

JTG

中华人民共和国行业标准

JTG D50—2004

公路沥青路面设计规范

Specifications for Design of Highway

Asphalt Pavement

(讨论用报批稿)

2004— — 发布

2004 - - 实施

中华人民共和国交通部发布

中华人民共和国行业标准

公路沥青路面设计规范

Specifications for Design of Highway

Asphalt Pavement

JTG D 50-2004

主编部门：中交公路规划设计院

批准部门：中华人民共和国交通部

实施日期：2004.

人民交通出版社

关于 JTGD50-2004<沥青路面设计规范>征求意见稿

反馈意见处理

前 言

根据交通部交公路发(1999)739号“关于下达1999年度公路建设标准、规范、定额等编制、修订工作计划的通知”，由中交公路规划设计院负责主编，会同有关院校、科研、设计单位组成编制工作组，共同完成修订工作。

《公路沥青路面设计规范 JTJ014—97》颁布以来，对提高公路沥青路面设计和施工质量，发挥了重大作用，并在工程实践中，累积了宝贵的新经验，涌现了一些新材料、新结构、新工艺和新的科研成果。编制工作组，在调查研究和收集资料的基础上，开展了大粒径沥青碎石和沥青路面设计指标的专题研究，修建了多条试验路和实体工程，吸收了近期的科研成果和实践经验，向部分设计、科研、施工单位征求意见、经反复修改，提出报批稿。

修订后的新规范，共有11章、7个附录。修订的主要内容有：(1)为了加强设计人员的材料调查工作，严格原材料的规格和质量，减少因材料不符合要求而变更设计，强调了对材料技术要求；(2)为了减少水损害，在沥青混合料设计和结构设计中，规范修改了有关内容，并采取了一系列中的技术措施；(3)过去我国的路面结构几乎都是半刚性基层沥青路面结构，但是，我国地域广、气候差异大、经济发展与交通量、交通组成也很悬殊，统一的结构难以适应各地区的不同需求，因此，本次规范修订除完善半刚性基层沥青路面的设计方法外，还对混合式基层、贫混凝土基层、柔性基层的沥青路面设计方法做了相应的补充，调整了有关设计参数。(4)对半刚性基层级配进行了调整，增加了大粒径沥青碎石等柔性基层和贫砼基层的设计内容。(5)近年来，有的高速公路面临维修、大修或改建，补充了大修或改建的设计内容；(6)为适应旧水泥砼板加铺沥青层设计的需要，增加了相关的设计内容。(7)对沥青混合料的热稳定性、水稳定性、低温抗裂性等进行修改和补充，增加了对半刚性材料基层的抗冻性以及抗冻设计。这次修订内容较多，期望设计人员在理解规范条文的基础上，结合本地实际情况，精心设计、

精心施工，使我国沥青路面的工程质量有明显的进步。

本规范的编制工作得到国内知名专家和科研、设计、施工单位工程技术人员的关心和帮助，在专题研究中得到了有关协作单位的大力支持与配合，在此表示衷心感谢，并希望大家在运用规范过程中，注意总结经验，积累资料，随时将对规范意见和建议，寄至中交公路规划设计院。

主编单位：中交公路规划设计院

参编单位：哈尔滨工业大学

长安大学

江苏省交通科学研究院

四川省交通厅公路规划勘察设计研究院

长沙交通学院

山东省交通科研所

主要起草人：杨孟余 冯德成 沙爱民 侯相深 符冠华

崔世斌 周志刚 王 林 张起森

目 次

- 1 总则
- 2 术语及符号
 - 2.1 术语
 - 2.2 符号
- 3 一般规定
 - 3.1 交通量
 - 3.2 路用材料的技术要求
- 4 结构层与组合设计
 - 4.1 结构层设计
 - 4.2 结构组合设计
- 5 路基与垫层
 - 5.1 路基回弹模量
 - 5.2 垫层与抗冻设计
- 6 基层、底基层
 - 6.1 半刚性基层
 - 6.2 柔性基层
 - 6.3 刚性基层
- 7 沥青面层
 - 7.1 热拌沥青混合料面层
 - 7.2 沥青贯入式路面与表面处治
- 8 新建路面的结构厚度计算
- 9 改建路面设计
 - 9.1 一般规定
 - 9.2 沥青路面加铺层

9.3	水泥混凝土路面加铺沥青路面
10	水泥混凝土桥面沥青铺装设计
11	排水设计及其他路面工程设计
11.1	一般规定
11.2	其他路面工程
附录	
附录 A	沥青路面结构厚度计算示例
A.1	基本资料
A.2	路面材料配合比设计与设计参数的确定
A.3	路面厚度设计
附录 B	气候区有关资料
附录 C	沥青面层矿料级配与沥青贯入式面层
表 C.1	各种混合料的集料级配表
表 C.2- C.3	沥青贯入式面层材料规格和用量（方孔筛）
表 C.4	表面加铺拌和层时贯入层部分的材料规格和用量（方孔筛）
表 C.5	沥青表面处治面层材料规格和用量（方孔筛）
附录 D	无结合料材料的级配组成
表 D.1	级配碎石混合料的级配组成
表 D.2	级配砾石结构层的级配组成
附录 E	材料设计参数参考资料
表 E.1	沥青混合料设计参数
表 E.2	基层、底基层材料设计参数
表 E.3	碎砾石土设计参数
附录 F	土基回弹模量参考值
表 F.1	路基临界高度参考值
表 F.2	二级自然区划各土组土基回弹模量参考值

附录 G 规范用词说明

附件 公路沥青路面设计规范 JTJ014-2004 条文说明

1 总 则

1.0.1 为适应公路建设事业的需要，应贯彻“精心设计、质量第一”的方针，努力提高路面设计质量，使路面工程在设计年限内满足各级公路相应的承载能力和安全、耐久的要求，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于各级公路沥青路面新建和改建设计，对有特殊用途的专用公路可参考本规范设计。

1.0.3 路面设计包括各结构层的原材料选择、混合料配合比设计、设计参数的测试与设计值的确定，路面结构组合设计与厚度计算，路面结构方案投资估算，技术经济比较或长期寿命成本分析，提出推荐方案。以及路面排水系统设计，路肩加固以及其他路面工程设计等内容。

1.0.4 路面设计应遵循下列原则：

- 1 路面设计应认真做好现场资料收集、掌握沿线路基特点，查明路基干湿类型，在对不良地质路段处理的基础上，进行路基路面综合设计。
- 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、节约投资的原则，选择技术先进、经济合理、安全可靠、方便施工的路面结构方案。
- 3 应结合当地条件，积极、慎重地推广新材料、新工艺、新技术，并认真铺筑试验段，总结经验，不断完善，逐步推广。
- 4 设计方案应符合国家环境保护的有关规定，注意施工中废弃料的处理，积极推动旧面层和基层的再生利用，应保护施工人员的健康和安全。

1.0.5 高速公路、一级公路的路面一般不宜分期修建。软土地区或高填方路基、黄土湿陷地区等可能产生较大沉降的路段，以及初期交通量较小的公路可进行“一次设计、分期修建”。

1.0.6 沥青路面设计应为汽车行驶提供快捷、舒适、安全、稳定的服务功能，并须满足设计交通量下应具有的整体刚度（即承载能力）及各结构层的应力应变的要求。高速公路、一级公路沥青路面的各项技术指标应符合表 1.0.6 规定。

表 1.0.6 沥青路面技术指标

项 目	目标值	测试方法
平整度	国际平整度指数 $IRI < 2.0$ (m/Km)、 $\sigma < 1.0$ (mm)	平整度测试仪、多轮仪
抗滑性能	横向力系数，动态摩擦系数，构造深度 符合表 7.1.2 要求	横向力系数 SFC60 动态摩擦系数 DFT 仪 铺砂法或激光法
高温稳定性	动稳定度符合表 7.1.7 要求	60℃，0.7MPa 轮迹试验
水稳性	冻融劈裂试验强度比符合表 7.1.8 要求	冻融劈裂试验
抗裂性能	极限拉应变符合表 7.1.9 要求	-10℃，50mm/min

结构强度	$l_s \leq l_d \quad \sigma_m \leq \sigma_R$	规范规定程序计算
------	---	----------

1.0.7 多年冻土、沙漠、盐渍土、膨胀土等特殊地区的路面结构，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。

1.0.8 在选择路基和路面各项设计参数及路面使用性能指标时，应根据交通部颁发的《公路自然区划标准》的规定，按照公路工程所在地的自然区划特点选定各项参数或指标。

1.0.9 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 沥青路面 **asphalt pavement**

铺筑沥青面层结构称为沥青路面。

2.1.2 半刚性基层 **semi-rigid base**

用无机结合料稳定土类的材料铺筑一定厚度的基层。

2.1.3 刚性基层 **rigid base**

用混凝土、低标号混凝土、贫混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土等材料做的基层。

2.1.4 柔性基层 **flexible base**

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

2.1.5 柔性路面 **flexible pavement**

用柔性结构层组成的路面称柔性路面，它具有刚度较小、抗弯拉强度较低，主要靠路面材料的抗压、抗剪强度来承受车辆荷载作用的路面。

2.1.6 半刚性基层沥青路面 **semi-rigid base asphalt pavement**

在半刚性基层上铺筑一定厚度的沥青面层称为半刚性基层沥青路面。

2.1.7 混合式沥青路面 **combination-type asphalt pavement**

在半刚性或刚性基层、底基层上铺筑柔性基层的沥青路面。

2.1.8 级配碎砾石路面 **graded aggregate pavement**

用具有一定级配的碎石或级配碎、砾石，或泥结碎石等材料组成的路面。

2.1.9 块石路面 **block stone pavement**

用整齐或不整齐的石块等做的路面。

2.1.10 砂石路面 **sand aggregate pavement**

用当地砂砾、未筛分碎石、碎砖、炉渣、矿渣等粒料组成的路面，砂石路面

应有砂土磨耗层；地方材料改善土的路面不包括在内。

2.1.11 轴载谱 axle load spectrum

轴载谱是指各种车辆不同轴重的概率分布。

2.1.12 设计年限 design period

路面在规定期限内满足预测累计标准轴次所需服务性能，并允许在营运过程中进行恢复表面功能的养护维修或罩面工程，此期限为设计年限。

2.1.13 当量轴次 equivalent single axle loads

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

2.1.14 累计当量轴次 cumulative equivalent axle loads

在设计年限内，考虑车道系数后，一个车道上的累计当量轴次总和。

2.1.15 设计弯沉值 design deflection

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

2.1.16 最大粒径 maximum grain size

最大粒径是指混合料中筛孔通过率为 100% 的最小标准筛孔尺寸。

2.1.17 公称最大粒径 nominal maximum aggregate size

公称最大粒径是指混合料中筛孔通过率为 90~100% 的最小标准筛孔尺寸。

2.1.18 封层 seal coat

在沥青层上或沥青层之间、在基层顶面铺筑一层阻止雨水下渗的沥青薄层称为封层。

2.1.19 大粒径沥青混合料 large stone asphalt mixture

公称最大粒径等于或大于 26.5mm 的沥青混合料。

2.1.20 交工验收弯沉值 acceptance deflection

交工验收弯沉值是检验路面是否达到设计要求的指标之一。当确定结构厚度后，应根据该结构厚度计算其路表弯沉值，该值即为交工验收弯沉值。

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

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。

2.1.22 容许拉应力 **allowable tension stress**

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。

2.1.23 弯沉综合修正系数 **deflection combined correctness factor**

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。

2.1.24 最不利季节 **worst season**

路面材料、路基路面结构处于最不利工作状态的季节称最不利季节。在测试或确定有关材料参数值时，应考虑工程所在地在不同年份、不同季节变化或考虑一年中最不利季节的温度、湿度状态的影响。

2.1.25 非不利季节 **non-disadvantageous season**

一年中除去不利季节之外的季节为非不利季节。

2.2 符 号

P —— 标准轴载 (KN)

N_i —— 以弯沉值或层底拉应力为设计指标时，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_i —— 被换算的各级轴载 (KN)

n_i —— 被换算的各级轴载作用次数 (次/日)

C_1 —— 以弯沉值为设计指标时被换算的各级轴载的轮组系数

C_2 —— 以弯沉值为设计指标时被换算的各级轴载轴数系数

N' —— 以拉应力为设计指标时，标准轴载当量轴次 (次/日)

C_1' —— 以拉应力为设计指标时，被换算的各级轴载的轮组系数

C_2' —— 以拉应力为设计指标时，被换算的各级轴载的轴数系数

N_e —— 设计年限内一方向上一个车道的累计当量轴次 (次)

N_1 —— 路面竣工后第一年双向日平均当量轴次 (次/日)

r —— 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
- σ_m —— 结构层底面拉应力 (MPa)
- σ_R —— 混合料的容许拉应力 (MPa)
- σ_{sp} —— 沥青混凝土或半刚性基层材料的极限弯拉强度 (MPa)
- K_s —— 抗拉强度结构系数
- W_c —— 路床 800mm 深度内的平均稠度
- W —— 路床 800mm 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 —— 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 (mm)
- 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_x —— 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
- AC —— 密级配沥青混凝土
- AK —— 抗滑面层级配
- SMA —— 沥青玛蹄脂碎石
- SAC —— 多碎石密级配沥青混凝土
- OGFC —— 排水表面层开级配沥青混合料
- LSM —— 密级配大粒径沥青碎石基层混合料
- AM —— 半开级配沥青碎石

3 一般规定

3.1 交通量

3.1.1 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 3.1.1 确定。

表 3.1.1 标准轴载计算参数

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

对运煤或运建筑材料等大型载重车为主的公路, 应根据实际情况, 经论证选用设计荷载计算参数进行设计。

3.1.2 设计交通量的计算应将不同轴重的各种车辆换算成 BZZ-100 标准轴重的当量轴次。

1 当以设计弯沉值和沥青层层底拉应力为指标时, 各种车辆的前、后轴均应按公式(3.1.2-1)换算成标准轴载 P 的当量作用次数 N_i 。

$$N = \sum_{i=1}^K C_1 \cdot C_2 n_i \left(\frac{P_i}{P} \right)^{4.35} \quad (3.1.0-1)$$

式中: N —— 标准轴载的当量轴次 (次/日);

n_i —— 各种被换算汽车的作用次数, (次/日);

P —— 标准轴载 (KN);

P_i —— 各种被换算车型的轴载 (KN);

C_1 —— 轮组系数, 双轮组为 1, 单轮组为 6.4, 四轮组为 0.38;

C_2 —— 轴数系数;

当轴间距大于 3 米时, 应按一个单独的轴载计算; 当轴间距小于 3 米时, 双轴或多轴的轴数系数按公式(3.1.2-2)计算。

$$C_2 = 1 + 1.2 (m - 1) \quad (3.1.2-2)$$

式中: m —— 轴数。

2 当以半刚性材料层的拉应力为设计指标时, 各种车辆的前、后轴均应按公式(3.1.2-3)换算成标准轴载 P 的当量作用次数 N。

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

式中: C'_1 —— 轮组系数, 双轮组为 1.0, 单轮组为 18.5, 四轮组为 0.09;

C'_2 —— 轴数系数。

以拉应力为设计指标时，双轴或多轴的轴数系数按式（3.1.2-4）计算。

$$C'_2 = 1 + 2(m-1) \quad (3.1.2-4)$$

3.1.3 设计年限的选择宜根据各地国民经济发展的实际情况和该公路在公路网中的地位，并考虑投资条件综合确定。

新建高速公路、一级公路的路面设计年限应为 15 年，有特殊要求时可适当延长设计年限。对改建、扩建的高速公路、一级公路的路面设计年限宜为 10 年至 15 年，大修加铺工程可视具体情况确定设计年限。

二级公路的路面设计年限应为 12 年，有特殊使用要求时可适当延长。

三级公路的路面设计年限应为 6 年至 10 年。四级公路的沥青表处路面设计年限应为 8 年，砂石路面可为 5 年。

3.1.4 新建或改建公路的路面设计应根据《工程可行性研究报告》的有关交通量预测资料或现有交通量观测站实测十年以上的交通量资料，考虑各种车型的交通组成（或比例），并实测或收集大客车、小货车、中货车、大型货车、拖挂车等的轴载谱分布，或论证地确定各种车型的代表轴重；再将不同车型的轴重换算成标准轴载的当量轴次，求得交工后第一年双向日平均当量轴次(N_1)。

3.1.5 设计年限内交通量的平均增长率(r)应根据《工程可行性研究报告》中有关预测的交通量增长率，分析论证确定设计交通量的平均增长率。

3.1.6 车道系数宜按照表 3.1.6 选定，若公路无分隔时，路面窄宜选高值，路面宽宜选低值。

表 3.1.6 车道系数 η

车 道 特 征	车道系数
双向单车道	1.0
双向两车道	0.6~0.7
双向四车道	0.4~0.5
双向六车道	0.3~0.4
双向八车道	0.25~0.35

当上下行交通量或重车比例有明显差异时可区别对待，按上下行交通特点分别进行厚度设计。

3.1.7 设计交通量是根据不同公路等级的设计年限、第一年双向日平均当量轴次(N_1)、年平均交通量增长率、车道系数及该公路交通特点，计算的设计年限内一个方向一个车道的累计当量轴次，按公式（3.1.7）计算：

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

式中: N_e —— 设计年限内一个方向上一个车道的累计当量轴次(次);

t —— 设计年限(年);

N_1 —— 路面营运第一年双向日平均当量轴次(次/日);

r —— 设计年限内交通量的平均年增长率(%).

3.1.8 交通量宜根据表 3.1.8 的规定划分为五个等级。设计时可根据累计标准轴次 N_e (万次/车道) 或公路日平均汽车交通量(辆/日), 选择一个较高的交通等级作为设计交通等级。

表 3.1.8 交通等级

交通等级		BZZ-100KN 累计标准 轴次 N_e (万次/车道)	中型以上货车及大客车(日/辆)
A	特轻交通	<100	<300
B	轻交通	100~400	300~1000
C	中交通	400~1200	1000~4000
D	重交通	1200~2500	4000~10000
E	特重交通	>2500	>10000

3.2 路用材料的技术要求

3.2.1 沥青路面应采用道路石油沥青或其加工产品, 沥青的选择应根据公路等级、气候条件、交通量及其组成, 路线线形、面层结构、施工工艺等因素, 并结合当地使用经验确定。各种沥青质量应符合有关国家标准、行业标准技术指标的要求。

沥青路面气候分区可采用《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40) 或根据各省气候统计资料(附录 B 表), 由表查得四十年最热月份连续七天最高气温的平均值、标准差和极端最低气温, 考虑路面温度选择沥青等级和沥青的技术指标。

3.2.2 液体石油沥青用于透层或冷拌沥青混合料的胶结料, 应视其用途、气候条件和施工情况选择适宜的标号。

3.2.3 对以下情况宜选用改性沥青:

- 1 当用道路石油沥青拌制的沥青混合料的技术指标达不到高温稳定性、水稳定性、低温抗裂性能指标要求时;
- 2 对交通量繁重、重载车较多的公路, 沥青表面层宜选用改性沥青; 并视实际情况中面层也可选用改性沥青或稠度低一号的沥青;
- 3 温差变化较大, 高温或低温持续时间较长的严酷气候条件的公路;
- 4 铺筑特殊结构的表面层, 如开级配抗滑层, 沥青玛蹄脂碎石, 超薄罩面层, 排水路面, 彩色路面等;
- 5 路线线形处于连续长纵坡、陡坡及半径较小匝道, 制动、起动频繁、停车场等路段以及有特殊要求的公路。

3.2.4 选择改性沥青时，应考虑当地的气候特点，改性目的，结合加工工艺、设备和技术条件，经技术经济比较确定改性沥青。

3.2.5 乳化沥青主要用做透层、粘层、稀浆封层；改性乳化沥青适用于交通量大或重要道路、桥面铺装的粘层，表面处治，冷拌沥青混合料，改性稀浆封层等。

3.2.6 沥青路面的粗集料应选用碎石，也可选用经轧制的碎砾石。对三级、四级公路的沥青层可用经筛选的小砾石。

粗集料应用无风化、微风化的石料轧制而成，不含土和杂质，石料坚硬、表面粗糙、洁净，轧成碎石形状方正。

3.2.7 各级公路表面层用粗集料应选用硬质、耐磨碎石，其石料磨光值应符合表 3.2.7 的要求。

表 3.2.7 石料磨光值的技术要求

年降雨量	公路等级 PSV	高速公路和一级公路	二级公路
>1000mm		>42	>40
500~1000mm		>40	>38
250~500mm		>38	>36

3.2.8 粗集料与沥青应具有良好的粘附性，对年平均降雨量 1000mm 以上的高速公路和一级公路，表面层所用集料与沥青的粘附性应达到 5 级；其他情况粘附性不宜低于 4 级。

当粘附性达不到要求时，应通过掺入适量的消石灰、水泥或抗剥落剂等措施，提高粘附性等级及混合料的水稳定性。

3.2.9 沥青混合料中的细集料，宜用机制砂和天然砂，或石屑与天然砂配制。细集料应具有一定棱角性，洁净、干燥、无风化、无杂质，不含土。

天然砂宜选用中砂、粗砂，天然河砂不宜超过集料总质量的 20%。

3.2.10 矿粉必须采用石灰石等碱性石料磨细的石粉，不得使用酸性岩石等其他矿物的矿粉，矿粉应干燥、洁净、不成团块。若需利用拌和机回收的石粉时，掺入比例不应大于 25%。

3.2.11 粗集料（含轧制的碎砾石）、细集料、矿粉的质量应符合行业技术标准的要求。

3.2.12 半刚性基层用水泥应符合国家技术标准的要求，初凝时间应大于 4 小时，终凝时间应在 6 小时以上。

3.2.13 基层、底基层的集料压碎值应符合表 3.2.13 的要求。

表 3.2.13 基层、底基层的集料压碎值

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

3.2.14 石灰、粉煤灰稳定土类和石灰稳定土类的半刚性基层、底基层，粉煤灰中 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的总含量应大于 70%，烧失量不宜大于 20%，比表面积宜大于 $2500\text{cm}^2/\text{g}$ 或 0.075mm 筛孔通过率应大于 60%。石灰等级应采用 III 级以上，其技术指标应符合表 3.2.14 有关要求。

表 3.2.14 生石灰技术指标

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

4 结构层与组合设计

4.1 结构层设计

4.1.1 路面结构层可由面层、基层、底基层、垫层等多层结构组成。

1 面层是直接承受车轮荷载反复作用和各种自然因素影响，并将荷载传递到基层以下的结构层，因此，它应满足表面功能性和结构性的使用要求。面层可为单层、双层或三层。双层结构称为表面层、下面层；若采用三层结构称为表面层、中面层、下面层。

表面层应具有平整密实、抗滑耐磨、稳定持久的服务功能，同时应具有高温抗车辙、抗低温开裂、抗老化等品质。旧路面可加设磨耗层以改善表面服务功能。

中、下面层应密实、基本不透水，并具有高温抗车辙、抗剪切、抗疲劳的力学性能。

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

3 底基层是设置在基层之下，并与面层、基层一起承受车轮荷载反复作用的次要承重层，因此，对底基层材料的技术指标要求可比基层材料略低，底基层也可分为上、下底基层。

4 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、防污及减少层间模量比、降低半刚性底基层拉应力的作用。

以上是路面结构层的基本组成，各级公路应根据具体情况设置必要的结构层，但是，对三、四级公路最少也不得低于两层，即面层和基层。

4.1.2 沥青面层分为热拌沥青混合料、冷拌沥青混合料、沥青贯入式、沥青表面处治与稀浆封层四种类型。热拌沥青混合料包含沥青混凝土、沥青碎石混合料。交通量较小的乡镇、村公路可用砂石路面。

沥青混凝土适用于各级公路的面层。

热拌沥青碎石混合料、沥青贯入式(含上拌下贯沥青碎石)可用于二级、三级公路的面层，以及用于柔性基层、调平层。

沥青表面处治与稀浆封层可用于三级、四级公路的面层和各级公路的上、下封层。

冷拌沥青混合料可用于三、四级公路面层，或旧路修补工程。

4.1.3 各沥青层的厚度应与混合料的公称最大粒径相匹配，一般沥青层的最小压实厚度不宜小于混合料公称最大粒径的 2.5—3 倍，对断级配或以粗集料为主的嵌挤型级配的沥青混合料，其一层压实最小厚度不宜小于公称最大粒径的 2.5 倍，以利于碾压密实，提高其耐久性、水稳性。沥青层最小厚度和适宜厚度应符合表 4.1.3 要求。

表 4.1.3 沥青混合料结构层的最小压实厚度与适宜厚度

沥青混合料类型	公称最大粒径 (mm)	最小压实厚度 (mm)	适宜厚度 (mm)
砂粒式沥青砼	4.75	10	15~25
细粒式沥青砼	9.5	20	20~25
细粒式沥青砼	13.2	30	30~40
中粒式沥青砼	16	40	40~60
中粒式沥青砼	19	50	60~80
粗粒式沥青砼	26.5	60	70~100
粗粒式大粒径沥青碎石	26.5	70	80~120
粗粒式大粒径沥青碎石	31.5	90	100~150
特粗式大粒径沥青碎石	37.5	100	120~150

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

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

4.1.5 基层、底基层厚度应根据交通量大小、材料力学性能和扩散应力的效果，充分发挥压实机具的功能，以及有利于施工等因素选择各结构层的厚度。各结构层的材料变化不宜过于频繁，不利于施工组织、管理。各种结构层施工最小厚度与适宜厚度应符合表 4.1.5 的要求。

半刚性材料基层、底基层的一层压实厚度宜为 180~200mm，并不得分层铺筑小于 15cm 的薄层，对半刚性材料的上基层厚度不宜小于 180mm。

表 4.1.5 结构层最小压实厚度与适宜厚度

结 构 层 类 型	最小压实厚度 (mm)	适宜厚度 (mm)
上拌下贯沥青碎石	60	60~100
沥 青 贯入式碎石	40	40~80
沥青表处	10	10~30
水泥稳定类	150*	180~200
石灰稳定类	150*	180~200
石灰粉煤灰稳定类	150*	180~200
贫混凝土	150	180~240
级配碎、砾石	80	100~200
泥 结 碎 石	80	100~150
填 隙 碎 石	100	100~120

注：*为半刚性基层补强的最小厚度。

4.2 结构组合设计

4.2.1 路面结构应根据公路自然区划的特点，公路等级与使用要求，交通量及其交通组成，并考虑结构层的功能与受力特点以及经济发展和投资环境等因素，进行组合设计。根据基层组合成四种典型路面结构：

- 1 半刚性基层沥青路面——在半刚性基层上设有较薄的沥青面层结构。
- 2 柔性路面——各结构层由沥青混合料，或沥青贯入碎石、或冷拌沥青混合料、级配碎石、砂砾等柔性材料层组成，无半刚性材料层的结构类型。
- 3 刚性基层沥青路面——采用贫混凝土、混凝土基层等的沥青路面。
- 4 混合式沥青路面——在半刚性或刚性材料层与沥青面层之间设置柔性基层的路面结构。

4.2.2 沥青层厚度宜根据公路等级、交通量和交通组成、气候条件以及所选路面结构类型等因素拟定。

1 当采用半刚性基层沥青路面时，高速公路、一级公路的沥青层厚度可为120~180mm；二级公路的沥青层厚度宜为60~120mm；三级公路的沥青层厚度宜为30~50mm(拌和法)或15~30mm(层铺法表处)；四级公路的沥青层厚度宜为10~30mm。

2 当采用柔性路面结构时，面层可选用100~120mm双层式，其下设沥青混合料、贯入式碎石、级配碎石等柔性材料层。沥青厚度应根据公路等级、交通量等具体情况计算而定。

3 采用贫混凝土沥青路面时，沥青层可为100~180mm，当采取防止反射裂缝措施时，沥青层可适当减薄。

4 当采用混合式沥青路面时，面层可选用两层式，沥青面层厚度宜为100~120mm，其下设柔性基层。柔性基层可为单层或双层，厚度宜为80~180mm。

4.2.3 沥青路面结构组合设计，基层与沥青面层之间的模量比不宜大于3；基层与底基层之间的模量比不宜大于2.5；底基层与土基之间模量比不宜大于10。

4.2.4 对刚性基层应采取措施加强沥青层与刚性基层间的紧密结合，并提高界面抗剪强度和沥青混合料的抗剪切强度，以增加沥青层抗剪切、推移变形的能力。

4.2.5 为防止雨雪下渗，浸入基层、土基，沥青面层应选用密级配沥青混合料。当采用排水基层时，其下均应设防水层，并设置结构内部的排水系统，将雨水排除路基外。

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

- 1 地下水位高，排水不良，路基经常处于潮湿、过湿状态的路段。
- 2 排水不良的土质路堑，有裂隙水、泉眼等水文不良的岩石挖方路段。

- 3 季节性冰冻地区的中湿、潮湿路段，可能产生冻胀需设防冻垫层的路段。
- 4 基层或底基层可能受污染以及路基软弱的路段。

4.2.7 对半刚性基层宜采取以下措施减少低温缩裂、防止反射裂缝。

- 1 选用骨架密实型半刚性基层，并严格控制细料含量、水泥剂量、含水量。
- 2 采用混合式沥青路面结构。
- 3 在半刚性基层上设置改性沥青应力吸收膜或应力吸收层。

