

**JTG**

中华人民共和国行业标准

**JTG D50—2006**

---

**公路沥青路面设计规范**

**Specifications for Design of Highway**

**Asphalt Pavement**

2006—1—1 发布

2006—1—1 实施

---

# 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 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	$I_s \leq I_d$ $\sigma_m \leq \sigma_R$	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)  
 $\delta$  —— 标准轴载单轮传压面当量圆的半径 (cm)  
 $P_1$  —— 被换算的各级轴载 (KN)  
 $n_1$  —— 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)  
 $\eta$  —— 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  
 $\sigma_m$  —— 结构层底面拉应力 (MPa)  
 $\sigma_R$  —— 混合料的容许拉应力 (MPa)  
 $\sigma_{sp}$  —— 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)  
 $\alpha_L$  —— 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  
 $L_v$  —— 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  $N_i$ 。

$$N = \sum_{i=1}^K C_1 \cdot C_2 n_1 \left(\frac{P_i}{P}\right)^{4.35} \quad (3.1.0-1)$$

式中: N —— 标准轴载的当量轴次(次/日);

$n_1$  —— 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。

$$N = \sum_{i=1}^K C'_1 \cdot C'_2 n_1 \left(\frac{P_i}{P}\right)^8 \quad (3.1.2-3)$$

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,并考虑投资条件综地确定。

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  $\eta$

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：

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

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 Ne(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较大或重要道路、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	高速公路和一级公路	二级公路
	PSV		
>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%
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<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的总含量应大于 70%，烧失量不宜大于 20%，比表面积宜大于 2500cm<sup>2</sup>/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0.3~0.5kg/m<sup>2</sup>。

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 材料规格与数量宜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

土 组 \ 干湿状态	干燥状态	中湿状态	潮湿状态	过湿状态
	$w_c \geq w_{c1}$	$w_{c1} > w_c \geq w_{c2}$	$w_{c2} > w_c \geq w_{c3}$	$w_c < w_{c3}$
土质砂	$w_c \geq 1.20$	$1.20 > w_c \geq 1.00$	$1.00 > w_c \geq 0.85$	$w_c < 0.85$
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:

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

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

注：①  $H_0$ 为不利季节路床表面距地下或地表积水水位的高度。  
② 地表积水指不利季节积水 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)；

$p, \delta$  —— 测定车轮胎接地压强(MPa)与当量圆半径(mm)；

$\alpha_0$  —— 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： $p, \delta$  —— 承载板的最大接地压强(MPa)与半径(mm)；

$l$  —— 承载板最大弯沉( $\mu\text{m}$ )。

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， $\delta$  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。颗粒组成应符合附录 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： $\varepsilon_j$ ——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；

$\varepsilon_s$ ——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。

$\xi$ ——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)。

$\eta$ ——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	二灰土及水泥石	二灰碎石及水泥碎(砾)石	级配碎石
热物性系数	1.4	1.35	1.35	1.4	1.45

注：a 值取大地冻深范围内路基及路面各层材料的加权平均值。

**表 5.2.6-2 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	≥97	≥0.6
	细粒土	—	—	≥96	
底基层	集料	≥97	≥0.6	≥96	≥0.5
	细粒土	≥96		≥95	

**6.1.9** 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 <sup>①</sup>

	细粒土	—		≥95 <sup>③</sup>	
底基层	集料	≥97	≥0.8	≥96	0.5~0.7 <sup>②</sup>
	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、级配碎砾石以及符合级配、塑性指数等技术要求的天然砂砾，可用作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Φ152×95.3mm，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 <sup>①</sup>	%	12~18
沥青膜厚度	μ m	>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<sub>60</sub>)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 <sub>60</sub>	动态摩擦系数 DF <sub>60</sub>	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<sub>60</sub>)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	
试验极限破坏应变 ( $\mu\epsilon$ )	≥3000	≥2800	≥2500	T 0728

**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	不同类型通过各筛孔的百分率 (%)	施工允许
------	-------------------	------

(mm)	普通稀浆封层和改性稀浆封层			波动范围
	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。

