0.7 结构层厚度

1. 路面面层、基层、底基层的结构和厚度,应与公路等级、气候、水文、筑路材料、交通量及其组成等相适应。为了方便施工组织和管埋,路面结构层次不宜太多,材料变化不宜频繁。

2. 基层或底基层厚度应根据交通量大小、材料的力学性能和扩散应力的效果、压实机具的功能以及有利于施工等因素选择各结构层的厚度。表 3.0.7-1 中各种结构层的适宜厚度以及施工的最小厚度,可供设计时参考。

表 3.0.7-1 各类结构层的最小厚度

结构层类型		施工最小厚度 (cm)	结构层适宜厚度 (cm)
沥青混凝土、 热拌沥青碎石	粗粒式	5.0	5~8
	中粒式	4.0	4~6
	细粒式	2.5	2.5~4
沥青石屑		1.5	1.5~2.5
沥青砂		1.0	1~1.5
沥青贯入式		4.0	4~8
沥青上拌下贯式		6.0	6~10
沥青表面处治		1.0	层铺 1~3,拌和 2~4
水泥稳定类		15.0	16~20
石灰稳定类		15.0	16~20
石灰工业废渣类		15.0	16~20
级配碎、砾石		8	10~15
泥结碎石		8	10~15
填隙碎石		10	10~12

3.0.8 推荐结构

根据使用经验和理论计算,附录 A 推荐了高速公路、一级公

路、二、三级公路的路面结构,可供各地区参考。各地区应结合当地的交通量、筑路材料、自然条件、施工条件等因素选用适当的结构类型,其结构厚度应按本规范的方法进行计算。

3.0.9 层间结合

设计时,应采取以下的技术措施,加强路面结构各层之间的紧密结合,提高路面结构整体性,应使各结构层之间不产生层间滑移。

1. 在沥青面层与半刚性基层或粒料基层之间应设置透层沥青;当半刚性基层表面有可能出现细集料松散现象或因不能立即加铺沥青层且有施工车辆通行时,还应在透层沥青上增撒(2~3) $\text{m}^3/1000\text{m}^2$ 的粗砂或石屑;在多雨地区或多雨季节施工,宜用层铺法的单层表面处治做下封层,以防止雨水渗入基层。

2. 当沥青层由双层或三层组成时,若不能连续施工而沥青层表面被污染,或在旧沥青面层及水泥混凝土面层上加铺沥青层时,均应在层间设粘层沥青。

3. 透层沥青、粘层沥青、下封层的材料规格和用量应符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032)的要求。

3.0.10 半刚性基层沥青路面减少缩裂的措施

1. 根据实践经验,应选用符合“重交通道路石油沥青技术要求”或改性沥青,以减少半刚性基层沥青路面的低温缩裂。

2. 各地区宜结合当地材料、气候条件和使用要求,在沥青层与半刚性层之间设沥青贯入碎石或级配碎石层,或在半刚性基层顶面铺设耐高温的土工合成材料等,经铺筑试验路,总结减裂效果,逐步完善、提高和推广。

4 沥青面层

4.1 一般规定

4.1.1 沥青面层的技术要求

为了给汽车运输提供安全、快速、舒适的行车条件,沥青路面应具有坚实、平整、抗滑、耐久的品质,同时还应具有高温抗车辙、低温抗开裂、抗水损害以及防止雨水渗入基层的功能。

4.1.2 沥青面层分类及适用范围

沥青面层分为沥青混凝土、热拌沥青碎石、乳化沥青碎石混合料、沥青贯入式、沥青表面处治五种类型。

沥青混凝土适用于做各级公路的沥青路面面层。对高速公路、一级公路的表面层、中面层、下面层应采用沥青混凝土;二级公路的表面层宜用沥青混凝土。

热拌沥青碎石适用于做二级及二级以下公路的面层、柔性路面的上基层以及调平层。

乳化沥青碎石混合料适用于做三级、四级公路的沥青面层、二级公路养护罩面以及各级公路的调平层。

沥青贯入式碎石(含上拌下贯式)适用于做二级及二级以下公路的沥青面层。若沥青贯入碎石设在沥青混凝土层与半刚性基层、粒料基层之间时,沥青贯入式碎石应不撒封层料,也不做上封层。

沥青表面处治适用于三级、四级公路的面层、旧沥青面层上加铺罩面或抗滑层、磨耗层等。

4.1.3 选择沥青

高速公路、一级公路的沥青路面,应选用符合“重交通道路石油沥青技术要求”的沥青,以及经过试验论证、行之有效的改性沥

青。

二级及二级以下公路的沥青路面,可采用符合“中、轻交通道路石油沥青技术要求”的沥青或改性沥青。

沥青路面所用沥青标号,应根据气候条件、面层结构类型、施工方法和施工季节等按表 4.1.3 选用。

表 4.1.3 各类沥青路面选用的沥青标号

气候分区	路面类型		沥青表面处治	沥青贯入式及上拌下贯式	沥青碎石	沥青混凝土
	沥青种类	标号				
寒区	石油		A-140	A-140	AH-90 AH-110	AH-90 AH-110
	沥青		A-180	A-180	AH-130 A-100	A-100
温区	石油		A-100	A-140	AH-90 AH-110	AH-70 AH-90
	沥青		A-140 A-180	A-180	A-100	A-60 A-100
热区	石油		A-60	A-60	AH-50 AH-70	AH-50 AH-70
	沥青		A-100 A-140	A-100 A-140	AH-90 A-100 A-60	A-60 A-100

注:①气候分区应根据工程所在地年最低月平均气温划分;

②年最低月平均气温为 -10°C 以下属寒区;

③年最低月平均气温为 $0^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$ 属温区;

④年最低月平均气温为 0°C 以上属热区。

乳化沥青应符合“道路乳化石油沥青技术要求”的规定。对酸性石料、潮湿的石料,以及低温季节施工,宜选用阳离子乳化沥青;对碱性石料,以及在与水泥、石灰、粉煤灰共同使用时,宜选用阴离子乳化沥青。为提高使用性能可选用改性乳化沥青。

煤沥青不宜用于沥青面层,一般仅作为透层沥青使用。

4.1.4 集料的技术要求

各种沥青面层的粗集料、细集料、填料应符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032)的有关规定。

4.1.5 沥青路面抗滑性能

1. 高速公路、一级公路的沥青路面应具有良好的抗滑性能,

其抗滑性能应符合表 4.1.5 的要求。二级及三级公路应根据各路段的具体情况采取必要的技术措施,以提高路面抗滑性能。

2. 在设计高速公路、一级公路的沥青表面层时,应选用抗滑、耐磨石料,其石料磨光值应大于 42。

设计人员应认真调查石料场,并取样试验。常用的抗滑、耐磨石料有玄武岩、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。当采用酸性石料时,为提高石料与沥青之间的粘结力,可掺入适量的水泥、石灰或抗剥落剂,掺量应通过试验确定;也可采用粘结力强的改性沥青。

3. 高速公路、一级公路的表面层应根据各地气候条件、石料质量、交通量等因素,综合考虑沥青面层的抗滑、密水、耐久、抗开裂、抗车辙等技术要求,选择适当的级配类型和表面层厚度。除旧沥青面层上加铺抗滑层外,一般表面层厚度不宜小于 4.0cm。

4. 抗滑性能指标

(1)摩擦系数:高速公路、一级公路宜在竣工后第一个夏季采用摩擦系数测定车,以 (50 ± 1) km/h 的车速测定横向力系数(SFC)。

(2)路面宏观构造深度:路面宏观构造深度,应在竣工后第一个夏季用铺砂法或激光构造深度仪测定。

(3)竣工后第一个夏季测定沥青面层横向力系数(或摆值)、路面宏观构造深度,应符合表 4.1.5 规定的竣工验收值的要求。

表 4.1.5 抗滑标准

公路等级	竣工验收值		
	横向力系数 SFC	摆值 F_b (BPN)	构造深度 TC(mm)
高速公路 一级公路	≥ 54	≥ 45	≥ 0.55

4.1.6 沥青混合料的压实度

沥青混凝土、沥青碎石的压实度当以马歇尔试验密度为标准密度,对高速公路、一级公路压实度应达到 95%,其他等级公路应达到 94%。当以试验段的密度为标准密度时,均应达到 98%的压

实度。

4.2 高级路面

4.2.1 沥青混凝土

1. 沥青面层可由单层或双层或三层沥青混合料组成,各层混合料的组成设计应根据其层厚和层位、气温和降雨量等气候条件、交通量和交通组成等因素,按表 4.2.1 选用适当的最大粒径及级配类型,使之满足对沥青面层使用功能的要求。

表 4.2.1 沥青混合料类型的选择(方孔筛)

层位	沥青层厚度(cm)	混合料类别	高速公路、一级公路		二级及二级公路以下	
			三层式	双层式		
表面层	2.5~4	细粒式	AC-13	AC-13	AC-13 AM-13	
	4~5	中粒式	AC-16	AC-16		AC-16
中面层	4~6	中粒式	AC-20	—	—	
	5~6	粗粒式	AC-25	—		
下面层	4~5	中粒式	—	AC-20	AC-20 AM-25	
	5~6	粗粒式	AC-25	AC-25		AC-25
	6~8	粗粒式	AC-30	AC-30		AC-30 AM-30
上基层	5~6	粗粒式	AM-25	AM-25	AM-25	
调平层	6~8	粗粒式	AM-30	AM-30	AM-30	
	8~10	特粗粒式	AM-40	AM-40	—	
抗滑表层	2.5~4	细粒式	AK-13A	AK-13A	AK-13A	
			AK-13B	AK-13B		
		中粒式	AK-16A	AK-16A		
			AK-16B	AK-16B		AK-16A

注:AC为沥青混凝土;AM为沥青碎石;AK为抗滑面层。

2. 选择沥青面层各层级配时,应至少有一层是 I 型密级配沥青混凝土,以防止雨水下渗。三层式沥青面层的表面层采用抗滑表层时,中面层应用 I 型密级配沥青混凝土,下面层宜根据当地气候、交通量采用 I 型或 II 型沥青混凝土。双层式沥青面层的表面层采用抗滑层时,下面层应用 I 型密级配沥青混凝土;若采用半开级配或开级配热拌沥青碎石做表面层时,应在沥青面层下设下封层。

多雨地区采用乳化沥青碎石混合料做面层时,必须设置下封层或上封层。

3. 各种类型的沥青混合料级配组成可参考附录 B 表 B1 选用。

4.2.2 沥青混合料配合比设计

沥青混合料配合比设计按马歇尔试验法进行,沥青混合料的技术指标应符合表 4.2.2 的要求。

表 4.2.2 热拌沥青混合料马歇尔试验技术指标

试验项目	沥青混合料类型	高速公路、一级公路	其他公路
击实次数 (次)	沥青混凝土 沥青碎石、抗滑表层	两面各 75 两面各 50	两面各 50 两面各 50
稳定度 (kN)	I 型沥青混凝土 II 型沥青混凝土、抗滑表层	>7.5 >5.0	>5.0 >4.0
流值 (0.1mm)	I 型沥青混凝土 II 型沥青混凝土、抗滑表层	20~40 20~40	20~45 20~45
空隙率 (%)	I 型沥青混凝土 II 型沥青混凝土、抗滑表层 沥青碎石	3~6 4~10 >10	3~6 4~10 >10
沥青 饱和度(%)	I 型沥青混凝土 II 型沥青混凝土、抗滑表层 沥青碎石	70~85 60~75 40~60	70~85 60~75 40~60

注:①粗粒式沥青混凝土稳定度可降低 1kN;

② I 型细粒式沥青混凝土的空隙率为 2%~6%;

③当沥青碎石混合料在 60℃ 水浴中浸泡即发生松散时,可不进行马歇尔试验,但应测定密度、空隙率、沥青饱和度等;

④沥青混凝土混合料的矿料空隙率(VMA)宜符合下表要求:

集料最大粒径 (mm)	方孔筛	37.5	31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75
	圆孔筛	50	35 或 40	30	25	20	15	10	5
VMA 不小于(%)		12	12.5	13	14	14.5	15	16	18

4.2.3 沥青混凝土的稳定性

对高速公路、一级公路的表面层和中面层的沥青混凝土作配

合比设计时,应进行车辙试验,以检验沥青混凝土的高温稳定性。

高温稳定性是以温度 60℃、0.7MPa 轮压条件下进行车辙试验所获得的动稳定度表示,对高速公路的表面层、中面层沥青混合料,其动稳定度不应低于 800 次/mm;对一级公路的表面层、中面层沥青混合料不应低于 600 次/mm。

4.2.4 沥青混凝土的水稳性

高速公路、一级公路、二级公路的沥青混凝土应具有良好的水稳性。沥青混合料的水稳性指标,除通常采用浸水马歇尔试验和沥青与矿料的粘附性试验,以检验沥青混合料受水损害时的抗剥落性能外,对年最低气温低于-21.5℃的寒冷地区,还应增加沥青混合料冻融劈裂残留强度试验。沥青混合料的水稳性指标应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 沥青混合料水稳性指标

年降雨量 (mm)	>1000	500~1000	250~500	<250
沥青与石料的粘附性,级,不低于	4级	4级	3级	3级
浸水马歇尔试验(48h)残留稳定度,%, 不低于	75	70	65	60
冻融劈裂试验残留强度,%,不低于	70	70	65	

4.2.5 沥青玛蹄脂碎石混合料

沥青玛蹄脂碎石混合料(简称 SMA),是一种以沥青、矿粉及纤维稳定剂组成的沥青玛蹄脂结合料,填充于间断级配的矿料骨架中,所形成的沥青混合料。具有抗滑耐磨、密实耐久、抗疲劳、抗高温车辙、减少低温开裂的优点。适用于高速公路、一级公路做抗滑表层使用,其厚度宜为 3.5cm~4cm。

SMA 应选用磨光值大于 42 的硬质石料,最大粒径宜为 13mm 或 16mm。应选用针入度较小、粘度较大的沥青,并宜采用改性沥青,油石比不宜小于 6.2%。纤维稳定剂的用量,对木质素纤维为混合料总质量的 0.3%,矿物纤维为混合料总质量的 0.4%。

SMA 混合料的矿料级配及配合比设计可采用国内成功的经验及方法进行,5mm 以上粗集料用量不低于 70%,0.075mm 通过量宜为 8%~13%,马歇尔稳定度不宜低于 6.2kN,空隙率宜控制在 2%~4% 范围内。但必须进行车辙试验检验,动稳定度不应低于 1 500 次/mm。

4.3 次高级路面

4.3.1 热拌沥青碎石

热拌沥青碎石的配合比设计应根据实践经验和马歇尔试验的结果,并通过施工前的试拌、试铺确定。

热拌沥青碎石的级配可参照附录 B 表 B1 选用。

4.3.2 乳化沥青碎石混合料

乳化沥青碎石混合料的面层宜做成双层式,若用单层式应根据当地降雨量设置下封层或上封层。混合料的级配宜符合附录 B 表 B1 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。

4.3.3 沥青贯入式路面

1. 沥青贯入式面层的厚度一般为 4cm~8cm。当沥青贯入式的上部加铺拌和的沥青混合料时,也称为上拌下贯,此时拌和层的厚度宜为 3cm~4cm,其总厚度为 7cm~10cm。

乳化沥青贯入式路面厚度不宜大于 5cm。

沥青贯入式面层之下应做下封层,以避免雨雪下渗至基层,或滞留在面层与基层之间而导致路面破坏。

2. 沥青贯入式路面采用的沥青、集料的技术要求,应符合本规范 4.1.3 和 4.1.4 条的规定,其材料规格和用量应符合附录 B 表 B2、B3 的要求。

4.3.4 沥青表面处治

沥青表面处治按施工方法分类有层铺法和拌和法。

1. 层铺法可分为单层、双层、三层,厚度宜为 1.0cm~3.0cm。单层表处厚度为 1.0cm~1.5cm;双层表处厚度为 1.5cm~

2.5cm；三层表处厚度为 2.5cm~3.0cm。

层铺法沥青表面处治和乳化沥青表面处治，集料的规格与用量应符合附录 B 表 B4 的规定。

2. 拌和法沥青表面处治路面可采用热拌热铺或冷拌冷铺法施工，其混合料级配可参照附录 B 表 B1 选用。拌和法沥青表处路面厚度宜为 3cm~4cm。

采用拌和法施工时，基层顶面应洒透层沥青或粘层沥青或做下封层，使面层与基层之间结合紧密，防止雨雪下渗。

5 基层、底基层及垫层

5.1 基层、底基层

5.1.1 一般规定

1. 基层、底基层应具有足够的强度和稳定性,在冰冻地区还应具有一定的抗冻性。

2. 高级路面下的半刚性基层应具有较小的收缩(温缩及干缩)变形和较强的抗冲刷能力。

3. 基层、底基层结构设计应贯彻就地取材的原则,认真做好当地材料的调查,根据不同公路等级、交通量对基层、底基层的技术要求,选择技术可靠、经济合理的基层、底基层结构。

4. 半刚性材料基层、底基层的配合比设计,应根据重型击实标准制件,混合料 7d 龄期的无侧限抗压强度试验确定。

5. 一般公路的基层宽度每侧宜比面层宽出 25cm,底基层每侧宜比基层宽 15cm。在多雨地区,透水性好的粒料底基层,宜铺至路基全宽,以利于排水。高速公路、一级公路的基层宽度应按照本规范 9.2.3 条规定确定。

6. 基层和底基层的压实度、平整度应符合《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034)的规定。

5.1.2 分类与适用范围

基层可分为有结合料稳定类(有机结合料、无机结合料)和无结合料的粒料类(嵌锁型、级配型)。底基层可分为无机结合料稳定类和无结合料的粒料类。

1. 有机结合料稳定类:包括热拌沥青碎石或乳化沥青碎石混合料、沥青贯入碎石等。其技术要求应符合本规范 4.1 及 4.3 节的

有关规定。

2. 无机结合料稳定类(也称半刚性类型):

1) 水泥稳定类:包括水泥稳定砂砾、砂砾土、碎石土、未筛分碎石、石屑、土等,以及水泥稳定经加工、性能稳定的钢渣、矿渣等。

2) 石灰稳定类:包括石灰稳定土(石灰土)、天然砂砾土(石灰砂砾土)、天然碎石土(石灰碎石土)、以及用石灰土稳定级配砂砾(砂砾中无土)、级配碎石和矿渣等。

3) 工业废渣稳定类:

① 石灰粉煤灰类:包括石灰粉煤灰(二灰)、石灰粉煤灰土(二灰土)、石灰粉煤灰砂(二灰砂)、石灰粉煤灰砂砾(二灰砂砾)、石灰粉煤灰碎石(二灰碎石)、石灰粉煤灰矿渣(二灰矿渣)等。

② 水泥粉煤灰类:包括水泥粉煤灰稳定砂砾、碎石及砂等。

③ 石灰煤渣类:包括石灰煤渣、石灰煤渣土、石灰煤渣碎石、石灰煤渣砂砾、石灰煤渣矿渣、石灰煤渣碎石土等。

水泥稳定类、石灰粉煤灰稳定类材料适用于各级公路的基层和底基层,但是水泥或石灰、粉煤灰稳定细粒土不能用做高级路面的基层。

石灰稳定类材料适用于各级公路的底基层,也可用做二级和二级以下公路的基层,但石灰稳定细粒土不能用做高级路面的基层。

3. 粒料类

1) 嵌锁型——包括泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石等。

2) 级配型——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砾、碎石等。

级配碎石适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,可用做二级和二级以下公路的基层,也可用做各级公路的底基层。

填隙碎石适用于各级公路的底基层和三、四级公路的基

层。

5.1.3 对原材料的技术要求

1. 无机结合料

1) 水泥 普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥均可做结合料,宜选用终凝时间较长的水泥。

2) 石灰 石灰质量应符合 GB 1594 规定的 III 级以上消石灰或生石灰的技术指标。

3) 粉煤灰 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 $2500\text{cm}^2/\text{g}$ 。

2. 集料

1) 各类基层、底基层的集料压碎值应符合表 5.1.3-1 的规定。

表 5.1.3-1 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
		水泥和石灰粉煤灰稳定类	$\leq 30\%$	$\leq 35\%$
石灰稳定类	基层	—	$\leq 30\%$	$\leq 35\%$
	底基层	$\leq 35\%$	$\leq 40\%$	$\leq 40\%$
填隙碎石 泥结碎石	基层	—	—	$\leq 26\%$
	底基层	$\leq 30\%$	$\leq 30\%$	$\leq 30\%$
级配碎石	基层	$\leq 26\%$	$\leq 30\%$	$\leq 35\%$
	底基层	$\leq 30\%$	$\leq 35\%$	$\leq 40\%$
级配或天然砂砾	基层	—	—	$\leq 35\%$
	底基层	$\leq 30\%$	$\leq 35\%$	$\leq 40\%$

2) 无机结合料稳定细粒土时,细粒土应符合表 5.1.3-2 的规定。

表 5.1.3-2 对细粒土的技术要求

材料类型	塑性指数	有机质含量	硫酸盐含量
水泥稳定类	≤17	≤2%	≤0.25%
石灰稳定类	12~18	≤10%	≤0.8%
石灰粉煤灰稳定类	12~18	≤10%	≤0.8%

5.1.4 水泥稳定类

1. 高速公路、一级公路用水泥稳定类材料时,其集料的级配范围应符合表 5.1.4-1 的规定,二级公路基层的集料,宜符合表 5.1.4-1 的要求。

表 5.1.4-1 水泥稳定类材料集料的级配范围

层位	通过质量百分率(%)	方筛孔尺寸 (mm)								液限	塑指
		40	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075		
基 层	—	100	88~99	57~77	29~49	17~35	8~22	0~7	<28	<9	
底 基 层	100	93~98	74~89	49~69	29~52	18~38	8~22	0~7	<28	<9	

注:集料中含有塑性指数的土时,小于 0.075mm 的颗粒含量不应超过 5%。

2. 水泥稳定类材料的压实度(按重型击实标准)及 7d(在非冰冻区 25℃、冰冻区 20℃条件下湿养 6d、浸水 1d)龄期的无侧限抗压强度应满足表 5.1.4-2 的要求。

表 5.1.4-2 水泥稳定类基层、底基层的压实度及 7d 抗压强度

层位	土类	高速公路、一级公路		二级和二级以下公路	
		压实度(%)	抗压强度(MPa)	压实度(%)	抗压强度(MPa)
基 层	粗粒土	≥98	3~4 ^①	≥97	2~3 ^①
	中粒土			≥95 ^②	
底 基 层	粗粒土	≥96	≥2.0	≥95	≥1.5
	中粒土			≥93	
	细粒土	≥95			

注:①交通量大、重车多时取高值,一般情况下取中、低值。

②三、四级公路,压实机具有困难时压实度可减少 2%。

3. 水泥剂量

水泥剂量应通过配合比设计试验确定,但设计水泥剂量宜按配合试验确定的剂量增加 0.5%~1%,对集中厂拌法宜增加 0.5%,对路拌法宜增加 1%。当水泥稳定中、粗粒土做基层时,应控制水泥剂量不超过 6%。水泥的最小剂量应符合表 5.1.4-3 的规定。

表 5.1.4-3 水泥最小剂量

土类	拌和方法	
	路拌法	集中厂拌法
中、粗粒土	4%	3%
细粒土	5%	4%

4. 综合稳定

1) 采用水泥稳定碎石土、砾石土或含泥量大的砂、砂砾时,宜掺入一定剂量石灰进行综合稳定,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。

2) 水泥稳定粒径较均匀、且不含或含细料很少的砂砾、碎石以及不含土的砂时,宜在集料中添加 20%~40% 的粉煤灰,或添加剂量为 10%~12% 的石灰土进行综合稳定。

5.1.5 石灰粉煤灰稳定类

1. 高速公路、一级公路用的石灰粉煤灰稳定砂砾基层、底基层,其混合料中砂砾的级配应符合表 5.1.5-1 的要求;若用石灰粉煤灰稳定碎石时,则混合料中碎石级配应符合表 5.1.5-2 的要求。

表 5.1.5-1 二灰砂砾混合料中砂砾的级配范围

层位	通过下列方筛孔(mm)的质量百分率(%)								
	40	31.5	19.0	9.50	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
基层	—	100	83~98	55~75	39~59	29~49	20~40	12~32	0~15
底基层	100	89~100	69~89	52~72	39~59	29~49	20~40	12~32	0~15

表 5.1.5-2 二灰碎石混合料中碎石的级配范围

层位	通过下列方筛孔(mm)的质量百分率(%)								
	40	31.5	19.0	9.50	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
基层	—	100	81~98	52~70	30~50	18~38	10~27	6~20	0~7
底基层	100	90~100	72~90	48~68	30~50	18~38	10~27	6~20	0~7

2. 二级及二级以下公路用石灰粉煤灰稳定集料做基层时,其集料应具有一定级配,且最大粒径不应超过 40mm;大于 2.36mm 的粗集料的质量,对二灰砂砾宜为 50%~70%,对二灰碎石宜为 60%~80%。当用石灰粉煤灰稳定集料做底基层时,最大粒径不应超过 50mm。

3. 石灰粉煤灰稳定类材料的压实度(按重型击实标准)及 7d (在非冰冻区 25℃、冰冻区 20℃条件下湿养 6d、浸水 1d)龄期的无侧限抗压强度应满足表 5.1.5-3 的要求。

表 5.1.5-3 石灰粉煤灰稳定类基层、底基层的压实度及 7d 抗压强度

层位	土类	高速公路、一级公路		二级和二级以下公路	
		压实度(%)	抗压强度(MPa)	压实度(%)	抗压强度(MPa)
基层	粗粒土 中粒土	≥98	≥0.8	≥97	≥0.6
	细粒土	—		≥95	
底基层	粗粒土 中粒土	≥96	≥0.5	≥95	≥0.5
	细粒土	≥95		≥93	

注:三、四级公路用石灰粉煤灰稳定细粒土做基层时,如压实机具有困难时,压实度可减少 2%。

4. 为提高石灰粉煤灰稳定类材料的早期强度,宜在混合料中掺入 1%~2% 的水泥。

5.1.6 石灰稳定类

1. 石灰稳定类材料用于沥青路面的基层时,除层铺法表面处

治外,应在基层上做下封层。

2. 石灰稳定类材料用于基层时,最大粒径不应超过 40mm;用于底基层时,最大粒径不应超过 50mm。

3. 不含粘性土的砂砾、级配碎石和未筛分碎石,应采用石灰土稳定,石灰土与集料的质量比宜为 1:4,集料应具有良好的级配。

4. 石灰稳定类材料的压实度(按重型击实标准)及 7d(在非冰冻区 25℃、冰冻区 20℃条件下湿养 6d、浸水 1d)龄期的无侧限抗压强度应满足表 5.1.6 的要求。

表 5.1.6 石灰稳定类基层、底基层的压实度及 7d 抗压强度

层位	土类	高速、一级公路		二级和二级以下公路	
		压实度(%)	抗压强度(MPa)	压实度(%)	抗压强度(MPa)
基层	粗粒土 中粒土	—	—	≥97	≥0.8 ^①
	细粒土	—		≥95 ^②	
底基层	粗粒土 中粒土	≥96	≥0.8	≥95	0.5~0.7 ^③
	细粒土	≥95		≥93	

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

②三、四级公路,压实机具有困难时,压实度可减少 2%;

③低限用于塑性指数小于 7 的土,高限用于塑性指数大于 7 的土。

5. 过湿路段和冰冻地区的潮湿路段不应直接铺筑石灰土底基层,应在其下设置隔水垫层。

5.1.7 填隙碎石

1. 填隙碎石的单层铺筑厚度宜为 10cm~12cm,最大粒径宜为厚度的 0.5~0.7 倍。用做基层时,最大粒径不应超过 60mm;用做底基层时,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,主骨料和填隙料的颗粒组成可参照有关规范的规定。

2. 填隙碎石的压实度以固体体积率表示,用做底基层时,不

应小于 83%；用做基层时，不应小于 85%。

5.1.8 级配碎石

1. 级配碎石宜用几种粒径不同的碎石和石屑掺配拌制而成，其粒料的级配组成应符合附录 C 表 C2 的要求，且级配应接近圆滑曲线。用于底基层的未筛分碎石的级配，宜符合附录 C 表 C2 的要求。

2. 级配碎石用做基层时，其压实度不应小于 98%；用做底基层时，其压实度不应小于 96%。

5.1.9 级配砾石和天然砂砾

1. 级配砾石或天然砂砾用做基层或底基层时，其颗粒组成应符合附录 C 表 C3 的要求，且级配宜接近圆滑曲线。

2. 级配砾石或天然砂砾用做基层时，其重型击实标准的压实度不应小于 98%，CBR 值不应小于 160%；用做底基层时，其重型击实标准的压实度不应小于 96%，CBR 值对轻交通道路不应小于 40%，对中等交通道路不应小于 60%。

5.2 垫 层

5.2.1 垫层的设置原则

处于下列状况的路基应设置垫层，以排除路面、路基中滞留的自由水，确保路面结构处于干燥或中湿状态。

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，可能产生冻胀需设置防冻垫层的路段。

4. 基层或底基层可能受污染以及路基软弱的路段。

5.2.2 垫层材料

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粗粒土，石灰粉煤灰稳定粗粒土等。若采用粗砂和

砂砾料时,通过 0.074mm 筛孔的颗粒含量不应大于 5%。采用煤渣时,小于 2mm 的颗粒含量不宜大于 20%。

为防止软弱路基污染粒料底基层、垫层,或为隔断地下水的影响,可在路基顶面设土工合成材料隔离层。

5.2.3 垫层宽度

高速公路、一、二级公路的排水垫层应铺至路基同宽,以利路面结构排水,保持路基稳定。三、四级公路的垫层宽度可比底基层每侧至少宽 25cm。

5.2.4 道路冻深计算

道路冻深应按公式 5.2.4 计算。

$$h_d = a \cdot b \cdot c \sqrt{f} \quad (5.2.4)$$

式中: h_d ——从路表面至道路冻结线的深度(cm);

a ——路面结构层的材料热物性系数,由表 5.2.4-1 查得;

b ——路面横断面(填、挖)系数,由表 5.2.4-2 查得;

c ——路基潮湿类型系数,由表 5.2.4-3 查得;

f ——最近 10 年冻结指数平均值,即冬季负温度的累积值($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$),根据气象部门观测资料计算确定。