4.2.8 设计时应采取技术措施，加强路面结构各层之间的紧密结合、提高路面结构整体性，避免产生层间滑移。

1 各种基层上应设置透层沥青。透层沥青应具有良好的渗透性能，可用液体沥青、稀释沥青、乳化沥青等。洒布数量宜通过现场试验确定，对粒料基层应透入 3~6mm 为宜。

2 在半刚性基层上应设下封层。

3 沥青层之间应设粘层，粘层沥青宜用乳化沥青，洒布数量宜为 $0.3 \sim 0.5 \text{kg/m}^2$ 。

4 新、旧沥青层之间，沥青层与旧水泥混凝土板之间应洒布粘层沥青，宜用热沥青、改性热沥青或改性乳化沥青。拓宽路面时，新、旧路面接搓处，宜喷涂粘结沥青。

4.2.9 下封层宜用沥青单层表面处治，改性沥青稀浆封层，厚度不应小于 6mm。单层表面处治的结合料用量与矿料规格及稀浆封层的材料规格与要求均应符合本规范的有关规定。

4.2.10 沥青混合料的空隙率较大、路面渗水严重时宜设上封层。

1 上封层可用表面处治或稀浆封层或拌和摊铺法施工。

2 单层表处施工厚度宜为 8mm~15mm，双层表处施工厚度宜为 15mm~25mm；采用拌和摊铺法，摊铺厚度宜为 20~40mm。

3 材料规格与数量应符合本规范有关规定。

5 路基与垫层

5.1 路基回弹模量值

5.1.1 路基必须密实、均匀、稳定。填方路基的填料选择、路床的压实度以及填方路堤的基底处理等均应符合《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,土基回弹模量值应大于 30MPa。对 E 级特重交通土基回弹模量值应大于 40MPa。

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

5.1.3 石方路堑必须设置坚实、稳定的基层。对路基超挖部分应用贫混凝土或无机结合料稳定碎(砾)石的整体性材料作整平层,严禁用土填筑。视山体岩石风化、开裂情况,全断面设级配碎(砾)石垫层 150~200mm。

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,必要时设置盲沟等。

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

表 5.1.4-1 路基干湿状态的稠度建议值

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 800mm 深度内的平均稠度。

路基的平均稠度 w_c 按下式计算:

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

式中: w_c —— 土的平均稠度;

\bar{w} —— 土的平均含水量;

w_L 、 w_P —— 分别为土的液限、塑限,可按《公路土工试验规程》(JTJ051)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 5.1.4-2 路基干湿类型

路基干湿类型	路床表面以下800mm深度内平均稠度 w_c 与分界稠度 w_{cl} 的关系	一般特征
干 燥	$w_c \geq w_{cl}$	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	$w_{cl} > w_c \geq w_{c2}$	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 20 天以上。
 ③ H_1 、 H_2 、 H_3 分别为干燥、中湿和潮湿状态的路基临界高度，见附录F。
 ④ 划分土基干湿类型以平均稠度 w_c 为主，缺少资料时可参照表中一般特征确定。

5.1.5 路基回弹模量设计值宜按下列方法确定：

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

2 当路建成建后，应在不利季节路基最不利状况实测各路段路基回弹模量代表值，以检验是否符合设计值的要求。现场实测方法宜采用承载板法，也可采用贝克曼梁弯沉仪法、便携式落锤弯沉仪法。若现场实测路基回弹模量代表值小于设计值，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。

5.1.6 查表法估计路基回弹模量设计值，应按以下步骤进行。

1 确定临界高度

临界高度指在不利季节，路基分别处于干燥、中湿或潮湿状态时，路床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F中选用。

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，判断各路段路基的干湿类型，利用表 5.1.4-1 和表 5.1.4-2 及附录 F 论证得到各路段土的平均稠度 w_c 值。

3 估计路基回弹模量设计值

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 F 估计路基回弹模量设计值。当采用重型击实标准时，路基回弹模量设计值可较表列数值提高 20%~35%。

5.1.7 室内试验法测定土的回弹模量应按以下要求进行。

1 应选择土料场，取土样，按照《公路土工试验规程》(JTJ 051)中 T0135 小承载板法试验要求进行，宜采用 100mm 直径承载板。回弹模量测试结果应采用下式修正：

$$E_{0s} = K \cdot E \quad (5.1.7-1)$$

式中：\$E_{0s}\$——修正后的回弹模量(MPa)；

\$K\$ —— 试筒尺寸约束修正系数，50mm 直径承载板取 0.78，100mm 直径承载板取 0.59。

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

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

$$E_{0D} = \lambda \cdot E_{0s} e^{\frac{1}{2} \ln(1+\delta^2) - Z_a \sqrt{\ln(1+\delta^2)}} \quad (5.1.7-2)$$

式中：\$E_{0D}\$ —— 路基回弹模量设计值(MPa)；

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

\$\delta\$ —— 变异系数，根据公路等级参考表 5.1.7-1 选取；

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

\$\lambda\$ —— 考虑不利季节和路基干湿类型的综合折减系数，参考表 5.1.7-2 选取，或者根据室内承载板法回弹模量与稠度的关系分析确定。

表 5.1.7-1 各级公路采用的变异水平等级

公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三级及以下公路
变异系数	0.15~0.24	0.15~0.35	0.25~0.35	0.25~0.45

表 5.1.7-2 折减系数

土基稠度值 \$W_c\$	\$W_c \geq W_{c1}\$	\$W_{c1} > W_c \geq W_{c2}\$	\$W_c < W_{c2}\$
折减系数	0.80	0.70	0.60

5.1.8 采用承载板法测定已建成的路基回弹模量，利用式 5.1.8 计算测点处路基回弹模量值\$E_{0b}\$。

$$E_{0b} = 10000 \cdot \frac{\sum P_i}{D \cdot \sum l_i} (1 - \mu_0^2) \quad (5.1.8)$$

式中：\$D\$ —— 承载板直径(mm)；

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

\$\mu_0\$ —— 路基的泊松比，取 0.35。

某路段路基回弹模量设计值应按式 5.1.7-2 计算。其中 \$E_{0s}\$ 用承载板法实测路基回弹模量的平均值 \$\bar{E}_{0b}\$ (MPa) 代替，\$\delta\$ 为相应的变异系数。

5.1.9 采用贝克曼梁弯沉仪法测定已建成的路基弯沉值，计算该路段的路基代表弯

沉值，用以检查路基压实质量和路基的均匀性，并验证是否达到路基设计回弹模量值的要求。

1 将路基回弹模量设计值按式(5.1.9-1)计算其相当的路基设计弯沉值 L_{0D} ，作为检验路基强度和均匀性的简便方法。

$$L_{0D} = 1000 \cdot \frac{2p\delta}{K_1 E_{0D}} (1 - \mu_0^2) \alpha_0 \quad (5.1.9-1)$$

式中： L_{0D} ——路基设计弯沉值(0.01mm)；

p, δ ——测定车轮胎接地压强(MPa)与当量圆半径(mm)；

α_0 ——均匀体弯沉系数，取 0.712。

K_1 ——不利季节影响系数。可根据本地经验确定。

2 某路段实测的弯沉代表值 L_0 应不大于路基弯沉设计值 L_{0D} 。

$$L_0 = \bar{L}_0 + Z_a S \leq L_{0D} \quad (5.1.9-2)$$

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

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

5.1.10 采用便携式落锤弯沉仪法测定已建成的路基回弹模量，实测每次锤击作用下的最大荷载值和最大弯沉值，利用式(5.1.10)计算路基回弹模量值 E_{0P} 。

$$E_{0P} = 10000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2p\delta}{l} (1 - \mu_0^2) \quad (5.1.10)$$

式中： p, δ ——承载板的最大接地压强(MPa)与半径(mm)；

l ——承载板最大弯沉(μm)。

实测时，根据路基填挖情况和干湿类型的分段要求，按 20m 每车道布置 1 个测点，但每一车道、每路段测点数不少于 20，每一测点不少于 3 锤，其中第 1 锤数据舍弃。

某路段路基回弹模量设计值应按式 5.1.7-2 计算。其中 E_{0S} 用便携式落锤弯沉仪法实测路基回弹模量的平均值 \bar{E}_{0P} (MPa)代替， δ 为相应的变异系数。

5.1.11 换算法估计路基回弹模量值

通过积累不同现场实测法测定的路基回弹模量值与压实度 K 、路基稠度 w_c 或室内试验测定的路基土回弹模量值与室内路基土 CBR 值等资料，建立可靠的换算关系，利用换算关系估算现场路基回弹模量。

5.2 垫层与抗冻设计

5.2.1 当路基处于潮湿、过湿路段，应设置排水垫层；当路线通过潮湿、软弱地基，应换填 20—40cm 厚的砂砾等透水材料或掺入无机结合料或固化剂等处理地基 20—30cm 厚使其加固稳定，并根据实测资料适当提高路基回弹模量设计值。在冰冻地区潮湿、过湿路段应设置防冻层，并进行防冻层验算。

5.2.2 垫层材料可选用粗砂、砂砾、碎石、煤渣、矿渣等粒料以及水泥或石灰煤渣稳定类，石灰粉煤灰稳定类等。各级公路的排水垫层应视具体情况，使垫层与边缘排水系统相连接，或铺至路基同宽。

1 防冻垫层应采用透水性好的粒料类材料，通过 0.074mm 筛孔颗粒含量不宜大于 5%。采用煤渣时，小于 2mm 的颗粒含量不宜大于 20%。

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

3 为防止路基污染粒料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的隔离层。

5.2.3 冰冻区是以冻结指数为指标划分。冻结指数是每年冬季负温度与天数乘积的累积值(°C·d)。根据二十年以上的冻结指数将全国冰冻区划分为表 5.2.3 所示的四个区域，具体划分见附录 B。

表 5.2.3 冻区划分

冻区划分	重冻区	中冻区	轻冻区	非冻区
冻结指数	≥2000	2000~800	800~50	≤50

5.2.4 重、中冻区的高速、一级、二级公路的沥青路面应按式 5.2.4 验算冻胀力作用下产生的拉应变，以防治路基冻胀使路面产生纵向开裂。

$$\varepsilon_j = \frac{24H_j}{5B_k^2} \cdot z_j \cdot \xi \times 10^6 \leq \varepsilon_s \cdot \frac{1}{K_1} \cdot \frac{1}{K_2} \quad (5.2.4)$$

式中： ε_j ——路面验算层材料因路基冻胀产生的应变(μ)；

B_k ——路面计算宽度(m)，对高速、一级公路取半幅宽度；对多车道最大取 12m；二级及以下公路取全宽；

ε_s ——路面材料极限弯曲拉应变，根据试验确定。

H_j ——路面验算层顶面至路基顶面结构层总厚度(m)；

K_1 ——材料安全系数，根据公路等级、材料均匀性和试验条件取 1.05~1.1；

K_2 ——路面验算层材料温度系数，重冻区取 2.8，中冻区取 2.0，轻冻区取 1.4，基层材料取 1.0；

z_j ——路基计算冻胀值(m)，高速公路、一级公路为 30mm，二级公路为 50mm。

ξ ——路面不均匀冻胀系数，高速、一级公路取 0.2，二级公路取 0.15。

5.2.5 高速、一级公路路面设计厚度若不满足 5.2.4 式的应变值要求，可以采取提高路面材料抗变形能力、或增设抗冻垫层、或减小路基土的冻胀率等措施。若采取增加抗冻垫层措施，其厚度可按下列关系式计算。

$$h_{\min} = Z_{\max} - \frac{5B_k^2 \cdot \varepsilon_s}{24H_i K_1 K_2 \xi \eta \times 10^6} - H_i \quad (5.2.5)$$

式中： h_{\min} ——抗冻垫层厚度(m)，其他符号同前。

Z_{\max} —— 从路面中线顶面至冻结线处的多年最大冻深 (m)。

η —— 路基土的平均冻胀率。

H_i —— 路面结构层总厚度 (m)；

5.2.6 道路多年最大冻深按下公式计算：

$$Z_{\max} = a \cdot b \cdot c \cdot Z_d \quad (5.2.6)$$

式中： Z_d —— 大地标准冻深 (m)；

a —— 路面路基材料的热物性系数，见表 5.2.6-1；

b —— 路基湿度系数，见表 5.2.6-2；

c —— 路基断面型式系数，见表 5.2.6-3。

表 5.2.6-1 路面路基材料热物性系数

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

注：a 值取大地冻深范围内路基及路面各层材料的加权平均值。

表 5.2.6-2 路基湿度系数

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

表 5.2.6-3 路基断面形式系数

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

5.2.7 季节性冰冻地区各级公路的中湿、潮湿路段，设计时应进行防冻厚度检验。

1 根据交通量计算结构层总厚度应不小于表 5.2.7 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层时，应增加防冻层使其满足最小防冻厚度的要求。

表 5.2.7 最小防冻厚度 (cm)

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

注：① 在《公路自然区划标准》（JTJ003）中，对潮湿系数小于 0.5 的地区，II、III、IV 等于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%。

2 补强设计时，补强厚度加原有路面结构层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层的要求。

6 基层、底基层

6.1 半刚性材料基层

6.1.1 基层、底基层应具有足够的强度和稳定性，在冰冻地区应具有一定的抗冻性；半刚性材料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。

6.1.2 半刚性材料基层、底基层按其组成结构状态分为骨架密实结构、骨架空隙结构、悬浮密实结构和均匀密实结构四种类型。

6.1.3 半刚性材料基层适用以下范围

1 水泥稳定类适用于各级公路的基层、底基层。石灰粉煤灰稳定类材料对冰冻地区、多雨潮湿地区宜用于下基层或底基层。石灰稳定类材料适用于各级公路的底基层以及三、四级公路的基层。

2 高速公路、一级公路的基层或上基层宜选用骨架密实型的稳定集料。

3 二级及二级以下公路的基层和各级公路的底基层均可采用悬浮密实型混合料。

4 骨架空隙结构型混合料具有较高的空隙率，适用于需考虑路面内部排水要求的基层。

6.1.4 水泥稳定类材料配合比设计时，试件应在热区 25℃、温区和寒区 20℃条件下湿养 6 天、浸水 1 天后，进行无侧限抗压强度试验，以确定适宜的水泥剂量，试件的压实度、七天龄期的无侧限抗压强度代表值应符合表 6.1.4 规定范围的要求，且不宜超过高限。骨架密实型和骨架空隙型的混合料配合比试验宜采用振动成型方法；悬浮密实和均匀密实型混合料宜采用重型击实成型方法。

表 6.1.4 水泥稳定类材料的压实度及七天抗压强度

层位	类别	压实度 (%)	抗压强度 (MPa)		压实度 (%)	抗压强度 (MPa)
			C、D 级交通	E 级交通		A、B 级交通
基层	集料	≥98	3~4	4~5	≥97	2~3
	细粒土	—	—	—	≥96	
底基层	集料	≥97	2~3	3~4	≥96	1.5~2.0
	细粒土	≥96			≥95	

6.1.5 各级公路均可选用悬浮密实型水泥稳定类材料基层、底基层，基层集料的最大粒径不大于 31.5mm，底基层最大粒径不大于 37.5mm。集料级配范围宜符合表 6.1.5-1 的要求。

表 6.1.5-1 悬浮密实型水泥稳定类集料级配

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

高速公路、一级公路宜用骨架密实型水泥稳定类材料基层或上基层，其集料的级配宜符合表 6.1.5-2 级配范围的要求。

表 6.1.5-2 骨架密实型水泥稳定类集料级配

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

6.1.6 水泥稳定混合料的水泥剂量一般为 3~6%。当用水泥稳定集料作基层时，水泥剂量宜为 4.0~5.5%，底基层的水泥剂量宜为 3.0~4.0%，水泥的最大剂量不应得超过 6%。

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

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

6.1.8 石灰粉煤灰稳定类材料配合比设计时，试件应在热区 25℃、温区和寒区 20℃ 条件下湿养 6 天、浸水 1 天后，进行无侧限抗压强度试验以确定配合比，试件的压实度和七天龄期的无侧限抗压强度代表值应满足表 6.1.8 的要求。

表 6.1.8 石灰粉煤灰稳定类材料的压实度及七天抗压强度

层位	类别	C、D、E 级交通		A、B 级交通	
		压实度 (%)	抗压强度 (MPa)	压实度 (%)	抗压强度 (MPa)
基层	集料	≥98	0.8~1.1	≥97	0.6~0.8
	细粒土	—	—	≥96	
底基层	集料	≥97	≥0.6	≥96	≥0.5
	细粒土	≥96		≥95	

6.1.9 当高速公路、一级、二级公路采用骨架密实型石灰粉煤灰稳定集料上基层或基层时，集料级配宜符合表 6.1.9 的级配范围要求。

表 6.1.9 骨架密实型石灰粉煤灰稳定集料级配参考表

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

6.1.10 当采用悬浮密实型石灰粉煤灰稳定碎石基层、底基层时,混合料的最大粒径应分别不超过 31.5mm、37.5mm。碎石级配宜符合表 6.1.10-1 的级配范围。

表 6.1.10-1 悬浮密实型石灰粉煤灰稳定碎石的集料级配范围

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

当采用石灰粉煤灰稳定砂砾基层、底基层时,砂砾级配则宜符合表 6.1.10-2 的级配要求。

表 6.1.10-2 悬浮密实型石灰粉煤灰稳定砂砾的集料级配范围

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

6.1.11 高速、一级公路石灰粉煤灰材料结构层应进行抗冻性能检验。

抗冻性能采用 28 天龄期的试件经 20℃ 至 -20℃ 的 5 次冻融循环后的残留抗压强度与 28 天龄期的抗压强度 (Mpa) 比,即残留强度比 (%) 评价,其指标应符合表 6.1.11 的要求。

表 6.1.11 石灰粉煤灰抗冻性能技术要求

气候分区	重冻区	中冻区	轻冻区
28 天 5 次冻融循环残留强度比 (%)	≥70	≥65	≥60

6.1.12 为提高石灰粉煤灰结构层早期强度或越冬时的抗冻性能,宜在混合料中掺入水泥或其他早强剂,掺入剂量通过试验确定。

6.1.13 水泥粉煤灰稳定类基层、底基层配合比设计,试件应在热区 25℃、温区和寒区 20℃ 条件下湿养 6 天、浸水 1 天,进行无侧限抗压强度试验确定水泥剂量,其试件的压实度和七天龄期的无侧限抗压强度代表值应符合表 6.1.13 的要求。

表 6.1.13 水泥粉煤灰稳定类基层、底基层的压实度及七天抗压强度

层位	类 别	C、D、E 级交通		A、B 级交通	
		压实度 (%)	抗压强度 (MPa)	压实度 (%)	抗压强度 (MPa)
基层	集 料	≥98	1.5~3.5	≥97	1.2~1.5
底基层	集 料	≥97	1.0~1.5	≥96	≥0.6

6.1.14 水泥粉煤灰稳定类基层、底基层中水泥剂量宜在 3~6%，水泥粉煤灰与集料的质量比宜为 13~17:87~83，集料级配要求与石灰粉煤灰稳定类混合料相同。

6.1.15 石灰稳定类配合比设计，试件应根据重型击实标准制件，在热区 25℃、温区和寒区 20℃条件下湿养 6 天、浸水 1 天，进行无侧限抗压强度试验确定石灰剂量，其试件的压实度和七天龄期的无侧限抗压强度代表值应符合表 6.1.15 的要求。

表 6.1.15 石灰稳定类基层、底基层的压实度及七天抗压强度

层位	土 类	B、C 级交通		A 级交通	
		压实度 (%)	抗压强度 (MPa)	压实度 (%)	抗压强度 (MPa)
基层	集料	—	—	≥97	≥0.8 ^①
	细粒土	—		≥95 ^③	
底基层	集料	≥97	≥0.8	≥96	0.5~0.7 ^②
	细粒土	≥95		≥95	

注：①在低塑性土（塑性指数小于 10）地区，石灰稳定砂砾土和碎石土的 7 天抗压强度应大于 0.5MPa。②低限用于塑性指数小于 10 的土，高限用于塑性指数大于 10 的土。③三、四级公路，压实机具有困难时压实度可减少 1%。

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

6.2 柔性基层

6.2.1 柔性基层可用于各级公路。大粒径沥青碎石宜用于 C 级及 C 级以上交通公路的基层、底基层；贯入式碎石宜用于 B 级交通公路的基层，或 C 级、D 级交通公路的底基层；两者均可以用于改建工程的调平层。

级配碎石可用于各级公路的基层和底基层、以及沥青面层与半刚性基层之间的过渡层。级配砾石、级配碎石以及符合级配、塑性指数等技术要求的天然砂砾，可用作交通量较少的二级和二级以下公路的基层和各级公路的底基层。

填隙碎石适用于三、四级公路的基层和各级公路的底基层。

6.2.2 大粒径沥青碎石基层可分为密级配、半开级配和开级配沥青混合料，其设计空隙率分别为 4~6%、12~18%、18~24%。密级配沥青碎石具有较高的承载能力，半

开级配沥青碎石混合料，具有承重、减缓反射裂缝和一定的排水作用。公称最大粒径等于或大于 26.5mm 的大粒径沥青碎石混合料宜用大型马歇尔试件进行试验，其试件尺寸为 $\Phi 152 \times 95.3\text{mm}$ ，试件压实成型方法宜选用振动成型。

6.2.3 密级配大粒径沥青碎石(LSM)、半开级配大粒径沥青碎石(AM)的级配宜符合表 6.2.3 的要求。

表 6.2.3 大粒径沥青碎石的集料级配范围

级配类型	筛孔尺寸 (mm)	密级配大粒径沥青碎石			半开级配大粒径沥青碎石	
		LSM-25	LSM-30	LSM-40	AM-25	AM-40
通过筛孔百分率 (%)	53			100		100
	37.5		100	90-100		75-98
	31.5	100	90-100	75-90	100	67-96
	26.5	90-100	75-90	65-85	70-98	50-80
	19	70-90	60-85	55-75	50-85	25-60
	16	55-75	45-70	50-70		
	13.2	45-65	40-60	35-55	32-62	15-40
	9.5	35-55	35-55	30-50	20-50	10-35
	4.75	25-45	23-45	23-45	6-29	6-25
	2.36	17-35	17-35	17-35	6-18	6-18
	1.18	10-25	10-25	10-25	3-15	3-15
	0.6	8-20	8-20	8-20	2-10	2-10
	0.3	5-15	5-15	5-15	1-7	1-7
	0.15	3-12	3-12	3-12	1-6	1-6
	0.075	3-7	3-7	3-7	1-4	1-4

6.2.4 密级配大粒径沥青碎石混合料的配合比设计宜采用马歇尔试验方法，其技术指标应符合表 6.2.4 的要求。

表 6.2.4 密级配大粒径沥青碎石 LSM 的马歇尔试验技术指标

试 验 项 目			技 术 要 求
试件尺寸（mm）			Φ152×95.3
设计空隙率（%）			4—6
矿料间隙率（%）	最大公称尺寸（mm）	26.5	>12.5
		31.5	>12
		37.5	>11.5
稳 定 度（KN）			>18
流 值			实 测
饱 和 度（%）			55—70
浸水马歇尔残留稳定度			>75%
沥 青 用 量（%）			3.0—4.0
20℃无侧限抗压强度（MPa）			>3
20℃抗压回弹模量（MPa）			>1000
动稳定度值			实 测

6.2.5 半开级配大粒径沥青碎石的公称最大粒径宜用 26.5mm(AM-25) 和 37.5mm(AM-40)，集料的级配应为单粒径粗集料的骨架结构，并用少量细集料进行部分填充。填充料可掺入 1-2%的磨细石灰粉。半开级配大粒径沥青碎石的粘结料宜用高粘度的改性沥青。混合料配合比设计可用马歇尔试验方法，其技术指标宜符合表 6.2.5 的要求。

表 6.2.5 马歇尔试验配合比设计技术指标

试验指标	单位	半开级配基层沥青混合料 (AM)
公称最大粒径	mm	等于或大于 26.5
马歇尔试件尺寸	mm	Φ 152.4×95.3
空隙率VV ^①	%	12~18
沥青膜厚度	μm	>12
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失	%	不大于 0.2
肯塔堡飞散试验的混合料损失或浸水飞散试验	%	不大于 20
参考沥青用量	%	3~3.5

注：试件的毛体积密度测试，以体积法为准。

6.2.6 当用沥青贯入碎石做基层或调平层时，其沥青、碎石等材料的规格要求与材料用量，宜符合本规范有关条文的要求。

6.2.7 级配碎石宜用几种粒径不同的碎石和石屑掺配拌制而成，分为骨架密实型与连续型，其集料的级配组成应符合附录 D 的要求。级配碎石用作基层时，其压实度应大于 98%，CBR 值不应小于 180%；用作底基层时，其压实度应大于 96%，CBR 值不应小于 100%。

6.2.8 级配砾石或天然砂砾其颗粒组成应符合附录 D 的要求，且级配宜接近圆滑曲线。级配砾石或天然砂砾用作基层时，其压实度不应小于 98%，CBR 值不应小于 160%；用作底基层时，其压实度不应小于 96%，CBR 值对 A 级交通的公路不应小于 40%，对 B、C 级交通的公路不应小于 60%。

6.2.9 填隙碎石可用于二级以下公路的底基层。填隙碎石的单层铺筑厚度宜为 100mm~120mm，最大粒径宜为厚度的 0.5~0.7 倍。用作基层时，最大粒径不应超过 60mm；用作底基层，最大粒径不应超过 80mm。填隙料可用石屑或最大粒径小于 10mm 的砂砾料或粗砂，填隙碎石的压实度以固体体积率表示。用作底基层时，压实度不应小于 83%；用作基层时，不应小于 85%。

6.2.10 泥结碎石路面可用于 A 级交通的三、四级公路，其材料规格见表 6.2.10

表 6.2.10 泥结碎石材料规格表

编 号	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分比 (%)						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

6.3 刚性基层

6.3.1 刚性基层适用于 D 级、E 级重载交通，运煤、矿石、建筑材料等公路以及改建、扩建工程。

6.3.2 贫混凝土基层材料配合比设计应根据 28 天龄期的抗弯拉强度试验确定水泥剂量，一般宜为 8—12%。贫混凝土的强度应符合表 6.3.2 的要求，施工质量管理与控制，宜用 7 天龄期的抗压强度评价。

贫混凝土基层集料的最大粒径一般不应超过 31.5mm。

表 6.3.2 贫混凝土基层材料的强度要求

试验项目	技术要求
28 天龄期抗弯拉强度 (MPa)	1.5~2.5
7 天龄期抗压强度 (MPa)	8.0~15.0
28 天龄期抗压强度 (MPa)	10.0~20.0

6.3.3 贫混凝土基层中可掺入水泥质量 20~40% 的粉煤灰，以降低收缩裂缝、提高后期强度，利于环境保护和降低造价。掺入粉煤灰的贫混凝土基层，28 天龄期的抗弯拉强度要求与表 6.3.2 相同。但是施工质量检验采用 14 天的抗压强度进行评价，14 天的抗压强度合格值应符合表 6.3.2 中 28 天抗压强度的 85%。

6.3.4 贫混凝土基层应设置纵、横缝，并灌入填缝料，其上应设置热沥青或改性乳化沥青、改性沥青粘结层等。

7 沥青面层

7.1 热拌沥青混合料面层

7.1.1 沥青面层的技术要求

沥青面层应具有坚实、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。

7.1.2 高速公路、一级公路沥青路面的抗滑性能，以横向力系数测试车在 60km/h 车速下测得的横向力系数(SFC_{60})和构造深度(TC)为主要指标。在交工验收前或开放一年之内(除冬季外)测试的路面抗滑性能指标应符合表 7.1.2 的技术要求。二级公路可参照执行。

表 7.1.2 抗滑技术指标

年平均降雨量 (mm)	交 工 验 收 值		
	横向力系数 SFC_{60}	动态摩擦系数 DF_{60}	构造深度 TC(mm)
>1000	≥ 54	≥ 0.59	≥ 0.55
500~1000	≥ 50	≥ 0.54	≥ 0.50
250~500	≥ 45	≥ 0.47	≥ 0.45

注：①应采用测定速度为 60±1km/h 时的横向力系数(SFC_{60})作为控制指标；没有横向力系数测定设备时，可用动态摩擦系数测试仪 (DFT) 或摆式摩擦系数测定仪测量。用 DFT 测量时以速度为 60km/h 时的摩擦系数为标准测试值。②路面宏观构造深度可用铺砂法或激光构造深度仪测定。

7.1.3 热拌沥青混合料按设计空隙率可分为密级配和半开级配、开级配。

1 密级配热拌沥青混合料按表 7.1.3 可分为细级配(ACF)、粗级配(ACG)，断级配属于粗级配类型。密级配沥青混合料设计空隙率一般宜为 3~5%，对气候炎热、重车多的公路可为 3~6%；寒冷地区可为 2~5%。密级配沥青混合料的现场压实空隙率应小于 8%。