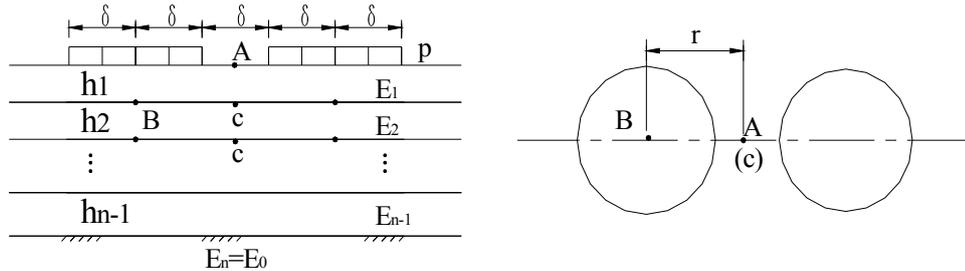


图 8.0.1 路面荷载及计算点图示

**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  $\sigma_m$  应小于或等于容许拉应力  $\sigma_R$ ，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。

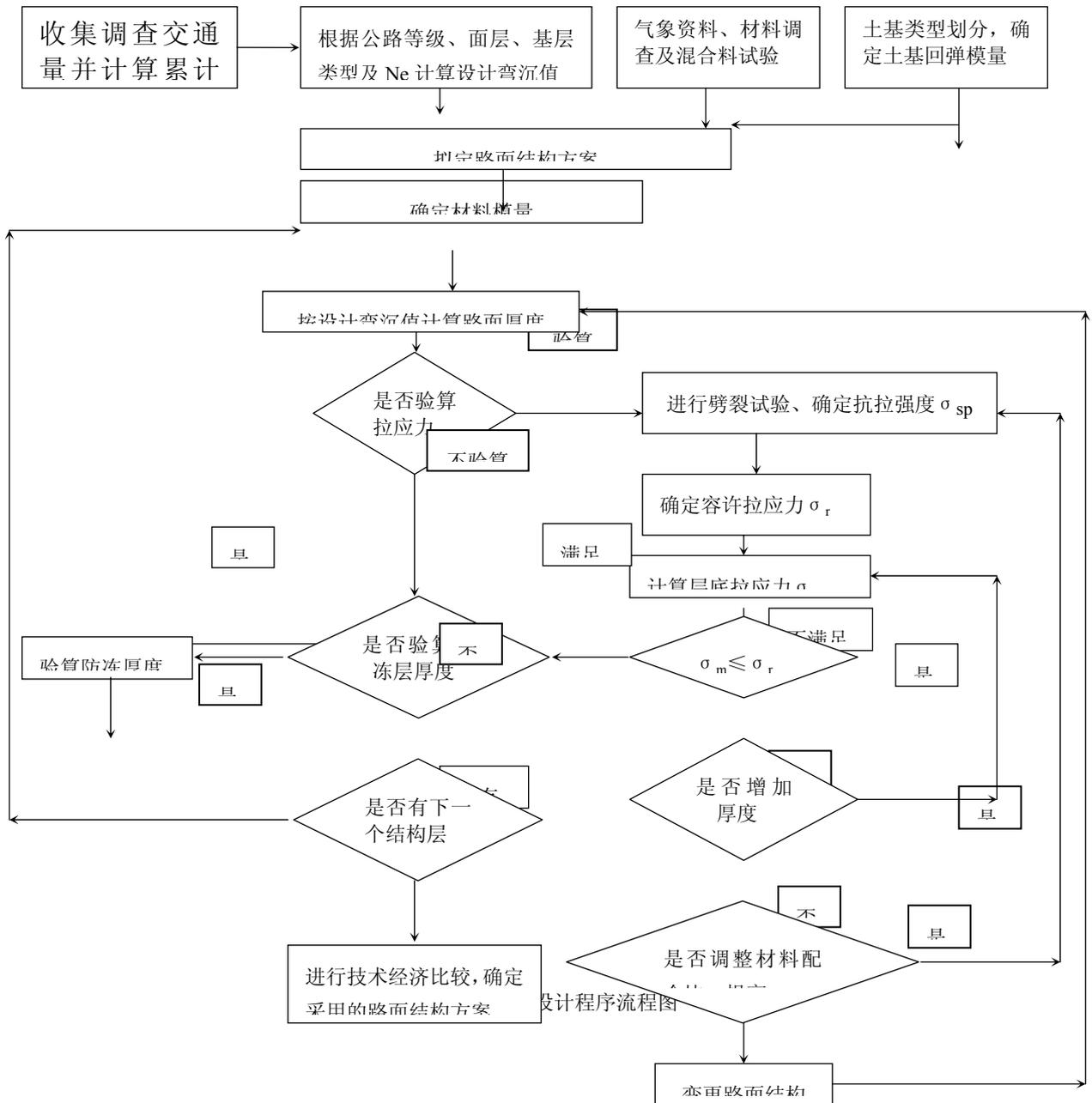
- 2 按路基土类与干湿类型及路基横断面形式，将路基划分为若干路段，确定各个路段土基回弹模量设计值。

