

UDC

中华人民共和国行业标准

CJJ

P

CJJ 169—2011

---

# 城镇道路路面设计规范

Code for pavement design of urban road

2011—12 — 19 发布

2012—07 — 01 实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部

发布

中华人民共和国行业标准

城镇道路路面设计规范

Code for pavement design of urban road

CJJ 169-2011

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2012年7月1日

中国建筑工业出版社

2011 北京

## 前 言

根据原建设部《关于印发〈2007年工程建设标准规范制订、修订计划（第一批）〉的通知》（建标[2007]125号）的要求，规范编制组在深入调查研究，认真总结国内外科研成果和大量实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定了本规范。

本规范的主要技术内容是：总则；术语和符号；基本规定；路基、垫层与基层；沥青路面；水泥混凝土路面；砌块路面；其他路面；路面排水。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由上海市政工程设计研究总院负责具体技术内容的解释，执行过程中如有意见和建议，请寄送上海市政工程设计研究总院（地址：上海市中山北二路901号，邮政编码：200092）。

本规范主编单位：上海市政工程设计研究总院

本规范参编单位：同济大学

北京市市政工程设计研究总院

天津市市政工程设计研究院

本规范主要起草人员：徐健、温学钧、郑晓光、许志鸿、李立寒、聂大华、  
王晓华、何昌轩、乔英娟、杨群、张慧敏、臧金萍、  
谷李忠、王维刚

本规范主要审查人员：杨孟余、陈炳生、郭忠印、张汎、丁建平、马国纲、  
黎军、刘清泉

# 目次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语 .....	2
2.2 符号 .....	3
3 基本规定.....	8
3.1 一般规定 .....	8
3.2 设计要素 .....	8
4 路基、垫层与基层.....	14
4.1 路基 .....	14
4.2 垫层 .....	14
4.3 基层 .....	14
5 沥青路面.....	18
5.1 一般规定 .....	18
5.2 沥青面层类型与材料 .....	18
5.3 沥青路面结构组合设计 .....	21
5.4 新建路面结构设计指标与要求 .....	23
5.5 新建路面结构层的计算 .....	26
5.6 加铺路面设计 .....	29
6 水泥混凝土路面.....	34
6.1 一般规定 .....	34
6.2 设计指标与要求 .....	34
6.3 结构组合设计 .....	35
6.4 面层材料 .....	36
6.5 路面结构计算 .....	38
6.6 面层配筋设计 .....	44
6.7 接缝设计 .....	49
6.8 加铺层结构设计 .....	53
7 砌块路面.....	57
7.1 一般规定 .....	57
7.2 砌块材料技术要求 .....	57
7.3 结构层与结构组合 .....	59

7.4 结构层计算.....	60
8 其它路面.....	62
8.1 透水人行道.....	62
8.2 桥面铺装.....	62
8.3 隧道路面铺装.....	63
9 路面排水.....	64
9.1 一般规定.....	64
9.2 路面排水设计.....	64
9.3.路面内部排水.....	66
9.4 分隔带排水.....	67
9.5 交叉口范围路面排水.....	67
9.6 桥面排水.....	67
附录 A 沥青路面使用性能气候分区.....	68
附录 B 沥青混合料级配组成、沥青表面处治材料规格和用量.....	70
附录 C 沥青路面设计参数参考值.....	73
附录 D 水泥路面设计参数参考值.....	75
附录 E 沥青混合料单轴贯入抗剪强度试验方法.....	76
附录 F 沥青混合料单轴压缩动态回弹模量试验方法.....	78
本规范用词说明.....	81
附：条文说明.....	82

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and symbols .....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	3
3	Basic Requirement .....	8
3.1	General Requirement.....	8
3.2	Control Element.....	8
4	Subgrade, Bed course and Base Course.....	14
4.1	Subgrade .....	14
4.2	Bed Course .....	14
4.3	Base course.....	14
5	Asphalt Pavement .....	18
5.1	General Requirement.....	18
5.2	Asphalt Pavement Category and Material .....	18
5.3	Asphalt Pavement Structure Combination Design .....	21
5.4	New Construction Pavement Structure Design Index and Demand .....	23
5.5	New Construction Pavement Structure Calculation .....	26
5.6	Overlay Design.....	29
6	Cement Concrete Pavement.....	34
6.1	General Requirement.....	34
6.2	Design Control Element .....	34
6.3	Pavement Structure Combination Design.....	35
6.4	Material .....	36
6.5	Pavement Structure Calculation .....	38
6.6	Pavement Reinforcement Design .....	45
6.7	Joint Design.....	49
6.8	Overlay Design.....	53
7	Block Stone Pavement .....	57
7.1	General Requirement.....	57
7.2	Block Material Performance Demand .....	57
7.3	Structure Combination.....	59
7.4	Structure Calculation .....	60
8	Other Pavements .....	62
8.1	Permeable Footway .....	62
8.2	Bridge Pavement .....	62
8.3	Tunnel Pavement .....	63

9 Pavement Drainage .....	64
9.1 General Requirement.....	64
9.2 Pavement Drainage Design .....	64
9.3 Pavement Subsurface Drainage.....	66
9.4 Median Divider Drainage .....	67
9.5 Intersection Drainage.....	67
9.6 Bridge Pavement Drainage .....	67
Appendix A Asphalt Pavement Performance Climate Zone .....	68
Appendix B Asphalt Mixture grade Composition, Bituminous Surface Treatment Material Specification and Dosage.....	70
Appendix C Reference Value of Asphalt Pavement Design Parameters .....	73
Appendix D Reference Value of Cement Concrete Pavement Design Parameters .....	75
Appendix E Method of Uniaxial Peneration Experiment .....	76
Appendix F Method of Uniaxial Compression Dynamic Mudulus Experiment .....	78
Explanation of Wording in this Code .....	81
Addition: Explanation of Provisions.....	82

## 1 总则

**1.0.1** 为适应我国城镇道路建设发展的需要，提高路面设计质量和技术水平，保证路面工程安全、可靠、耐久，做到技术先进，经济合理，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于新建和改建的城镇道路、广场及停车场的路面设计。

**1.0.3** 路面设计应符合国家环境和生态保护的规定，鼓励设计节能降耗型路面，积极应用路面材料再生技术。

**1.0.4** 多年冻土、沙漠、盐渍土、膨胀土等特殊地区的路面工程，可根据当地实际情况，制订补充规定，但技术要求不应低于本规范的规定。

**1.0.5** 路面设计除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 沥青路面 asphalt pavement

铺筑沥青面层的路面。

#### 2.1.2 容许剪应力 allowable shear stress

沥青混合料的抗剪强度与抗剪强度结构系数之比。

#### 2.1.3 容许拉应力 allowable tension stress

材料的抗拉强度与抗拉强度结构系数之比。

#### 2.1.4 沥青层层底容许拉应变 allowable tension strain at the bottom of the asphalt layer

根据累计标准轴载作用次数，利用修正后沥青混合料疲劳方程计算确定的沥青层层底临界位置的拉应变。

#### 2.1.5 砌块路面 block stone pavement

用一定形状的石料或人工预制砌块铺筑面层的路面。

#### 2.1.6 水泥混凝土路面 cement concrete pavement

铺筑水泥混凝土面层的路面。

#### 2.1.7 累计当量轴次 cumulative equivalent axle loads

在设计基准期内，设计车道上或临界荷位处的当量轴次总和。

#### 2.1.8 设计弯沉值 design deflection

根据设计基准期内一个车道上预计通过的累计当量轴次、道路等级、面层和基层类型而确定的路表弯沉值。

#### 2.1.9 设计基准期 design reference period

在进行路面结构可靠度设计时，考虑持久设计状况下各项基本变量与时间关系所取用的基准时间参数。

#### 2.1.10 当量轴次 equivalent single axle loads

按变形、应力或疲劳断裂损坏等效原则，将不同车型、不同轴载作用次数换算成与标准轴载相当的轴载作用次数。

#### 2.1.11 柔性基层 flexible base

用热拌或冷拌沥青混合料、沥青贯入式碎石、粒料类等材料铺筑的基层。

#### 2.1.12 目标可靠度 objective reliability

综合考虑工程安全度和工程经济性等方面的因素而确定的最佳可靠度。

### 2.1.13 透层 prime coat

在非沥青材料基层上喷洒乳化沥青、煤沥青、液体沥青而形成透入基层表面一定深度的薄层。

### 2.1.14 可靠度 reliability

结构在规定的时间内，规定的条件下，完成预定功能的概率。

### 2.1.15 刚性基层 rigid base

用普通混凝土、碾压混凝土、贫混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土等材料铺筑的基层。

### 2.1.16 可靠度系数 reliability coefficient

为保证所设计的结构具有规定的可靠度，而在极限状态设计表达式中采用的单一综合系数。

### 2.1.17 半刚性基层 semi-rigid base

用无机结合料稳定粒料或土类材料铺筑的基层。

### 2.1.18 封层 seal coat

在沥青面层或基层上铺筑的有一定厚度的沥青混合料薄层。

### 2.1.19 抗剪强度结构系数 shear strength structural coefficient

考虑沥青混合料剪切疲劳破坏特性的安全系数。

### 2.1.20 粘层 tack coat

在沥青层与沥青层、沥青层与水泥混凝土路面之间洒布的沥青材料薄层。

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

考虑半刚性材料疲劳破坏特性的安全系数。

### 2.1.22 最不利季节 worst season

路基路面结构处于最不利工作状态的季节。

## 2.2 符号

### 2.2.1 作用及作用效应：

$l_s$ ——轮隙中心处路表计算的弯沉值；

$N_a$ ——以设计弯沉值、沥青层剪应力和沥青层层底拉应变为指标时的当量轴次；

$N_c$ ——水泥混凝土路面标准轴载的作用次数；

- $N_e$ ——沥青路面设计基准期内一个车道上的累计当量轴次；
- $N'_e$ ——设计基准期内水泥混凝土面层临界荷位所承受的累计当量轴次；
- $N_i$ ——各类轴型  $i$  级轴载的作用次数；
- $n_i$ ——被换算车型的各级轴载作用次数；
- $N_p$ ——公交车车站或交叉口设计基准期内同一位置停车的累计当量轴次；
- $N_s$ ——以半刚性基层层底拉应力为设计指标时的当量轴次；
- $N_I$ ——沥青路面营运第一年单向日平均当量轴次；
- $N'_1$ ——水泥混凝土路面设计车道使用初期的标准轴载日作用次数；
- $P$ ——标准轴载；
- $p$ ——标准轴载的轮胎接地压强；
- $P_i$ ——被换算车型的各级轴载；
- $P'_i$ ——单轴-单轮、单轴-双轮组或三轴-双轮组轴型  $i$  级轴载的总重；
- $\varepsilon_i$ ——沥青层层底计算的最大拉应变；
- $\sigma_m$ ——半刚性材料基层层底计算的最大拉应力；
- $\sigma_{pr}$ ——行车荷载疲劳应力；
- $\sigma_{ps}$ ——标准轴载在四边自由板的临界荷位处产生的荷载应力；
- $\sigma_s$ ——钢筋应力；
- $\sigma_{tm}$ ——最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力；
- $\sigma_{tm1}$ ——分离式双层混凝土板上层的最大温度翘曲应力；
- $\sigma_{tm2}$ ——结合式双层混凝土板下层的最大温度翘曲应力；
- $\sigma_{tr}$ ——温度梯度疲劳应力；
- $\tau_m$ ——沥青面层计算的最大剪应力。

### 2.2.2 设计参数和计算系数：

- $B_x$ ——综合温度翘曲应力和内应力作用的温度应力系数；
- $F$ ——弯沉综合修正系数；
- $f_h$ ——水平力系数；
- $k_c$ ——考虑偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数；
- $k_f$ ——考虑设计基准期内荷载应力累计疲劳作用的疲劳应力系数；

- $K_r$ ——抗剪强度结构系数；
- $k_r$ ——考虑接缝传荷能力的应力折减系数；
- $k_s$ ——粘结刚度系数；
- $K_{s,r}$ ——无机结合料稳定集料类的抗拉强度结构系数；
- $K_{s,l}$ ——无机结合料稳定细粒土类的抗拉强度结构系数；
- $k_t$ ——考虑温度应力累计疲劳作用的疲劳应力系数；
- $M$ ——面层与基层之间的磨阻系数；
- $n$ ——轴型和轴载级位数；
- $t$ ——设计基准期；
- $T_g$ ——水泥混凝土面层的最大温度梯度标准值；
- $\alpha_c$ ——混凝土的线膨胀系数；
- $\alpha_s$ ——钢筋线膨胀系数；
- $\gamma$ ——设计基准期内交通量的平均年增长率；
- $\gamma_a$ ——沥青路面可靠度系数；
- $\gamma_c$ ——水泥混凝土路面可靠度系数；
- $\delta_i$ ——轴-轮型系数；
- $\eta$ ——设计车道分布系数；
- $\eta_s$ ——临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数；
- $\lambda_c$ ——混凝土温缩应力系数；
- $\rho$ ——配筋率；
- $\rho_f$ ——钢纤维的体积率；
- $\varphi$ ——钢筋刚度贡献率。

### 2.2.3 几何参数：

- $d_s$ ——钢筋直径；
- $L_d$ ——横向裂缝平均间距；
- $r$ ——单层混凝土板的相对刚度半径；
- $r_g$ ——双层混凝土板的相对刚度半径；
- $\delta$ ——当量圆半径。

**2.2.4 材料性能和路面抗力：**

- $E_0$ ——路基抗压回弹模量值；
- $E_c$ ——水泥混凝土的弯拉弹性模量；
- $E'_c$ ——旧混凝土的弯拉弹性模量标准值；
- $E_l$ ——各层材料抗压回弹模量值；
- $E_t$ ——基层顶面当量回弹模量；
- $E'_t$ ——基层顶面的当量回弹模量标准值；
- $f'_r$ ——旧混凝土弯拉强度标准值；
- $f_{sp}$ ——旧混凝土劈裂强度标准值；
- $\bar{f}_{sp}$ ——旧混凝土劈裂强度测定值的均值；
- $l_a$ ——路表面弯沉检测标准值；
- $l_d$ ——路表设计弯沉值；
- $l_0$ ——路段内实测路表弯沉代表值；
- $\bar{l}_0$ ——路段内实测路表弯沉平均值；
- $l'_0$ ——旧路面的计算弯沉；
- $S_m$ ——沥青表面层材料的 60℃ 抗压回弹模量；
- $[\varepsilon_R]$ ——沥青层材料的容许拉应变；
- $[\sigma_R]$ ——半刚性材料的容许抗拉强度；
- $\sigma_s$ ——半刚性基层材料劈裂强度；
- $w_l$ ——受荷板接缝边缘处的弯沉值；
- $\bar{w}$ ——平均弯沉值。

**2.3 代号**

- $AC$ ——密级配沥青混合料；
- $AM$ ——半开级配沥青碎石；
- $ATB$ ——密级配沥青稳定碎石；
- $ATPB$ ——开级配沥青稳定碎石；
- $OGFC$ ——开级配沥青磨耗层。

$SFC_{60}$ ——横向力系数；

$SMA$ ——沥青玛蹄脂碎石混合料；

$TD$ ——构造深度。

### 3 基本规定

#### 3.1 一般规定

**3.1.1** 道路路面的面层、基层与垫层等各结构层应符合下列规定：

- 1 面层应具有足够的结构强度、稳定性和平整、抗滑、耐磨与低噪声等表面特性。
- 2 基层应具有足够的强度和扩散应力的能力。
- 3 垫层应具有一定的强度和良好的水稳定性。

**3.1.2** 道路路面设计应符合下列规定：

- 1 根据道路的地理地质条件、路基土特性、路基水文及气候环境状况，考虑强度、刚度、稳定性和耐久性因素，进行路基路面整体结构综合设计；
- 2 因地制宜、合理选材、降低能耗，充分利用再生材料；
- 3 应便于施工，利于养护并减少对周边环境及生态的影响；
- 4 对交叉口进口道和停靠站等路段进行特殊设计；
- 5 应具有行车安全、舒适和与环境、生态及社会协调的综合效益。

**3.1.3** 道路路面可分为沥青路面、水泥混凝土路面和砌块路面三大类，其面层类型及适用范围宜符合下列规定：

- 1 沥青路面面层类型包括沥青混合料、沥青贯入式和沥青表面处治。沥青混合料适用于各交通等级道路；沥青贯入式与沥青表面处治路面适用于中、轻交通道路。
- 2 水泥混凝土路面面层类型包括普通混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土与钢纤维混凝土，适用于各交通等级道路。
- 3 砌块路面适用于支路、广场、停车场、人行道与步行街。

#### 3.2 设计要素

**3.2.1** 设计基准期应符合表 3.2.1 规定。

表 3.2.1 路面设计基准期

道路等级	路面类型		
	沥青路面	水泥混凝土路面	砌块路面
快速路	15 年	30 年	—
主干路	15 年	30 年	—
次干路	15 年	20 年	10 年(20 年)
支路	10 年	20 年	

注：砌块路面采用混凝土预制块时，设计基准期为 10 年，采用石材为 20 年。

### 3.2.2 标准轴载应符合下列规定：

1 路面设计应以双轮组单轴载 100kN 为标准轴载, 以 BZZ-100 表示。标准轴载的计算参数应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 标准轴载计算参数

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

2 设计交通量的计算应将不同轴载的各种车辆换算成 BZZ-100 标准轴载的当量轴次。大型公交车比例较高的道路或公交专用道的设计, 可根据实际情况, 经论证选用适当的轴载和计算参数。

### 3.2.3 沥青路面轴载换算和设计交通量应符合下列规定：

1 沥青路面以设计弯沉值、沥青层剪应力和沥青层层底拉应变为设计指标时, 各种轴载换算成标准轴载  $P$  的当量轴次  $N_a$  应按下式计算：

$$N_a = \sum_{i=1}^K C_1 \cdot C_2 n_i \left(\frac{P_i}{P}\right)^{4.35} \quad (3.2.3-1)$$

式中： $N_a$ ——以设计弯沉值、沥青层剪应力和沥青层层底拉应变为设计指标时的当量轴次（次/d）；

$n_i$ ——被换算车型的各级轴载作用次数（次/d）；

$P$ ——标准轴载（kN）；

$P_i$ ——被换算车型的各级轴载（kN）；

$C_1$ ——被换算车型的轴数系数；

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

$K$ ——被换算车型的轴载级别。

当轴间距大于 3m 时, 应按一个单独的轴载计算；当轴间距小于 3m 时, 双轴或多轴的轴数系数应按下式计算：

$$C_1 = 1 + 1.2(m-1) \quad (3.2.3-2)$$

式中： $m$ ——轴数。

2 沥青路面当以半刚性基层层底拉应力为设计指标时, 各种轴载换算成标准轴载  $P$  的当量轴次  $N_s$  应按下式计算：

$$N_s = \sum_{i=1}^K C_1' C_2' n_i \left(\frac{P_i}{P}\right)^8 \quad (3.2.3-3)$$

式中： $N_s$ ——以半刚性基层的拉应力为设计指标时的当量轴次（次/d）；

$C'_1$ ——被换算车型的轴数系数；

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

以拉应力为设计指标时，双轴或多轴的轴数系数应按式下式计算：

$$C'_1 = 1 + 2(m - 1) \quad (3.2.3-4)$$

3 应根据预测交通量，考虑各种车型的交通组成（或比例），将不同车型的轴载换算成标准轴载的当量轴次，求得营运第一年单向日平均当量轴次。

4 设计基准期内交通量的年平均增长率应在项目可行性研究报告等资料基础上，经研究分析确定。

5 沥青路面设计车道分布系数宜依据道路交通组成、交通管理情况，通过实地调查确定，也可按表 3.2.3 选定。当上下行交通量或重车比例有明显差异时，可区别对待，可按上下行交通特点分别进行厚度设计。

表 3.2.3 设计车道分布系数

车道特征	车道分布系数
单向单车道	1.00
单向两车道	0.65~0.95
单向三车道	0.50~0.80
单向四车道	0.40~0.70

6 沥青路面设计基准期内一个车道上的累计当量轴次应按式下式计算：

$$N_e = \frac{[(1 + \gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} \cdot N_1 \cdot \eta \quad (3.2.3-5)$$

式中： $N_e$ ——设计基准期内一个车道上的累计当量轴次（次/车道）；

$t$ ——设计基准期（年）；

$N_1$ ——路面营运第一年单向日平均当量轴次（次/d）；

$\gamma$ ——设计基准期内交通量的年平均年增长率(%)；

$\eta$ ——设计车道分布系数。

### 3.2.4 水泥混凝土路面轴载换算和设计交通量应符合下列规定：

1 以双轮组单轴载 100kN 为标准轴载。不同轴-轮型和轴载的作用次数换算为标准轴载的当量轴次应按下列公式计算：

$$N_c = \sum_{i=1}^n \delta_i N_i \left( \frac{P'_i}{100} \right)^{16} \quad (3.2.4-1)$$

$$\delta_i = 2.22 \times 10^3 P_i^{-0.43} \quad (3.2.4-2)$$

或 
$$\delta_i = 1.07 \times 10^{-5} P_i^{-0.22} \quad (3.2.4-3)$$

或 
$$\delta_i = 2.24 \times 10^{-8} P_i^{-0.22} \quad (3.2.4-4)$$

式中： $N_c$ ——100kN 的单轴-双轮组标准轴载的当量轴次；

$P'_i$  ——单轴-单轮、单轴-双轮组或三轴-双轮组轴型  $i$  级轴载的总重 (kN) ；

$n$  ——轴型和轴载级位数；

$N_i$  ——各类轴型  $i$  级轴载的作用次数；

$\delta_i$  ——轴-轮型系数，单轴-双轮组时， $\delta_i=1$ ；单轴-单轮时，按式 (3.2.4-2) 计算；双轴-双轮组时，按式 (3.2.4-3) 计算；三轴-双轮组时，按式(3.2.4-4) 计算。

2 设计基准期内水泥混凝土面层临界荷位所承受的累计当量轴次应按下式计算：

$$N'_e = \frac{N'_1 \times [(1+\gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} \eta_s \quad (3.2.4-5)$$

式中： $N'_e$  ——水泥混凝土路面设计基准期内临界荷位所承受的累计当量轴次 (次) ；

$N'_1$  ——水泥混凝土路面设计车道使用初期的当量轴载日作用次数 (次/d) ；

$\eta_s$  ——水泥混凝土路面临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数，按表 3.2.4 选用。

表 3.2.4 车辆轮迹横向分布系数 ( $\eta_s$ )

道路等级		纵缝边缘处
快速路、主干路		0.17~0.22
次干路及以下道路	行车道宽>7m	0.34~0.39
	行车道宽≤7m	0.54~0.62

注：行车道较宽或者交通量较大时，取高值；反之，取低值。

3.2.5 交通等级可根据累计轴次 (万次/车道)，按表 3.2.5 的规定划分为 5 个等级。

表 3.2.5 交通等级

交通等级	沥青路面	水泥混凝土路面
	累计当量轴次 $N'_e$ (万次/车道)	累计当量轴次 $N'_e$ (万次)
轻	<400	<3
中	400~1200	3~100

交通等级	沥青路面	水泥混凝土路面
	累计当量轴次 $N_e$ (万次/车道)	累计当量轴次 $N'_e$ (万次)
重	1200~2500	100~2000
特重	>2500	>2000

注：非机动车道、人行道及步行街路面结构应按轻型交通确定。

**3.2.6 路面设计环境要素应符合下列规定：**

- 1 沥青路面面层的使用性能气候分区应按本规范附录 A 确定。
- 2 水泥混凝土面层的最大温度梯度标准值 ( $T_g$ )，根据道路所在地的道路自然区划，可按表 3.2.6-1 选用。

**表 3.2.6-1 最大温度梯度标准值 ( $T_g$ )**

道路自然区划	II、V	III	IV、VI	VII
最大温度梯度( $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ )	83~88	90~95	86~92	93~98

注：海拔高时，取高值；湿度大时，取低值。

- 3 在冰冻地区，沥青路面总厚度不应小于表 3.2.6-2 规定的最小防冻厚度；水泥混凝土路面总厚度不应小于表 3.2.6-3 规定的最小防冻厚度。

**表 3.2.6-2 沥青路面最小防冻厚度 (cm)**

路基类型	道路冻深	粘性土、细亚砂土路床			粉性土路床		
		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 对潮湿系数小于 0.5 的地区，II、III、IV 等干旱地区防冻厚度应比表中值减少 15%-20%。

2 对 II 区砂性土路基防冻厚度应相应减少 5%-10%。

**表 3.2.6-3 水泥混凝土路面最小防冻厚度**

路基类型	路基土质	当地最大冰冻深度 (m)			
		0.50~1.00	1.01~1.50	1.51~2.00	>2.00
中湿	低、中、高液限粘土	0.30~0.50	0.40~0.60	0.50~0.70	0.60~0.95
	粉土，粉质低、中液限粘土	0.40~0.60	0.50~0.70	0.60~0.85	0.70~1.10
潮湿	低、中、高液限粘土	0.40~0.60	0.50~0.70	0.60~0.90	0.75~1.20
	粉土，粉质低、中液限粘土	0.45~0.70	0.55~0.80	0.70~1.00	0.80~1.30