表 7.1.3 细级配及粗级配分界

公称最大粒径 (mm)	粗、细级配分界筛孔尺寸 (mm)	粗级配 (ACG)	细级配 (ACF)
		分界筛孔通过率%	分界筛孔通过率%
26.5	4.75	< 40	> 40
19	4.75	< 45	> 45
16	2.36	< 38	> 38
13.2	2.36	< 40	> 40
9.5	2.36	< 45	> 45

注：①细级配适用于降雨量小于 500mm 以下、气候寒冷地区。②粗级配适用于高温、多雨地区，交通量较大的公路。

2 半开级配热拌沥青混合料用于三级、四级公路的沥青面层时，设计空隙率宜控制在 10% 以内。当用于改建工程需要较厚的调平层、补强层时设计空隙率不宜超过 15%。

3 开级配(OGFC)用于排水表面层时，设计空隙率宜为 18~24%。

7.1.4 设计人员应根据使用要求、气候特点、交通条件等因素，结合沥青层厚度和当地实践经验，宜按附录 C 表选择沥青混合料类型及级配。

7.1.5 高速公路、一级公路的施工图设计阶段，应选择施工用的材料，按推荐级配范围，采用马歇尔试验法进行目标配合比设计，并检验沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性等性能指标，提出推荐的设计级配曲线。有条件时，宜选用经实践证明行之有效的其它配合比设计方法设计。

7.1.6 半开级配热拌沥青碎石混合料(AM) 用于面层时, 其级配可参考附录 C 选用。对多雨地区宜设上封层。配合比设计宜根据马歇尔试验的结果和实践经验，并通过施工前的试拌、试铺确定。采用热拌沥青碎石面层时，要求基层具有良好的水稳性，设计时应注意采取措施防止雨水下渗，并加强结构内部排水的措施。

7.1.7 沥青混合料应以动稳定度来评价其高温稳定性。C 级及 C 级以上公路的表面层和中面层的动稳定度应符合表 7.1.7 规定。当沥青混合料达不到技术指标的要求时，应采取调整集料级配和沥青用量、提高沥青稠度、使用改性沥青、掺加纤维等技术措施，以提高热稳性。

表 7.1.7 沥青混合料的动稳定度指标技术要求

连续七天最高气温平均值	>35℃	30~35℃	<30℃	备注
交通等级	动稳定度 (次/mm)			试验方法 T 0719
C 级	≥2000	≥1200	—	
D、E 级	≥3000	≥2400	≥1800	

7.1.8 密级配热拌沥青混合料的水稳性宜符合表 7.1.8 要求。当沥青混合料水稳定性指标不满足要求时，应按照本规范有关条文的规定采取技术措施，提高水稳性。

表 7.1.8 沥青混合料水稳定性指标技术要求

年降雨量 (mm)	≥500	<500	试验方法
冻融劈裂试验劈裂强度比 (%)	≥80	≥75	T 0729
浸水马歇尔试验残留稳定度 (%)	≥85	≥80	T 0709

7.1.9 对寒冷地区的高速公路、一级公路密级配沥青混凝土的低温抗裂性能，应以低温弯曲试验所得的破坏应变值评价，其破坏应变宜符合表 7.1.9 的要求。

表 7.1.9 沥青混合料低温弯曲试验破坏应变 ($\mu\epsilon$) 技术要求

气候条件及技术指标	年极端最低气温 (℃)			试验方法
	< -37.0	-21.5 ~ -37.0	-9.0 ~ -21.5	T 0728
试验极限破坏应变 ($\mu\epsilon$)	≥3000	≥2800	≥2500	

7.1.10 沥青玛蹄脂碎石混合料 (即 SMA) 适用于高速公路、一级公路的抗滑表面

层。沥青玛蹄脂碎石混合料宜用改性沥青。改性沥青的技术要求应根据当地的气候条件,交通等级及改性沥青品种确定,混合料中应掺入纤维稳定剂,剂量为 0.3~0.4%。集料的级配宜符合附录 C 的要求。

沥青玛蹄脂碎石混合料可采用马歇尔试验方法进行配合比设计,并检验高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性等指标。

7.1.11 排水表面层(OGFC)适用于降雨量大于 800mm 的地区,可显著提高雨天行车安全性,也适用于城郊、住宅区周边等减少噪音影响的路段。

1 排水表面层的厚度为 25~50mm,集料的级配宜符合附录 C 的要求。

2 排水表面层下的沥青面层必须采用密实型级配,并应设置防水层及其路面内部排水系统,将雨水排除路基以外。

3 排水表面层宜采用高粘度改性沥青,对防噪路面可用橡胶沥青。

7.1.12 冷拌沥青混合料应使用乳化沥青或液体沥青,混合料的级配宜符合附录 C 的要求。混合料配合比设计可根据当地成功的经验或试拌、试铺确定。

7.2 沥青贯入式路面与表面处治

7.2.1 沥青贯入式面层的厚度一般为 40mm~80mm。当沥青贯入式的上部加铺沥青混合料时,也称为上拌下贯式路面。此时,拌和层的厚度宜为 20mm~40mm,其总厚度为 60mm~100mm。贯入的结合料宜用石油沥青或改性乳化沥青。

7.2.2 沥青贯入式路面、上拌下贯式路面的材料规格和用量应符合附录 C 的要求。拌和层的沥青混合料,一般宜选用密级配热拌沥青混合料,混合料的级配宜符合附录 C 要求。沥青混合料的配合比设计宜符合有关规定。

7.2.3 沥青表面处治按施工方法划分为层铺法和拌和法。

层铺法适用于三级、四级公路的面层。层铺法表处可分为单层、双层、三层,厚度宜为 10~30mm。单层表处厚度为 10~15mm;双层表处厚度为 15~25mm;三层表处厚度为 25~30mm。

7.2.4 层铺法沥青表面处治,可采用沥青或乳化沥青作为结合料,集料的规格与用量应符合附表 C 的规定。

7.2.5 拌和法沥青表面处治,可采用热拌热铺或冷拌冷铺法施工,拌和法沥青表处厚度视交通量等情况宜为 20mm~40mm。

拌和法的沥青混合料应视具体情况可选用粗级配或细级配等,其配合比设计宜符合有关规定。采用拌和法施工时,基层顶面应洒透层沥青或粘层沥青或作下封层,使面层与基层之间结合紧密,防止雨雪下渗。

7.2.6 稀浆封层可分为单层、双层，单层稀浆封层厚度为 4mm~10mm；双层稀浆封层厚度为 8mm~20mm。稀浆封层可分为普通乳化沥青稀浆封层、改性乳化沥青稀浆封层。

1 ES-1、ES-2 可用于四级公路单层稀浆封层简易表处，以防止尘土飞扬、保护环境。

2 ES-2 型是铺筑一般公路具有中等粗糙度的磨耗层，也可适用于旧路修复罩面或二级以上公路的下封层。

3 ES-3 型适用于二级及以上公路的抗滑表层，用于恢复抗滑性能。

4 对交通量小的公路可用单、双层稀浆封层，ES-1 适用于低交通道路的薄层罩面处理，尤其适宜于寒冷地区低交通道路使用。交通量较大时，可用双层稀浆封层，下层可用 ES-2，上层用 ES-1；或下层 ES-3，上层 ES-2。

7.2.7 稀浆封层的集料的规格和用量应符合表 7.2.7 的要求。

表 7.2.7 稀浆封层的集料规格与用量范围

筛孔尺寸 (mm)	不同类型通过各筛孔的百分率(%)			施工允许 波动范围
	普通稀浆封层和改性稀浆封层			
	ES - 1 型	ES - 2 型	ES - 3 型	
9.5		100	100	
4.75	100	90-100	70-90	±5 %
2.36	90-100	65-90	45-70	±5 %
1.18	60-90	45-70	28-50	±5 %
0.6	40-65	30-50	19-34	±5 %
0.3	25-42	18-30	12-25	±4 %
0.15	15-30	10-21	7-18	±3 %
0.075	10-20	5-15	5-15	±2 %
一层的适宜厚度 (mm)	2.5-3	4-6	8-10	

8 新建路面的结构厚度计算

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

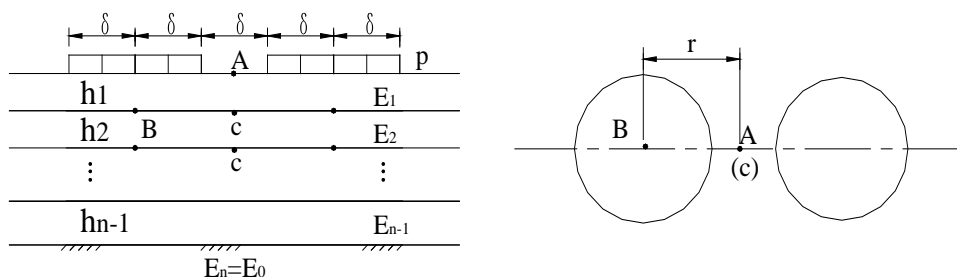


图8.0.1 路面荷载及计算点图示

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

8.0.3 路面结构厚度设计应满足结构整体承载力与抵抗疲劳开裂的要求：

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

$$l_s \leq l_d \quad (8.0.3-1)$$

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

$$\sigma_m \leq \sigma_R \quad (8.0.3-2)$$

8.0.4 路面结构设计应按图8.0.4所示的流程进行，主要设计内容包括：

- 1 根据设计任务书的要求，按弯沉或弯拉指标分别计算设计年限内一个车道的累计标准当量轴次，确定设计交通量与交通等级、面层、基层类型，并计算设计弯沉值或容许拉应力。

- 2 按路基土类与干湿类型及路基横断面形式，将路基划分为若干路段，确定各个路段土基回弹模量设计值。

- 3 参考本地区的经验拟定几种可行的路面结构组合与厚度方案，根据选用的材料进行配合比试验，测定各结构层材料的抗压回弹模量、弯拉模量与抗拉强度

等，确定各结构层的设计参数。

4 根据设计指标采用多层弹性体系理论设计程序计算路面厚度。

5 对于季节性冰冻地区应验算防冻厚度是否符合要求。

6 进行技术经济比较，确定路面结构方案。

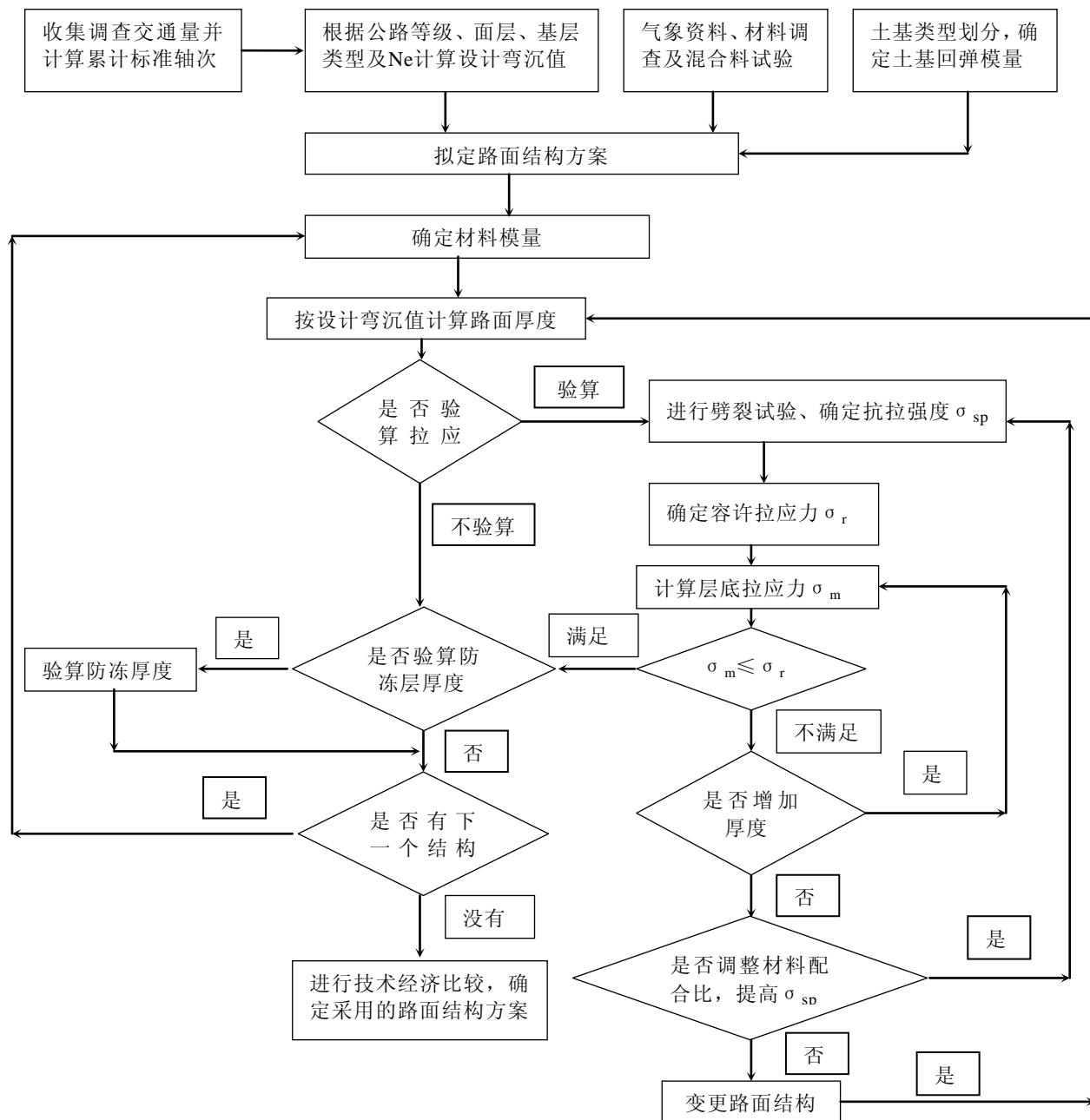


图8.0.4 设计程序流程图

8.0.5 设计弯沉值应根据公路等级、设计年限内累计标准当量轴次、面层和基层类型按式8.0.5-1计算确定。

$$l_d = 600N_e^{-0.2}A_cA_sA_b \quad (8.0.5-1)$$

式中： l_d ——设计弯沉值（0.01mm）；

N_e ——设计年限内一个车道累计当量轴次；

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

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

A_b ——基层类型系数, 对半刚性基层 $A_b=1.0$; 柔性基层 $A_b=1.6$; 对于混合式基层采用线性内插确定基层类型系数:

$$A_b = (H_F + 2) / 20 \quad (8.0.5-2)$$

式中: H_F ——为半刚性基层或底基层上柔性结构层总厚度 (cm);

8.0.6 沥青混凝土面层、半刚性材料基层、底基层以弯拉应力为设计指标时, 材料的容许拉应力 σ_R 应按下列公式计算:

$$\sigma_R = \frac{\sigma_s}{K_s} \quad (8.0.6-1)$$

式中: σ_R ——路面结构层材料的容许拉应力(MPa);

σ_s ——沥青混凝土或半刚性材料的极限抗拉强度(MPa);

K_s ——抗拉强度结构系数。

1 对沥青混凝土的极限抗拉强度, 系指15℃时的极限抗拉强度; 对水泥稳定类材料龄期为90d的极限抗拉强度(MPa); 对二灰稳定类、石灰稳定类的材料龄期为180d的极限抗拉强度(MPa)。

2 对沥青混凝土面层的抗拉强度结构系数, 宜按式(8.0.6-2)计算:

$$K_s = 0.09N_e^{0.2} / A_c \quad (8.0.6-2)$$

$$\text{对无机结合料稳定集料类: } K_s = 0.35N_e^{0.11} / A_c \quad (8.0.6-3)$$

$$\text{对无机结合料稳定细粒土类: } K_s = 0.45N_e^{0.11} / A_c \quad (8.0.6-4)$$

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

1 高速公路、一级公路施工图设计阶段应根据拟采用的路面材料实测设计参数; 各级公路采用新材料时, 也必须进行材料试验实测设计参数。

2 高速公路、一级公路初步设计阶段或二级及其以下公路施工图设计阶段可借鉴本地区已有的相近材料试验资料, 根据使用经验确定。

3 初步设计阶段可根据附录E确定设计参数。

8.0.8 以路表弯沉值为设计指标时, 设计参数采用抗压回弹模量, 对于沥青混凝土试验温度为20℃;

8.0.9 以弯拉应力(应变)为设计指标时, 应采用抗拉强度与弯拉回弹模量, 对于沥青混凝土试验温度为15℃。也可采用劈裂强度与抗压回弹模量。

8.0.10 各地区应建立抗压设计参数与弯拉设计参数的相关关系; 弯拉强度与劈

裂强度的相关关系；强度、回弹模量与龄期的相关关系；以及快速养生方法等预估规定龄期的材料强度、模量的换算关系，经充分论证后作为设计参数及施工过程中各结构层弯沉检验标准计算参数的取值方法。

8.0.11 半刚性材料的设计参数按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》的规定测定。沥青混合料的设计参数按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》的规定测定。考虑到模量取值的不利组合，回弹模量（ E ）的设计值按下式计算：

1 计算路表弯沉值时，抗压回弹模量应按式8.0.11-1计算其设计值：

$$E = \bar{E} - Z_{\alpha} S \quad (8.0.11-1)$$

2 计算层底拉应力时，计算层以下各层的模量应采用式8.0.12-1计算其设计值；计算层及以上各层模量应采用式8.0.8-2计算其设计值：

$$E = \bar{E} + Z_{\alpha} S \quad (8.0.11-2)$$

式中： \bar{E} —— 各试件模量的平均值；
 S —— 各试件模量的标准差；
 Z_{α} —— 保证率按95%，系数取2.0。

8.0.12 轮隙中心路表回弹弯沉的计算

1 路表弯沉值应按式8.0.12-1计算

$$l_s = 1000 \frac{2p\delta}{E_1} \alpha_c F \quad (8.0.12-1)$$

式中：

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

2 弯沉综合修正系数

$$F = 1.63 \left(\frac{l_s}{2000\delta} \right)^{0.38} \left(\frac{E_0}{p} \right)^{0.36} \quad (8.0.12-2)$$

式中： l_s —— 路面计算弯沉值（0.01mm）；
 p, δ —— 标准车型的轮胎接地压强(MPa)和当量圆半径（cm）；
 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(Mpa)；
 h_1, h_2, h_{n-1} —— 各结构层厚度（cm）。

8.0.13 层底拉应力设计与验算

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

$$\sigma_m = p \bar{\sigma}_m \quad (8.0.13-1)$$

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

式中： $\bar{\sigma}_m$ ——理论最大拉应力系数。

8.0.14 设计时，应先拟定某一层作为设计层，根据施工厚度要求拟定面层和其它各层的厚度。当采用半刚性基层、底基层结构时，可选用任一层为设计层；当采用半刚性基层、粒料类材料为底基层时，宜拟定面层、底基层厚度，一般半刚性基层为设计层可得到合理的结构；当采用柔性路面结构时，宜拟定面层、底基层的厚度，计算基层的厚度，当求得基层厚度太厚时，可考虑选用半刚性底基层，其上选用沥青稳定碎石作基层，以减薄路面总厚度，增加结构强度和稳定性。

8.0.15 路面交工验收弯沉值 l_a

1 路面交工时验收弯沉值 l_a ，以不利季节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。即：

$$l_r \leq l_a$$

(8.0.15-1)

式中： l_r ——实测每公里路面的代表弯沉值（0.01mm）；

l_a ——路面交工验收弯沉值

当以设计弯沉值为控制指标时， $l_a = l_d$ ；当以拉应力为控制指标时，应以最后确定的路面结构厚度和材料模量所计算的弯沉值为路面交工时的验收弯沉值。

2 代表弯沉值检测，应在路面交工前，用标准轴载BZZ-100的汽车实测路表弯沉值，若为非标准轴载应进行换算。对半刚性基层结构宜用5.4m的弯沉仪；对柔性或混合式结构可用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；其他情况下均应进行温度修正。若在非不利季节测定，应考虑季节修正。

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50～100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。路段的代表弯沉 l_r 按下式计算：

$$l_r = \bar{l} + Z_\alpha S \quad (8.0.15-2)$$

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

4 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。

8.0.16 温度修正

温度修正方法，可按照《公路路基路面现场测试规程》(JTJ059)中的规定进行，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：

$$T = a + bT_0 \quad (8.0.16-1)$$

式中： T ——测定时沥青面层平均温度（℃）；

a ——系数， $a = -2.65 + 0.52h$ ；

b ——系数， $b = 0.62 - 0.008h$ ；

T_0 ——测定时路表温度与前五小时平均气温之和（℃）；

h ——沥青面层厚度（cm）。

2 沥青路面弯沉的温度修正系数 K_3 按下式计算：

$$K_3 = \frac{l_{20}}{l_T} \quad (8.0.16-2)$$

式中： l_{20} —换算为20℃时沥青路面的弯沉值（0.01mm）；

l_T —测定时沥青面层内平均温度为 T 时的弯沉值（0.01mm）。

当 $T \geq 20^\circ\text{C}$ 时

$$k_3 = e^{\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{20}\right)h} \quad (8.0.16-3)$$

当 $T \leq 20^\circ\text{C}$ 时

$$k_3 = e^{0.002(20-T)h} \quad (8.0.16-4)$$

9 改建路面设计

9.1 一般规定

9.1.1 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《公路工程技术标准》的规定。

9.1.2 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。

9.1.3 改建设计前应调查历年的年平均双向日交通量、交通组成与交通量增长率等，并收集公路建设和养护的有关技术资料。

9.1.4 根据调查资料进行分段评价，分析旧路面损坏状况及利用的可能性，拟定旧路面改建的工程设计方案。

9.1.5 设计方案应在保证一定使用年限的要求下，考虑尽量减小旧路的翻挖工程数量，减小废弃材料；对交通量大的高速公路、一级公路以及城郊区公路宜选择施工方便、工期短，交通干扰少，对阻碍行车、社会影响小的设计方案。

9.1.6 设计方案应考虑沥青混合料、半刚性基层材料的再生利用，以减少污染、保护环境，并结合已有成果和经验，积极慎重地采用再生技术。

9.1.7 在旧路扩宽工程中应注意采取措施，加强新、旧路面之间的结合，防止加宽部分与原有路面纵向接茬处产生不均匀沉降。

9.1.8 大型改扩建工程应根据设计方案修建二至五公里的试验路，以总结交通管理、施工组织、施工工艺、施工质量控制、改进设计方案等方面经验。

9.1.9 对路面整体刚度较差的路段应进行补强设计。

9.2 沥青路面加铺层

9.2.1 设计应对原有路面做好调查，主要调查内容如下：

- 1 重点调查破损情况包括裂缝率、车辙深度、修补面积等。
- 2 采用贝克曼弯沉仪或FWD等无损检测方法评价原路面结构承载能力。
- 3 根据破损情况调查和承载能力测试与评价，结合路面外观选择好、中、差路面典型使用状况，进行分层钻孔取样和试验，采集沥青混合料和基层、底基层、

土基的样品，分析破坏原因，判断其破坏层位和是否可以利用。

4 钻孔取样调查路床范围内路基土的压实度、分层含水量与土质类型等，分析路基的稳定性、强度以及路基路面范围内排水状况等。

9.2.2 对旧沥青路面处理

1 沥青路面整体强度基本符合要求，车辙深度小于10mm，轻度裂缝而平整度及抗滑性能差时，可直接加铺罩面，恢复表面使用功能。

2 对中度、重度裂缝段宜视具体情况铣刨路面。不铣刨旧路面时，可对裂缝进行灌缝处理，修补松散、坑槽等，必要时采取防裂措施。对沥青层网裂、龟裂或沥青老化的路段，应进行铣刨并清除干净，设置粘层沥青。

3 当整体强度不足时应加铺补强层，对严重裂缝的路段可根据路面开裂深度或结构破坏情况，确定挖除深度和范围。

9.2.3 加铺薄层罩面

1 为改善提高沥青表面服务功能，可用薄层罩面处理：加铺磨耗层或超薄磨耗层或稀浆封层、微表处等。薄层罩面厚度可为10~30mm，可用改性沥青稀浆封层或单层表面处理或加铺沥青混凝土等。

2 超薄磨耗层一般厚度为15~25mm，混合料可选用有断级配SMA-10、SAC-10或粗级配ACG-10等。结合料宜用改性沥青或掺入其它添加剂，以提高超薄磨耗层的水稳性。

9.2.4 设计应根据下列情况将全线划分为若干段。分段时，应考虑下列因素：

1 将旧路面的破损形态、弯沉值、破损原因相近的划分为一个路段。

2 在同一路段内中，若局部路段弯沉值很大，可先修补处理，再进行补强，此时，该段计算代表弯沉时可不考虑个别大点。

3 各路段的最小长度应与施工方法相适应，不宜小于500m。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。

4 一般按1Km为单位对路况进行评价，当路况评价指标基本接近时可将路段延长。

9.2.5 各路段的计算弯沉值

各路段的弯沉值应采用BZZ-100标准轴载汽车，用贝克曼梁测定原有路面的弯沉值(或FWD测定)，每20~50米测一点，弯沉值变化较大时可加密测点，每车道、每路段的测点数不少于20点。各路段的计算弯沉值 l_0 应按式(9.2.5)计算：

$$l_0 = (\bar{l}_0 + Z_a S) K_1 K_2 K_3 \quad (9.2.5)$$

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_α ——与保证率有关的系数，高速公路、一级公路 $Z_\alpha=1.645$ ，二级公路 $Z_\alpha=1.5$ ，三，四级公路 $Z_\alpha=1.3$ 。

K_1 、 K_2 ——季节影响系数和湿度影响系数，根据当地经验确定；

K_3 ——温度修正系数。

9.2.6 旧路面当量回弹模量的计算

1 确定旧路面的当量回弹模量时，应根据路段的划分，分别按照贝克曼弯沉或落锤式仪（FWD）弯沉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（9.2.6-1）（轮隙弯沉法）计算：

$$E_t = 1000 \frac{2p\delta}{l_0} m_1 m_2 \quad (9.2.6-1)$$

式中： E_t —— 旧路面的当量回弹模量（MPa）；

p 、 δ $p\delta$ —— 意义同前

l_0 —— 旧路面的计算弯沉（0.01mm）；

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

m_2 —— 旧路面当量回弹模量扩大系数。

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

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

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

式中： E_{n-1} ——与旧路面接触层材料的抗压模量（MPa）；

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

4 等效总厚度 h' 按式（9.2.6-3）计算：

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

式中： E_i ——第*i*层补强层材料的抗压回弹模量（MPa）；

h_i ——第*i*层补强的厚度（cm）；

$n-1$ ——补强层层数。

9.2.7 加铺补强层设计

1 当强度不足时应进行补强设计，设计方法与新建路面相同。

2 加铺补强层的结构设计，应根据旧路面综合评价，公路等级、交通量，结合纵、横断面调坡设计，并与周围环境相协调，选用直接加铺或开挖旧路至某一结构层位，采取加铺一层或多层沥青补强层，或半刚性基层、贫混凝土基层等结

构层。

3 原路面与补强层之间视加铺层的结构与厚度,采取相应的减裂措施或铺设调平层,或将调平层与应力吸收层合并为一层铺设。

9.2.8 加铺补强层设计步骤:

- 1 计算原有路面的当量回弹模量。
- 2 拟定几种可行的结构组合及设计层,并确定各补强层的材料参数。
- 3 根据加铺层的类型确定设计指标,当以路表回弹弯沉为设计指标时弯沉综合修正系数按(9.2.8)式计算。

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

当以拉应力为设计指标时,按本规范8.0.2条规定计算。

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

5 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。

9.3 水泥混凝土路面加铺沥青路面

9.3.1 水泥混凝土路面应重点调查以下内容,并根据调查所划分病害种类、范围及程度进行分级。

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

2 用落锤式弯沉仪(FWD)或贝克曼弯沉仪(BB)进行现场测定。

1) 视路况每块板或每两块至四块板选一测点,在横向接缝板边距板角30~50cm处测定弯沉,用以全面了解水泥混凝土路面的承载能力情况。

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

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

9.3.2 旧路面接缝传荷能力的评价

1 弯沉差宜按式9.3.2计算。

$$\Delta_D = D_u - D_\ell \quad (9.3.2-1)$$

式中: D_u ——未受荷板接缝边缘处的弯沉值(mm);

D_ℓ ——受荷板接缝边缘处的弯沉值(mm)。

2 用贝克曼弯沉仪和落锤弯沉仪(FWD)测定横向接缝两侧板边的弯沉时,宜用平均弯沉值评价混凝土板的承载能力,并区分不同情形对旧板进行处治。

$$\overline{D} = \frac{D_u + D_\ell}{2} \quad (\text{mm}) \quad (9.3.2-2)$$

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

9.3.4 根据破损调查和承载能力测试资料，旧水泥混凝土路面加铺层设计可按表 9.3.4 进行处理。若路面结构承载能力不满足现有交通要求，应采取补强层措施，提高承载能力。