- 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。



**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。

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

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  $\sigma_R$  应按下列公式计算:

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

式中:  $\sigma_R$ ——路面结构层材料的容许拉应力(MPa);

$\sigma_S$ ——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:

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

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

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;  
 $Z_{\alpha}$  —— 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);  
 $p, \delta$  —— 标准车型的轮胎接地压强(MPa)和当量圆半径 (cm);  
 $\alpha_c$  —— 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:

$$l_r \leq l_a \quad (8.0.15-1)$$

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；

$Z_\alpha$ ——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：

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

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)；

$Z_\alpha$ ——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);  
 $p$ 、 $\delta$   $p\delta$  —— 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。

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

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。

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

**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酯类土工布，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 1.0~1.6kg/m<sup>2</sup>，再洒 4.75~9.5mm 单粒径预拌沥青碎石，用量 3~5 kg/m<sup>2</sup>，碾压稳定形成。

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。

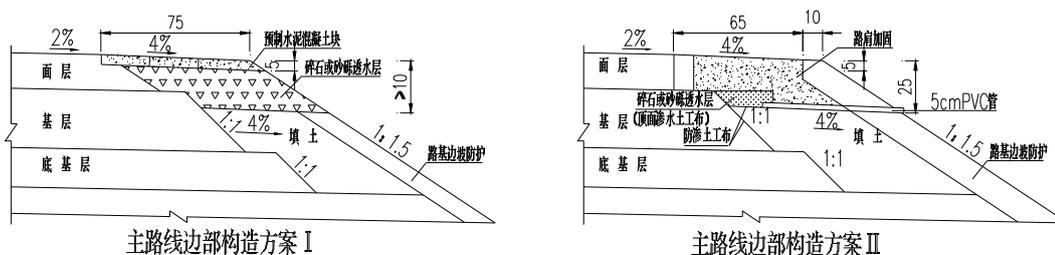
2 集中排水—由路面横坡、拦水缘石或矩形边沟、泄水口和急流槽组成，适用于路堤高度较高，或路堤易受冲刷的粉性土、砂性土路段，凹形曲线底部、大桥端部等。

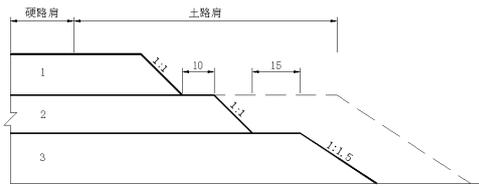
#### 11.1.3 分散排水的路段应考虑土路肩的加固和边坡的适当防护。

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<sup>#</sup>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。

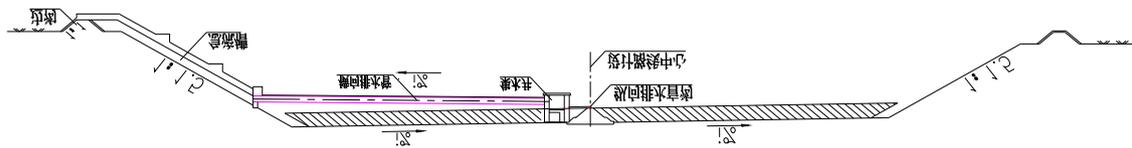
2 拦水带可用沥青混凝土或预制水泥混凝土制作。当用沥青混凝土拦水带时，其沥青混凝土混合料的级配宜符合表 11.1.4 的规定，沥青用量宜较马歇尔试验确定的最佳沥青用量增加 0.5%~1%，采用双面击实 50 次，空隙率宜为 2%~4%。 预制水泥混凝土拦水缘石，应预留相应的出水孔，以免阻止路面结构内部排水。