注：1 冻深小或填方路段，或者基、垫层为隔湿性能良好的材料，可采用低值；冻深大或挖方及地下水位高的路段，或者基、垫层为隔湿性能较差的材料，应采用高值；

2 冻深小于 0.50m 的地区，一般不考虑结构层防冻厚度。

**3.2.7 路面可靠度设计标准应符合表 3.2.7 的规定。**

表 3.2.7 路面可靠度设计标准

道路等级	快速路	主干路	次干路、支路
目标可靠度	95%	90%	85%
变异水平等级	低	低~中	中~高

## 3.2.8 路面抗滑性能应符合下列规定：

1 快速路、主干路沥青路面在质量验收时抗滑性能指标应符合表 3.2.8-1 的规定，次干路、支路、非机动车道、人行道及步行街可按表 3.2.8-1 执行。

表 3.2.8-1 沥青路面抗滑性能指标

年平均降雨量 (mm)	质量验收值	
	横向力系数 $SFC_{60}$	构造深度 $TD$ (mm)
>1000	$\geq 54$	$\geq 0.55$
500~1000	$\geq 50$	$\geq 0.50$
250~500	$\geq 45$	$\geq 0.45$

注：1 应采用测定速度为  $60\pm 1\text{km/h}$  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  $60\text{km/h}$  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。

2 水泥混凝土路面抗滑性能在质量验收时，应符合表 3.2.8-2 的规定。

表 3.2.8-2 水泥混凝土面层的表面构造深度 (mm) 要求

道路等级	快速路、主干路	次干路、支路
一般路段	0.70~1.10	0.50~0.90
特殊路段	0.80~1.20	0.60~1.00

注：1 对于快速路和主干路特殊路段系指立交、平交或变速车道等处，对于次干路、支路特殊路段系指急弯、陡坡、交叉口或集镇附近；

2 年降雨量  $600\text{mm}$  以下的地区，表列数值可适当降低。

3 非机动车道、人行道及步行街可参照执行。

## 4 路基、垫层与基层

### 4.1 路基

**4.1.1** 路基应稳定、密实、均质，具有足够的强度、稳定性、抗变形能力和耐久性。

**4.1.2** 路基设计应符合下列规定：

1 在不利季节，路基顶面设计回弹模量值，对快速路和主干路不应小于 30MPa；对次干路和支路不应小于 20MPa。当不能满足上述要求时，应采取措施提高路基的回弹模量。

2 路床应处于干燥或中湿状态。

**4.1.3** 岩石或填石路基顶面应铺设整平层，整平层可采用未筛分碎石和石屑或低剂量水泥稳定粒料，其厚度应根据路床顶面的不平整情况确定，宜为 100mm~200mm。

### 4.2 垫层

**4.2.1** 垫层应具有一定的强度和良好的水稳定性。

**4.2.2** 在下述情况下，应在基层下设置垫层：

- 1 季节性冰冻地区的中湿或潮湿路段；
- 2 地下水位高、排水不良，路基处于潮湿或过湿状态；
- 3 水文地质条件不良的土质路堑，路床土处于潮湿或过湿状态。

**4.2.3** 垫层宜采用砂、砂砾等颗粒材料，小于 0.075mm 的颗粒含量不宜大于 5%。

**4.2.4** 排水垫层应与边缘排水系统相连接，厚度宜大于 150mm，宽度不宜小于基层底面的宽度。

### 4.3 基层

**4.3.1** 基层可采用刚性、半刚性或柔性材料。

**4.3.2** 基层类型宜根据交通等级按表 4.3.2-1 选用，各类基层最小厚度应符合表 4.3.2-2 的规定。

表 4.3.2-1 适宜各交通等级的基层类型

交通等级	基层类型
特重	贫混凝土、碾压混凝土、水泥稳定类、石灰粉煤灰稳定类 水泥粉煤灰稳定类
重	水泥稳定粒料、沥青稳定碎石基层、石灰粉煤灰稳定类、水泥粉煤灰稳定类
中或轻	沥青稳定碎石基层、水泥稳定类、石灰稳定类、水泥粉煤灰稳定类 、石灰粉煤灰稳定类或级配粒料基层

表 4.3.2-2 各类基层最小厚度

基层类型		最小厚度 (mm)	
刚性基层	贫混凝土或碾压混凝土基层	150	
	多孔混凝土排水基层	150	
半刚性基层	水泥稳定类基层	150	
	石灰稳定类基层	150	
	水泥粉煤灰稳定类基层	150	
	石灰粉煤灰稳定类基层	150	
柔性基层	沥青稳定碎石基层 (ATB)	ATB-25	70
		ATB-30	90
		ATB-40	120
	半开级配沥青碎石基层 (AM)	AM-25	80
		AM-40	120
	沥青稳定碎石排水基层 (ATPB)	ATPB-25	80
		ATPB-30	90
		ATPB-40	120
	级配碎石		80
	级配砾石		80

## 4.3.3 半刚性基层应符合下列规定:

1 半刚性基层应具有足够的强度和稳定性, 较小的温缩和干缩变形和较强的抗冲刷能力, 在冰冻地区应具有一定的抗冻性。

2 在冰冻、多雨潮湿地区, 石灰粉煤灰稳定类宜用于特重、重交通的下基层。石灰稳定类材料宜用于各类交通等级的下基层以及中、轻交通的基层。

3 用作上基层的半刚性材料宜选用骨架密实型级配, 应具有一定的强度、抗疲劳开裂性能与抗冲刷能力。

4 各类半刚性材料的压实度和 7d 龄期无侧限抗压强度代表值应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3-1 水泥稳定类材料的压实度及 7d 龄期抗压强度

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

表 4.3.3-2 水泥粉煤灰稳定类材料的压实度及 7d 龄期抗压强度

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

表 4.3.3-3 石灰粉煤灰稳定类材料的压实度及 7d 龄期抗压强度

层位	稳定类型	特重、重、中交通		轻交通	
		压实度 (%)	抗压强度 (MPa)	压实度 (%)	抗压强度 (MPa)
上基层	集料	≥98	≥0.8	≥97	≥0.6

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

表 4.3.3-4 石灰稳定类材料的压实度及 7d 龄期无侧限抗压强度

层位	类别	重、中交通		轻交通	
		压实度 (%)	抗压强度 (MPa)	压实度 (%)	抗压强度 (MPa)
上基层	集料	—	—	≥97	≥0.8
	细粒土	—		≥95	
下基层	集料	≥97	≥0.8	≥96	≥0.7
	细料土	≥95		≥95	

注：1 在低塑性土（塑性指数小于 10）地区，石灰稳定砂砾土和碎石土的 7d 龄期抗压强度应大于 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 次干路，压实机具有困难时压实度可降低 1%。

#### 4.3.4 刚性基层应符合下列规定：

1 刚性基层适用于重交通、特重交通及港区等的道路工程。刚性基层最小厚度应大于 150mm。

2 贫混凝土基层材料的强度要求应符合表 4.3.4-1 的规定。

表 4.3.4-1 贫混凝土基层材料的强度要求 (MPa)

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

3 多孔混凝土基层材料的强度要求应符合表 4.3.4-2 的规定。

表 4.3.4-2 多孔混凝土基层材料的强度要求 (MPa)

试验项目	特重	重
7d 龄期抗压强度	5~8	3~5
28d 龄期抗弯拉强度	1.5~2.5	1.0~2.0

4 刚性基层应设置横缝和纵缝，并应灌入填缝料，其上应设置粘结层。

#### 4.3.5 柔性基层应符合下列规定：

1 热拌沥青碎石宜用于重交通及其以下道路的基层；级配碎石可用于中交通及以下道路的下基层及轻交通道路的基层；级配砾石可用于轻交通道路的下基层。

2 密级配沥青稳定碎石 (ATB)、半开级配沥青碎石 (AM) 和开级配沥青稳定碎石 (ATPB) 混合料配合比设计技术要求应符合表 4.3.5 的规定。

表 4.3.5 沥青稳定碎石马歇尔试验配合比设计技术要求

试验项目	单位	密级配沥青稳定碎石 (ATB)		半开级配沥青碎石 (AM)	开级配沥青稳定碎石 (ATPB)
公称最大粒径	mm	26.5	≥31.5	≥26.5	≥26.5
马歇尔试件尺寸	mm	φ101.6×63.5	φ152.4×95.3	φ152.4×95.3	φ152.4×95.3
击实次数(双面)	次	75	112	112	75
空隙率 <sup>①</sup>	%	3~6		12~18	>18
稳定度	kN	≥7.5	≥15	—	—
流值	mm	1.5~4	实测	—	—
沥青饱和度	%	55~70		—	—
沥青膜厚度	μm	—		>12	—
谢伦堡沥青析漏试验的结 合料损失	%	—		≤0.2	—
肯塔堡飞散试验的混合料 损失或浸水飞散试验	%	—		≤20	—
密级配基层 ATB 的矿料 间隙率不小于(%)	设计空隙率 (%)	ATB-40	ATB-30		ATB-25
	4	11	11.5		12
	5	12	12.5		13
	6	13	13.5		14

注：在干旱地区，可将密级配沥青稳定碎石基层的空隙率适当放宽到 8%。

#### 4.3.6 旧路面再生混合料应符合下列规定：

- 1 应在对旧路面材料充分调查分析的基础上，根据工程要求，道路等级、气候条件、交通情况，充分借鉴成功经验，进行再生混合料设计。
- 2 热再生沥青混合料的技术要求应符合热拌沥青混合料技术要求的规定。
- 3 使用乳化沥青、泡沫沥青的冷再生混合料技术要求应符合表 4.3.6-1 的规定；使用无机结合料稳定旧路面沥青混合料技术要求应符合表 4.3.6-2 的规定。

表 4.3.6-1 乳化沥青、泡沫沥青冷再生混合料的技术要求

试验项目		乳化沥青	泡沫沥青
	空隙率 (%)	9~14	—
15℃劈裂 试验	劈裂强度 (MPa)	≥0.4	≥0.4
	干湿劈裂强度比 (%)	≥75	≥75
40℃马歇尔 试验	马歇尔稳定度 (KN)	≥5.0	≥5.0
	浸水马歇尔残留稳定度 (%)	≥75	≥75
	冻融劈裂强度比 (%)	≥70	≥70

注：任选劈裂试验和马歇尔试验之一作为设计要求，推荐使用劈裂试验。

表 4.3.6-2 无机结合料稳定旧路面沥青混合料技术要求

试验项目		水泥		石灰	
		特重、重	中、轻	重	中、轻
7d 龄期抗压强 度 (MPa)	上基层	3.0~5.0	2.5~3.0	—	≥0.8
	下基层	1.5~2.5	1.5~2.0	≥0.8	0.5~0.7

## 5 沥青路面

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 沥青路面设计应包括交通量预测与分析，材料选择，混合料配合比设计，设计参数的测试和确定，路面结构组合设计与厚度计算，路面排水系统设计。

**5.1.2** 沥青路面在设计使用期内应具有足够的抗车辙、抗裂、抗疲劳的品质和良好的平整、抗滑、耐磨与低噪声性能等使用功能要求。

### 5.2 沥青面层类型与材料

**5.2.1** 应根据使用要求、气候特点、交通荷载与结构层功能要求等因素，结合沥青层厚度和当地经验，合理地选择各结构层的沥青混合料类型，宜符合下列规定：

- 1 表面层宜选用 SMA、AC-C 和 OGFC 沥青混合料。
- 2 在各个沥青层中至少有一层应为密级配沥青混合料。

**5.2.2** 热拌沥青混合料应符合下列规定：

1 主要类型应符合表 5.2.2-1 的规定。根据集料在关键性筛孔上的通过百分率，将密级配 AC 混合料分为粗型和细型两类。关键性筛孔尺寸以及在该筛孔上通过百分率应符合表 5.2.2-2 的规定。

表 5.2.2-1 热拌沥青混合料类型

沥青混合料类型		混合料代号	最大粒径 (mm)	公称最大粒径 (mm)
密级配沥青混凝土 (AC)	AC-5	砂粒式	9.5	4.75
	AC-10	细粒式	13.2	9.5
	AC-13		16	13.2
	AC-16	中粒式	19	16
	AC-20		26.5	19
	AC-25		31.5	26.5
沥青玛蹄脂碎石混合料 (SMA)	SMA-10	细粒式	13.2	9.5
	SMA-13		16	13.2
	SMA-16	中粒式	19	16
	SMA-20		26.5	19
开级配沥青磨层 (OGFC)	OGFC-10	细粒式	13.2	9.5
	OGFC-13		16	13.2
半开级配沥青碎石 (AM)	AM-13	细粒式	16	13.2
	AM-16	中粒式	19	16
	AM-20		26.5	19

表 5.2.2-2 粗型和细型密级配沥青混凝土的关键性筛孔通过率

混合料类型	用以分类的关键性筛孔(mm)	粗型密级配		细型密级配	
		名称	关键性筛孔通过率(%)	名称	关键性筛孔通过率(%)
AC-10	2.36	AC-10C	<45	AC-10F	>45
AC-13	2.36	AC-13C	<40	AC-13F	>40

混合料类型	用以分类的关键性筛孔(mm)	粗型密级配		细型密级配	
		名称	关键性筛孔通过率(%)	名称	关键性筛孔通过率(%)
AC-16	2.36	AC-16C	<38	AC-16F	>38
AC-20	4.75	AC-20C	<45	AC-20F	>45
AC-25	4.75	AC-25C	<40	AC-25F	>40

2 宜根据本规范附录 B 表 B.1 级配范围或实践经验采用马歇尔试验法配合比设计, 应选用实体工程的原材料。

3 性能技术要求应符合下列规定:

1) 高温稳定性应采用车辙试验的动稳定度来评价。按交通等级、结构层位和温度分区不同, 应分别符合表 5.2.2-3 的要求。对交叉口路段和长大陡纵坡路段的沥青混合料, 应提高一个交通等级进行设计。

表 5.2.2-3 热拌沥青混合料动稳定度技术要求 (次/mm)

交通等级	结构层位	温度分区			
		1-1、1-2、1-3、1-4	2-1	2-2、2-3、2-4	3-2
轻、中	上	≥1500	≥800	≥1000	≥800
	中、下	≥1000	≥800	≥800	≥800
重	上、中	≥3000	≥2000	≥2500	≥1500
	下	≥1200	≥800	≥800	≥800
特重	上、中	≥5000	≥3000	≥4000	≥2000
	下	≥1500	≥1000	≥1500	≥800

2) 水稳定性应符合表 5.2.2-4 的规定。

表 5.2.2-4 热拌沥青混合料水稳定性技术要求

年降水量 (mm)	≥500	<500
冻融劈裂强度比 (%)	≥75	≥70
浸水马歇尔残留稳定度 (%)	≥80	≥75

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

3) 应根据气温条件检验密级配沥青混合料的低温抗裂性能, 低温性能技术要求宜符合表 5.2.2-5 的规定。

表 5.2.2-5 沥青混合料低温性能技术要求

气候条件及技术指标	年极端最低气温 (°C)			
	<-37.0	-21.5~37.0	-9.0~21.5	>-9.0
普通沥青混合料 极限破坏应变 (με)	≥2600	≥2300	≥2000	
改性沥青混合料 极限破坏应变 (με)	≥3000	≥2800	≥2500	

5.2.3 沥青表面处治设计应符合下列规定:

1 沥青表面处治分为单层、双层、三层, 单层厚度宜为 10mm~15mm、双层厚度宜为 15mm~25mm、三层厚度宜为 25mm~30mm。

2 沥青表面处治采用道路石油沥青或乳化沥青作为结合料，集料的规格与用量应符合本规范附录 B 表 B.2 的规定。

#### 5.2.4 稀浆罩面设计应符合下列要求：

1 稀浆罩面分为微表处和稀浆封层，所用集料的级配组成应符合本规范附录 B 表 B.3 的规定。

2 微表处混合料类型、稀浆封层混合料类型、单层厚度要求及其适用性应符合表 5.2.4-1 的规定。

表 5.2.4-1 微表处与稀浆封层类型及其适用性

封层类型	材料规格	单层厚度 (mm)	适用性
微表处	MS-2 型	4~7	中交通等级快速路和主干路的罩面
	MS-3 型	8~10	重交通快速路、主干路的罩面
稀浆封层	ES-1 型	2.5~3	支路、停车场的罩面
	ES-2 型	4~7	轻交通次干路的罩面，以及新建道路的下封层
	ES-3 型	8~10	中交通次干路的罩面，以及新建道路的下封层

3 微表处混合料与稀浆封层混合料的技术要求应符合表 5.2.4-2 的规定。

表 5.2.4-2 微表处混合料和稀浆封层混合料技术要求

试验项目		微表处	稀浆封层	
			快开放交通型	慢开放交通型
可拌和时间(s)	25℃	≥120	≥120	≥180
粘聚力试验 (N.m)	30min	≥1.2	≥1.2	—
	60min	≥2.0	≥2.0	—
负荷车轮粘附砂量 (g/m <sup>2</sup> )		≤450	≤450	
湿轮磨损损失 (g/m <sup>2</sup> )	浸水 1h	≤540	≤800	
	浸水 6d	≤800	—	
轮辙变形试验的宽度变化率(%)		≤5	—	

注：1 用于轻交通量道路的罩面和下封层时，可不要求粘附砂量指标。

2 微表处混合料用于修复车辙时，需进行轮辙试验。

5.2.5 沥青面层用材料包括沥青材料、集料、填料、纤维和各类外加剂，应符合下列规定：

1 沥青材料品种与标号的选择应根据道路等级、气候条件、交通量及其组成、面层结构与层次、施工工艺等因素，结合当地使用经验确定，并应符合表 5.2.5-1 的规定。

表 5.2.5-1 沥青材料的适用范围

沥青材料类型	适用范围
道路石油沥青	中交通的表面层、重交通的中下面层以及特重交通的下面层
改性沥青	特重交通、重交通、交叉口进口道、公交车专用道与停靠站、长大纵坡、气候严酷地区的沥青路面
乳化沥青	透层、粘层、稀浆封层、冷拌沥青混合料与表面处治
改性乳化沥青	交通量较大或重要道路的粘层、稀浆封层、桥面铺装的粘层、表面处治、冷拌沥青混合料、微表处等

沥青材料类型	适用范围
液体石油沥青	透层、表面处治或冷拌沥青混合料
泡沫沥青	厂拌冷再生混合料、就地冷再生混合料

2 粗集料可选用碎石或轧制的碎砾石，支路可选用经筛选的砾石，并应符合下列规定：

- 1) 粗集料规格应符合本规范附录 B 表 B.4 的规定。
- 2) 各级道路沥青表面层所用粗集料的磨光值技术要求应符合表 5.2.5-2 的规定。

表 5.2.5-2 石料磨光值 (PSV) 的技术要求

年降雨量 (mm)	快速路与主干路	次干路	支路
>1000	>42	>40	>38
500~1000	>40	>38	>36
250~500	>38	>36	—
<250	>36	—	—

3) 对年平均降雨量在 1000mm 以上地区的快速路和主干路，表面层所用粗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。

3 细集料可选用机制砂、天然砂、石屑，并应符合下列规定：

- 1) 细集料应洁净、无杂质、干燥、无风化，并应具有一定棱角性，应符合本规范附录 B 表 B.5 的规定。
- 2) 天然砂宜选用中砂、粗砂，天然河砂不宜超过细集料总质量的 20%。
- 3) 在 SMA 混合料和 OGFC 混合料中不宜使用天然砂。
- 4) 矿粉应采用石灰石等碱性石料磨细的石粉。
- 5) 纤维稳定剂应根据混合料类型与使用要求合理选用。

### 5.3 沥青路面结构组合设计

5.3.1 沥青面层结构应符合下列规定：

- 1 双层式沥青面层结构分为表面层、下面层。
- 2 三层式沥青面层结构分为表面层、中面层、下面层。
- 3 单层式面层应加铺封层，或者铺筑微表处作为抗滑磨耗层。

5.3.2 面层各层的混合料类型应与交通荷载等级以及使用要求相适应，并应符合下列规定：

- 1 表面层应选用优质混合料铺设，并根据道路交通等级选择。
  - 1) 轻交通道路，宜选用密级配 AC-F 型混合料。
  - 2) 中交通道路，宜选用密级配粗型 AC-C 型混合料。

3) 重交通和特重交通道路, 应选用 SMA 混合料、密级配粗型 AC-C 混合料, 结合料应使用改性沥青。

4) 支路可选用沥青表面处治和沥青封层。

5) 交通量小的支路可选用冷拌沥青混合料。

2 中面层和下面层应采用密级配 AC 型混合料。在特重交通和重交通道路上, 宜使用 SMA 混合料或改性沥青密级配 AC 型混合料。

3 在年平均降雨量大于 800mm 的地区, 快速路宜选用开级配沥青混合料 OGFC 作为沥青表面磨耗层或者排水路面的表面层。

**5.3.3** 各类沥青面层的厚度应与混合料最大公称粒径相匹配, 混合料一层的最小压实厚度宜符合下列规定:

1 AC 混合料路面厚度不宜小于混合料公称最大粒径的 3 倍。

2 SMA 混合料和 OGFC 混合料路面厚度不宜小于混合料公称最大粒径的 2.5 倍。

3 沥青混合料的最小压实厚度与适宜厚度宜符合表 5.3.3-1 的规定, 沥青碎石、沥青表面处治的压实厚度与适宜厚度宜符合表 5.3.3-2 的规定。

表 5.3.3-1 沥青混合料的最小压实厚度及适宜厚度

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

表 5.3.3-2 贯入式沥青碎石、沥青表面处治压实最小厚度与适宜厚度

结构层类型	最小压实厚度 (mm)	适宜厚度 (mm)
上拌下贯沥青碎石	60	60~80
沥青表处	10	10~30

**5.3.4** 特重交通道路应适当加厚面层或采取措施提高沥青混合料的抗剪强度。

**5.3.5** 应减少半刚性基层沥青路面收缩开裂和反射裂缝，可选择采取下列措施：

- 1 适当增加沥青层的厚度。
- 2 在半刚性材料层上设置沥青稳定碎石或级配碎石等柔性基层。
- 3 在半刚性基层上设置应力吸收层或铺设经实践证明有效的土工合成材料等。

**5.3.6** 沥青路面各结构层之间应保持紧密结合，并应符合下列规定：

- 1 各个沥青层之间应设粘层。
- 2 各类基层上应设透层。
- 3 快速路、主干路的半刚性基层上宜设下封层。

**5.3.7** 非机动车道、人行道、步行街采用沥青路面铺装时，沥青混合料面层厚度不应小于 30mm，沥青石屑、沥青砂面层厚度不应小于 20mm。

## 5.4 新建路面结构设计指标与要求

**5.4.1** 沥青路面结构设计应满足结构整体刚度、沥青层或半刚性基层抗疲劳开裂和沥青层抗变形的要求。应根据道路等级选择路表弯沉值、沥青层层底拉应变、半刚性材料基层层底拉应力和沥青层剪应力作为沥青路面结构设计指标，并应符合下列规定：

- 1 快速路、主干路和次干路采用路表弯沉值、沥青层层底拉应变、半刚性材料基层层底拉应力、沥青层剪应力为设计指标。
- 2 支路可仅采用路表弯沉值为设计指标。
- 3 可靠度系数可根据当地相关研究成果选择；当无资料时可按表 5.4.1 取用。

表 5.4.1 可靠度系数

变异水平等级	目标可靠度 (%)		
	95	90	85
低	1.05~1.10	1.03~1.06	1.0~1.03
中	—	1.06~1.10	1.03~1.06
高	—	—	1.06~1.10