表9.3.4 不同路面破损条件下旧水泥混凝土路面处理方法

原路面状况	评价等级	代表弯沉值 mm	修补方法
路面破损状况	优和良	0.2~0.45	局部处理：更换破碎板、修补开裂板块、脱空板灌浆，使处治后的路段代表弯沉值低于0.2mm，然后加铺沥青层。
	中及中以下	> 0.45	采取打成发裂工艺；或将板打成0.3~1.0m以下的大碎块的打碎、振碎工艺，然后加铺补强层
接（裂）缝传荷能力不足		$\Delta_D \geq 0.06\text{mm}$	压浆填封，或增加传力杆，或采取打裂工艺消除垂直、水平方向变形，然后加铺沥青层。
路面行驶质量	中及中以下	< 0.20	采取防止反射裂缝措施，加铺沥青面层改善路面的平整度
路面抗滑能力	中及中以下	< 0.20	采取防止反射裂缝措施，加铺沥青面层提高路表面的抗滑能力
板底脱空			灌浆或打成发裂工艺、压实
排水不足			改善路面结构排水能力

9.3.5 沥青加铺层类型和厚度的设计，应根据公路等级、交通量、气候条件和投资状况，结合已有经验确定加铺层厚度。

1 沥青面层可由单层或双层组成，视具体情况增加调平层。C级以上交通的公路加铺沥青层的结构厚度，一般宜为100~180mm，其他公路宜为70~100mm。

2 按本规范有关规定考虑路面结构排水和防水要求。

3 在旧水泥混凝土路面上加铺沥青层时，宜用热沥青或改性乳化沥青、改性沥青做粘层，同时为防止渗水、减缓反射裂缝，加强层间结合，宜铺设长纤维无纺聚脂类土工布，或聚合物改性沥青应力吸收膜或设置应力吸收层，以提高抗疲劳性能。

9.3.6 破碎板的沥青面层补强设计

1 当原路面板接缝或裂缝处平均弯沉大于0.45mm以上时，宜打裂旧路面，消除旧混凝土板脱空，与基层紧密结合、稳定后，再加铺结构层。

2 当原路面板接缝或裂缝处平均弯沉大于0.7mm或旧混凝土板较破碎时，可将原路面板破碎成30~100cm的小块，作为下基层或底基层用。采用贝克曼弯沉仪或落锤式弯沉仪测定其当量回弹模量，按规范9.1节规定设计补强层和沥青层。

10 水泥混凝土桥面沥青铺装设计

10.0.1 高速公路、一级公路的中桥、大桥或特大桥的水泥混凝土桥面采用沥青面层时，其下的水泥混凝土桥面板（梁）应满足以下技术要求：

1 混凝土桥面板（梁）的混凝土标号应大于C30（预应力混凝土标号应大于等于C40）；混凝土桥面板（梁）之上应设置最小厚度不小于80mm的调平层（即水泥混凝土铺装层），且应按要求设置钢筋网；当采用纤维混凝土时，最小厚度不应低于60mm。

2 水泥混凝土铺装层标高和横坡应符合规定要求，表面应平整粗糙，干燥整洁，不得有浮浆、尘土、水迹、杂物或油污等。

3 水泥混凝土铺装层与沥青面层之界面，应采取技术措施，满足粘结紧密、防止渗水的要求。

10.0.2 沥青路面铺装应由防水粘结层及沥青面层组成，可做成单层式或双层式。单层厚度不宜小于50mm；双层式的表面层厚度不宜小于30mm。一般总厚度宜为50~100mm。在多雨潮湿地区、纵坡大于3.5%或设计车速大于50km/h的大中型桥面应铺设抗滑表层。

10.0.3 高速公路、一级公路的桥面沥青铺装层宜采用双层式，表面层宜为30~40mm，下面层宜为40~60mm，可兼作调平层。上面层与下面层之间应设粘层沥青。特大桥应根据具体情况进行单独设计，桥面沥青混凝土可掺入聚合物纤维（包括聚脂纤维、聚炳烯晴纤维等）提高桥面的使用寿命。

10.0.4 为提高桥面使用年限，应在桥面铺装层上设置防水层。桥面防水层可采用下列形式：

1 为避免防水层在施工过程中被损坏和减少雨雪渗入水泥混凝土铺装层，宜铺设厚度为10mm~20mm的砂粒式或细粒式沥青混凝土，或单层式沥青表面处治。

2 铺设防水粘结层 — 洒布改性沥青 $1.0\sim1.6\text{kg/m}^2$ ，再洒4.75~9.5mm单粒径预拌沥青碎石，用量 $3\sim5\text{kg/m}^2$ ，辗压稳定形成。

3 防水层与粘结层可合二为一形成防水粘结涂层 — 喷洒桥面专用防水涂料或涂刷聚氨酯胶泥、环氧树脂、阳离子乳化沥青、氯丁胶乳等高分子聚合物涂胶。

11 排水及其他路面工程设计

11.1 路面排水

11.1.1 一般规定

1 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、桥涵结构物排水、地下排水系统的设计，合理地布置路面排水设施，使排水系统有机地构成一个完整、畅通的排水体系，确保路基、路面稳定和行车安全。

2 路面排水包括路表排水和中央分隔带排水及路面内部排水。

3 路面最小纵坡、横坡应根据《公路工程技术标准》JTG B01的确定。

4 路面排水设计重现期，对高速公路、一级公路应为5年，对二级、二级以下公路宜为3年，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。

5 穿越乡、镇的公路其排水宜按乡、镇排水规划进行，公路路面排水一般宜采用排水沟、雨水井、连接管引入排水干管。

6 路面内部排水系统是为了排除通过路面接缝、裂缝或空隙，或者由路基或路肩渗入并滞留在路面结构内的自由水而设置的排水系统。它包含沿路面边缘排水系统和排水基层、排水垫层等三个部分。

11.1.2 路表排水设施主要有两种型式：

1 分散排水—由路面横坡、路肩加固和适当的边坡防护组成，适用于路线纵坡平缓、汇水量较小，路堤较低的路段。

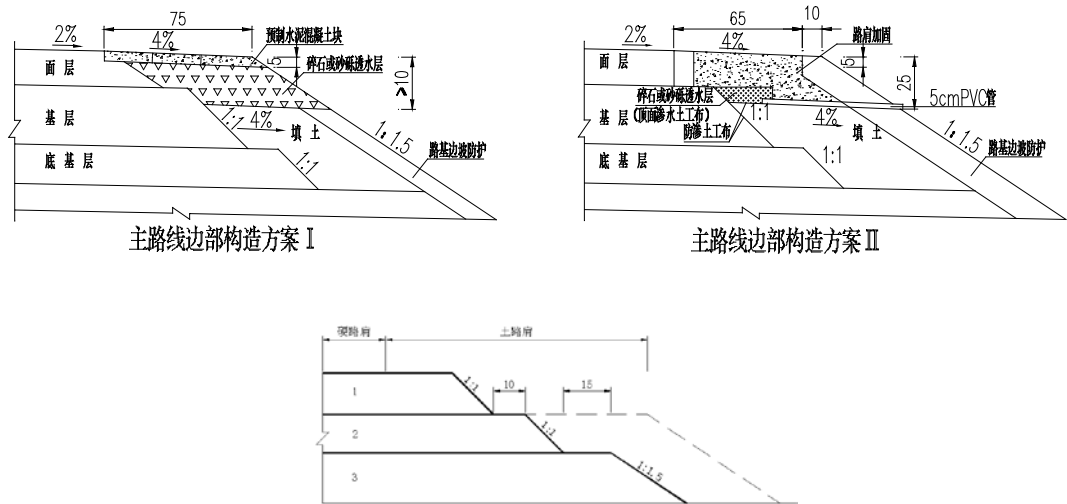
2 集中排水—由路面横坡、拦水缘石或矩形边沟、泄水口和急流槽组成，适用于路堤高度较高，或路堤易受冲刷的粉性土、砂性土路段，凹形曲线底部、大桥端部等。

11.1.3 分散排水的路段应考虑土路肩的加固和边坡的适当防护。

1 高速公路、一、二级公路的土路肩，可用5~8cm厚的预制水泥混凝土块铺砌，或现场浇筑，下设砂砾、砂、碎石等透水材料，以利于路面结构排水。对二、三级公路，土路肩应根据各地气候、土质状况等因素采取相应的加固措施，如用砂砾土、碎石土加固。

2 降低土路肩标高与基层相同，将土路肩用10#砂浆抹面30mm厚，并5m设一道缩缝，如图11.1.3，以加快多雨地区的路面排水，且利于路面内部排水。

3 应结合路基设计做好边沟和排水沟的排水系统，保证路面水能顺畅排除路基外。



注：硬路肩边缘构造（尺寸单位：cm），1—面层 2—基层 3—底基层

图11.1.3 分散排水路肩构造图

11.1.4 直线段的集中排水是通过路面横坡汇集路面表面水，然后通过泄水口和急流槽排离路堤。

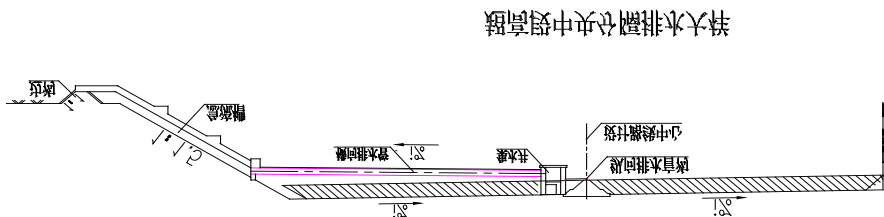
1 泄水口的间距应按有关规范计算确定，一般30~50米设一处，其开口宽度为0.5~1.0米,在凹形曲线的底部、桥头端部或其它适当的位置可多设置2-3个泄水口。

2 拦水带可用沥青混凝土或预制水泥混凝土制作。当用沥青混凝土拦水带时，其沥青混凝土混合料的级配宜符合表11.1.4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%。预制水泥混凝土拦水缘石，应预留相应的出水孔，以免阻止路面结构内部排水。

表11.1.4 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

11.1.5 对新建高速公路超高段的集中排水，应在中央分隔带边缘设置有钢筋混凝土盖板的预制U形混凝土沟或缝隙式排水沟。视降雨量的大小，在排水沟上每25~50m设一集水井，并通过横向排水管引至边坡的急流槽流入排水沟。



11.1.6 中央分隔带的排水设施由排水沟（明沟、暗沟）、渗沟、雨水井、集水井、横向排水管等组成，可分为封闭式及不封闭式两种类型，如图11.1.6所示。

多雨地区表面无铺面的中央分隔带，为排除渗入分隔带内的表面水，中央分隔带内可设置纵向排水渗沟，并间隔40~80m设一横向排水管将渗沟内的水排引出路界，渗沟周围包裹反滤织物（土工布），以免渗入水携带的细粒将渗沟堵塞。渗沟上的回填料与路面结构的交界处铺设涂双层沥青火设防水土工布。

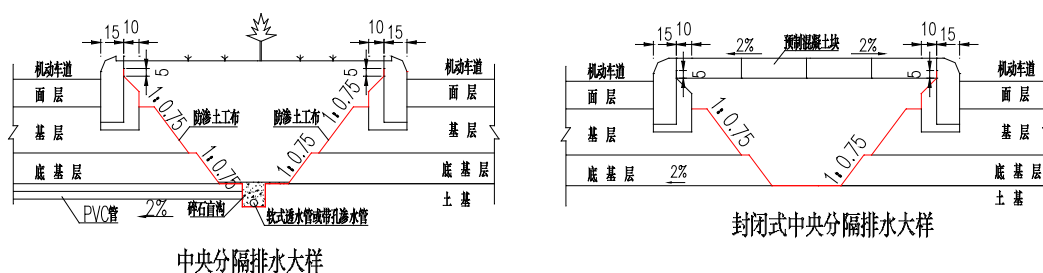


图11.1.6 中央分隔带排水

11.1.7 路面内部排水系统设计要求

路面内部排水可采用沥青碎石或骨架空隙型水泥稳定碎石或级配碎石作排水基层，并根据路面结构层的渗水量进行材料组成设计。

1 排水性基层的集料应选用洁净、坚硬而耐久的碎石，其压碎值不应大于28%，最大粒径可为20mm或25mm，集料级配应满足透水性要求（渗透系数不得小于300m/d），可通过常水头或变水头渗透试验确定。

2 骨架孔隙型水泥稳定碎石，其7d浸水抗压强度不得低于3~4MPa，开级配沥青碎石集料的沥青用量可为集料干重的2.5~4.5%。

11.1.8 路面边缘排水系统由透水性填料集水沟、纵向排水管、横向出水管和过滤织物（土工布）组成，宜结合当地经验进行设计。

11.1.9 桥面排水

1 桥面应有足够的横向和纵向坡度，使桥面上的降水能迅速排向桥面行车道两侧。桥面横坡应按路线设计横坡取用，或比后者大0.5%。桥面水通过横坡和纵坡排入泄水口，并汇集到纵向排水管。对于跨越一般河流的桥梁，桥面水可通过泄水管直接向下排放。

2 渗透至铺装结构内部的水可通过桥面边缘设置的排水槽排入泄水口，排水槽宜采用碎石盲沟或专用土工材料，其横截面为矩形或U形。

11.2 其他路面工程

11.2.1 桥头衔接

桥面铺装与桥头引道的路面应平稳、顺适地衔接，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。

11.2.2 路缘带、硬路肩等路面结构

- 1 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。
- 2 紧急停车带及加减速车道的路面结构与厚度宜与行车道部分相同。
- 3 匝道的路面结构宜与行车道部分相同，交通量小时可适当减薄。

11.2.3 服务设施区的路面结构

宜采用水泥混凝土路面，其厚度不小于260mm；采用沥青混凝土路面时其厚度宜与主线相同，有条件时可采用彩色沥青混凝土路面。

11.2.4 高速公路、一级公路路面的边缘构造宜按图11.2.4进行设计。

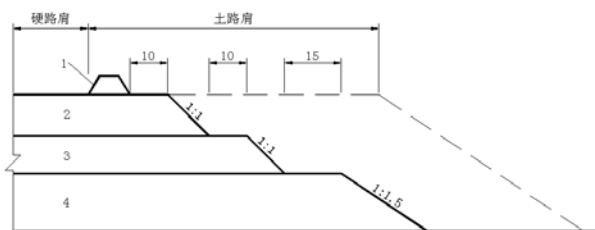


图11.2.4 硬路肩边缘构造（尺寸单位：cm）

1—路缘石 2—面层 3—基层 4—底基层

《公路沥青路面设计规范》

JTGD 50—2004

条 文 说 明

2004年9月16日

1 总 则

1.0.1 由于国民经济发展,带来交通量激增和重载车增多,对路面设计和施工是一个挑战。为提高路面设计水平和工程质量,减少早期损害,总结工程实践的经验教训,吸纳新的科研成果,有必要对原规范进行修订。

1.0.3 路面设计工作是一个系统工程,它不是单纯地厚度计算。因原材料性质决定沥青混合料或各种基层混合料的物理力学特性,各种混合料的性质决定了各结构层的路用性能,所以,材料直接影响路面质量与耐久性。各结构层的组合与当地的气候、交通量与交通组成密切相关,合理的结构组合,使路面获得经济、耐久效果。厚度计算与材料设计参数取值直接相关,没有实测材料参数厚度计算缺乏依据。若缺原材料调查,无合理材料单价,可导致变更设计,突破投资。故设计人员应重视材料调查,选用符合技术要求,经济合理材料,防止简单地套用路面结构,把设计变成是厚度计算。

设计工作包括以下具体内容:

- 1 调查与收集有关交通量及其组成资料,积极开展轴载谱分布的调查、测试工作;
- 2 收集当地气候、水文资料,了解沿线地质、路基填挖及干湿状况,通过试验或论证确定路基回弹模量;
- 3 设计人员应认真做好路用各种材料的调查,并取样试验,根据试验结果选定路面各结构层所需的材料;
- 4 施工图设计阶段应进行混合料的目标配合比设计,并测试、确定材料设计参数;
- 5 拟定路面结构组合,采用专用程序计算厚度;
- 6 对路面结构方案进行概算、技术经济比较,进行初期投资或长期成本寿命分析,提出推荐的设计方案。但是目前我国尚未建立初期投资、营运中的维修、养护费用等全过程的技术经济预估模型,希望有条件的设计、科研单位开展这方面的工作,积累资料。
- 7 认真做好路面排水、路面结构内部排水和中央分隔带排水系统设计,使路面排水通畅,路面结构内部无积水滞留。

1.0.4 该条文仅增加了路面设计应符合国家环境保护的有关规定,设计中应注意废弃料的处理,不能污染环境。鼓励积极开展旧沥青面层、破碎水泥混凝土板和旧基层材料的再生利用,节约资源,保护环境。

1.0.5 分期修建的方案,由设计单位根据实际情况决定。

1.0.6 新条文强调了设计目的不仅确定路面结构厚度,还应为行车提供快捷、舒适、安全、稳定、耐久的服务功能。现行弹性层状理论设计方法和设计指标,主要是考虑在车辆荷载的反复作用下,使路面具有相应的整体刚度(即承载能力),以及抵抗各结构层因拉应力或拉应变而产生的疲劳破坏。对于当前出现的水损害、车辙、推移、拥包等病害,用弹性层状理论尚难以得出符合实际的设计结果,故需通过沥青混合料的

性能设计，合理的结构组合等因素间接地控制。沥青混合料的高温、低温、疲劳、水稳性等性能的各影响因素，有的是相互矛盾的，因此在沥青混合料设计时，应结合各地的环境条件，抓住主要矛盾，综合、全面地考虑各种性能的平衡进行设计。

2 术语及符号

2.1 术 语

2.1.1~2.1.8 近年来,由于交通事业发展而出现了路面结构类型多样化的趋势,有必要明确各种沥青路面结构的定义,以避免路面结构概念称呼的混乱,更有针对性地开展研究工作。因此,将基层分为三种:半刚性、柔性、刚性基层。沥青路面分为半刚性基层沥青路面,柔性路面,贫混凝土路面,混合式基层路面。。

2.1.16~2.1.17 原规范未明确最大粒径和公称最大粒径的定义,新规范加以明确。级配的粒径以公称最大粒径命名,如 AC-13 其公称最大粒径为 13mm,最大粒径为 16mm。

最大粒径是指混合料中筛孔通过率为 100%的最小筛孔尺寸。公称最大粒径是指混合料中筛孔通过率为 90~100%的最小筛孔尺寸。

2.1.24 在路面结构或混合料的设计应考虑其最不利状态。在厚度计算时应考虑路面材料、路基的回弹模量在一年的季节变化中处于强度最低的状态为最不利。对路基而言,冰冻地区系指春季冻融时期,非冰冻地区系指雨季,因各地的雨季不同,不利季节也不同,有的地区是梅雨季节最不利,有的地区是雨量大或雨期长的季节是最不利季节。

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

3 一般规定

3.1 交通量

3.1.1 根据《重载沥青路面设计规范》研究报告，国外资料表明“世界上采用 100KN 为标准轴载的国家最多，占 34%；以 80KN 为标准轴载的国家次之，占 28%；标准轴载大于 100KN 的国家占 26%；标准轴载为 60KN 或 90KN 的国家各占 6%。”由于我国采取加强行政管理措施，限制超载，仍以双轮组单轴 100KN 为标准轴载。特殊运煤、运建筑材料等重载车为主的公路，据调查重载、超载车多的公路，其轮胎接地压强可达 0.8~1.1Mpa，相应的接地面积也有一定增加。因此，设计人员应根据实测的轮胎压力、当量圆直径资料，经论证适当提高荷载参数进行计算。

3.1.2 以弯沉值为设计指标时的轴载换算公式，原规范限定在双轮组单轴重为 130KN 之内使用，据《重载沥青路面设计规范》研究报告，从理论计算和实际检测的结果，再次确认路面弯沉比与荷载比的 b 次方成正比关系，并根据 ALF 加速加载试验，湖北襄樊试验路，津围公路，以及用落锤式弯沉仪 FWD 在郑洛高速公路、八达岭高速公路的试验分析结果，当路面弯沉在 20—40(0.01mm) 内， b 值平均为 0.93，原规范 b 值平均为 0.87，前者比后者大 6%，考虑柔性结构的弯沉值比半刚性基层大些， b 值应小些，因此，轴载公式可不改变。根据研究报告，实测轴重达 200KN，计算分析轴重达 250KN，故将轴重适用范围可扩大至 200KN。

沥青面层以拉应力为设计指标时， b 值取 0.87，指数方为 3.95， b 值取 0.93，指数方为 4.22，法国柔性路面用 5 次方，AI 美国沥青协会采用 4 次方计算，英国采用 4 次方计算，澳大利亚采用 5 次方，日本采用 4 次方，因此，我们推荐与弯沉等效相同用 4.35 次方。

当以半刚性基层层底拉应力为设计指标时，轴载系数公式未变，仍以 8 次方计算。关于贫混凝土基层以拉应力为设计指标时，如何进行轴载换算？用拉应力等效模式的轴载换算公式，对贫混凝土基层疲劳方程做的工作不多，从长安大学的研究结果得知，贫混凝土的疲劳方程如下式推导，轴载换算为 12.79 次方。

$$K_s = \sigma_s / \sigma_r = 0.513 N_e^{0.0677}$$

根据国外资料可知，法国为 12 次方，澳大利亚对稳定类的指数也为 12 次方，因此本规范建议贫混凝土基层采用指数为 12 次方计算。

3.1.3 路面设计年限是指路面完工开始营运起，在正常养护和维修、罩面的条件下至路面服务性能下降到需大修时的时间，原规范一般规定为 6~15 年。但与国外相比，我国规定的设计年限较短。根据国外资料，路面设计中有设计年限和分析年限之分，设计年限的概念与我国相同，分析年限是用于进行长期性能、寿命评价用。如美国 AASHTO 设计法，分析年限对交通量大的城市道路为 30~50 年，交通量大的郊区道路为 20~50 年；对交通量小的城市道路为 15~25 年，交通量小的砂砾路面为 10~20 年。设计年限一般为 10~20 年。英国、法国、德国、南非设计年限一般为 20 年。澳大利亚

设计年限为 20~40 年，加铺罩面为 10~20 年。日本的设计年限，从疲劳开裂出发为 20 年，但是，管理者可根据交通情况、环境、路面寿命成本效益，可用稍长或稍短的设计年限。因此，新规范在原有基础上对特殊情况可适当延长设计年限。对改、扩工程，因公路等级和工程规模不同，由各省市区根据具体情况，确定设计年限。

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

对改建工程可根据有代表性的月、日、时的实测轴载谱，或调查的各类型车的轴载分布资料，可将单轴大于或等于 25KN 的各种车辆分别按轴重每 10KN 分级排列，按本节规定计算前、后轴的轴重换算系数 α_i ，并考虑轮组系数 C1 和轴数系数 C2 影响。

3.1.8 增加交通量等级的原因：

1 路面厚度计算中采用设计年限内一个车道累计当量标准轴次 N_e 作为依据，但是，累计当量标准轴次它不能完全反映车辆荷载对路面产生车辙、平整度、耐磨抗滑等性能指标的直接作用，则难以用累计当量标准轴次建立直接相关性。

2 在材料与混合料的设计、结构设计等方面，一般均考虑公路等级的关联，但从有关调查资料分析可知，同一公路等级的交通量及组成却大不相同。这样造成对交通量小的高速公路的技术要求过高，而对交通量很大的二级公路的技术要求却偏低，因此，有必要根据国内交通的实际情况，在考虑公路等级的同时，也考虑交通量等级。

3 国外交通量的分级，多采用日平均货车或大型车分级，如澳大利亚、法国、德国、日本等，也有用累计当量轴次(万次)进行交通量分级，如美国沥青协会 AI、南非等，一般分为四至七级或更多。我国过去多以累计当量轴次(万次)表征交通量的大小，鉴于考虑多种性能指标，以及对材料、混合料的设计、结构设计等方面技术要求，有必要增加以汽车为主的划分交通量等级方法。根据国家干线公路交通调查资料划分为七级，经综合分析，考虑我国汽车交通量构成比例、国道交通量和高速公路上(中型标准车)的分级，将我国交通量划分为五级，分为特轻、轻、中、重、特重交通等级。因我国地域大、东西南北地域的经济发展极不平衡，交通量分布相差也很大，因此划分为五级是合理的。

3.2 对路用材料的技术要求

3.2.1 沥青标号和沥青技术指标的选择与工程所在地的气候密切相关。一般情况下宜按公路沥青路面施工技术规范选择划分气候区、选择沥青标号。

由于最热月份每天最高气温的平均值表征的气温低于最热月份连续七天的最高气温平均值，而车辙最容易在最热的几天发生。因此，有的地区在选择沥青标号和沥青技术指标时，参考了美国 Superpave 的 PG 分级方法，用历年最高月气温中连续七天高

温的平均值和 98% 保证率, 并考虑气温与路面温度的相关关系, 计算路面最高温度, 以此选择沥青高温技术指标。同时以历年极限最低气温选择低温技术指标。该方法已在部分省中使用。附录 B 提供部分地区 1960 年至 2000 年累计的气象资料整理, 供使用。当连续七天高温的平均值小于 30°C 的地区可视为凉区; 当平均值为 $30^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 的地区为温区; 当平均值大于 35°C 的地区为热区。各地可根据气温资料, 建立与路面下 2cm 深处的温度与当地的气候、地理参数等建立相关关系, 预估路面最高温度。

气候区划为热区, 对夏季持续高温较长, 或重载车较多的高速公路, 可选用稠度高、 60°C 粘度大的沥青; 对气候区划为凉区, 宜选用稠度较低、低温延度较大的沥青。

当沥青层为二至三层或沥青层较厚时, 表面层宜考虑选用高温、低温性能均较好, 并耐老化的沥青; 对中面层、下面层宜选用高温抗车辙、热稳性好的沥青, 或选用稠度高一级的沥青。

3.2.4 改性沥青是根据对沥青路面的使用要求, 在基质沥青中掺入一定数量的高分子聚合物、天然沥青或其他改性剂, 经加工制作使其某些性能有所改善或提高的结合料。

选择改性剂应根据使用要求考虑以下因素, 并结合当地的实践经验和投资条件综合确定。

1 为提高高温抗车辙能力, 宜使用热塑性橡胶类、热塑性树脂类或其他化学、物理改性剂及天然湖沥青等。

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

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

天然沥青——有天然湖沥青 (如特立尼达湖沥青), 页岩沥青等。

2 为提高低温抗裂能力, 宜使用热塑性橡胶类或橡胶类, 及其他化学改性剂。

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

3 当交通繁重或气候条件严酷, 可采用两种改性剂进行改性, 以综合改善路用性能。

4 当采用新品种的改性剂时, 宜参考国内外有关技术标准或规范, 经实践验证是合理的。

5 改性沥青品种较多, 同一改性剂获得的改性沥青其质量也有差异, 应加强试验检测工作, 严格控制改性沥青的质量。

3.2.7 路面的横向力系数与沥青混合料的石料品质, 构造深度与集料的级配密切相关。设计人员应认真调查沥青表面层用粗集料, 选择强度较高、磨光值大、耐磨耗、符合石料磨光值 **PSV** 要求的石料。常用的石料有玄武岩、安山岩、片麻岩、辉绿岩, 砂岩, 花岗岩, 闪长岩, 硅质石灰岩以及经轧制破碎的砾石等。

沥青表面层用粗集料除应满足 3.2.7 条有关石料磨光值的要求外, 为提高混合料的水稳性, 在年平均降雨量大于 500mm 的地区, 高速公路和一级公路抗滑表面层所用的细集料, 可掺入一定量的石灰岩石屑或其他磨光值较小的石屑; 二级公路和三级公路

表面层所用的粗集料，可掺入一定量的石灰岩碎石或其他磨光值较小的碎石。

在年平均降雨量小于 500mm 的地区，表面层的粗、细集料均可掺入一定比例的石灰岩或其他磨光值较小的碎石或石屑。

3.2.8 当粗集料与沥青的粘附性达不到要求时，应进行试验确定掺入消石灰或水泥剂量，因各地的石质不同，不宜照搬。一般在沥青混合料中掺入总质量为 1.5—2% 的消石灰或掺入总质量为 2—3% 的水泥代替矿粉，使沥青混合料达到本规范第 7 章中有关水稳性指标的要求；若仍不能满足水稳定性的要求时，可在沥青中采取掺入耐高温、耐水性持久的抗剥落剂或采用改性沥青等措施，以提高其粘附性，防止沥青与石料间剥离。

4 结构层与组合设计

4.1 结构层设计

4.1.2 原规范将沥青混凝土路面都称为高级路面，表面处治为次高级路面，泥结碎石、级配碎石等为过渡式路面，砂石路面为低级路面。由于沥青混凝土适用于各级公路，但仅因不同公路等级的沥青层厚度不同。若三级公路铺筑 30~50mm 沥青混凝土也称高级路面显然是不妥的。因此，本规范修改了沿用四十年的路面等级划分方法。