**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。

高速公路中央分隔带排水设施



**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。

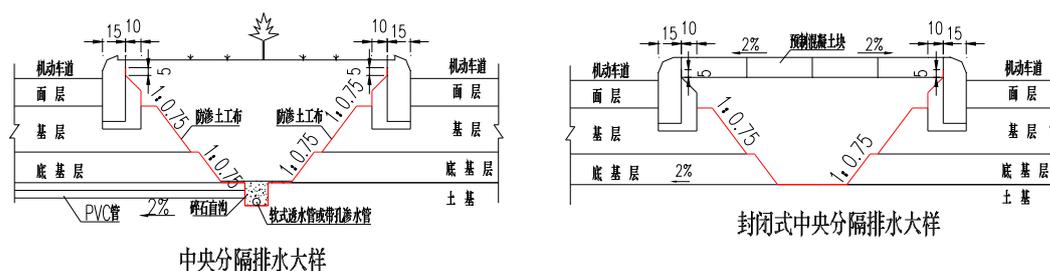


图 11.1.6 中央分隔带排水

### 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。

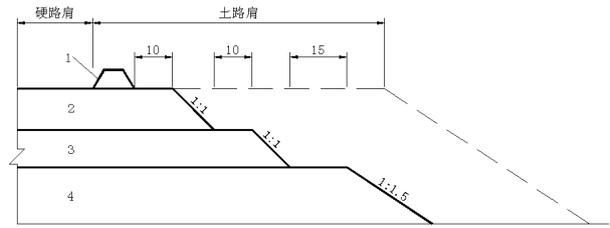


图 11.2.4- 硬路肩边缘构造（尺寸单位：cm）  
 1—路缘石 2—面层 3—基层 4—底基层

## 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 II<sub>2</sub> 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 + 10cm LSM（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)		
	Ep	方差	$E_p-2\sigma$		Ep	方差	$E_p-2\sigma$
		$\sigma$	$E_{p代}$			$\sigma$	$E_{p代}$
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 $l_s = 19.1 (0.01\text{mm})$							

### 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 $l_s = 17.9 (0.01\text{mm})$							

### A.3.3 验算防冻厚度

按照规范要求进行了抗冻厚度验算，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方米 185 元，混合式结构每平方米 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

公路沥青路面设计规范

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	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  $\text{kg}/\text{m}^2$ 。

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			
	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	S14	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	S12	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	S10	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沙大的地区，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 <sup>3</sup> /1000m <sup>2</sup> )						沥青或乳液用量(kg/m <sup>2</sup> )			
			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
		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											液限	塑指
		53	37.5	31.5	26.5	19	9.5	4.75	1.18	0.6	0.074			
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 15℃	备注
		20℃	15℃ (弯沉)	15℃ (拉应力)		
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

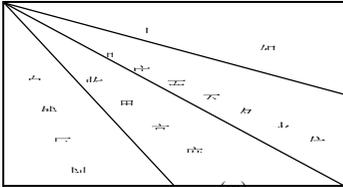
材料名称	配合比或规格要求	抗压模量 E (MPa) 弯沉计算	劈裂强度 $\sigma$ (Mpa)	抗压模量 E (MPa) 拉应力
二灰砂砾	7:13:80	1100-1500	0.6-0.8	
二灰碎石	8:17:80	1300-1700	0.5-0.8	
水泥砂砾	5%-6%	1100-1500	0.4-0.6	
水泥碎石	5%-6%	1300-1700	0.4-0.6	
石灰水泥粉煤灰砂砾	6.3:16:75	1200-1600	0.4-0.6	
石灰水泥碎石	5:3:92	1000-1400	0.35-0.5	
石灰土碎石	粒料>60%	700-1100	0.3-0.4	
碎石灰土	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

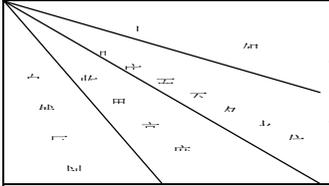
碎石含量(%)	路基干湿类型	回弹模量值(MPa)	密度(t/m <sup>3</sup> )	含水量(%)
>70	干燥	90-100	2.05-2.25	7
	中湿	70-80	2.00-2.20	8
	潮湿	55-65	1.95-2.15	11
50—70	干燥	75-85	2.00-2.20	7
	中湿	55-65	1.95-2.15	8
	潮湿	45-55	1.90-2.10	11
30—50	干燥	47-57	1.90-2.10	<10
	中湿	30-40	1.85-1.95	10-15
	潮湿	20-30	1.75-1.85	>15
<30	干燥	30-40	1.80-1.90	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

 (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
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	0.4~0.6
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	0.4~0.6
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							