**5.4.2** 沥青路面结构设计的各项设计指标应符合下列规定：

- 1 轮隙中心处路表计算的弯沉值应小于或等于道路表面的设计弯沉值，应满足下式要求：

$$\gamma_a l_s \leq l_d \quad (5.4.2-1)$$

式中： $\gamma_a$ ——沥青路面可靠度系数，可按本规范第 5.4.1 条规定的方法确定；

$l_s$ ——轮隙中心处路表计算的弯沉值（0.01mm），可按本规范第 5.5.2 条的规定进行计算；

$l_d$ ——路表的设计弯沉值 (0.01mm)，可按本规范第 5.4.3 条规定的方法确定；

2 柔性基层沥青层层底计算的最大拉应变应小于或等于材料的容许拉应变，应满足下式要求：

$$\gamma_a \varepsilon_t \leq [\varepsilon_R] \quad (5.4.2-2)$$

式中： $\varepsilon_t$ ——沥青层层底计算的最大拉应变，可按本规范第 5.5.3 条的规定进行计算；

$[\varepsilon_R]$ ——沥青层材料的容许拉应变，可按本规范第 5.4.4 条规定的方法确定。

3 半刚性材料基层层底计算的最大拉应力应小于或等于材料的容许抗拉强度，应满足下式要求：

$$\gamma_a \sigma_m \leq [\sigma_R] \quad (5.4.2-3)$$

式中： $\sigma_m$ ——半刚性材料基层层底计算的最大拉应力 (MPa)，可按本规范第 5.5.4 条规定的方法计算；

$[\sigma_R]$ ——路面结构层半刚性材料的容许抗拉强度 (MPa)，可按本规范第 5.4.5 条规定的方法确定。

4 沥青面层计算的最大剪应力应小于或等于材料的容许抗剪强度，应满足下式要求：

$$\gamma_a \tau_m \leq [\tau_R] \quad (5.4.2-4)$$

式中： $\tau_m$ ——沥青面层计算的最大剪应力 (MPa)，可按本规范第 5.5.5 条的规定进行计算；

$[\tau_R]$ ——沥青面层的容许抗剪强度 (MPa)，可按本规范第 5.4.6 条规定的方法确定。

**5.4.3** 沥青路面表面设计弯沉值应根据道路等级、设计基准期内累计当量轴次、面层和基层类型按下式计算确定：

$$l_d = 600 N_e^{-0.2} A_c A_s A_b \quad (5.4.3)$$

式中： $A_c$ ——道路等级系数，快速路、主干路为 1.0，次干路为 1.1，支路为 1.2；

$A_s$ ——面层类型系数，沥青混合料为 1.0，热拌和温拌或冷拌沥青碎石、沥青表面处治为 1.1；

$A_b$ ——基层类型系数，无机结合料类（半刚性）基层 1.0，沥青类基层和粒料基层 1.6。

**5.4.4** 沥青路面材料的容许拉应变 $[\varepsilon_R]$ 应按下列公式计算确定：

$$[\varepsilon_R] = 0.15 E_m^{-1/3} 10^{M/4} N_e^{-1/4} \quad (5.4.4-1)$$

$$M = 4.84 \left( \frac{v_b}{v_b + v_a} - 0.69 \right) \quad (5.4.4-2)$$

式中： $M$ ——沥青混合料空隙率与有效沥青含量的函数；

$E_m$ ——沥青混合料 20℃ 动态回弹模量（MPa）；

$V_b$ ——有效沥青含量（%）；

$V_a$ ——空隙率（%）。

**5.4.5** 半刚性材料基层材料的容许抗拉强度应按下式计算：

$$[\sigma_R] = \frac{\sigma_s}{K_s} \quad (5.4.5-1)$$

式中： $\sigma_s$ ——对于水泥稳定类材料系指 90d 龄期的劈裂强度；对二灰稳定类和石灰稳定类材料系指 180d 龄期的劈裂强度；对于水泥粉煤灰稳定材料系指龄期 120d 龄期的劈裂强度（MPa）；

$K_s$ ——抗拉强度结构系数，应依据结构层的混合料类型按下列要求进行计算：

1) 无机结合料稳定集料类的抗拉强度结构系数应按下式计算：

$$K_{s,r} = 0.35 N_e^{0.11} / A_c \quad (5.4.5-2)$$

2) 无机结合料稳定细粒土类的抗拉强度结构系数应按下式计算：

$$K_{s,t} = 0.45 N_e^{0.11} / A_c \quad (5.4.5-3)$$

**5.4.6** 沥青混合料结构层容许抗剪强度应按下式计算：

$$[\tau_R] = \frac{\tau_s}{K_r} \quad (5.4.6-1)$$

式中： $\tau_s$ ——沥青混合料结构层 60℃ 抗剪强度（MPa）；

$K_r$ ——抗剪强度结构系数，可按下列要求进行计算：

1) 对于一般路段：

$$K_r = 1.2 / A_c \quad (5.4.6-2)$$

2) 对于公交车车站、交叉口等地点：

$$K_r = 0.39 N_p^{0.15} / A_c \quad (5.4.6-3)$$

$N_p$ ——公交车车站或交叉口设计基准期内同一位置停车的累计当量轴次。

**5.4.7** 路面质量验收时，应对沥青路面弯沉进行检测和验收，并应符合下列规定：

1 应在不利季节采用 BZZ-100 标准轴载实测轮隙中心处路表弯沉值，实测弯沉代表值应按式计算：

$$l_0 = (\bar{l}_0 + Z_a S) K_1 K_3 \quad (5.4.7-1)$$

式中： $l_0$ ——路段内实测路表弯沉代表值（0.01mm）；

$\bar{l}_0$ ——路段内实测路表弯沉平均值（0.01mm）；

$S$ ——路段内实测路表弯沉标准差（0.01mm）；

$Z_a$ ——与保证率有关的系数，快速路、主干路  $Z_a = 1.645$ ，其它道路沥青路面  $Z_a = 1.5$ ；

$K_1$ ——季节影响系数，可根据当地经验确定；

$K_3$ ——温度修正系数，可根据当地经验确定。

2 应按最后确定的路面结构厚度与材料模量，计算道路表面弯沉检测标准值  $l_a$ ，实测弯沉代表值应满足下式要求：

$$l_0 \leq l_a \quad (5.4.7-2)$$

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

3 检测代表弯沉值应用标准轴载 BZZ-100 的汽车实测路表弯沉值，若为非标准轴载应进行换算。对半刚性基层结构宜采用 5.4m 的弯沉仪；对柔性结构可采用 3.6m 的弯沉仪测定。检测时，当沥青厚度小于或等于 50mm 时，可不进行温度修正；其他情况下均应进行温度修正。若在非不利季节测定，应考虑季节修正。

4 测定弯沉时应以 1km~3km 为一评定路段。检测频率视道路等级每车道每 10m~50m 测一点，快速路、主干路每公里检测不少于 80 个点，次干路及次干路以下等级道路每公里检测不少于 40 个点。

## 5.5 新建路面结构层的计算

**5.5.1** 新建沥青路面结构设计应采用双圆垂直均布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 5.5.1 所示。

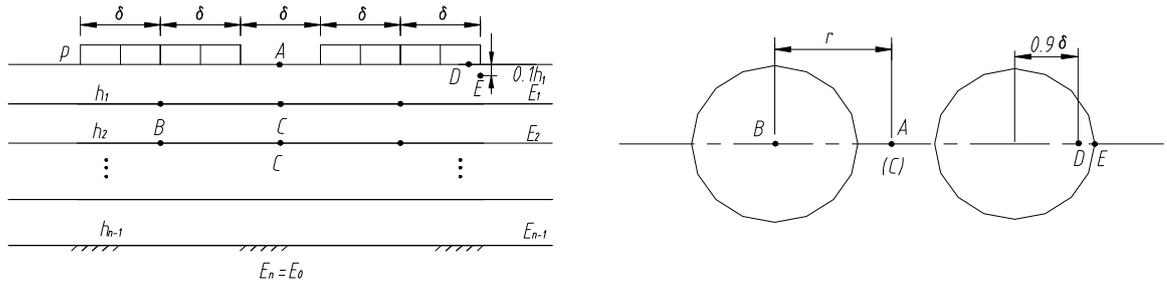


图 5.5.1 路面荷载与计算点图示

5.5.2 路表弯沉值计算点位置应为双轮轮隙中心点 A，计算弯沉值应按下列公式计算：

$$l_s = 1000 \frac{2p\delta}{E_1} \alpha_w \cdot F \tag{5.5.2-1}$$

$$\alpha_w = f \left( \frac{h_1}{\delta}, \frac{h_2}{\delta}, \dots, \frac{h_{n-1}}{\delta}, \frac{E_2}{E_1}, \frac{E_3}{E_2}, \dots, \frac{E_0}{E_{n-1}} \right) \tag{5.5.2-2}$$

$$F = 1.63 \left( \frac{l_s}{2000\delta} \right)^{0.38} \left( \frac{E_0}{p} \right)^{0.36} \tag{5.5.2-3}$$

式中：  $p$ ——标准轴载下的轮胎接地压强（MPa）；

$\delta$ ——当量圆半径（cm）；

$\alpha_w$ ——理论弯沉系数；

$E_0$ ——路基抗压回弹模量值（MPa）；

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

$h_1、h_2、\dots、h_{n-1}$ ——各结构层设计厚度（cm）；

$F$ ——弯沉综合修正系数。

5.5.3 沥青层底面拉应变的计算点位置为沥青层底面单圆中心点或双圆轮隙中心点，并取较大值作为层底拉应变。沥青层底面的最大拉应变应按下列公式计算：

$$\varepsilon_t = \frac{p}{E_m} \bar{\varepsilon}_t \tag{5.5.3-1}$$

$$\bar{\varepsilon}_t = \left( \frac{h_1}{\delta}, \frac{h_2}{\delta}, \dots, \frac{h_{n-1}}{\delta}, \frac{E_{m2}}{E_{m1}}, \frac{E_{m3}}{E_{m2}}, \dots, \frac{E_{m0}}{E_{mn-1}} \right) \tag{5.5.3-2}$$

式中：  $\bar{\varepsilon}_t$ ——理论最大拉应变系数；

$E_{m1}、E_{m2}、\dots、E_{mn-1}$ ——各层材料动态回弹模量值（MPa）；

$E_{m0}$ ——路基抗压回弹模量值（MPa）。

5.5.4 半刚性基层底面拉应力的计算点应为半刚性基层层底单圆荷载中心处或双圆轮隙中心，并取较大值作为层底拉应力。层底最大拉应力应按下列公式计算：

$$\sigma_m = p\bar{\sigma}_m \quad (5.5.4-1)$$

$$\bar{\sigma}_m = f\left(\frac{h_1}{\delta}, \frac{h_2}{\delta}, \dots, \frac{h_{n-1}}{\delta}, \frac{E_2}{E_1}, \frac{E_3}{E_2}, \dots, \frac{E_0}{E_{n-1}}\right) \quad (5.5.4-2)$$

式中： $\bar{\sigma}_m$ ——理论最大拉应力系数；

$E_1$ 、 $E_2$ …… $E_{n-1}$ ——各层材料抗压回弹模量值（MPa）。

**5.5.5** 沥青面层剪应力最大值计算点位置应取荷载外边缘路表距单圆荷载中心点  $0.9\delta$  点 D 或离路表  $0.1h_1$  距单圆荷载中心点  $\delta$  点 E，并取较大值作为面层剪应力，应按下列公式计算：

$$\tau_m = p\bar{\tau}_m \quad (5.5.5-1)$$

$$\bar{\tau}_m = f\left(f_h, \frac{h_1}{\delta}, \frac{h_2}{\delta}, \dots, \frac{h_{n-1}}{\delta}, \frac{E_2}{S_m}, \frac{E_3}{E_2}, \dots, \frac{E_0}{E_{n-1}}\right) \quad (5.5.5-2)$$

式中： $\bar{\tau}_m$ ——理论最大剪应力系数；

$S_m$ ——沥青表面层材料  $60^\circ\text{C}$  抗压回弹模量值（MPa）；

$E_2$ 、 $E_3$ …… $E_{n-1}$ ——各层材料抗压回弹模量值（MPa）；

$f_h$ ——水平力系数，对于一般路段为 0.5；对于公交车车站、交叉口等缓慢制动地点为 0.2。

**5.5.6** 路面设计抗压回弹模量、劈裂强度和抗剪强度等设计参数应根据道路等级和设计阶段的要求确定，并应符合下列规定：

1 可行性研究阶段可按本规范附录 C 确定设计参数。

2 快速路、主干路初步设计或次干路（含）以下道路施工图设计时，可借鉴本地区已有的试验资料或工程经验确定。

3 快速路、主干路施工图设计时，设计参数应通过试验确定。当采用新材料时，必须实测设计参数。

**5.5.7** 材料设计参数的确定应符合下列规定：

1 计算路表弯沉时，设计参数应采用抗压回弹模量，沥青层模量取  $20^\circ\text{C}$  时的抗压回弹模量。计算路表弯沉值时，抗压回弹模量设计值  $E$  应按下列公式计算：

$$E = \bar{E} - Z_\alpha S \quad (5.5.7-1)$$

式中： $\bar{E}$ ——各试件模量的平均值（MPa）；

$S$ ——各试件模量的标准差；

$Z_\alpha$ ——保证率系数，取 2.0。

2 计算柔性基层沥青层层底拉应变时，沥青层模量采用 20℃回弹模量，可参照附录 C 推荐值或者附录 F 试验来获得，半刚性基层的模量设计值，可按本规范附录 C 中推荐材料参数取值，松散粒料与土基模量可采用下式计算确定：

$$E_{m0} = 17.63(CBR)^{0.64} \quad (5.5.7-2)$$

式中： $E_{m0}$ ——松散粒料与土基回弹模量（MPa）；

$CBR$ ——加州承载比（%）。

3 计算半刚性基层层底拉应力时，设计参数应采用抗压回弹模量，沥青层模量取 15℃时的抗压模量。

半刚性材料应在规定的龄期下测试抗压回弹模量，水泥稳定类材料的龄期为 90d、二灰稳定类和石灰稳定类材料的龄期为 180d、水泥粉煤灰稳定材料的龄期为 120d。

计算层底拉应力时应考虑模量的最不利组合。在计算层底拉应力时，计算层以下各层的模量应采用式 (5.5.7-1) 计算其模量设计值；计算层及以上各层模量应采用式 (5.5.7-3) 计算其模量设计值。

$$E = \bar{E} + Z_{\alpha} S \quad (5.5.7-3)$$

4 路基回弹模量应在不利季节用标准承载板实测确定；当受条件限制时，可在土质与水文条件相近的临近路段测定，亦可现场取土样在室内测定。

### 5.5.8 沥青路面结构设计宜符合下列主要步骤：

- 1 根据道路等级、使用要求、交通条件、投资水平、材料供应、施工技术 etc 确定路面等级、面层类型、初拟路面结构整体结构类型；
- 2 根据土质、水文状况、工程地质条件、施工条件等，将路基分段，确定土基模量；
- 3 收集调查交通量，计算设计基准期末期一个方向上设计车道的累计当量轴次；
- 4 进行路面结构组合设计，确定各层材料设计参数；
- 5 根据道路等级和面层类型确定设计指标（设计弯沉、容许抗拉强度、容许抗剪强度、容许拉应变），根据面层类型、道路等级和变异水平等级确定可靠度系数；
- 6 进行路面结构厚度设计，路面结构设计应满足各设计指标要求；
- 7 对于季节性冰冻地区验算防冻厚度；
- 8 按全寿命周期费用分析的理念进行技术经济对比，确定路面结构方案。

## 5.6 加铺路面设计

### 5.6.1 沥青路面加铺层设计应符合下列规定：

1 调查旧路面现状，分析路面损坏原因，对路面破损程度进行分段评价。旧路面的主要调查分析宜包括下列主要内容：

- 1) 重点调查破损情况包括裂缝率、车辙深度、修补面积等。
- 2) 评价旧路面结构承载能力。
- 3) 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分层含水量与土质类型及承载力等，分析路基的稳定性、强度以及路基路面范围内排水状况等。

2 设计应根据下列情况将全线划分为若干段。分段时，应符合下列规定：

- 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弯沉值大的点。
- 3) 宜按 1km 为单位对路况进行评价。在水文、土质条件复杂或需要特殊处理的路段，其分段最小长度可视实际情况确定。

3 各路段的计算弯沉值  $l_0$  应按下列式计算：

$$l_0 = (\overline{l'_0} + Z_a S) K_1 K_2 K_3 \quad (5.6.1-1)$$

式中：  $l'_0$  ——旧路面的计算弯沉（0.01mm）；

$\overline{l'_0}$  ——旧路面的计算弯沉平均值（0.01mm）；

$K_2$  ——湿度影响系数，根据当地经验确定。

4 旧沥青路面处理应符合下列规定：

- 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，否则，应进行灌缝、修补坑槽等处理，必要时采取防裂措施后再加铺沥青层。对沥青层网裂、龟裂或沥青老化的路段应进行铣刨并清理干净，并设粘层沥青后，再加铺沥青层。
- 3) 对整体强度不足或破损严重的路段，视路面破损程度确定挖除深度、范围以及加铺层的结构和厚度。

5 可用沥青混凝土罩面、表面处治或其他预防性养护措施改善提高沥青表面层的服务功能。一般单层沥青混凝土罩面厚度可为 30mm~50mm；超薄层罩面厚度宜为 20mm~25mm。也可选用稀浆封层、微表处或养护剂等处治措施。

6 旧路面当量回弹模量的计算应符合下列规定：

1) 各路段的当量回弹模量应根据各路段的计算弯沉值，按下式计算：

$$E_t = 1000 \frac{2p\delta}{l'_0} m_1 m_2 \quad (5.6.1-2)$$

式中：  $E_t$  ——旧路面的当量回弹模量（MPa）；

$m_1$  ——用标准轴载的汽车在旧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，应根据各地的对比试验结果论证地确定，在没有对比试验资料的情况下，可取

$m_1 = 1.1$  进行计算；

$m_2$  ——旧路面当量回弹模量扩大系数。计算与旧路面接触的补强层层底拉应力时， $m_2$  按下式计算；计算其它补强层层底拉应力及弯沉值时，

$m_2 = 1.0$ 。

$$m_2 = e^{0.037 \frac{h'}{\delta} \left( \frac{E_{n-1}}{p} \right)^{0.25}} \quad (5.6.1-3)$$

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）。

2) 等效总厚度按下式计算：

$$h' = \sum_{i=1}^{n-1} h_i (E_i / E_{n-1})^{0.25} \quad (5.6.1-4)$$

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。

7 加铺层结构设计应符合下列规定：

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) 加铺层的结构设计，应根据旧路面综合评价，道路等级、交通量，考虑与周围环境相协调，结合纵、横断面调坡设计等因素，选用直接加铺或开挖旧路至某一结

构层位，采取加铺一层或多层沥青补强层，或加铺半刚性基层、贫混凝土基层等结构层设计方案。

8 加铺层设计宜符合下列步骤：

- 1) 计算旧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，弯沉综合修正系数宜按下式计算：

$$F = 1.45 \left( \frac{l_s}{2000\delta} \right)^{0.61} \left( \frac{E_t}{p} \right)^{0.61} \quad (5.6.1-5)$$

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

- 5) 根据各方案的计算结果，进行技术经济比较，确定补强设计方案。

**5.6.2 水泥混凝土路面加铺沥青路面应符合下列规定：**

1 旧水泥混凝土路面调查内容如下：

1) 调查破碎板块、开裂板块、板边角的破损状况，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) 用落锤式弯沉仪或贝克曼弯沉仪进行现场测定。

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。

2 旧路面接缝传荷能力的评价应符合下列规定：

1) 弯沉差宜按下式计算：

$$\Delta_w = w_u - w_l \quad (5.6.2-1)$$

式中： $\Delta_w$ ——弯沉差（0.01mm）；

$w_u$ ——未受荷板接缝边缘处的弯沉值（mm）；

$w_l$ ——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。平均弯沉值应按下列式计算：

$$\bar{w} = \frac{w_u + w_\ell}{2} \quad (5.6.2-2)$$

式中： $\bar{w}$ ——平均弯沉值（0.01mm）。

3 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宜符合表 5.6.2 的规定。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 5.6.2 不同路面破损条件下旧水泥混凝土路面处理方法

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

5 沥青加铺层可设单层或双层沥青面层，视具体情况增加调平层或补强层等。在稳定的旧水泥混凝土板上加铺沥青层时，对快速路、主干路（或中及中以上交通）厚度不宜小于 100mm，其他道路不宜小于 70mm。

6 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。为防止渗水、减缓反射裂缝及加强层间结合，宜设置 10mm~25mm 厚的聚合物改性沥青应力吸收层、橡胶沥青应力吸收层，或铺设长纤维无纺聚酯类土工织物等。

7 路面状况评价等级为中等及以下的旧水泥混凝土沥青加铺设计宜符合下列规定：

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

2) 当旧路面板接缝或裂缝处平均弯沉大于 70（0.01mm）或旧混凝土板较破碎时，可将旧路面板破碎成小块或碎石，作为下基层或底基层用。

## 6 水泥混凝土路面

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 水泥混凝土路面设计方案，应根据交通等级，结合当地气候、水文、土质、材料、施工技术、环境保护等，通过技术经济分析确定。水泥混凝土路面设计应包括结构组合、材料组成、接缝构造和钢筋配置等。

**6.1.2** 水泥混凝土路面结构应按规定的等级和目标可靠度，承受预期的交通荷载作用，并同所处的自然环境相适应，满足预定的使用性能要求。

### 6.2 设计指标与要求

**6.2.1** 材料性能和面层厚度的变异水平可分为低、中和高三级。各变异水平等级主要设计参数的变异系数变化范围应符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 变异系数 ( $c_v$ ) 的变化范围

变异水平等级	低级	中级	高级
水泥混凝土弯拉强度、弯拉弹性模量	$c_v \leq 0.10$	$0.10 < c_v \leq 0.15$	$0.15 < c_v \leq 0.20$
基层顶面当量回弹模量	$c_v \leq 0.25$	$0.25 < c_v \leq 0.35$	$0.35 < c_v \leq 0.55$
水泥混凝土面层厚度	$c_v \leq 0.04$	$0.04 < c_v \leq 0.06$	$0.06 < c_v \leq 0.08$

**6.2.2** 水泥混凝土路面结构设计应以行车荷载和温度梯度综合作用产生的疲劳断裂作为设计的极限状态，应满足下列要求：

$$\gamma_c (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r \quad (6.2.2)$$

式中： $\gamma_c$ ——水泥混凝土路面可靠度系数，根据所选目标可靠度及变异水平等级按表

6.2.2 确定；

$\sigma_{pr}$ ——行车荷载疲劳应力 (MPa)；

$\sigma_{tr}$ ——温度梯度疲劳应力 (MPa)；

$f_r$ ——28d 龄期水泥混凝土弯拉强度标准值 (MPa)。

表 6.2.2 可靠度系数

变异水平等级	目标可靠度 (%)		
	95	90	85
低	1.20~1.33	1.09~1.16	1.04~1.08
中	1.33~1.50	1.16~1.23	1.08~1.13
高	—	1.23~1.33	1.13~1.18

注：变异系数在本规范表 6.2.1 所示的变化范围的下限时，可靠度系数取低值；上限时，取高值。

**6.2.3** 不同轴—轮型和轴载的作用次数，应按本规范第 3.2.4 条换算为当量轴次。

**6.2.4** 水泥混凝土路面所承受的轴载作用，应按设计基准期内设计车道所承受的标准轴载累计作用次数分为4级，分级范围应符合本规范表3.2.5的规定。

**6.2.5** 水泥混凝土的强度以28d龄期的弯拉强度控制。水泥混凝土弯拉强度标准值不得低于表6.2.5的规定。

表 6.2.5 水泥混凝土弯拉强度标准值

交通等级	特重、重	中	轻
水泥混凝土的弯拉强度标准值(MPa)	5.0	4.5	4.5
钢纤维混凝土的弯拉强度标准值(MPa)	6.0	5.5	5.0

**6.2.6** 在季节性冰冻地区的中湿、潮湿路段的路面结构总厚度不应小于本规范表3.2.6-3规定的最小厚度，不满足时，其差值应设垫层补足。过湿路段在对路基处理后也应按潮湿路段的要求设置垫层。

**6.2.7** 设计基准期内水泥混凝土面层的最大温度梯度标准值 $T_g$ 宜采用各地实测值。当无实测资料时，可根据按本规范表3.2.6-1选用。

### 6.3 结构组合设计

**6.3.1** 路基、垫层和基层的设计应符合本规范第4章的规定。

**6.3.2** 面层宜采用设置接缝的普通混凝土。当面层板的平面尺寸较大或形状不规则，路面结构下埋有地下设施，高填方、软土地基、填挖交界段的路基等有可能产生不均匀沉降时，应采用设置接缝的钢筋混凝土面层。面层类型应按表6.3.2选择。

表 6.3.2 面层类型选择

面层类型	适用条件
连续配筋混凝土面层	特重交通的快速路、主干路
碾压混凝土面层	次干路以下道路、停车场、广场
钢纤维混凝土面层	标高受限制路段、收费站、混凝土加铺层和桥面铺装
普通水泥混凝土路面	各级道路、停车场、广场

**6.3.3** 普通混凝土、钢筋混凝土、碾压混凝土或钢纤维混凝土面层板宜采用矩形。其纵向和横向接缝应垂直相交，纵缝两侧的横缝不得相互错位。

**6.3.4** 纵向接缝的间距应按路面宽度在3.0m~4.5m范围内确定，不宜设置在轮迹带上。碾压混凝土、钢纤维混凝土面层在全幅摊铺时，可不设纵向缩缝。

**6.3.5** 横向接缝的间距应符合表6.3.5规定。

表 6.3.5 横向接缝间距表

面层类型	横向接缝间距 (m)
钢筋混凝土面层	6~15
碾压混凝土面层	6~10
钢纤维混凝土面层	

普通水泥混凝土路面	宜为 4~6m，面层板的长宽比不宜超过 1.30，平面尺寸不宜大于 25m <sup>2</sup>
-----------	--

**6.3.6** 普通混凝土、钢筋混凝土、碾压混凝土与连续配筋混凝土面层所需的厚度，可按表 6.3.6 所列范围并满足计算要求。

表 6.3.6 水泥混凝土面层厚度的参考范围

交通等级	特重				重			
道路等级	快速	主干		次干	快速	主干		次干
变异水平等级	低	中	低	中	低	中	低	中
面层厚度 (mm)	≥260	≥250	≥240		≥240	≥230	≥220	
交通等级	中				轻			
道路等级	次干		支路		支路		支路	
变异水平等级	高	中	高		中		高	中
面层厚度 (mm)	≥210		≥200		≥200		≥180	≥180

**6.3.7** 钢纤维混凝土面层的厚度应按钢纤维掺量确定；当钢纤维体积率为 0.6%~1.0% 时，其厚度宜为普通混凝土面层厚度的 0.65~0.75 倍。特重或重交通时，其最小厚度宜为 160mm；中或轻交通时，其最小厚度宜为 140mm。