4.1.3 沥青路面结构层最小厚度有一些调整，主要是考虑沥青层的厚度与沥青混合料的公称最大粒径相适应，并结合实践经验提出表 4.1.3，以便于碾压密实，提高其耐久性、水稳性，防止水损害。最小厚度是从施工角度考虑可以施工的最小厚度限制，但并不是适宜的铺装厚度，设计各结构层时宜考虑适宜厚度。

4.1.5 对半刚性材料基层，由于发现有的设计单位将一层厚度设计为 25~27cm，施工单位则将一层分为 12+13、15+12 或 13+14 两层施工的情况，使半刚性材料结构层小于最小厚度，在重载车的作用下，薄半刚性基层易产生过大拉应力而出现开裂，因此，该条强调在设计时应避免设置过厚或过薄的基层或底基层。基层、底基层的一层摊铺碾压厚度宜为 18~20cm，若有特重型的压实设备可适当增厚。

4.2 结构组合设计

4.2.1 随着公路事业发展，沥青路面结构由单一的半刚性基层沥青路面，向多样化发展。近十几年来，我国广泛采用半刚性基层沥青路面，因该结构整体性好、强度较高，具有一定刚度，公路的承载能力普遍比过去提高了，正因为采用了半刚性基层沥青路面结构，我国的公路基本满足了近十年公路交通运输的飞速发展，适应了国民经济发展的需要，过去公路上的网裂、龟裂，尤其是翻浆、沉陷、鼓包等严重破坏现象大为减少。但是，它存在着如低温开裂，抗冲刷能力不足，层间结合不良等问题，为此，一方面改进现有半刚性基层存在的问题，另一方面改进和增加新路面结构类型。

1 半刚性基层沥青路面——我国常用的典型结构，适合各级公路选用，是在半刚性基层上一般铺筑小于 180mm 以下的沥青混合料或粒料的结构。半刚性基层是它的主要承重层，该结构当层间为连续状态时的沥青层底多数为压应力，设计时主要考虑半刚性基层的拉应力。

2 柔性路面——是无无机结合料稳定层的路面结构，故它具有较大的塑性变形，路基强度大小直接影响柔性路面结构承载能力，要求沥青层较厚，初期投入成本高，柔性路面用于重型、特重交通的公路我国尚缺乏实践经验，应认真对待，逐步累积经验。全厚式沥青混凝土——在处治或未处治过的路基上，路面结构全部用沥青混合料铺筑，一般沥青层达 400~500mm 以上，属柔性路面范畴之内。它主要用于繁重交通或当标高受到限制的街区道路特殊路段。这类结构因沥青层较厚，路面维修可不翻修、

基层、底基层而只修面层，国外专家认为它具有较长寿命。

3 刚性基层——在工程实践中有的运输煤、矿石、建筑材料等的公路，为满足重载交通的需要采用了贫混凝土、混凝土等刚性基层；在改建工程中对个别强度很差的路段，为了减少开挖深度时也采用了贫混凝土基层。为适应生产需要，在总结现有试验成果与经验的基础上，增加了该结构内容。由于该类结构的运用还仅是开始，尚需不断累积新经验。

4 混合式沥青路面——在半刚性基层上设有厚度小于300mm以下的沥青混合料或粒料等柔性基层，它与其下的半刚性材料层组合构成承重层。

由于在半刚性材料层上设计了较厚的柔性材料层，使半刚性材料层位下放，以至成为底基层。因此，设计时可视交通量、柔性材料层厚度，可适当降低半刚性材料要求，减少水泥用量，减少低温裂缝。同时沥青层增厚或设置级配碎石过渡层，也具有减缓动水压力和反射裂缝的作用。混合式结构实质上可属于半刚性基层沥青路面，它们仅是在半刚性基层铺筑柔性材料层的厚度不同，前者薄后者厚而已，但后者的使用性能介于半刚性基层沥青路面与柔性路面之间，取两者之长，避两者之短。

另外，对特重交通，有的国家采用连续配筋混凝土或水泥混凝土上加厚度小于90~160mm薄层高品质改性沥青混凝土结构，实践证明具有很高的承载能力，且车辙较小。但是，从我国当前工程质量、施工水平、管理水平、以及经济条件考虑，从我国是一个缺乏沥青资源的国家出发，对某些公路适当增厚沥青层是需要的，但柔性结构、全厚式沥青混凝土距国情差距较大。

路面结构类型选择主要是根据我国的实际情况，目前仍应以半刚性基层沥青路面结构为主，混合式沥青路面已在多省的公路上采用，取得了较好效果。柔性路面结构开始试验研究中。

我国地域广阔、气候、材料、水文条件以及经济发达程度、交通量和组成情况差异很大，规范难以概括所有情况，因此，希望各省市应根据本地的气候、材料、路基、交通情况提出适合当地条件的路面推荐结构。

4.2.3 根据理论分析可知，路面结构厚度与层间模量比有密切关系，故提出适当控制层间模量比的要求。沥青层的回弹模量一般小于半刚性基层材料和贫混凝土基层材料的回弹模量，从理论分析，若沥青层与半刚性基层材料和贫混凝土基层材料之间是连续体系时，沥青层多数处于受压状态，而不出现拉应力，只有半刚性基层材料和贫混凝土基层自身层底受拉应力，上下层间模量比越小，下层拉应力越大，故半刚性基层的刚度不宜太大。若层间接触面在浸水状态可能导致界面产生滑移时，上层底面可能出现比连续状态大一至二倍的拉应力。因此从设计上应采取可靠技术措施，防止层间滑移。层间适当的模量比，使结构层受力更合理；保证层间结合状态的连续，是提高路面耐久性的关键。

4.2.4 半刚性基层或贫混凝土基层模量增大，层底拉应力增加，沥青层剪切应力、或沥青层与半刚性基层界面之间的剪切应力越大。因此，在进行半刚性基层或贫混凝土基层混合料的设计时，刚度不宜过高，若选择较大的材料模量时，对这类结构不仅以

层底拉应力为控制指标，还应验算沥青层的剪应力和界面剪应力，并使沥青混合料具有较高的抗剪强度，在层间界面结合更牢，防止层间界面推移。在有条件的单位，应开展这方面的试验与研究。

4.2.7 沥青应力吸收膜、沥青应力吸收层、聚脂土工布粘层具有防止反射裂缝和加强层间结合的作用。

在半刚性基层上洒布具有富有弹性恢复能力的聚合物改性沥青，如SBS改性沥青、橡胶沥青等，洒布量为 $1.0\sim 1.6\text{kg/m}^2$ ，再洒适量小碎石或预拌碎石 $3\sim 8\text{mm}$ ，不必满铺，约占洒布面积的 $60\sim 70\%$ 即可，经碾压形成应力吸收膜，具有一定减裂和加强层间结合的作用。

沥青应力吸收层是采用粘结力大、弹性恢复能力很强的改性沥青做成砂粒式或细粒式沥青混凝土，具有空隙率较小、不渗水、抗变形能力与抗疲劳能力很强的薄层结构，一般为 $20\sim 25\text{mm}$ ，具有较好的抗疲劳、防止反射裂缝效果。

聚脂土工布粘层是在洒热沥青或改性沥青、改性乳化沥青后，布设长丝无纺聚酯土工布，经轮胎压路机碾压使沥青向上浸渍而形成具有减裂、防水、加强层间结合的作用的粘结层。沥青的洒布数量宜通过试验确定，一般用量为 $0.8\sim 1.4\text{kg/m}^2$ 。

4.2.8 粘层沥青与原规范规定不同的是各沥青层之间都要求洒布粘层沥青。一般新建沥青面层之间可洒布乳化沥青，乳化沥青洒布量宜为 $0.3\sim 0.5\text{L/m}^2$ （沥青含量约为 $0.15\sim 0.25\text{L/m}^2$ ）；在旧沥青路面或水泥混凝土路面及桥面板上洒布粘层沥青时，应洒布改性沥青或同标号热沥青。沥青洒布量宜为 $0.8\sim 1.4\text{L/m}^2$ ，并洒预拌碎石或 $4.75\sim 9.5\text{mm}$ 或 $3\sim 8\text{mm}$ 碎石。也可洒布改性乳化沥青。

4.2.9 下封层是设在半刚性基层表面上，为了保护基层不被施工车辆破坏，利于半刚性材料养生，同时也为了防止雨水下渗到基层以下结构层内，以及加强面层与基层之间结合而设置的结构层。下封层虽有多种做法，实践证明沥青单层表处是经济、有效的方法之一。

4.2.10 上封层的结合料应根据设置上封层的用途，公路等级，交通量等级，气候特点等选择，并与旧沥青面层用的沥青标号一致或更高一级。重交通石油沥青、改性沥青、改性乳化沥青、乳化沥青等均可选用。

5 路基与垫层

5.1 路基

本节删除与《公路路基设计规范》相关的内容，即路基填料、压实度等，保留与路面工程密切相关部分。

5.1.6 原条文规定“当采用重型击实标准时，路基回弹模量值可较表列数值提高15%~30%”，根据土基回弹模量专题研究的成果：对几个省不同土质的室内承载板进行的重轻型击实标准对比试验结果分析表明，在相同压实度条件下（最佳含水量分别按各自的击实试验结果选取），重型标准模量基本上是轻型标准模量的2倍。因此，该条可适当提高20~35%。

5.1.7 根据土基回弹模量专题研究的成果：对几个省不同路基土的室内承载板试验结果表明，路基回弹模量与压实度基本呈线性关系，因此，建议“绘成压实度与回弹模量曲线”改为“绘成压实度与回弹模量直线”。同时，由于室内承载板试验时，杠杆仪的试验台犹如刚性下卧层，为此，推导了具有刚性下卧层的弹性层应力、应变和位移的计算公式，并通过轴对称有限元分析和现场承载板实测结果的对比验证，表明室内承载板法的路基回弹模量结果的理论修正系数为0.8120，规定“宜乘以0.7~0.9的折减系数修正”是合适的。为了实际设计操作方便，建议改为“并乘以0.8的折减系数修正”。

5.1.8 当路建成建后，应在不利季节实测各路段土基回弹模量代表值以检验是否符合设计值的要求，即采用现场实测。实测法有承载板法、弯沉值、便携式落锤弯沉仪(PFWD)。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。

根据土基回弹模量专题研究，公式(5.1.7-1)式不应采用原规范的式(6.1.5-3)，因为路基回弹模量实测结果的变异性往往很大，当变异系数超过0.5时，高速公路和一级公路的 $(\bar{E}_0 - Z_a S)$ 就会出现负值，这显然不符合实际情况。因此建议采用折减系数 K_a 的方法。对于 K_a 的取值不宜对不同等级的公路进行规定，因为当 \bar{E}_0 值相同时，会出现公路等级越高而路基设计模量值反而越小，这样对路面结构设计有利，但当采用路基弯沉进行验收时，结合5.1.10条，就会出现公路等级越高路基设计弯沉反而越大的矛盾。因此建议 K_a 的取值不明确公路等级，可以稍微模糊一点，可改为“ K_a 为折减系数，在1.5~2.0之间根据当地经验选取”，公路等级高宜取高值，等级低宜取低值。同时，取值在1.5~2.0之间偏严，因为同时考虑 K_1 ，建议可考虑在1.25~1.75之间选取。

5.1.9 用贝克曼梁测定土基弯沉值，计算该段路的土基弯沉代表值，以检验土基压实是否达到设计土基回弹模量值的要求。当测定时间在非不利季节时，检验弯沉值应将不利季节的 E_0 按下式计算换算成非不利季节的弯沉值。

$$L_{0D} = 1000 \cdot \frac{2p\delta}{E_{0D}} (1 - \mu_0^2) \alpha_0 / K_1 \quad (5.1.9)$$

式中：K₁为非不利季节系数，K₁因各地气候湿度变化而异，从过去对砂石路面的调查结果，该系数为 1.1~1.7，各地应根据经验取值。

E_{0D}为最不利季节的土基回弹模量，即设计值。

5.1.10 建议式(5.1.9-1)与式(5.1.10)形式相同，K_a和K₁的取值也相同。因为按理论上说，便携式落锤弯沉仪(PFWD)的实测模量结果为动模量，要比承载板的静模量大，实际上，PFWD的荷载在 0.10~0.15MPa之间，比承载板的荷载小得多，其大小更接近车轮荷载传递到路基顶面的压力，由于路基土的非线性，所以根据我们实测结果对比分析表明，PFWD的模量与承载板的模量十分接近。因此，取式(5.1.9-1)与式(5.1.10)形式相同。

5.1.11 用现场便携式（单点）落锤弯沉仪测定、计算土基回弹模量值，及利用该成果，换算、估计土基回弹模量值是根据西部交通建设科技项目“公路路基回弹模量的研究”课题成果而推荐，供各地参考。

便携式落锤弯沉仪（PFWD: Portable Falling Weight Deflectometer），或称手持式落锤弯沉仪（HFWD: Hand-hold Falling Weight Deflectometer），或称微型落锤弯沉仪（MFWD: Mini Falling Weight Deflectometer），由加载机械装置和数据采集系统组成。

结合的几条高速公路路基回弹模量现场检测的部分测试结果，PFWD 测得的回弹模量与承载板回弹模量和弯沉的关系如下：

1 湖南省机场高速公路

1) 砾石土填方路基

$$E_b = 2.7046E_p^{0.7475} \quad (n = 14, r = 0.9101) \quad (5.1.12-1)$$

$$E_p = 12354.0l^{-0.8878} \quad (n = 14, r = 0.8721) \quad (5.1.12-2)$$

红粘土填方路基

$$E_b = 16.4460E_p^{0.3989} \quad (n = 14, r = 0.7095) \quad (5.1.12-3)$$

$$E_p = 53179.8l^{-1.2565} \quad (n = 14, r = 0.8655) \quad (5.1.12-4)$$

2 云南省砚平高速公路

1) 弱风化碎石土填方路基

$$E_b = 3.8067E_p^{0.7637} \quad (n = 12, r = 0.9154) \quad (5.1.12-5)$$

$$E_p = 685.9l^{-0.2951} \quad (n = 13, r = 0.6817) \quad (5.1.12-6)$$

弱风化碎石土挖方路基

$$E_b = 51.9325E_p^{0.2819} \quad (n = 14, r = 0.5448) \quad (5.1.12-7)$$

$$E_p = 434.7l^{-0.1632} \quad (n = 13, r = 0.3440) \quad (5.1.12-8)$$

弱风化碎石土半填半挖路基

$$E_b = 7.2534E_p^{0.6212} \quad (n = 16, r = 0.7045) \quad (5.1.12-9)$$

$$E_p = 1682.9l^{-0.5365} \quad (n = 16, r = 0.7633) \quad (5.1.12-10)$$

上列式中： E_p 、 E_b 和 l 分别表示PFWD回弹模量值(MPa)、承载板回弹模量值(MPa)和贝克曼梁弯沉(0.01mm)； n 和 r 分别表示样本数和相关系数。由于西部课题还在研究中，以上资料仅供参考

5.2 垫层与抗冻层设计

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

5.2.4~5.2.5 该条是新增加内容，因季冻区路面在路基竖向冻胀力作用下发生变形，产生冻胀值。由不均匀冻胀值使材料弯曲变形超过材料极限应变时，路面产生纵向裂缝乃至破坏。将路面结构按 1 米宽的简支梁来计算，验算路面材料的容许变形。参照《东北片区柔性路面厚度计算方法，东北片区修订‘公路沥青路面设计规范’1977，元月》和《柔性路面抗冻厚度设计方法的研究，哈尔滨建筑大学，1995》的冻胀观测资料确定。 ζ_1 是路面材料安全系数，高速、一级公路或材料试验均匀性不好时宜取大值。 ζ_2 是沥青面层材料工作温度系数，表中路面材料低温拉应变指标是根据各冻区的年最低气温而提出的路面材料低温拉应变指标。系数 ζ_1 是把沥青路面材料的-10℃弯拉应变试验指标转换成各冻区实际温度下的弯拉应变指标。 ζ_2 的确定依据现有不同温度下的沥青混合料弯拉应变试验结果。对于半刚性基层材料，从目前掌握的试验资料看，在低温下一定范围内材料的弯拉应变随温度变化不大，所以对半刚性材料 ζ_2 取 1。对于沥青碎石基层由于其位于面层之下，冬季工作温度要高于沥青面层，所以沥青碎石基层与半刚性基层一样不考虑温度系数的影响。对于二灰土、水泥土等底基层材料，由于其材料的弯拉应变值（ $210 \sim 190 \mu$ ）接近于二灰碎石和水泥稳定砂砾基层的弯拉应变值，且底基层位于基层之下，所以不做底基层材料冻胀变形破坏验算。

对于二级及二级以下公路可按最小防冻厚度进行验算，其沥青路面结构层总厚度应不小于最小防冻厚度的规定。

6 基层、底基层

6.1 半刚性材料基层

6.1.5 骨架密实型混合料要求集料的最大粒径不宜太大，以减小混合料离析。试验确定骨架密实型粗集料的级配时，应先将粗集料划分成二至三挡，通过表面振动压实的方法逐级填充，并计算振实密度和空隙率，直到找出振实密度最大的粗集料组成。在此基础上，用体积法计算确定细集料和结合料的压实体积和重量，从而确定细集料的组成和结合料的比例。

为寻求强度高、抗裂性、抗冲刷性好的基层性能，一些专家、学者也在稳定集料基层的混合料组成和集料级配方面提出了一些改进意见。总的来看，都趋向于形成骨架密实结构的状态。在此基础上总结提出骨架密实结构的集料级配范围。但是，骨架密实状态是否形成，必须根据具体级配和混合料配合比进行检验。

原规范中提出的各类无机结合料稳定粒料类基层材料，其级配是按最大密实原理设计的连续级配。经试验分析均属于悬浮密实结构类型。研究成果与工程实践表明：随着混合料中 4.75mm、2.36mm、0.075mm 的通过量减少，尤其是 0.075mm 的通过量减少，基层的抗裂和抗冲刷性能明显提高。因此，悬浮密实结构的集料级配中对 2.36mm 以下的细料含量，尤其是 0.075mm 以下的细料含量的限制要求提高。

6.1.6 虽然随着水泥剂量的提高，基层的强度会相应提高，但脆性也相应增大，因此有必要限制水泥剂量。这样也符合通过改善集料的级配和混合料的结构形态来达到设计强度要求。

6.1.7 无论是水泥稳定基层还是石灰粉煤灰稳定基层，混合料中 4.75mm 以上粗集料形成骨架状态时，粗集料的分布状态应当是一样的。但是从粒度上讲，细集料粒度对于水泥稳定基层包括小于 4.75mm 的细集料和约 6% 的水泥，对于石灰粉煤灰稳定基层包括小于 4.75mm 的细集料和约 20% 的粉煤灰。混合料的密度基准不同，所以形成骨架密实状态时的细集料重量比或混合料中粗集料的重量比不同。形成骨架密实状态时，水泥稳定类基层混合料中粗集料的比例约在 65% 左右，石灰粉煤灰类基层混合料中粗集料的比例约在 75% 左右。这一界线比例随着混合料中水泥或石灰粉煤灰的比例变化而变化，随着粗集料的具体级配的变化而变化。

6.1.9 石灰粉煤灰混合料配合比的改进各地研究较多。主要是寻求基层抗裂和抗冲刷性能的改善。一些级配的提出是希望减小石灰粉煤灰混合料中细集料的含量，但最后的结果从粗集料分布状态分析，所提出改进型级配都向骨架密实结构方向靠近。因此，本规范在总结各地实践经验的基础上提出推荐集料级配范围。

6.1.13 从稳定土原理上讲，粉煤灰与石灰并用能起到较好的稳定效果。往往有些地区有粉煤灰资源而缺乏石灰，或有石灰，但质量不合格或不稳定，只有用水泥和粉煤灰稳定。国内河南、河北等省的实际工程中已有采用水泥粉煤灰稳定基层的实例，并取得了较好的应用效果。本次规范列入水泥粉煤灰稳定基层类型，允许采用该种稳定类基层，以积累使用经验。

水泥粉煤灰稳定基层在应用中由于缺乏相应的技术规定。各工程一般按水泥稳定基层的强度标准进行配合比设计。实际上水泥粉煤灰稳定类材料的强度发展特征介于水泥稳定和石灰粉煤灰稳定的情况之间，即早期强度高于石灰粉煤灰稳定而低于水泥稳定；后期强度发展幅度高于水泥稳定而低于石灰粉煤灰稳定。本规范所列水泥粉煤灰稳定类基层材料配合比设计时的强度标准是根据有关室内试验和工程应用情况提出的。

6.1.14 水泥粉煤灰稳定类基层材料的强度随着水泥的剂量增大而增大。由相关试验结果，从基本强度要求和抗冲刷角度考虑，水泥剂量不宜低于 3%。同水泥稳定类基层材料一样，随着水泥剂量的增大，材料的收缩性增大，脆性增大。虽然水泥粉煤灰稳定时的收缩性要好与单纯水泥稳定时的情形，但从强度和收缩性角度综合考虑，水泥剂量不宜大于 7%。

6.2 柔性基层

6.2.2~6.2.4 半开级配大粒径沥青碎石混合料 LSM，近年来在国内外引起了极大的兴趣，美国一些州在总结三十年来重交通荷载作用的道路应用情况后，认为大粒径沥青碎石混合料对抵抗重交通荷载作用有着相当的潜能。我国许多省市近年来进行了研究和应用，取得了良好的使用效果。大粒径沥青碎石混合料与传统沥青混合料的最大不同之处，在于采用大粒径的骨架结构，最粗一级的粗集料含量通常在 50%以上，以确保具有良好的抵抗车辙能力。因此在级配组成上区别于传统的沥青混凝土和沥青碎石，而趋向于贯入式结构的矿料组成。

根据近年来的研究，空隙率较大的开级配排水基层（空隙率在 18%~24%）所涉及到的问题较多，其抗疲劳性能令人担心。如瑞典国家道路与运输研究所（Swedish National Road and Transport Research Institute）通过实验室研究、加速加载试验、现场 FWD 检测等研究，比较了四种不同结构的沥青基层材料使用性能时，认为空隙率较大的开级配排水基层其耐久性能较差。为了兼顾排水和耐久性，我们对半开级配沥青碎石混合料的排水性能进行了研究，通常条件下，当半开级配沥青碎石混合料空隙率大于 12%时，其渗透系数（按照 ASTM PS 129-01 的实验方法测定） $>0.01 \text{ cm/s}$ ，也就是可以满足开级配沥青磨耗层 OGFC 的渗水要求。因此，在满足排水要求的条件下，应当适当减小混合料空隙率，以提高混合料的耐久性。

其中半开级配基层沥青混合料（LSM30、LSM52）在美国的中西部一些州如印第安纳州应用取得了良好的使用效果。目前如印第安纳州标准规范（Indiana DOT STANDARD SPECIFICATION 1999）将半开级配基层沥青混合料作为主要的基层材料，推荐了两种级配组成。

表 6.2.5 印第安纳州基层沥青混合料级配范围表

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

半开级配大粒径沥青碎石混合料级配组成通常采用特殊的体积法级配设计，NCHRP386 采用体积填充的方法通过线性规划求解混合料的级配组成。

6.2.5 沥青碎石在原规范中主要是指半开级配沥青碎石 AM，空隙率一般为 12%~18%。近年来国外普遍采用的沥青碎石类材料分为两类：（1）密级配沥青稳定碎石基层混合料（ATB），其公称最大粒径大于 26.5mm，设计空隙率为 3~6%，国外也称其为大粒径沥青混合料(LSM)；（2）半开级配或开级配的排水沥青碎石混合料基层，其公称最大粒径通常大于 19mm。半开级配排水沥青碎石基层的设计空隙率 15%~18%，开级配排水沥青碎石基层的设计空隙率 19%~24%，在结构层内起到排水的作用。据国外研究资料表明，开级配排水沥青碎石基层的抗疲劳性能较差，实际上设计空隙率 15%~18%已具有一定排水作用，通过国内初步实践，综合考虑推荐半开级配排水沥青碎石混合料基层。厚度计算时，不宜作为计算层，宜拟定该层厚度，计算其他结构层。排水基层适用于特殊路段，在我国也只是处在试验阶段。

有关试验路的取芯结果表明，室内压实标准采用标准马歇尔击实法，压实度易于达到规范所要求的 98%并都超过 100%，大致波动范围为 105%~114%，而压实标准采用振动压实时，压实度为 97%~101%，另外击实法易打碎石料，改变原有级配。由于沥青碎石作为基层用，最大公称粒径一般大于 26.5mm，应采用大型马歇尔试件，成型试件尺寸为 $\phi 152.4 \times 95.3\text{mm}$ ，推荐用振动成型，旋转压实仪成型，只有在没有设备时，临时暂用击实法成型。

根据大粒径沥青混合料研究成果及大量的实体工程经验，建议采用大粒径沥青混合料（LSM）基层可取得较经济合理的使用效果。

大粒径沥青混合料集料的级配和配合比设计是根据专题研究结果，以及国外资料提出的，供设计参考。

LSM 混合料配合比设计包括目标配合比设计、生产配合比设计及生产配合比验证阶段，作为设计主要进行目标配合比设计。通过配合比设计确定混合料的材料品种及配比、矿料级配、最佳沥青用量，并进行混合料的性能验证，以保证混合料的骨架结构的良好性能。

6.2.7 级配碎石是一种古典的路面结构层，常用几种粒径不同的碎石和石屑掺配拌制而成，分为骨架密实型与连续型。在汽车交通的初期，用以修筑面层与基层，当汽车交通发展到现代，在国外广泛用于路面结构的基层与底基层，在国内已较少应用。正因为是传统结构，所以既有技术成熟的一面，也必定会有受传统约束的一面。今天在以半刚性为主的我国，重新提出级配碎石适用于各级公路的基层和底基层，并不是简单的复古，更不是对半刚性的否定，而是柔性半刚性两类基层结构的优化组合以满足新形势下的交通需求。

分析几个主要国家的级配建议值，几十年来很少变化，主要有以下特点：

- 1)级配建议值范围波动幅度太宽（日本沥青路面纲要，美国 AASHO）。
- 2)虽然有按粗，中，细分为三类以供选用，但基本上都属于较为圆滑的连续级配。
- 3)作为上基层，我国级配碎石的级配建议值经过几次调整后甚至较现行规范的沥青下面层（AC-25 I）还偏细。

虽然各国规范给出的级配建议值范围甚宽，可以在建议范围内做成不同类型的组成结构（如密实—悬浮、骨架—密实、骨架—空隙等）和不同的级配原则（如连

续级配、间断级配等),这就为就地取材的设计原则拓宽了空间。有关试验研究表明符合紧排骨架—密实原则的级配碎石,当达到振动压实标准 98%压实度时,其回弹模量都变化在 500~550MPa,目前建议回弹模量建议值可以提高到 500~550Mpa。因此,对于交通较大的公路可选用骨架密实型级配。

级配碎石仍然沿用以击实法为基础的重型压实标准,研究成熟时也可采用旋转搓揉法、振动压实法、轮胎压实法等,在混合料的组成设计时尽可能考虑材料与碾压工艺的相互作用,以便混合料形成最佳的组成结构。击实法形成的背景是刚轮压路机,有它的条件性与适用范围。目前压实工艺已发展为以调频调幅式的振动压路机为主,轮胎压路机的吨位也不断增长,因此,试件成型方法应与压实工艺相协调一致。

对于级配碎石的施工质量检测与控制,传统的灌砂(水)法或轮迹法,但控制压实度精度较低,现场承载板法又太麻烦,国内外都没有一个公认的可靠方法。近来有一种被认为有发展前景的动力响应法,包括锤击动力响应法与应力波法,在国外正在进行研究,国内也在启动。因此,目前我国仍采用压实度法,或轮迹法较为方便。对于高速公路、一级公路采用级配碎石用作基层时,应注意抓好材料规格、施工工艺管理、工程质量过程的控制,不能盲目地推广。在质量检验时,应加强级配管理、压实度检验,并应进行现场承载板或简易落锤弯沉仪检验。根据综合模量检测,为今后的修订提供资料。

6.3 刚性基层

6.3.1 贫混凝土基层与其它基层相比具有较高的强度、刚度,较好的整体性和稳定性,良好的抗冲刷性和抗裂性,多孔透水贫混凝土还兼有内部排水功能,较为适用作为重载交通下的路面基层。

从结构组成特征看,贫混凝土基层可分为密实贫混凝土(有湿贫和干贫之分)和多孔贫混凝土。**密实湿贫混凝土即塑性贫混凝土**;密实干贫混凝土采用振动碾压工艺成型,即碾压式贫混凝土;多孔贫混凝土指无砂或少砂透水贫混凝土。

6.3.2-6.3.3 贫混凝土基层材料的配合比设计和结构的设计龄期均取 28 天。研究表明,不掺粉煤灰的贫混凝土的强度随龄期增长幅度较低,90 天的抗压强度是 28 天的 105%,180 天的为 119%;掺粉煤灰的贫混凝土的抗压和抗弯拉强度随龄期的增长幅度高于不掺灰的贫混凝土;掺粉煤灰对强度增长是有利的。采用 28d 龄期的设计标准,也是兼顾掺粉煤灰贫混凝土基层的强度发展特性。