表 5.2.4-1 路面结构层材料热物性系数表

地区 \ 隔温材料层厚度(m)	0	0.10	0.20	0.30	大于 0.40
	~ 0.10	~ 0.20	~ 0.30	~ 0.40	
东 北	2.20	2.20	2.10	2.00	1.90
		~ 2.10	~ 2.00	~ 1.90	~ 1.80
华 北	2.15	2.15	2.05	1.95	1.85
		~ 2.05	~ 1.95	~ 1.85	~ 1.75
西 北	2.10	2.10	2.00	1.90	1.80
		~ 2.00	~ 1.90	~ 1.80	~ 1.70

注:①隔温材料层厚度系指由煤渣、矿渣及粉煤灰等工业废料类组成的路面结构层。

②隔温性能好的材料取低值,隔温性能不好的材料取高值。

表 5.2.4-2 路基横断面填、挖系数表

填挖高度 (m)	填 方			挖 方		
	0 ~ 0.50	0.50 ~ 2.0	大于 ~ 2.0	0 ~ 0.50	0.50 ~ 2.0	大于 ~ 2.0
地 区						
东 北	1.80 ~ 2.00	2.00 ~ 2.20	2.25	1.80 ~ 1.70	1.70 ~ 1.55	1.50
华 北	1.85 ~ 2.05	2.05 ~ 2.25	2.30	1.85 ~ 1.75	1.75 ~ 1.60	1.55
西 北	1.90 ~ 2.10	2.10 ~ 2.30	2.35	1.90 ~ 1.80	1.80 ~ 1.65	1.60

注：填方高者取大值，挖方深者取小值。

表 5.2.4-3 路基潮湿类型系数表

地 区	路基潮湿类型		
	过 湿	潮 湿	中 湿
东 北	1.00~1.05	1.05~1.07	1.07~1.10
华 北	1.01~1.06	1.06~1.08	1.08~1.10
西 北	1.02~1.07	1.07~1.09	1.09~1.11

注：路基湿度偏低时取大值。

5.2.5 防冻厚度计算

在季节性冰冻地区的中湿、潮湿路段，路面设计时应进行防冻厚度检验。根据交通量计算结构层总厚度应不小于表 5.2.5 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时，应增加防冻垫层使其满足最小防冻厚度的要求。

补强设计时，补强层厚度加原有路面结构厚度之和应大于最小防冻厚度，否则应增加补强层厚度使其满足最小防冻厚度的要求。

表 5.2.5 最小防冻厚度(cm)

路基类型	土 质	粘性土、细亚砂土			粉 性 土		
	基、垫层 类型 道路 冻深(cm)	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
	大于 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
	大于 200	70~80	65~75	55~70	80~100	70~90	65~80

注：①在《公路自然区划标准》(JTJ 003)中，对潮湿系数小于 0.5 的地区，II、III、IV 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 路基与排水

6.1 路 基

6.1.1 对路基的要求

路基必须密实、均匀、稳定。填方路基的填料选择、路床的质量要求以及填方路堤的基底处理应符合《公路路基设计规范》(JTJ 013)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。设计时,宜使路基处于干燥或中湿状态。潮湿、过湿状态的路基应采取掺入固化材料或换填砂、砂砾、碎石渗水性材料,以及设置土工合成材料等加强路基排水的技术措施,进行综合处理,应使高速公路和一级公路的土基回弹模量值大于30MPa,其他公路的土基回弹模量值应大于25MPa。

6.1.2 路基干湿类型

路面设计应根据路基土的分界稠度确定路基干湿类型。

表 6.1.2-1 土基干湿状态的稠度建议值

干湿状态 土组	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	$w_c \geq 1.20$	$1.20 > w_c \geq 1.00$	$1.00 > w_c \geq 0.85$	$w_c < 0.85$
粘质土	$w_c \geq 1.10$	$1.10 > w_c \geq 0.95$	$0.95 > w_c \geq 0.80$	$w_c < 0.80$
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 为路床表面以下80cm深度内的平均稠度。

路基的干湿类型可以实测不利季节路床表面以下 80cm 深度内土的平均稠度 w_c ，再按表 6.1.2-1 土基干湿状态的稠度建议值确定。也可根据自然区划、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 6.1.2-2 的一般特征确定。

土的平均稠度 w_c 按下式计算：

$$w_c = (w_L - w) / (w_L - w_P) \quad (6.1.2)$$

式中： w_c ——土的平均稠度；

w_L ——土的液限；

w ——土的平均含水量；

w_P ——土的塑限。

土的液限和塑限按《公路土工试验规程》(JTJ 051)中 T0118 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，论证地确定路基土的干湿类型。

表 6.1.2-2 土基干湿类型

土基干湿类型	路床表面以下 80cm 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 为不利季节路床表面距地下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 E 表 E1。

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。

6.1.3 对路基填料的要求

1. 填方路基宜选用级配较好的粗粒土作为填料。路槽底面以下 80cm 深度内的路床应优先选用砾(角砾)类土、砂类土作填料,土质较差的土可填于路堤底部。用不同填料筑路基时,应分层填筑,每一水平层均应用同类填料。

当细粒土作填料时,若土的含水量超过最佳含水量两个百分点以上,应采取晾晒或掺入石灰、固化材料等技术措施,进行综合处理。

2. 高速公路、一级公路路基填料最小强度和填料最大粒径应符合表 6.1.3 的规定。当其他公路修建高级路面时,路基填料的强度和最大粒径宜采用与高速公路、一级公路相同的规定值。

表 6.1.3 路基填料最小 CBR 值和最大粒径要求

项目分类		路床表面 以下深度 (cm)	填料最小 CBR 值		填料最大 粒径 (cm)
			高速公路、 一级公路	其他等级 公路	
填 方 路 基	上路床	0~30	8	6	10
	下路床	30~80	5	4	10
	上路堤	80~150	4	3	15
	下路堤	150 以下	3	2	15
零填及路堑路床		0~30	8	6	10

注:①当路床填料 CBR 值达不到表列要求时,可采取掺石灰、固化材料或换填各种材料处理。

②填料为粗粒土(填石)的最大粒径,不应超过压实厚度的 2/3。

6.1.4 路基压实度

1. 路基压实是保证路基强度与稳定性的关键,路基的压实度应符合表 6.1.4-1 的规定。

表 6.1.4-1 路基压实度(重型击实标准)

填挖类别		路床表面以下深度(cm)	压实度 (%)	
			高速公路、一级公路	其他等级公路
填 方 路 基	上路床	0~30	≥95	≥93
	下路床	30~80	≥95	≥93
	上路堤	80~150	≥93	≥90
	下路堤	150以下	≥90	≥90
零填及路堑路床		0~30	≥95	≥93

注:①表列数值系按部颁《公路土工试验规程》(JTJ 051)重型击实试验法求得的最大干密度的压实度;

②当其它等级公路修建高级路面时,其压实度应采用高速公路、一级公路的规定值;

③特殊干旱或特殊潮湿地区,压实度标准可根据试验路资料确定或比表列数值降低 2~3 个百分点。

2. 天然稠度小于 1.1、液限大于 40、塑性指数大于 18 的粘性土,用做高速公路、一级公路和二级公路的上路床填料时,应采取各种措施达到表 6.1.4-1 中规定的压实度;若用上述土做下路床及上、下路堤的填料,且进行处治或采用重型压实标准确有困难时,可采用轻型压实标准,其压实度不应低于表 6.1.4-2 的规定。

表 6.1.4-2 路基压实度(轻型击实标准)

填挖类别		路床表面以下深度(cm)	压实度 (%)	
			高速公路、一级公路	其他等级公路
填 方 路 基	上路床	0~30	—	≥95
	下路床	30~80	≥98	≥95
	上路堤	80~150	≥95	≥90
	下路堤	150以下	≥90	≥90
零填及路堑路床		0~30	—	≥95

注:表列数值系按部颁《公路土工试验规程》(JTJ 051)轻型击实试验法求得的最大干密度的压实度。

3. 铺筑中级或低级路面的三、四级公路的路基压实可采用表 6.1.4-2 规定的压实度。

6.1.5 土基回弹模量值的确定

1. 新建公路初步设计时,土基回弹模量值应根据查表法(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土基回弹模量设计值。

当路基建成后,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。若代表值小于设计值,应采取翻晒补压,掺灰处理等加强路基或调整路面结构厚度的措施,以保证路基路面的强度和稳定性。

2. 查表法

在无实测条件时,按以下步骤由查表可预测土基回弹模量值。

1) 确定临界高度

临界高度指在不利季节,土基分别处于干燥、中湿或潮湿状态时,路床表面距地下水位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)可参考附录 E 表 E1 选用。

2) 拟定土的平均稠度

在新建公路的初步设计中,因无法实测求得土的平均稠度,可根据当地经验或路基临界高度,判断各路段土基的干湿类型,利用表 6.1.2-1、表 6.1.2-2 论证得到各路段土的平均稠度 w_c 值。

3) 预测土基回弹模量

根据土类和气候区以及拟定的路基土的平均稠度,可参考附录 E 表 E2 预测土基回弹模量值。当采用重型击实标准时,土基回弹模量值可较表列数值提高 15%~30%。

3. 现场实测法

1) 在已成路基上,在不利季节按照《公路路基路面现场测试规程》(JTJ 059)规定,用大型承载板测定土基 0~0.5mm(路基软弱时测至 1mm)的变形压力曲线,按式(6.1.5-1)计算土基回弹模量。

$$E_0 = 1000 \cdot \frac{\pi D}{4} \cdot \frac{\sum p_i}{\sum L_i} (1 - \mu_0^2) \quad (6.1.5-1)$$

式中： E_0 ——土基回弹模量(MPa)；

D ——承载板直径 30cm；

μ_0 ——土的泊松比，取 0.35；

p_i, L_i ——各级压强(MPa)与其相对应的回弹变形值(0.01mm)。

2)当用弯沉仪测定土基弯沉值时，可用式 6.1.5-2 计算土基回弹模量值 E_{01} 。

$$E_{01} = 1000 \cdot \frac{2p\delta}{l_0} (1 - \mu_0^2) \alpha_0 \quad (6.1.5-2)$$

式中： p, δ ——测定车单轮轮胎接地压强(MPa)与当量圆半径(cm)；

l_0 ——轮隙中心处的回弹弯沉(0.01mm)；

α_0 ——均匀体弯沉系数，取 0.712。

3)因弯沉测定比承载板法简便、快速，宜选择典型路段测试，建立 E_0 与 l_0 的相关关系，用弯沉值检验土基回弹模量。

4)某路段土基回弹模量设计值应按式 6.1.5-3 计算。

$$E_{0s} = (\bar{E}_0 - Z_s S) / K_1 \quad (6.1.5-3)$$

式中： E_{0s} ——某路段土基回弹模量设计值；

\bar{E}_0, S ——分别为该路段实测土基回弹模量平均值与标准差；

Z_s ——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。

5)当在非不利季节实测土基回弹模量时，应考虑季节影响系数，可根据本地经验选用。

4. 室内试验法

选择土料场，取土样，按照《公路土工试验规程》(JTJ 051)中 T0135 小承载板法试验步骤测定土的回弹模量。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—回弹模量曲线，查

图求得标准压实度条件下土的回弹模量值。土基回弹模量的设计值,应考虑不利季节、不利年份的影响,宜乘以 0.7~0.9 的折减系数修正。

5. 换算法

通过积累现场大型承载板试验 E_0 与压实度 K 、土基稠度 w_c 或 E_0 与室内土基 CBR 值等资料,建立可靠的换算关系,利用换算关系推算现场土基回弹模量。

6.1.6 石方路堑

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石(砾)石的整体性材料作整平层,或全断面铺设 10cm~15cm 级配碎(砾)石,严禁用土填筑。

为了保证路面不受裂隙水、泉眼等地下水影响,应按有关规范的规定,加强路基、边沟排水,必要时可设置盲沟等。

6.1.7 土质路堑

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,一般宜降低一个等级,按中湿或潮湿路段进行路面设计。

6.1.8 填石路堤的技术要求

填石路堤的石料,最大粒径不应大于压实厚度的 2/3。在路床 80cm 范围内,石料最大粒径不应大于 15cm,并用 3cm~8cm 和 2cm~4cm 的碎石或石渣分层嵌缝、碾压密实。

填石路堤或土石混填路堤应分层填筑、分层压实。每层压实厚度应与采用压实机械的压实功能相适应,宜用 200kN 以上的振动压实机械碾压密实。填石路堤或土石混填路堤的压实度和检验方法,应符合《公路路基施工技术规范》(JTJ 013)的要求。

当用泥岩、页岩、片岩等强风化岩石填筑路堤时,除应充分破碎、碾压密实外,还应采取避免地表水和地下水影响的措施,以防止路堤产生过大的沉降。

6.2 排 水

6.2.1 一般规定

公路排水分为地表排水和地下排水。

地表排水包括路面(含路肩)排水、中央分隔带排水和坡面(含路堤坡面、路堑坡面和自然坡面)排水。

地下排水包括路基地下排水、中央分隔带地下排水、纵向填(挖)方交界处地下排水和路面结构层地下排水。

路面排水设计应根据公路等级、降水量、地形、地貌、地质及水文地质条件等因素,结合路基排水设计,合理布置路面排水设施,使地表排水和地下排水设施有机地联成一个完整的排水系统,确保排水畅通,路基、路面稳定和行车安全。

6.2.2 路面排水设计重现期

路面排水设计重现期应符合表 6.2.2 规定,水文及水力计算应按照《公路排水设计规范》(JTJ 018)的规定进行。

表 6.2.2 路面排水设计重现期

公 路 等 级	重现期(年)	公 路 等 级	重现期(年)
高速公路、一级公路	5*	二级、二级以下公路	3

注: * 对于多雨地区的高速公路或特殊路段,根据需要可适当提高重现期。

6.2.3 高速公路、一级公路的路面排水

高速公路、一级公路的路面排水,一般由路面排水、路肩排水、中央分隔带排水组成,必要时,可考虑路面结构排水。

路面排水设施主要由路面横坡、拦水带(或矩形边沟)、泄水口和急流槽组成,路面横坡一般采用 1%~2% 的单向坡,泄水口的间距应根据计算确定,一般为 20m~50m。泄水口长度一般宜为 2m~4m,泄水口宜设置在凹形曲线的底部或其它适当的位置。

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、横向排水管等组成。中央分隔带无封面层、经常有雨水浸入时,应视当地降雨量的大小考虑设计中央分隔带地下排水系统。若中央分隔带有薄层现浇水泥混凝土或铺设预制水泥混凝土方砖

封层,雨水难以下渗时,可不设地下排水系统。

当地表水或地下水有可能渗入路面结构层时,宜设置排水垫层、渗沟(盲沟)等。

6.2.4 二级及二级以下公路的路面排水

二级及二级以下公路路面排水,由路拱坡度、路肩横坡、边沟或拦水带组成,路拱坡度应符合现行《公路工程技术标准》(JTJ 01)的规定,多雨或降雨强度较大的地区取高值,干旱地区或纵坡较大的路段取低值。路拱与路肩横坡应平滑相接,路肩横坡一般较路拱坡度大1%,干旱地区路肩横坡可与路拱坡度相同。

路堤或路堑的坡面排水、路基地下排水应符合《公路路基设计规范》(JTJ 013)的规定。

对易流失的砂土、粉砂土路肩及路堤边坡较高的路肩也可设拦水带,经泄水口、急流槽将路面水排出路基。

6.2.5 穿越乡、镇公路的路面排水

穿越乡、镇的公路,其排水宜按乡、镇排水规划进行。当乡、镇无排水规划时,应与当地城建系统协调,因地制宜进行排水设计。

穿越乡、镇的公路地面排水,一般宜采用排水沟、雨水井、连接管引入排水干管。当路面标高受限制,且地下水位较高时,应采用地下排水设施处理。

7 新建路面的结构厚度计算

7.0.1 设计步骤

1. 根据设计任务书的要求,确定路面等级和面层类型、计算设计年限内一个车道的累计当量轴次和设计弯沉值。

2. 按路基土类与干湿类型,将路基划分为若干路段(在一般情况下路段长度不宜小于 500m,若为大规模机械化施工,不宜小于 1km),确定各路段路基回弹模量值。

3. 可参考附录 A 推荐结构,拟定几种可能的路面结构组合与厚度方案,根据选用的材料进行配合比试验及测定各结构层材料的抗压回弹模量、抗拉强度,确定各结构层材料设计参数。

4. 根据设计弯沉值计算路面厚度。对高速公路、一级公路、二级公路沥青混凝土面层和半刚性材料的基层、底基层,应验算拉应力是否满足容许拉应力的要求。如不满足要求,或调整路面结构层厚度,或变更路面结构组合,或调整材料配合比、提高极限抗拉强度,再重新计算。上述计算应采用多层弹性体系理论编制的专用设计程序进行。

对于季节性冰冻地区的高级和次高级路面,尚应验算防冻厚度是否符合要求。

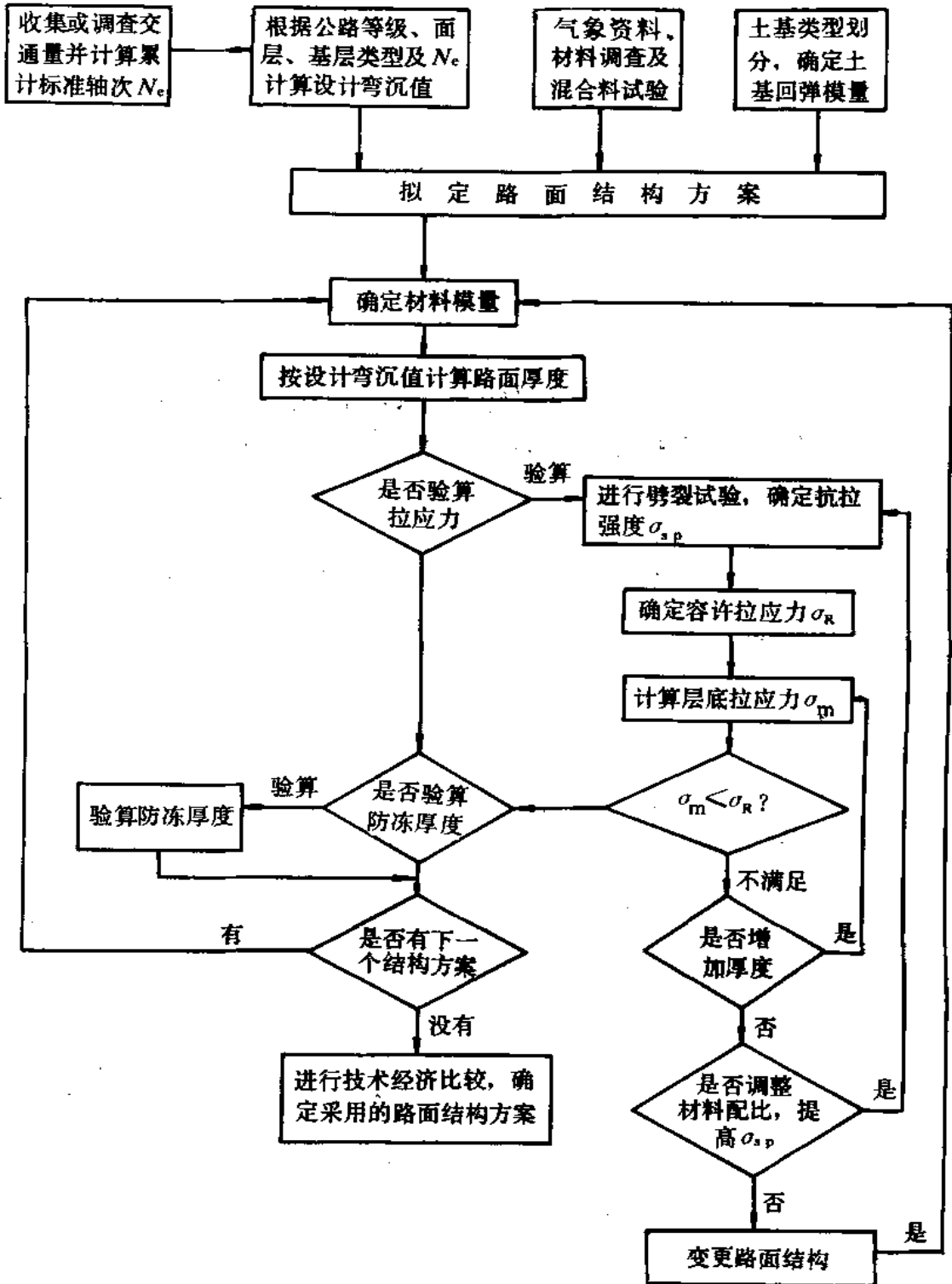
5. 进行技术经济比较,确定采用的路面结构方案。

上述设计程序的框图如图 7.0.1。

7.0.2 路面设计弯沉值

路面设计弯沉值是表征路面整体刚度大小的指标,是路面厚度计算的主要依据。路面设计弯沉值应根据公路等级、在设计年限内累计标准当量轴次、面层和基层类型按式 7.0.2 计算确定。

$$l_d = 600N_e^{-0.2}A_c \cdot A_s \cdot A_b \quad (7.0.2)$$



7.0.1 设计程序框图

式中： l_d ——路面设计弯沉值(0.01mm)；

N_e ——设计年限内一个车道上累计当量轴次；

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_a ——面层类型系数，沥青混凝土面层为 1.0；热拌沥青碎石、乳化沥青碎石、上拌下贯或贯入式路面为 1.1；沥青表面处治为 1.2；中、低级路面为 1.3；

A_b ——基层类型系数，对半刚性基层、底基层总厚度等于或大于 20cm 时， $A_b=1.0$ ；若面层与半刚性基层间设置等于或小于 15cm 级配碎石层、沥青贯入碎石、沥青碎石的半刚性基层结构时， A_b 可取 1.0；柔性基层、底基层 $A_b=1.6$ ，当柔性基层厚度大于 15cm、底基层为半刚性下卧层时， A_b 可取 1.6；

7.0.3 容许拉应力

高速公路、一级公路、二级公路的沥青混凝土面层或半刚性材料基层、底基层，在进行层底拉应力验算时，结构层底面计算点的拉应力 σ_m 应小于或等于该层材料的容许拉应力 σ_R ，即：

$$\sigma_m \leq \sigma_R$$

容许拉应力 σ_R 按下列公式计算：

$$\sigma_R = \frac{\sigma_{SP}}{K_s} \quad (7.0.3-1)$$

式中： σ_R ——路面结构层材料的容许拉应力(MPa)；

σ_{SP} ——沥青混凝土或半刚性材料的劈裂强度(MPa)。对沥青混凝土系指 15℃时的劈裂强度；对水泥稳定类材料为龄期 90d 的劈裂强度(MPa)；对二灰稳定类、石灰稳定类的材料为龄期 180d 的劈裂强度(MPa)；

K_s ——抗拉强度结构系数。

对沥青混凝土面层：

$$K_s = 0.09A_a \cdot N_e^{0.22}/A_c \quad (7.0.3-2)$$

式中： A_a ——沥青混凝土级配类型系数，细、中粒式沥青混凝土为

1.0,粗粒式沥青混凝土为 1.1;

对无机结合料稳定集料类:

$$K_s = 0.35N_c^{0.11}/A_c \quad (7.0.3-3)$$

对无机结合料稳定细粒土类:

$$K_s = 0.45N_c^{0.11}/A_c \quad (7.0.3-4)$$

7.0.4 路面材料设计参数

1. 高速公路、一级公路在初步设计阶段应选用沿线筑路材料和外购材料进行混合料配合比设计。在选定配合比的基础上,按有关规程的规定实测材料设计参数,并论证地确定各层材料回弹模量和抗拉强度的设计值。

2. 以设计弯沉值计算路面厚度并对结构层进行层底拉应力验算时,各层材料的模量均采用抗压回弹模量,沥青混凝土和半刚性材料的抗拉强度采用劈裂试验测得劈裂强度。

1)半刚性材料的抗压回弹模量,按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057)中 T0801—94 规定的顶面法测定。沥青混合料的抗压回弹模量测试方法可参照 T0801—94 方法或按 JTJ 052 增补规定的方法进行。但试验温度为 20℃和 15℃,不浸水,在加载板上采用逐级加载卸载法测试各级压强与相应的回弹变形,施加的压强为 0.5MPa~0.7MPa,并取压强为 0.7Mpa 时的回弹变形计算回弹模量。

2)沥青混合料的劈裂强度按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052)中 T0716—93 规定进行,试验温度为 15℃。半刚性材料的劈裂强度按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057)中 T0806—94 有加载压条的方法进行。

3. 各单位可建立半刚性材料的抗压回弹模量、抗压强度与龄期的相关关系、劈裂强度与龄期相关关系以及快速养生方法等预估规定龄期的材料模量或强度,经充分论证后作为设计值使用。

4. 在工程可行性研究或二级、三级公路的初步设计阶段,可参考附录 D 表 D1、表 D2,论证地选用各种材料回弹模量及抗拉强度。

7.0.5 路面厚度计算

1. 路面厚度是根据多层弹性理论、层间接触条件为完全连续体系时,在双圆均布荷载作用下,轮隙中心处实测路表弯沉值 l_s 等于设计弯沉值 l_d 的原则进行计算,其力学图式如图 7.0.5。

即:
$$l_s = l_d \quad (7.0.5-1)$$

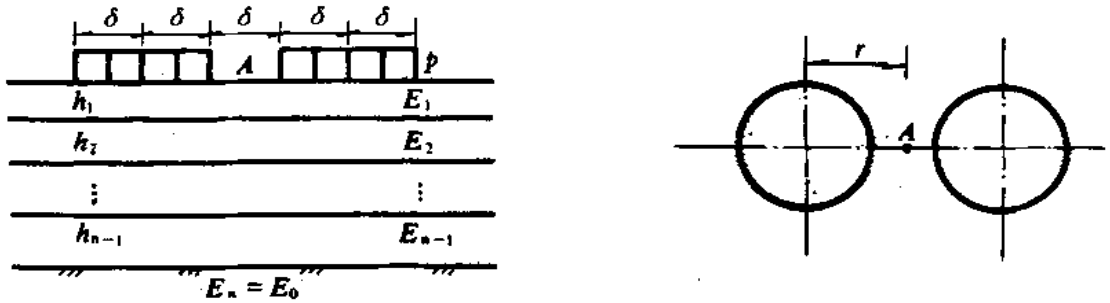


图 7.0.5 路表弯沉值计算图式

路表弯沉值按式 7.0.5-2 计算:

$$l_s = 1000 \cdot \frac{2p\delta}{E_0} \alpha_c \cdot F \quad (7.0.5-2)$$

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

$$F = 1.63 \left(\frac{l_s}{2000\delta}\right)^{0.38} \left(\frac{E_0}{P}\right)^{0.36} \quad (7.0.5-3)$$

- 式中:
- l_s ——路面实测弯沉值(0.01mm);
 - p, δ ——标准车型的轮胎接地压强(MPa)和当量圆半径(cm);
 - F ——弯沉综合修正系数;
 - α_c ——理论弯沉系数;
 - E_0 或 (E_n) ——土基回弹模量值(MPa);
 - E_1, E_2, E_{n-1} ——各层材料回弹模量值(MPa);
 - h_1, h_2, h_{n-1} ——各结构层厚度(cm)。

2. 已知某车道累计轴次或设计弯沉值、各结构层的回弹模量与劈裂强度、土基回弹模量以及已知结构层的厚度,利用专用设计程序即可求得某一结构层的厚度。

3. 设计时,应先拟定某一层作为设计层,拟定面层和其他各层的厚度。当采用半刚性基层、底基层结构时,可选任一层为设计层;当采用半刚性基层、粒料类材料为底基层时,应拟定面层、底基层厚度,以半刚性基层为设计层才能得到合理的结构;当采用柔性基层、底基层的沥青路面时,宜拟定面层、底基层的厚度,求算基层厚度,当求得基层厚度太厚时,可考虑选用沥青碎石或乳化沥青碎石做上基层,以减薄路面总厚度,增加结构强度和稳定性。

7.0.6 层底拉应力验算

对高速公路、一级公路、二级公路的沥青混凝土面层和半刚性基层、底基层应进行拉应力的验算。

层底拉应力的力学计算图式如图 7.0.6。

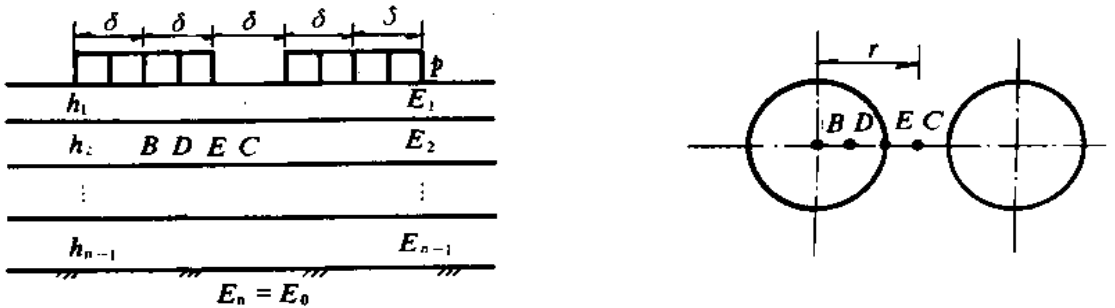


图 7.0.6 沥青混凝土层和半刚性材料层的层底拉应力计算图式

验算层底拉应力时应根据多层弹性理论,层间接触条件为完全连续体系,以双圆荷载作用下按式 7.0.6-1 计算层底最大拉应力 σ_m 。

$$\sigma_m = p \cdot \overline{\sigma_m} \quad (7.0.6-1)$$

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

式中: $\overline{\sigma_m}$ ——理论最大拉应力系数。

验算沥青混凝土面层及半刚性材料的基层、底基层的层底拉应力时,以单圆的中心点 B ,单圆半径的二分之一点 D ,单圆的内侧边缘点 E 及双圆间隙中心点 C 为计算点,并取最大值作为层底最大拉应力。