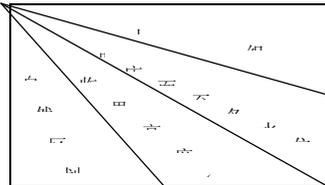
续上表

	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
IV6	1.0~1.1	0.7~0.8							
IV6a									
IV7				0.9~1.0	0.7~0.8	0.6~0.7			
V1	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
V2、V2a (紫色土)									
V3									
V2、V2a (黄壤土, 现代冲击土)									
V4、V5、V5a									
VI1									
VI1a	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(1.8)	(1.4)	(1.0)	0.7	0.3	
VI2	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(1.7)	(1.3)	(1.0)	<u>(1.0)</u>	<u>(0.5)</u>	
VI3	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
VI4	(2.1)	(1.7)	(1.3)	(1.9)	(1.5)	(1.1)			
VI4a	(2.2)	(1.8)	(1.4)	(1.9)	(1.5)	(1.2)	<u>0.8</u>		
VI4b	(1.9)	(1.5)	(1.1)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)		
VII1	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(1.7)	(1.3)	(1.0)			
VII2	(2.2)	(1.9)	(1.6)	(2.1)	(1.6)	(1.3)	(0.8)	(0.4)	
VII3									
VII4									
VII5									
VII6a	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

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	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

	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
IV6	1.8~2.0	1.3~1.5	1.0~1.2	0.9~1.0	0.5~0.6	0.3~0.4			
IV6a	1.6~1.7	1.1~1.2	0.7~0.8						
IV7	1.7~1.8	1.4~1.5	1.1~1.2	1.0~1.1	0.7~0.8	0.4~0.5			
V1	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
V2、V2a (紫色土)	2.0~2.2	0.9~1.1	0.4~0.6						
V3	1.7~1.9	0.8~1.0	0.4~0.6						
V2、V2a (黄壤土, 现代冲击土)	1.7~1.9	0.7~0.9	0.3~0.5						
V4、V5、V5a									
VI1	1.7~1.9	0.9~1.1	0.4~0.6	(2.1)	(1.7)	(1.3)	0.9	0.5	
VI1a	(2.3)	(1.9)	(1.6)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)	
VI2	(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
VI3	2.2~2.75	1.65~2.2	1.2~1.65	(2.1)	(1.7)	(1.4)	(0.8)	(0.6)	
VI4	(2.4)	(2.0)	(1.6)	(2.2)	(1.7)	(1.3)	1.0	0.6	
VI4a	2.4	2.0	1.6	(1.9)	(1.4)	(1.1)	<u>0.7</u>	—	
VI4b	(2.2)	(1.7)	(1.4)	(2.0)	(1.6)	(1.2)	<u>(0.8)</u>	—	
VII1	(2.3)	(1.8)	(1.4)	(2.1)	(1.6)	(1.2)	(0.9)	(0.5)	
VII2	2.2	(1.9)	(1.5)	1.8	1.4	1.1	0.8	0.4	
VII3	(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
VII4	2.3~2.85	1.75~2.3	1.3~1.75	(1.8)	(1.4)	(1.1)	(0.7)		
VII5	(2.1)	(1.6)	(1.3)	(2.4)	(2.0)	(1.6)	(1.5)	(1.1)	(0.5)
VII6a	(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

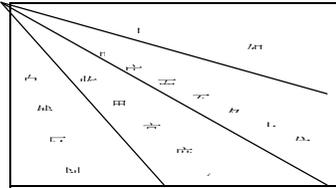
	粉 性 土								
	地 下 水			地 表 长 期 积 水			地 表 临 时 积 水		
	H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
II 1	3.8	3.0	2.2						
II 2	3.4	2.6	1.9						
II 3	3.0	2.2	1.6						
II 4	2.6~2.8	2.1~2.3	1.4~1.6						
II 5	2.4~2.9	1.8~2.3							
III 1	2.4~3.0	1.7~2.4							
III 2	2.4~2.85	1.9~2.4	1.4~1.9	1.9~2.4	1.0~1.9	1.0~1.4	1.4~1.9	1.0~1.4	0.5~1.0
III 3	2.3~2.75	1.8~2.3	1.4~1.8	1.8~2.3	1.4~1.8	1.0~1.4	1.4~1.8	1.0~1.4	0.55~1.0
III 4	2.4~3.0	1.7~2.4							
III 1a	2.4~3.0	1.7~2.4							
III 2a	2.4~3.0	1.7~2.4							
IV 1、IV 1a	1.9~2.1	1.3~1.4	0.9~1.0						
IV 2	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9						
IV 3	1.7~1.9	1.2~1.3	0.8~0.9	0.9~1.0	0.6~0.7	0.3~0.4			
IV 4									
IV 5	1.79~2.1	1.3~1.5	0.9~1.1						