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

6.3.4 贫混凝土基层属刚性基层,在原材料选择、配合比设计和施工技术要求等方面,

均与半刚性基层的差异较大，而更接近于水泥混凝土，原则上可沿用水泥混凝土现有的原材料检验、配合比设计、施工设备、铺筑技术及所有的试验检测方法和手段，设计时可参考现行《公路水泥混凝土设计规范》进行。

7 沥青面层

7.1 沥青混凝土面层

7.1.2 沥青路面抗滑技术指标的条文是根据交通部公路科研所<沥青路面抗滑标准>研究成果进行修改。该成果是根据东北地区、华北地区、西北地区、华东地区、华南地区等 7 条高速公路（长平，长吉、石安、西宝、沪宁、杭甬、泉厦）的路面抗滑能力调查，并结合气候数据、交通事故等 9 万多个原始数据的分析结果提出的。据此，修订本条文。

表 7.1.2 数据调查资料

地区	路线	长度 (km)	气候数据	路面数据	事故数据
东北地区	长平	83	240	6500	488
	长吉	133	144	4125	1320
华北地区	石安	216	1440	10525	1984
西北地区	西宝	130	576	6896	1840
华中地区	沪宁	275	720	12200	22544
华东地区	杭甬	145	144	6861	6512
华南地区	泉厦	81	96	4016	2224
合计		1063	3360	51123	36912

1 雨天路面抗滑性能下降，雨天事故比平常多的事实是早已被调查研究证实，因此，原规范未考虑降雨量大小，全国统一抗滑标准是不妥的。

本规范仍采用摩擦系数和构造深度双指标控制，但对不同的降雨量采用了不同的标准，这样可以放宽对降雨量小的地区和干旱地区的路面防滑要求，充分利用当地材料资源，节省工程造价。和以前的规范相比，这是一大进步。有些国家对一些环境不良路段（如收费站口、匝道、急弯、陡坡等）提高了对摩擦系数的要求，有些国家对不同的设计速度有不同的摩擦系数要求。理论上讲这是对的。但我们已经作了不同降雨量分区，若再做其它分类，整个标准体系显得过于繁杂，这也会给路面设计带来许多不便，因此我们没有这么做。新抗滑标准考虑了不同年降雨量，不同公路等级提出了不同指标值是合理的。

2 交工验收的测试时间为开放交通前或开放交通后 12 个月内除严寒冬季之外的任意时段。原规范中规定的是竣工验收标准，测试时间规定为交工验收后的第一个夏季，认为夏季是最不利季节。现在改为交工验收时间是竣工验收时间往往滞后很长时间，多达三、五年。另外，虽然路面摩擦系数随季节变化有一定的波动，但这种波动是有限的，除去冬天外，春季、秋季和夏季之间的差异就更小。因此没有必要规定在夏季测试。

3 本标准中的摩擦系数值以 SFC_{60} 作为主要控制指标。动态摩擦系数测试仪测定的 DF 为辅助指标，可用于施工控制和匝道、标线以及其它没有横向力系数测定车的

场合。原规范中SFC的测试速度 50km/h，本规范中提高到 60km/h，这样的调整主要考虑了测试速度与实际交通流速度的适应性。

动态摩擦系数测试仪(DFT)的标准和测试方法参见美国标准ASTM(E1911-98)。目前还没有SFC₆₀和DF₆₀之间的换算关系，SFC₅₀和DF₆₀之间的换算关系为：

$$\text{SFC}_{50} = 85.882 \text{ DF}_{60} + 4.6121 \quad (R=0.95)$$

对于二级和三级公路可用改进型的摆式摩擦系数测定仪测定摩擦系数。改进型摆式仪的主要技术特征为：①用专用配方制成的橡胶片；②用挂重法测定的橡胶片对路面的正向静压力为 $22.2 \pm 0.5\text{N}$ 。BPN与 SFC₆₀的参考相关关系为：

$$\text{BPN} = 0.4064 \text{ SFC}_{60} + 36.353 \quad (R=0.82)$$

4 关于构造深度。构造深度的测试方法可用铺砂法或激光测量法。构造深度并非越大越好，构造深度过大时行车噪声增大，透水性增大，施工的工艺难度也增大。为减少噪声，很多欧洲国家推崇“细而糙”的路面。根据国内高速公路路面构造深度总体水平的调查数据和对抗滑要求、噪声要求以及工艺水平等因素的综合考虑，理想状态下的MTD在0.8~1.2mm之间为宜，因此建议构造深度最好不大于1.4mm。

5 本规范中SFC和MTD是最终控制指标。要达到这个指标必须在设计和施工中控制材料品质和混合料的配合比。一般来说SFC的主要影响因素是石料磨光值(PSV)，本规范给出了各种条件下PSV的建议值，供设计和施工参考。MTD的主要影响因素是混合料的级配型式，一般认为断级配密实型混合料如多碎石沥青混凝土、SMA、等能够满足要求。在路面防滑特别重要或有减噪要求时，排水沥青或OGFC也是很好的选择。

抗滑表层用的集料除应满足磨光值(PSV)要求外还应满足冲击值(LSV)和道瑞磨耗值(AAV)的技术要求。因为冲击值、道瑞磨耗值与洛杉矶磨耗值的相关关系很好，而且洛杉矶磨耗应用很普及，为简化指标，在工程上一般用洛杉矶磨耗值指标代替冲击值和道瑞磨耗值指标。对路面材料有特殊要求时宜对冲击值和道瑞磨耗值进行检验。

(1)本规范仍采用横向力摩擦系数和构造深度双指标控制，并对不同的降雨量采用了不同的标准。有些国家对一些环境不良路段(如收费站口、匝道、急弯、陡坡等)提高了对摩擦系数的要求，有些国家对不同的设计速度有不同的摩擦系数要求。理论上分析这是正确的。但我们考虑了不同降雨量分区、不同公路等级划分体现了我国实际情况，对混合交通、行车安全条件较差的二、三级公路，设计人员路线所经地区的环境、结合具体情况参照条文规定进行设计。

当无路面摩擦系数测定仪时，可用DFT动态摩擦系数测试仪。横向力系数及动态摩擦系数均是在潮湿的条件下、测定车辆在一定速度之下，测定刹车时的路面抗滑性能，与实际情况较为相符。摆值只能测量低速条件下的路面抗滑性能，它仅反映路面局部微观构造情况，难以衡量高速交通条件下的路面抗滑性能。故它仅用于二级以下公路。

构造深度反映了路面表面的纹理深度，构造深度大，表示车辆高速行驶时轮隙下，路表水可迅速排出，减薄水膜厚度，防止水漂现象，使在雨天的抗滑性能衰减减小，它是路面抗滑性能的一项重要指标。

(2)路面抗滑标准由竣工验收改为交工验收标准，这是因为从交工验收到竣工验

收的时间因各工程而异，一般可达一年至五年，但是路面抗滑性能指标随时间而衰变，衰减的规律因石料品质、交通量、环境条件而异，竣工验收指标难以控制，因此，将沥青面层的抗滑性能检验改在交工验收。

6 本标准中的摩擦系数值以 SFC_{60} 作为主要控制指标。DFT和BPN指标可用于施工控制、匝道、标线和其它不使用横向力系数测定车的场合。原规范中 SFC 的测试速度 50km/h，本规范中提高到 60km/h，这主要是考虑测试速度与实际行车速度更接近。

动态摩擦系数测试仪(DFT)的标准和测试方法参见美国标准ASTM(E1911-98)。目前我国横向力系数测试车可测速度为 50km/h条件下的横向力系数，故尚未建立 SFC_{60} 和 DF_{60} 之间的换算关系，通过实测建立的 SFC_{50} 和 DF_{60} 换算关系式(7.1.3-1)，可参考使用。BPN与 SFC_{60} 的相关关系式为 7.1.3-2。条文中的横向力系数测试车以 60km/h提出的技术指标是按式 7.1.3-1 推算而得。

$$SFC_{50} = 85.882 DF_{60} + 4.6121 \quad (s=0.95) \quad (7.1.3-1)$$

$$BPN = 0.4064 SFC_{60} + 36.353 \quad (s=0.82) \quad (7.1.3-2)$$

另外需要说明的是，BPN 值必须用改进型的摆式摩擦系数测定仪测定，改进型摆式仪的主要技术特征为：①用专用配方制成的橡胶片；②用挂重法测定的橡胶片对路面的正向静压力为 $22.2 \pm 0.5N$ 。

7 构造深度并非越大越好，构造深度过大，行车噪声增大，透水性增大，施工难度也增大。为减少噪声，很多欧洲国家推崇“细而糙”的路面。因此，交工时构造深度 MTD 在 0.6~1.2mm 之间为宜，建议构造深度最好不大于 1.4mm。

7.1.3 细级配是细集料含量多于粗集料的一种连续级配；粗级配是以粗集料含量多于细集料，以粗集料为主、碎石之间相互嵌挤而成的骨架密实型级配；断级配沥青混合料是集料级配曲线不连续、其中缺少一或两个筛孔的无筛余或很少筛余量的级配，它仍是以粗集料为主的骨架嵌锁结构。沥青玛蹄脂碎石 SMA 属断级配，SAC、FAC(富油沥青混凝土)等接近断级配。近年来很多工程，已从传统连续级配逐渐调整为骨架密实型的粗级配，如 AK、SUP、LSM 等级配均属于这类。粗级配、断级配具有表面粗糙、密实，构造深度较大，水稳性、抗车辙等性能较好的优点，粗级配应注意加强压实。

细级配因细集料较多，施工和易性较好，水稳定性、低温抗开裂及抗疲劳开裂性能等较好。但是，表面构造深度较小，高温稳定性较差，它适宜于降雨量小于 500mm 的干旱气候区，交通量较少，气候较寒冷、积雪较多的地区等。

OGFC 是一种开级配，其设计空隙率宜为 18~24%，它用做排水表面层。排水表面层具有排水、减少水膜厚度，防止水漂及抗滑功能，又可降低噪音作为减噪表面层。

7.1.4 沥青路面可由一层或多层组成，各层组合应与路面使用要求相适应，各层厚度应与所选沥青混合料的级配类型、公称最大粒径相匹配，在各沥青层中至少有一、两层的沥青混合料应为密级配型。

表 7.1.4 沥青混合料类型

层位	密级配	半开	开级配	最大粒径 mm	厚度 mm
----	-----	----	-----	---------	-------

	断 级 配 型		粗级配	细级配	级配			
空隙率%	3~5	3~4	3~6(8)	3~6	8~12	>18		
超薄 磨耗层	SAC-10 ACG-10	SMA-10		ACF-10		OGFC-10	13.2	20~25
表面层	SAC-13 ACG-13	SMA-13	AK-13 SUP-13	ACF-13	AM-13	OGFC-13	16	40
	SAC-16	SMA-16	AK-16	ACF-16	AM-16	OGFC-16	19	40~50
中面层	FAC-20 SAC-20	SMA-20	ACG-20 SUP-19				26.5	50~60
下面层			ACG-25 LSM-25				31.5	70~100

1 表面层应具有一定构造深度、良好的抗滑性能，当表面层厚度为 40mm 时，宜选用公称最大粒径 13mm 的沥青混合料，如 AK-13、SAC-13、SUP-13、SMA-13 等级配类型。对路线处于坡道、弯道或重车多的路段，表面层厚度宜为 50mm，可选用公称最大粒径 16mm 的沥青混合料，如 AK-16、SAC-16、SUP-16、SMA-16 等级配类型。

2 中面层宜选择骨架密实型级配，以提高其热稳性和水稳性，如选用 ACG-20、SAC-20、SUP-19、或 SMA-20、FAC-20 等级配类型。下面层可结合其厚度，选择沥青混凝土 ACG-25 或密级配大粒径沥青碎石。

3 设计人员应根据公路等级与使用要求、气候特点、交通条件、面层结构厚度等因素，结合使用经验，可参照表 7.1.4 选择沥青层的级配类型与级配范围。

7.1.5 关于密级配沥青混合料配合比设计方法，详见《公路沥青路面施工技术规范》有关方法。目前主要采用马歇尔试验方法，国内部分单位引进了美国 Superpave 方法和 GTM 法，并修建了很多实体工程，从近年的使用效果较好，因此其他方法也可使用。随着高速公路交通量不断增大，重载、超载现象较为普遍，为了适应交通的发展和防止早期的水损害，对马歇尔指标进行了调整。

1 为了追求密实而粗糙的路面，克服水损害，收集了近期各地的改进型沥青混合料的级配，在汇总分析各地经验的基础上，提出各种沥青混合料的推荐级配。分析表明，原空隙率较大的抗滑面层 AK 型向密实型调整，连续级配 AC 型向 S 型调整，使各地的级配多数向粗集料为主的骨架密实型级配靠近。各种名称虽然不同，但级配却比较接近。从表 7.1.4 可知（从附录 C，表 C.1 可知？），原规范 AK-13A 基本包括各方面的设计级配线。原规范中 AK-13B 偏粗，易出现渗水现象，使用效果不佳，不推荐。新规范仍保留 AK-13A 这一级配，改名为 AK-13。

（1）由表 7.1.4 可知，原规范 AK-16A 因空隙率较大，在近年来已进行了级配调整，控制设计空隙率在 4% 后，渗水性减小，因此，在原规范的基础上仅作了小小的调整，也可获得粗糙密实抗滑层，但在施工时应注意防止离析和控制压实度。

（2）原规范中面层用 AC-20I 级配，通过 4.76mm 筛孔的细集料明显太多，沥青混合料呈悬浮密实结构，对高温稳定性不利，易出现车辙。但 SAC 和 FAC 型级配通过 4.76mm 筛孔的细集料明显减少，因此，推荐级配 ACG-20 增加了粗集料含量。同理，推荐级配 ACG-25 也将原规范 AC-25I 级配考虑热稳性和抗疲劳、耐久性，适当地减少了细集料，增加了粗集料含量，使新级配介于原 I 型与 II 型之间。

2 对密级配沥青混合料配合比设计指标作了如表 7.1.5 的调整。设计空隙率要求控制在 4% 左右，一般空隙率不超过 5%，以减少了表面层的渗水性。因现场空隙率

与压实度有关，应使现场空隙率应小于 8%。同时，采取必要的防止剥离措施，如掺入抗剥离剂、或消石灰、水泥等，水损坏现象明显减少。

表 7.1.5 沥青混合料配合比设计指标的调整

指标 级配类型	空隙率	每面击实次数	压实度	粘附性等级	冻融劈裂强度比
密级配 AC-I	3—6%	75 次	97%采用双控指标	5 级	全国采用
抗滑面层 AK 型	3—6%	75 次			

3 设计人员应根据推荐级配曲线范围内选择一至二条曲线进行配合比设计，并要求进行沥青混合料性能指标的检验，经比较确定推荐设计级配曲线，供施工单位参考。

7.1.6 热拌沥青碎石 (AM) 是半开级配，一般空隙率 8—15%，当用于三、四级公路的沥青面层时，可用 AM-13 或 AM-16，由于它的空隙率大，渗水严重，应设密级配上封层。当做单层式时，应适当增加细集料，控制空隙率不大于 10%。若拌和设备条件允许，应尽量选用密级配沥青混合料。当用于调平层时，根据沥青层厚度选择级配，沥青层最小厚度应为公称最大粒径的 2—2.5 倍。当用于改建工程需要较厚的调平层或柔性路面下基层，为减少沥青用量，设计空隙率不宜大于 15%。

7.1.7 上一世纪九十年代我国路面车辙问题不太突出，但是进入二十一世纪后，这个问题逐渐成为继水损害之后的第二大问题了，特别是在爬坡路段，重车、超载车多的路段，在持续高温的作用下，沿行车道上轮迹带的路面出现严重的纵向车辙、或推拥变形。据调查沥青混合料的推移、变形主要是产生在中、下面层，少数在下面层。分析原因：主要是运输车辆严重超重，夏季气温持续高温，这是外因；沥青混合料设计或施工不当，沥青混合料的级配中细料偏多，空隙率偏小，有的沥青用量偏大，沥青稠度偏低(偏稀)等。另外，因石料加工场市场的规格、品质不统一，管理混乱，石料不干净，级配控制不严、细料偏多，以及粉胶比过大等造成高温热稳定性不足等内因。设计人员应根据交通、气候、路线线形等环境条件，重视提高沥青混合料的热稳定性的问题。

1 对沥青混合料热稳定性的评价方法，在国际上也无统一、公认的方法和采用的指标体系，试验设备也不同。七五攻关时引进了日本轮迹试验设备和动稳定度评价指标，并采用当时的国产沥青和连续级配做的试验结果，所提出的动稳定度标准偏低。评价高温稳定性指标有动稳定度，相对变形，蠕变试验等，虽在沥青混合料的专题研究认为相对变形与动稳定度有良好关系，单轴蠕变试验的蠕变劲度也可表征沥青混凝土的热稳定性能，但因资料较少未能提出推荐值。故本次仍用车辙试验所获得的动稳定度表示。

2 对温区和热区的高速公路、一级公路的表面层、中面层高温稳定性宜用车辙试验所获得的动稳定度评价，试验温度一般为 60℃，轮压为 0.7Mpa；对于重载交通可适当提高轮压；对气候情况炎热或寒冷地区，可根据具体气候条件，提高或降低试验温度。在高温期长、超重车多的交叉口、大型车辆出入口、停车场、纵坡较大的连续坡道等特殊情况下，可适当提高指标。

3 从对某些车辙路段的剖析看，流动主要产生在中面层。一般表面层的剪应力是很大的，但因考虑表面粗糙度，混合料设计粗集料较多，有的还采用了改性沥青，

因此，表面层的抗剪强度较大，尚未产生流动变形，而中面层正处于剪应力较大的位置。但是，在设计混合料时，主要考虑防止雨水下渗，从路面钻孔看空隙率较小有的达 1~3%；有的施工控制不当，或细集料偏多或沥青用量偏大，使热稳定性下降。因此，在中面层混合料的设计，应综合考虑全衡渗水性与热稳性两个矛盾的统一，不能偏费。

4 当前交通量增大、重车和超载车越来越多，对沥青路面产生车辙的影响很大，客观要求提高了；实践证明，现行标准不适应交通的要求。根据近年来沥青混合料级配设计进行了大量研究，沥青混合料由连续级配转向骨架密实型粗级配，大大提高了沥青混合料的嵌锁能力，提高了沥青混合料的内摩擦角 Φ 。另外，采用比面层更稠一级沥青或用改性沥青、高粘度改性沥青，对提高沥青与石料之间粘结力，对提高热稳性都有不同程度的贡献。排水路面采用的高粘度改性沥青对提高热稳性具有明显效果。有的掺入一定的化学纤维，对提高热稳性有一定效果。据调查资料，生产单位实测的动稳定度都有较大提高。鉴于我国气候差异大，交通量分布悬殊，为修改原规范一刀切的做法，针对公路自然区划 IV 为主的范围，考虑最热月份连续七天的最高气温平均值和 98% 保证率的代表值来划分热区和温区。当连续七天高温的代表值小于 30℃ 的地区可视为凉区，一般情况可不检验动稳定度；当代表值为 30℃~35℃ 的地区为温区；当代表值大于 35℃ 的地区为热区，分别提出了动稳定度指标。新指标对交通量小公路或寒区，动稳定度指标提高幅度较小，对交通量大的温区，少数夏季处于热区的地区，重交通或特重交通的动稳定度指标提高幅度较大。若达不到技术要求，应采取技术措施，提高沥青混合料的抗剪强度。

5 应补充说明的是目前尚未建立动稳定度指标与车辙深度、交通量的相关关系，动稳定度指标还仅仅是一个相对指标，不能完全控制不同交通量下的车辙深度。希望各省深入研究，累积资料。

7.1.8 沥青路面水稳定性除采用沥青与石料间的粘附性指标外，还采取了浸水马歇尔残留稳定度及冻融劈裂试验评价沥青混合料的水稳定性。国外采用浸水车辙试验评价沥青抗剥离性能，我国尚缺资料，需累积资料。

原规范根据“八五攻关成果”仅限于在年最低气温低于 -21.5℃ 的寒冷地区，但是通过近年实践，该方法是以严酷试验条件评价沥青混凝土的水稳定性，南方多雨地区都采用该指标评价沥青混凝土的水稳定性，取得良好效果。因此，本次修订条文将冻融劈裂试验评价混合料水稳性的适用范围扩大至全国，使沥青混凝土具有一定的水稳定性，以避免路面出现早期水损害现象。

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

7.1.11 排水路面它具表面粗糙抗滑，路面雨水可由凹凸不平的表面迅速渗入路表层并通过内部排水系统排出。行车无溅水、且视线良好，无水漂现象，明显提高行车的稳定性，降低行车噪音。排水路面在欧、美、日本等国已使用了多年，并制定了从设计、施工、养护机械等成套技术，取得了良好的综合效益。我国正开展研究，为此，参照国外资料和初步实践，初步提出了排水路面的结合料、级配、混合料的

要求，供设计参考。高粘度沥青的性能指标可参考表 7.1.11-1 的要求。

表 7.1.11-1 高粘度沥青性能指标技术要求

试验项目	技术指标
针入度 (25℃, 50g, 5s) /0.1mm	≥40
软化点 TR&B/℃	≥80.0
延度 (5cm/min, 15℃) /cm	≥50
闪点 /℃	≥260
薄膜加热质量变化率 %	≤0.6
薄膜加热针入度比 %	≥65
韧性 N*m(kgf*cm)	≥20(200)
粘附性 N*m(kgf*cm)	≥15(150)
60℃粘度 Pa*s (Poise)	≥20000(200000)

表 7.1.11-2 排水表面层的级配范围

类 型	通过以下筛孔尺寸 (mm) 的百分率(%)										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
OGFC-10			100	90-100	27-47	8-16	7-14	6-12	5-10	4-8	4-7
OGFC-13		100	90-100	70-81	15-26	7-20	6-17	6-14	5-12	4-9	3-7
OGFC-16	100	90-100	75-85	50-60	4-20	3-20	3-17	3-15	3-12	3-9	3-7

表 7.1.11-3 排水表面层混合料技术要求

试 验 项 目	单 位	技 术 要 求
设计空隙率	%	17~23
马歇尔试验的稳定性	kN	≥3.5
析漏损失	%	≤0.3
飞散损失	%	≤20
车辙试验动稳定性	次/mm	≥3000
水稳定性： 残留马歇尔稳定性	%	≥80
冻融劈裂试验	%	≥70
浸水飞散损失	%	≤30
排水性能： 渗透系数	cm/s	>0.01
渗水量	ml/15s	>900

7.2 沥青贯入式路面与表面处治

7.2.1 沥青贯入式路面

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

7.2.5 拌和法沥青表面处治

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

7.2.6~7.2.7 稀浆封层

稀浆封层是新增加的内容，增加的原因如下：稀浆封层可用于新建的沥青面层，

作为磨耗层或保护层，也可作下封层，这在我国已有了成功的经验，尤其是对于缺乏优质石料作抗滑层的地区，可以节省造价。

稀浆封层的矿料级配及决定配合比的方法、指标是参照 ASTM D3910、ISSA（国际稀浆封层协会）T100 编写的，这些方法已在我国许多地区推广应用，证明是适用的。

稀浆封层应选择坚硬、粗糙、耐磨、洁净的集料，不得含有泥土、杂物。粗集料应满足热拌沥青混合料所使用的粗集料质量技术要求，表观相对密度、压碎值、洛杉矶磨耗值等指标可使用较粗的集料或原石料进行试验。当采用与结合料粘附性达不到 4 级以上的酸性石料时必须掺加消石灰或抗剥落剂。细集料宜采用洁净的优质碱性石料生产的机制砂、石屑，小于 4.75mm 部分细集料的砂当量应符合有关规范的要求，且不得使用天然砂。如发现集料中有超规格的大粒径颗粒时，必须在运往摊铺机前将集料过筛。

当有实际工程证明当地使用的级配能够满足稀浆封层使用要求，有足够的耐久性时，经过专家论证并得到当地公路主管部门认可，也可使用。混合料各筛孔的通过率必须在设计标准级配的允许波动范围内波动，所得级配曲线应尽量避免出现锯齿。

8 新建路面的结构厚度计算

8.0.1~8.0.4 沥青路面设计方法可分为理论法或经验法。经验法主要是通过试验路或使用性能调查、分析而得，如 CBR 法、AASHTO 法、英国道路 29 号指示第一至三版，以及德国、法国的典型结构方法。理论法实际上是理论与经验相结合的半经验半理论法，多数是以弹性层状体系理论为基础并通过实践验证而提出的，如比利时，壳牌石油公司、英国运输部、澳大利亚、南非、美国沥青协会。也有用理论分析法与经验相结合方法，如法国、日本、美国联邦公路局等。本规范仍以采用理论法。

国外设计方法中，大多采用沥青层的弯拉疲劳，路基顶面压应变，主要是国外路面以柔性结构为主。对有半刚性基层的国家，稳定类材料结构层多采用拉应力。另外，对柔性路面结构还考虑永久变形指标，以此控制路面车辙。

表 8.0.1 部分国家或单位采用的设计指标表

国家或单位	设计指标					
	沥青层疲劳	稳定粒料层拉应力	路基顶面压应变	粒料层剪切应力	永久变形	路表弯沉变形
美国 AI	0		0			补强 0
Shell	0		0		0	
澳大利亚、	0	0	0			
日本	0		0			
南非	0	0	0	0		
诺丁汉大学	0		0			
比利时	0		0		0	
LCPC	0		0		0	
法国	0	0	0			
俄罗斯				0		0

在旧路补强设计中，美国了沥青协会 AI、加州交通运输局(动弯沉)、加拿大道路沥青协会(贝克曼梁)、以及英国交通和道路研究实验室等利用弯沉测量数据进行补强设计。

1 为什么选择路面弯沉值为设计指标，其主要原因为：

1) 路面总变形是指在车辆荷载作用下，弹性层状体系理论计算中的一个指标，它表征路面各结构层的变形与路基顶面变形之和，它与基顶面压应变、总变形有密切关系。为了测试方便，我们采用了回弹变形。路面弯沉值的大小，反映了路面整体刚度强弱，过大的塑性变形导致路面下沉变形、车辙。当路面在车辆荷载反复作用下不断地弯曲使变形积累、增大到某种程度时，路面结构产生了疲劳开裂。

2) 路表弯沉值可以简单地用贝克曼梁量测，操作简便，真实可靠，易于推广到科研、施工、养护单位。与承载板法相比，测试速度快，不破损路面。而压应变、拉应变指标测试很困难，目前仅有少数科研单位可能具有测试条件，它无法用于质量检验、旧路面养护水平的评价。弯沉指标既可作为设计指标，又可以作为质量检验、路面养护的评价手段。

以上优点至今存在，它与繁杂的承载板法、精密而高贵的落锤式弯沉仪、自动弯沉测试车等相比，贝克曼梁仍有明显的优一势，当然随着交通事业发展，测试手

段将向快速、简便方向发展，落锤式弯沉仪、自动弯沉测试车将会得到更广泛的运用。

2 在 1986 年规范中，已增加的沥青层、半刚性材料基层的抗弯拉应力，新规范仍保留这一指标。对半刚性材料基层路面破损情况调查表明，半刚性基层沥青路面随着路面使用年限的增长其弯沉值增大，路面结构的破坏表现为纵横向开裂。当路面弯沉值一般达到 40 (1/100mm) 以上，基层基本失去了板体性，严重的出现松散。这说明半刚性沥青路面的结构破坏，很可能是基层产生过大拉应力而造成基层疲劳开裂，进而导致沥青路面产生疲劳开裂。因此，半刚性材料基层以抗弯拉应力为设计指标。

3 沥青层层底在车辆荷载作用下产生拉应变或拉应力，在轮荷载反复作用下导致路面疲劳开裂。从现行理论出发，路面裂缝是由下而上发生、发展，它的外观特征是先发生纵向裂缝再逐步发展成纵向网裂、龟裂破坏。但是，路面出现裂缝的原因还有以下三种：沥青层也因气候日温差或季节的热冷变化，使路表面产生温度应力疲劳开裂；因突然寒流袭击，骤然降温而使温度应力大于沥青抗拉强度而使路面拉裂；沥青层老化可能引起开裂。近年来的调查，有的路面出现网裂，从钻孔可知，有的裂缝是从上向下发展，产生在表面层、中面层，并不是半刚性裂缝反射的结果。有的是裂缝贯穿沥青层。上述的后三种裂缝是从上向下发展，而现规范中的层底拉应力或拉应变都不能表征这些破损现象。从国外文献中，也有很多裂缝是在轮迹边缘的沥青层由上而下扩展。实际上裂缝产生、发展过程是复杂的问题，各种可能性都存在，最后表现在路表的都是以纵向裂缝为多。容许弯沉值是以路面出现纵向裂缝临界状态，以纵向网裂为的破坏状态，它主要反映在车辆荷载作用下路面结构整体、包括结构层部分应力与抗力对比失衡状态时的表观特征。路表弯沉指标不能反映温度应力作用、沥青老化等因素引起的裂缝，也不能解决沥青混合料的热稳性不足而产生的车辙变形。路面破坏形态、原因是多种多样的，今后的研究任务是应从结构组合、材料、混合料等着手，全方位、多指标地完善设计方法。