验算层底拉应力时,应满足下式要求:

$$\sigma_m \leq \sigma_R \quad (7.0.6-2)$$

式中： σ_R ——容许拉应力。

7.0.7 路面弯沉值竣工验收

1. 路面竣工时的整体刚度，以不利季节用 BZZ—100 标准轴载作用下，轮隙中心处实测路表弯沉的代表值 l_r 评定。当以设计弯沉值为控制指标时，路面代表弯沉值应等于或小于路面的设计弯沉值。即：

$$l_r \leq l_d \quad (7.0.7-1)$$

式中： l_r ——实测每公里路面的代表弯沉值(0.01mm)；

l_d ——设计弯沉值(0.01mm)。

当路面结构厚度计算以层底拉应力为控制指标时，应根据拉应力计算所得的结构厚度，重新计算路表弯沉值，并以该值作为路面弯沉值的验收值。

2. 代表弯沉值检测，应在路面竣工后第一年不利季节，用标准轴载 BZZ—100 的汽车，实测路表弯沉值。对半刚性基层结构宜用 5.4m 的弯沉仪；对柔性基层结构宜用 3.6m 的弯沉仪测定。

检测时，当沥青厚度小于或等于 5cm 时，可不进行温度修正；路表温度在 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 范围内，也不进行温度修正；其他情况均应进行温度修正。

若在非不利季节测定，应考虑季节影响系数的修正。

3. 测定代表弯沉时，应以每公里每一双车道为一评定路段。每路段检查 80~100 个点，对多车道公路应按车道数与双车道之比相应增加测点数。路段的代表弯沉 l_r 按下式计算：

$$l_r = \bar{l} + Z_a S \quad (7.0.7-2)$$

式中： \bar{l} ——评定路段路表弯沉的平均值；

S ——评定路段路表弯沉的标准差；

Z_a ——与保证率有关的系数，高速公路、一级公路 $Z_a = 1.645$ ，二级公路 $Z_a = 1.5$ ，三、四级公路 $Z_a = 1.3$ (沥青路面 $Z_a = 1.5$)。

4. 当用自动弯沉车或落锤式弯沉仪测定时,首先应建立自动弯沉车或落锤式弯沉仪与贝克曼梁检测之间的相关关系,并将自动弯沉车或落锤式弯沉仪测得的弯沉值换算为贝克曼梁的弯沉值,再计算路段的代表弯沉值。用自动弯沉车或落锤式弯沉仪测定路表弯沉时,应按 5m 的间距等距离布置测点。

8 改建路面设计

8.0.1 改建设计原则

1. 当原有路面需要提高等级时,对不符合技术标准的路段,应先进行线形改善,使其符合交通部颁发的《公路工程技术标准》(JTJ 01)的规定。

2. 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。

8.0.2 中、低级路面改建为沥青路面

1. 原路面的水稳性不良时,不宜直接加铺沥青面层,而应将原路面翻松,掺入石灰或增加粒料以改善其水稳性,并做好排水设计。

2. 原路面的强度和稳定性基本符合要求时,可视表面状况选用以下方法改善:

1) 路拱不符合要求或严重松散、坑槽和搓板的路段,可将原有路面翻松或加铺整平层,调整路拱。

2) 路拱基本符合要求,路面局部有坑槽或松散的路段,可作局部修补。

3) 原有路面的强度、稳定性、路拱、平整度均符合要求时,可直接铺筑沥青面层。

8.0.3 沥青路面的改建

1. 沥青路面因整体强度不足需加铺补强层时,原有沥青面层除回收再生利用外,一般可不铲除,但应对局部的松散、坑槽进行修补,裂缝严重的路段应在采取防止反射裂缝产生的措施后,再进行补强。

2. 沥青路面的整体强度符合要求,但平整度差,或路面产生车辙,或沥青老化开裂等可进行沥青罩面;当路面光滑属交通事故多发路段,可通过加铺抗滑表层等措施,恢复和改善路面的使用性能。

8.0.4 原有路面加宽

铺筑路面以前应检查加宽部分路基土的密实度,并视情况采取措施,使加宽部分的整体强度与原有路面的整体强度相同,然后再进行全幅补强。

8.0.5 补强设计步骤

1. 对原有公路进行技术调查,掌握设计资料。

2. 按设计任务书的要求或调查交通量的有关资料,确定公路等级、面层与基层类型,计算设计弯沉值与各补强层的容许拉应力。

3. 按本规范 8.0.10 条规定的方法确定改建路段中原路面的当量回弹模量。

4. 拟定几种可能的结构组合与设计层,并确定各补强层材料参数。

5. 根据补强的设计方法计算设计层厚度。对季节性冰冻地区的潮湿、过湿路段还应验算防冻厚度。

6. 根据各方案的计算结果,进行技术经济比较,确定采用的补强方案。

8.0.6 原有公路的路况调查

原路面的改建工程,除按《公路路线勘测规程》(JTJ 061)的有关规定进行调查外,还应补充下列内容:

1. 年平均双向日交通量,交通组成与交通量增长率等。

2. 公路新建和养护的有关技术资料、现有路况、病害种类与程度、排水与积水状况以及有无积雪、积沙等。

3. 路面结构、宽度、各层厚度。对沥青混合料和基层、底基层应按层取样试验,判断其结构层或材料是否可以利用。

4. 路床范围内路基土的压实度、分层含水量与土质类型等。

8.0.7 原路面的分段

在确定原路面的计算弯沉值时,应将全线分段。分段时,应考虑下列因素:

1. 同一路段路基的干湿类型与土质基本相同。

2. 在同一路段内,各测点的弯沉值比较接近。若局部路段弯沉值很大,应先进行修补处理,再进行补强。

3. 各路段的最小长度应与施工方法相适应,除改建路面外,一般不应小于 500m,机械化施工时不应小于 1km。在水文、土质条件复杂或需要特殊处理的路段,其分段长度可视实际情况确定。

8.0.8 不同轴载的弯沉值换算

在对原有路面进行弯沉检测时,每一车道、每路段的测点数不少于 20 点,且应采用标准轴载汽车测定。如采用非标准轴载(轴载 60kN~130kN)的汽车测定时,则宜按式(8.0.8)将非标准轴载测得的弯沉值换算为标准轴载下的弯沉值。

$$\frac{l_{100}}{l_i} = \left(\frac{P_{100}}{P_i}\right)^{0.87} \quad (8.0.8)$$

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

P_i 、 l_i ——非标准轴载及相对应的弯沉值。

8.0.9 各路段的计算弯沉值

各路段的计算弯沉值 l_0 应按式 8.0.9 计算:

$$l_0 = (\bar{l}_0 + Z_a S) K_1 K_2 K_3 \quad (8.0.9)$$

式中: l_0 ——路段的计算弯沉值(0.01mm);

\bar{l}_0 ——路段内原路面上实测弯沉的平均值(0.01mm);

S ——路段内原路面上实测弯沉的标准差(0.01mm);

Z_a ——保证率系数,补强二级及二级以上的公路路面时, Z_a 取 1.5,补强三、四级公路时取 1.3;

K_1 、 K_2 ——季节影响系数和湿度影响系数;

K_3 ——温度修正系数。

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的修正。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。

路面弯沉值是以 20℃ 为测定沥青路面弯沉值的标准状态,当沥青面层厚度小于或等于 5cm 时,不需温度修正;当路面温度在 20℃ ± 2℃,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。

8.0.10 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,分别计算各路段的当量回弹模量值。

2. 各路段的当量回弹模量应根据各路段的计算弯沉值,按式(8.0.10-1)计算:

$$E_i = 1000 \frac{2p\delta}{l_0} m_1 m_2 \quad (8.0.10-1)$$

式中: E_i ——原路面的当量回弹模量(MPa);

δ ——标准轴载单轮传压面当量圆半径(cm);

l_0 ——原路面的计算弯沉(0.01mm);

p ——标准轴载车型轮胎接地压强(MPa);

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。

3. 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 $m_1 = 1.1$ 进行计算。

4. 计算与原有路面接触的补强层层底拉应力时, m_2 按式(8.0.10-2)计算;计算其它补强层层底拉应力及弯沉值时, $m_2 = 1.0$ 。

$$m_2 = e^{0.037 \frac{h'}{\delta} \left(\frac{E_{n-1}}{p} \right)^{0.25}} \quad (8.0.10-2)$$

式中: E_{n-1} ——与原路面接触层材料的抗压模量(MPa);

h' ——各补强层等效为与原路面接触层 E_{n-1} 相当的等效总厚度(cm)。

5. 等效总厚度 h' 按式(8.0.10-3)计算:

$$h' = \sum_{i=1}^{n-1} h_i (E_i / E_{n-1})^{0.25} \quad (8.0.10-3)$$

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。

8.0.11 补强厚度的计算

1. 补强设计时,首先按本规范 8.0.10 条规定的方法计算原有路面的当量回弹模量,若补强单层时,以双层弹性体系为设计计算的力学模型,补强 $n-1$ 层时以 n 层弹性体系为力学模型计算。

2. 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,还应验算补强层层底拉应力。设计弯沉值、各补强层层底拉应力和容许拉应力的计算方法、弯沉综合修正系数及补强层材料参数的确定与新建路面设计时的各项规定相同。

3. 设计层的厚度采用弹性层状体系理论编制的专用设计程序进行计算。

9 其他路面工程

9.1 水泥混凝土桥面铺装

9.1.1 一般要求

当水泥混凝土桥上设置沥青混合料的桥面铺装时,沥青面层应具有与混凝土桥面板粘结牢固、防水渗入、抗滑耐磨、低温抗开裂、高温抗车辙、抗剥离的良好性能。

9.1.2 沥青铺装结构

1. 沥青铺装应由粘结层、防水层及沥青面层组成。

· 高速公路、一级公路的沥青桥面铺装,厚度应为 6cm~8cm,特殊情况可增至 10cm。

高速公路、一级公路的沥青桥面铺装应为双层式,下面层为 3cm~4cm 整平层,可用中粒式沥青混凝土;表面层的厚度与混合料级配类型宜与其相邻桥头引线的行车道上沥青表面层的厚度、混合料级配相同,以便与桥头引线部分一起施工,减少接缝。上面层与下面层之间应洒粘层沥青。

二级及二级以下公路的沥青桥面铺装,厚度宜为 5cm~8cm。可做成单层式或双层式。双层式的表面层厚度不宜小于 2.5cm。

2. 沥青材料应采用重交通沥青或改性沥青。

3. 沥青混合料的各种集料、级配及混合料的技术要求应符合本规范 4.1 及 4.2 的有关规定。

9.1.3 粘结层

粘结层是使沥青下面层、防水层与桥面板联接成整体的结构层,粘结层用沥青应具有较大的粘结力,一般宜用乳化沥青或改性乳化沥青等,洒布量宜为 $0.4\text{kg}/\text{m}^2\sim 0.5\text{kg}/\text{m}^2$ 。

9.1.4 防水层

1. 为提高桥面使用年限、减少维修养护,应在粘结层上设置防水层。为避免防水层在施工过程中被损坏,宜铺设厚度 1cm 的 AC-10 或 AC-5 沥青混凝土或单层表面处治。

2. 防水层有三种类型:①洒布薄层沥青或改性沥青,其上撒布一层砂,经碾压形成沥青涂胶下封层;②涂刷聚氨酯胶泥、环氧树脂、阳离子乳化沥青、氯丁胶乳等高分子聚合物涂胶;③铺装沥青或改性沥青防水卷材,以及浸渍沥青的无纺土工布等。

设计时应选用便于施工、坚固耐久、质量稳定的防水材料。

9.1.5 桥头衔接

桥面铺装与桥头引道的路面应平稳、顺适地衔接,桥头宜采取换填稳定土、砂砾,或用土工格栅加固路基、设置搭板等技术措施,减少工后沉降,防止或减轻桥头跳车。

9.2 附属部位的路面设计

9.2.1 路缘带、硬路肩等路面结构

高速公路和一级公路的路缘带、硬路肩及中央分隔带开口段的路面结构与厚度,宜与行车道部分相同。设计人员应根据使用要求、节省投资、方便施工等因素综合确定,若远景规划有可能扩建为六车道时,硬路肩的路面结构厚度应与行车道相同。

紧急停车带的路面结构及厚度,宜与硬路肩相同。

加减速车道及匝道的路面结构,可与行车道部分不同,匝道路面厚度宜视具体情况适当减薄。

9.2.2 服务设施区的路面结构

高速公路、一级公路的加油站、修理站、休息所及停车场、站等服务设施区,可根据经济适用和美观协调的原则,选用沥青、水泥混凝土、混凝土嵌挤块等路面。

主线收费站前后各 50m~100m 范围内,应采用水泥混凝土路面。

9.2.3 路面边缘构造

高速公路、一级公路路面的边缘构造可参考图 9.2.3 进行设计。

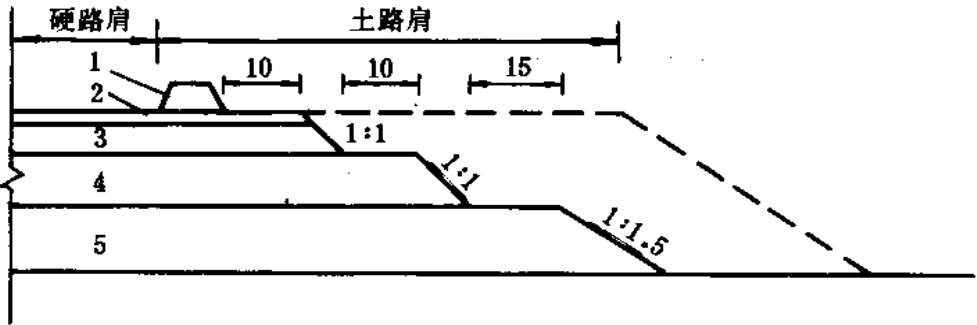


图 9.2.3- 硬路肩边缘构造(尺寸单位:cm)

1-路缘石 2-面层上层 3-面层下层 4-基层 5-底基层

9.2.4 沥青混凝土拦水带

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 9.2.4 的规定,沥青用量宜较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%。

表 9.2.4 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

9.3 中、低级路面

9.3.1 中级路面结构

中级路面由松散保护层、砂土磨耗层、面层、基层组成。中级路面适用于四级公路或交通量较小的三级公路。

各层材料应因地制宜,就地取材,充分利用地方廉价筑路材料。

9.3.2 面层、基层

中级路面面层、基层宜选用泥结碎石、级配碎石、填隙碎石、天然砂砾等,面层之上应设置磨耗层和松散保护层,以便通过日常养护工作,保持一定的强度和稳定性。

1. 泥结碎石面层常用厚度为 8cm~12cm, 面层、基层石料规格应符合附录 C 表 C1 的规定。土的含量不应大于 18%, 塑性指数宜为 18~27。

2. 级配碎石和级配砾石面层、基层的级配, 应符合附录 C 表 C2、表 C3 的规定。

3. 磨耗层厚度视地区而异, 约为 1cm~4cm, 磨耗层由砂、土、碎石或砾石组成。磨耗层厚度和混合料级配组成应符合附录 C 表 C4 的规定。

4. 保护层厚度一般为 0.5cm~1cm, 多用粗砂、砂砾、石屑等。

9.3.3 半整齐块石路面

1. 半整齐块石路面(也称拳石或弹石路面)是由经加工的块石用人工铺砌而成的中级路面, 它适用于盛产石料的偏远山区, 且交通量较小的三、四级公路。

半整齐块石路面由基层、铺砌垫层和块石面层组成。坚实稳定的基层是保证半整齐块石路面质量的关键, 应选择适宜的路段铺砌半整齐块石路面。

2. 材料要求

1) 面层块石宜采用强度高、坚固耐磨、不易风化的石料, 应选用石料极限抗压强度不低于 600MPa、磨耗率不大于 12%、压碎值不大于 30% 的石料。块石几何尺寸: 长 13cm~15cm, 宽 8cm~10cm, 高 11cm~13cm。

2) 铺砌垫层宜用粗砂或石屑、石渣, 厚度一般为 3cm。

3) 基层宜用级配碎石、填隙碎石等, 其技术要求应符合本规范 5.1.7 及 5.1.8 的规定。

3. 厚度计算可参考本规范方法, 按中级路面设计, 施工方法和质量检验可根据各地经验进行。

9.3.4 低级路面

利用当地砂砾、未筛分碎石、碎砖、炉渣、矿渣等粒料或其他地方材料改善土, 适用于低级路面, 一般不另设磨耗层。采用拌和法时, 粒料含量应在 65% 以上; 采用层铺法时, 粒料最大粒径应小于 50mm。

附录 A 各级公路路面推荐结构

表 A1 高速公路、一级公路推荐结构

结构与厚度(cm) 类 型		设计年限内一个行车道上的累计标准轴次(万次)		
		400~800	800~1200	>1200
I ₁	面 层	AC 12	AC 15	AC 16~18
	基 层	CGA 20~30	CGA 20~34	CGA 20~38
	底基层	LS ? (或 CS) (或 CLS)	LS ? (或 CS) (或 CLS)	LS ? (或 CS) (或 CLS)
I ₂	面 层	AC 12	AC 15	AC 16~18
	基 层	CGA ?	CGA ?	CGA ?
	底基层	GA 20	GA 20~30	GA 20~30
II ₁	面 层	AC 12	AC 15	AC 16~18
	基 层	LFGA 20~30	LFGA 20~34	LFGA 20~38
	底基层	LS (或 CS) ? (或 LFS)	LS (或 CS) ? (或 LFS)	LS (或 CS) ? (或 LFS)
II ₂	面 层	AC 12	AC 15	AC 16~18
	基 层	LFGA ?	LFGA ?	LFGA ?
	底基层	GA 20	GA 20~30	GA 20~30
III ₁	面 层	AC 12	AC 15	AC 16~18
	基 层	CLFGA 20~30	CLFGA 20~34	CLFGA 20~38
	底基层	LS 或 LFS ? (或 CS) (或 CLS)	LS 或 LFS ? (或 CS) (或 CLS)	LS 或 LFS ? (或 CS) (或 CLS)

续上表

结构与厚度(cm) 类型		设计年限内一个行车道上的累计标准轴次(万次)		
		400~800	800~1200	>1200
III ₂	面层	AC 12	AC 15	AC 16~18
	基层	CLFGA ?	CLFGA ?	CLFGA ?
	底基层	GA 20	GA 20~30	GA 20~30
IV	面层	AC 6~10	—	—
	上基层	AS 8~10	—	—
	下基层	CR ?	—	—
	底基层	GA 20~30 (或 CR) (或 SG)	—	—

表 A2 二级、三级公路路面推荐结构

结构与厚度(cm) 类型		设计年限内一个行车道上累计轴次(万次)		
		三级公路	二级公路	二级公路
		<100	100~200	200~400
I	面层	AC 2~4	AC 5~8	AC 8~10
	基层	CGA 20	CGA 20	CGA 20~30
	底基层	LS ? (或 CS) (或 CLS) (或 GA)	LS ? (或 CS) (或 CLS) (GA)	LS ? (或 CS) (或 CLS) (或 GA)
II	面层	AC 2~4	AC 5~8	AC 8~10
	基层	LFGA 20	LFGA 20	LFGA 20~30
	底基层	LFS (或 LS) ? (或 GA)	LFS (或 LS) ? (GA)	LFS (或 LS) ? (或 GA)
III	面层	AC 2~4	AC 5~8	AC 8~10
	基层	SGA 20	SGA 20	SFGA ?
	底基层	LS ? (或 GA)	LS ? (GA)	LS 20 (或 GA)

续上表

结构与厚度(cm) 类 型		设计年限内一个行车道上累计轴次(万次)		
		三级公路	二级公路	二级公路
		<100	100~200	200~400
IV	面 层	AC 2~4	AC 5~8	AC 8~10
	联接层	CR 8~10	CR 8~12	CR 12~15
	底基层	LS ? (或 SGA)	LS ? (或 SGA)	LS(或 SGA) ? 或 CS 或 CLS
V	面 层	AC 4~6	AC 8~10	AC 10~12
	基 层	CR ?	CR ?	CR ?
	底基层	GA 20	GA 20	GA 20

注:①各结构层材料名称代号

沥青混凝土	AC
沥青碎石	AS
水泥稳定集料	CGA
水泥稳定级配碎石	CCR
水泥稳定砂砾	CSG
二灰稳定集料	LFGA
二灰稳定碎石	LFCR
二灰稳定砂砾	LFSG
水泥粉煤灰等综合稳定集料	CLFGA
石灰稳定集料	SGA
水泥土	CS
二灰土	LFS
石灰土	LS
水泥石灰土	CLS
级配碎石	CR
砂砾	SG
集料	GA

② CGA 为水泥稳定集料,包括水泥稳定级配碎石(CCR)和水泥稳定砂砾(CSG)。集料 GA 包括级配碎石(CR)和级配砂砾或天然砂砾(SG)或未筛分碎石以及粗、中粒土。

③ 高速公路、一级公路的面层由二至三层组成,应根据本规范要求,结合各地具体情况选用各沥青混合料的级配。

④ 基层、底基层的材料应本着因地制宜,就近取材、保证质量、节约投资的原则

选择结构类型,特别是底基层材料,更应注重当地材料的选用。

- ⑤各结构层原材料及混合料的配合比、级配、力学性能指标应符合本规范及有关规范的规定。
- ⑥表中赋有“?”的基层或底基层为设计层,应考虑交通量、土基状况按专用设计程序进行厚度计算。

附录 B 各种沥青面层的级配、材料规格及用量表

表 B1 沥青混合料矿料级配及沥青用量(方孔筛)

级配类型		通过下列筛孔(方孔筛,mm)的质量百分率(%)														沥青用量 (%)	
		40.0	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
沥青 混凝土 土	粗粒 AC-30 I	100	90~100	79~92	66~82	59~77	52~72	43~63	32~52	25~42	18~32	13~25	8~18	5~13	3~7	4.0~6.0	
	II	100	90~100	65~85	52~70	45~65	38~58	30~50	18~38	12~28	8~20	4~14	3~11	2~7	1~5	3.0~5.0	
	中粒 AC-25 I	100	95~100	75~90	62~80	53~73	43~63	32~52	25~42	18~32	13~25	8~18	5~13	3~7	4.0~6.0		
	II	100	90~100	65~85	52~70	42~62	32~52	20~40	13~30	9~23	6~16	4~12	3~8	2~5	3.0~5.0		
	AC-20 I	100	95~100	75~90	62~80	52~72	38~58	28~46	20~34	15~27	10~20	6~14	4~8	4.0~6.0			
	II	100	90~100	65~85	52~70	40~60	26~45	16~33	11~25	7~18	4~13	3~9	2~5	3.5~5.5			
	AC-16 I	100	95~100	75~90	58~78	42~63	32~50	22~37	16~28	11~21	7~15	4~8	4.0~6.0				
	II	100	90~100	65~85	50~70	30~50	18~35	12~26	7~19	4~14	3~9	2~5	3.5~5.5				
	细粒 AC-13 I	100	95~100	70~88	48~68	36~53	24~41	18~30	12~22	8~16	4~8	4.5~6.5					
	II	100	90~100	60~80	34~52	22~38	14~28	8~20	5~14	3~10	2~6	4.0~6.0					
砂粒 AC-5 I	100	95~100	55~75	38~58	26~43	17~33	10~24	6~16	4~9	5.0~7.0							
	100	90~100	40~60	24~42	15~30	9~22	6~15	4~10	2~6	4.5~6.5							
沥青 碎石	特粗 AM-40	100	90~100	50~80	40~65	30~54	25~30	20~45	13~38	5~25	2~15	0~10	0~8	0~6	0~5	0~4	6.0~8.0
	粗粒 AM-30	100	90~100	50~80	38~65	32~57	25~50	17~42	8~30	2~20	0~15	0~10	0~9	0~5	0~4	2.5~4.0	
	AM-25	100	90~100	50~80	43~73	38~65	25~55	10~32	2~20	0~14	0~10	0~8	0~6	0~5	0~4	2.5~4.0	
	中粒 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	0~5	0~4	3.0~4.5	
	AM-16	100	90~100	60~85	45~68	18~42	6~25	3~18	1~14	1~10	0~8	0~5	0~5	0~4	3.0~4.5		
	细粒 AM-13	100	95~100	50~80	20~45	8~28	4~20	2~16	0~10	0~8	0~6	0~6	0~6	0~6	0~6	3.0~4.5	
	AM-10	100	85~100	35~65	10~35	5~22	2~16	0~12	0~9	0~6	0~6	0~6	0~6	0~6	0~6	3.0~4.5	
	AK-13A	100	90~100	60~80	30~53	20~40	15~30	10~23	7~18	5~12	4~8	3.5~5.5					
抗滑 表层	AK-13B	100	85~100	50~70	18~40	10~30	8~22	5~15	3~12	3~9	2~6	3.5~5.5					
	AK-16A	90~100	70~90	50~70	30~50	22~37	16~28	12~23	8~18	6~13	4~9	4.0~6.0					
	AK-16B	100	90~100	60~82	45~70	25~45	15~35	10~25	8~18	6~13	4~10	3~7	3.5~5.5				

表 B2 沥青贯入面层材料规格和用量(方孔筛)

(用量单位:集料: $m^3/1000m^2$,沥青及沥青乳液: kg/m^2)

沥青品种	石 油 沥 青					
厚度(cm)	4		5		6	
规格和用量	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				乳 化 沥 青	
厚度(cm)	7		8		4	5
规格和用量	规格	用量	规格	用量	规格	用量
封层料	S13(S14)	4~6	S13(S14)	4~6	S14	4~6
第五遍沥青						0.8~1.0
第四遍嵌缝料					S14	5~6
第四遍沥青					0.8~1.0	1.2~1.4
第三遍嵌缝料					S14	5~6
第三遍沥青		1.0~1.2		1.0~1.2	S12	7~9
第二遍嵌缝料	S10(S11)	11~13	S10(S11)	11~13	S12	7~8
第二遍沥青		2.4~2.6		2.6~2.8	S10	9~11
第一遍嵌缝料	S6(S8)	18~20	S6(S8)	20~22	S9	12~14
第一遍沥青		3.3~3.5		4.0~4.2	S8	10~12
主层石料	S3	80~90	S1(S2)	95~100	S5	40~45
沥青总用量	6.7~7.3		7.6~8.2		6.0~6.8	
					7.5~8.5	

注:①煤沥青贯入的沥青用量可较石油沥青用量增加15%~20%;

②表中乳化沥青用量是指乳液的用量,适用于乳液浓度约为60%的情况;

③在高寒地区及干旱风沙大的地区,材料用量可超出高限,再增加5%~10%。

表 B3 表面加铺拌和层时贯入层部分的材料规格和用量(方孔筛)

(用量单位:集料: $m^3/1000m^2$,沥青及沥青乳液: kg/m^2)

沥青品种	石 油 沥 青					
厚度(cm)	4		5		6	
规格和用量	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
沥青品种	石 油 沥 青		乳 化 沥 青			
厚度(cm)	7		5		6	
规格和用量	规格	用量	规格	用量	规格	用量
第四遍嵌缝料					S14	4~6
第四遍沥青						1.3~1.5
第三遍嵌缝料			S14	4~6	S12	8~10
第三遍沥青				1.4~1.6		1.4~1.6
第二遍嵌缝料	S10(S11)	8~10	S12	9~10	S9	8~12
第二遍沥青		1.7~1.9		1.8~2.0		1.5~1.7
第一遍嵌缝料	S6(S8)	18~20	S8	15~17	S6	24~26
第一遍沥青		4.0~4.2		2.5~2.7		2.4~2.6
主层石料	S2(S3)	80~90	S4	50~55	S3	50~55
沥青总用量		5.7~6.1		5.9~6.2		6.7~7.2

注:①同表 B2 注①;

②同表 B2 注②;

③同表 B2 注③;

④表面加铺拌和层部分的材料规格及沥青(或乳化沥青)用量应符合热拌沥青混合料(或乳化沥青碎石混合料路面)的有关规定。

表 B4 沥青表面处治面层材料规格用量(方孔筛)

沥青种类	类型	厚度 (cm)	集料 (m ³ /1000m ²)						沥青或乳液用量(kg/m ²)			
			第一层		第二层		第三层		第一次	第二次	第三次	合计用量
			粒径规格	用量	粒径规格	用量	粒径规格	用量				
石油沥青	单层	1.0	S12	7~9				1.0~1.2			1.0~1.2	
		1.5	S10	12~14				1.4~1.6			1.4~1.6	
	双层	1.5	S10	12~14	S12	7~8		1.4~1.6	1.0~1.2		2.4~2.8	
		2.0	S9	16~18	S12	7~8		1.6~1.8	1.0~1.2		2.6~3.0	
		2.5	S8	18~20	S12	7~8		1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2	
	三层	2.5	S8	18~20	S10	12~14	S12	7~8	1.6~1.8	1.2~1.4	1.0~1.2	3.8~4.4
3.0		S6	20~22	S10	12~14	S12	7~8	1.8~2.0	1.2~1.4	1.0~1.2	4.0~4.6	
乳化沥青	单层	0.5	S14	7~9				0.9~1.0			0.9~1.0	
	双层	1.0	S12	9~11	S14	4~6		1.8~2.0	1.0~1.2		2.8~3.2	
	三层	3.0	S6	20~22	S10	9~11	S12 S14	4~6 3.5~4.5	2.0~2.2	1.8~2.0	1.0~1.2	4.8~5.4