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 粉质土	19.0 18.5	22.0 22.5	25.0 27.0	26.5 29.0	28.0 31.5	29.5 33.5	31.0		
II 2	粘质土 粉质土	19.5 20.0	22.5 24.5	26.0 29.0	28.0 31.5	29.5 34.0	31.5 36.5	33.5				
II 2a	粉质土	19.0	22.5	26.0	27.5	29.5	31.0					
II 3	土质砂 粘质土 粉质土	21.0 23.5 22.5	23.5 27.5 27.0	26.0 32.0 32.0	27.5 34.5 34.5	29.0 36.5 37.0	30.0 39.0 40.0	31.5 41.5	34.5	37.0	45.5	
II 4	粘质土 粉质土	23.5 24.5	30.0 31.5	35.5 39.0	39.0 43.0	42.0 47.0	45.5 51.5	50.5 56.0	57.0 66.0	65.0		
II 5	土质砂 粘质土 粉质土	29.0 26.5 27.0	32.5 32.0 34.5	36.0 38.5 42.5	37.5 41.5 46.5	39.0 45.0 51.0	41.0 48.5 56.0	42.5 52.0	46.0	49.5	59.0	69.0
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 粘质土 粉质土	35.0 27.0 27.0	38.0 31.5 32.5	41.5 36.5 38.5	43.0 39.0 42.0	44.5 41.5 45.0	46.0 44.0 48.5	47.5 46.5 51.5	50.5 52.0 59.0	53.5 57.5	62.0	70.0
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 粘质土 粉质土	36.0 26.0 26.5	39.0 30.0 32.0	42.5 34.5 37.0	44.0 36.5 40.0	45.5 38.5 43.0	47.0 41.0 46.0	48.5 46.0 49.0	51.5 47.5 55.0	54.5 52.0	63.0	71.0
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 粉质土	19.5 31.0	23.0 36.5	27.0 42.5	29.0 45.5	31.0 48.5	33.0 51.5	35.0				
IV 3	粘质土 粉质土	24.0 24.0	28.0 29.5	32.5 36.0	35.0 39.0	37.5 42.5	39.5 46.0	42.0				
IV 4	土质砂 粘质土 粉质土	28.0 25.0 23.0	30.5 29.5 28.0	33.5 34.0 33.5	35.0 36.5 36.0	36.5 38.5 39.0	38.0 41.0 42.0	39.5 43.5	42.0	45.0	53.0	61.0

区划	土组 \ 稠度	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
		IV5	土质砂 粘质土 粘质土 粉质土	24.0 22.0 28.5 26.5	26.0 27.0 34.0 31.0	28.0 32.5 39.5 36.5	29.0 33.5 42.5 39.0	30.0 38.5 45.5 42.0	30.5 41.5 48.5 45.0	31.5 44.5 51.5	33.5	35.0
IV6	土质砂 粘质土 粉粘土	33.5 27.5 26.5	37.0 33.0 31.5	41.0 38.0 36.5	43.0 41.0 39.0	44.5 44.0 42.0	46.5 46.5 45.0	48.5 50.5	52.0	55.5	66.5	77.0
IV6a	土质砂 粘质土 粉质土	31.5 26.0 28.0	35.0 31.0 34.5	38.5 35.5 41.0	40.0 38.0 44.5	42.0 40.5 48.5	43.5 43.5 52.0	45.0 46.0	48.5	52.0	62.0	72.0
IV7	土质砂 粘质土 粉质土	35.0 24.5 27.5	39.0 29.5 33.5	43.0 34.5 40.0	45.0 37.0 43.5	47.0 40.0 47.5	49.0 42.5 51.0	51.0 44.5	55.0	59.0	70.5	82.0
V7	土质砂粘质土 粉质土	27.5 27.0 28.5	31.5 32.0 34.0	35.5 37.0 40.0	37.5 39.0 43.0	39.5 42.5 46.0	41.5 45.5 49.5	43.5 48.0 52.5	58.0 54.0 59.5	52.0 60.0	65.0	78.5
V1 V2 V2a	紫色粘质土 紫色粉质土 黄壤粘质土 黄壤粉质土	22.5 22.5 25.0 24.5	26.0 27.5 29.0 30.5	30.0 33.5 33.0 37.5	32.0 36.5 35.5 41.0	34.0 40.0 37.5 45.0	36.0 43.0 40.0 49.0	38.0 42.0				
V3	粘质土 粉质土	25.0 24.5	29.0 30.5	33.0 37.5	35.5 41.0	37.5 45.0	39.5 48.5	42.0				
V4 (四川)	红壤粘质土 红壤粉质土	27.0 22.0	32.0 27.0	38.0 32.5	41.0 35.5	44.0 38.5	47.0 41.5	50.5				
VI	土质砂 粘质土 粉质土	51.0 33.5 34.0	54.0 37.0 38.0	57.0 41.0 42.0	58.5 42.5 44.0	60.0 44.0 46.0	61.0 45.5 48.0	62.0 47.2 50.0	64.5 50.5	67.0	73.5	80.0
VI1a	土质砂 粘质土 粉质土	52.5 27.0 31.5	55.0 31.0 36.5	58.0 34.5 41.5	59.0 36.0 44.0	60.5 38.0 46.5	61.5 40.0 49.0	62.5 42.0 51.5	65.0 45.5	67.0	73.0	79.0