**6.3.8** 水泥混凝土面层的计算应力应满足本规范式 6.2.3 的要求。荷载疲劳应力应按本规范第 6.5.1 条计算，温度疲劳应力应按本规范第 6.5.2 条计算。面层设计厚度应依计算厚度按 10mm 向上取整。

当采用碾压混凝土或贫混凝土做基层时，宜将基层与混凝土面层视作分离式双层板进行应力分析。上、下层板在临界荷位处的荷载疲劳应力和温度疲劳应力应按本规范第 6.5.2 条计算。上、下层板的计算应力应分别满足本规范式 6.2.3 的要求。

**6.3.9** 路面表面构造应采用刻槽、压槽、拉槽或拉毛等方法制作。构造深度在使用初期应满足本规范表 3.2.8-2 的要求。

**6.3.10** 非机动车道、人行道、步行街采用水泥混凝土铺装时，面层厚度不应小于 120mm，水泥混凝土 28d 龄期的弯拉强度不应低于 3.5MPa。

**6.3.11** 停车场面层 28d 龄期的弯拉强度不应低于 5.0MPa，人行广场面层 28d 龄期的弯拉强度不应低于 3.5MPa，并且在有纵横向交通的广场上，宜采用正方形混凝土板块，接缝宜布置成两个方向均能传递荷载的形式。接缝设传力杆时，一个方向的接缝宜采用普通传力杆，另一个方向的接缝宜采用滑动传力杆。

## 6.4 面层材料

**6.4.1** 面层材料组成应符合下列规定：

1 水泥混凝土所用集料公称最大粒径不应大于 31.5mm（碎石）或 19.0mm（砾石）。砂的细度模数不宜小于 2.5。

2 对重交通及以上交通等级道路、城市快速路、主干路应采用强度等级 42.5 级以上的道路硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；中、轻交通等级的道路可采用矿渣水泥，其强度等级不宜低于 32.5 级。最小单位水泥用量应满足表 6.4.1-1 的规定。对冰冻地区，混凝土中必须掺加引气剂，抗冻标号应达到 F200。

表 6.4.1-1 路面混凝土最小单位水泥用量

道路等级		快速、主干路	次干路	支路
非冰冻地区最小单位水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> )	42.5 级水泥	300	300	290
	32.5 级水泥	310	310	305
冰冻地区最小单位水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> )	42.5 级水泥	320	320	315
	32.5 级水泥	330	330	325

3 厚度大于 280mm 的普通混凝土面层，当分上下两层连续铺筑时，上层宜为总厚度的 1/3，可采用高强、耐磨的混凝土材料，集料公称最大粒径宜为 19mm。

4 钢纤维混凝土集料公称最大粒径宜为钢纤维长度的 1/2~2/3，对于铣削型钢纤维不宜大于 26.5mm，对于剪切型或熔抽型钢纤维不宜大于 19mm。钢纤维的抗拉强度标准值不宜小于 600 级（600MPa~1000MPa），以体积率计的钢纤维掺量宜为 0.6%~1.0%。最小单位水泥用量应满足表 6.4.1-2 的规定。

表 6.4.1-2 路面钢纤维混凝土最小单位水泥用量

非冰冻地区最小单位水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> )	42.5 级水泥	360
	32.5 级水泥	370
冰冻地区最小单位水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> )	42.5 级水泥	380
	32.5 级水泥	390

5 碾压混凝土面层混凝土的集料公称最大粒径不宜大于 19.0mm，非冰冻地区水泥用量不得少于 280kg/m<sup>3</sup>，冰冻地区水泥用量不得少于 310kg/m<sup>3</sup>。

#### 6.4.2 材料性质参数确定应符合下列规定：

1 路床土和路面各结构层混合料的各项性质参数，应按国家相关现行标准确定，其标准值应按概率分布的 0.85 分位值确定。

2 当受条件限制而无试验数据时，混凝土弯拉弹性模量以及路床土和垫层、基层混合料的回弹模量标准值，可按本规范附录 D 结合工程经验分析确定。

3 混凝土配合比设计时的混凝土试配 28d 龄期弯拉强度的均值应按下式确定：

$$f_{rm} = \frac{f_r}{1-1.04c_v} + t_c s \quad (6.4.2)$$

式中： $f_{rm}$ ——混凝土试配 28d 龄期弯拉强度的均值（MPa）；

- $c_v$ ——混凝土 28d 龄期弯拉强度的变异系数；
- $s$ ——混凝土 28d 龄期弯拉强度试验样本的标准差；
- $t_c$ ——保证率系数，按表 6.4.2 确定。

表 6.4.2 保证率系数

道路等级	判别概率 $p$	样本数 $n$ (组)				
		3	6	9	15	20
快速路	0.05	1.36	0.79	0.61	0.45	0.39
主干路	0.10	0.95	0.59	0.46	0.35	0.30
次干路	0.15	0.72	0.46	0.37	0.28	0.24
支路	0.20	0.56	0.37	0.29	0.22	0.19

### 6.5 路面结构计算

#### 6.5.1 单层混凝土板荷载应力分析应按下列步骤进行：

- 1 选取混凝土板的纵向边缘中部作为产生最大荷载和温度梯度综合疲劳损坏的临界荷位。
- 2 标准轴载在临界荷位处产生的荷载疲劳应力应按下式确定：

$$\sigma_{pr} = k_r k_f k_c \sigma_{ps} \tag{6.5.1-1}$$

式中： $\sigma_{pr}$ ——标准轴载在临界荷位处产生的荷载疲劳应力(MPa)；

$\sigma_{ps}$ ——标准轴载在四边自由板的临界荷位处产生的荷载应力(MPa)；

$k_r$ ——考虑接缝传荷能力的应力折减系数，纵缝为设拉杆的平缝时， $k_r=0.87\sim 0.92$ （刚性和半刚性基层取低值，柔性基层取高值）；纵缝为不设拉杆的平缝或自由边时， $k_r=1.0$ ；纵缝为设拉杆的企口缝时， $k_r=0.76\sim 0.84$ ；

$k_f$ ——考虑设计基准期内荷载应力累计疲劳作用的疲劳应力系数，按式(6.5.1-4)计算；

$k_c$ ——考虑偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数，按表 6.5.1 确定。

表 6.5.1 综合系数  $k_c$

道路等级	快速路	主干路	次干路	支路
$k_c$	1.30	1.25	1.20	1.10

- 3 标准轴载在四边自由板临界荷位处产生的荷载应力应按下列公式确定：

$$\sigma_{ps} = 0.077 \times r^{0.60} \times h^{-2} \tag{6.5.1-2}$$

$$r = 0.537h \left( \frac{E_c}{E_t} \right)^{1/3} \tag{6.5.1-3}$$

式中： $r$ ——单层混凝土板的相对刚度半径(m)；

$h$ ——混凝土板的厚度(m);

$E_c$ ——水泥混凝土的弯拉弹性模量(MPa);

$E_r$ ——基层顶面的当量回弹模量(MPa)。

4 设计基准期内的荷载疲劳应力系数应按下列公式计算确定:

$$k_f = N_e^v \quad (6.5.1-4)$$

$$v = 0.053 - 0.017\rho_f \frac{l_f}{d_f} \quad (6.5.1-5)$$

式中:  $v$ ——与混合料性质有关的指数,普通混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土,  $v=0.057$ ; 碾压混凝土和贫混凝土,  $v=0.065$ ; 钢纤维混凝土,  $v$ 按式(6.5.1-5)计算确定。

$\rho_f$ ——钢纤维的体积率(%);

$l_f$ ——钢纤维的长度(mm);

$d_f$ ——钢纤维的直径(mm)。

5 新建道路的基层顶面当量回弹模量可按下列公式计算确定:

$$E_t = ah_x^b E_0 \left( \frac{E_x}{E_0} \right)^{1/3} \quad (6.5.1-6)$$

$$E_x = \frac{h_1^2 E_1 + h_2^2 E_2}{h_1^2 + h_2^2} \quad (6.5.1-7)$$

$$h_x = \left( \frac{12D_x}{E_x} \right)^{1/3} \quad (6.5.1-8)$$

$$D_x = \frac{E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3}{12} + \frac{(h_1 + h_2)^2}{4} \left( \frac{1}{E_1 h_1} + \frac{1}{E_2 h_2} \right)^{-1} \quad (6.5.1-9)$$

$$a = 6.22 \left[ 1 - 1.51 \left( \frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.45} \right] \quad (6.5.1-10)$$

$$b = 1 - 1.44 \left( \frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.55} \quad (6.5.1-11)$$

式中:  $E_r$ ——基层顶面的当量回弹模量(MPa);

$E_0$ ——路床顶面的回弹模量(MPa);

$E_x$ ——基层或垫层的当量回弹模量(MPa);

- $E_1$ 、 $E_2$ ——基层或垫层的回弹模量(MPa);  
 $h_x$ ——基层或垫层的当量厚度(m);  
 $D_x$ ——基层或垫层的当量弯曲刚度(MN-m);  
 $h_1$ 、 $h_2$ ——基层或垫层的厚度(m);  
 $a$ 、 $b$ ——与  $E_x / E_0$  有关的回归系数。

6 在旧柔性路面上铺筑水泥混凝土面层时,旧柔性路面顶面的当量回弹模量可按下式计算确定:

$$E_t = 13739w_0^{-1.04} \quad (6.5.1-12)$$

式中:  $w_0$ ——以后轴载 100kN 的车辆进行弯沉测定,经统计整理后得到的旧路面计算回弹弯沉值(0.01mm)。

### 6.5.2 单层混凝土板温度应力分析应按下列步骤进行:

1 在临界荷位处的温度疲劳应力应按下列式确定:

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{tm} \quad (6.5.2-1)$$

式中:  $\sigma_{tr}$ ——临界荷位处的温度疲劳应力(MPa);

$\sigma_{tm}$ ——最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力(MPa);

$k_t$ ——考虑温度应力累计疲劳作用的疲劳应力系数。

2 最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力按式(6.5.2-2)计算。

$$\sigma_{tm} = \frac{\alpha_c E_c h T_g}{2} B_x \quad (6.5.2-2)$$

$$B_x = 1.77e^{-4.48h} C_x - 0.131(1 - C_x) \quad (6.5.2-3)$$

$$C_x = 1 - \frac{\sinh t \cos t + \cosh t \sin t}{\cos t \sin t + \sinh t \cosh t} \quad (6.5.2-4)$$

$$t = l/3r \quad (6.5.2-5)$$

式中:  $\alpha_c$ ——混凝土的线膨胀系数(1/°C),可取为  $1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ;

$T_g$ ——最大温度梯度,查本规范表 3.2.6-1 取用;

$h$ ——面层板的厚度(m);

$B_x$ ——综合温度翘曲应力和内应力作用的温度应力系数,按式 (6.5.2-3)

计算确定;

$C_x$ ——混凝土面层板的温度翘曲应力系数,按式(6.5.2-4)计算确定;

$t$ ——与面层板尺寸有关的参数;

$r$ ——面层板的相对刚度半径(m);

$l$ ——板长, 即横缝间距(m)。

3 温度疲劳应力系数可按下式计算:

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{tm}} \left[ a \left( \frac{\sigma_{tm}}{f_r} \right)^c - b \right] \quad (6.5.2-6)$$

式中:  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ——回归系数, 按所在地区的道路自然区划查表 6.5.2-2 确定。

表 6.5.2-2 回归系数  $a$ 、 $b$  和  $c$

系数	道路自然区划					
	II	III	IV	V	VI	VII
$A$	0.828	0.855	0.841	0.871	0.837	0.834
$B$	0.041	0.041	0.058	0.071	0.038	0.052
$C$	1.323	1.355	1.323	1.287	1.382	1.270

6.5.3 双层混凝土板荷载应力分析应按下列步骤进行:

1 双层混凝土板的临界荷位仍为板的纵向边缘中部。标准轴载在临界荷位处产生的上层和下层混凝土板的荷载疲劳应力  $\sigma_{pr1}$  和  $\sigma_{pr2}$ , 分别按式(6.5.1-1)计算确定; 但结合式双层板仅需计算下层板的荷载疲劳应力  $\sigma_{pr2}$ 。其中, 应力折减系数、荷载疲劳应力系数和综合系数的确定方法, 与单层混凝土板完全相同。

2 标准轴载在临界荷位处产生的分离式双层板上层和下层的荷载应力或者结合式双层板下层的荷载应力, 应按下列公式计算:

$$\sigma_{pr1} = 0.077 r_g^{0.60} \frac{E_{c1} h_{01}}{12 D_g} \quad (6.5.3-1)$$

$$\sigma_{pr2} = 0.077 r_g^{0.60} \frac{E_{c2} (0.5 h_{02} + h_x k_u)}{6 D_g} \quad (6.5.3-2)$$

式中:  $\sigma_{pr1}$ 、 $\sigma_{pr2}$ ——双层混凝土板上层和下层的荷载应力(MPa);

$E_{c1}$ 、 $E_{c2}$ ——双层混凝土板上层和下层的弯拉弹性模量(MPa);

$h_{01}$ 、 $h_{02}$ ——双层混凝土板上层和下层的厚度(m);

$h_x$ ——下层板中面至结合式双层板中性面的距离(m);

$k_u$ ——层间结合系数, 分离式时,  $k_u=0$ ; 结合式时,  $k_u=1$ ;

$D_g$ ——双层混凝土板的截面总刚度(MN-m);

$r_g$ ——双层混凝土板的相对刚度半径(m)。

3 下层板中面至结合式双层板中性面的距离可按下式计算:

$$h_x = \frac{E_{c1} h_{01} (h_{01} + h_{02})}{2(E_{c1} h_{01} + E_{c2} h_{02})} \quad (6.5.3-3)$$

4 双层混凝土板的截面总刚度为上层板和下层板对各自中面的弯曲刚度以及由截面轴向力所构成的弯曲刚度三者之和, 应按下式计算:

$$D_g = \frac{E_{c1}h_{01}^3}{12} + \frac{E_{c2}h_{02}^3}{12} + \frac{E_{c1}h_{01}E_{c2}h_{02}(h_{01} + h_{02})^2}{4(E_{c1}h_{01} + E_{c2}h_{02})} k_u \quad (6.5.3-4)$$

5 双层混凝土板的相对刚度半径应按下式计算:

$$r_g = 1.23 \left( \frac{D_g}{E_t} \right)^{1/3} \quad (6.5.3-5)$$

**6.5.4** 双层混凝土板温度应力分析应按下列步骤进行:

1 双层混凝土板上层和下层的温度疲劳应力  $\sigma_{tr1}$  和  $\sigma_{tr2}$  分别按本规范式(6.5.2-1)计算确定, 但分离式双层板仅需计算上层板的温度疲劳应力 ( $\sigma_{tr1}$ ), 结合式双层板仅需计算下层板的温度疲劳应力 ( $\sigma_{tr2}$ )。其中, 温度疲劳应力系数的确定方法与单层混凝土板相同。

2 分离式双层混凝土板上层的最大温度翘曲应力应按下列公式计算:

$$\sigma_{m1} = \frac{\alpha_c E_{c1} h_{01} T_g}{2} B_x \quad (6.5.4-1)$$

$$B_x = 1.77e^{-4.48h_{01}} C_x - 0.131(1 - C_x) \quad (6.5.4-2)$$

$$C_x = 1 - \left( \frac{1}{1 + \xi} \right) \frac{\sinh t \cosh t + \cosh t \sinh t}{\cosh t \sinh t + \sinh t \cosh t} \quad (6.5.4-3)$$

$$t = l/3r_g \quad (6.5.4-4)$$

$$\xi = - \frac{(k_n r_g^4 - D_{01}) r_\beta^3}{(k_n r_\beta^4 - D_{02}) r_g^3} \quad (6.5.4-5)$$

$$r_\beta = \left[ \frac{D_{01} D_{02}}{(D_{01} + D_{02}) k_n} \right]^{1/4} \quad (6.5.4-6)$$

$$k_n = \frac{1}{2} \left( \frac{h_{01}}{E_{c1}} + \frac{h_{02}}{E_{c2}} \right)^{-1} \quad (6.5.4-7)$$

$$D_{01} = \frac{E_{c1} h_{01}^3}{12(1 - \nu_{c1}^2)} \quad (6.5.4-8)$$

$$D_{02} = \frac{E_{c2} h_{02}^3}{12(1 - \nu_{c2}^2)} \quad (6.5.4-9)$$

式中： $\sigma_{m1}$ ——分离式双层混凝土板上层的最大温度翘曲应力(MPa)；

$B_x$ ——上层混凝土板的温度应力系数，按式(6.5.4-2)计算确定；

$C_x$ ——混凝土板的温度翘曲应力系数，按式(6.5.4-3)计算确定；

$t$ ——与面层板尺寸有关的参数；按式(6.5.4-4)计算确定；

$\xi$ ——与双层板结构有关的参数，按式(6.5.4-5)计算确定；

$r_\beta$ ——层间接触状况参数，按式(6.5.4-6)计算确定；

$k_n$ ——面层与基层之间竖向接触刚度，上下层之间不设沥青混凝土夹层或隔离层时按式(6.5.4-7)计算确定，设沥青混凝土夹层或隔离层时， $k_n$ 取 3000 MPa/m；

$D_{01}$ ——上层板的截面弯曲刚度(MN·m)，按式(6.5.4-8)计算确定；

$D_{02}$ ——下层板的截面弯曲刚度(MN·m)，按式(6.5.4-9)计算确定；

$\nu_{c1}$ ——上层板的泊松比；

$\nu_{c2}$ ——下层板的泊松比。

### 3 结合式双层混凝土板下层的最大温度翘曲应力应按下列公式计算确定：

$$\sigma_{m2} = \frac{\alpha_c E_{c2} (h_{01} + h_{02}) T_g}{2} \xi_2 B_x \quad (6.5.4-10)$$

$$\xi_2 = 1.77 - 0.27 \ln \left( \frac{h_{01} E_{c1}}{h_{02} E_{c2}} + 18 \frac{E_{c1}}{E_{c2}} - 2 \frac{h_{01}}{h_{02}} \right) \quad (6.5.4-11)$$

$$B_x = 1.77 e^{-4.48(h_{01}+h_{02})} C_x - 0.131(1 - C_x) \quad (6.5.4-12)$$

式中： $\sigma_{m2}$ ——结合式双层混凝土板下层的最大温度翘曲应力(MPa)；

$\xi_2$ ——结合式双层混凝土板的最大温度应力修正系数，按式(6.5.4-11)计算确定；

$B_x$ ——混凝土板的温度应力系数，按式(6.5.4-12)计算确定；

$C_x$ ——混凝土板的温度翘曲应力系数，按式(6.5.4-3)计算确定；

### 6.5.5 混凝土板厚度计算宜符合下列规定：

1 依据所设计的道路技术等级，确定路面结构的设计安全等级以及相应的设计基准期、目标可靠度和变异水平等级。

2 调查采集交通资料，包括初始年日交通量、日货车交通量、方向和车道分配系数、各类货车的轴载谱、设计基准期内交通量年平均增长率等。

3 计算设计车道的初始年日货车交通量以及各车型或者轴型的各级轴载作用次数；将各级轴载作用次数换算为标准轴载的作用次数，并计算设计车道的初始年日标准轴载作用次数；依据道路等级和车道宽度，选定车辆轮迹横向分布系数；计算设计基准期内设计车道上的标准轴载累计作用次数，确定设计车道的交通等级。

4 依据施工技术、管理和质量控制的预期水平，选定路面材料性能和结构尺寸的变异水平等级，并依据所要求的目标可靠度，确定可靠度系数。

5 根据道路等级和交通等级，并按设计道路所在地的路基土质、温度和湿度状况、路面材料供应条件和材料性质以及当地已有路面使用经验，进行结构层组合设计，初选各结构层的材料类型和厚度。

6 根据交通等级，选取水泥混凝土的最低抗弯拉强度标准值，确定混合料试配弯拉强度的均值，进行混凝土混合料组成设计；通过试验或经验数值确定相应的混凝土弹性模量。

7 按所选基层和垫层材料类型，进行混合料配合比设计，通过试验或经验数值确定各类混合料的回弹模量标准值。

8 对新建道路，依据土组类型和道路所在地的自然区划按经验值确定路床顶面的回弹模量标准值。将路床顶面以上和基层顶面以下的各结构层转化成单层后，计算确定基层顶面的当量回弹模量值。对改建道路，通过弯沉测定确定旧路面的计算回弹弯沉值后，计算确定旧路面顶面的当量回弹模量值。

9 计算标准轴载产生的荷载应力，按道路等级选定综合系数，按纵缝类型和基层情况选取应力折减系数，按设计基准期内标准轴载累计所用次数计算荷载疲劳应力系数，确定荷载疲劳应力值。

10 按道路所在地的自然区划确定最大温度梯度，确定温度应力系数，计算最大温度应力，计算温度疲劳应力系数，确定温度疲劳应力值。

11 当荷载疲劳应力同温度疲劳应力之和与可靠度系数乘积小于且接近混凝土弯拉强度标准值，则初选厚度可作为混凝土面层的计算厚度。否则，应改选面层厚度，重新计算，直到满足要求为止。面层设计厚度为计算厚度按 10mm 向上取整。

## 6.6 面层配筋设计

### 6.6.1 特殊部位配筋布置应符合下列规定：

1 混凝土面层自由边缘下基础薄弱或接缝为未设传力杆的平缝时，可在面层边缘的下部配置钢筋。宜选用 2 根直径为 12mm~16mm 的螺纹钢筋，置于面层底面之上 1/4 厚度处，并不应大于 50mm，间距宜为 100mm，钢筋两端向上弯起。

2 承受特重交通的胀缝、施工缝和自由边的面层角隅及锐角面层角隅，宜配置角隅钢筋。宜选用 2 根直径为 12mm~16mm 的螺纹钢筋，置于面层上部，距顶面不应小于 50mm，距边缘宜为 100mm。

3 当混凝土面层下有箱形构造物横向穿越，其顶面至面层底面的距离（ $H$ ）小于 400mm 或嵌入基层时，在构造物顶宽及两侧各（ $H+1$ ）m 且不小于 4m 的范围内，混凝土面层内应布设双层钢筋网，上下层钢筋网各距面层顶面和底面 1/4~1/3 厚度处。当构造物顶面至面层底面的距离在 400mm~1200mm 时，则在上述长度范围内的混凝土面层中应布设单层钢筋网。钢筋网设在距顶面 1/4~1/3 厚度处。钢筋直径宜为 12mm，纵向钢筋间距宜为 100mm，横向钢筋间距宜为 200mm。配筋混凝土面层与相邻混凝土面层之间应设置传力杆缩缝。

4 当混凝土面层下有圆形管状构造物横向穿越，其顶面至面层底面的距离小于 1200mm 时，在构造物两侧各（ $H+1$ ）m 且不小于 4m 的范围内，混凝土面层内应设单层钢筋网，钢筋网设在距面层顶面 1/4~1/3 厚度处。钢筋尺寸和间距及传力杆接缝设置与本规范第 6.6.1 条第 3 款相同。

5 雨水口和检查井周围应设置工作缝与混凝土板完全分开，并应在 1.0m 范围内，距混凝土板顶面和底面 50mm 处布设双层防裂钢筋网，钢筋直径 12mm，间距 100mm。

#### 6.6.2 钢筋混凝土面层配筋应符合下列规定：

1 钢筋混凝土面层的配筋量应按下式确定：

$$A_s = \frac{16L_s h \mu}{f_{sy}} \quad (6.6.2-1)$$

式中： $A_s$ ——每延米混凝土面层宽（或长）所需的钢筋面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$L_s$ ——纵向钢筋时，为横缝间距（m）；横向钢筋时，为无拉杆的纵缝或自由边之间的距离（m）；

$h$ ——面层厚度（mm）；

$\mu$ ——面层与基层之间的磨阻系数，基层为水泥、石灰或沥青稳定粒料时，可取 1.8；基层为无结合料的粒料时，可取 1.5；

$f_{sy}$  ——钢筋的屈服强度 (MPa)，宜按表 6.6.2-1 选用。

表 6.6.2-1 钢筋强度和弹性模量参考值

钢筋种类	钢筋直径 $d$ (mm)	屈服强度 $f_{sy}$ (MPa)	弹性模量 $E_s$ (MPa)
HPB235	8~20	235	$2.1 \times 10^5$
HRB335	6~50	335	$2.0 \times 10^5$
HRB400	6~50	400	$2.0 \times 10^5$
KL400	8~40	400	$2.0 \times 10^5$

2 纵向和横向钢筋宜采用相同或相近的直径，其直径差不应大于 4mm。钢筋的最小直径和最大间距，应符合表 6.6.2-2 的规定。钢筋的最小间距应为集料最大粒径的 2 倍。

表 6.6.2-2 钢筋最小直径和最大间距 (mm)