对于半刚性基层或贫混凝土基层沥青路面，一方面土基顶面压应变均较小；另一方面基层上的沥青层无论层间连续还是滑动，大多处于受压区，沥青层产生的是压应力（压应变），二者均不能控制设计，沥青层底拉应变或拉应力一般只对柔性基层沥青路面起作用。

4 关于剪应力指标

对于半刚性基层或贫混凝土基层沥青路面，弯沉与沥青层拉应力或应变指标均不能控制设计，因此，除用基层拉应力为路面结构设计指标外，对沥青层则应进行抗剪强度的检验。由于我国重车增多、超载严重，丘陵、山区高速公路的修建，上坡道、弯道、匝道以及夏季持续高温等，近两年有的公路出现了较严重的车辙，使得大家对沥青混合料抗剪切指标的注视。剪切指标与沥青混合料的热稳性密切相关，高温时沥青混合料的粘结力 C 和内摩阻力 Φ 有明显变化。因此，对有条件的单位宜在沥青混合料配合比设计时，进行抗剪强度的检验。对山区高速公路或者纵坡较大、坡度超长路段应考虑车辆荷载的水平分量所产生的路表剪应力，贫砼基层、旧水泥砼板上界面的剪应力，以及交叉口制动时剪应力等理论计算，抗剪强度测定、容许剪应力等问题，尚需进行研究，故本次规范尚不能纳入规范。目前只能通过沥青混合料设计、加强层间结合措施等，弥补不足。

5 层间接触状态

沥青路面结构的应力与应变分析表明,路面结构设计中层间结合条件对设计结果有较大影响,尤其是对拉应力(包括剪应力),滑动状态下基层拉应力设计比连续状态提高 1-2 倍。设计中采用什么样的层间接触条件取决与施工条件和材料特性。如果路面按滑动状态设计就显得过于保守,路面厚度太厚。原则上我们设计时应采取工艺措施尽量保证各层的紧密结合,使其层间处于连续状态,按连续状态设计。若设计时,论证沥青层与半刚性基层可能出现层间移动,根据具体情况选定层间结合系数进行计算。

6 我国沥青路面近几年来出现了水损害、抗滑性能不足、高温车辙变形、低温收缩开裂等,这些现象多数是在路面整体刚度基本满足要求的情况下,沥青面层出现了使用功能性损坏。它与路面总厚度的大小没有直接关系,换句话说,它与目前采用的以设计弯沉值、弯拉应力的设计指标体系、厚度计算理论关系不大。现行结构厚度计算主要是解决结构的承载力、荷载作用下结构层疲劳破坏问题。上述损坏现象,现行规范主要是通过结构组合、材料选择与混合料的性能设计解决。因此,本次规范修订的重点并不是理论体系与厚度计算方法问题,而是针对不同结构类型的设计指标进行完善和补充。现行沥青路面设计规范仍用双圆均布荷载作用下的弹性层状理论体系,以设计弯沉值和弯拉应力为指标的厚度算法。

8.0.5 路表弯沉是路面结构层和路基在标准轴载作用下产生的总位移,它代表着路基路面结构的整体刚度,反映了路面和路基的承载能力大小。但路表弯沉的标准与路面结构类型、材料有直接关系,也就是说若控制路基容许压应变标准相同,则可选择若干不同路面材料和厚度的路面结构可以满足其要求,但是各结构的路表弯沉则不同。故不同材料的路面结构,其设计弯沉标准则不同。因此提出不同结构类型按不同公式确定弯沉标准是合理的。

混合式基层路面是从柔性向半刚性过渡的结构,设计弯沉应界于二者之间,采用内插的方法处理,即半刚性基层或底基层上柔性结构层总厚度小于 18cm 时为刚性,取值为 1.0;大于 30cm 为柔性结构,取值为 1.6。18-30cm 之间线性内插。

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

8.0.8~8.0.9 设计参数应根据路面的损坏类型、受力模式采用不同测定方法测定相应的参数。对于拉应力计算考虑到梁式试件试验繁琐及数据离散性大的缺点,曾在 97 规范修订时简化了材料参数的试验方法,提出了用抗压模量代替弯拉模量、劈裂强度代替弯拉强度,便于普及应用。已有专题研究了抗压模量代替弯拉模量、劈裂强度代替弯拉强度的可行性,并对弯拉疲劳与劈裂疲劳进行了对比分析。但从目前路面设计来看,这套参数体系导致拉应力基本不控制路面的结构设计,从对比结果看,采用抗压模量代替弯拉模量、劈裂强度代替弯拉强度其取值偏于保守,半刚性基层的推荐抗压模量远远低于弯拉模量,弯拉模量与抗压模量比值一般大于 2—3 倍;劈裂强度小于弯拉强度,弯拉强度与劈裂强度的比值一般在 1.1~1.7 之间,显然不是同比例的变化。从指标与计算参数统一出发,采用弯拉模量与弯拉强度更合理,但

是，目前实测弯拉模量与弯拉强度较少，希望各省根据当地材料制作件测试计算参数。没有大量试验资料前，仍可用抗压回弹模量与劈裂强度作为弯拉设计与验算的参数。

8.0.11 材料参数的测定方法对试验结果有较大影响，如成型方法、仪器、温度控制、加载方式等，本次未对材料参数的测定方法进行研究。考虑到模量取值的不利组合，（表 8.0.11），弥补参数取值的不足，使拉应力设计指标更合理的。

表 8.0.11-1 沥青层弯拉计算时模量取值

材料名称	配合比	抗压模量 15℃			
		E_p	方差	$E_p - 2\sigma$	$E_p + 2\sigma$
			σ	$E_{p\text{代}}$	$E_{p\text{代}}$
细粒式沥青混凝土 AC16-I	茂名 60 号	6314	344	5626	7002
	欢喜岭 90 号	4195	696	2799	5587
	辽河 110 号	3992	406	3000	4804
代表值平均值				3808	
中粒式沥青混凝土 AC20-I	单家寺 70 号	2932	2686	2395	8304
	壳牌 70 号			2343	
	单家寺 80 号			2756	
	阿 90 号			3084	
代表值平均值				2645	
AC20-I*	欢喜岭 120 号	1525	187	1191	1899
中粒式沥青混凝土 AC20-II	欢喜岭 90 号	1527	156	1215	1839
	日本 70 号	1490	60	1370	1610
	壳牌 70 号			(1028)	
代表值平均值				1204	

表 8.0.11-2 半刚性基层材料模量取值分析材料

名称	配合比	抗压回弹模量 (Mpa)					
		E_p	方差	$E_p - 2\sigma$	$E_{p\text{代}} \times 0.8$	$E_p + 2\sigma$	$E_{p\text{代}} \times 0.8$
			σ	$E_{p\text{代}}$		$E_{p\text{代}}$	
二灰碎石	8: 15: 77	2980	642	1696	1357	4264	4110
二灰砂砾	8: 17: 75	3617	634	2349	1879	4885	3908
水泥碎石	5-6%	3188	782	1897	1518	4752	3801
水泥砂砾	5-6%	3041	166	2543	2034	3373	2698
石灰水泥粉煤灰砂砾	6: 3: 10: 75	2770	479	1812	1450	3728	2982
水泥粉煤灰碎石	4:16:80	2639	186	2267	1814	3011	2408
石灰水泥碎石	5:4:92	3071	836	1692	1353	4743	3794
水泥石灰砂	4:3:25:68	1518	378	951	761	2274	1819
二灰土	10:30:60	2091	688	959	767	3467	2773
石灰土	8-12%	1207	448	470	470	2103	1682

8.0.12 弹性层状理论是在一定假设条件下（半无限空间体、材料各向同性、均质体且不计自重）经过复杂的力学、数学推演的理论体系，假设条件与路面实际不完全相符合，这是导致理论与实际不一致的原因之一规范中通过试验路的铺筑测试，资

料分析仍然引入原规范的弯沉修正系数 F ，将理论弯沉值进行修正，使计算弯沉与实测弯沉值趋于接近实际。

8.0.16 路面弯沉值是以 20°C 为测定沥青弯沉值的标准状态，当沥青面层厚度小于或等于 5cm 时，不需温度修正；当路面温度在 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，也不进行温度修正；其它情况下测定弯沉值均应进行温度修正。温度修正因缺乏资料，仍用旧规范。

9 改建与加铺层设计

9.1 一般规定

9.1.6 目前我国已开展旧路面的再生利用技术,包括现场热再生、厂拌热再生、改性沥青冷拌再生等工艺。沥青路面厂拌再生混合料主要用于基层或底基层。半刚性材料打碎当集料或再掺入水泥、碎石拌和可做底基层用。

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

9.2 大修、改建加铺沥青层设计

9.2.1 根据对原路面调查检测资料,按《公路沥青路面养护技术规范》的规定,对路面破损状况、行驶质量、强度及抗滑性能进行质量评价,并根据使用要求,参考养护对策进行罩面或加铺层设计。

9.2.3 薄层罩面是提高旧沥青面层服务功能的措施。用于旧沥青路面时,旧路面应较平整、车辙深度小于 10mm,且路面无结构性破坏(如纵、横向裂缝、网裂)时才宜使用。对于高速、一级公路,路面抗滑标准在良以下(不包括良);二级及二级以下公路,路面抗滑标准在中以下(不包括中)时,应采取加铺罩面层等措施来提高路表面的抗滑能力。选用薄层罩面时,应保证其厚度不得小于最小施工层厚度。施工时,应严格控制摊铺碾压温度,保证罩面层压实度及与下层的层间结合。

磨耗层是一种具有构造深度较大,抗滑性能较好的薄层结构。它也可用开级配或密级配混合料,也可用层铺法或混合料摊铺法。超薄磨耗层一般厚度为 20~25mm,混合料可选用断级配,如 SMA-10、SAC-10、UTAC-10 等密级配。沥青混合料配合比设计宜按马歇尔试验方法进行。技术指标应符合表 9.2.3 的要求。

表 9.2.3 马歇尔试验技术指标

试 验 项 目	技 术 要 求
马歇尔试件击数	双面击各 50 或 75 次
设计空隙率 (%)	4~5
稳 定 度 (KN)	>8
流 值(0.1mm)	40~50
饱和度 (%)	>70
浸水马歇尔残留稳定度 (%)	>90

9.2.4 分段的最小长度应与施工方法相适应,一般不应小于 500m,机械化施工时不应小于 1km。

9.2.5 当没有 BZZ-100 标准车测定时,可采用其他轴重的汽车测定。如采用非标准

轴载（轴载 80kN~130kN）的汽车测定时，则宜按式（9.2.5）将非标准轴载测得的弯沉值换算为标准轴载下的弯沉值。

$$\frac{l_{100}}{l_i} = \left(\frac{P_{100}}{P_i} \right)^{0.87} \quad (9.2.5)$$

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。

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。

9.2.6 公式 9.2.6-1 是将旧路按均质体得到的理论公式，没有考虑旧路结构的非线性问题，有条件时应考虑理论公式的修正。关于拉应力计算时的土基模量扩大系数 m_2 仍采用原方法。

9.2.7 旧路补强设计不同于新建路面设计，其设计目的是为满足一定时间内的交通需要，因此，旧路补强设计应根据公路等级、交通量、改扩建规划和已有经验确定适当的设计年限。

对旧路面有较多裂缝时，为减缓反射裂缝，可以在调平层上或补强层之间铺设土工合成材料，起到加筋、减裂、隔离软弱夹层等作用。土工合成材料之上，应有等于或大于 70mm 沥青层；常用土工合成材料有玻璃纤维格栅、耐高温的聚酯土工织物。聚酯土工织物与玻璃纤维格栅的质量应符合有关技术标准要求。玻璃纤维格栅网孔尺寸宜为其上铺筑的沥青层材料最大粒径的 0.5~1.0 倍。玻璃纤维格栅有自粘式和定钉式；聚酯无纺土工织物有针刺、烧毛土工布和普通土工布。设计人员应考虑施工质量可靠、施工工艺简便、有较好实绩的产品，以保质工程质量。

9.2.8 补强设计的弯沉综合修正系数

早在 70 年代，我国在研究双圆荷载作用下双层弹性体系理论运用时，发现用整层试槽和分层反算模量确定材料模量计算得到的理论弯沉值与实测弯沉值不相吻合。因此，在制定 1976 年《公路柔性路面设计规范》时，引入弯沉修正系数，它为实测弯沉值和理论计算值的比。对于加铺层设计，在 1978 年规范中使用的是三参数法，建立该法时基层大多是柔性基层，因此这种方法对于柔性基层的加铺层设计比较合理。修订《公路柔性路面设计规范》JTJ014-86 时，虽然仍然采用了三参数法，并指出一些材料的设计参数 β 的取值对无机结合料稳定基层不适合。修订《公路沥青路面设计规范》JTJ014-97 时，为了新建路面与改建路面设计体系的统一，将三参数经验法改成了以弹性层状体系理论为基础的理论设计法，但由于当时的重点在新建路面的设计方法上，新、旧路采用了同一弯沉修正系数，造成补强厚度偏厚的情况。因此有必要对旧路加铺设计中的弯沉修正系数 F 进行重新修定。

F 公式的图象为抛物线形式，因此存在一极值点。当 E_0 小于某个值时， 1_s 随 E_0 增加而减少；当 E_0 大于某个值时， 1_s 随 E_0 增加而增加。一般来说， E_0 极值点的位置与指数 B 的大小有关系。用近似求导的方法，验算了西安试验路、长农试验路、正定试验路和孟州试验路等几十种常见的半刚性路面结构，发现 B 值一般在 0.5~0.6 之间。

也就是说,当 $B>0.5\sim 0.6$ 时, 1_s 随 E_0 的增加而增加;当 $B<0.5\sim 0.6$ 时, 1_s 存在一极值点。如现行规范中 $B=0.38$,经计算表明,当土基模量 $E_0>300\text{MPa}$ 时, 1_s 将随土基模量的增加而增加。但是在新建工程中 $E_0>300\text{MPa}$ 的特殊情况是几乎不存在的,对于旧路设计则不同,出现的机会很多,因此应考虑新的修正公式。

确定弯沉修正系数 F 时,应考虑旧路弯沉的实际变化范围,通常在 $40\sim 160$ (0.01mm) 之间,即当量土基回弹模量在 $100\sim 340\text{MPa}$,它与新路基一般在 $20\sim 80\text{Mpa}$ 不同。根据三参数的设计厚度,相应交通量下路表理论弯沉值与容许弯沉的对比分析,对于旧路补强时, F 值为:

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

根据沈大路改建试验路的试验数据,也验证了弯沉修正系数,其公式如下:

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

通过两个公式的对比,发现差别较小,因此建议使用第一个公式。补强设计时,仍以设计弯沉值作为路面整体刚度的控制指标;对于二级和二级以上的公路,还应验算补强层层底拉应力。

9.3 水泥混凝土路面加铺沥青层

9.3.1 原有水泥混凝土路面路况如何,直接影响到其上部加铺沥青层的使用寿命。因此,对原有水泥混凝土路面进行充分的调查,是进行合理有效的沥青加铺层设计的基础。

关于旧水泥混凝土路面板现有路况,宜按现行的《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2002)或《公路水泥混凝土路面养护技术规范》(JTJ 073.1-2001)的有关规定,对调查划分病害种类、范围及程度进行分类和分级。

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

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

美国沥青协会(AI)以接缝或裂缝处的板边弯沉差作为旧水泥混凝土路面沥青加铺层设计的控制指标之一时,要求加铺前必须保证弯沉差低于 0.05mm 。根据关于交通荷载作用下沥青加铺层反射裂缝的疲劳断裂力学分析,此值对应为不使沥青加铺层疲劳寿命发生急剧衰减的临界值。在正常的基础支承状态下,此时对应的传荷系数为 75%。有关结果见图 9.3.2-2。

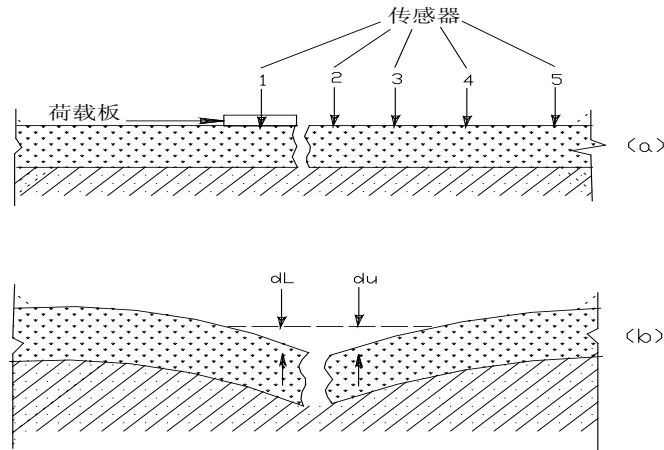


图 9.3.2-1 测量裂缝与接缝板边弯沉差的落锤式弯沉仪位移传感器布置

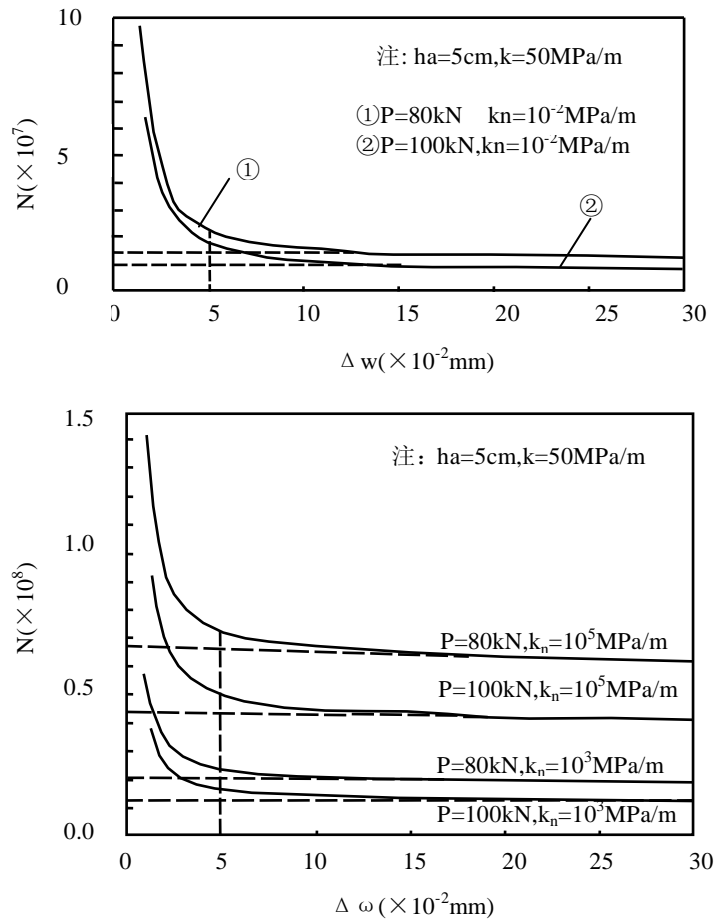


图 9.3.2-2 接缝(裂缝)弯沉差与加铺层疲劳寿命关系

由于美国沥青协会 (AI) 以 80kN 为标准轴载, 而我国以 100kN 为标准轴载。根据关于交通荷载作用下沥青加铺层反射裂缝的疲劳断裂力学分析, 我国宜采用弯沉差为 0.06mm 的控制值, 此时对应的传荷系数仍为 75%。沥青面层加铺前, 为了不使加铺层疲劳寿命发生急剧衰减, 要求旧水泥混凝土路面板 (无论是否处治) 在

接缝或裂缝处弯沉差或传荷系数应达到这一最低要求。

旧路面板接（裂）缝处平均弯沉是旧水泥混凝土路面沥青加铺层设计的另一项控制指标。根据疲劳力学分析，平均弯沉主要反映地基支承软弱情形，直接影响到旧水泥混凝土板的破坏。美国沥青协会（AI）要求接（裂）缝处平均弯沉应不低于0.36mm。考虑到美国与我国标准轴载差异，结合目前国内实际应用情形，故要求平均弯沉值应不低于0.45mm。若不能保证此项要求，结合国外相关研究成果，应将旧板打碎并补强处理。

9.3.4 旧水泥混凝土路面维修养护措施应区分不同情形进行。在现行《公路水泥混凝土路面养护技术规范》（JTJ 073.1-2001）中根据原路面状况评定，分别选用了不同方法进行旧水泥混凝土路面的维修养护。

若路面结构承载能力不满足承载能力要求时，应根据接（裂）缝处平均弯沉、弯沉差、板底脱空情形采取不同的旧板加固措施，保证加固后接（裂）缝处平均弯沉、弯沉差达到相应的要求，再加铺沥青层或补强层。

接缝或裂缝处弯沉差和平均弯沉的路段代表值，应根据旧路调查资料进行合理的路段划分后计算。

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

9.2.5 沥青加铺层厚度设计，应考虑沥青加铺层破坏和旧水泥混凝土路面板破坏两大类破坏。在现行的《公路水泥混凝土路面设计规范》（JTG D40-2002）中主要针对后一类结构破坏进行复合式路面设计，即考虑沥青面加铺后对旧水泥混凝土板边约束效应和复合式路面结构受力两方面影响计算旧水泥混凝土板的弯拉应力。除此之外，还应考虑沥青加铺层破坏，包括加铺层反射裂缝、层间剪切破坏。

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

根据交通荷载下旧水泥混凝土板上沥青加铺层的疲劳损伤断裂力学分析，在旧水泥混凝土板接（裂）缝处平均弯沉、弯沉差满足相关规定条件下，预测沥青加铺层疲劳开裂寿命。通过大量计算，获得了不同基础支承条件、接（裂）缝传荷能力、不同沥青加铺层厚度等条件下引起沥青加铺层疲劳损伤断裂的标准轴载累计当量次数。由于理论分析方法以及相关结果还有待实践进一步验证，因此，对理论分析结果考虑足够的安全系数，结合工程实际，特别是旧水泥混凝土路面板上沥青加铺层厚度的变异性，本条文中只提出不同交通量等级下加铺沥青层的适宜平均厚度要求。

2 沥青加铺层间剪切破坏的验算，由于缺乏足够的层间剪切疲劳实验数据，目前主要从材料设计角度提高沥青混合料抗剪强度和高温稳定性。

9.3.6 用凸轮机打击旧路面板二至三次，使旧路面板出现二至三条横向发裂，并伴有不同程度的下沉，该工艺称打裂工艺，其目的是减小纵向、垂直方向的位移，使旧混凝土板与基层紧密结合、稳定，再加铺结构层，是处理脱空板或连续一段有轻、

中裂缝的板块的好方法，可清除隐患。

附录 A 沥青路面结构厚度计算示例

A.1 基本资料

A.1.1 路段所在地区基本资料

某高速公路地处Ⅱ₂区，为双向四车道，拟采用沥青路面结构，进行施工图设计，沿线土质为中液限粘性土，填方路基高 1.8m，地下水位距路床 2.4m；年降雨量为 620mm/年，最高气温 35℃，最低气温-31℃，多年平均冻结指数为 882℃·d，最大冻结指数为 1225℃·d。

A.1.2 土基回弹模量的确定

设计路段路基处于中湿状态，路基土为中液限粘质土，查表法可得土基回弹模量值为 36MPa。

A.1.3 根据工程可行性研究报告可知路段所在地区近期交通量调查资料（表 A.1.3）

表 A.1.3 近期交通组成与交通量

车型	数量（辆/日）
三菱 FR415	400
五十铃 NPR595G	320
江淮 HF140A	450
江淮 HF150	460
东风 KM340	560
东风 SP9135B	368
五十铃 EXR181L	530

A.1.4 交通量资料

根据交通调查进行综合分析，预测其交通增长率前五年为 8.0%、之后五年为 7.2%，最后五年为 5.0%。累计轴次计算结果如表 A.1.4 所示，属于 D 级交通。

表 A.1.4 轴载换算与累计轴载

换算方法	弯沉及沥青层拉应力指标	半刚性层拉应力指标
设计年限内累计交通轴次	2254 万次	1846 万次

A.1.5 初拟路面结构

拟定采用两种路面结构，分别为半刚性基层沥青路面与混合式基层沥青路面。根据结构层的最小施工厚度、材料、水文、交通量以及施工机具的功能等因素，初步确定路面结构组合与各层厚度如下：

结构一：半刚性基层沥青路面

4cm 细粒式沥青混凝土 + 6cm 中粒式沥青混凝土 + 8cm 粗粒式沥青混凝土 + 36cm 水泥稳定碎石 基层+ 二灰土底基层，以二灰土为设计层。

结构二：混合式基层沥青路面

4cm 细粒式沥青混凝土 + 6cm 中粒式沥青混凝土 + 10cmLSM（大粒径沥青碎石）

+ 二灰稳定砂砾 + 20cm 天然砂砾垫层，以二灰稳定砂砾为设计层。

A.2 路面材料配合比设计与设计参数的确定

A.2.1 试验材料的确定

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

A.2.2 路面材料抗压回弹模量的确定

1 半刚性材料的抗压回弹模量按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ057)中 T0801-94 规定的顶面法测定。水泥稳定碎石试验均值为 3188，方差为 782；二灰土试验均值为 2091，方差为 688；二灰稳定砂砾均值为 3617，方差为 634。

2 沥青混合料的抗压回弹模量参照 T0801-94 规定的方法进行，测定 20℃的抗压回弹模量，各种材料的试验结果与设计参数见下表：

表 A.2.2-1 沥青材料抗压回弹模量测定与参数取值

材料名称	20℃抗压模量 (MPa)			材料名称	抗压回弹模量 (MPa)		
	E _p	方差	E _p -2σ		E _p	方差	E _p -2σ
		σ	E _{p代}			σ	E _{p代}
细粒式沥青混凝土	1991	201	1589	水泥稳定碎石	3188	782	1624
中粒式沥青混凝土	1425	105	1215	二灰土	2091	688	715
粗粒式沥青混凝土	978	55	868	二灰稳定砂砾	3617	634	2349
大粒径沥青碎石 LSM	1248	116	1016	级配碎石	250		

3 路面材料弯拉强度与弯拉模量的取值

根据当地已有试验资料，结合相邻公路的设计情况，弯拉强度与弯拉模量选用经验值。

表 A.2.2-2 路面材料弯拉强度与模量取值

材料名称	细粒式 沥青混 凝土	中粒式沥青 混凝土	粗粒式沥青 混凝土	大粒径 沥青碎 石	水泥稳定碎 石	二灰土	二灰稳定 砂砾
弯拉强度 (MPa)	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.3	0.5
弯拉模量 (MPa)	3000	2800	2600	1500	6457	2846	5021

A.3 路面厚度设计

A.3.1 半刚性基层沥青路面厚度计算

高速公路设计年限为 15 年，设计弯沉值为 20.3 (0.01mm)。利用设计程序计算出满足设计弯沉指标要求的结构层厚度为 16.0cm；满足层底拉应力要求的结构层厚度为 19.6cm。设计厚度取 20 cm。各结构层的验算结果如表 A.3.1 所示。

表 A.3.1 结构厚度计算结果

序号	结构层材料名称	抗压模量 (Mpa)	弯拉模量 (Mpa)	弯拉强度 (Mpa)	厚度 (cm)	层底拉应力 (MPa)	容许拉应力 (MPa)
1	细粒式沥青混凝土	1589	3000	1.2	4	-0.15	0.45
2	中粒式沥青混凝土	1215	2800	1	6	-0.17	0.38
3	粗粒式沥青混凝土	868	2600	0.8	7	-0.04	0.30
4	水泥稳定碎石	1624	6457	0.6	32	0.23	0.27
5	二灰土	715	2846	0.3	20	0.10	0.11
6	土基	36	—	—	—	—	—
路表计算弯沉 $l_s = 19.1$ (0.01mm)							

A.3.2 混合式基层沥青路面路面厚度计算

设计弯沉值为 23.4 (0.01mm)，利用设计程序计算出满足设计弯沉指标要求的结构层厚度为 27.3cm；满足层底拉应力要求的结构层厚度为 37.0cm。设计厚度取 37 cm。各结构层的验算结果如表 A.3.2 所示。

表 A.3.2 结构厚度计算结果

序号	结构层材料名称	抗压模量 (Mpa)	弯拉模量 (Mpa)	弯拉强度 (Mpa)	厚度 (cm)	层底拉应力 (MPa)	容许拉应力 (MPa)
1	细粒式沥青混凝土	1589	3000	1.2	4	-0.14	0.45
2	中粒式沥青混凝土	1215	2800	1	6	-0.13	0.38
3	LSM	1016	1500	0.6	10	-0.04	0.23
4	二灰稳定砂砾	2349	5021	0.5	37	0.22	0.23
5	天然砂砾	250	—	—	20	—	—
6	土基	36	—	—	—	—	—
路表计算弯沉 $l_s = 17.9$ (0.01mm)							