- 注:①煤沥青表面处治的沥青用量可较石油沥青用量增加 15%~20%;
- ②表中乳化沥青的乳液用量适用于乳液中沥青用量约为 60%的情况;
- ③在高寒地区及干旱、风沙大的地区,可超出高限,再增加 5%~10%。

附录 C 中级路面、基层及底基层级配组成表

表 C1 泥结碎石材料规格表

编 号	通过下列筛孔(mm)质量百分比(%)						层 位
	75	50	40	20	10	5	
1	100		0~15	0~5			下 层 或 基 层
2		100		0~15	0~5		
3			100	0~15	0~5		上 层 或 面 层
4				85~100		0~5	
5					85~100	0~5	嵌 缝

表 C2 级配碎石面层、基层的矿料级配组成

层 位	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)									液 限 (%)	塑 指 (%)
	50	40	30	20	10	5	2	0.5	0.075		
面层 1	100	90~100		68~85	45~70	30~55	20~37	15~25	7~12	<43	① 12~21
		100	85~100	70~90	50~70	40~60	25~40	20~32	8~15	<43	② 12~18
③ 上基层			100	85~100	60~80	30~50	15~30	10~20	2~8	<28	<9②
基 层		100	90~100	75~90	50~70	30~55	15~35	10~20	4~10	<28	<9②
底基层	100	85~100	65~85	42~67	20~40	10~27	8~20	5~18	0~15	<28	<9②
		100	80~100	56~87	30~60	18~46	10~33	5~20	0~15	<28	<9②

注：①面层上可不设磨耗层，若加铺磨耗层，0.5mm以下细料含量和塑性指数宜用低限；用圆孔筛时，采用1~2号级配；用方孔筛时，只用2号级配。

②潮湿多雨地区的基层塑性指数不大于6。

③上基层是指沥青面层下与半刚性基层之间设置级配碎石时，该层的级配宜符合此规定。

表 C3 级配砾石面层、基层材料的级配组成表

层位	编号	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)										
		50	40	30	20	10	5	2	0.5	0.075	液限	塑指
面层	1	100	90~100		65~85	45~70	30~55	20~37	15~25	7~12	<43	① 12~21
	2		100	85~100	70~90	50~70	40~60	25~40	20~32	8~15	<43	① 12~21
	3		100		85~100	60~80	45~65	30~50	20~32	8~15	<43	① 12~18
基层	1	100	90~100		65~85	45~70	30~55	15~35	10~20	4~10	<28	<9②
	2		100	90~100	75~90	50~70	30~55	15~35	10~20	4~10	<28	<9②
	3			100	85~100	60~80	30~50	15~30	10~20	2~8	<28	<9②

注：①面层上可不设磨耗层，若加铺磨耗层，0.5mm以下细料含量和塑性指数宜用低限；用圆孔筛时，采用1~3号级配；用方孔筛时，只用2、3号级配；
②潮湿多雨地区的基层塑性指数不大于6。

表 C4 磨耗层厚度与级配组成

编号	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)						<0.5mm 塑指	厚度 (cm)	适用地区
	30	20	10	5	2	0.5			
1	100	80~100	55~75	40~60	25~50	18~30	15~21	3~4	南方潮湿地区
2		100	75~90	50~70	38~56	18~35	15~21	2~3	南方潮湿地区
3		100	75~90	50~75	38~56	25~40	15~21	2~3	北方半干旱地区
4		100	70~85	55~70	45~55	30~45	>12	3~4	西北干旱地区
5			100	75~100	45~75	20~45	15~21	1~2	南方潮湿地区
6			100	80~95	60~80	35~50	15~21	2~3	北方半干旱地区
7				90~100	60~80	35~55	15~18	1~2	北方半干旱地区

附录 D 材料设计参数

表 D1 沥青混合料设计参数

材 料 名 称	沥 青 针入度	抗压模量 E_1 (MPa)		劈裂强度 15 C (MPa)	备 注
		20℃	15℃		
细粒式密级配沥青混凝土	≤ 90	1200~1600	1800~2200	1.2~1.6	
中粒式密级配沥青混凝土	≤ 90	1000~1400	1600~2000	0.8~1.2	
中粒式开级配沥青混凝土	≤ 90	800~1200	1200~1600	0.6~1.0	
粗粒式密级配沥青混凝土	≤ 90	800~1200	1200~1600	0.6~1.0	
沥青碎石混合料	—	600~800	—	—	
沥青贯入式	—	400~600	400~600	—	

注：①沥青碎石混合料不验算层底拉应力；

②细粒式和粗粒式的开级配沥青混凝土，选用同类密级配的低值；

③符合重交通沥青技术要求时，可用较高值，沥青针入度大于 100 时，或符合轻交通沥青技术要求时，采用低值。

表 D2 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)	劈裂强度 σ (MPa)	备 注
二灰砂砾	7 : 13 : 80	1300~1700	0.6~0.8	
二灰碎石	8 : 17 : 75	1300~1700	0.5~0.8	
水泥砂砾	5%~6%	1300~1700	0.4~0.6	
水泥碎石	5%~6%	1300~1700	0.4~0.6	
石灰水泥粉煤灰砂砾	6 : 3 : 16 : 75	1200~1600	0.4~0.6	
石灰水泥碎石	5 : 3 : 92	1000~1400	0.35~0.5	
石灰土碎石	粒料占 60%以上	700~1100	0.3~0.4	
碎石灰土	粒料占 40%~50%	600~900	0.25~0.35	

续上表

材 料 名 称	配合比或规格要求	抗压模量 E (MPa)	劈裂强度 σ (MPa)	备 注
水泥石灰砂砾土	4 : 3 : 25 : 68	800~1200	0.3~0.4	
二灰土	10 : 30 : 60	600~900	0.2~0.3	
石灰土	8%~12%	400~700	0.2~0.25	
石灰土	4%~7%	200~350	—	处理路基用时
级配碎石	符合级配要求	300~350 250~300 200~250	—	做上基层用 做基层用 做底基层用
填隙碎石	填隙密实	200~280	—	做底基层用
未筛分碎石 天然砂砾	具有一定级配符合规范要求	180~220 150~200	—	做底基层用
中、粗砂		80~100	—	做垫层用

表 D3 碎、砾石土的设计参数

碎石含量 (%)	路基干湿状况	回弹模量值 (MPa)	密度 (t/m^3)	含水量 w (%)	备 注
大于 70	干 燥	90~100	2.05~2.25	7	含水量 w 系指碎、砾石土和风化砂砾等材料的绝对含水量值, 以下同
	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	
小于 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	

注: 本表适用于 I、II 区的林区, 其他情况参考使用。

附录 E 土基回弹模量参考值

表 E1 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}										
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										

自然 区 划	土 组		砂 性 土								
	降床面至各水位 临界高度(m)		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 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, 现代冲击土)											
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)	粘 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	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				

自然区划	土组		粘 性 土								
	路床面至各水位 临界高度(m)		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 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,现代冲击土)	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>				
VI _{4b}	(2.3)	(1.8)	(1.4)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	<u>(0.8)</u>				
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)	<u>(2.6)</u>	(2.1)	(2.4)	(2.0)	(1.6)	(1.5)	(1.1)	(0.5)		
VII _{6a}	(2.8)	<u>2.4</u>	<u>1.9</u>	2.5	2.0	1.6	<u>1.4</u>	(0.8)			

续上表

自然区划	土组 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
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						

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 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						
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} (黄壤土,现代冲击土)	2.3~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7						
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；

②VI, 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；

③III₂, III₃, VI₁, 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 E2 二级自然区划各土组土基回弹模量参考值(MPa)

区划	稠度 土组 w _c	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
		II ₁	粘质土	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	粘质土	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	
	粘质土	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	粘质土	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
	粘质土	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				
III ₂	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
	粘质土	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
	粘质土	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			
III ₄	粉质土	25.0	34.0	45.0	51.5	58.5	66.0	74.0				
IV ₁	粘质土	21.5	25.5	30.0	32.5	35.0	37.5	40.5				
IV _{1a}	粉质土	22.0	26.5	32.0	35.0	37.5	40.5					
IV ₂	粘质土	19.5	23.0	27.0	29.0	31.0	33.0	35.0				
	粉质土	31.0	36.5	42.5	45.5	48.5	51.5					
IV ₃	粘质土	24.0	28.0	32.5	35.0	37.5	39.5	42.0				
	粉质土	24.0	29.5	36.0	39.0	42.5	46.0					
IV ₄	土质砂	28.0	30.5	33.5	35.0	36.5	38.0	39.5	42.0	45.0	53.0	61.0
	粘质土	25.0	29.5	34.0	36.5	38.5	41.0	43.5				
	粉质土	23.0	28.0	33.5	36.0	39.0	42.0					

续上表

区划	稠度 土组 w _c	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
		IV ₅	土质砂	24.0	26.0	28.0	29.0	30.0	30.5	31.5	33.5	35.0
	粘质土	22.0	27.0	32.5	33.5	38.5	41.5	44.5				皖、浙、 江西
	粘质土	28.5	34.0	39.5	42.5	45.5	48.5	51.5				
	粉质土	26.5	31.0	36.5	39.0	42.0	45.0					
IV ₆	土质砂	33.5	37.0	41.0	43.0	44.5	46.5	48.5	52.0	55.5	66.5	
	粘质土	27.5	33.0	38.0	41.0	44.0	46.5	50.5				
	粉质土	26.5	31.5	36.5	39.0	42.0	45.0					
IV _{6a}	土质砂	31.5	35.0	38.5	40.0	42.0	43.5	45.0	48.5	52.0	62.0	72.0
	粘质土	26.0	31.0	35.5	38.0	40.5	43.5	46.0				
	粉质土	28.0	34.5	41.0	44.5	48.5	52.0					
IV ₇	土质砂	35.0	39.0	43.0	45.0	47.0	49.0	51.0	55.0	59.0	70.5	82.0
	粘质土	24.5	29.5	34.5	37.0	40.0	42.5	44.5				
	粉质土	27.5	33.5	40.0	43.5	47.5	51.0					
V ₇	土质砂	27.5	31.5	35.5	37.5	39.5	41.5	43.5	58.0	52.0	65.0	78.5
	粘质土	27.0	32.0	37.0	39.0	42.5	45.5	48.0	54.0	60.0		
	粉质土	28.5	34.0	40.0	43.0	46.0	49.5	52.5	59.5			
V ₁	紫色粘质土	22.5	26.0	30.0	32.0	34.0	36.0	38.0				
V ₂	紫色粉质土	22.5	27.5	33.5	36.5	40.0	43.0					
V _{2a}	黄壤粘质土	25.0	29.0	33.0	35.5	37.5	40.0	42.0				
	黄壤粉质土	24.5	30.5	37.5	41.0	45.0	49.0					
V ₃	粘质土	25.0	29.0	33.0	35.5	37.5	39.5	42.0				
	粉质土	24.5	30.5	37.5	41.0	45.0	48.5					
V ₄	红壤粘质土	27.0	32.0	38.0	41.0	44.0	47.0	50.5				
(四川)	红壤粉质土	22.0	27.0	32.5	35.5	38.5	41.5					
VI	土质砂	51.0	54.0	57.0	58.5	60.0	61.0	62.0	64.5	67.0	73.5	80.0
	粘质土	33.5	37.0	41.0	42.5	44.0	45.5	47.2	50.5			
	粉质土	34.0	38.0	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0				
VI _{1a}	土质砂	52.5	55.0	58.0	59.0	60.5	61.5	62.5	65.0	67.0	73.0	79.0
	粘质土	27.0	31.0	34.5	36.0	38.0	40.0	42.0	45.5			
	粉质土	31.5	36.5	41.5	44.0	46.5	49.0	51.5				
VI ₂	土质砂	42.0	45.5	49.0	50.5	52.0	53.5	55.5	58.5	61.5	69.0	78.0
	粘质土	27.0	30.5	33.5	35.0	37.0	38.0	40.0	43.0	46.5		
	粉质土	25.5	30.5	35.5	38.0	41.0	43.5	46.0	52.0			

续上表

区划	稠度 土组 w _c	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
		VI ₃	土质砂	46.0	50.0	53.5	55.0	56.5	58.5	60.0	63.0	66.0
	粘质土	29.5	33.5	37.5	39.5	44.0	44.0	46.8	50.0			
	粉质土	29.5	35.0	41.0	43.5	49.5	49.5	52.5				
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
	粘质土	28.5	32.0	36.0	37.5	39.5	41.5	43.5	47.5			
	粉质土	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
	粘质土	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
	粘质土	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
	粘质土	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
	粘质土	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
	粘质土	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
VII _{6a}	粘质土	22.0	25.5	29.0	30.5	32.5	34.5	36.0	40.0			
	粉质土	27.5	32.5	37.5	40.5	43.0	46.0	49.0				
VII ₅	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
	粘质土	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				

本规范用词说明

为准确地掌握规范条文,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”。

中华人民共和国行业标准

附件：公路沥青路面设计规范

JTJ 014—97

条文说明

1997·北京

修 订 说 明

自交通部下达了修订《公路柔性路面设计规范》JTJ 014—86的任务后,我院曾发函到各省、市有关交通部门征求意见,在此基础上提出了修订规范大纲和《沥青路面设计指标与参数研究》的研究课题。1991年6月4日由交通部原工程管理司主持召开了专家评审会。根据评审意见,研究工作以现行规范的设计理论为基础,以完善弯沉和弯拉设计指标、设计参数为中心,对轴载换算公式、设计弯沉值、沥青路面和半刚性材料疲劳规律、材料设计参数、弯沉综合修正系数以及设计方法的验证和抗冻厚度设计等八个专题进行了研究。该课题由交通部公路规划设计院主持,同济大学、长沙交通学院、哈尔滨建筑大学交通学院、交通部重庆公路所、山西省交通研究所、吉林省公路勘察设计院、湖北省公路局、广西交通规划勘察设计院、江西省交通设计院、广西交通研究所、山东省公路局、西藏公路勘察设计院、上海市公路处等十八个单位参加。研究成果于1996年1月通过了交通部科技司主持的专家鉴定,并建议将成果纳入规范。

规范修订工作是根据八个专题研究成果和近年来的科研成果,以及公路实践经验进行的。在编写过程中曾发函收集资料,并召开一次座谈会,并于1996年4月召开了《公路沥青路面设计规范》征求意见稿的会议,根据会议纪要修改了规范条文,同年11月提出规范送审稿和编写条文说明,12月提出规范报批稿,经部审定批准,颁布执行。

本次规范修订内容,除规范更名和章节调整外,还修订了以下内容:

1. 根据专题研究成果,对沥青路面厚度计算方法进行了修订,其中包括①取消 BZZ—60 轴载标准、修改轴载换算公式;②容许弯沉值改为设计弯沉值;③根据疲劳试验结果调整了沥青路面和半刚性基层材料的抗拉强度结构系数;④无论以设计弯沉值还是以容许拉应力计算,均采用多层弹性体系层间完全连续接触条件的解析解,并编制了专用计算机设计程序;⑤材料回弹模量用圆柱体试件,按无侧限压缩试验测得抗压回弹模量,材料抗拉强度用劈裂试验测得抗拉强度;⑥在试验路资料的基础上,结合试算和现有公路的验证,调整了弯沉综合修正系数;⑦提出了按道路冻深和考虑路面材料热物性的抗冻厚度计算方法。

2. 鉴于近年来计算机广泛而迅速地普及,原规范的查图法计算厚度既不准确,也落后于时代,因此,本规范删除了这方面的内容。

3. 改建路面中的原有路面补强设计方法与新建路面设计方法统一,增加了旧路面的综合模量计算法。

4. 随着科学技术的进步和公路建设的实践经验的积累,对某些内容作了适当的修改和补充。如修改了分期修建、抗滑标准、沥青层厚度等条文规定,增加了沥青玛蹄脂碎石、沥青混合料的车辙指标和水稳定指标、水泥混凝土桥面铺装等内容,以及对路基的填料、压实度等技术要求。

5. 考虑与相关规范的协调一致,对有关内容作了相应的调整和增减。

随着条文内容的变更,条文说明也作了相应的修改。有的条文简单易懂,则不再加以说明,仅对部分条文给予说明。

新规范修正了现行设计方法在容许弯沉值、容许拉应力、弯沉综合修正系数、设计参数等方面的不足;在理论计算体系上更加完善,且更适用于半刚性基层沥青路面的特点;在设计参数的测试上更加简便,有利于设计、施工质量的管理与监理;计算结果更加符合实际,且具有一定安全度。由于吸取了近年来成熟的科研成果,

在材料设计和结构设计方面的内容更加充实。修订后的规范,从总体上看其科学技术水平提高了一大步,对提高路面设计和施工质量,提高路面工程的耐久性具有重要意义,对公路建设事业的发展具有显著的社会、经济效益。

但是,本规范尚缺乏低温抗裂、半刚性基层材料抗冻性方面的内容,钢桥面铺装的设计还是空白,这些都是今后急需解决的课题。

1 总 则

1.0.1 目的

改革开放政策促进了公路交通事业的迅速发展,公路交通量迅速增长,载重车辆轴重加大,部分公路上超载运输现象严重,致使有的路面出现早期破坏,工程设计人员必须关注这一事实的存在。“精心设计、质量第一”是设计人员应该贯彻的重大方针政策,制定设计规范是为了引导设计人员以正确的设计指导思想,遵循一定的技术法规,结合工程的实际情况,以质量第一为目标搞好设计,避免在设计中盲目地照抄照搬,克服片面性、随意性和脱离实际,从而达到确保路面工程质量、降低工程造价的目的。

不同等级的公路对路面的使用品质具有不同的要求,主要表现在一定设计年限内允许通过的交通量,以及要求路面提供相应标准的服务水平。

一般来说,路面设计应达到下列要求:

1. 应满足该公路等级在设计年限内,允许通过预测交通量要求的路面整体刚度,即路面应具有一定的承载能力和抗疲劳能力。
2. 公路是暴露在大自然的带状工程结构物,它长期经受着日晒、雨雪、酷热、严寒、冻融的考验,因此,路面设计应使路面在变化多样的气候条件下,保持一定的稳定性,这就是路面应具有耐久性。如何采取措施减少或不产生低温缩裂和夏季高温车辙,雨季不受水损害,在冰冻地区路面不受冻害,这些都是设计中必须考虑的问题。
3. 在设计年限内,经一定的维修养护应使路面具有与公路等级相适应的服务水平。不同公路等级的路面,有不同的服务水平。鉴于我国尚未建立统一的路面服务性能的综合评价指标与方法,

仅按不同等级分别提出一些单项指标,如平整度、竣工弯沉值、抗滑性能(摩擦系数、构造深度)等。因此,对高速公路、一级公路路面服务水平除应满足规范规定的各项指标外,总体上要求应平整坚实、抗滑耐磨、稳定耐久,为高速行驶提供安全可靠、快捷、舒适的服务。

1.0.3 适用范围

本规范为交通部颁发的行业规范,它主要适用于各级公路的沥青路面新建和改建路面设计。由于我国还有相当数量的三、四级公路,多数是中、低级路面(砂石路面等),若单独列一本规范,其内容很少,因此,中、低级路面的设计内容仍然保留于本规范。其他道路是指厂矿道路、城市郊区道路、林区道路、农村道路,设计这些道路时,可结合实际情况参照使用本规范。

1.0.4 设计原则

路面工程与自然环境因素的关系十分密切,详细周密的外业调查是搞好设计工作的基础。在新建和改建公路的外业勘测工作中应按照有关规范的规定进行现场调查,搜集资料,进行各种材料和混合料的试验。

路面的强度和稳定性,除取决于路面结构层外,还与路基土类或岩性、路基土的湿度、密度、路基横断面型式(填方或挖方)等有直接关系,因为路基工程是路面的基础工程。因此,路面设计时必须根据使用要求,充分地考虑当地气候、水文、土质、筑路材料等各种因素,结合公路路基实际状况进行路基路面综合设计。所谓“综合设计”,即是针对不同的路基特征分别进行路面结构选择和厚度设计。对一般土质路基应考虑土的性质、含水量、压实度,估计其土基回弹模量;对填石路堤、岩石挖方或路堑等应根据岩性、风化程度、有无潜水、裂隙水等,结合排水措施选用结构层和厚度;对软弱的地基或软土,应结合不同的处理方法,确定处理后的路基回弹模量。

路面设计应进行方案比选,特别是高等级公路路面具有承受交通量大、使用年限长、造价高、通车后维修养护困难等特点,设计

时必须进行多方案的技术经济论证,比选最佳路面结构方案。

高级路面的材料选择,特别是面层材料,应在满足规范技术要求的前提下,合理选材,就近取材。对高级路面的底基层或次高级、低级路面的材料选择应以就地取材为原则,尽量降低工程造价。

本条规定“高速公路、一级公路不宜分期修建路面,对软土地区和高填方路基等可能产生较大沉降的路段,宜按分期修建或一次设计分期实施的原则设计”是鉴于下列原因:

(1)高速公路、一级公路的交通量较大,且对路面的使用品质有较高的要求,一旦开放交通、实行封闭式收费管理后,再中断交通施工,或边施工边通车,不仅影响行车和经济效益,给交通管理带来困难,而且易造成不良的社会影响。

(2)高速公路、一级公路的桥梁、通道、交叉工程、涵洞等结构物很多,通常每公里达4~7座,一般结构物(包括中央分隔带)均为一次施工完成,若分期修建路面,则造成纵断面标高的频繁变化,不仅给施工带来麻烦,而且大大降低高速行车的舒适性和安全性。

(3)对路面工程提出“分期修建”的目的,主要是为了减少初期投资,适当减薄沥青面层厚度,待若干年后再加厚沥青层,这样的节约投资的办法,其实际效果并不明显。从目前国内高速公路建设情况可知,路面工程占总投资的比例大约在15%左右。据了解,近年来沥青面层每厘米的单位造价约为5~8元/m²,若减薄沥青面层3cm,每公里约减少32.3~51.6万元。按高速公路单位造价1500万元/km计,仅减少投资2.1%~3.4%;若按单位造价为2500万元/km,仅减少投资1.3%~2.1%,可见减薄沥青面层厚度对减少投资的作用是不明显的。相反,由于高速公路对路面使用品质有较高的要求,平整、坚实、抗滑、耐久,是体现高速公路快适、安全,保证服务水平和经济效益的必要条件。因此,总结近年来我国高速公路建设和管理的经验,越来越多的建设单位都更加深刻地体会到路面工程质量的重要性。它对高速公路通车后的营运管理、经济效益和社会效益具有重要作用。从我国工程实践来看,对

路面采取分期修建成功的实绩很少。因此,综上所述本规范条文规定高速公路、一级公路不宜采取分期修建。

(4)软土地区或高填方路基,在采取技术措施处理后,预计仍有较大的工后沉降时,可按分期修建或一次设计分期实施的原则设计。分期修建是按两个设计阶段考虑,可先铺一薄的沥青层,待路基稳定后,再做二期工程,加铺沥青面层。一次设计分期实施是一次计入设计概算,故不应看作分期修建,而是“分期实施”,如杭甬高速公路,京津塘高速公路天津和塘沽段,均属“一次设计、分期实施”。

经技术经济论证后,必须“分期实施”或“分期修建”时,应按远景交通量进行路面结构和厚度设计,第一期工程应一次将基层、底基层厚度铺足,沥青面层适当减薄。第二期工程因间隔时间较长,路面设计应根据路面外观和弯沉值以及实测纵断面高程,进行罩面或补强设计。

1.0.5 设计理论与方法

1978年编制的《公路柔性路面设计规范》,是以双层弹性体系理论为基础,以路表容许弯沉值为设计指标进行路面厚度计算,对三层、多层体系采用等效层当量换算。1986年交通部颁的《公路柔性路面设计规范》JTJ 014—86,采用了三层体系为主或多层弹性体系理论公式,以路表容许弯沉值为路面整体刚度的控制指标,对高速公路、一级公路的沥青混凝土面层,半刚性基层、底基层进行弯拉应力验算。本次规范修订工作,考虑我国已进入计算机普及到各基层单位的时代,软件系统为用户提供了方便、快捷的服务,完全可以直接采用多层弹性层状理论公式进行计算。因此,本次修订规范删除了三层体系图解法及多层结构的当量换算法,以避免近似解与多层体系精确解之间计算结果的偏差。除层间接触条件改为完全连续条件以及弯拉模量改为抗压模量、弯拉强度改用劈裂强度外,其他条件与原规范相同。在设计方法上,设计弯沉值、抗拉强度结构系数、弯沉综合修正系数 F 、层底拉应力计算点的位置、材料回弹模量、土基模量等均有变化,并提供一套新的专用设计程

序(APDS97)供使用。

1.0.6 特殊地区的路面结构

我国幅员辽阔,各地的气候、地形、地质水文差异很大。东北地区黑龙江省北部、青藏高原分布着多年冻土地带,甘肃、新疆南部的沙漠,西北、华北等地区分布着大片的盐渍土,广西、云南、湖北等省局部有膨胀土,沿海地区、河湖水网地区的软土,这些地区的气候、土质、水文、筑路材料等都各有特点,鉴于本规范尚未对这些特殊性进行专题研究,故由设计人员根据本规范的一般规定,结合当地经验或试验研究进行路面设计。

1.0.7 公路自然区划

公路自然区划系指《公路自然区划标准》JTJ 033—86,根据该区划选择各气候区划的土基回弹模量值。

3 结构设计

3.0.1 路面结构组成

本次规范修订工作对路面结构组成的名称有所调整。新规范明确地将承重层分为基层和底基层。这是因为在设计和施工规范中对基层、底基层均提出不同的技术要求,甚至施工方法、工艺的要求也有差别。这样的划分有利于与国际接轨,概念简明,有利于设计人员根据不同层位的特点,选用适宜的路用材料,使设计更加经济合理。

关于联结层问题,本次修订规范在广泛听取意见的基础上取消了。其主要原因是原规范所称的联结层,实际上是指沥青碎石的下面层。由于沥青碎石含细集料和矿粉很少,空隙率大于10%,其抗疲劳性能较沥青混凝土差,动稳定度也比沥青混凝土低,因此规范规定高速公路、一级公路的上、中、下面层均用沥青混凝土。沥青碎石仅作为柔性基层的上基层或整平层用。为了避免联结层名称与下面层、上基层之间的混乱,因此取消了联结层。

3.0.2 路面等级与类型

路面类型的选择主要根据公路等级、使用要求、设计年限内预估累计标准轴次(或初期年平均日交通量)以及施工机械设备等因素确定。表3.0.2与原规范基本相同,仅作了局部调整。高级路面沥青混凝土面层仍然适宜于累计标准轴次大于200万次以上。由于新规范规定“热拌沥青碎石不属高级路面面层,仅适用于二级及二级以下公路面层或上基层、调平层用”,故热拌沥青碎石面层划入次高级路面范围。这样次高级路面适宜的交通量应相应地扩大。另外,由于国内各省、市都装备了一批进口或国产的拌和、摊铺设备,且拌和法施工比层铺法施工具有明显的优越性,故有条件的地

方二级公路也采用沥青混凝土或热拌沥青碎石。沥青贯入碎石结构越来越少,即使采用沥青贯入碎石,也多采用上拌下贯的施工方法,以提高使用质量。因此,二级公路采用次高级路面时,将累计标准轴次调高为100~200万次。根据公路工程技术标准的规定和交通量观测站资料分析:①双车道的二级公路,当年平均日交通量为2 000~3 500辆/日或初期日平均交通量为1 000~2 000辆/日时,设计年限10年,其累计标准轴次均可达到100~200万次;②当年平均日交通量为3 500~7 000辆/日或初期日平均交通量为2 000~4 000辆/日在设计年限为12年内,累计标准轴次可达到200~400万次以上,必须采用沥青混凝土路面;③若四车道的一级公路,按年平均日交通量为小汽车10 000~25 000辆/日计或初期日平均交通量(中型汽车)为3 500~7 000辆/日,在设计年限15年内,累计标准轴次可达400~800万次以上,因此,将400万次作为一级公路、高速公路与二级公路的分界值;④表面处治是三级公路的主要路面类型,它适用于日交通量小于2 000辆/日以下公路,在设计年限8年内,累计标准轴次一般为100万次以下,故将原规范的50万次提高为100万次,显然,采用渣油路面是难以胜任这样的交通流量,对表面处治应尽量选用较好的沥青,特别是交通量较大的三级公路宜考虑拌和法施工,沥青层铺至3cm~5cm为宜。

3.0.3 标准轴载及轴载换算

原规范标准轴载为BZZ-100和BZZ-60两种,由于近年来交通运输事业的发展,不仅交通量增长很快,而且重车增多,特别是货车超载现象越来越严重,故应考虑重车对路面的影响。另一方面,广泛采用半刚性基层结构,承载力提高,轻型车对路面的疲劳损伤作用减小。因此,本次规范修订取消轻型车BZZ-60的标准,统一采用BZZ-100的标准。

轴载换算公式是根据林绣贤教授关于《轴载换算公式的研究》成果,推荐以轴载比表达的换算公式。该式仍采用原规范的弯沉等效、层底拉应力等效原则,根据多层弹性理论分析弯沉、拉应力与轴载 P 或 p 、 d 因素的关系,结合公路上实测不同轴载汽车的弯沉