VI2	土质砂粘质土 粉质土	42.0 27.0 25.5	45.5 30.5 30.5	49.0 33.5 35.5	50.5 35.0 38.0	52.0 37.0 41.0	53.5 38.0 43.5	55.5 40.0 46.0	58.5 43.0 52.0	61.5 46.5	69.0	78.0
区划	稠度 wc 土组	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.70	2.00
VI3	土质砂 粘质土 粉质土	46.0 29.5 29.5	50.0 33.5 35.0	53.5 37.5 41.0	55.0 39.5 43.5	56.5 44.0 49.5	58.5 44.0 49.5	60.0 46.8 52.5	63.0 50.0	66.0	75.0	83.0
VI4	土质砂 粘质土 粉粘土	51.0 28.5 30.5	53.5 32.0 34.5	56.5 36.0 39.0	57.5 37.5 41.0	59.0 39.5 43.5	60.0 41.5 45.5	61.0 43.5 48.0	63.5 47.5	65.5	72.0	77.5
VI4a	土质砂 粘质土 粉质土	45.5 31.0 33.0	49.0 34.5 38.5	52.5 38.0 44.0	54.0 40.0 47.0	56.0 42.0 50.0	57.5 44.0 52.0	59.0 45.5 56.0	62.0 49.5	65.0	73.5	81.5
VI4b	土质砂 粘质土 粉质土	49.5 30.0 31.0	52.5 33.0 35.5	55.5 36.5 40.5	57.0 38.0 43.0	58.5 39.5 45.5	59.5 41.0 48.5	61.0 42.5 51.0	63.5 45.5	65.5	72.5	78.5
VII1	土质砂粘质土 粉质土	52.0 26.5 30.5	55.0 31.5 37.0	58.0 36.5 44.0	59.5 39.5 47.5	61.0 42.0 51.5	62.0 45.0 55.0	63.5 48.0 59.0	66.0 54.0	69.0	76.0	82.5
VII2	土质砂 粘质土 粉质土	48.0 25.5 28.0	51.0 29.5 33.5	54.0 33.0 39.0	55.0 35.0 42.0	56.5 37.0 45.0	58.0 39.0 48.5	59.0 41.5 51.5	61.5 45.5	64.0	71.0	77.0
VII3	土质砂 粘质土 粉质土	42.5 20.5 23.5	45.5 24.5 28.0	49.0 28.5 33.0	50.5 30.5 36.0	52.5 32.5 38.5	53.5 35.0 41.0	55.0 37.0 44.0	58.0 41.5	60.5	68.5	76.5
VII4	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
VII6a	粘质土 粉质土	22.0 27.5	25.5 32.5	29.0 37.5	30.5 40.5	32.5 43.0	34.5 46.0	36.0 49.0	40.0			
VII5	土质砂粘质土 粉质土	45.5 30.0 32.5	49.0 33.0 38.0	52.0 37.5 43.5	53.0 39.5 46.0	54.5 41.5 49.0	56.0 43.5 51.5	57.5 45.0 54.5	60.0 49.0	62.5	70.0	76.5