钢筋类型	最小直径	纵向最大间距	横向最大间距
光面钢筋	8	150	300
螺纹钢筋	12	350	750

3 钢筋布置应符合下列要求：

1) 纵向钢筋应设在面层顶面下 1/3~1/2 厚度范围内，横向钢筋应位于纵向钢筋之下；

2) 纵向钢筋的搭接长度宜不小于 35 倍钢筋直径，搭接位置应错开，各搭接端连线与纵向钢筋的夹角应小于  $60^\circ$ ；

3) 边缘钢筋至纵缝或自由边的距离宜为 100mm~150mm。

**6.6.3** 连续配筋混凝土面层配筋应遵循以下原则：

1 连续配筋混凝土面层的纵向和横向钢筋应采用螺纹钢筋，其直径宜为 12mm~20mm。

2 钢筋布置应符合下列规定：

1) 纵向钢筋应设在面层表面下 1/2~1/3 厚度范围内，横向钢筋应位于纵向钢筋之下；

2) 纵向钢筋的间距应不大于 250mm，应不小于 100mm 或集料最大粒径的 2.5 倍；

3) 横向钢筋的间距应不大于 800mm；

4) 纵向钢筋的焊接长度宜不小于 10 倍（单面焊）或 5 倍（双面焊）钢筋直径，焊接位置应错开，各焊接端连线与纵向钢筋的夹角应小于  $60^\circ$ ；

5) 边缘钢筋至纵缝或自由边的距离宜为 100mm~150mm。

3 连续配筋混凝土面层的纵向配筋率应按允许的裂缝间距（1.0m~2.5m）、缝隙宽度（<1mm）和钢筋屈服强度确定，宜为 0.6%~0.8%。最小纵向配筋率，冰冻地区为宜 0.7%，一般地区宜为 0.6%。横向钢筋的用量，应按本规范第 6.6.2 条（1）款计算确定。

4 连续配筋混凝土面层的纵向配筋设计应符合下列规定：

- 1) 混凝土面层横向裂缝的平均间距宜为 1.0m~2.5m；
- 2) 裂缝缝隙的最大宽度宜为 1.0mm；
- 3) 钢筋拉应力不应超过钢筋屈服强度。

5 横向裂缝平均间距应按下列公式计算确定：

$$L_d = \frac{2b}{\sqrt{\frac{4k_s}{d_s E_s} (1 + \varphi)}} \quad (6.6.3-1)$$

$$\varphi = \rho \frac{E_s}{E_c} \quad (6.6.3-2)$$

$$\lambda_c = \frac{f_t}{E_c (\alpha_c \Delta T + \varepsilon_{sh})} \quad (6.6.3-3)$$

式中： $L_d$ ——横向裂缝平均间距(m)；

$\varphi$ ——钢筋刚度贡献率（%）；

$\rho$ ——配筋率（%）；

$E_s$ ——钢筋弹性模量(MPa)，可按本规范表 6.6.2-1 取用；

$d_s$ ——钢筋直径(mm)；

$k_s$ ——粘结刚度系数(MPa / mm)，可按表 6.6.3-1 取用；

$b$ ——随系数  $\varphi$  和  $\lambda_c$  而变的系数，可按表 6.6.3-2 取用；

$\lambda_c$ ——混凝土温缩应力系数，由式（6.6.3-3）计算确定；

$f_t$ ——混凝土抗拉强度标准值(MPa)，可按表 6.6.3-1 取用；

$\alpha_c$ ——混凝土线膨胀系数，通常取为  $1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ；

$\Delta T$ ——设计温差，为混凝土的平均养护温度与设计最低温度之差，可近似取为所在地区的日平均最高气温与最低气温之差；

$\varepsilon_{sh}$ ——连续配筋混凝土干缩应变，可按表 6.6.3-1 取用。

表 6.6.3 -1 连续配筋混凝土纵向配筋计算参数经验参考值

混凝土强度等级	C30	C35	C40
混凝土抗拉强度标准值 $f_t$ (MPa)	3.0	3.2	3.5
粘结刚度系数 $k_s$ (MPa / mm)	30	32	34
连续配筋混凝土干缩应变 $\varepsilon_{sh}$	0.00045	0.0003	0.0002

表 6.6.3-2 系数  $b$  的取值

$\varphi$ 值	$\lambda_c$ 值									
	0.03	0.05	0.1	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
0.02	2.0	3.0	5.6	8.5	12.0	—	—	—	—	—
0.03	—	2.2	3.9	6.0	8.0	11.0	12.5	—	—	—
0.04	—	2.0	3.2	4.7	6.2	8.2	10.6	13.0	—	—
0.05	—	2.0	2.6	3.8	5.1	6.6	8.5	10.7	13.0	—
0.06	—	1.7	2.3	3.3	4.3	5.7	7.2	9.1	11.2	13.0
0.07	—	—	2.0	2.9	3.8	4.9	6.2	7.7	9.4	11.5

6 裂缝缝隙宽度可按下式计算确定:

$$b_j = (\alpha_c \Delta T + \varepsilon_{sh}) \lambda_b L_d \quad (6.6.3-4)$$

式中:  $b_j$ ——裂缝缝隙宽度(mm);

$\lambda_b$ ——裂缝宽度系数, 由钢筋刚度贡献率  $\varphi$  值和  $b$  值按表 6.6.3-3 取用。

表 6.6.3-3 裂缝宽度系数  $\lambda_b$  的取值

$\varphi$ 值	$b$ 值										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.02	0.98	0.96	0.94	0.92	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.84	0.83
0.03	0.97	0.94	0.92	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.76
0.04	0.95	0.93	0.89	0.87	0.84	0.81	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
0.05	0.94	0.91	0.87	0.84	0.81	0.77	0.75	0.72	0.70	0.68	0.65
0.06	0.93	0.89	0.86	0.82	0.78	0.75	0.72	0.69	0.66	0.64	0.61
0.07	0.92	0.87	0.84	0.79	0.75	0.71	0.68	0.66	0.63	0.60	0.58

7 钢筋应力可按下式计算得到:

$$\sigma_s = E_s (\alpha_c \Delta T \lambda_{st} + \alpha_s \Delta T) \quad (6.6.3-5)$$

式中:  $\sigma_s$ ——钢筋应力(MPa);

$\lambda_{st}$ ——钢筋温度应力系数, 由钢筋刚度贡献率  $\varphi$  值和  $b$  值按表 6.6.3-4 取用;

$\alpha_s$ ——钢筋线膨胀系数, 宜取为  $9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。

表 6.6.3-4 钢筋温度应力系数  $\lambda_{st}$  的取值

$\varphi$ 值	b 值										
	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
0.02	1.20	2.00	3.00	3.80	4.70	5.40	6.20	6.90	7.50	8.20	9.00
0.03	1.20	1.95	2.80	3.50	4.30	5.10	5.70	6.40	7.00	7.50	8.00
0.04	1.20	1.90	2.60	3.30	4.00	4.70	5.30	5.90	6.40	6.80	7.20
0.05	1.20	1.85	2.50	3.10	3.70	4.40	5.00	5.50	5.90	6.40	6.80
0.06	1.20	1.80	2.40	3.00	3.50	4.10	4.70	5.20	5.60	6.00	6.20
0.07	1.20	1.70	2.30	2.90	3.40	4.00	4.50	5.00	5.40	5.70	5.90

8 纵向配筋率的计算宜按下列步骤进行：

- 1) 初拟配筋率  $\rho$ ，按式 6.6.3-2 计算钢筋刚度贡献率  $\varphi$ ；
- 2) 按式 (6.6.3-3) 计算混凝土温缩应力系数  $\lambda_c$ ，
- 3) 根据  $\varphi$  和  $\lambda_c$  查表 6.6.3-2 得系数  $b$ ，按式 (6.6.3-1) 计算裂缝间距  $L_d$ 。当  $L_d > 2.5\text{m}$  或  $L_d < 1.0\text{m}$  时，应增大或减小配筋率，重复上述计算至符合要求。
- 4) 由钢筋刚度贡献率  $\varphi$  值和  $b$  值，查表 6.6.3-3 得到裂缝宽度系数  $\lambda_b$ ，按式 (6.6.3-4) 计算裂缝缝隙宽度  $b_j$ 。当  $b_j \leq 1\text{mm}$  时，满足要求；否则应增大配筋率，重复上述计算至符合要求。
- 5) 由钢筋刚度贡献率  $\varphi$  值和  $b$  值，查表 6.6.3-4 得到钢筋温度应力系数  $\lambda_{st}$ ，按式 (6.6.3-5) 计算钢筋应力  $\sigma_s$ 。当  $\sigma_s \leq f_{sy}$  时，满足要求；如不满足要求应增大配筋率，重复上述计算至符合要求。
- 6) 综合上述 5 项计算结果，确定配筋率，并进一步确定钢筋根数。在满足纵向钢筋间距要求的条件下，宜选用直径较小的钢筋。

## 6.7 接缝设计

6.7.1 纵向接缝设计应符合下列规定：

- 1 纵向接缝的布设应依据路面宽度和施工铺筑宽度按以下规定确定：

1) 当一次铺筑宽度小于路面宽度时, 应设置纵向施工缝。纵向施工缝宜采用平缝形式, 上部应锯切槽口, 深度宜为 30mm~40mm, 宽度宜为 3mm~8mm, 槽内应灌塞填缝料 (图 6.7.1-1) ;

2) 当一次铺筑宽度大于 4.5m 时, 应设置纵向缩缝。纵向缩缝宜采用假缝形式, 锯切的槽口深度应大于施工缝的槽口深度。当采用粒料基层时, 槽口深度应为板厚的 1/3; 当采用半刚性基层时, 槽口深度应为板厚的 2/5 (图 6.7.1-2)。

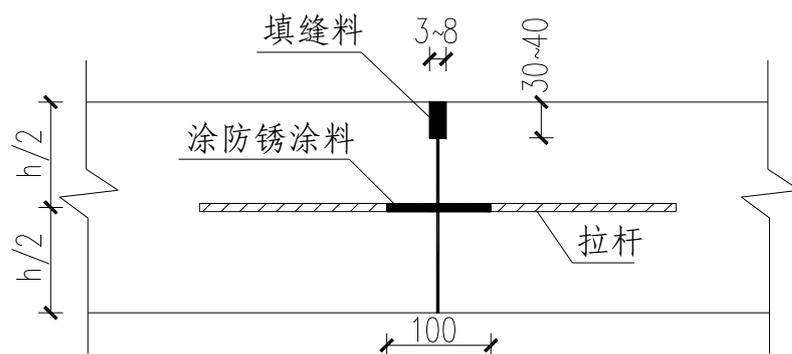


图 6.7.1-1 纵向施工缝构造 (尺寸单位: mm)

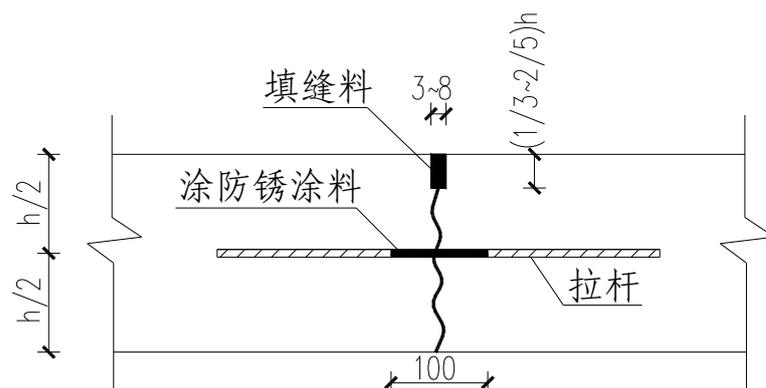


图 6.7.1-2 纵向缩缝构造 (尺寸单位: mm)

2 纵缝应与路线中线平行。在路面等宽的路段内或路面变宽路段的等宽部分, 纵缝的间距和形式应保持一致。路面变宽段的加宽部分与等宽部分之间, 应以纵向施工缝隔开。加宽板在变宽段起终点处的宽度不应小于 1m。

3 拉杆应采用螺纹钢筋, 宜设在板厚中央, 应对拉杆中部 100mm 范围内进行防锈处理。拉杆的直径、长度和间距, 可按表 6.7.1 选用。当施工布设时, 拉杆间距应按横向接缝的实际位置予以调整, 最外侧的拉杆距横向接缝的距离不得小于 100mm。

表 6.7.1 拉杆直径、长度和间距 (mm)

面层厚度 (mm)	拉杆	到自由边或未设拉杆纵缝的距离 (m)					
		3.00	3.50	3.75	4.50	6.00	7.5
180~250	直径 (mm)	14	14	14	14	14	14
	长度 (mm)	700	700	700	700	700	700
	间距 (mm)	900	800	700	600	500	400

260~300	直径 (mm)	16	16	16	16	16	16
	长度 (mm)	800	800	800	800	800	800
	间距 (mm)	900	800	700	600	500	400

4 连续配筋混凝土面层的纵缝拉杆可由板内横向钢筋延伸穿过接缝代替。

### 6.7.2 横向接缝布置应符合下列规定：

1 每日施工结束或因临时原因中断施工时，必须设置横向施工缝，其位置应选在缩缝或胀缝处。设在缩缝处的施工缝，应采用传力杆的平缝形式；设在胀缝处的施工缝，其构造与胀缝相同。当有困难需设在缩缝之间，施工缝应采用设拉杆的企口缝形式。

2 横向缩缝可等间距或变间距布置，应采用假缝形式。快速路和主干路、特重和重交通道路、收费广场以及邻近胀缝或自由端部的 3 条缩缝，应采用设传力杆假缝形式。其他情况可采用不设传力杆假缝形式。

3 横向缩缝顶部应锯切槽口，深度宜为面层厚度的 1/5~1/4，宽度宜为 3mm~8mm，槽内应填塞填缝料。快速路的横向缩缝槽口宜增设深 20mm、宽 6mm~10mm 的浅槽口，缝内设置可滑动的传力杆。

4 在邻近桥梁或其他固定构造物处或与其他道路相交处、板厚改变处、小半径平曲线处应设置横向胀缝。设置的胀缝条数，应视膨胀量大小而定。低温浇筑混凝土面层或选用膨胀性高的集料时，应酌情确定是否设置胀缝。胀缝宽 20mm，缝内应设置填缝板和可滑动的传力杆。

5 传力杆应采用光面钢筋。其尺寸和间距可按表 6.7.2 选用。最外侧传力杆距纵向接缝或自由边的距离宜为 150mm~250mm。

表 6.7.2 传力杆尺寸和间距 (mm)

面层厚度 (mm)	传力杆直径	传力杆最小长度	传力杆最大间距
180~220	28	400	300
230~240	30	400	300
250~260	32	450	300
270~280	35	450	300
290~300	38	500	300

### 6.7.3 交叉口接缝布设应符合下列规定：

1 当两条道路正交时，各条道路应保持本身纵缝的连贯。相交路段内各条道路的横缝位置应按相对道路的纵缝间距作相应变动，两条道路的纵横缝应垂直相交。当两条道路斜交时，主要道路的直道部分应保持纵缝的连贯，相交路段内的横缝位置应按次要道路的纵缝间距作相应变动，保证与次要道路的纵缝相连接。相交道路弯道加

宽部分的接缝布置，应不出现或少出现错缝和锐角板。当出现错缝和锐角板时，应按本规范第 6.6.1 条（2）款加设防裂钢筋或角隅钢筋。

2 混凝土板分块不宜过小，最小边长不应小于 1.5m，与主要行车方向垂直的边长不应大于 4.0m。

3 在次要道路弯道加宽段起终点断面处的横向接缝，应采用胀缝形式。膨胀量大时，应在直线段连续布置 2~3 条胀缝。

#### 6.7.4 端部处理应符合下列规定：

1 当混凝土路面与固定构造物相衔接的胀缝无法设置传力杆时，可在毗邻构造物的板端部内配置双层钢筋网；或在长度约为 6~10 倍板厚的范围内逐渐将板厚增加 20%。

2 当混凝土路面与桥梁相接，桥头设有搭板时，应在搭板与混凝土面层板之间设置长 6m~10m 的钢筋混凝土面层过渡板。后者与搭板间的横缝采用设拉杆平缝形式，与混凝土面层间的横缝采用设传力杆胀缝形式。膨胀量大时，应连续设置 2~3 条设传力杆胀缝。当桥梁为斜交时，钢筋混凝土板的锐角部分应采用钢筋网补强。

桥头未设搭板时，宜在混凝土面层与桥台之间设置长 10~15m 的钢筋混凝土面层板；或设置由混凝土预制块面层或沥青面层铺筑的过渡段，其长度不小于 8m。

3 水泥混凝土路面与沥青混凝土路面相接时，其间应设置不少于 3m 长的过渡段。过渡段的路面采用两种路面呈阶梯状叠合布置，其下面铺设的变厚度混凝土过渡板的厚度不得小于 200mm。过渡板与混凝土面层相接处的接缝内设置直径 25mm、长 700mm、间距 400mm 的拉杆。混凝土面层毗邻该接缝的 1~2 条横向接缝应设置胀缝。

4 连续配筋混凝土面层与其他类型路面或构造物相连接的端部，应设置锚固结构。端部锚固结构可采用钢筋混凝土地梁或宽翼缘工字钢梁接缝等形式：

1) 钢筋混凝土地梁宜采用 3~5 个，梁宽宜为 400mm~600mm，梁高宜为 1200mm~1500mm，间距宜为 5m~6m；地梁与连续配筋混凝土面层宜连成整体；

2) 宽翼缘工字钢梁的底部应锚入钢筋混凝土枕梁内，枕梁长宜为 3m、厚宜为 200mm；钢梁腹板与连续配筋混凝土面层端部间应填入胀缝材料。

6.7.5 接缝填料应选用与混凝土接缝槽壁粘结力强、回弹性好、适应混凝土板收缩、不溶于水、不渗水、高温时不流淌、低温时不脆裂、耐老化的材料；胀缝接缝板应选

用能适应混凝土板膨胀收缩、施工时不变形、水稳定性好、复原率高和耐久性好的材料，并应经防腐处理。

## 6.8 加铺层结构设计

### 6.8.1 加铺层结构设计应符合下列规定：

- 1 在进行旧混凝土路面加铺层设计之前，应调查下列内容：
  - 1) 道路修建和养护技术资料：路面结构和材料组成、接缝构造及养护历史等；
  - 2) 路面损坏状况：损坏类型、轻重程度、范围及修补措施等；
  - 3) 路面结构强度：路表弯沉、接缝传荷能力、板底脱空状况、面层厚度和混凝土强度等；
  - 4) 已承受的交通荷载及预计的交通需求：交通量、轴载组成及增长率等；
  - 5) 环境条件：沿线气候条件、地下水位以及路基和路面的排水状况等。
- 2 加铺层应根据使用要求及旧混凝土路面的状况，选用分离式或结合式水泥混凝土加铺结构，或沥青混凝土加铺结构，经技术经济比较后选定。
- 3 地表或地下排水不良路段，应采取措施改善或增设地表或地下排水设施；旧混凝土路面结构排水不良路段，应增设路面边缘排水系统。
- 4 加铺层设计应包括施工期间维持通车的设计方案。
- 5 旧混凝土面层损坏状况等级为差时，宜将混凝土板破碎成小于 400mm 的小块，用做新建路面的底基层或垫层，并按新建混凝土路面或沥青路面类型进行设计。

### 6.8.2 路面损坏状况调查评定应符合下列规定：

- 1 旧混凝土路面的损坏状况应采用断板率和平均错台量两项指标评定。
- 2 路面损坏状况分为 4 个等级，各个等级的断板率和平均错台量的标准应按表 6.8.2 分级。

表 6.8.2 路面损坏状况分级标准

等级	优良	中	次	差
断板率(%)	≤5	6~10	11~20	>20
平均错台量(mm)	≤5	6~10	11~15	>15

### 6.8.3 接缝传荷能力与板底脱空状况调查评定应符合下列规定：

- 1 旧混凝土面层板的接缝传荷能力和板底脱空状况应采用弯沉测试法调查评定。弯沉测试宜采用落锤式弯沉仪，也可采用梁式弯沉仪，其支点不得落在弯沉盆内。

2 测定接缝传荷能力的试验荷载应接近于标准轴载的一侧轮载（50kN）。荷载应施加在邻近接缝的路面表面。接缝的传荷系数应按下列式计算：

$$k_j = \frac{w_u}{w_l} \times 100(\%) \quad (6.8.3)$$

式中： $k_j$ ——接缝传荷系数；

$w_u$ ——未受荷板接缝边缘处的弯沉值；

$w_l$ ——受荷板接缝边缘处的弯沉值。

3 旧混凝土面层的接缝传荷能力应按表 6.8.3 分为 4 个等级。

表 6.8.3 接缝传荷能力分级标准

等级	优良	中	次	差
接缝传荷系数 $k_j$ (%)	>80	56~80	31~55	<31

4 板底脱空可根据面层板角隅处的多级荷载弯沉测试结果，并综合考虑唧泥和错台发展程度以及接缝传荷能力进行判别。

**6.8.4** 旧混凝土路面结构参数调查应符合下列规定：

1 旧混凝土面层厚度的标准值可根据钻孔芯样的量测高度按下式计算确定：

$$h_e = \bar{h}_e - 1.04s_h \quad (6.8.4-1)$$

式中： $h_e$ ——旧混凝土面层量测厚度的标准值（mm）；

$\bar{h}_e$ ——旧混凝土面层量测厚度的均值（mm）；

$s_h$ ——旧混凝土面层厚度量测值标准差（mm）。

2 旧混凝土面层弯拉强度的标准值可采用钻孔芯样的劈裂试验测定结果按下列公式计算确定：

$$f_r' = 0.621f_{sp} + 2.64 \quad (6.8.4-2)$$

$$f_{sp} = \bar{f}_{sp} - 1.04s_{sp} \quad (6.8.4-3)$$

式中： $f_r'$ ——旧混凝土弯拉强度标准值（MPa）；

$f_{sp}$ ——旧混凝土劈裂强度标准值（MPa）；

$\bar{f}_{sp}$ ——旧混凝土劈裂强度测定值的均值（MPa）；

$s_{sp}$ ——旧混凝土劈裂强度测定值的标准差（MPa）。

3 旧混凝土的弯拉弹性模量标准值可按下式计算：

$$E_c' = \frac{10^4}{0.0915 + \frac{0.9634}{f_r'}} \quad (6.8.4-4)$$

式中： $E_c'$ ——旧混凝土的弯拉弹性模量标准值（MPa）。

4 旧混凝土路面基层顶面的当量回弹模量标准值，宜采用标准荷载 100kN 和承载板半径 150mm 的落锤式弯沉仪量测板中荷载作用下的弯沉曲线，按下列公式确定：

$$E_t' = 100e^{(3.60+24.03w_0^{-0.057}-15.63SI^{0.222})} \quad (6.8.4-5)$$

$$SI = \frac{w_0 + w_{300} + w_{600} + w_{900}}{w_0} \quad (6.8.4-6)$$

式中： $E_t'$ ——基层顶面的当量回弹模量标准值（MPa）；

$SI$ ——路面结构的荷载扩散系数；

$w_0$ ——荷载中心处弯沉值（ $\mu m$ ）；

$w_{300}$ 、 $w_{600}$ 、 $w_{900}$ ——距离荷载中心 300mm、600mm 和 900mm 处的弯沉值（ $\mu m$ ）。

当采用落锤式弯沉仪的条件受到限制时，可选择在清除断裂混凝土板后的基层顶面进行梁式弯沉测量后按下式反算或根据基层钻芯的材料组成及性能情况依经验确定。

$$E_t = 13739w_0^{-1.04} \quad (6.8.4-7)$$

式中： $w_0$ ——以后轴载 100kN 的车辆进行弯沉测定，经统计整理后得到的旧混凝土路面基层顶面的计算回弹弯沉值(0.01mm)。

### 6.8.5 分离式混凝土加铺层结构设计应符合下列规定：

1 当旧混凝土路面的损坏状况和接缝传荷能力评定等级为中或次，或者新旧混凝土板的平面尺寸不同、接缝形式或位置不对应或路拱横坡不一致时，应采用分离式混凝土加铺层。加铺层铺筑前应更换破碎板，修补裂缝，磨平错台，压浆填封板底脱空，清除夹缝中失效的填缝料和杂物，并重新封缝。

2 在旧混凝土面层与加铺层之间应设置隔离层。隔离层材料可选用沥青混合料、沥青砂或油毡等，不宜选用砂砾或碎石等松散粒料。沥青混合料隔离层的厚度不宜小于 25mm。

3 分离式混凝土加铺层的接缝形式和位置，应按新建混凝土面层的要求布置。

4 加铺层可采用普通混凝土、钢纤维混凝土、钢筋混凝土和连续配筋混凝土。普通混凝土、钢筋混凝土和连续配筋混凝土加铺层的厚度不宜小于 180mm；钢纤维混凝土加铺层的厚度不宜小于 140mm。

5 加铺层和旧混凝土面层应力分析，应按分离式双层板进行，计算方法应符合本规范第 6.5.3、6.5.4 条的规定。旧混凝土板的厚度、混凝土的弯拉强度和弹性模量标准值以及基层顶面当量回弹模量标准值，应采用旧混凝土路面的实测值，并按本规范第 6.8.4 条的规定确定。加铺层混凝土的弯拉强度标准值应符合本规范表 6.2.5 的要求。加铺层的设计厚度，应按加铺层和旧混凝土板的应力分别满足本规范式 (6.2.2) 的要求确定。

#### 6.8.6 结合式混凝土加铺层结构设计应符合下列规定：

1 当旧混凝土路面的损坏状况和接缝传荷能力评定等级为优良，面层板的平面尺寸及接缝布置合理，路拱横坡符合要求时，可采用结合式混凝土加铺层。加铺层铺装前应更换破碎板，修补裂缝，磨平错台，压浆填封板底托空，清除接缝中失效的填缝料和杂物，并重新封缝。