对比、疲劳试验、容许弯沉公式以及直槽测试拉应变验证,分别提出轴载换算公式。新式更加适合半刚性基层底面拉应力的验算。

3.0.5 沥青层厚度

关于沥青层最小厚度问题,近年来开展了一些研究工作,更重要的是在近十年以来修建了大量的高速公路、一级公路、二级汽车专用公路,获得了一定的使用经验和教训。为修订规范,曾向各省、市交通部门征求意见,在规范修订过程中也听取了各方面意见,在送审稿讨论会上,明确对该条作了两点修改:一是将“最小沥青层总厚度”改为“推荐厚度”;二是将各级公路的沥青层厚度给一个范围,供设计人员根据各地的具体情况、综合考虑确定。这样既反映规范的原则性和灵活性,另一方面也发挥规范的指导作用,使设计人员根据实际情况确定沥青层厚度。

推荐厚度的低限,对一级公路、二级公路未变;对高速公路的低限降为 12cm。这是因为:从目前搜集已施工的高速公路资料来看,设计累计当量轴次由 440~2 700 万次,一级公路为 229~2 000 万次,变化幅度很大,且交通组成也不相同,有的以轻型、中型车为主,有的重车比例较大;各地的气候、水文、土质条件也各不相同,西北干旱地区与南方多雨、湿潮地区,东北重冰冻地区与华北轻冰冻区,其筑路特征差别甚大,规定统一的沥青层厚度是不合理的。因此,根据实际情况推荐高速公路沥青层厚度为 12cm~18cm。对一级公路推荐 10cm~15cm,这是考虑有的单位认为原规范 10cm 最小厚度太薄的意见,提高了高限。对二级公路多数单位反映最小厚度 5cm 太薄,这是因为采用沥青贯入式或双层式结构最小厚度 5cm 偏薄,但是考虑有的二级公路采用单层式沥青混凝土,低限为 5cm 仍然可行。但是,二级公路的交通量变化幅度较大,故将高限提高到 10cm,对交通量大的二级汽车专用公路可放宽至 12cm。三级公路推荐 2cm~5cm 是考虑表面处治拌和法施工,将逐渐增多,且推荐的适用交通量增大,故将高限提高为 5cm。

设计人员应根据工程所在地区的气候、水文、材料、交通量和交通组成特点、施工队伍的设备和水平,考虑施工变异性,综合确定沥青层厚度。

4 沥青面层

4.1.6 沥青路面抗滑性能

1. 根据《沥青路面抗滑标准的研究》成果,对原规范的抗滑标准作了适当调整。新规范更加强调高速公路、一级公路必须重视安全、防滑问题。对二级、三级公路应根据各路段的具体情况采用必要的技术措施,提高路面抗滑性能。设计人员应对环境不良路段如急弯、陡坡、视线不良等路段,重视防滑问题。

2. 抗滑指标。第十六届国际道路会议推荐各成员国用 SCRIM 作为路面抗滑能力的测试工具,英、法、德、澳等国也已先后采用 SCRIM 测试车。我国也引进并研制生产了这类测试车。该车是英国运输和道路研究所(TRRL)研制的横向力系数常规试验车,在试验车上装有与运行方向成 20° 角的自由运转的测定轮,前进时产生与轮胎面成垂直的横向力,此力与轮荷载之比即为横向力系数。它是路面纵横向摩擦系数的综合反映。该车自备水箱,能直接喷洒在轮前约 30cm 宽的路面上,可控制路面水膜厚度,在 50km/h 时速(最大时速 80km/h)测定动态横向力系数,不妨碍交通。因此,它特别适宜于在高速公路、一级公路上进行测试。近年来竣工的京津塘、沈大、济青、京石等高速公路都用摩擦系数测定车进行了竣工时路面抗滑性能的测试。用它代替摆式仪具有显著的优点,故新的标准将以摩擦系数测定车作为测试路面抗滑性能的主要手段,对一般公路若不具备条件时,可以用摆式仪测定摆值。

由于摩擦系数测定车测定值 SFC 与摆值 F_b 具有良好的相关关系,故可以利用过去的成果,提出测定车的横向力系数建议值。

$$SFC = -34 + 1.98F_b \quad (n = 36, \gamma = 0.94, S = 5.48)$$

根据 1 000 多个事故路段调查结果分析,当 $F_b < 35$,事故发生率较高,当 $F_b > 42$ 时,则雨天事故较少。由于路面抗滑性能随时间推移而逐渐衰减,因此,竣工验收值是在此界线值之上增加 3~5,若高速公路、一级公路的摆值为 45~47,由上式换算后,推荐摩擦系数测定车测试值为 54。根据实测京津塘高速公路、济青高速公路、沪宁高速公路、太旧一级公路路面抗滑性能,一般均能达到要求,合格率很高。

构造深度是高速行车防止水漂和溅水影响司机视线的重要因素。为了使路面形成较大的微观构造深度,设计人员往往选用开级配或半开级配的沥青混合料,这类混合料空隙率大,密水性和耐久性较差,对冰冻地区尤其不利。因此,考虑表层的抗滑性和耐久性之间平衡,将原规范的构造深度适当降低。

近年来国内开展研究和铺筑了沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA),取得了良好效果。这一结构可获得较大的构造深度(0.8mm~1.1mm),且空隙率仅为 2%~4%,密水性和抗疲劳性能较好,是一种理想的面层结构。另外表面层采用经调整后 AK-16A 的级配,已在济青高速公路、沪宁高速公路使用,据初步观察在空隙率较小的情况下,能获得较好抗滑效果。

对一般公路可用摆式仪测定路面抗滑性能,因国产摆式仪的摆值 F_b 与英国摆式仪测定值 F'_b 有如下关系,在检测中两种仪器均可使用。

$$F'_b = 1.22F_b - 2.76 \quad (n = 13, \gamma = 0.98 \quad S = 3.8)$$

表 4.1.5 抗滑标准是指竣工后第一个夏天测定值。若在春秋季节用摆式仪测定,则验收值应提高 3,若冬季测试则验收值应提高 5。

4.2.3 沥青混凝土的热稳性

沥青混凝土的热稳性主要表现在夏季路面是否在车辆荷载的作用下逐渐形成车辙,根据国外资料,路面温度在 45℃ 以上的累积时间与车辙增加数量有较密切关系,而交通量次之。车辙的年增加量与沥青的软化点、60℃ 的粘度、沥青混合料的动稳定度有很显

著的相关性。因此,采用动稳定度来表征沥青混合料的热稳性是适宜的。不少国家也采用车辙试验来评价沥青混合料的热稳性,我国在“七五”、“八五”科技攻关中也作了大量工作,提出了科研成果。现在,国内已有厂家生产动稳定度的测试设备,测试方法简单、直观,故推荐将动稳定度作为高速公路、一级公路沥青混合料设计的热稳性指标。

据日本对名古屋地区的东名、名神、中央等七条高速公路共583km、收费道路22.7km的调查,其中东名、名神交通量7~8万辆/日以上,大型车(后轴100kN以上)日平均约30000辆的情况下,得到车辙年增加量 D (mm/年)与现场取样测定动稳定度 DS (次/mm)的关系如下:

$$D = 152DS^{-0.617} \quad (\gamma = 0.81)$$

由上式计算,若每年允许产生2.5mm的车辙,10年达到进行一次维修的极限值25mm,则动稳定度约为800次/mm。据试验结果,从现场取样测得的动稳定度仅为室内直接拌制试样测得的动稳定度的60%,因此,在沥青混合料设计时,在60℃、0.64MPa的轮压下进行车辙试验时,其动稳定度不宜小于1300次/mm,日本沥青路面要纲规定不小于1500次/mm。重交通(大型车多时)的道路,要求动稳定度大于3000次/mm,但是当动稳定度大于5000次/mm时,应进行弯曲疲劳试验,评价混合料的低温抗裂性能。

根据我国科研成果,影响沥青混合料动稳定度的因素较多。密级配的动稳定度大于开级配;沥青用量过多,动稳定度下降;试验温度低则动稳定变高;试验荷载大则动稳定度低。表1列出在60℃、0.7MPa的轮压下,对几种国产沥青混合料试验结果比较,只有符合重交通沥青技术要求的克拉玛依沥青和欢喜岭沥青的动稳定度较高,其他沥青混合料的动稳定度较低。若采用改性沥青则可明显地提高动稳定度,但是将增加建设费用。因此,考虑我国的实际情况,并为了保持各相关规范的一致性,本次修订规范暂定高速公路的动稳定度应大于800次/mm,一级公路的动稳定度应大于600次/mm。若在南方长期持续气温较高的地区,应尽可

能地提高沥青混合料的动稳定度指标。

表 1 国产沥青混合料动稳定度平均值比较

级配 类型	研究单 位个数	动 稳 定 度 (次/mm)						
		KLM	HXL	MMN	LAL	SJS	SLI	LHE
AC—13 I	2	1 596	1 115	1 053	1 236	470	318	360
AC—16 I	4	1 174	1 105	651	729	462	388	422
AC—25II	3	1 059	703	691	708	333	295	447

4.2.4 沥青混凝土的水稳性

沥青混凝土的水稳性是本次规范修订中增加的指标,该指标是“八五”攻关项目的成果之一。冻融劈裂试验方法是采用了简化的洛特曼试验,用两面击实 50 次的马歇尔试件,常温下浸水 20min,0.09MPa 浸水抽真空 15min 后,在 -18°C 冰箱中冷冻 16h,在 60°C 水浴中放置 24h 完成一次冻融循环,再在 25°C 水中浸泡 2h 后测试劈裂强度,将此强度与未经冻融循环试件的劈裂强度相比,求出劈裂强度比,以此指标作为年最低气温低于 -21.5°C 的地区沥青混合料水稳性指标。该指标能较好地判定寒冷地区沥青混合料的水稳性。

4.2.5 沥青玛蹄脂碎石混合料

沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)早在 60 年代出现于法国,80 年代在欧洲开始得到运用,90 年代美国、日本也开始铺筑这种沥青路面。我国在 1993 年修筑首都机场高速公路时首次成功地铺筑了 SMA 路面,接着 1996 年在首都机场东跑道加铺沥青面层又获成功,得到了广大工程技术人员的好评和重视。随后八达岭高速公路表面层也采用了 SMA 这种结构,并开始试用国产胜利、辽河、大港等沥青经改性后铺筑 SMA 表面层。由于这种沥青面层结构具有既抗滑又密水、既抗车辙又减少开裂的优点,是值得推荐的沥青面层结构。

条文中已对沥青玛蹄脂碎石混合料的主要技术条件作了规定,表 2、表 3、表 4 分别介绍了美国 FHWA、NAPA 等提出的 SMA 指南,德国 1994 年规范中对 SMA 的矿料级配建议,以及北

京首都机场东跑道工程等采用的级配,供大家参考。

表 2 美国 SMA 建议级配

筛孔(mm)		25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.075	沥青用量 (%)
美国 FHWA 等			100	85~95	<75	20~28	16~24	12~16	12~15	8~10	不少于 6
乔治亚	细式		100	85~100	60~80	25~32	18~24	—	10~20	8~12	5.9~7.1
理工学院	粗式	100	100~90	45~70	25~40	22~30	18~22	—	10~20	8~12	5.7~6.5

表 3 德国 SMA 规范规定的级配

筛孔(mm)	11.2	8	5	2	0.09	沥青用量 (%)	厚度(cm)
德国 0/11S	>90	≤60	30~40	20~25	9~13	6.5~7.5	3.5~4.0
0/8S	—	>90	<45	20~25	10~13	7.0~0.5	3.0~4.0
0/8	—	>90	30~45	20~35	10~13	7.0~7.5	2.5~3.5
0/5	—	—	>90	30~40	10~13	7.2~8.0	1.5~2.5

表 4 京昌高速公路及首都机场东跑道采用的矿料级配

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SMA-16 级配曲线	97.5	82	63	32.5	24	20	16	12.5	11	9
级配范围	95~100	72~92	54~72	25~40	17~31	14~26	10~22	8~17	8~15	8~11

石料应选用抗滑面层用的硬质石料,针片状颗粒含量应少于 10%;细集料最好用石质坚硬的石屑或优质粗砂;矿粉用磨细的石灰岩石粉,不能用回收的粉尘。

除在粗集料、细集料方面有一定的要求外,改性沥青对全面提高路面性能起关键作用。目前国内采用的改性剂种类较多,其中运用较多的有 PE、SBS、SBR、EVA 等,或单一改性剂、剂量、配比不同,或复合改性,或采用不同的基质沥青,对沥青混合料的使用品质均有一定影响。各单位在推广这一结构中,设计单位可参考国内外资料和工程实践中总结的经验,通过室内试验,试拌试铺,不断总结经验以指导工程施工。

5 基层、底基层及垫层

5.1.1 一般规定

基层是沥青路面的主要承重层,所以必须具有足够的强度,且保证在水、温度作用下具有良好的稳定性。

半刚性材料以其强度高、刚度大、水稳性好的特点加上它能充分利用当地材料及工业废渣的经济特性,使其成为倍受青睐的基层材料,广泛应用于各地区及各等级公路。但半刚性材料在温差作用下及干燥过程中会产生较大的收缩变形,特别是当集料为细粒土时,不仅收缩变形大,且表层易浸水软化,抗冲刷能力也差。在此类基层上的沥青面层不仅裂缝多,还常有冲刷唧浆现象,导致面层破坏。因此,在沥青面层下不应铺筑稳定细粒土基层,高级路面下应选择收缩变形小、抗冲刷能力强的基层如水泥稳定类及密实式二灰稳定集料类等。

由于基层在路面结构中是厚度最大的层次,所以从经济性考虑,特别是底基层应贯彻就地取材原则,在设计时,应作多方案的技术经济比较。

基层材料配合比设计是基层设计的一个组成部分,它可为原材料的选用、材料数量的决定及路面概预算的编制提供科学依据。主要内容即根据行车荷载对路面基层与底基层材料所提出的强度要求(抗压强度或 CBR 值)和水温情况的影响,通过试验选择适用的原材料,确定合理的配合比。

以往有一些设计单位不注重作配合比试验而凭经验套用几个固定的配合比。这样做的结果有很大的盲目性,有可能使设计的基层强度不足或因结合料用量过高而造成浪费、收缩变形大等缺陷。

因为基层材料的强度与原材料的优劣、结合料的类型、品质与用量等许多因素有关,因此,强调在设计阶段必须做原材料的调查和试验,并进行基层材料组成设计试验,以科学地确定基层材料的设计配合比。

5.1.2 基层分类

近年来,有些地区(如湖南、江西等)为了提高早期强度或因缺乏石灰,在高等级公路上修筑了水泥粉煤灰稳定类基层,取得了良好的效果。考虑到此种情况,在半刚性基层分类中将含工业废渣的材料列为一类,其活性激发剂可以是石灰,也可以是水泥。

5.1.3 对原材料的技术要求

表 5.1.3-2 中对土的塑指要求是指适宜于稳定的塑指范围。土的塑指偏低时,稳定土的初期强度低,往往达不到要求;土的塑指偏高则不易粉碎,增加拌和困难。如当地土的塑指达不到表 5.1.3-2 要求而又无其它合适的材料时,可以通过配合比试验或采取措施加以应用。如用石灰稳定低塑性土时,往往需要增加石灰剂量或掺入少量水泥;如当地土塑指超过规定上限时,可以用低剂量石灰先处治以降低土的塑指,再用水泥或石灰稳定。

5.1.4 水泥稳定类

在《公路路面基层施工技术规范》JTJ 034—93 中,对水泥稳定类中集料的颗粒组成按公路等级及层位不同作了相应规定,对高速公路、一级公路应按照表 5.1.4-1 规定的级配设计。但是在二级及二级以下公路基层的集料颗粒组成中,由于包括了从砂、石屑、碎(砾)石土到级配砂砾、碎石等,故颗粒组成范围较大,有些设计人员反映不好选用,对二级公路基层还有失之过宽之弊。为此,在上述颗粒组成的基础上,本着将砂、石屑类与碎(砾)石类分开的原则,将二级及二级以下公路基层适宜于水泥稳定的集料颗粒组成范围调整如表 5,供设计人员参考使用。

对于二级公路的基层,在可能的条件下,应尽量选用与高速公路、一级公路基层规定相同的集料级配,以获得高质量的水泥稳定

级配集料基层。

表 5 二级及二级以下公路水泥稳定粒料的级配组成

原材料	筛孔尺寸(mm)		通过质量百分率(%)				
	40	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
石屑、砂			90~100	50~90	30~68	15~45	0~20
碎(砾)石、碎(砾)石土	100	55~100	40~80	30~60	15~50	6~35	0~20

有关研究成果表明：低塑性土适用于水泥稳定，高塑性土则适用于石灰稳定。所以当采用水泥稳定塑指较大($I_p > 17$)的土时，可掺加石灰综合稳定，不仅可以提高强度，还取得节约水泥的经济效果。但如果集料本身含土甚少或不含土，而采用水泥石灰综合稳定，既增加了施工工序，也无明显效果。

5.1.5 石灰粉煤灰稳定类

研究表明：采用密实式二灰混合料可以减少收缩裂缝，并可提高抗冲刷能力，因此，在高速公路、一级公路的基层上应采用密实式二灰稳定级配集料，其它有条件的地区也应尽量采用。

由于各地所用粉煤灰、石灰、集料千差万别，故石灰与粉煤灰之间的比例应通过组成设计试验来确定。一般来说，粉煤灰的烧失量大，石灰比例应大些；如粉煤灰中已含有较多的氧化钙、氧化镁时，石灰比例可小些。当石灰粉煤灰稳定集料时，石灰与粉煤灰的比例宜为 1 : 2~1 : 3；当石灰粉煤灰稳定细粒土时，石灰与粉煤灰的比例宜为 1 : 3~1 : 4。

石灰粉煤灰稳定集料作基层时，石灰粉煤灰与集料的比例常用 25 : 75~15 : 85。

石灰粉煤灰稳定细粒土作底基层时，石灰粉煤灰与细粒土的比例常为 30 : 70~50 : 50。

5.1.6 石灰稳定类

石灰稳定类材料在我国道路上的应用有着悠久的历史，也积累了丰富的经验。虽然它存在着强度低、收缩变形大、水稳性比水泥稳定类、二灰类稍差的缺点，但是这类材料造价低廉，料源广泛，

仍适用于二、三级公路基层及各等级公路的底基层。为了提高其初期强度,可以掺入1%~2%的水泥综合稳定;而增加石灰土中粒料的含量,则不仅可提高初期强度,还可改善其收缩性能,对防止灰土表层软化、唧浆破坏也有作用,所以在高级路面下不宜采用粒料含量小于50%的悬浮式石灰土混合料做基层。

实践表明:石灰稳定类材料最容易受水影响而产生表层软化现象。而沥青面层在铺筑初期往往渗水,因此,应在石灰稳定类基层上设下封层,对保护基层、防止沥青面层早期破坏有良好的效果。

石灰稳定类材料中石灰剂量一般为8%~12%。

5.2.4 道路冻深计算

原规范中路面防冻层厚度是根据当地冻结深度查表确定。由于路面结构与材料差异,路基横断面形式不同,其路基冻结深度也不同。故用当地冻深代替路基冻深是不合理的。因此通过“沥青路面防冻厚度设计方法”的专题研究,获得了确定防冻厚度的计算法和查表法,本规范推荐了查表法。

日本在道路冻深计算中采用斯蒂芬公式的简化式,其公式为: $D=C\sqrt{f}$,式中 D 为道路冻深, C 为常数, f 为冻结指数。由于常数 C 不能完全反映各地路面结构和路基的实际情况,因此,我们运用冻深理论计算公式,考虑路面各结构层材料热物性、道路横断面形式,路基潮湿类型及冻结指数等来计算道路冻深。

5.2.5 防冻厚度计算

为了检验原规范推荐的防冻厚度,曾对东北三省的部分地区和干旱地区道路冰冻特征进行了调查,如对河北省承德地区,内蒙古赤峰、通辽地区,吉林省白城地区调查研究。调查结果认为原规范推荐的防冻厚度基本合理,但是,干旱地区因降雨量少,路基土含水量小,路面的防冻层厚度应比黑龙江省的潮湿地区减薄15%~20%。

根据调查结果和理论计算对原规范的防冻厚度做了适当的修

改和补充,并将原来引用的大地冻深改为道路冻深,这样使防冻设计更加科学合理。

查表法求算防冻厚度时,应先按公式 5.2.4 计算道路冻深,再根据路基干湿类型,路基土类、基层材料查表 5.2.5 即可求得。路面总厚度应等于或大于最小防冻厚度,若路面总厚度小于最小防冻厚度时,则应增加防冻垫层厚度使其满足要求。

6 路基与排水

6.1 路 基

6.1.1 基本要求

公路建设的实践经验表明,路基必须密实、均匀、稳定。路基土的含水量和压实度直接影响路面的强度和稳定性。由三层体系理论分析可知,影响路表弯沉的主要因素是路基的强度,70%~95%的弯沉取决于路基。因此,在路基路面综合设计中,为满足弯沉指标的要求,提高路基强度是重要措施,其次是提高基层模量和厚度。为此,《公路路基设计规范》(JTJ 013)加强了路基填土的技术要求与压实,并规定了填土材料的力学指标 CBR 值。

为了保持路基的强度与稳定性,必须采取防止地面水与地下水浸入路基的有效技术措施,使路基长期处于干燥或中湿状态。潮湿、过湿状态的路基强度与稳定不足,应采取固化材料处理或换填渗水性土等技术措施,改善路基的工作状态,提高路床与路堤的整体强度,使高速公路和一级公路的土基回弹模量不低于 30MPa,其他公路的土基回弹模量不低于 25MPa。

6.1.2 路基干湿类型

路基的强度和稳定性与路基所处的干湿状态有关,路面设计一般要求路基处于干燥或中湿状态。选用土基回弹模量与路面材料模量值,需掌握土基含水量及路基干湿状况。季节性冰冻地区防冻层厚度,也与路基干湿状况有关。因此,需要划分路基的干湿类型。原规范(JTJ 014—86)路基干湿类型是根据平均相对含水量 \bar{w} 划分,本规范改为平均稠度 \bar{w}_c 。

稠度 $w_c = (w_L - w) / (w_L - w_P)$, 式中 w_L 为 100g 锥测定的液

限值,其抗剪强度与国际上通用的碟氏仪测定液限值 w_L 等效, w_p 为塑限, w 为含水量。当 $w = w_p$ 时, $w_c = 1.0$, 是土质处于半固体与硬塑状态的分界值; $w = w_L$ 时, $w_c = 0$, 是土质处于流塑与流动状态的分界值; 当含水量 w 为塑限 w_p 与流限 w_L 之间时, 土质处于可塑状态。稠度指标综合了土的塑性特性, 包含了液限与塑限, 全面直观地反映了土的硬软程度, 物理概念十分明确。相对含水量 $w_x = w/w_y$, 式中 w_y 为 76g 锥测定的液限值与国际上通用的 w_L 值不同, 且 w_x 未考虑土的塑限 w_p 这一重要特性, 当土的相对含水量 w_x 相同时, 由于不同土类的塑性各异使土处于不同稠度状态。显然, 以 w_x 划分干湿类型不尽合理。此外, 稠度还可作为预控土的可压实性, 判断采用重型压实度标准还是轻型标准; 还可建立土基压实后的稠度、压实度及回弹模量之间的统计相关关系。

原规范 (JTJ 014—86) 表 5.0.2-1、表 5.0.2-2 为相对含水量 w_x , 现改为稠度 w_c , 可根据公路土工试验规程的 w_y 、 w_L 及 I_{py} (76g 锥的塑指)、 I_p (100g 锥的塑指) 之间的关系式换算:

$$w_y = 6.5 + 0.66w_L \quad (1)$$

$$I_{py} = 0.68I_p - 0.44 \quad (2)$$

由试槽测定结果与工地测试资料, 对于大于 2mm 的砂粒含量少于 10% 的土样, 其土质砂 (原砂性土)、粘质土 (原粘性土)、粉质土 (原粉土) 的 I_{py} 分别为 6、12、14, 三类土按 (2) 式换算的 I_p 分别为 9.47、18.29、21.24, 代入 $w_c = (1 - w/w_L)/(1 - w_p/w_L)$ 式中, 整理后得到 100g 锥的稠度 w_c 与相对含水量 w_x 的关系:

$$\text{土质砂: } w_c = 3.096 - 2.730w_x \quad (3)$$

$$\text{粘质土: } w_c = 2.058 - 1.715w_x \quad (4)$$

$$\text{粉质土: } w_c = 1.901 - 1.561w_x \quad (5)$$

根据上式, 即可将相对含水量 w_x 改为稠度 w_c , 从而得到各自然区划分界稠度值表 6。用稠度划分路基的干湿状态, 主要根据路基在行车作用下, 强度与稳定性受水影响的程度, 与路基临界高度 H_1 、 H_2 、 H_3 有关, 在冰冻地区还要考虑冻融过程的影响。而土质学中的稠度指标, 仅划分土体本身由流动到固体的不同状态。因

此,路基的干湿状态与土质学中稠度指标虽有一定联系,但两种划分的含义却有所不同,故各自然区划分界稠度值表 6 比土质学中土体状态划分的稠度值大是合理的。

根据表 6 各自然区划的分界稠度值,按土组分类综合地提出条文中土基干湿状态的稠度建议值表 6.1.2-1,该表初步得到土基不同干湿状态下稳定的平均稠度基本范围,据此可按有关因素确定相应稠度的土基回弹模量。

表 6 各自然区划为分界稠度值

自然区划	土质砂				粘质土				粉质土				附注
	w_{c0}	w_{c1}	w_{c2}	w_{c3}	w_{c0}	w_{c1}	w_{c2}	w_{c3}	w_{c0}	w_{c1}	w_{c2}	w_{c3}	
II _{1,2,3}	1.87	1.19	1.05	0.91	1.29	1.20	1.03	0.86	1.12	1.04	0.96	0.81	粘质土;分母适用于 II _{1,2,3} 区; 粉质土;分母适用于 II _{2a} 副区
II _{4,II₅}	1.87	1.05	0.91	0.78	1.29	1.20	1.03	0.86	1.12	1.04	0.89	0.73	
III	2.00	1.19	0.97	0.78					1.20	1.12	0.96	0.81	
IV	1.73	2.32	1.05	0.91	1.20	1.03	0.94	0.77	1.04	0.96	0.89	0.73	
V					1.20	1.08	0.86	0.77	1.04	0.96	0.81	0.73	
VI	2.00	1.19	0.97	0.78	1.29	1.12	0.98	0.86	1.20	1.04	0.89	0.73	
VII	2.00	1.32	1.10	0.91	1.29	1.12	0.98	0.86	1.20	1.04	0.89	0.73	

注: w_{c0} ——干燥状态路基常见下限稠度;

w_{c1} 、 w_{c2} 、 w_{c3} ——分别为干燥和中湿、潮湿和过湿状态的分界稠度。

6.1.3 对路基填料的要求

为确保路基的强度和稳定性,增加了对路基土强度指标的要求。我国现行路面设计规范,对路面、路基的设计参数均采用回弹模量指标,而援外及国际投标修建的公路工程多采用 CBR 指标。现参考国内外资料,提出路基填料最小 CBR 值指标,作为路基填料选择的依据。

据目前所知,细粒土中的粉质土,某些黄土,南方的部分粘土,试件经四昼夜饱水后测定的 CBR 值较低。如路基填土高度在 2m 以上,处于干燥状态,修建半刚性基层沥青路面时,则路基受毛细水的影响和雨水渗入路床的情况均比较小,在采用 CBR 值时应考

考虑这些因素。

6.1.4 路基压实度

原规范(JTJ 014—86)路基压实度对高速公路,一、二级公路采用重型击实标准,三、四级公路采用轻型击实标准。这次修订根据重交通公路通车后的运行情况,为保证路面质量,避免路面早期破坏,按路基土的特性,对一般土路基均规定为重型击实标准,并提高了压实度,这样可以增强路基路面的整体强度与稳定,提高防止渗水与冻胀的能力,减少通车后的变形、下沉等。但是,对多雨潮湿地区含水量大于最佳含水量5个百分点的塑性土,当 $w_L > 40\%$, $I_p > 18$ 时,属于不稳定的不良筑路材料,应考虑土质特性与自然环境对土基湿度、干密度的影响,控制土的稠度,进行最佳压实,达到要求的压实度,以保持路基的强度与稳定性。

在执行重型压实标准的规定中,当细粒土的天然含水量过高,经晾晒达到重型压实标准后,在自然条件的影响下,土体含水量增加,密实度下降。

表7 含水量、压实度对比表

土基路段名称	含水量		稠度		饱和度		轻 型	重 型
	$w(\%)$		w_c		$S_r(\%)$		压实度	压实度
	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	$K_L(\%)$	$K_h(\%)$
广深线 施工时测定 不利季节测定	16.9	12.3~11.6	1.37	1.17~1.57	83.0	60.0~96.3	102.8	93.4
	18.1	13.8~24.2	1.32	1.05~1.51	84.5	65.5~86.3	98.8	89.8
石灵线 施工时测定 不利季节测定	14.5	10.3~17.9	1.50	1.37~1.67	59.4	47.5~74.0	109.3	94.8
	19.7	16.7~26.2	1.30	1.04~1.42				
淮宁线 施工时测定 一年以后测定	18.2	15.6~20.1	1.25	1.18~1.36	87.4	78.1~92.7	102.7	94.6
	22.3	19.2~25.5	1.09	0.96~1.22	91.5	84.4~99.3	96.3	88.7
二汽高环施工时测定 一年以后测定	18.3	16.0~20.3	1.19	1.10~1.29	80.9	70.7~89.7		93.0
	22.5	19.0~24.4	1.01	0.92~1.16	93.6	85.8~100		90.6
沪宁线 施工时测定 施工时测定(轻型)	18.8	14.8~23.6	1.19	1.10~1.34	84.6	71.0~96.3	104.3	92.6
	22.8	21.0~21.7	1.04	0.98~1.09	89.2	82.0~94.3	99.6	88.8
长农线 施工时测定 不利季节测定	14.3	10.2~24.0	1.42	0.64~1.74				91.0
	22.8		1.09					89.9