A.3.3 验算防冻厚度

按照规范要求进行抗冻厚度验算，路面结构厚度满足最小抗冻厚度要求。

A.3.4 方案技术经济比选

经过工程预算分析，两种路面结构的总造价分别为：半刚性基层路面每平米 185 元，混合式结构每平米 162 元。本地区降雨量较大，考虑到路面长期使用性能，结合当地实际情况建议采用混合式基层沥青路面。

附录 B 气候区有关资料

表 B.1 1960--2000 年各省气候统计资料

站 名	省 份	纬 度	气 温				最高、最低气温		冻 结 指 数	
			最低气温		最高气温		98%保证率			
			多年平均	标准差	最热 7 天 多年平均	标准差	最高气温	最低气温	多年平均	极大值
亳州	安徽	33.87	-12	3	36	2	40	-18	39	81
合肥	安徽	31.87	-9	2	36	1	38	-13	16	33
黄山	安徽	30.13	-18	2	23	1	25	-22	249	347
北京	北京	39.93	-16	3	34	2	38	-22	178	308
厦门	福建	24.48	4	1	34	1	36	2	-	-
九仙山	福建	25.72	-10	2	25	1	27	-14	-	-
建瓯	福建	27.05	-5	2	37	1	39	-9	-	-
福州	福建	26.08	1	2	36	1	38	-3	-	-
酒泉	甘肃	39.77	-25	3	31	1	33	-31	699	858
兰州	甘肃	36.05	-17	2	33	2	37	-21	276	338
天水	甘肃	34.58	-14	2	32	2	36	-18	105	154
湛江	广东	21.22	6	2	34	1	36	2	-	-
广州	广东	23.13	3	2	35	1	37	-1	-	-
韶关	广东	24.8	-1	2	36	1	38	-5	-	-
南宁	广西	22.82	2	2	35	1	37	-2	-	-
北海	广西	21.48	4	2	33	1	35	0	-	-
桂林	广西	25.32	-2	2	35	1	37	-6	-	-
威宁	贵州	26.87	-9	2	25	1	27	-13	-	-
贵阳	贵州	26.58	-5	2	31	1	33	-9	-	-
罗甸	贵州	25.43	-1	2	35	1	37	-5	-	-
三亚	海南	18.23	12	3	33	1	35	6	-	-
海口	海南	20.03	8	2	35	1	37	4	-	-

表 B.2 1960--2000 年各省气候统计资料

站 名	省 份	纬 度	气 温				最高、最低气温		冻结指数	
			最低气温		最高气温		98%保证率			
			多年平均	标准差	最热 7 天 多年平均	标准差	最高气温	最低气温	多年平均	极大值
西沙	海南	16.83	18	1	33	1	35	16	-	-
石家庄	河北	38.03	-15	3	35	1	37	-21	113	184
围场	河北	41.93	-26	2	29	2	33	-30	1083	1233
张家口	河北	40.78	-21	2	33	2	37	-25	599	708
安阳	河南	36.12	-13	3	35	1	37	-19	69	153
三门峡	河南	34.8	-11	2	35	2	39	-15	53	93
郑州	河南	34.72	-12	2	35	2	39	-16	48	91
南阳	河南	33.03	-10	3	35	2	39	-16	22	67
漠河	黑龙江	53.47	-47	3	29	2	33	-53	3573	4148
黑河	黑龙江	50.25	-37	3	30	2	34	-43	2450	2843
哈尔滨	黑龙江	45.75	-34	3	31	1	33	-40	1623	2140
绥芬河	黑龙江	44.38	-31	2	29	2	33	-35	1586	2009
宜昌	湖北	30.7	-4	2	37	1	39	-8	1	10
荆州	湖北	30.33	-6	3	35	1	37	-12	2	12
武汉	湖北	30.62	-9	3	36	1	38	-15	5	19
衡阳	湖南	26.9	-4	2	37	1	39	-8	-	-
南岳	湖南	27.3	-12	2	27	1	29	-16	-	-
岳阳	湖南	29.38	-5	3	35	1	37	-11	-	-
白城	吉林	45.63	-31	3	32	2	36	-37	1487	2092
长春	吉林	43.9	-29	3	31	2	35	-35	1308	1799
桦甸	吉林	42.98	-37	4	30	2	34	-45	1504	2088
松江	吉林	42.53	-38	3	29	2	33	-44	1631	1958
徐州	江苏	34.28	-12	3	35	1	37	-18	42	76
南京	江苏	32	-10	2	35	1	37	-14	15	33
南通	江苏	32.02	-8	2	34	1	36	-12	9	25
赣州	江西	25.85	-3	1	36	1	38	-5	-	-
南昌	江西	28.6	-5	2	37	1	39	-9	-	-
庐山	江西	29.58	-13	2	28	1	30	-17	-	-

表 B.3 1960--2000 年各省气候统计资料

站 名	省 份	纬 度	气 温				最高、最低气温		冻结指数	
			最低气温		最高气温		98%保证率			
			多年平均	标准差	最热 7 天 多年平均	标准差	最高气温	最低气温	多年平均	极大值
景德镇	江西	29.3	-7	2	36	1	38	-11	-	-
开原	辽宁	42.53	-31	3	31	2	35	-37	1095	1542
锦州	辽宁	41.13	-21	3	31	2	35	-27	546	865
沈阳	辽宁	41.73	-27	2	31	2	35	-31	882	1225
大连	辽宁	38.9	-16	3	29	1	31	-22	242	360
图里河	内蒙古	50.48	-46	2	27	2	31	-50	3370	3902
海拉尔	内蒙古	49.22	-40	3	30	2	34	-46	2631	3097
乌拉特后旗	内蒙古	41.57	-29	3	31	2	35	-35	1187	1356
呼和浩特	内蒙古	40.82	-25	3	31	2	35	-31	899	1028
锡林浩特	内蒙古	43.95	-34	3	32	2	36	-40	1828	2060
银川	宁夏	38.48	-22	3	32	1	34	-28	503	607
固原	宁夏	36	-24	3	28	2	32	-30	600	736
德令哈	青海	37.37	-27	4	27	2	31	-35	952	1093
西宁	青海	36.62	-21	2	28	2	32	-25	594	760
伍道梁	青海	35.22	-32	2	16	2	20	-36	2443	2579
清水河	青海	33.8	-37	3	16	1	18	-43	2362	2804
济南	山东	36.68	-13	2	35	1	37	-17	69	171
泰山	山东	36.25	-22	2	23	1	25	-26	654	785
沂源	山东	36.18	-16	2	33	1	35	-20	158	203
青岛	山东	36.07	-11	2	30	1	32	-15	64	115
大同	山西	40.1	-26	2	31	2	35	-30	830	940
五台山	山西	39.03	-35	3	16	2	20	-41	1914	2501
太原	山西	37.78	-20	2	32	1	34	-24	331	393
运城	山西	35.03	-14	2	36	2	40	-18	65	102
榆林	陕西	38.23	-25	3	33	2	37	-31	651	804
延安	陕西	36.6	-20	2	33	1	35	-24	324	466
西安	陕西	34.3	-11	3	36	1	38	-17	46	92
汉中	陕西	33.07	-7	1	33	2	37	-9	4	22

表 B.4 1960--2000 年各省气候统计资料

站 名	省 份	纬 度	气 温				最高、最低气温		冻结指数	
			最低气温		最高气温		98%保证率			
			多年平均	标准差	最热 7 天 多年平均	标准差	最高气温	最低气温	多年平均	极大值
上海龙华	上海	31.17	-7	2	35	1	37	-11	-	-
石渠	四川	32.98	-32	3	18	1	20	-38	1524	1661
松潘	四川	32.65	-18	2	25	2	29	-22	270	369
成都	四川	30.67	-4	1	33	1	35	-6	0	2
康定	四川	30.05	-12	2	23	1	25	-16	178	235
西昌	四川	27.9	-2	2	32	2	36	-6	-	-
万源	四川	32.07	-6	2	34	1	36	-10	1	11
天津	天津	39.1	-15	3	33	1	35	-21	207	317
那曲	西藏	31.48	-31	4	18	2	22	-39	1382	1712
拉萨	西藏	29.72	-15	2	26	2	30	-19	108	182
帕里	西藏	27.73	-26	3	14	1	16	-32	1025	1752
阿勒泰	新疆	47.73	-35	5	32	1	34	-45	1527	1838
青河	新疆	46.67	-41	5	29	2	33	-51	2287	2780
乌鲁木齐	新疆	43.78	-27	4	34	2	38	-35	1082	1462
喀什	新疆	39.47	-18	4	34	1	36	-26	272	383
哈密	新疆	42.82	-23	3	37	2	41	-29	692	897
中甸	云南	27.83	-20	3	21	1	23	-26	198	324
昭通	云南	27.35	-8	2	28	1	30	-12	32	57
昆明	云南	25.02	-3	2	27	1	29	-7	0	1
景洪	云南	22	6	2	35	2	39	2	-	-
杭州	浙江	30.23	-6	2	36	1	38	-10	4	13
温州	浙江	28	-3	1	34	1	36	-5	-	-
沙坪坝	重庆	29.58	1	2	38	1	40	-3	-	-
酉阳	重庆	28.8	-5	1	33	1	35	-7	-	-

附录 C 沥青面层矿料级配与沥青贯入式面层

表 C.1 各种混合料的集料级配表

级配类型	通过各筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)												
	31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-5						100	90-100	55-75	35-55	20-40	12-28	7-18	6-10
AC-10					100	90-100	45-75	30-58	20-44	13-32	9-23	6-16	4-8
AC-13				100	90-100	68-85	38-68	24-50	18-38	10-28	7-20	5-15	4-8
AC-16			100	90-100	70-92	60-80	34-62	20-48	13-36	9-26	7-18	5-14	4-8
AC-20		100	90-100	74-90	62-82	50-70	32-46	22-36	16-28	10-22	6-16	4-12	3-7
AC-25	100	90-100	70-90	60-82	51-73	40-65	24-48	14-32	10-24	7-18	6-14	4-10	3-7
SAC-10					100	95-100	25-35	25-35	19-27	15-21	11-16	8-12	6-10
SAC-13				100	95-100	66-74	30-40	23-32	17-25	13-20	10-16	8-13	6-10
SAC-16			100	95-100	79-86	58-67	30-40	23-32	17-25	13-20	10-16	8-13	6-10
AK-13				100	90-100	60-80	30-53	20-40	15-30	10-23	7-18	5-12	4-8
AK-16			100	95-100	70-92	56-76	30-50	20-36	16-28	10-20	8-16	6-13	4-8
AM-13				100	90-100	50-80	20-45	8-28	4-20	2-16	0-10	0-8	0-6
AM-16			100	90-100	60-85	45-68	18-40	6-25	3-18	1-14	0-10	0-8	0-5
AM-20		100	90-100	60-85	50-75	40-65	15-40	5-22	2-16	1-12	0-10	0-8	0-5
SMA-10					100	80-100	28-50	20-32	14-26	12-22	10-18	9-16	8-12
SMA-13				100	90-100	50-75	20-34	15-6	14-24	12-20	10-16	9-15	8-2
SMA-16			100	90-100	65-85	45-65	20-32	15-24	14--22	12-18	10-15	9-14	8-12
SMA-19		100	90-100	72-92	62-82	40-55	18-30	13-22	12-20	10-16	9-14	8-13	8-12

表 C.2 沥青贯入式面层材料规格和用量（方孔筛）

沥青品种	石 油 沥 青					
规格和用量	规 格	用 量	规 格	规格	规 格	用 量
封层料	S14	3-5	S14	S13(S14)	S13(S14)	4-6
第三遍沥青	1.0-1.2					1.0-1.2
第二遍嵌缝料	S12	6-7	S11(S10)		S11(S10)	10-12
第二遍沥青		1.6-1.8				2.0-2.2
第一遍嵌缝料	S10(S9)	12-14	S8		S8(S6)	16-18
第一遍沥青		1.8-2.1				2.8-3.0
主层石料	S5	45-50	S4	S10(S11)	S3(S2)	66-76
沥青总用量		4.4-5.1				5.8-6.4

注：集料用量单位为 $\text{m}^3/1000\text{m}^2$ ，沥青及沥青乳液单位为 kg/m^2 。

表 C.3 沥青贯入式面层材料规格和用量（方孔筛）

沥青品种	石 油 沥 青				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	规格	用量
封层料	S13(S14)	4-6	S13(S14)	4-6	S13(S14)	4-6	S ₄ ¹	4-6
第二遍沥青								
第四遍嵌缝料					S14			5-6
第四遍沥青						1.2-1.4		0.8-1.0
第三遍嵌缝料					S14	5-6	S ₂ ¹	7-9
第三遍沥青		1.0-1.2		1.0-1.2		1.4-1.6		1.5-1.7
第二遍嵌缝料	S10(S11)	11-13	S10(S11)	11-13	S12	7-8	S ₀ ¹	9-11
第二遍沥青		2.4-2.6		2.6-2.8		1.6-1.8		1.6-1.8
第一遍嵌缝料	S6(S8)	18-20	S6(S8)	20-22	S9	12-14	S8	10-12
第一遍沥青		3.3-3.5		4.0-4.2		2.2-2.4		2.6-2.8
主层石料	S3	80-90	S1(S2)	95-100	S5	40-45	S9	50-55
沥青总用量	6.7-7.3		7.6-8.2		6.0-6.8		7.5-8.5	

注：①表中乳化沥青是指乳液的用量，并适用于乳液浓度约为 60% 的情况。

②在高寒地区及干旱风砂大的地区，可超出高限，再增加 5%~10%。

表 C.4 表面加铺拌和层时贯入层部分的材料规格和用量(方孔筛)

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 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
第二遍沥青		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 表中乳化沥青是指乳液的用量，并适用于乳液浓度约为 60%的情况。

② 在高寒地区及干旱风砂大的地区，可超出高限，再增加 5%-10%。

表 C.5 沥青表面处治面层材料规格和用量（方孔筛）

沥青种类	类型	厚度 (mm)	集料(m ³ /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
			规格	用量	规格	用量	规格	用量				
石油沥青	单层	10	S12	7-9					1.0-1.2			1.0-1.2
		15	S10	12-14					1.4-1.6			1.4-1.6
	双层	15	S10	12-14	S12	7-8			1.4-1.6	1.0-1.2		2.4-2.8
		20	S9	16-18	S12	7-8			1.6-1.8	1.0-1.2		2.6-3.0
		25	S8	18-20	S12	7-8			1.8-2.0	1.0-1.2		2.8-3.2
	三层	25	S8	18-20	S12	12-14	S12	7-8	1.6-1.8	1.2-1.4	1.0-1.2	3.8-4.4
30		S6	20-22	S12	12-14	S12	7-8	1.8-2.0	1.2-1.4	1.0-1.2	4.0-4.6	
乳化沥青	单层	05	S14	7-9					0.9-1.0			0.9-1.0
	双层	10	S12	9-11	S14	4-6			1.8-2.0	1.0-1.2		2.8-3.2
	三层	30	S6	20-22	S10	9-11	S12 S14	4-6 3.5-5.5	2.0-2.2	1.8-2.0	1.0-1.2	4.8-5.4

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

② 在高寒地区及干旱风沙大的地区，可超出高限 5%-10%。

附录 D 无结合料材料的级配组成

表 D.1 级配碎石混合料的级配组成

层 位	通过下列筛孔(mm)质量百分比(%)														液限	塑指	备注
	37.5	31.5	26.5	19	16	13.2		4.75		1.18	0.6	0.3	0.15		(%)	(%)	
上基层			100	85-100			60-80	30-50		15-30	10-20			2-8	<28	<9	过渡层、防治反射裂缝
基层		100	90-100	75-90			50-70	30-55		15-35	10-20			4-10	<28	<9	连续型
		100	85-95	66-78	54-71	50-64	41-51	25-33	15-23	8-16	5-11	3-8	2-6	0-4	<28	<9	骨架密实型
		100	85-95	66-80	44-56	37-48	31-41	28-38	18-28	12-20	8-14	5-11	4-8	2-6	<28	<9	骨架密实型
	100	80-100		55-100				28-60	18-47			5-23		1-7	<28	<9	骨架密实型
底基层及垫层	100	85-100	65-85	42-67			20-40	10-27		8-20	5-18			0-15	<28	<9	
	100	80-100		55-100				30-70	5-30					2-10	<28	<9	
		100	80-100	56-87			30-60	18-46		10-33	5-20			0-15	<28	<9	

注：①上基层是指沥青面层下与半刚性基层之间设置级配碎石，该层的级配宜符合此规定。②潮湿多雨地区的基层塑性指数大于 6。
③为排水与防冻垫层时，其 0.074mm 不超过 5%。

表 D.2 级配砾石结构层的级配组成

层 位	编号	表 C2 级配碎石面层基层的矿料级配组成											
		53	37.5	31.5	26.5	19	9.5	4.75	1.18	0.6	0.074	液限	塑指
砂石路面 面层	1		100	90-100		65-85	45-70	30-55	20-37	15-25	7-12	<43	12-21
	2			100	85-100	70-90	50-70	40-60	25-40	20-32	8-15	<43	12-21
	3			100		85-100	60-80	45-65	30-50	20-32	8-15	<43	12-18
基层及 底基层	1		100	90-100		65-85	45-70	30-55	15-35	10-20	4-10	<28	<9
	2			100	90-100	75-90	50-70	30-55	15-35	10-20	4-10	<28	<9
	3				100	85-100	60-80	30-50	15-30	10-20	2-8	<28	<9
垫 层	1	100		90-100		65-85		30-50		8-25	0-5	<28	<9

注：① 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。②潮湿多雨地区的基层塑性指数大于 6。

附录 E 材料设计参数参考资料

表 E.1 沥青混合材料设计参数

材 料 名 称		抗压模量 E(MPa)			劈裂强度	备 注
		20℃	15℃ (弯沉)	15℃ (拉应力)	15℃	
细粒式沥青混凝土	密级配	1200-1600	1800-2200		1.2-1.6	AC-10, AC-13
	开级配	700-1000	1000-1400		0.6-1.0	OGFC
沥青玛蹄脂碎石		1200-1600	1200-1500		1.4-1.9	SMA
中粒式沥青混凝土		1000-1400	1600-2000		0.8-1.2	AC-16 AC-20
密级配粗粒式沥青混凝土		800-1200	1000-1400		0.6-1.0	AC-25
大粒径沥青碎石基层	密级配	1000-1400	1200-1600		0.6-1.0	LSM25-35
	半开级配	600-800	—		—	AM25-35
沥青贯入式		400-600	—		—	

注：沥青为 90#或 70#

表 E.2 基层、底基层材料设计参数

材料名称	配合比或规格要求	抗压模量 E(MPa) 弯沉计算	劈裂强度 σ (Mpa)	抗压模量 E(MPa) 拉应力
二灰砂砾	7:13:80	1100-1500	0.6-0.8	
二灰碎石	8:17:80	1300-1700	0.5-0.8	
水泥砂砾	5%-6%	1100-1500	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>60%	700-1100	0.3-0.4	
碎石灰土	粒料>40-50%	600-900	0.25-0.35	
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	
石灰土处理路基	4%-7%	200-350	—	
级配碎石	上基层级配	300-350	—	
		300-800		
	底基层、垫层	200-250		
填隙碎石	底基层	200-280	—	
未筛分碎石	做底基层用	180-220	—	
级配砂砾、天然砂砾	做底基层用	150-200		
中粗砂	垫层	80-100	—	

表 E.3 碎砾石土设计参数

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

附录 F 土基回弹模量参考值

表 F.1 路基临界高度参考值

自然 区划	土 组 别 床 面 至 各 水 位 高 度 (m)	砂 性 土							
		地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水	
		H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2
II 1									
II 2									
II 3		1.9~2.2	1.3~1.6						
II 4									
II 5									
III 1		1.1~1.5	0.7~1.1						
III 2									
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
III 4		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
III 1a									
III 2a									
IV 1、IV 1a		1.4~1.7	1.0~1.3						
IV 2									
IV 3									
IV 4									
IV 5									
		1.0~1.1	0.7~0.8						

续上表

土 组 自然区划 床面至各水位 高度 m	砂 性 土								
	地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
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									
VI 1a	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(1.8)	(1.4)	(1.0)	0.7	0.3	
VI 2	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(1.7)	(1.3)	(1.0)	<u>(1.0)</u>	<u>(0.5)</u>	
VI 3	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 4	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(1.9)	(1.5)	(1.1)			
VI 4a	(2.2)	(1.8)	(1.4)	(1.9)	(1.5)	(1.2)	<u>0.8</u>		
VI 4b	(1.9)	(1.5)	(1.1)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)		
VII 1	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(1.7)	(1.3)	(1.0)			
VII 2	(2.2)	(1.9)	(1.6)	(2.1)	(1.6)	(1.3)	(0.8)	(0.4)	
VII 3									
VII 4									
VII 5									
VII 6a	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
	(2.1)	(1.6)	1.3	(1.8)	(1.4)	1.0	(0.9)		
	(3.0)	(2.4)	1.9	(2.0)	(2.0)	1.6	(1.5)	(1.1)	(0.5)

续上表

土 组 自 然 区 划 临 界 面 至 各 水 位 高 度 (m)	粘 性 土								
	地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
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									
III 3	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 4	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 1a									
III 2a									
IV 1、IV 1a									
IV 2									
IV 3									
IV 4	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9						
IV 5	1.6~1.7	1.1~1.2	0.8~0.9						
	1.5~1.7	1.1~1.2	0.8~0.9	0.8~0.9	0.5~0.6	0.3~0.4			
	1.7~1.8	1.0~1.2	0.8~1.0						
	1.7~1.9	1.3~1.4	0.9~1.0	1.0~1.1	0.6~0.7	0.3~0.4			

续上表

土 组 自然临床面至各水位 区划高度 (m)	粘 性 土								
	地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
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									
VI 1	1.7~1.9	0.9~1.1	0.4~0.6	(2.1)	(1.7)	(1.3)	0.9	0.5	
VI 1a	(2.3)	(1.9)	(1.6)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)	
VI 2	(2.2)	(1.9)	(1.5)	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	2.2~2.75	1.65~2.2	1.2~1.65	(2.1)	(1.7)	(1.4)	(0.8)	(0.6)	
VI 4	(2.4)	(2.0)	(1.6)	(2.2)	(1.7)	(1.3)	1.0	0.6	
VI 4a	2.4	2.0	1.6	(1.9)	(1.4)	(1.1)	<u>0.7</u>	<u> </u>	
VI 4b	(2.2)	(1.7)	(1.4)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	<u>(0.8)</u>		
VII 1	(2.3)	(1.8)	(1.4)	(2.1)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)	
VII 2	2.2	(1.9)	(1.5)	1.8	1.4	1.1	0.8	0.4	
VII 3	(2.3)	(1.9)	(1.6)	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	2.3~2.85	1.75~2.3	1.3~1.75	(1.8)	(1.4)	(1.1)	(0.7)		
VII 5	(2.1)	(1.6)	(1.3)	(2.4)	(2.0)	(1.6)	(1.5)	(1.1)	(0.5)
VII 6a	(3.3)	(2.6)	(2.1)	(2.5)	2.0	1.6	1.4	(0.8)	
	(2.8)	<u>2.4</u>	1.9						

续上表

自然 区划	土 床 面 至 各 水 位 高度 (m)	粉 性 土							
		地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水	
		H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2
	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
	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
	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					

续上表

自然区划	土组 床面至各水位 高度 (m)	粉 性 土								
		地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水		
		H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
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	
v2、V 2a（紫色土）	2.3~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7							
V 3	1.9~2.1	1.3~1.5	0.5~0.7							
V 2、V 2a	2.3~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7							
（黄壤土，现代冲击土）										
V 4、V 5、V 5a	2.2~2.5	1.4~1.6	0.5~0.7							
VI 1	(2.5)	(2.0)	(1.6)	(2.3)	(1.8)	(1.3)	(1.2)	0.7	0.4	
VI 1a	(2.5)	(2.0)	(1.5)	(2.2)	(1.7)	(1.2)	0.6			
VI 2	2.3~2.15	1.85~2.3	1.4~1.85	1.85~2.3	1.4~1.85	0.9~1.4	1.4~1.85	0.9~1.4	0.5~0.9	
VI 3	(2.6)	(2.1)	(1.6)	(2.4)	(1.8)	(1.4)	(1.3)	(0.7)		
VI 4	(2.6)	(2.2)	<u>1.7</u>	<u>2.4</u>	1.9	1.4	1.3	0.8		
VI 4a	(2.4)	(1.9)	<u>1.4</u>	<u>2.1</u>	1.6	<u>1.1</u>	<u>1.0</u>	0.5		
VI 4b	(2.5)	<u>1.9</u>	<u>1.4</u>	(2.2)	(1.7)	(1.2)	<u>1.0</u>	0.5		
VII 1	(2.5)	(2.0)	(1.5)	(2.4)	<u>1.8</u>	1.3	1.1	0.6		
VII 2	(2.5)	(2.1)	(1.6)	(2.2)	(1.6)	(1.1)	0.9	0.4		
VII 3	2.4~3.1	2.0~2.4	1.6~2.0	(2.0~2.4)	(1.6~2.0)	(1.0~1.6)	(1.6~2.0)	1.0~1.6	0.55~1.0	
VII 4	(2.3)	(1.8)	(1.3)	(2.1)	(1.6)	(1.1)				
VII 5	(3.8)	(2.2)	(1.6)	(2.9)	(2.2)	(1.5)		(1.3)	(0.5)	
VII 6a	(2.9)	(2.5)	1.8	(2.7)	2.1	1.5	1.6	1.1		

注：①表中 H1、H2、H3 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 H3 时为过湿路基，须经处治后方可铺筑路面；② VI，VII 区有横线者，表示实测资料较少，有括号者表示没有实测资料，根据规律推算的；③ III 2，III 3，VI 2，VII 3 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，并积极调研积累本地区的资料。

表 F.2 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	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	
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 41.5	34.5	37.0	45.5	
	粘质土	23.5	27.5	32.0	34.5	36.5	39.0					
	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 52.0	46.0	49.5	59.0	69.0
	粘质土	26.5	32.0	38.5	41.5	45.0	48.5					
	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 57.5	62.0	70.0
	粘质土	27.0	31.5	36.5	39.0	41.5	44.0	46.5	52.0			
	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 52.0	63.0	71.0
	粘质土	26.0	30.0	34.5	36.5	38.5	41.0	46.0	47.5			
	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 43.5	42.0	45.0	53.0	61.0
	粘质土	25.0	29.5	34.0	36.5	38.5	41.0					
	粉质土	23.0	28.0	33.5	36.0	39.0	42.0					

区划	稠度	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
	土组											
IV 5	土质砂	24.0	26.0	28.0	29.0	30.0	30.5	31.5	33.5	35.0	40.0	44.5 皖、浙、江西
	粘质土	22.0	27.0	32.5	33.5	38.5	41.5	44.5				
	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	77.0
	粘质土	27.5	33.0	38.0	41.0	44.0	46.5	50.5				
	粉粘土	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	土质砂粘质土	27.5	31.5	35.5	37.5	39.5	41.5	43.5	58.0	52.0	65.0	78.5
	粉质土	27.0	32.0	37.0	39.0	42.5	45.5	48.0				
		28.5	34.0	40.0	43.0	46.0	49.5	52.5				
V 1 V 2 V 2a	紫色粘质土	22.5	26.0	30.0	32.0	34.0	36.0	38.0				
	紫色粉质土	22.5	27.5	33.5	36.5	40.0	43.0					
	黄壤粘质土											
V 3	黄壤粉质土	25.0	29.0	33.0	35.5	37.5	40.0	42.0				
		24.5	30.5	37.5	41.0	45.0	49.0					
V 4 (四川)	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				
	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				
	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				
	粉质土	31.5	36.5	41.5	44.0	46.5	49.0	51.5				
VI 2	土质砂粘质土	42.0	45.5	49.0	50.5	52.0	53.5	55.5	58.5	61.5	69.0	78.0
	粉质土	27.0	30.5	33.5	35.0	37.0	38.0	40.0				
		25.5	30.5	35.5	38.0	41.0	43.5	46.0				

区划	稠度 wc	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
	土组											
VI 3	土质砂	46.0	50.0	53.5	55.0	56.5	58.5	60.0	63.0	66.0	75.0	83.0
	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			
	粉粘土	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	土质砂粘质土	52.0	55.0	58.0	59.5	61.0	62.0	63.5	66.0	69.0	76.0	82.5
	粉质土	26.5	31.5	36.5	39.5	42.0	45.0	48.0	54.0			
		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	土质砂粘质土	45.5	49.0	52.0	53.0	54.5	56.0	57.5	60.0	62.5	70.0	76.5
	粉质土	30.0	33.0	37.5	39.5	41.5	43.5	45.0	49.0			
		32.5	38.0	43.5	46.0	49.0	51.5	54.5				

附录 G 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”。