2 应采用铣刨、喷射高压水或钢珠、酸蚀等方法，打毛清理旧混凝土面层表面，应在清理后的表面涂敷粘结剂。

3 加铺层的接缝形式和位置应与旧混凝土面层的接缝完全对齐，加铺层内可不设拉杆或传力杆。加铺层的最小厚度宜为 25mm。

4 加铺层和旧混凝土板的应力分析，应按结合式双层板进行，计算方法应符合本规范第 6.5.3、6.5.4 条的规定。旧混凝土板的厚度、混凝土的弯拉强度和弹性模量标准值以及基层顶面当量回弹模量标准值，应采用旧混凝土路面的实测值，按本规范第 6.8.4 条规定的方法确定。加铺层的设计厚度，应按旧混凝土板的应力满足式 (6.2.2) 的要求确定。

## 7 砌块路面

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 砌块路面设计应包括交通量预测与分析，材料选择，设计参数的测试和确定，路面结构组合设计与厚度计算，路面排水系统设计。

**7.1.2** 砌块路面表面应平整、防滑、稳固、无翘动，缝线直顺、灌缝饱满，无反坡积水现象。

**7.1.3** 砌块路面应按车行道和人行道的不同使用要求进行设计，并应符合下列规定：

- 1 人行道荷载应按人群荷载 5kPa 或 1.5kN 的竖向集中力作用在一块砌块上，分别计算，取其不利者。
- 2 车行道荷载应以标准轴载 BZZ-100 控制。
- 3 机动车停车场可分别按停车泊位区和行车道进行设计，泊位区宜采用绿植与透水设计。
- 4 自行车停车场应按人群荷载进行设计，宜采用绿植与透水路面设计。

### 7.2 砌块材料技术要求

**7.2.1** 砌块路面根据材料类型可分为混凝土预制砌块路面和天然石材路面，混凝土预制砌块可分为普通型与联锁型。砌块材料的尺寸与外观应符合下列规定：

- 1 天然石材的尺寸允许偏差应符合表 7.2.1-1 的规定。

表 7.2.1-1 天然石材尺寸允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	
	粗面材	细面材
长、宽	0	0
	-2	-1.5
厚(高)	+1	±1
	-3	
对角线	±2	±2
平面度	±1	±0.7

- 2 天然石材的外观质量应符合表 7.2.1-2 的规定。

表 7.2.1-2 天然石材尺寸外观质量

项目	单位	允许值	备注
缺棱	个	1	面积不超过 5mm×10mm，每块板材
缺角	个		面积不超过 2mm×2mm，每块板材
色斑	个		面积不超过 15mm×15mm，每块板材
裂纹	个	1	长度不超过两端顺延至板边总长度的 1/10（长度小于 20mm 不计）每块板
坑窝	-	不明显	粗面板材的正面出现坑窝

3 混凝土预制砌块尺寸与外观质量允许偏差应符合表 7.2.1-3 的规定。

表 7.2.1-3 混凝土预制砌块尺寸与外观质量允许偏差

项目		单位	允许偏差
长度、宽度		mm	±2
厚度			±3
厚度差			≤3
平整度			≤2
垂直度			≤2
正面粘皮及缺损的最大投影尺寸			≤5
缺棱掉角的最大投影尺寸			≤10
裂纹	非贯穿裂纹最大投影尺寸		≤10
	贯穿裂纹	不允许	
分层		—	不允许
色差、杂色		—	不明显

7.2.2 砌块材料的力学性能应符合下列规定：

1 石材砌块的饱和极限抗压强度不应小于 120MPa，饱和抗折强度不应小于 9MPa。

2 普通型混凝土砌块的强度应符合表 7.2.2-1 的规定。当砌块边长与厚度比小于 5 时应以抗压强度控制，边长与厚度比不小于 5 时应以抗折强度控制。

表 7.2.2-1 普通型混凝土砌块的强度

道路类型	抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)	
	平均最小值	单块最小值	平均最小值	单块最小值
支路、广场、停车场	40	35	4.5	3.7
人行道、步行街	30	25	4.0	3.2

3 联锁型混凝土砌块的强度应符合表 7.2.2-2 的规定。

表 7.2.2-2 联锁型混凝土砌块的强度

道路类型	抗压强度 (MPa)	
	平均最小值	单块最小值
支路、广场、停车场	50	42
人行道、步行街	40	35

7.2.3 砌块材料的物理性能应符合下列规定：

1 石材砌块材料的物理性能应符合 7.2.3-1 的规定。

表 7.2.3-1 石材砌块材料的物理性能要求

项目	单位	物理性能要求
体积密度	g/cm <sup>3</sup>	≥2.5
吸水率	%	<1
抗冻性	—	冻融循环 50 次, 无明显损伤 (裂纹、脱皮)
磨耗率 (狄法尔法)	%	<4
坚固性 (硫酸钠侵蚀)	%	质量损失≤15
硬度 (莫氏)	—	≥7.0
孔隙率	%	<3

2 混凝土砌块材料物理性能应符合表 7.2.3-2 的规定。

表 7.2.3-2 混凝土砌块材料物理性能

项目	单位	物理性能要求
吸水率	%	≤8
磨坑长度	mm	≤35
抗冻性	—	经 25 次冻融试验的外观质量符合表 7.2.1-3 的规定; 强度损失不得大于 20%。

## 7.3 结构层与结构组合

**7.3.1** 砌块路面结构应包括面层、基层和垫层。

**7.3.2** 基层和垫层材料、厚度和设计应满足本规范第 4 章的相关规定。

**7.3.3** 砌块路面面层包括砌块、填缝材料和整平层材料。

**7.3.4** 采用砌块铺装车行道、广场、停车场时宜采用连锁型混凝土砌块, 连锁型混凝土砌块可包括四面嵌锁和两面嵌锁的长条形状, 最小宽度不应小于 80mm, 最大宽度不应大于 120mm, 长宽比宜为 1.5~2.3。连锁型混凝土砌块最小厚度宜符合表 7.3.4 的规定。

表 7.3.4 连锁型混凝土砌块最小厚度

道路类型	最小厚度(mm)
大型停车场	100
支路、广场、停车场	80
人行道、步行街	60

**7.3.5** 人行道和步行街宜采用普通型混凝土砌块, 普通型混凝土砌块的最小厚度应符合表 7.3.5 的规定。

表 7.3.5 普通型混凝土砌块最小厚度

道路类型	常用尺寸(mm)			
	250×250	300×300	100×200	200×300
支路、广场、停车场	100	120	80	100
人行道、步行街	50	60	50	60

**7.3.6** 石材砌块的适用性及其最后厚度应符合表 7.3.6 的规定。

表 7.3.6 石材砌块适用性及最小厚度

道路类型	常用尺寸(mm)					
	100×100	300×300	400×400 300×500	500×500 400×600	600×600 400×800	500×1000 600×800
支路、广场、停车场	80	100	100	140	140	140
人行道、步行街	50	60	60	80	—	—

**7.3.7** 砌块面层与基层之间应设置整平层，整平层可采用粗砂，厚度宜为 30mm ~ 50mm。

**7.3.8** 砌块路面面层接缝应符合下列规定：

- 1 普通型混凝土砌块接缝缝宽不应大于 5mm，应采用水泥砂灌实。
- 2 联锁型混凝土砌块接缝缝宽不应大于 5mm，应用粗砂灌实。
- 3 石材砌块路面接缝缝宽不应大于 5mm，应采用水泥砂灌实。有特殊防水要求时，缝下部应用水泥砂灌实，上部应用防水材料灌缝。当缝宽小于 2mm 时，可不进行灌缝。
- 4 砌块路面面层勾缝时，应设置胀缝，胀缝间距宜为 20m~50m，接缝填料同水泥混凝土路面。

## 7.4 结构层计算

**7.4.1** 砌块路面的结构计算可采用等效厚度法，应根据基层材料的不同按沥青路面或水泥路面设计方法进行修正后计算。

**7.4.2** 对半刚性基层和柔性基层的砌块路面，应采用沥青路面设计方法，以设计弯沉值为路面整体强度的设计指标，并应核算基层底的弯拉应力。对反复荷载应考虑疲劳应力，对静止荷载应考虑容许应力。在确定沥青混凝土层厚度后，应按下式计算确定：

$$h_s = h_1 \times a \quad (7.4.2)$$

式中： $h_s$ ——砌块路面块体厚度（mm）；

$h_1$ ——沥青混凝土面层厚度（mm）；

$a$ ——换算系数可取 0.7~0.9，道路等级较高、交通量较大、砌块面积尺寸较大时取高值，砌块抗压强度较高、砌块面积尺寸较小时取低值。

**7.4.3** 对水泥混凝土基层的砌块路面，应按水泥混凝土路面设计方法，在确定水泥混凝土板厚度后，应按下式计算：

$$h_s = h_h \times b \quad (7.4.3)$$

式中： $h_s$ ——砌块路面块体厚度（mm）；

$h_h$ ——水泥混凝土板厚度（mm）；

$b$ ——换算系数可取 0.50~0.65，采用的砌块面积尺寸较小时取低值，采用的砌块面积尺寸较大时取高值。

## 8 其它路面

### 8.1 透水人行道

**8.1.1** 透水人行道下的土基应具有一定的渗透性能，土壤渗透系数不应小于  $1.0 \times 10^{-3}$  mm/s，且渗透面距离地下水位应大于 1.0m；在渗透系数小于  $1.0 \times 10^{-5}$  mm/s 或膨胀土等不良土基、水源保护区，不宜修建透水人行道。

**8.1.2** 面层结构有效孔隙率不应小于 15%，渗透系数不应小于 0.1 mm/s。

**8.1.3** 整平层可采用干砂或透水干硬性水泥稳定中、粗砂，厚度宜为 30mm~50mm。

**8.1.4** 基层应选用具有足够的强度、透水性能良好、水稳定性好的材料，宜采用级配碎石、透水水泥混凝土、透水水泥稳定碎石等材料，基层厚度宜为 150mm~300mm。

### 8.2 桥面铺装

**8.2.1** 桥面铺装的结构型式宜与所在位置的道路路面相协调，特大桥、大桥的桥面铺装宜采用沥青混凝土桥面铺装，桥面铺装应有完善的桥面防水、排水系统。

**8.2.2** 桥面铺装应符合下列规定：

1 桥面沥青混凝土铺装结构，应由防水粘结层和沥青面层组成。

2 城市快速路、主干路上桥梁的沥青混合料桥面铺装厚度宜为 80mm~100mm，次干路、支路上桥梁的沥青混合料桥面铺装厚度宜为 50mm~90mm，且沥青表面层厚度不应小于 30mm。当桥面铺装为单层时，厚度不宜小于 50mm。

3 桥面水泥混凝土铺装（不含整平层和垫层）的厚度不宜小于 80mm，混凝土强度等级不应低于 C40，铺装面层内应配置钢筋网，钢筋直径不应小于 8mm，间距不宜大于 100mm。

4 当水泥混凝土桥面采用沥青面层时，桥面板应符合下列规定：

1) 混凝土桥面板应平整、粗糙、干燥整洁，不得有浮浆、尘土、水迹、杂物或油污等。对城市快速路、城市主干路的桥面宜进行精铣刨或者喷砂打毛处理，特大桥、重要大桥桥面宜进行精细刨处理。

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

5 对于特大桥、大桥、正交异性板钢桥面沥青混凝土铺装结构应根据桥梁的纵面线形、桥梁结构受力状态、桥面系的实际情况、当地气象与环境条件、铺装材料的性能综合研究选用。

### 8.3 隧道路面铺装

**8.3.1** 隧道路面铺装可采用水泥混凝土路面或沥青路面。

**8.3.2** 当隧道采用水泥混凝土路面时，厚度不宜低于 200mm，结构变形缝处路面应设置横向缩缝或胀缝，在隧道口处应设置胀缝。

**8.3.3** 当隧道路面采用沥青路面时，沥青面层应具有与水泥混凝土面板粘结牢固、防水渗入、抗滑耐磨、抗剥离的良好性能；沥青混凝土路面厚度宜为 80mm~100mm，沥青混凝土面层下应设置粘结层。宜采用阻燃温拌型沥青混合料。

## 9 路面排水

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 路面排水应接入城镇排水系统。在城镇排水系统未建立时，应按临时排水设计。

**9.1.2** 应根据道路所在区域和道路等级，结合路基、桥涵结构物进行排水设计，合理选择排水方案，布置排水设施，形成完整、畅通的排水体系。

**9.1.3** 路面雨水管渠暴雨强度设计重现期应符合表 9.1.3 的规定。

表 9.1.3 城市道路排水设计重现期

城市级别	道路等级					
	快速路	主干路	次干路	支路	广场、停车场	立体交叉
大城市设计重现期（年）	2~5	1~3	0.5~2	0.5~1	1~3	3~5
中、小城市设计重现期（年）		0.5~2	0.5~1	0.33~0.5	1~3	

### 9.2 路面排水设计

**9.2.1** 路面排水设计应符合下列规定：

1 路面排水设计包括路表、分隔带及路面结构内部排水。路面排水设施有：雨水口、排水管渠、检查井、边沟、蓄水池、涵洞、出水口等。

2 路面应设置双向或单向横坡，坡度宜为 1.0%~2.0%。

**9.2.2** 路面排水采用管道或边沟形式。路面排水应综合两侧建筑物散水或街坊排水，并应处理好与城市防洪的关系。

**9.2.3** 道路排水管道的设置应符合下列规定：

1 排水干管不应埋设在快速路范围内。

2 对地基松软和不均匀沉降地段，管道基础应采取加固措施。

3 隧道口应有防止路面雨水流入隧道的工程措施。隧道内宜设置渗漏水的排出设施。

**9.2.4** 雨水口的设置应符合下列规定：

1 道路汇水点、人行横道上游、沿街单位出入口上游、街坊或庭院的出入口等处均应设置雨水口。道路低洼和易积水地段应根据需要适当增加雨水口。人行道与车行道之间有连续绿化带时，人行道内侧宜增设雨水口。

2 雨水口型式分为平篦式、立篦式等，平篦式雨水口分为有缘石平篦式和地面平篦式。有缘石平篦式雨水口用于有缘石的道路。地面平篦式可用于无缘石的路面、广场、地面低洼聚水处等。立篦式雨水口可用于有缘石的道路。

3 平篦式雨水口的篦面应低于附近路面10mm~20mm；立篦式雨水口进水孔底面应低于附近路面10mm。

4 雨水口的间距宜为25m~50m。

5 雨水口的泄水能力应经计算确定。

**9.2.5 锯齿形偏沟设计应符合下列规定：**

1 当道路边缘线纵坡度小于0.3%时，可在道路两侧车行道边缘0.3m宽度范围内设锯齿形偏沟。锯齿形偏沟的缘石外露高度，在雨水口处宜为180mm~200mm，在分水点处宜为100mm~120mm，雨水口处与分水点处的缘石高差宜控制在60mm~100mm范围内。

2 缘石顶面纵坡宜与道路中心线纵坡平行。锯齿型偏沟的沟底纵坡可通过边沟范围内的道路横坡变化调整。条件困难时，可调整缘石顶面纵坡度。

3 锯齿形偏沟的分水点和雨水口应按式9.2.5-1与式9.2.5-2计算确定。

$$S = (h_c - h_w) / (j_c - j) \tag{9.2.5-1}$$

$$S_c - S = (h_c - h_w) / (j + j'_c) \tag{9.2.5-2}$$

式中： $S_c$ ——相邻雨水口的间距（mm）；

$S$ 、 $S_c - S$ ——分水点至雨水口的距离（mm）；

$j$ ——道路中心线纵坡度；

$j_c$ —— $s$ 段偏沟底的纵坡度；

$j'_c$ —— $S_c - S$ 偏沟底的纵坡度；

$h_c$ ——雨水口处缘石外露高度（mm）；

$h_w$ ——分水点处缘石外露高度（mm）。

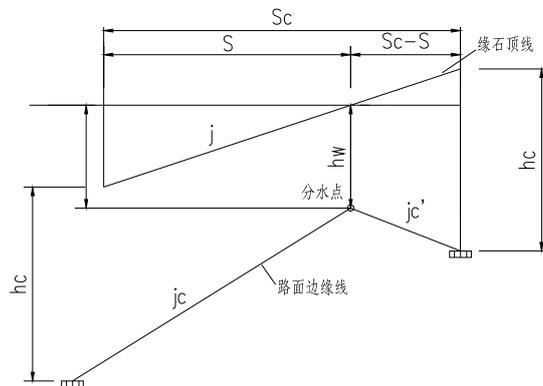


图 9.2.5 锯齿形偏沟计算图式

### 9.3.路面内部排水

**9.3.1** 对年降水量为600mm以上，路基土渗透系数小于 $10^{-4}$ mm/s的地区的快速路、主干路，宜设置路面内部排水系统。

**9.3.2** 当车行道路面结构设置透水性排水基层或垫层时，应在排水基层或垫层外侧边缘人行道下设置纵向集水沟、带孔集水管以及横向出水管等，并沿纵向间隔一定距离将水引入市政排水总管、渠。

**9.3.3** 路面内部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组成。各个组成部分应符合下列规定：

1 纵向排水管的管径应按设计流量由水力计算确定，宜在70mm~150mm范围内选用。排水管的埋设深度，应保证不被车辆或施工机械压裂，并应超过当地的冰冻深度。在非冰冻地区，新建路面时，排水管的管底宜与基层底面齐平；改建路面时，管中心应低于基层顶面。排水管的纵向坡度宜与路线纵坡相同，并不得小于0.25%。

2 横向出水管管径间距和安设位置应由水力计算并考虑邻近地面高程和道路纵横断面情况确定。出水管的横向坡度不宜小于5%。

3 集水沟底面的最小宽度，对新建路面，不应小于300mm；对改建路面，应保证排水管两侧各有至少50mm宽的透水填料。

**9.3.4** 带孔集水管的孔径宜采用100mm~150mm。集水沟的宽度宜采用300mm。集水沟的深度应能保证集水管管顶低于排水层底面，并应有足够厚度的回填料使集水管不被施工机械压裂。沟内回填料宜采用与排水基层或垫层相同的透水性材料，或不含细料的碎石或砾石粒料。回填料与沟壁间应铺设无纺反滤织物。

**9.3.5** 集水沟和集水管的纵坡宜与路线纵坡相同，并不得小于0.25%。

**9.3.6** 排水基层应符合下列规定：

1 所用集料应选用洁净、坚硬而耐久的碎石，快速路、主干路压碎值不应大于26%，其它等级道路压碎值不应大于30%。最大粒径可为19mm或26.5mm，并不得超过层厚的1/3。4.75mm粒径以下细料的含量不应大于10%。集料级配应满足渗透系数不得小于300m/d的透水性要求。

2 骨架空隙型水泥处治碎石的7d浸水抗压强度不得低于3MPa~4MPa；开级配沥青碎石的沥青用量约为集料质量的2.5%~4.5%。

3 排水基层的厚度应按所需排放的水量和基层材料的渗透系数通过水力计算确定，宜为100mm~150mm，其最小厚度对于沥青稳定碎石不得小于60mm，对于水泥稳定碎石不得小于100mm。其宽度应超出面层宽度300mm~900mm。

**9.3.7** 纵向集水沟可设在面层边缘外侧，集水沟中的填料应与排水基层相同。集水沟的下部应设置带槽口或圆孔的纵向排水管，并应间隔适当距离设置不带槽孔的横向出水管。

**9.3.8** 排水基层的下卧层应选用不透水的密级配混合料。

**9.3.9** 排水垫层可直接设置在路基顶面，并应配置纵向集水沟、排水管和出水管。排水垫层应选用砂或砂砾石等集料组成开级配混合料，其级配应符合下列规定：

- 1 当垫层用集料在通过率为15%时，粒径不应小于路基土在通过率为15%时的粒径的5倍；
- 2 当垫层用集料在通过率为15%时，粒径不应大于路基土在通过率为85%时的粒径的5倍；
- 3 当垫层用集料在通过率为50%时，粒径不应大于路基土在通过率为50%时的粒径的25倍；
- 4 垫层集料的不均匀系数不应大于20。

## 9.4 分隔带排水

**9.4.1** 当分隔带内设置纵向排水渗沟时，应间隔40m~80m设置横向排水管，渗沟周围应包裹土工布等反滤织物。渗沟上的回填料与路面结构的交界处应铺设防水土工布。

**9.4.2** 当分隔带封闭后，可不设内部排水系统。

## 9.5 交叉口范围路面排水

**9.5.1** 平面交叉口应按竖向设计布设雨水口，并应采取措施防止路段的雨水流入交叉口。

**9.5.2** 立体交叉范围的路面排水应符合下列规定：

- 1 当纵坡大于2%时，应在最低点集中收水，雨水口数量应按立体交叉范围内的设计流量计算确定。
- 2 下穿式立体交叉引路两端纵坡的起点处，应设倒坡，并在道路两侧采取截水措施。

## 9.6 桥面排水

**9.6.1** 桥面水应通过横坡和纵坡排入泄水口，并应汇集到竖向排水管排出。

**9.6.2** 桥面宜在桥面铺装边缘设置渗沟，渗沟与泄水口相接。

## 附录A 沥青路面使用性能气候分区

**A.0.1** 按照设计高温分区指标，一级区划分为 3 个区，应符合表 A.0.1 的划分。

表 A.0.1 按照设计高温分区

高温气候区	1	2	3
气候区名称	夏炎热区	夏热区	夏凉区
最热月平均最高气温(°C)	>30	20~30	<20

**A.0.2** 按照设计低温分区指标，二级区划分为 4 个区，应符合表 A.0.2 的划分。

表 A.0.2 按照设计低温分区

低温气候区	1	2	3	4
气候区名称	1. 冬严寒区	2. 冬寒区	3. 冬冷区	4. 冬温区
极端最低气温(°C)	<-37.0	-37.0~-21.5	-21.5~-9.0	>-9.0

**A.0.3** 按照设计雨量分区指标，三级区划分为 4 个区，应符合表 A.0.3 的划分。

表 A.0.3 按照设计雨量分区

雨量气候区	1	2	3	4
气候区名称	1. 潮湿区	2. 湿润区	3. 半干区	4. 干旱区
年降雨量(mm)	>1000	1000~500	500~250	<250

**A.0.4** 沥青路面温度分区由高温和低温组合而成，应符合表 A.0.4 的划分。第一个数字代表高温分区，第二个数字代表低温分区，数字越小表示气候因素越严重。

表 A.0.4 沥青路面温度分区

气候区名		最热月平均最高气温(°C)	年极端最低气温(°C)	备注
1-1	夏炎热冬严寒	>30	<-37.0	
1-2	夏炎热冬寒		-37.0~-21.5	
1-3	夏炎热冬冷		-21.5~-9.0	
1-4	夏炎热冬温		>-9.0	
2-1	夏热冬严寒	20~30	<-37.0	
2-2	夏热冬寒		-37.0~-21.5	
2-3	夏热冬冷		-21.5~-9.0	
2-4	夏热冬温		>-9.0	
3-1	夏凉冬严寒	<20	<-37.0	
3-2	夏凉冬寒		-37.0~-21.5	
3-3	夏凉冬冷		-21.5~-9.0	
3-4	夏凉冬温		>-9.0	

**A.0.5** 由温度和雨量组成的气候分区应符合表 A.0.5 的划分。

表 A.0.5 沥青及沥青混合料气候分区指标

气候区名		温度(°C)		雨量(mm)
		最热月平均最高气温(°C)	年极端最低气温(°C)	年降雨量(mm)
1-1-4	夏炎热冬严寒干旱	>30	<-37.0	<250
1-2-2	夏炎热冬寒湿润	>30	-37.0~-21.5	500~1000
1-2-3	夏炎热冬寒半干	>30	-37.0~-21.5	250~500
1-2-4	夏炎热冬寒干旱	>30	-37.0~-21.5	<250
1-3-1	夏炎热冬冷潮湿	>30	-21.5~-9.0	>1000
1-3-2	夏炎热冬冷湿润	>30	-21.5~-9.0	500~1000
1-3-3	夏炎热冬冷半干	>30	-21.5~-9.0	250~500
1-3-4	夏炎热冬冷干旱	>30	-21.5~-9.0	<250
1-4-1	夏炎热冬温潮湿	>30	>-9.0	>1000
1-4-2	夏炎热冬温湿润	>30	>-9.0	500~1000
2-1-2	夏热冬严寒湿润	20~30	<-37.0	500~1000
2-1-3	夏热冬严寒半干	20~30	<-37.0	250~500
2-1-4	夏热冬严寒干旱	20~30	<-37.0	<250
2-2-1	夏热冬寒潮湿	20~30	-37.0~-21.5	>1000
2-2-2	夏热冬寒湿润	20~30	-37.0~-21.5	500~1000
2-2-3	夏热冬寒半干	20~30	-37.0~-21.5	250~500
2-2-4	夏热冬寒干旱	20~30	-37.0~-21.5	<250
2-3-1	夏热冬冷潮湿	20~30	-21.5~-9.0	>1000
2-3-2	夏热冬冷湿润	20~30	-21.5~-9.0	500~1000
2-3-3	夏热冬冷半干	20~30	-21.5~-9.0	250~500
2-3-4	夏热冬冷干旱	20~30	-21.5~-9.0	<250
2-4-1	夏热冬温潮湿	20~30	>-9.0	>1000
2-4-2	夏热冬温湿润	20~30	>-9.0	500~1000
2-4-3	夏热冬温半干	20~30	>-9.0	250~500
3-2-1	夏凉冬寒潮湿	<20	-37.0~-21.5	>1000
3-2-2	夏凉冬寒湿润	<20	-37.0~-21.5	500~1000