表7列出5条路段施工时与不利季节(或一年后)测定的 w 、 w_c 、 S_r 、 K_L 与 K_h 变化资料。总趋势是按重型压实度控制施工的土

基,经过雨季或一年以上自然条件影响,施工时的低饱和度,随着含水量增加,土体膨胀降低了干密度。当含水量增至塑限附近,即稠度达 1.0~1.1 时,饱和度达到 90%左右,土体水分接近稳定。而淮宁线与二汽试验场的高速环形跑道经过一年,含水量趋于稳定,接近塑限,稠度降至 1.1 以下。这表明潮湿粘性土路基按重型压实度控制,经过自然平衡,干密度必然下降,接近轻型压实度指标,并与潮湿路段稳定含水量的稠度一致。

根据土基压实度标准研究资料,由全国有代表性的地区与土类进行的室内与现场测试结果,将与路基干燥($w_{c0} \sim w_{c1}$)、中湿($w_{c1} \sim w_{c2}$)状态有关的稠度、压实度、回弹模量等特性指标数据分析,以土的干燥和中湿状态路基分界稠度(w_{c1})的含水量进行室内重型击实标准试验与现场测定资料,可以看出:当土的 $w_L > 40\%$, $I_p > 18$ 时, $w_{c1} = 0.96 \sim 1.03$, 压实度接近轻型击实标准。而当土的 $w_L < 40\%$, $I_p < 18$ 时, $w_{c1} = 1.12$, 压实度接近重型击实标准。因此,对于潮湿系数大于 1.0 的潮湿多雨地区,土的天然含水量大,以 $w_c \leq 1.1$ 及 $w_L > 40\%$, $I_p > 18$ 作为降低路基压实度标准的界限指标,可采用轻型击实标准。压实后的饱和度 S_r 达到 90%以上,土基处于最佳压实状态。

6.1.5 土基回弹模量值的确定

(1)查表法

原规范土基回弹模量 E_0 建议值是我国历次详细调查试验的成果,它反映了全国不同地区自然条件的特点,基本代表了二级公路以下的土基状况,是具有广泛基础的。由于原规范的 E_0 是按相对含水量 w_r 的关系建立,用 76g 锥的液限 w_y ,不能与国际上通用的蝶式仪 w_L (100g 锥则等同)相当,所以必须改为 w_L 后,以稠度 w_c 值查表。由前述 w_y 与 w_L 的关系及过去的土类试验成果,找到了换算关系,并推算得到 E_0 与稠度 w_c 建议值。应该指出,改为 $E_0 \sim w_c$ 的关系,更直观地反映出粉质土的特性,即比较干燥时,其强度较高,而 w_c 小(含水量较大)时,强度就迅速降低,《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012—94)附录 B 土基回弹模量 E_0 值,将

w/w_p 与 w/w_L 的值等同进行换算,致使粉质土 E_0 值改变了上述强度特性,须加以更正。

当路基压实度由轻型击实标准提高到重型击实标准压实度后,查表法的 E_0 值可以相应提高。在不同自然区划土的稳定含水量与其相应稠度为 $w_c=1.00\sim 1.30$, E_0 可提高 $15\%\sim 30\%$,若稳定含水量的稠度 w_c 值大于 1.30,则 E_0 值的提高幅度更大。

(2)现场实测法

土基现场回弹模量是采用直径 30cm 的刚性承载板,在土基表面逐级加载和卸载测出与每级荷载相对应的回弹变形,经计算求得。因承载板法测定费时较多、较笨重,也可采用弯沉仪测定。弯沉仪测定是用标准车在土基表面,测定轮隙中心下的回弹弯沉值,通过计算求得土基的回弹模量值。以上试验方法可按照《公路路基路面现场测试规程》(T0944—95)进行。土基回弹模量的设计值是将现场实测值取 $85\%\sim 95\%$ 保证率后,考虑不利季节的影响,论证地确定。

我们收集了近年来获得的现场实测土基回弹模量 E_0 与土基弯沉值 l_0 的相关关系汇总于表 8。

表 8 土基现场实测 E_0 、 l_0 关系式表

单位: E_0 :MPa、 l_0 :0.01mm

序号	资料来源	土组	关系式	测点数 n	相关系数 r	备注
1	广西红粘土	粘质土	$E_0=3257l_0^{0.746}$	66	-0.754	土基压实度标准与参数研究
2	黑龙江	粘质土	$E_0=3382l_0^{0.806}$	20	-0.965	土基压实度标准与参数研究
3	内蒙古	粘质土	$E_0=352l_0^{0.341}$	19	-0.630	土基压实度标准与参数研究
4	西安试验路	粉质土	$E_0=3865l_0^{0.758}$	56	-0.920	七五国家攻关西安试验路
5	湖南	粘质土	$E_0=583l_0^{0.4265}$	41		1992年3月湖南《交通科技》
6	广东	粘质土	$E_0=1585l_0^{0.5963}$	80	-0.905	《公路》1994年第3期
7	基层规范		$E_0=17029l_0^{1.066}$			JTJ 034—85 附录
8	修订柔规汇总		$E_0=4730l_0^{0.859}$	81	-0.911	1993年9月柔规修订汇总会

由分析可知当弯沉值较大或较小时,各式有一定差异,这反映

了地区和土质的影响,但弯沉值在 150~300(0.01mm)时,各式较为接近。若将表中公式汇总可得下式,仅供参考。

$$E_0 = 2430l_0^{-0.7}$$

此外,关于承载板法测定 E_0 值的计算方法,原规范中统一规定为 1mm 前的应力、变形线性回归值进行计算;当强度高变形小的土基,回弹值在最后一级荷载时,仍小于 1mm,则以最后一级荷载的应力、变形值计算。对于干燥、中湿状态路基的应力、变形曲线基本为线性关系, E_0 值的变化不大,基本是稳定的。对潮湿、过湿状态的土基, $p \sim l$ 呈曲线, E_0 随变形增大而减小。对半刚性基层沥青路面,土基应力多数小于 0.1MPa,虽然可采用 0.1MPa 前的变形—应力曲线计算 E_0 值,但是应力小,变形也小,计算的 E_0 值分散性较大,甚至失真,因此,仍建议采用 0.5~1mm 前的 $p \sim l$ 曲线计算 E_0 值,比较合理。

(3) 室内试验法

取代表性土样在室内根据最佳含水量条件下求得小承载板的回弹模量 E_0 值的试验结果,应考虑不利季节、不利年份的影响,乘以折减系数 λ 。

首先,根据设计路段的路基临界高度及相应的路基干湿类型,以及土基稳定含水量,确定代表不利季节土基的稠度值;当调查资料不足时,按路基土的干湿类型,由条文表 6.1.2-1 选定土基稠度值。

折减系数 λ ,由现场与室内试验测定资料分析提出,可按表 9 选定。

表 9 折减系数

土基稠度值 w_c	$w_c \geq w_{c0}$	$w_{c0} > w_c \geq w_{c1}$	$w_c < w_{c1}$
折减系数 λ	0.9	0.80	0.70

(4) 换算法

各地区有条件进行现场或室内土的回弹模量 E_0 、土性配套指标(w_c 、 w_L 、 w_p 、粒径组成等)、压实度(K_r 、 K_L)、CBR 值等试验,建立室内与现场的土基各种力学指标间的相关关系式,再根据相关

式推算 E_0 值。

土基压实度标准与参数的研究成果,得到全国有代表性地区土类的 E_0 与 CBR、弯沉 l_0 的土性配套指标的关系式。表 10 为土基现场 E_0 或室内 E_0 、 $K(K_h, K_L)$ 、 w_c 的关系式,根据土基稳定含水量的 w_c 及 K_h (或 K_L),可得到相应的 E_0 值。经表中数值比较,可得到重型击实标准在土基稳定前提下较轻型击实标准土基模量值的增加,一般 E_0 值可增加 15%~30%。表 11 为土基现场与室内 CBR 与 E_0 的关系式。

表 10 土基 E_0 、 K 、 w_c 关系式对比表

资料来源	关系式	测点数 n	相关系数 r
广西红粘土:现场	$E_0 = 79.08K_h^{1.989}w_c^{1.748}$	16	0.77
广西红粘土:室内	$E_0 = 67.2K_h^{3.0}w_c^{1.84}$	39	0.75
黑龙江粘质土:现场	$E_0 = 48.81K_h^{3.218}w_c^{1.47}$	11	0.68
黑龙江粘质土:室内	$E_0 = 36.23K_h^{2.563}w_c^{1.556}$	11	0.89
山西黄土:现场	$E_0 = 52K_h^{0.61}w_c^{1.629}$	34	0.53
陕西黄土:现场	$E_0 = 64K_h^{3.68}w_c^{2.23}$	50	0.96
陕西黄土:室内	$E_0 = 12K_h^{1.49}w_c^{0.03}$	162	0.86
江苏粘质土:现场	$E_0 = 28.07K_L^{1.917}w_c^{1.932}$	28	0.88
上海粘质土:室内	$E_0 = 36.1K_L^{6.57}w_c^{2.05}$	10	0.92
内蒙古粘质土:现场	$E_0 = 39K_h^{2.244}w_c^{1.963}$	46	0.61
内蒙古粘质土:室内	$E_0 = 25.6K_h^{1.243}w_c^{5.12}$	10	0.90

表 11 土基 CBR、 E_0 关系式对比表

资料来源	关系式	测点数 n	相关系数 r
广西红粘土:现场	$E_0 = 15.55CBR^{0.582}$	44	0.792
广西红粘土:室内	$E_0 = 5.651CBR^{0.891}$	55	0.930
广西膨胀土:现场	$E_0 = 16.71CBR^{0.58}$	17	0.830
广西膨胀土:现场一年后	$E_0 = 17.62CBR^{0.50}$	29	0.780
广西膨胀土:室内	$E_0 = 9.18CBR^{0.741}$	41	0.877
黑龙江粘质土:现场	$E_0 = 7.40CBR^{0.773}$	20	0.746

续上表

资料来源	关系式	测点数 n	相关系数 r
黑龙江粘质土:室内	$E_0 = 7.954\text{CBR}^{0.739}$	21	0.901
陕西黄土:现场	$E_0 = 13.0\text{CBR}^{0.42}$	40	0.620
陕西黄土:室内	$E_0 = 1.60\text{CBR}^{1.12}$	66	0.960
上海粘质土:室内	$E_0 = 15.86\text{CBR}^{0.59}$	17	0.853
上海粘质土:室内浸水	$E_0 = 7.90\text{CBR}^{0.91}$	17	0.871
内蒙古粘质土:室内	$E_0 = 7.03\text{CBR}^{0.872}$	38	0.978
内蒙古粘质土:现场	$E_0 = 6.70\text{CBR}^{0.784}$		
贵阳红粘土:现场	$E_0 = 7.27\text{CBR}^{0.823}$	20	0.930
美国肯塔基洲	$E_0 = 13.4\text{CBR}^{0.688}$		
摩洛哥	$E_0 = 8.90\text{CBR}^{0.85}$		

6.1.6 石方路堑

山区公路,特别是山区高速公路、一级公路的石方路基(包括开挖石方路堑和填石路堤)占有很大比例,其边坡稳定与防护工程应全面考虑进行综合设计,以确保线路畅通。半填半挖石方路基及高填石路堤,除满足路基施工技术要求外,路基设计还应采取减少沉降及差异沉降的技术措施,以坚实的基础确保路面的稳定。当石方路基强度符合要求时,对超挖回填部分的压实度、强度和平整度均应符合技术要求。为了避免形成不稳定的中间夹层,整平层应采用贫混凝土,或水泥或石灰粉煤灰稳定碎石(砾石)类的整体性材料。若采用级配碎石应满铺至路基,以利排水。

在填挖交界处应增设排水盲沟,以加强界面排水。

水稳定性差的泥质类岩石路堑,应加强排水措施,如封闭路肩,边沟浆砌,基层采用水稳定性好的材料等。

6.1.8 填石路堤的技术要求

填石路堤的稳定性取决于石料级配、空隙填充,以及采用重型振动压路机碾压的密实程度和是否满足路基施工技术要求。填石路堤的压实标准和检验,宜根据现场试验确定。

6.2 排 水

6.2.1 一般规定

公路排水分为地表排水和地下排水。路面排水是指排出降雨而滞留于路面范围内的水,但是路面排水和路基排水密切相关,不可截然分开,两者必须结合起来,使排水设施形成一个功能齐全、排水能力强的完整的排水系统。

做好路面排水对保持路基、路面稳定和强度,确保公路畅通和行车安全极为重要,必须高度重视,使各级公路具有相应的抗洪能力,提高全天候的服务水平。

6.2.2 路面排水设计重现期

路面排水设计重现期的倒数即为路面排水设计频率,高速公路和一级公路重现期按 5 年,二级及二级以下公路按 3 年计算排水设计流量,考虑我国各地情况差异,对某些特殊情况,可根据公路的重要性,或重交通量、多雨地区等,适当提高重现期。

6.2.3 高速公路、一级公路的路面排水

具有中央分隔带的高速公路和一级公路,在多雨地区,应特别注意路面排水,采取必要的排水设施,迅速地将路面范围内的水排出路基,以保证行车安全。

高速公路、一级公路的路面排水一般由路面排水、路肩排水、中央分隔带排水组成。

1. 路面(含路肩)排水

路面排水由路面横坡、路肩横坡、拦水带或路肩矩形边沟、路肩排水沟、泄水口和急流槽等组成。

(1)路面横坡一般采用 2% 单向坡,硬路肩与行车道的横坡相同。

(2)路肩排水型式如图 1, a)型是硬路肩比路缘带少铺上面层而形成 4cm~5cm 的凹形过水断面,其纵坡与行车道相同,一般不小于 0.2%,其优点是路面排水通畅,行车道不积水。b)型是硬路肩和路缘带面层结构相同,目前高速公路一般多采用 b)型,施工

方便,便于质量控制,但排水不畅,雨水常漫至行车道。c)型是降雨量大,行车道纵坡小,泄水口的间距小于 20m 时采用。

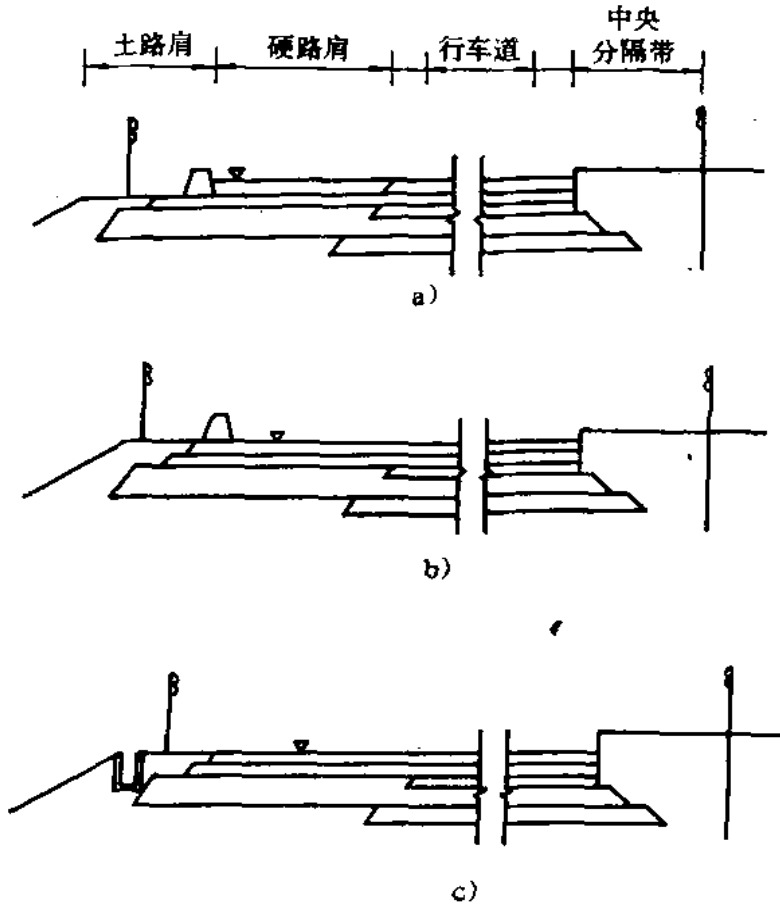


图 1 路面排水示意图

采用分散漫流排水时,土路肩和边坡应进行加固,土路肩可用浆砌块石或用混凝土块铺砌。

(3)拦水带的设置是为了防止路面漫流冲刷路堤边坡,在路肩外侧边缘处设置拦水带,拦截路面水流以形成侧沟,通过泄水口、急流槽将侧沟内的水排入路基外的排水沟。拦水带可采用水泥混凝土预制块或沥青混凝土筑成。当用水泥混凝土缘石时,应注意沥青路面边缘与混凝土缘石间灌缝密实,以阻止地表水下渗影响路基路面稳定。

(4)泄水口的间距宜根据流量计算,以保证降雨时路面积水迅速排走,汇水不能进入行车道为设计原则,一般为 20m~50m,干旱少雨地区可达 100m。泄水口的长度一般为 2m~4m。位置设置在凹形曲线的底部、桥头或结合地形、边坡以及联结其他排水设施的最佳位置。

(5)急流槽的上端与泄水口相接要圆滑,下端与路基下边坡的排水沟相接要顺适,防止水流冲出排水沟。

2. 中央分隔带排水

(1)中央分隔带的形式有凹形、凸形等,其排水形式如图 2,为作好中央分隔带排水,设计时应根据当地气候、降水量、土石性质、排水条件、工程造价、施工和维护等综合考虑,采用适合本地区的排水形式,确保路基、路面稳定和行车安全。

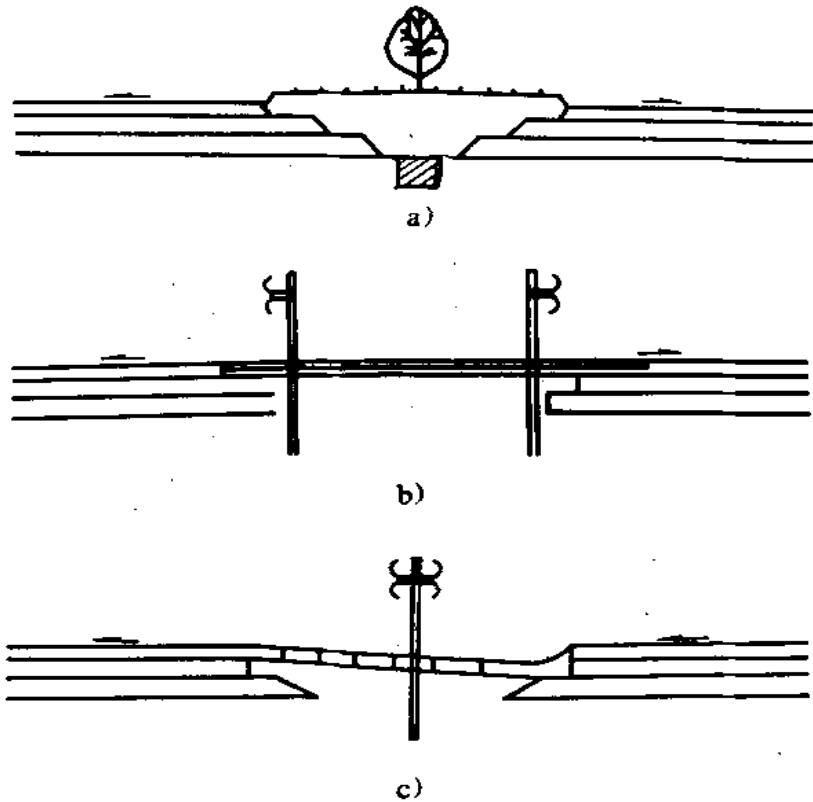


图 2 中央分隔带排水示意图

a)凸式,绿化型;b)封闭型;c)超高段浅碟式侧沟

(2) 直线段的路基, 中央分隔带用现浇薄层水泥混凝土或预制混凝土小块封面或用其他材料封面时, 可不设中央分隔带地下排水系统。若中央分隔带采用植草皮或灌木时, 视降水量的大小设置地下排水系统。

(3) 在有超高的曲线段, 一般应在靠近超高内侧的中央分隔带设置浅碟或三角形沟或 U 形沟, 在适当的位置设雨水井和地下横向排水管, 将水排出路基。如图 2c) 型。

雨水井设置的间距应根据碟式沟或 U 型沟容许通过流量计算确定, 一般为 10m~30m, 其雨水井的位置应考虑排水沟的纵坡, 与其他地下排水设施相协调, 便于横向排水沟联结等因素, 合理布设。相邻雨水井间地下排水管可用直径为 20cm~40cm 的水泥混凝土管或其他管材联接。

7 新建路面的结构厚度计算

7.0.2 路面设计弯沉值

1. 原规范路面容许弯沉值存在的问题

原规范的路面容许弯沉值是以 1972 年、1973 年在八省一市进行的容许值调查的基础上，参照部分城市道路的补充调查和国外部分资料分析比较，提出了路面容许弯沉值。该公式适应了 70 年代我国公路等级较低、沥青路面薄、以柔性基层和石灰土基层为主的实际情况。进入 80 年代后，我国公路交通步入高等级公路兴盛发展阶段，为适应交通量日益增加，车辆荷载逐渐增大的需要，半刚性基层沥青路面在全国各地的高等级公路建设中被广泛地运用。这种新型路面结构具有强度高、刚度大、水稳性好等优点，与传统的柔性基层沥青表处比较，无论是力学特性、破坏模式都存在着明显差异。现行规范中容许弯沉值存在的主要问题有：①原容许弯沉值的定义为路面在设计使用年限末期的最不利季节，在标准轴载作用下容许出现的最大弯沉值，它不能直接作为竣工验收指标，否则标准偏低，易出现早期破坏。②设计指标是路面处于使用年限末期的极限状态在不利季节的最大弯沉值，而材料设计参数是指龄期为三个月或六个月的无疲劳损伤的完好状态，可见设计指标与材料参数对应的状态不一致；③半刚性基层和柔性基层采用相同的容许弯沉值不合理，且不适应大交通量公路的需要。

2. 容许弯沉值的调查与资料整理

(1) 容许弯沉值调查

专题研究时基本上采用了传统的路面外观评定和调查方法，以标准轴载 100kN 的汽车作用下，对半刚性基层用 5.4m 长杆弯

沉仪测定弯沉值,并考虑温度修正,换算成标准温度的弯沉值。调查工作是在 1992 年和 1993 年不利季节进行的,分别调查了吉林、山东、山西、四川、西藏、上海、湖北、江西、湖南共八省一市,计五十多个路段,两万多个测点。此外,还收集了黑龙江、天津两地调查资料作为参考。

从调查结果,经分析选用了五十四路段,其基本情况如下:

①公路等级——高速公路 1 条,一级公路 10 条,二级公路 41 条,三级公路 2 条。

②面层类型——沥青混凝土面层 20 段,沥青碎石面层 12 段,上拌下贯沥青面层 14 段,表面处治八段,沥青层厚度 3cm~19cm。

③基层类型——水泥稳定砂砾、二灰碎石、二灰砂砾、水泥灰土砂、石灰水泥砂砾、碎石灰土、灰土碎石等半刚性基层,还有少量级配碎石等柔性基层。

④交通量——由于调查路段通车时间三至五年较多,约占 50%以上,6~10 年约占 30%左右,换算成 BZZ-100 标准累计轴次的范围为 $27 \times 10^4 \sim 1470 \times 10^4$,多数在 100~700 万次。

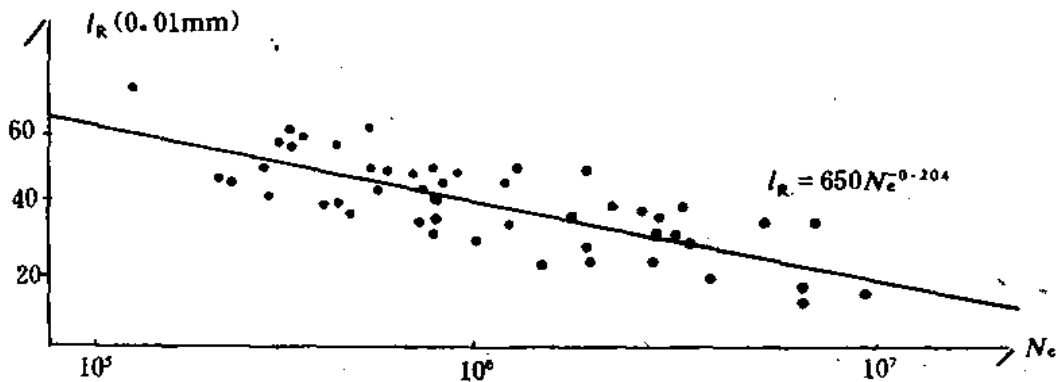


图 3 一级公路沥青混凝土路面容许弯沉散点图及回归结果

(2) 资料整理

将不同路面外观状态的实测路面弯沉值,分别按二倍标准差原则舍弃异常点后,计算其代表弯沉值,并考虑测点数的影响,进行加权平均求得各路段的容许弯沉值;将各路段的混合交通量按轴载比 4 次方公式进行轴载换算,计算各路段的标准累计轴次;将

各条公路的容许弯沉值都统一调整为标准状况下的容许弯沉值,即不利季节时,轴载为 100kN、路面标准温度为 20℃,一级公路沥青混凝土路面的容许弯沉值。再将各路段的容许弯沉值 l_R (0.01mm) 与相应的累计轴次 N_c 点绘成图,经统计回归得:

$$l_R = 650N_c^{-0.204} \quad (\gamma = 0.77 \quad n = 50) \quad (6)$$

本次调查柔性基层的路面,仅 4 个路段,经统计回归得:

$$l_R = 1090N_c^{-0.213} \quad (\gamma = 0.97 \quad n = 4) \quad (7)$$

若将上式的指数调整为 0.2 后可得公式(8)

$$l_R = 1060N_c^{-0.2} \quad (8)$$

该式与原规范推荐公式接近。

在进行容许弯沉值调查发现:目前我国公路上行驶的各类车辆普遍存在超载现象。这意味着按交通量观测站提供交通量资料计算所得累计标准轴次少于实际的累计标准轴次,如以公式(6)作为半刚性基层沥青路面的容许弯沉,则有可能使得设计标准偏高。可见有必要将观测站资料算得的容许弯沉回归直线向右平移一段距离以进行超载修正。为此,我们在式(6)的右端乘以 1.1 的系数以考虑超载的影响。并且将回归方程中的指数调整为 0.2,从而得到半刚性基层沥青路面容许弯沉的计算公式为:

$$l_R = 720N_c^{-0.2} \cdot A_c \cdot A_s \quad (9)$$

式中: A_c 为公路等级系数, A_s 为面层结构类型系数。将全部路段分类进行回归分析表明, A_c 与 A_s 仍按原规范取值是基本合理的。

3. 弯沉变化规律及设计弯沉值

路表弯沉的变化,是一个多方面因素综合作用的复杂过程。路基路面结构层的材料性质、压实程度、干湿状况、温度环境、结构类型、气候条件、交通组成、检测时的环境条件以及所使用的仪器设备等均将对弯沉的变化产生很大影响。

本次调查收集了西三试验路、淄州试验路、寿光试验路、沪嘉试验路、随州试验路和一些生产路段共 31 段长期跟踪观测数据,观测时间短者四至五年,长者达八年之久。这些试验路均是以半刚

性基层沥青路面为主的结构,按每 200m 长度为一单位,分别计算弯沉的均值加 2 倍标准差,以它作为代表弯沉值。将竣工的路表弯沉 l_0 取值为 1,而将其后各年标准状态下的弯沉值 l_T 与 l_0 的比值定义为相对弯沉变化系数 A_T ,即: $A_T=l_T/l_0$,计算各路段随年份变化的相对弯沉变化系数。

将各路段的相对弯沉变化系数与不同年份点绘成图 4,可看出相对弯沉变化系数随年份的变化规律。

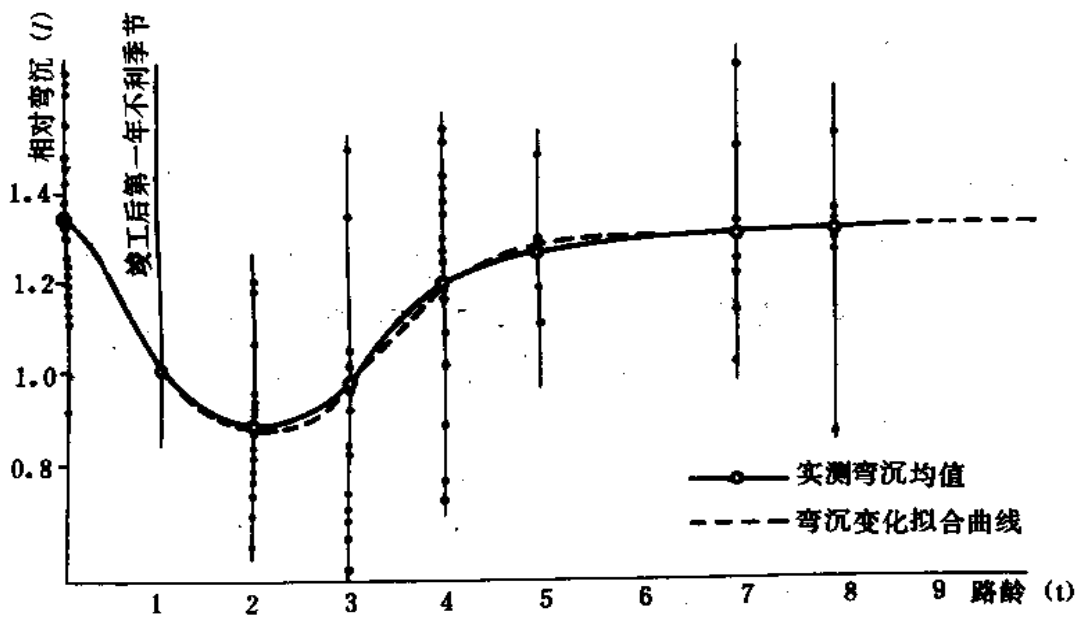


图 4 弯沉逐年变化曲线

由图 4 不难看出,表面弯沉的变化过程可分为三个阶段。路面竣工后的前 1~2 年为第一阶段。在这一阶段,由于交通荷载的压密作用以及半刚性基层材料的强度增长特性,路表弯沉将逐渐减小,大约在路面竣工后的第二年达到最小值。

路面竣工后的第二年到第四年为第二阶段。在这一阶段,路表弯沉以不断增大为其主要特征。这是因为一方面,半刚性基层的强度增长已十分缓慢,并逐渐趋于相对稳定状态;另一方面,由于交通荷载的重复作用,以及水、温状况的变化,加之混合料本身因拌和不匀而导致的强度非均匀性等因素的影响,结构内部的微观缺陷将因局部范围的应力集中而扩展,并逐渐形成小范围的局部破损,从而导致结构的整体刚度下降,使得路表弯沉急剧增大。如果

设计不当或施工控制不严,使工程质量不能得到保证,则有可能在这一阶段出现路面的早期破坏。

路面竣工 3~4 年后直至达到极限破坏状态为弯沉变化的第三阶段。在这一阶段,路面因各种复杂因素产生的局部强度不足的问题已充分暴露。积蓄于内部缺陷附近局部区域的高密度能量也已通过缺陷的扩展而转移,并自动实现了整个系统的能量平衡,从而使得结构内部损伤的进一步发展得到抑制。路面结构的整体刚度重新达成了一种新的、较低水平的相对稳定。因此,路表弯沉进入了一个比较稳定的缓慢变化阶段,即所谓的结构疲劳破坏的稳定发展阶段,并一直延续到结构出现疲劳破坏。

对图 4 中各年份的均值点采用逐次逼近法进行曲线拟合可得弯沉逐年变化的函数:

$$f(T) = 0.2616 + 0.005T + \frac{0.20}{1 + 2.9T^3} + \frac{1}{1 + \left(\frac{0.72}{0.74 + 0.16T} \right) e^{-(0.655T - 1.39)^2}} \quad (10)$$

由表 12 可知,拟合曲线与各均值点之间的最大相对偏差仅 2%。可见,用上述公式表示弯沉变化系数的变化规律是合适的。

表 12 相对弯沉变化系数的逐年变化

年序	0	1	2	3	4	5	6	7	8
实测值	1.340	1.0	0.890	0.960	1.20	1.260	—	1.294	1.30
回归值	1.338	1.0	0.877	0.981	1.180	1.274	1.291	1.297	1.302

由图可以看出,在路面竣工后的 1~2 年之间,路表弯沉值最小。可见,在此期间,路面整体结构处于最大刚度状态。但是,在测定材料参数时,养生时间最长的基层材料的设计龄期也只有六个月。这个时间,正好接近于路面竣工后第一年的不利季节。而且,统计结果表明,路面竣工后第一年不利季节的弯沉值与最大刚度状态所对应的弯沉值比较接近。因此,我们将路面竣工后第一年的不利季节近似地假定为路面整体结构的最大刚度状态而取作我们

的设计状态。这样,既澄清了设计状态与使用年限末期的极限状态的概念以及它们之间的相互关系,又统一了路表弯沉的设计控制指标和竣工验收指标。根据这一假定,可得沥青路面的设计弯沉 l_d :

$$l_d = l_0 = l_R / A_T \quad (11)$$

式中: l_0 为竣工验收弯沉; l_R 为容许弯沉; A_T 为相对弯沉变化系数。

考虑到本次容许弯沉调查所选择的路段均为开放交通4~6年的新建路面,故将 A_T 近似地取为1.20。由此可得对于不同公路等级、不同面层和基层结构类型普遍适用的设计弯沉计算公式:

$$l_d = 600N_e^{-0.2} \cdot A_c \cdot A_s \cdot A_b \quad (12)$$

式中 A_b 为基层类型系数,对半刚性基层取1,对柔性基层适当提高了一些标准,取1.6。

用上式对近年来修筑的部分高速公路、一、二级公路进行检验的结果表明,绝大部分路段的合格率均在98%以上,可见,此标准可能代表我国目前公路建设的水平及国家财政预算的承受能力。但亦有部分路段的合格率低于98%,从而表明,我国公路建设的施工管理水平及施工队伍的技术水平仍有待进一步提高。

7.0.3 容许拉应力

路面结构层的容许拉应力,系指路面结构在行车荷载重复作用下达到疲劳临界状态时容许的最大拉应力。

容许拉应力 σ_R 是沥青混合料或半刚性材料的极限抗拉强度 σ_{sp} 除以抗拉强度结构系数 K_s , K_s 是根据沥青混合料或半刚性材料的疲劳规律,考虑间歇时间、裂缝传播速度、交通量折减和横向分布等各种室内外试验条件的差异等因素的修正而提出的。 σ_{sp} 是在规定条件下通过劈裂试验获得材料的劈裂强度,也称间接抗拉强度。

即:

$$\sigma_R = \frac{\sigma_{sp}}{K_s}$$

由于原规范的沥青混凝土强度结构系数是参考国外的梁的弯

曲疲劳试验结果,结合国内部分调查资料提出的,半刚性基层材料的强度结构系数,是以石灰土梁的弯曲疲劳试验为依据提出的,显然,针对高等级公路的路面结构有必要对沥青混合料和半刚性基层材料进行必要的疲劳试验。因此,在“沥青路面设计指标与参数的研究”中,针对国产沥青、半刚性材料进行了劈裂疲劳试验研究,使抗拉强度结构系数更接近当前工程常用混合料的实际情况。

1. 沥青面层抗拉强度结构系数

本次试验选用茂名 60 号、胜利 100 号、辽河 140 号三种国产沥青,配制中粒式和粗粒式沥青混凝土两种级配的试件,用 MTS 试验机以应力控制方式,在 5 种温度条件下(25℃、15℃、0℃、-5℃、-15℃)进行劈裂疲劳试验,加载频率为 10Hz,加载波形为半正弦波。

根据实验结果分析,推荐疲劳方程为:

$$N_f = 280\sigma^{-4.5}$$

或
$$\sigma = \left(\frac{280}{N_f} \right)^{1/4.5} = 3.45N_f^{-0.22}$$

令
$$K_s = \frac{\sigma_1}{\sigma_R} = \frac{3.454}{3.454N_f^{-0.22}} = N_f^{0.22}$$

在考虑室内外差异的各种修正后,提出沥青面层抗拉强度结构系数:

$$K_s = 0.09A_g \cdot N_f^{0.22}/A_c$$

式中 A_g 为沥青混合料级配系数,对细、中粒式为 1.0,对粗粒式为 1.1, A_c 为公路等级系数,取值同前。

2. 半刚性基层、底基层的抗拉强度结构系数

课题组通过对水泥稳定砂砾,二灰稳定砂砾的劈裂疲劳试验与弯曲疲劳试验对比,证明劈裂疲劳试验可观测到明显的裂缝发展过程,而梁的疲劳试验却表现为脆性断裂,显示出劈裂疲劳与实际路面的疲劳破坏状态更为接近,这与环道试验所观察的现象是一致的。另外,两种试验方法所获得的疲劳寿命与应力强度比之间存在着双对数关系,同时用单对数表示其相关性也很好。

汇总了近年各单位发表的各种半刚性材料的疲劳方程 21 个，其中小梁疲劳方程 12 个，中梁疲劳方程 3 个，劈裂疲劳 6 个，加载频率由 2.5Hz 至 10Hz。半刚性材料有二灰碎石、二灰砂砾、二灰钢渣、二灰土、二灰砂、水泥碎石、水泥石屑、水泥土、碎石灰土等约 10 种。将 21 个疲劳方程按二灰稳定粒料类、水泥稳定粒料类、稳定土类分别进行整理，统计回归，得到如下疲劳方程：

二灰稳定粒料类： $\lg N_f = 1.741 - 15.786 \lg(\sigma/S)$

水泥稳定粒料类： $\lg N_f = 1.921 - 14.344 \lg(\sigma/S)$

两式合并： $\lg N_f = 1.815 - 15.191 \lg(\sigma/S)$

稳定土类： $\lg N_f = 1.546 - 12.61 \lg(\sigma/S)$

21 个方程综合式： $\lg N_f = 1.762 - 14.728 \lg(\sigma/S)$

将稳定粒料类、稳定土类的疲劳方程绘于图 5，由图可知，二灰稳定粒料类与水泥稳定粒料类的疲劳方程很接近，而稳定土类明显偏低；从 10^6 周期对应的应力强度比 (σ/S) 来看，二灰稳定粒料， $\sigma/S = 0.52$ ，稳定土类， $\sigma/S = 0.443$ ，可见稳定土类与稳定粒料类的疲劳特性有明显差异，因此，半刚性材料的抗拉强度结构系数分别推荐两个公式。

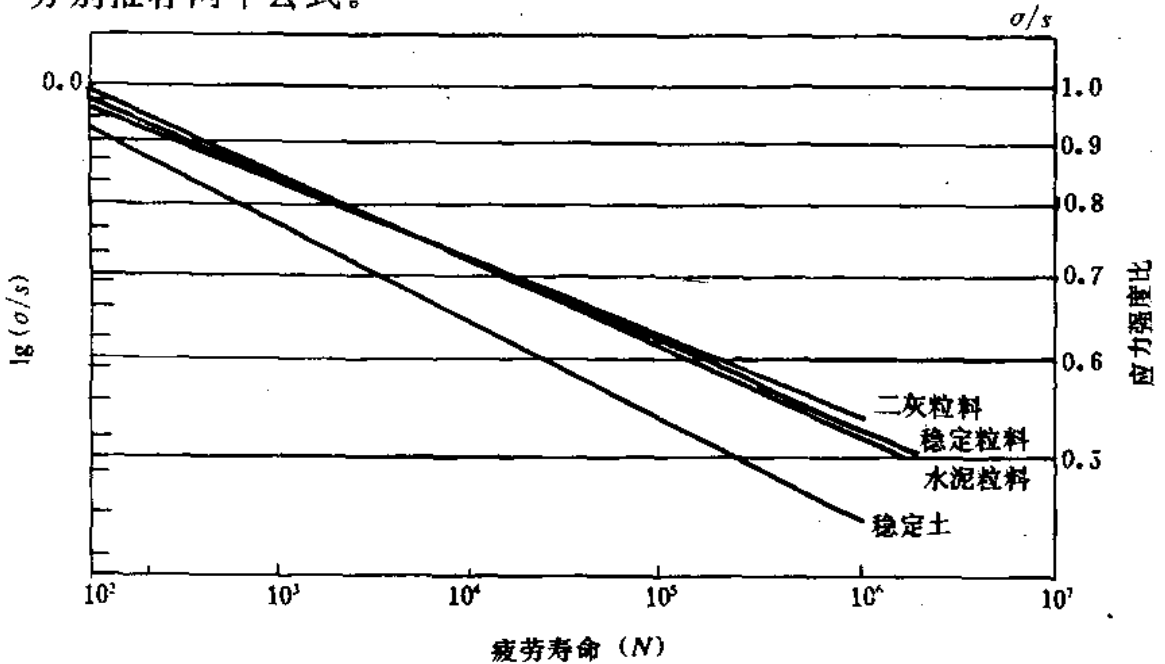


图 5 不同材料组成的双对数疲劳曲线

稳定粒料类 $K_s = 0.35N_c^{0.11}/A_c$

稳定土类 $K_s = 0.45N_c^{0.11}/A_c$

上述推荐式是在回归式的基础上,考虑了裂缝扩展过程、荷载横向分布、不利季节天数等修正,分析不同保证率系数的变化,利用重庆公路所环道试验结果论证而提出的。

7.0.4 路面材料设计参数

原规范中规定弯沉设计时采用材料抗压模量,弯拉应力验算时,验算层以上各层用弯拉模量,验算层以下用抗压模量,易形成计算体系混乱,计算层的拉应力偏大;另外,弯拉模量、弯拉强度的测试方法笨重,测试结果分散性大,导致设计单位不愿做实验而直接套用规范值的情况。因此,本次研究材料设计参数的目的在于力求合理简化,方便使用。

材料模量值是表征材料刚度特性的指标,不同测试方法得出不同数值。目前我国常用的压缩、劈裂、弯拉试验都可作为一种测试手段,但是设计时采用何种模量值应考虑下列因素:①测试方法简便、结果比较稳定;②测得的模量值和强度应较好地反映各种路面材料的真实力学特性;③模量值和强度用于厚度计算时,设计参数应与设计方法相匹配,计算厚度与实际经验相吻合。

采用何种模量与强度作为设计参数,我们进行了认真研讨和分析,在当前以静态参数为前提时,有三种途径可供选择:①建立劈裂参数与弯拉参数之间的关系;②用劈裂模量、劈裂强度作为设计参数;③统一采用圆柱体试件测定抗压回弹模量和劈裂强度,在弯沉指标计算中,沥青混合料用 20℃ 抗压模量,层底拉应力计算时用 15℃ 抗压模量,抗拉强度用劈裂强度代替弯拉强度。

根据实测资料分析认为,第一个途径不太理想,因为不同材料均可得到不同的模量比或强度比,且这些比值随材料的强度和刚度以及混合料本身的变异性而变化。例如,10种半刚性材料的抗压强度与劈裂强度之比(R/σ_{sp})达 6~17 倍,抗压模量与劈裂模量的均值比(E_p/E_{sp})为 1~6 倍;石灰土、二灰碎石、石灰稳定碎石、水泥碎石的弯拉强度与劈裂强度的均值比(S/σ_{sp})为 1.1~2.7

倍,代表值之比为 1.6~2 倍,可见强度比值较稳定。但弯拉模量与劈裂模量之比变化幅度很大,均值比为 3.0~20 倍,代表值之比为 4.6~18 倍;沥青混凝土中粒式的弯拉模量、强度与劈裂模量、强度之比均接近 2 倍,粗粒式为 1.3 倍,其比值较稳定。由此可见,各种材料设计参数对比关系是存在的,但局限性大、重现性有待证实。对某一条公路采用同样的原材料、配合比,施工工艺基本相同的情况下,建立各设计参数的对比关系,以此作为质量管理、质量检验是可行而便捷的方法,若条件变化,随意选用比值计算设计参数则会带来较大误差,故此途径不是解决设计参数的上策。第二途径,弯沉指标和拉应力指标均用劈裂模量计算,拉应力验算时材料强度用劈裂强度。从实测资料分析,抗压参数与劈裂参数的变异性相差不大,多数在 5%~35% 范围内。劈裂试验测定模量值时,因水平变形值小,限于目前测试仪器精度,有时出现较大的变异性,但劈裂强度值较稳定,变异性也多在 25% 以内,因此,为劈裂试验代替弯拉试验测定材料抗拉强度提供了有利条件。实测的劈裂模量值,一般比抗压模量略偏低,但比弯拉模量低很多,同一种材料的劈裂模量变化较大,而抗压模量相对稳定,较好地反映材料的力学特性。因此,我们选择了第三途径,弯沉、拉应力指标均推荐用抗压回弹模量计算,抗拉强度不用梁试件而用圆柱体劈裂试验测定抗拉强度,这样既避免了两种模量的混乱,在测试方法上也得到了简化,并有利施工检验,可钻孔取样检测。

在本次研究工作中,测试了细、中、粗粒式沥青混凝土 20℃、15℃ 的抗压模量与强度,劈裂模量与强度,以及沥青混合料的模量与强度随温度而变化的规律;测试了有代表性的 10 种半刚性基层材料的抗压模量与强度、劈裂模量与强度,获得了不同龄期的模量、强度增长规律、材料的变异性、室内试验与现场测试参数的差异,同时还进一步进行了半刚性材料的时温换算关系的研究,取得了大量数据。

汇总各单位测试结果,将各单位同类材料的平均值测试结果,再计算均值、方差、变异系数,当变异系数大于 25% 时,代表值减 1

~1.645 倍方差,其保证率达 85%~95%;变异系数小于 25%时,代表值为均值减 2 倍方差,保证率达 98%。由于室内制件与现场拌和施工制件存在一定的差异,因此,根据实测室内与现场的折减系数进行修正,除沥青混合料、石灰土的现场试件强度高于室内试件而不予折减外,其他各类材料均将代表值乘以 0.8 左右的折减系数后,提出各种材料的设计参数建议值。

沥青混合料的设计参数与沥青种类、标号、粘度、沥青用量及混合料的级配、空隙率、试验温度、加载方式和加载速度等有关。虽然各地作了很多试件,沥青种类也较多,就某一种沥青的混合料的设计参数而言,资料仍显得不足。希望各单位在路面设计中根据实际采用的沥青和混合料的级配,多做一些实验工作,以积累材料设计参数的资料。表中列出沥青混合料在 20℃、15℃时的抗压模量。由于弯沉值是以 20℃为标准温度,因此,以路面设计弯沉值计算路面结构厚度时,采用 20℃的抗压模量。验算层底拉应力是以 15℃为标准温度,故用 15℃的抗压模量。表列数值一般情况下宜用中值,若沥青性能较差,级配较粗、空隙率较大、施工水平较低宜用低值,反之亦然。

半刚性材料的设计参数,与结合料种类、剂量、混合料的级配、施工质量和水平有关,设计参数的测试与材料龄期有很大关系,表中所列的设计参数的龄期规定为:水泥稳定粒料或细粒土类为三个月,石灰粉煤灰稳定粒料或细粒土类为六个月,石灰稳定类为六个月。鉴于半刚性材料的龄期较长,各单位可通过试验建立典型材料类型的设计参数与不同龄期的增长规律或采用 60℃水浴下快速养生测强方法,以缩短试验周期,加快设计进度。本次试验总结了半刚性基层材料抗压模量与劈裂强度增长规律,以供参考。

7.0.5 路面厚度计算

1. 鉴于计算机技术的普及与广泛运用,本次规范删去简化法,直接采用多层弹性体系理论的精确解编制的 APDS97 专用设计程序进行厚度计算。经专题研究认为,层间接触条件,对拉应力指标采用完全滑动体系计算不合理,只要采取加强层间结合的措

施,可以使层间结合紧密,故计算中应采用层间完全连续接触条件,并增加了拉应力计算点,以求得各层的最大拉应力。

2. 原规范弯沉综合修正公式的资料主要来源于 70 年代,近十多年以来高等级公路多使用水泥稳定碎石(砂砾)、二灰稳定碎石(砂砾)以及水泥石灰综合稳定类材料,路面结构层厚度随交通量增加也增厚,现行弯沉综合修正系数能否反映高等级公路的实际情况,需要予以检验。

(1)综合修正公式形式的选择

在建立弯沉综合修正公式时,应遵循下述三条基本原则:

①弯沉综合修正公式应尽量简单,物理意义明确,所考虑的影响因素应尽可能全面;

②弯沉综合修正公式与弯沉设计指标、材料计算参数、土基模量之间具有依赖关系,三者之间必须相协调、相适应;

③理论弯沉值经 F 修正,所计算出的路面厚度,应与现有公路的实际厚度相接近,与各地的使用经验相吻合。

因此,建立弯沉综合修正公式时,虽然来源于试验路或生产路段,但还需进行必要的分析试算,予以适当的调整。最重要的是,必须经过各地正规施工单位建成的高等级公路验证,证明规律正确,计算厚度基本符合实际,才能认可,提供规范运用。

为了建立半刚性基层沥青路面的弯沉综合修正公式,修建了吉林长农试验路、山西孟县试验路、广西南格试验路、湖北麻城试验路、广东广深高速公路试验路、山东淄川试验路,收集了“七五攻关”的西安试验路等资料进行汇总分析。七条试验路的总长度为 6 252m,共有 49 种路面结构,多为半刚性基层沥青路面,沥青面层有单、双、三层;面层结构有沥青混凝土、沥青碎石,少数为沥青贯入式,其厚度为 5cm~20cm,基层结构有二灰碎石(或砂砾)、水泥碎石(或砂砾)、水泥灰土碎石等,有少数结构在基层上设有级配碎石过渡层;底基层有二灰土、石灰土、级配碎石等。路面总厚度在 49cm~98cm 之间。实测路表弯沉值为 3~88(0.01mm),多数弯沉值为 10~50(0.01mm)。土基模量大多数为 30~100MPa。

①实测弯沉值是指在 BZZ-100 标准轴载作用下测得的弯沉值。采用定点测定值或同一路面结构的平均弯沉值加两倍均方差的代表值；

②土基模量以承载板法、1mm 线性归纳计算的 E_0 值为基础，同时利用土基弯沉值与土基模量之间关系式换算求得的 E_0 值；

③材料模量系采用 95% 保证率的实测抗压模量值，沥青混合料用 20℃ 时的抗压模量值，半刚性材料按规定采用三个月或六个月龄期的模量值；

④路面结构层厚度采用实测值或设计值。

根据上述取值方法，采用实测材料的抗压模量代表值计算各试验路的理论弯沉值 l_L 。

将吉林、山西、广西、湖北、西安、广深等试验路资料，采用第二类综合修正公式进行回归，直接建立实测弯沉值 l_s 与理论弯沉值 l_L 的回归公式得到如下结果：

$$l_s = 0.0841l_L^{0.5182} \quad (\gamma = 0.7135, n = 107)$$

其中剩余标准差 $S = 0.5584$ 。若按两倍剩余标准差舍去六个点后，得到如下回归方程：

$$l_s = 0.0661l_L^{0.58} \quad (\gamma = 0.7724, n = 101)$$

因为 $F = l_s/l_L$ ，故上式可改写为式(13)修正公式，

$$F_2 = 0.066l_L^{0.58} \quad (13)$$

若采用推荐值的抗压模量计算理论弯沉值，再将吉林、山西、湖北、广西、山东、西安、广深等试验路资料进行回归分析，可得式(14)。此式与式(13)较为接近。

$$F_2 = 0.0662l_L^{0.527} \quad (14)$$

$$\therefore F = \frac{l_s}{l_L} = \frac{\alpha_s}{\alpha_L}$$

同样将式(13)在考虑两倍方差之后，可得式(15)。

$$F_3 = 1.8\alpha_L^{0.58} \quad (15)$$

式(15)只能用于路面检验，若要进行路面设计，可将 $\alpha_L = \frac{\alpha_s}{F_3}$ 代入式(15)，则可得式(16)。

$$F = 1.45\alpha_s^{0.37} \quad (16)$$

将原规范的修正公式 $F = 1.47\alpha_s^{0.38}$ 与式(16)对比可知,两式的计算结果很接近。但在其典型结构厚度的试算中,仍然认为土基模量 E_0 的影响稍大。为减小 E_0 对厚度的影响,又提出如下弯沉综合修正公式:

$$F = A \left(\frac{l_s}{d} \right)^b \left(\frac{E_0}{p} \right)^c \quad (17)$$

当 $c < b$ 时,就可减小 E_0 的影响,经分析选取 $b = 0.38$ 、 $c = 0.36$ 并调整系数 A ,得推荐式(18),式中 l_s 以厘米为单位,若以百分之一毫米为单位,则改写为条文中的形式。

$$F = 1.63 \left(\frac{l_s}{d} \right)^{0.38} \left(\frac{E_0}{p} \right)^{0.36} \quad (18)$$

(2) 验证设计方法

根据推荐的弯沉综合修正系数公式,进行了全面的典型结构试算和现有公路的验证工作。根据典型结构的试算可知,本次推荐的沥青路面设计指标和参数,在土基模量较大时,路面厚度不致太薄,且规律性正确,无反常现象。

厚度验算时,收集了 14 个省市、48 条公路、71 个路面结构的资料,其中二级和二级汽车专用公路有 32 个结构,一级公路和高速公路有 49 个结构,虽然不是每个省都有代表性的公路,但约占全国各省市的二分之一,基本能代表我国当前公路的实际状况。

将计算厚度与实际厚度的偏差 Δh 分级统计汇总于表 13。

计算层厚度验算结果汇总 $\left[F = 1.63 \left(\frac{l_s}{d} \right)^{0.38} \left(\frac{E_0}{p} \right)^{0.36} \right]$

表 13 计算厚度与实际厚度的偏差分级统计

偏差 Δh (cm)	$+\Delta h$	$-\Delta h$	合 计	百分数(%)
$\pm 0 \sim 5$	26	24	50	70.4
$\pm 5.1 \sim 10$	14	6	20	28.2
$+10 \sim 12$	1	0	1	1.4
小 计	41	30	71	

用新方法对 71 个路面结构进行验算,将计算厚度与实际厚度

进行比较,路面结构正负偏差在 5cm 以内的占 70.4%,路面结构的正负偏差在 10cm 以内的占 98.6%,路面结构为正偏差的平均值为 4.54cm,均方差为 2.305cm,负偏差的平均值为 3.067cm,均方差为 2.235cm。由此可见,新的沥青路面设计方法和参数是基本符合中国实际,与使用经验基本一致的,并留有余地,具有一定的安全储备,设计人员可根据当地材质、施工优劣、自然因素等实测材料模量或选用推荐值计算,可得到技术可靠、经济合理的设计方案。

7.0.7 路面弯沉值竣工验收

温度修正方法,可按照《公路路基路面现场测试规程》(JTJ 059)中 T095 的规定进行,也可按照下列方法进行修正。

(1)测定时的沥青面层平均温度 T 按下式计算:

$$T = a + bT_0$$

式中: T ——测定时沥青面层平均温度($^{\circ}\text{C}$);

a ——系数, $a = -2.65 + 0.52h$;

b ——系数, $b = 0.62 - 0.008h$;

T_0 ——测定时路表温度与前五小时平均气温之和($^{\circ}\text{C}$);

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:

$$K_3 = \frac{l_{20}}{l_T}$$

式中: l_{20} ——换算为 20°C 时沥青路面的弯沉值(cm);

l_T ——测定时沥青面层内平均温度为 T 时的弯沉值(cm)。

当 $T \geq 20^{\circ}\text{C}$ 时

$$K_3 = e^{(\frac{1}{T} - \frac{1}{20})h}$$

当 $T < 20^{\circ}\text{C}$ 时

$$K_3 = e^{0.002(20-T)h}$$

8 改建路面设计

8.0.5 补强设计步骤

原规范改建路面设计采用了 1978 年科研成果三参数旧路补强经验公式，但随着我国公路事业的发展，旧路补强结构和材料都与当年不同；它不能反映现阶段我国公路改建与补强的实际情况。

如果仍旧采用经验法进行补强设计，将在同一规范中形成两套相互独立的设计方法、指标体系与材料参数。

为了统一新建路面与改建路面的设计体系，本规范将传统的补强设计的经验法改成了以弹性层状体系理论为基础的理论设计法，并与新建路面采用了相同的设计标准、设计指标与材料参数。

8.0.8 不同轴载弯沉值换算

1987 年的规范采用了 BZZ-100 与 BZZ-60 两种标准轴载，而在本规范中，仅采用了 BZZ-100 一种标准轴载，因此，在进行弯沉检测时，应将非标准轴载下的检测结果全部换算为 BZZ-100 标准轴载下的弯沉值。该式是根据理论计算和在现有公路上进行不同轴载作用下的弯沉对比测定结果获得的。

8.0.9 各路段的计算弯沉值

在确定各路段计算弯沉的公式时，考虑到旧路面的弯沉值离散性较大，如采用原规范中的保证率，许多情况下不能反映旧路面实际强度状况，因此，参照《公路工程质量检验评定标准》(JTJ 071-94)关于沥青路面弯沉值评定的有关规定，对保证率系数进行了调整。

对于季节影响系数和湿度系数，近年来未统一进行新的调研工作，若各地区有实测资料可采用本地区调查成果；若没有新的调

查资料,仍可参考季节影响系数表 14 和湿度系数表 15。

表 14 季节影响系数 K_1

自然 区划	省市 名称	路面 类型	路基干 湿类型	K_1 建 议 值				附 注
				春 融	干 季	雨 季	冻 前	
II ₁	辽 宁	砂石	干中湿	1.0	1.2~1.4	1.1~1.2	1.05~1.15	东 北 片 区 春 融 一 般 指 4~5 月 中 旬, 干 季 指 5 月 中 旬 ~7 月 中 旬, 或 9 月 ~10 月, 雨 季 指 7 月 中 旬~9 月 末, 冻 前 指 11 月 比 辽 宁 黑 龙 江 晚 半 个 月。
				1.0	1.5~1.6	1.3~1.4	1.2~1.3	
				1.0	1.8~1.9	1.7~1.8	1.6~1.7	
	吉 林	砂石	干中湿	1.0	1.2~1.3	1.1~1.2	1.05~1.15	
				1.0	1.3~1.4	1.2~1.3	1.1~1.2	
				1.0	1.5~1.6	1.3~1.4	1.2~1.3	
黑 龙 江	沥青	干中湿	1.0	1.55~1.65				
			1.0	1.25				
II ₂	黑 龙 江	砂石		1.0	1.5~1.65			
				1.0	1.4~1.5			
	吉 林	砂石		1.0	1.3			
				1.0	1.54			
II _{2a}	辽 宁	砂石	干中湿	1.0	1.3~1.4	1.2~1.3	1.1~1.2	
				1.0	1.5~1.6	1.4~1.5	1.3~1.4	
				1.0	1.9~2.0	1.8~1.9	1.6~1.7	
	吉 林	砂石	干中湿	1.0	1.2~1.3	1.1~1.2	1.05~1.15	
				1.0	1.4~1.5	1.3~1.4	1.2~1.3	
				1.0	1.8~1.9	1.7~1.8	1.5~1.6	
II ₃	辽 宁	砂石	干中湿	1.0	1.3~1.4	1.2~1.3	1.1~1.2	
				1.0	1.2~1.3	1.1~1.2	1.05~1.15	
				1.0	1.3~1.4	1.2~1.3	1.15~1.2	
	吉 林	砂石		1.0				
				1.0	1.25~1.5			
				1.0				
黑 龙 江	砂石		1.0	1.4(黄土)				
			1.0	1.2~1.4(碱土)				
II _{4b}	辽 宁	砂石	干中湿	1.0	1.3~1.4	1.2~1.3	1.1~1.2	
				1.0	1.4~1.5	1.3~1.4	1.2~1.3	
				1.0	1.5~1.6	1.4~1.5	1.3~1.4	