## 附录B 沥青混合料级配组成、沥青表面处治材料规格和用量

表 B.1 各种沥青混合料的矿料级配范围

级配类型		通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)												
		31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
密级配 沥青混 凝土	AC-25	100	90~100	75~90	65~83	57~76	45~65	24~52	16~42	12~33	8~24	5~17	4~13	3~7
	AC-20		100	90~100	78~92	62~80	50~72	26~56	16~44	12~33	8~24	5~17	4~13	3~7
	AC-16			100	90~100	76~92	60~80	34~62	20~48	13~36	9~26	7~18	5~14	4~8
	AC-13				100	90~100	68~85	38~68	24~50	15~38	10~28	7~20	5~15	4~8
	AC-10					100	90~100	45~75	30~58	20~44	13~32	9~23	6~16	4~8
AC-5						100	90~100	55~75	35~55	20~40	12~28	7~18	5~10	
沥青玛 蹄脂碎 石	SMA-20		100	90~100	72~92	62~82	40~55	18~30	13~22	12~20	10~16	9~14	8~13	8~12
	SMA-16			100	90~100	65~85	45~65	20~32	15~24	14~22	12~18	10~15	9~14	8~12
	SMA-13				100	90~100	50~75	20~34	15~26	14~24	12~20	10~16	9~15	8~12
	SMA-10					100	90~100	28~60	20~32	14~26	12~22	10~18	9~16	8~13
开级配 磨耗层	OGFC-16			100	90~100	70~90	45~70	12~30	10~22	6~18	4~15	3~12	3~8	2~6
	OGFC-13				100	90~100	60~80	12~30	10~22	6~18	4~15	3~12	3~8	2~6
	OGFC-10					100	90~100	50~70	10~22	6~18	4~15	3~12	3~8	2~6

表 B.2 沥青表面处治材料规格和用量

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	5	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 4~6 S14 3.5~5.5	2.0~2.2	1.8~2.0	1.0~1.2	4.8~5.4

注：1 表中的乳液用量按乳化沥青的蒸发残留物含量 60%计算，如沥青含量不同应予折算；  
2 在高寒地区及干旱风沙大的地区，沥青用量可超出高限 5%~10%。

表 B.3 微表处混合料与稀浆封层混合料的矿料级配范围

筛孔尺寸 (mm)	不同类型通过各筛孔的百分率(%)				
	微表处		稀浆封层		
	MS-2 型	MS-3 型	ES-1 型	ES-2 型	ES-3 型
9.5	100	100	—	100	100
4.75	95~100	70~90	100	95~100	70~90
2.36	65~90	45~70	90~100	65~90	45~70
1.18	45~70	28~50	60~90	45~70	28~50
0.6	30~50	19~34	40~65	30~50	19~34
0.3	18~30	12~25	25~42	18~30	12~25
0.15	10~21	7~18	15~30	10~21	7~18
0.075	5~15	5~15	10~20	5~15	5~15

表 B.4 沥青混合料用粗集料规格

规格名称	公称粒径 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)												
		106	75	63	53	37.5	31.5	26.5	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6
S1	40~75	100	90~100	—	—	0~15	—	0~5						
S2	40~60		100	90~100	—	0~15	—	0~5						
S3	30~60		100	90~100	—	—	0~15	—	0~5					
S4	25~50			100	90~100	—	—	0~15	—	0~5				
S5	20~40				100	90~100	—	—	0~15	—	0~5			
S6	15~30					100	90~100	—	—	0~15	—	0~5		
S7	10~30					100	90~100	—	—	—	0~15	0~5		
S8	10~25						100	90~100	—	0~15	—	0~5		
S9	10~20							100	90~100	—	0~15	0~5		
S10	10~15								100	90~100	0~15	0~5		
S11	5~15								100	90~100	40~70	0~15	0~5	
S12	5~10									100	90~100	0~15	0~5	
S13	3~10										100	90~100	40~70	0~20
S14	3~5											100	90~100	0~15

表 B.5 沥青混合料用细集料规格

规格	公称粒径 (mm)	水洗法通过各筛孔的质量百分率(%)							
		9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
S15	0~5	100	90~100	60~90	40~75	20~55	7~40	2~20	0~10
S16	0~3	—	100	80~100	50~80	25~60	8~45	0~25	0~15

## 附录C 沥青路面设计参数参考值

表 C.1 沥青混合料设计参数

材料名称		抗压模量 (MPa)			15℃劈裂强度 (MPa)	60℃剪切强度 (MPa)	备注
		20℃	15℃	60℃			
细粒式沥青混凝土	密级配	1200~1600	1800~2200	240~320	1.2~1.6	0.4~0.8 <sup>1</sup>	AC-10, AC-13
	开级配	700~1000	1000~1400	140~200	0.6~1.0	0.3~0.5	OGFC
沥青玛蹄脂碎石		1200~1600	1600~2000	240~320	1.4~1.9	0.8~1.1	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
沥青碎石基层	密级配	1000~1400	1200~1600	—	0.6~1.0	—	ATB-25, ATB-35
	半开级配	600~800	—	—	—	—	AM-25, AM-40
沥青贯入式		400~800	—	—	—	—	—

注：对于密级配细粒式沥青混凝土，采用普通沥青时其 60℃抗剪强度在 0.4MPa~0.6MPa 之间；采用改性沥青时其 60℃抗剪强度在 0.6MPa~0.8MPa 之间。

表 C.2 基层和垫层材料设计参数

材料名称	配合比或规格要求	抗压回弹模量 E (MPa) (弯沉计算用)	抗压模量 E (MPa) (拉应力、剪应力计算用)	劈裂强度 (MPa)
水泥砂砾	4%~6%	1100~1500	3000~4200	0.4~0.6
水泥碎石	4%~6%	1300~1700	3000~4200	0.4~0.6
二灰砂砾	7: 13: 80	1100~1500	3000~4200	0.6~0.8
二灰碎石	8: 17: 75	1300~1700	3000~4200	0.5~0.8
石灰水泥粉煤灰砂砾	6: 3: 16: 75	1200~1600	2700~3700	0.4~0.55
水泥粉煤灰碎石	4: 16: 80	1300~1700	2400~3000	0.4~0.55
石灰土碎石	粒料>60%	700~1100	1600~2400	0.3~0.4
碎石灰土	粒料>40%~50%	600~900	1200~1800	0.25~0.35
水泥石灰砂砾土	4: 3: 25: 68	800~1200	1500~2200	0.3~0.4
二灰土	10: 30: 60	600~900	2000~2800	0.2~0.3
石灰土	8%~12%	400~700	1200~1800	0.2~0.25
石灰土处理路基	4%~7%	200~350	—	—
级配碎石	基层连续级配型	300~350	—	—
	基层骨架密实型	300~500	—	—
	下基层、垫层	200~250	—	—
填隙碎石	下基层	200~280	—	—
未筛分碎石	下基层	180~220	—	—
级配砂砾、天然砂砾	基层	150~200	—	—
中粗砂	垫层	80~100	—	—

表 C.3 柔性基层沥青路面材料设计参数

材料名称	20℃动态回弹模量 (MPa) (沥青层层底拉应变计算用)		备注
	范围	代表值	
密级配细粒式沥青混凝土	7000~11000	9000	AC-10, AC-13
中粒式沥青混凝土	7000~12000	9000	AC-16, AC-20
密级配粗粒式沥青混凝土	8000~12000	10000	AC-25
沥青玛蹄脂碎石	6000~9000	7500	SMA
密级配沥青碎石基层	8000~12000	10000	ATB-25
贫混凝土	10000~17000	14000	
水泥稳定碎石	5000~10000	7000	
开级配水泥稳定碎石	—	5000	
水泥稳定土	350~7000	3500	
石灰、水泥与粉煤灰综合稳定类	3500~14000	10000	
石灰稳定土	200~400	300	

表 C.4 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D 水泥路面设计参数参考值

表 D.1 中湿路基路床顶面回弹模量经验参考值范围(MPa)

土 组	道路自然区划				
	II	III	IV	V	VI
土质砂	26~42	40~50	39~50	35~60	50~60
粘质土	25~45	30~40	25~45	30~45	30~45
粉质土	22~46	32~54	30~50	27~43	30~45

表 D.2 垫层和基层材料回弹模量经验参考值范围

材料类型	回弹模量(MPa)	材料类型	回弹模量(MPa)
中、粗砂	80~100	石灰粉煤灰稳定粒料	1300~1700
天然砂砾	150~200	水泥稳定粒料	1300~1700
未筛分碎石	180~220	沥青碎石(粗粒式, 20℃)	600~800
级配碎砾石(垫层)	200~250	沥青混凝土(粗粒式, 20℃)	800~1200
级配碎砾石(基层)	250~350	沥青混凝土(中粒式, 20℃)	1000~1400
石灰土	200~700	多孔隙水泥碎石(水泥剂量 9.5%~11%)	1300~1700
石灰粉煤灰土	600~900	多孔隙沥青碎石(20℃, 沥青含量 2.5%~3.5%)	600~800

表 D.3 水泥混凝土弯拉弹性模量经验参考值

弯拉强度(MPa)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
抗压强度(MPa)	5.0	7.7	11.0	14.9	19.3
弯拉弹性模量(GPa)	10	15	18	21	23
弯拉强度(MPa)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
抗压强度(MPa)	24.2	29.7	35.8	41.8	48.4
弯拉弹性模量(GPa)	25	27	29	31	33

## 附录E 沥青混合料单轴贯入抗剪强度试验方法

**E.0.1** 本试验方法适用于利用单轴贯入试验仪在规定的温度和加载条件下测定沥青混合料的抗剪强度。非经注明，单轴贯入抗剪强度的试验温度为 60℃。试验采用直径 100mm±2mm、高 100mm±2mm 的沥青混合料圆柱体试件，集料的公称最大粒径不大于 16mm。

**E.0.2** 仪器设备应符合下列规定：

1 万能材料试验机，其他可施加荷载并测试变形的路面材料试验设备也可使用，应满足下列条件：

1) 最大荷载应满足不超过其量程的 80%，且不小于量程的 20%要求，宜采用 5kN。

2) 具有环境保温箱，温控准确度 0.5℃。

3) 能符合加载速率 1mm/min 的要求。试验机宜有伺服系统，在加载过程中，速度基本保持不变。

4) 试验进行过程中可记录加载力和位移。

2 贯入杆，端面直径 28.5mm、长 50mm 的金属柱。

3 烘箱。

**E.0.3** 试验方法应符合下列规定：

1 用旋转压实或静压法成型混合料试件，试件尺寸应符合直径 100mm±2mm，高 100mm±2mm 的要求，并在报告中注明试件成型方法，试件的密度应符合马歇尔标准密度的 100%±1%。

2 试件成型后，不等完全冷却后即可脱模，用卡尺量取试件的高度，若最高部位与最低部位的高度差超过 2mm 时，试件应作废。用于单轴贯入抗剪切强度试验的试件不少于 3 个。

3 按相关试验方法测定试件的密度、空隙率等各项相关物理指标。

4 将试件在 60℃ 的烘箱中保温 6h。

5 使试验机环境保温箱温度达到试验温度。

**E.0.4** 将试件从烘箱中取出，立即置于压力机试验台座上，以 1mm/min 的加载速率均匀加载直至破坏，读取荷载峰值，准确至 0.1kN。

**E.0.5** 沥青混凝土的单轴贯入剪切试验强度应按下列式计算：

$$\tau_s = 0.327 \times 0.8 \times \frac{P}{A} \quad (\text{E.0.5})$$

式中： $\tau_s$ ——试件单轴贯入剪切试验强度（MPa）；

$P$ ——试件破坏时的最大荷载（N）；

$A$ ——贯入杆的截面积（mm<sup>2</sup>）。

**E.0.6** 当一组测定值中某个测定值和平均值之差大于标准差的  $k$  倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试验试件数目分别为 3、4、5、6 时， $k$  值可分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

## 附录F 沥青混合料单轴压缩动态回弹模量试验方法

**F.0.1** 本方法适用于测定沥青混合料在线弹性范围内的单轴压缩动态回弹模量。在无侧限条件下，按一定的温度和加载频率对测试试件施加偏移正弦波（波形与正弦波相同，仅数值全在压力轴一侧）或半正矢波轴向压应力，量测试件可恢复的轴向应变。测试要求为：试验温度为 20℃。加载频率为 10Hz。试验采用直径为 100mm±2mm，高为 200mm±2.5mm 的沥青混合料圆柱体试件，集料的公称最大粒径不大于 37.5mm。

**F.0.2** 仪器与材料应符合下列规定：

1 材料试验机：能施加偏移正弦波或半正矢波形式荷载的加载设备，施加荷载的频率在 0.1~25Hz 范围，且施加的最大应力水平能达到 2800kPa。加载分辨率应达到 5N。

2 环境箱，控温准确度为±0.5℃。

3 数据测量及采集系统：采用微机控制，能测量并记录试件在每个加载循环中所承受的轴向荷载和产生的轴向变形。荷载传感器所需最小量程为 0~25KN，分辨率不大于 5N，误差不大于 1%；位移传感器可采用 LVDT 或其它合适的设备，具有良好的动态响应特性，其量程应大于 1mm，分辨率不大于 0.2μm，误差不大于 2.5μm。

**F.0.3** 试验准备工作应符合下列规定：

1 采用旋转压实法成型沥青混合料试件，试件尺寸应符合直径 100mm±2mm，高 150mm±2mm 的要求，试件的密度应符合马歇尔标准密度的 100%±1%。

2 试件最高部位与最低部位的高度差不应超过 2mm，一组试件不应少于 4 个。

3 按相关试验方法测定试件的密度、空隙率等各项相关物理指标。

**F.0.4** 试验步骤应符合下列规定：

1 将位移传感器安置于试件侧面中部，使其与试件端面垂直，沿圆周等间距安放 3 个（即每 2 个相距 120°）。调节位移传感器，使其测量范围可以测量试件中部的压缩变形。

2 将试件放置在试验加载架的加载板中心位置，为减少试件表面与上下加载板间的摩阻力，减小端部效应，可在试件与上下加载板间各放一块聚四氟乙烯薄膜或涂抹硫磺砂浆，应注意使试件中心与加载架的中心对齐。

3 将试件放入试验机的环境箱中，在环境箱温度达到设定的试验温度后，继续恒温 5h。

4 当试件内外的温度达到测试温度以后，就可以开始进行加载试验。将试件与上加载板轻微接触，调节位移传感当试件内外的温度达到测试温度以后，就可以开始进行加载试验。将试件与上加载板轻微接触，调节位移传感器并清零，施加一个大小为试验荷载（试验荷载的大小是通过调节使试件的轴向响应应变能控制在 50~150 微应变之间得到，在 350~700kPa 范围内选择）5%的接触荷载对试件进行预压，持续 10s，使试件与上下加载板接触良好。

5 对试件施加偏移正弦波或半正矢波轴向压应力试验荷载，在设定温度下以 10Hz 的频率重复加载 200 次。试验采集最后 5 个波形的荷载及变形曲线，记录并计算试验施加荷载、试件轴向可恢复变形、动态回弹模量。

#### F.0.5 试验结果计算应符合下列规定：

1 量测最后 5 次加载循环中荷载的平均幅值  $p_i$  和可恢复轴向变形平均幅值  $\Delta_i$  及同一加载循环下变形峰值与荷载峰值的平均滞后时间沥青混合料的动态回弹模量及相位角。

1) 应力幅值计算：

$$\sigma_0 = \frac{P_i}{A} \quad (\text{F.0.5-1})$$

式中： $\sigma_0$ ——轴向应力幅值，MPa；

$P_i$ ——最后 5 次加载循环中轴向试验荷载平均幅值，N；

$A$ ——试件径向横截面面积（可取试件上下端面面积均值）， $\text{mm}^2$ 。

2) 应变幅值计算：

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta_i}{l_0} \quad (\text{F.0.5-2})$$

式中： $\varepsilon_0$ ——可恢复轴向应变幅值， $\text{mm}/\text{mm}$ ；

$\Delta_i$ ——最后 5 次加载循环中可恢复轴向变形平均幅值， $\text{mm}$ ；

$l_0$ ——试件上位移传感器的量测间距， $\text{mm}$ 。

3) 动态回弹模量计算：

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \quad (\text{F.0.5-3})$$

式中： $|E^*|$ ——沥青混合料动态回弹模量，MPa。

2 同一种沥青混合料，在相同试验条件下应至少进行四次平行试验。平行试验结果应按试验数据的离散程度进行剔差处理，剔差标准为：当一组试件的测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的  $k$  倍时，该次试验数据应予以舍弃。有效试件数目为 3、4、5、6、7、8、9、10 个时， $k$  值可分别为 1.15、1.46、1.67、1.82、1.94、2.03、2.11、2.18。

## 本规范用词说明

1 为了便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

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的：

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的：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国行业标准

《城镇道路路面设计规范》

**CJJ169-2011**

条文说明

## 制 订 说 明

《城镇道路路面设计规范》CJJ169-2011，经住房和城乡建设部XXXX年XX月XX日以第XX号公告批准发布。

本规范制定过程中，编制组进行了道路路面设计方法的调查研究，总结了我国道路工程建设的实践经验，同时参考了美国 AASHTO 2002 设计规范，通过试验取得了路面结构设计的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《城镇道路路面设计规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，还着重对强制性条文的强制性理由做了解释。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

## 目次

1 总则.....	86
2 术语和符号.....	87
3 基本规定.....	88
3.1 一般规定.....	88
3.2 设计要素.....	89
4 路基、垫层与基层.....	91
4.2 垫层.....	91
4.3 基层.....	91
5 沥青路面.....	92
5.1 一般规定.....	92
5.2 沥青面层类型与材料.....	92
5.3 沥青路面结构组合设计.....	99
5.4 新建路面结构设计指标与要求.....	101
5.5 新建路面结构层的计算.....	109
5.6 加铺路面设计.....	118
6 水泥混凝土路面.....	120
6.2 设计控制要素.....	120
6.3 结构组合设计.....	120
6.4 材料组成要求及性质参数.....	121
6.5 路面结构计算.....	121
6.6 面层配筋设计.....	122
6.7 接缝设计.....	123
6.8 加铺层结构设计.....	124
7 砌块路面.....	130
7.2 砌块材料性能要求.....	130
7.3 结构层与结构组合.....	130
7.4 结构层计算.....	131
8 其他路面工程.....	134
8.1 透水人行道.....	134
9 路面排水.....	135

---

9.1 一般规定 .....	135
9.2 路面排水设计 .....	136
9.5 交叉口范围路面排水 .....	136
附录 C 沥青路面设计参数参考值 .....	137
附录 E 沥青混合料单轴贯入抗剪强度试验方法 .....	138

## 1 总则

**1.0.1** 《城市道路设计规范》（CJJ 37）（以下简称原规范）发布实施以来，我国的城市面貌发生了令世人瞩目的变化，体现了城市建设技术的巨大进步，其中在道路工程方面，国内外既积累了快速路、主干路路面和大型桥面铺装的实践经验，又涌现了一批新材料、新工艺、新产品和新的研究成果，使道路工程技术水平提高到了一个新的层次，因此在原规范路基设计、柔性路面设计、水泥混凝土路面设计、广场与停车场、道路排水等五章的基础上，总结工程时间经验，吸收新技术、新成果，以提高路面工程质量，适应我国城镇道路路面建设不断发展的需要，这成为制定本规范时所追求的目标。

**1.0.2** 本规范的主要内容包括路基、垫层与基层、沥青路面、水泥混凝土路面、砌块路面、其他路面和路面排水等，与原规范比，内容更为丰富，主要增加了路面结构可靠度设计和旧路面上加铺层设计及砌块路面设计，细化了路面结构组合和材料组成及性能参数要求等，使本规范更切合各等级城镇道路路面新建和改建工程的实际需要。

**1.0.3** 《中华人民共和国节约能源法》第四条规定：“节约资源是我国的基本国策。国家实施节约与开发并举、把节约放在首位的能源发展战略”。路面设计应贯彻“节约资源，降低消耗”的基本国策。鼓励使用节能降耗型路面技术，如温拌沥青混合料、冷拌泡沫沥青混合料、冷拌乳化沥青混合料技术，旧路面材料再生利用技术。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

**2.1.9** 路面基层分为三类：半刚性基层、柔性基层与刚性基层。

**2.1.11** 粒料类材料，包括级配碎石、级配砾石、符合级配的天然砂砾、部分砾石经轧制掺配而成的级配碎砾石，以及泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石等基层材料。

**2.1.16** 在沥青路面设计中，引入了沥青层底拉应变的指标控制沥青层疲劳开裂，提出了沥青层底容许拉应变。

**2.1.19** 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，并考虑道路等级、设计基准期内累计当量轴次、室内与现场差异等因素而确定。

**2.1.20** 根据一次荷载作用下的剪切破坏强度与不同轴次作用下的疲劳破坏强度之比，并考虑道路等级、水平力系数的大小、室内与现场差异等因素而确定。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 道路路面的基本结构层一般为面层、基层、垫层三个主要层次。当路面各层的厚度较大时，又再细分为若干个层次，如面层分为表层（上面层）、中面层和下面层，基层分为上基层和下基层等。

面层直接承受汽车车轮的作用并直接受阳光、雨雪、冰冻等温度和湿度及其变化的作用，应具有足够的结构强度、高温稳定性、低温抗裂性、抗疲劳、抗水损害；为保证交通安全和舒适性，面层应有足够的抗滑能力及良好的平整度。

基层主要起承重作用，应具有足够的强度和扩散荷载的能力并具有足够的水稳定性。

垫层的主要作用为改善土基的湿度和温度状况，保证面层和基层的强度稳定性和抗冻胀能力，扩散由基层传来的荷载应力，以减小土基所产生的变形。垫层应具有一定的强度和良好的水稳定性。

**3.1.2** 路面承受汽车车轮的作用并受阳光、雨雪、冰冻等温度和湿度及其变化的作用，路面结构层的组合与地质条件、路基土特性、路基水文及气候环境状况、交通量与交通组成密切相关，进行路基路面整体结构强度、刚度、稳定性、耐久性综合设计合理的结构组合，才能获得运行安全舒适并与环境、生态、社会协调的综合效益。

路面材料直接影响路面质量与耐久性，要求对使用的材料(如沥青、集料、矿粉)进行认真选择,有充分的耐久性，包括水稳定性、温度稳定性、抗老化性及抗疲劳性能保证。路面材料的选择应结合各地的实际，因地制宜，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。提倡使用城市建筑废料、工业废料及旧路面铣刨翻挖材料。积极使用节约能耗、减少排放的材料及结构，如温拌沥青混合料、乳化沥青混合料、泡沫沥青混合料等。

城市道路交叉口是城市交通的枢纽位置，由于受交通信号灯的管制，交叉口进口道上车辆刹车、起动频繁集中；一些大城市主干道交通车辆状况也在发生着很大的变化，出现了“多轴数、重轴载、高轮压的非均布性”的特点。城市道路交叉口区域沥青路面早期产生拥包、推挤和车辙等病害非常严重和普遍。应针对城市道路交叉口路段的行车状况特殊性，及其路面破坏的发生形式、发展规律，进行特殊设计。

**3.1.3** 道路路面分沥青路面、水泥混凝土路面和砌块路面三大类。沥青路面包括沥青混合料路面、沥青贯入式路面和沥青表面处治等。水泥混凝土路面包括普通混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土、钢纤维混凝土路面。

沥青混凝土路面表面平整无接缝、柔性好、噪声小，具有明显的行车舒适性、耐磨性等优点，但受到沥青材料感温性的限制，沥青面层结构的强度受温度变化影响较大；水泥混凝土路面刚度大，扩散荷载能力强、稳定性好、抗压、抗折性能好，耐久、使用寿命长，但是它也有着不可忽视的缺点：接缝较多，噪声大、影响行车舒适性；同时，抗滑、表面耐磨性能的构造和保持技术难度大。

由于沥青加铺层能有效地改善旧水泥混凝土路面的使用性能，同时可以充分利用旧水泥路面，造价低，施工方便，并且对交通、环境影响小，因此，在国内外旧水泥混凝土路面改造工程中广泛应用。

## 3.2 设计要素

**3.2.2** 近年来，城市载货汽车与大客车以双轮组单轴 80~115kN 轴载的车型为主，路面设计以双轮组单轴载 100kN 为标准轴载符合我国城市汽车交通实际。

**3.2.3** 有关研究显示沥青路面弯沉、弯拉应力曲线随轴重的增加呈非线性增加，轴重 50~130kN 为线性，轴重大于 130kN 呈非线性。考虑非线性特点，当轴重大于 130kN 时按弯沉设计的轴载换算公式  $n$  值可达 5.0~5.8，推荐  $n$  值为 5.0，弯拉应力的轴载换算公式  $n$  值为 9.0。