续上表

自然 区划	省市 名称	路面 类型	路基干 湿类型	K ₁ 建 议 值				附 注
				春 融	干 季	雨 季	冻 前	
II _{4b}	辽 宁	沥青	干中湿	1.0	1.2~1.3	1.1~1.2	1.0~1.15	
				1.0	1.3~1.4	1.2~1.3	1.1~1.2	
				1.0	1.4~1.6	1.3~1.4	1.2~1.3	
II ₄	天 津	沥青	中湿	1.0	1.15	1.10	1.05	
				1.0	1.25	1.15	1.10	
	山 东	砂石	干中湿	1.0	1.3~1.5	1.2~1.4	1.1~1.3	
				1.0	1.6~1.9	1.3~1.5	1.2~1.4	
				1.0	1.2~1.4	1.1~1.3	1.0~1.1	
		沥青	干中湿	1.0	1.2~1.4	1.1~1.3	1.0~1.2	
				1.0	1.3~1.5	1.2~1.4	1.1~1.3	
				1.0	1.1~1.4	1.1~1.3	1.0~1.1	
	河 北	砂石	干中湿	1.0	1.1~1.25		1.0~1.15	
				1.0	1.25~1.5		1.2~1.35	
				1.0	1.15~1.35		1.15~1.30	
			沥青	干	1.0	1.1~1.4		
II ₅	河 南	沥青	中	1.0	1.3~1.5	1.2~1.3	1.1~1.2	
II _{5a}	山 东	砂石	干中湿	1.0	1.2~1.4	1.0~1.2	1.0~1.1	
				1.0	1.5~2.0	1.2~1.3	1.1~1.2	
				1.0	1.2~1.5	1.0~1.2	1.0~1.1	
	沥青	干中湿	1.0	1.1~1.3	1.0~1.2	1.0~1.1		
			1.0	1.4~1.7	1.2~1.5	1.1~1.2		
			1.0	1.1~1.4	1.1~1.3	1.0~1.1		
III ₁	山 西	砂石	干中湿	1.0	1.1~1.2	1.05~1.15	1.0~1.1	
				1.0	1.2~1.3	1.1~1.2	1.05~1.15	
				1.0	1.1~1.2	1.05~1.15	1.0~1.1	
	沥青	干中湿	1.0	1.0~1.3	1.1~1.4	1.1~1.2		
			1.0	1.0~1.5	1.2~1.8	1.1~1.4		
			1.0	1.1~1.4	1.2~1.5	1.1~1.3		
III ₂	甘 肃	砂石	干中	1.0~1.1	1.1~1.3	1.3~1.5	1.2~1.3	
				1.0~1.2	1.2~1.5	1.5~1.7	1.2~1.4	
		沥青	干中	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~1.4	1.1~1.2	
				1.0~1.2	1.2~1.3	1.3~1.5	1.1~1.3	

自然 区划	省市 名称	路面 类型	路基干 湿类型	K ₁ 建 议 值				附 注	
				春 融	干 季	雨 季	冻 前		
III ₃	甘 肃	砂石	干中	1.0~1.2	1.2~1.4	1.4~1.7	1.2~1.4		
				1.0~1.2	1.2~1.4	1.4~2.0	1.2~1.5		
		沥青	干中	1.0~1.1	1.1~1.3	1.3~1.5	1.1~1.3		
				1.0~1.1	1.1~1.3	1.3~1.7	1.2~1.4		
III ₄	陕 西 河 南 山 西	沥青	干中湿	1.0	1.1~1.15	1.0~1.1	1.0~1.1		
				1.0	1.3~1.5	1.2~1.3	1.2~1.3		
				1.0	1.2~1.4	1.1~1.2	1.1~1.2		
VI ₁	内 蒙 古	砂石	干中湿	1.0	1.2~1.35	1.1~1.2	1.05~1.1		* * * *
				1.0	1.3~1.6	1.3~1.4	1.2~1.3		
				1.0	1.3~1.45	1.2~1.3	1.1~1.2		
		沥青	干中湿	1.0	1.4~1.6	1.7~1.9	1.1~1.2		
				1.0	1.6~1.8	1.7~1.9	1.2~1.4		
				1.0	1.4~1.7	1.6~1.8	1.2~1.3		
VI ₁	宁 夏	砂石	干	1.0~1.2	1.1~1.2	1.2~1.3	1.1~1.2		
				(1.0~1.3)	(1.3~1.5)	(1.2~1.4)	(1.2~1.3)		
				(1.0~1.2)	(1.1~1.2)	(1.2~1.4)	(1.1~1.3)		
		沥青	干	1.0~1.2	1.5~1.7	1.7~1.9	1.5~1.7		
				(1.0~1.4)	(1.4~1.8)	(1.8~2.0)	(1.4~1.8)		
				(1.0~1.2)	(1.5~1.7)	(1.7~1.9)	(1.5~1.7)		
VI ₂	宁 夏	砂石	干	1.0~1.2	1.2~1.5	1.2~1.4	1.1~1.3		
				(1.0~1.3)	(1.3~1.6)	(1.2~1.5)	(1.2~1.4)		
				(1.0~1.3)	(1.3~1.6)	(1.2~1.5)	(1.2~1.4)		
		沥青	干	(1.0~1.1)	(1.1~1.2)	(1.2~1.3)	(1.1~1.2)		
				1.0~1.2	1.3~1.6	1.2~1.5	1.1~1.3		
				(1.0~1.2)	(1.2~1.5)	(1.1~1.3)	(1.1~1.3)		
VI _{1a}	宁 夏	砂石	干中湿	1.0~1.1	1.1~1.3	1.1~1.2	1.0~1.1	* *	
				1.0~1.3	1.3~1.6	1.2~1.5	1.1~1.3		
				1.0~1.2	1.2~1.4	1.1~1.3	1.0~1.2		
		沥青	干中湿	1.0~1.1	1.1~1.45	1.8~1.9	1.5~1.6		
				1.0~1.3	1.3~1.6	1.2~1.5	1.1~1.3		
				1.0~1.1	1.1~1.2	1.4~1.7	1.4~1.5		

续上表

自然 区划	省市 名称	路面 类型	路基干 湿类型	K ₁ 建 议 值				附 注	
				春 融	干 季	雨 季	冻 前		
VI ₂	甘 肃	砂石	干 中 湿	1.0~1.3	1.3~1.5	1.2~1.8	1.2~1.4	农灌区 盐渍区 农灌区 盐渍区	
				1.0~1.4	1.4~1.6	1.5~2.3	1.7~2.1		
			{ 1.0~1.4	1.4~1.6	1.6~2.0	1.5~1.8			
			{ 1.4~1.8	1.0~1.4	1.8~2.6	1.6~1.9			
		过湿	{ 1.4~2.0	1.0~1.4	2.5~5.0	1.5~3.0			
			{ 1.6~2.5	1.0~1.6	3.0~5.5	2.0~4.0			
			沥青	干 中 湿	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~1.3		1.1~1.2
					1.0~1.2	1.2~1.4	1.4~1.8		1.2~1.5
{ 1.0~1.2	1.2~1.3	1.3~1.7		1.2~1.4					
{ 1.2~1.3	1.0~1.2	1.2~1.4		1.1~1.2					
VI ₂	新 疆	砂石	干 中 湿	1.0	1.1~1.3	1.3~1.5	1.2~1.4	*	
				1.0~1.3	1.2~1.4	1.2~1.3	1.1~1.2		
				1.0~1.2	1.2~1.4	1.2~1.4	1.2~1.3		
		沥青	干 中 湿	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~1.4	1.2~1.3		
				1.0~1.2	1.2~1.4	1.1~1.2	1.1~1.2		
				1.0~1.1	1.1~1.3	1.2~1.3	1.2~1.3		
VI ₄	新 疆	砂石	干 中 湿	1.0	1.1~1.2	1.05~1.2	1.1~1.2	*	
				1.0	1.1~1.2	1.05~1.15	1.2~1.3		
				1.0	1.05~1.2	1.1~1.2	1.1~1.25		
		沥青	干 中 湿	1.0	1.1~1.2	1.1~1.2	1.2~1.3		
				1.0	1.25~1.3	1.1~1.2	1.2~1.25		
				1.0	1.2~1.25	1.05~1.15	1.1~1.2		
VI _{4a}	新 疆	砂石	干 中 湿	1.0	1.5~1.7	1.3~1.4	1.8	*	
				1.0	1.65~1.9	1.5~1.7	1.7~1.9		
				1.0	1.6~1.8	1.4~1.5	1.6~1.8		
		沥青	干 中 湿	1.0	1.4~1.6	1.2~1.3	1.4~1.7		
				1.0	1.5~1.8	1.4~1.6	1.6~1.8		
				1.0	1.4~1.7	1.3~1.4	1.5~1.7		
VI _{4b}	新 疆	砂石	干 中 湿	1.0	1.1~1.3	1.2~1.4	1.0~1.2	*	
				1.0	1.4~1.5	1.3~1.4	1.0~1.2		
				1.0	1.3~1.4	1.2~1.3	1.0~1.1		
		沥青	干 中 湿	1.0	1.1~1.2	1.05~1.1	1.0~1.1		
				1.0	1.3~1.4	1.2~1.3	1.0~1.1		
				1.0	1.2~1.3	1.1~1.2	1.0~1.1		

自然 区别	省市 名称	路面 类型	路基干 湿类型	K ₁ 建 议 值				附 注
				春 融	干 季	雨 季	冻 前	
VII ₁	青 海	砂石	干中湿	1.0~1.2	1.0~1.1	1.0~1.2	1.2~1.4	
				1.0~1.5	1.0~1.2	1.2~1.5	1.5~2.0	
				1.0~1.2	1.0~1.1	1.0~1.1	1.1~1.3	
		沥青	干中湿	1.0~1.2	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~1.4	
				1.0~1.4	1.1~1.2	1.2~1.4	1.4~1.8	
				1.0~1.2	1.1~1.2	1.1~1.3	1.3~1.5	
VII ₆	西 藏	砂石	干中湿	1.1~1.4	1.2~1.5	1.0~1.2	1.1~1.2	*
				1.2~1.65	1.4~1.7	1.0~1.33	1.17~1.23	*
				1.2~1.5	1.3~1.6	1.0~1.25	1.1~1.2	*
		沥青	干中湿	1.1~1.3	1.1~1.4	1.0~1.1	1.1~1.2	*
				1.2~1.5	1.3~1.6	1.0~1.2	1.1~1.2	*
				1.1~1.4	1.2~1.5	1.0~1.15	1.1~1.3	*
VII _{6a}	西 藏	砂石	干中湿	1.15~1.2	1.05~1.1	1.0~1.2	1.0~1.1	*
				1.25~1.35	1.2~1.25	1.0~1.3	1.0~1.25	*
				1.2~1.3	1.1~1.2	1.0~1.25	1.0~1.2	*
		沥青	干中湿	1.28	1.23	1.0~1.33	1.17	
				1.2~1.3	1.15~1.2	1.1~1.3	1.0~1.05	
				1.2~1.3	1.1~1.2	1.0~1.3	1.0~1.05	*
VII ₂	青 海	砂石	干中湿	1.0~1.2	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~1.4	
				1.0~1.4	1.0~1.2	1.2~1.4	1.4~1.8	
				1.0~1.3	1.0~1.1	1.1~1.3	1.3~1.5	
		沥青	干中湿	1.0~1.1	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~1.4	
				1.0~1.2	1.0~1.1	1.1~1.3	1.3~1.5	
				1.0~1.1	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~1.4	
VII ₃	青 海	砂石	干中湿	1.0~1.2	1.0~1.1	1.0~1.2	1.2~1.4	
				1.0~1.5	1.0	1.0~1.4	1.4~1.6	
				1.0~1.2	1.0~1.1	1.0~1.1	1.1~1.3	
		沥青	干中湿	1.0~1.1	1.1~1.2	1.0~1.1	1.1~1.2	
				1.0~1.5	1.1~1.3	1.2~1.4	1.2~1.5	
				1.0~1.3	1.1~1.2	1.0~1.2	1.2~1.3	
VII ₄	青 海	砂石	干中湿	1.05~1.2	1.0~1.1	1.0~1.3	1.1~1.8	*
				1.0~1.45	1.0	1.0~1.6	1.2~2.0	
				1.05~1.16	1.13	1.0~1.22	1.11	
		沥青	干中湿	1.05~1.1	1.2~1.4	1.0~1.1	1.74	
				1.0	1.1~1.3	1.0~1.05	1.32	
				1.05~1.15	1.2~1.3	1.0~1.1	1.2~1.3	

续上表

自然区划	省市名称	路面类型	路基干湿类型	K ₁ 计算值			附注
IV ₁ IV _{1a}	江苏	砂石		$K_1 = 1.65 - 0.78 \overline{w_x}$ $K_1 = 2.04 - 1.24 \overline{w_x}$			粉性土 粘性土
IV ₃	江西	砂石	干中湿	$K_1 = 1.284 - 0.065 k_w$ $K_1 = 1.326 - 0.082 k_w$ $K_1 = 1.212 - 0.04 k_w$			
IV ₄ IV _{6a}	福建	砂石		$K_1 = 1.96 - 1.15 \overline{w_x}$ $K_1 = 2.16 - 1.30 \overline{w_x}$			填土高 > 1.5m 填土高 < 1.5m
IV ₅	江西	砂石	干 中 湿	$K_1 = 1.269 - 0.025 k_w$ 或 $K_1 = 2.057 - 0.0191 \overline{w_x}$ $K_1 = 1.34 - 0.028 k_w$ 或 $K_1 = 3.814 - 0.0386 \overline{w_x}$ $K_1 = 1.418 - 0.046 k_w$ 或 $K_1 = 3.504 - 0.0387 \overline{w_x}$			
IV ₆	江西	砂石	中湿	$K_1 = 1.342 - 0.061 k_w$ $K_1 = 1.609 - 0.105 k_w$			
自然区划	省市名称	路面类型	路基干湿类型	K ₁ 建议值			附注
				不利	过渡	干燥	
IV ₃	湖南	砂石	干中湿	1.0	1.3	1.4	用于粘性土土基
				1.0	1.5	1.6	
	1.0	1.3		1.4			
IV ₅			干中湿	1.0	1.4	1.5	用于粉性土土基
				1.0	1.6	1.8	
				1.0	1.4	1.5	
IV ₅	湖南	沥青	干中湿	1.0	1.10	1.20	用于粘性土土基
				1.0	1.20	1.30	
				1.0	1.15	1.25	
			干中湿	1.0	1.20	1.30	用于粉性土土基
				1.0	1.30	1.40	
				1.0	1.25	1.35	
IV ₄	浙江	砂石	干中湿	1.0	1.05~1.15	1.2~1.4	
				1.0	1.0~1.10	1.15~1.35	
				1.0	—	—	
		沥青	干中湿	1.0	1.1~1.35	1.15~1.60	
				1.0	1.0~1.1	1.1~1.2	
				1.0	—	—	

续上表

自然 区划	省市 名称	路面 类型	路基干 湿类型	K ₁ 建 议 值			附 注		
				不 利	过 渡	干 燥			
IV ₂	安 徽	砂石	干 中 湿	1.0~1.05	1.1~1.2	1.2~1.3			
				1.0~1.05	1.15~1.25	1.25~1.35			
				1.0~1.05	1.1~1.2	1.2~1.3			
		沥青	干 中 湿	1.0~1.05	1.1~1.2	1.2~1.3			
				1.0~1.05	1.25~1.35	1.35~1.45			
				1.0~1.05	1.15~1.25	1.25~1.35			
IV ₇	广 东	砂石	干 中 湿	1.0	1.1~1.3	1.25~1.45	用于粉性土		
				1.0	1.2~1.4	1.4~1.6			
				1.0	1.2~1.4	1.3~1.5			
IV _{6.9}	广 东	砂石	干 中 湿	1.0	1.1*	1.2	砂性土		
				1.0	1.1*	1.2*			
				1.0	1.1*	1.2*			
			沥青	干 中 湿	1.0	1.1~1.2	1.1~1.3	粉性土	
					1.0	1.1~1.2	1.1~1.3		
					1.0	1.1~1.2	1.1~1.3		
		砂石	干 中 湿	1.0	1.1~1.2	1.1~1.3	粘性土		
				1.0	1.1~1.3	1.2~1.4			
				1.0	1.1~1.3	1.2~1.4			
		V ₂	四 川	砂石	干 中 湿	1.0	1.05~1.15	1.3~1.4	粉性土
						1.0	1.05~1.15	1.5~1.6	
						1.0	1.05~1.15	1.6~1.75	
砂石	干 中 湿			1.0	1.05~1.55	1.15~1.25	粘性土		
				1.0	1.05~1.55	1.3~1.4			
				1.0	1.05~1.55	1.2~1.3			
V ₃	贵 州	砂石		1.0~1.10	1.10~1.30	1.20~1.40	稻田地带		
				1.0~1.05	1.05~1.15	1.15~1.30	非稻田地带		
		沥青		1.0~1.10	1.10~1.30	1.20~1.40	稻田地带		
				1.0~1.15	1.1~1.25	1.15~1.30	非稻田地带		
V ₄	四 川	砂石	干 中 湿	1.0	1.05~1.15	1.3~1.4	粘性土		
				1.0	1.05~1.15	1.5~1.6			
				1.0	1.05~1.15	1.4~1.5			

续上表

自然 区划	省市 名称	路面 类型	路基干 湿类型	K ₁ 建 议 值			附 注
				不 利	过 渡	干 燥	
V ₄	云 南	砂石	干 中 湿	1.0	1.1	1.2~1.3	粘性土
				1.0	1.1~1.3	1.4~1.6	
				1.0	1.1~1.2	1.1~1.2	
V ₅	云 南	砂石	干 中 湿	1.0	1.1	1.2~1.3	粉性土
				1.0	1.1~1.2	1.3~1.6	
				1.0	1.1~1.2	1.1~1.2	
		沥青	干 中 湿	1.0	1.1	1.2~1.3	粉性土
				1.0	1.1	1.2~1.4	
				1.0	1.1~1.2	1.1~1.2	
V _{5a}	云 南	砂石	干 中 湿	1.0	1.1	1.2~1.3	粘性土
				1.0	1.1~1.2	1.3~1.4	
				1.0	1.1~1.2	1.1~1.2	
		沥青	干 中 湿	1.0	1.1	1.2~1.3	粘性土
				1.0	1.1	1.2~1.4	
				1.0	1.1~1.2	1.1~1.2	

注：* 为推算值。

表 15 湿度影响系数 K₁ 建议值

自然区划	路基干湿 类 型	路面材料水稳性		附 注
		好	差	
III ₁	干	1.00	1.00~1.10	
	中	1.10~1.20	1.10~1.30	
	湿	1.20~1.40	1.35~1.50	
III ₂	干	(1.00~1.10)	1.10~1.15	
	中	1.10~1.30	1.15~1.35	
	湿	1.30~1.50	1.35~1.55	
III ₃	干	(1.00~1.15)	1.10~1.20	
	中	(1.15~1.35)	1.20~1.40	
	湿	1.35~1.55	1.40~1.60	

自然区划	路基干湿类型	路面材料水稳性		附注
		好	差	
VI ₁ VI _{1a}	干	1.00~1.10	1.10~1.20	在内蒙古建议值和宁夏实测值基础上调整
	中	1.10~1.20	1.20~1.30	
	湿	1.20~1.40	1.30~1.50	
VI ₂	干	(1.00~1.20)	1.10~1.25	
	中	1.20~1.40	1.25~1.50	
	湿	1.40~1.60	1.50~1.70	
VII ₄	干	1.00~1.10	1.10~1.20	根据西藏实测值及青藏公路科研组建议值综合提出
	中	1.10~1.20	1.20~1.30	
	湿	1.20~1.30	1.30~1.40	

注：括号内数值为推算值。

8.0.10 原路面当量回弹模量的计算

用承载板试验确定旧路面当量回弹模量的方法比较复杂,不便进行大量检测,若测点太少,检测结果又很难具有代表性。因此,本规范推荐弯沉测定结果反算原路面当量回弹模量的方法。原路面当量回弹模量计算公式是根据刚性承载板下弯沉与弹性模量的理论公式推导出来的。

根据弹性半空间理论,刚性承载板下的弯沉 L 与弹性模量 E 、泊松比 μ 、平均触地压力 p 及承载板直径 D 之间有如下关系:

$$E = \frac{\pi}{4} \times \frac{pD}{L} (1 - \mu^2)$$

如承载板的传压面积与双轮荷载的传压面积相等时,则有:

$$\frac{\pi D^2}{4} = 2 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)$$

即:

$$D = \sqrt{2} d$$

式中, d 表示标准轴载下轮胎的传压面直径。按照半刚性材料和土基平均值将泊松比取为 0.3 得:

$$E \approx \frac{pd}{L} = \frac{2p\delta}{L}$$

当双轮胎与承载板的接地压力及传压面积相同时,令轮测弯沉与板测弯沉之比为 $m_1 = l/L$,在计算层底拉应时引入一个旧路面当量回弹模量增大系数 m_2 ,并按照本规范的规定取用量纲即可得(8.0.10-1)式。

1. 关于 m_1

m_1 的定义是轮胎接地压强及承载板压强相同时,轮测弯沉与板测弯沉之比,一般情况下,应通过在旧路面上进行对比试验确定。

80年代中期,交通部公路研究所曾在广西玉林地区做过承载板弯沉 L 与轮测弯沉 l 对比试验,并得到如下统计关系:

$$L = 0.86l^{1.013}$$

按上式算得的 m_1 如表 16 所示。

表 16 轮板弯沉值对比

轮测 l_0	50	60	70	80	100	150	200	250	300
板测 L	45.2	54.4	63.2	72.8	91.3	137.7	184.3	231	278
m_1	1.11	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09	1.09	1.08	1.08

从表 16 可以看出:在一个相当大的范围内, m_1 均十分接近 1.1。故在没有对比资料的情况下,推荐 m_1 取值为 1.1。

2. 关于 m_2

本规范规定旧路补强设计仍然以设计弯沉为厚度设计的控制指标,用整体性材料补强时,层底面的拉应力验算应考虑原路面当量模量的扩大系数 m_2 。

在水泥混凝土路面设计中,以承载板测定土基与基层的综合模量,再计算混凝土板底拉应力。将计算值与实测拉应力对比,发现该综合模量应乘以 m_2 的系数。根据当时实测对比得到下式:

$$m_2 = e^{0.05H}$$

式中: H ——板的厚度(cm)。

若将该式引入旧路补强设计,应考虑补强层(半刚性基层或沥青层)的模量与水泥混凝土不同,如补强层模量为 E_{n-1} ,厚度为

h' , 水泥混凝土模量平均以 30 000MPa 计, 则得

$$m_2 = e^{0.05A'} \left(\frac{E_{n-1}}{30\,000} \right)^{0.25} = e^{0.003\,8A'} (E_{n-1})^{0.25}$$

当标准轴载轮压半径 $\delta = 10.65\text{cm}$, 接地压强 $p = 0.7\text{MPa}$ 时,

$$m_2 = e^{0.037 \times \frac{A'}{\delta}} \left(\frac{E_{n-1}}{p} \right)^{0.25}$$

补强层为多层时

$$h' = \sum_{i=1}^{n-1} h_i \left(\frac{E_i}{E_{n-1}} \right)^{0.25}$$

式中: h_i 、 E_i ——各补强层厚度与抗压模量;

E_{n-1} ——与原路面接触的补强层的抗压模量;

《城市道路设计规范》(CJJ 37—90)中,是考虑城市补强一般为沥青混凝土,并取弯拉模量为 3 000MPa,因此,得到下式:

$$m_2 = e^{0.003\,8A'} (3\,000)^{0.25} = e^{0.028A'} = e^{0.3A'/\delta}$$

如沥青混凝土抗压模量以 1 500MPa 计,则得到下式:

$$m_2 = e^{0.003\,8A'} (1\,500)^{0.25} = e^{0.0236A'} = e^{0.25A'/\delta}$$

但是,这样的公式仅适合于补强层为沥青混凝土的情况,实际上在原公路等级较低的情况下补强时,也可能出现多层补强,如补半刚性基层和沥青面层,这样上述公式就不适用了,因此公式中不宜固定材料模量,故建议采用下式:

$$m_2 = e^{0.037A'/\delta} \left(\frac{E_{n-1}}{p} \right)^{0.25}$$

$$h' = \sum_{i=1}^{n-1} h_i \left(\frac{E_i}{E_{n-1}} \right)^{0.25}$$

3. 旧路面弯沉综合修正系数

弯沉综合修正系数反映了因土基的非线性性质、层间结合条件及所选取的计算模型等多种因素引起的理论弯沉值与实际弯沉值之间的偏差。在进行补强设计时,由多层结构组合而成的原路面结构被等效为一均质的弹性半空间体;而在新建路面设计时,不同材料的结构层均被视为独立的结构层次。可见,两种情况下的计算

模型有所区别,因此,严格地讲,就旧路补强而言,弯沉综合修正系数不能简单地套用新建路面的计算公式。

在本规范的修订过程中,我们收集了江西省 51 个补强设计路段的有关资料,通过对比分析补强后路表的实测弯沉与计算弯沉,通过回归得到下式所示的旧路补强弯沉综合修正系数:

$$F' = 2.1 \left(\frac{l_s}{2\delta} \right)^{0.41} \left(\frac{E_0}{p} \right)^{0.34}$$

将上式的弯沉综合系数修正 F' 与新建路面设计中的 F 值进行对比,其结果见表 17。

表 17 弯沉综合修正系数 F' 与 F 的比值

E_0 (MPa)	$l_d(0.01\text{mm})$				
	20	40	60	80	100
20	0.977	0.998	1.010	1.019	1.026
40	0.964	0.984	0.996	1.005	1.012
60	0.956	0.976	0.988	0.997	1.004
80	0.951	0.971	0.983	0.991	0.998
100	0.947	0.966	0.978	0.987	0.993
120	0.943	0.963	0.975	0.983	0.990
140	0.940	0.960	0.972	0.980	0.987
160	0.938	0.957	0.969	0.977	0.984

由表中数值可以看出, F' 与 F 的偏差不超过 6%, 故为了尽可能地统一新建路面与旧路补强的设计方法, 最终将弯沉综合修正系数的计算公式统一取用式 7.0.5-3。

8.0.11 补强厚度的计算

为了验证本规范所提出的补强设计方法与标准是否合理, 我们假设原路面的计算弯沉分别为 40、60、80、120、160、200、240、280、320(0.01mm), 设计年限内标准轴载的累计当量轴次分别为 2×10^5 、 5×10^5 、 1×10^6 、 2×10^6 、 5×10^6 、 1×10^6 、 2×10^6 , 选用三种不同的补强方案(单层补强, 双层补强和三层补强), 然后采用专用

计算机设计程序分别对各种可能组合进行试算。试算结果表明,新的补强设计标准相对于原标准略有提高,但所得到的设计厚度是合理的。

对高速公路、一级公路上的路面改建,一般应考虑加铺沥青混合料,不宜再加半刚性基层,对三级公路、二级公路应视旧路的外观状况、弯沉值大小拟定不同的补强层方案,进行补强设计。

9 其他路面工程

9.1 水泥混凝土桥面铺装

桥面铺装是新增加的章节,增加的原因如下:一是近年来桥面铺装出现开裂、剥落、坑槽等破坏现象较多,引起人们的重视,特别是特大桥梁增多,以及大跨径钢桥或钢筋混凝土板与钢梁组合而成的叠合梁桥的修建,使桥面铺装技术的研究成为一个重要课题;二是现行规范中桥面铺装设计还是空白,桥面设计无章可循,导致桥面设计各行其是;三是《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032)已增加了桥面铺装内容,因此,本规范根据现有资料对水泥混凝土桥面铺装的主要内容加以规定,有的内容还有待今后进一步补充。由于桥面铺装的研究工作尚不够深入,钢桥面铺装研究刚刚开始,因此,钢桥面铺装尚未纳入规范,有待通过科研和实践总结钢桥面铺装方面的内容。

9.3 中、低级路面

原规范中三级公路的路面为次高级路面和中级路面,根据调查统计资料,目前我国三级公路基本实现黑色化,中级路面主要用于四级公路和等外公路,因此,本规范规定三级公路为次高级路面,四级公路可用中级路面。中级路面,一般仍采用泥结碎石,级配碎(砾)石、天然砂砾等低价地方材料。鉴于偏远山区、丰产石料的地方,如云南省在三、四级公路上修建了一些半整齐块石或不整齐块石路面取得较好的经济效果,因此,本规范补充了这一传统的路面结构类型。该类型结构的设计、施工方法,云南省公路科学研究所作了专题研究,可参考该研究报告进行。