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，长安大学的研究结果为 12.79 次方，法国和澳大利亚为 12 次方，本规范建议贫混凝土基层用 12 次方计算。

规范编制组对上海市、成都市、大同市的代表性道路的车道分布系数进行了调查。对于两车道城市道路，单向单车道，车道分布系数为 100%，对于多车道城市道路，载货汽车与大客车一般较多地行驶在外侧车道上，所以，以外侧车道作为设计车道。车道分布系数的大小与交通量有关，交通量小，车道分布系数大。调查结果与 Dater 等在 1982 年到 1985 年对美国 6 个州所做的 129 次统计所得到的多车道公路的车辆分布情况较为接近。

**3.2.5** 一般在进行路面材料与混合料的设计、路面结构设计等工作时，均会考虑到道路等级性质。因为累计当量标准轴次不能代表对路面表面性能的要求。路面设计应该

在考虑路面交通等级、累计当量标准轴次同时，也考虑道路等级性质，有必要增加以货车及大客车为主的划分交通强度等级的划分。将城市道路交通等级划分为四级，分为轻、中、重、特重交通等级。

**3.2.6** 环境因素的变化严重影响路面的性能。温度对沥青路面的承载能力和使用性能都有显著影响。沥青路面的车辙、裂缝等损坏，也直接或间接的与路面温度的分布状况有关。水对沥青混合料的性能也有重要的影响，雨水渗入路面使沥青与集料的粘附性下降、土基强度变小，在荷载作用下产生剥离、坑槽、网裂等损坏。由于温度、降水具有显著的季节性变化的特点，所以沥青路面材料及土路基的力学特性也具有明显的季节性变化的特点。

“八五”国家科技攻关项目“道路沥青及沥青混合料使用性能气候区划的研究”，根据我国不同地区与不同气候的条件对沥青质量及沥青混合料性质提出不同的要求。提出沥青混合料使用性能气候区划标准。按不同的气候要求，使路面具有较强的高温抗车辙能力、低温抗裂性能和水稳定性，并延长路面的使用寿命。是路面设计的重要问题。路面设计应选择与温度变化相适应的材料并按照最高或最低温度进行沥青混合料高温稳定性和低温稳定性设计。

**3.2.7** 目标可靠度和可靠指标的确定需要综合考虑工程安全度与工程经济性等方面的因素。目标可靠度值高，结构的安全度相应提高，但结构造价相应增大；反之，目标可靠度低，结构破坏的危险性增大，工程费用则低。路面结构的目标可靠度是在满足各等级道路路面不同安全度要求（限制路面的破坏概率）的前提下，主要考虑路面初建费用、结合考虑养护费用与用户费用对目标可靠度的影响确定的。

目前确定路面结构目标可靠度的方法有三种，即校准法、经济分析法和表面使用性能法。校准法的实质是一种反算法，也就是通过计算现有结构的隐含理论可靠度，再针对结构使用情况，现状服务水平、现状耐久性和安全性做出定性和定量评价。综合考虑这两方面的结果，归纳出合理的可靠度作为路面设计的目标可靠度。这种方法实际上是校准现行设计方法的隐含可靠度，继承按现行设计规范设计的道路结构的可靠度水平，这种方法体现了多年工程设计的经验。目前国内外大多数规范采用校准法来确定结构的目标可靠度，本规范目标可靠度是结合国内外的分析数据、水泥混凝土和沥青路面的隐含可靠度后制定的。

## 4 路基、垫层与基层

### 4.2 垫层

**4.2.1** 垫层主要设置在温度和湿度状况不良的路段上，以改善路面结构的使用性能。前者出现在季节性冰冻地区路面结构厚度小于最小防冻厚度要求时，设置防冻垫层可以使路面结构免除或减轻冻胀和翻浆病害。

### 4.3 基层

**4.3.3** 长安大学、天津市政工程研究院先后分别采用静压法和振动成型法进行了骨架密实型级配和悬浮密实型级配的半刚性基层材料的研究，其结论一致认为振动成型法设计的骨架密实结构的性能是最优的，并且得到了多省市工程实体的验证。因此推荐上基层的半刚性材料宜选用振动成型法设计的具有较好的强度、抗疲劳开裂性能与抗冲刷能力骨架密实型级配。

## 5 沥青路面

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 沥青路面设计应根据道路等级与使用要求遵循因地制宜、合理选材、环境保护、资源节约和利于养护的原则。各结构层的组合设计与当地的气候环境条件、交通量和交通组成等密切相关，合理的结构组合设计应使得路面获得经济、耐久的效果。厚度计算与材料设计参数取值直接相关，没有实测的材料参数，厚度计算缺乏依据。因此，设计人员应重视材料调查，选用符合技术要求、经济合理的路用材料，避免简单地套用路面结构，将路面结构设计变成单纯的结构厚度计算。

设计工作包括以下具体内容：

- 1 调查与收集交通量及其组成资料，积极开展轴载谱分布的调查、测试，分析预测设计交通量；
- 2 收集当地气候、水文资料，了解沿线地质、路基填挖及干湿状况，通过试验确定路基回弹模量；
- 3 认真做好各种路用材料的调查，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、确定材料的设计参数。当条件不允许时，可以委托科研单位进行该项工作；
- 5 拟定路面结构组合，采用专用程序计算厚度；
- 6 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。

### 5.2 沥青面层类型与材料

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

AC 型混合料以及骨架型混合料 SMA 均属于密级配混合料，设计空隙率在 3~5%。在 AC 型混合料中，F 型是细集料含量多于粗集料的一种连续级配；C 型混合料以粗集料为主，具有构造深度较大、抗车辙变形的性能好等特点，适用于多雨炎

热、交通量较大地区的表面层。中、下面层也可用 C 型沥青混合料，以增强抗车辙能力，但施工时应注意加强压实。F 型混合料因细集料较多，施工和易性较好，水稳定性、低温抗裂性及抗疲劳开裂性能较好。但是其表面致密，构造深度较小，可用于抗疲劳结构层或干旱少雨、交通量较少、气候严寒地区的道路。

热拌沥青碎石（AM）是一种半开级配混合料，设计空隙率在 8%~15%，由于它的空隙率大，渗水严重，应设密级配上封层。当采用单层式沥青路面时，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。

开级配磨耗层（OGFC）是开级配沥青混合料，在欧美多称开级配抗滑磨耗层 OGFC，在日本称为排水路面。混合料的设计空隙率宜为 18%~24%，用做沥青路面表层具有排水、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。

### 5.2.2 沥青混合料类型选择与配合比设计是保证沥青路面质量和使用功能的关键。

1 在我国，热拌沥青混合料配合比设计主要采用马歇尔试验方法，AC 混合料、SMA 混合料以及 OGFC 混合料均可参照《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）进行配合比设计。目前，我国在一些重大工程引进美国 Superpave 方法和 GTM 等方法进行密级配沥青混合料的配合比设计，使用效果较好，因此在有条件的地方也可以使用这些方法，同时需要马歇尔试验进行验证。

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

3 在进行沥青混合料配合比设计后，应根据气候条件和交通荷载特征对混合料的高温稳定性、水稳定性和低温抗裂性进行检测。

(1) 沥青混合料高温稳定性的评价方法，目前在国际上尚无统一的、公认的评价方法和指标体系，试验设备也不同。我国在“七五”科技攻关时引进了日本轮迹试验设备和动稳定度评价指标。本次编写中仍用车辙试验所获得的动稳定度反映沥青混合料的高温稳定性。

在《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）中，采用车辙试验的动稳定度指标评价沥青混合料的抗永久变形性能，并根据沥青混合料类型、沥青类型和沥青路面气候分区，给出沥青混合料车辙试验评价指标的技术要求，见表 1。

表 1 沥青混合料车辙试验动稳定度技术要求

气候条件及技术指标		动稳定度要求（次/mm），不小于								
七月平均最高气温及气候分区		>30				20~30				<20
		夏炎热区				夏热区				夏凉区
		1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-2
普通沥青混合料		800		1000		600	800			600
改性沥青混合料		2400		2800		2000	2400			1800
SMA 混合料	非改性	1500								
	改性	3000								
OGFC 混合料		1500（一般交通路段）、3000（重交通路段）								

该体系对相同气候分区下的普通沥青混合料、改性沥青混合料以及 SMA 混合料提出不同的技术要求。这与特定的使用条件对路面材料性能的唯一性要求不一致，例如，对于位于 1-1 分区中特定交通条件下的路段，如果普通沥青混合料在 DS=800 次/mm 能够满足要求，没有理由要求改性沥青混合料或 SMA 混合料的动稳定度必须达到 2400 次/mm 或 3000 次/mm。

该评价体系中的另一个关键问题在于强调了对不同材料的性能要求，忽略了不同交通荷载对性能的不同需求。在高温性能方面，当前相关规范并没有告知材料设计究竟应该选择普通材料、改性材料还是 SMA 混合料，也缺少不同交通量对材料高温性能的不同需求。道路交通量不仅是路面结构设计的关键参数，也是材料设计的重要依据。在相同的气候条件下，能够满足轻交通量道路使用的材料未必能够满足重交通量道路的要求。如果在车辙试验评价标准中不引入交通量参数，无法较好的指导材料设计，势必造成结构与材料设计相互脱节，可能导致材料性能设计标准的选择具有一定随意性。日本道路公团的技术标准就体现了交通量对材料高温性能的差别性要求，见表 2。

表 2 日本道路公团对沥青混合料动稳定度的要求

交通量等级	一方向大型车交通量 / (辆/日)	动稳定度 / (次/mm)	
		一般地区	低磨损地区
轻交通量	1 500 以下	800	500
中交通量	1 500~3 000	1 000	800
重交通量	3 000~15 000	1 200	1 000
超重交通量	15 000 以上	3 000~5 000	

在 2005~2008 年度交通部科技项目“沥青路面设计指标和参数研究”中，对沥青混合料和沥青面层抗永久变形进行了研究，基于车辙试验提出了与道路交通等级、沥青路面气候分区、结构层次等相关联的沥青混合料车辙试验评价体系。在这个体系中对于高速公路和一级公路，取路表容许车辙深度为 15mm。在年等效温度下对路面结构进行力学分析后，得出表 5.2.2-3（正文）中的技术指标要求。在分析过程中所考虑的主要因素如下：

①交通等级：《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）根据设计基准期内的累计当量轴次将交通划分为 4 个等级：轻交通小于  $3 \times 10^6$  ESAL，中交通小于  $1.2 \times 10^7$  ESAL，重交通小于  $2.5 \times 10^7$  ESAL，特重交通不小于  $2.5 \times 10^7$  ESAL。随着我国基年交通量的巨增以及年增长率提高，设计基准期 15 年的重交通及其以上交通等级的高等级公路大、中修一般发生在 8~10 年。工程实践表明：中、上沥青面层的实际寿命一般无法达到路面结构的设计基准期，因此材料性能设计的交通分级不完全等同于结构设计的交通分级，其分级上限主要受主抗车辙区既定温度条件下材料的承载极限制约。在某些苛刻条件下，材料性能设计的适用交通等级上限将低于结构设计上限。对于此种情形，当路面结构未达到设计寿命时，允许对面层的主抗车辙区进行铣刨重铺，保持下面层尤其是基层与地基的继续使用。

②气候分区：在《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）中，采用 30 年间的年最热月平均日最高气温的平均值作为气候分区的高温指标，以高温指标作为一级区划指标，将全国划分为三个区；以低温指标作为二级区划指标，将全国分为 4 个区。选择不同气候分区中的代表地区，见表 5.2.2-3，其中：1-1、1-2 区选择吐鲁番，1-3 区选择武汉，1-4 区选择海口和福州，2-1 区选择富蕴，2-2 区选择沈阳，2-3 区选择大连，2-4 区选择武都，3-2 区选择西宁。在选择不同气候分区的代表地区时，需要比较各个代表地区的月平均气温以及车辙等效温度，通过对车辙等效温度计算以及月平均温度比较，将西宁和拉萨由 2-2 区和 2-3 区移至 3-2 区。代表地区的温度分区见表 3。与海口环境相近地区主要有吐鲁番，广州与南宁等少数特殊地域。

表 3 不同气候分区的典型地区与代表地区

气候分区	典型地区								代表地区
1-1、1-2									吐鲁番
1-3	成都	西安	长沙	合肥	郑州	南京	济南	南昌	武汉
	杭州	上海							
1-4	广州	桂林	南宁	温州	福州	沙坪坝	澜沧		海口/福州
2-1	呼玛	锡林浩特	海拉尔						富蕴

2-2	大同	乌鲁木齐	兰州	酒泉	银川	哈尔滨	太原	北京	沈阳
	榆林	呼和浩特	长春	承德	天津	石家庄			
2-3	威海								大连
2-4	贵阳	昆明							武都
3-2	拉萨	理塘	德钦						西宁

③沥青混合料类型：沥青路面材料设计，究竟该选取普通沥青混合料、改性沥青混合料、SMA 混合料亦或新开发的沥青类材料，取决于哪类材料能够满足沥青层抗车辙性能要求。由于特定的交通和气候条件对沥青混合料的抗力需求是一致的，因此，性能合格的材料都是备选方案，而不分改性沥青混合料与普通沥青混合料，此时性价比优越的材料才是设计方案。

④面层结构层：沥青面层一般是由不同材料组成的 2 层或者 3 层的复合体系。根据外力在结构内的扩散效应，不同层位将贡献不同的变形。2002 年夏天，全国普遍出现持续高温，无论南方或北方部分省份，在爬坡路段，重车、超载车多的路段，沿车行道轮迹带上，出现了不同程度的车辙，有的路段出现较严重推移流动和变形。据现场调查，沥青混合料的推移、变形主要是产生在中面层，少数下面层也产生流动。

⑤车速：在长大纵坡上车速较慢，可以简化为提高一个交通等级进行设计。

沥青混合料高温性能需求计算方法：通过大量室内车辙试验以及现场 ALF 加速加载试验的标定建立了包含高温性能经验评价参数的沥青层永久变形；同时由该永久变形公式和容许车辙深度以及分层容许永久变形分配方法可以推出沥青混合料高温性能需求计算方法，见式（1）。

$$PRD_i = \frac{100[H_i]}{\left(\frac{T_{ei}}{T_0}\right)^t \left(\frac{P_i}{P_0}\right)^p \left(\frac{k_N \times N}{N_0}\right)^n d_i} \% \quad (1)$$

式中：PRD<sub>i</sub>——第 i 沥青亚层的相对变形参数，即材料性能参数，%；

[H<sub>i</sub>] ——第 i 沥青亚层的容许永久变形，mm；

T<sub>ei</sub> ——第 i 沥青层等效温度，℃；

P<sub>i</sub> ——第 i 沥青层顶压应力；

N ——累计当量标准轴次；

k<sub>N</sub> ——试验室加载与现场加载次数的修正系数；

d<sub>i</sub> ——沥青亚层厚度；

T<sub>0</sub>、P<sub>0</sub>、N<sub>0</sub>、d<sub>0</sub> ——试验室标准车辙试验条件。其中试验温度 T<sub>0</sub>=60℃，接触压力 P<sub>0</sub>=0.7MPa，试验加载次数 N<sub>0</sub>=2520 次，试件厚度 d<sub>0</sub>=50mm。

根据沥青混合料动稳定性和相对变形的回归关系式(2)，由永久变形抗力参数  $PRD$  推荐值可以推导出动稳定性评价指标的计算值，并参照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)中沥青混合料车辙试验动稳定性技术要求进行适当调整，给出动稳定性评价指标的建议值。

$$DS = 29633 \times PRD^{-1.48} \quad (R^2=0.94, \text{ 样本数 } 117) \quad (2)$$

由于实际应用主要针对城市快速干道，因此参照高速公路标准，即 18mm 沥青层厚度进行考虑。对于两层式城市道路沥青面层结构，主要适用于 0~100mm 内标准。

(2) 评价沥青路面水稳定性除采用沥青与集料间的粘附性指标外，还采用了浸水马歇尔残留稳定度及冻融劈裂强度比指标。根据“八五”攻关成果的建议，冻融劈裂试验仅限于在年最低气温低于 $-21.5^{\circ}\text{C}$ 的寒冷地区使用。但是，通过近年来的工程实践，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，将冻融劈裂试验作为评价混合料水稳定性的必要指标，以保证沥青混合料具备良好的水稳定性，防止路面出现早期水损害现象。

若沥青混合料的水稳定性指标不能满足表 5.2.2-4 (正文)的要求，应采取措施改善沥青混合料的水稳定性，如掺入消石灰或水泥，或其它抗剥落材料。一般可在沥青混合料中掺入占总质量 1.5%~2%的消石灰或 2%~2.5%的水泥代替矿粉，但由于各地所用集料的材质不同，具体掺入剂量应由试验确定，不宜照搬。

(3) 沥青混凝土路面的低温抗裂性能，受到广泛的重视。根据国内科研成果和近年来的试验研究成果，提出了沥青混合料低温弯曲试验破坏应变 ( $\mu\epsilon$ ) 作为评价指标。该指标仅用于评价沥青混凝土路面的低温抗裂性能，对夏凉区、寒冷地区是一个参考性指标。

5.2.4 稀浆罩面分为微表处和稀浆封层，可用于新建道路的磨耗层或保护层，也可作下封层，这在我国已有了成功的经验，尤其是对于缺乏优质石料作抗滑层的地区，可以节省造价。稀浆罩面的混合料中乳化沥青及改性乳化沥青的用量应通过配合比设计确定。混合料的质量应符合有关规范的技术要求。

稀浆罩面应选择坚硬、粗糙、耐磨、洁净的集料，不得含有泥土、杂物。粗集料应满足热拌沥青混合料所使用的粗集料质量技术要求，表观相对密度、压碎值、洛杉矶磨耗值等指标可使用较粗的集料或原石料进行试验。当采用与结合料黏附性达不到 4 级以上的酸性石料时必须掺加消石灰或抗剥离剂。细集料宜采用洁净的优质碱性石

料生产的机制砂、石屑，小于 4.75mm 部分细集料的砂当量应符合有关规范的要求，且不得使用天然砂。如发现集料中有超规格的大粒径颗粒时，必须在运往摊铺机前将集料过筛，混合料各筛孔的通过率必须在设计标准级配的允许波动范围内波动，所得级配曲线应尽量避免出现锯齿形。有实际工程证明，使用的级配能够满足稀浆罩面使用要求，并具有足够的耐久性时，经过专家论证，得到主管部门认可，也可使用。

MS-3 型微表处采用彩色结合料时，可用于城市广场、停车场、人行道、商业街、文化街。

**5.2.5** 路用材料质量是保证沥青混合料质量的关键，应根据工程所在地的料源、气候条件、工程性质、交通量情况等进行综合论证后确认。

1 沥青标号和沥青技术指标的选择与工程所在地的气候、道路交通量、结构类型与层位密切相关。

沥青标号可按气候分区并结合工程实践经验选择，气候分区划为夏炎热区，对夏季持续高温较长、重载车较多的道路，纵坡大、长坡路段可选用稠度高、60℃粘度大的沥青、改性沥青等；交通量大、重载车较多的路段应选择较硬的沥青。改性沥青的基质沥青、表面处治和贯入式碎石宜选稠度较低的沥青。

由于沥青的气候分区是以最热月份每天最高气温的平均值表示，但该值往往低于最热月份连续 7d 的最高气温平均值，而车辙则是最容易发生在这最热的几天，因此有的地区在选择沥青标号和沥青技术指标时，参考了美国 Superpave 沥青胶结料规范中沥青 PG 分级方法，用历年最高月气温中连续 7d 高温的平均值和 98%保证率，并考虑气温与路面温度的相关关系，计算路面最高温度，以此选择沥青高温等级。以历年极限最低气温选择沥青低温等级。这个方法已经在部分省份的工程实践中得以应用。

(2) 以下情况可采用改性沥青，以改善沥青混合料的路用性能。

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

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

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道路可采用改性沥青；

铺筑 SMA 混合料、超薄罩面层、开级配抗滑面层、彩色路面等特殊结构时可采用改性沥青；

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道路可采用改性沥青。

目前，国内各种改性剂或改性沥青品种较多，同一改性剂因剂量不同或添加剂不同，获得的改性沥青的质量也有差异，应通过掺配试验和混合料性能试验进行技术经济论证和比选，选择施工方便、质量稳定、改性效果好的改性剂。加强质量检测工作，严格控制改性沥青的生产质量。

2 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。

(1) 路面的行驶安全性取决于路表的横向力系数，而横向力系数与沥青混合料的石料品质、构造深度及集料的级配密切相关。因此，应认真调查沥青路面表面层所用粗集料，选择强度较高、磨光值大、耐磨耗、符合石料磨光值 PSV 要求的碎石。次干路及以下道路所用的粗集料，可掺入一定量的石灰岩碎石或其他磨光值较小的碎石。

(2) 为提高沥青与集料的粘附性，可在沥青中采取掺入耐高温、耐水性持久的抗剥离剂或采用改性沥青等措施；同时为提高沥青混合料的水稳定性，应掺入一定的消石灰或水泥代替矿粉。并检验沥青混合料的水稳定性，使其达到本规范正文第 5.2.2 条中有关水稳定性指标的要求。沥青与集料的粘附性试验及分级标准参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTJ052）T0616 中的相关规定。

4 在 SMA 混合料中掺入木质素纤维、聚酯纤维、矿物纤维等稳定剂，已广泛地应用于工程实践。近年来有些特大桥梁或交通量繁重的公路的中面层，采用 SBS 改性沥青混凝土中掺入合成纤维如聚丙烯腈纤维、聚酯纤维或矿物纤维等，取得较好的路用效果，明显提高了动稳定度。选择纤维稳定剂应考虑使用要求和技术经济比较，宜选择性价比高的材料。纤维质量宜符合交通部发布《路桥用材料标准九项》（JT/T 531~538、589）中有关木质素纤维、沥青路面用聚合物纤维的技术要求，掺配剂量应通过试验确定，一般为 0.25%~0.40%。

### 5.3 沥青路面结构组合设计

**5.3.1.** 国外一般将沥青面层分为表面层（亦称磨耗层）、联结层或整平层，当联结层较厚时，再分为 2 层。我国习惯上将半刚性基层沥青路面中的三层都称为面层，分别称为上面层（表面层）、中面层和下面层。

作单层式面层时，加铺沥青封层或者铺筑微表处作为抗滑磨耗层的目的是防止水分下渗，提高路表的平整度。

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、低温抗开裂、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。

**5.3.2** 沥青路面各层组合应与路面使用要求相适应，在各沥青层中至少有 1~2 层的沥青混合料应为密级配型。面层混合料类型应与道路等级、使用要求以及交通荷载等级相适应。

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

2 根据对车辙路段的调查，车辙变形主要产生在中面层，这与我国沥青路面的中面层设计主要考虑防止渗水而采用细集料较多的密级配有关。2002 年，在我国的一些长、陡纵坡段、重车多的路段上出现较为严重的车辙现象后，中、下面层开始选用粗级配，使混合料向骨架密实型级配发展，以提高其高温稳定性和水稳性，如选用 AC-20C、Sup-19 或 SMA-20 等级配类型。

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

**5.3.3** 沥青混合料一层压实的最小厚度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，以便于碾压密实，提高其耐久性、水稳性。最小厚度是从施工角度考虑可以施工的最小厚度限制，但并不是适宜的厚度。因此，根据工程实践经验提出沥青混合料一层压实的常用厚度，见表 5.3.3。

**5.3.5** 1 为了防止半刚性基层沥青路面的反射裂缝，各地应根据工程实践，提出相应的技术措施。

2 快速路、主干路上采用级配碎石作为过渡层或基层时，应先修筑试验路，注意抓好材料规格、施工工艺管理、工程质量过程控制，总结经验，不宜盲目推广。尤其在交通量大，重车多的道路上应慎重使用。

3 沥青应力吸收层、聚脂土工布粘层等具有防止反射裂缝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的薄层结构，一般为 20mm~25mm。该薄层结构具有空隙率小、不渗水、变形能力大、抗疲劳能力强的特征，具有较好的防止反射裂缝的效果。

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。沥青的洒布量宜通过试验确定，一般用量为  $0.8 \text{ kg/m}^2 \sim 1.4 \text{ kg/m}^2$ 。

**5.3.6** 沥青层间结合状态对结构层的受力状态和沥青路面的耐久性均有显著影响，必须重视。

1 各沥青层之间应洒布粘层沥青。一般新建沥青面层之间可洒布乳化沥青，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，宜洒布热沥青或改性沥青，也可洒布改性乳化沥青。

3 下封层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。

目前工程中经常用到封层结构为撒布改性沥青或橡胶沥青，然后撒布单一粒径的预拌碎石或碎石。碎石撒布量以撒布沥青面积达 60%~70%、不满撒、不重叠为宜。这种封层也可用于桥面铺装、沥青表层与中面层之间。

## 5.4 新建路面结构设计指标与要求

**5.4.1** 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 1 版~第 3 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。本规范借鉴公路沥青路面设计方法采用理论法。

目前国外及我国公路水泥路面设计都采用了可靠度设计，本规范吸收了交通部“沥青路面结构的可靠性研究”课题的科研成果在沥青路面设计中引入了可靠度设计的

理念。沥青路面结构的可靠度设计是以现行的双圆均布荷载作用下的多层弹性层状体系理论的力学计算和各个设计参数的变异性为基础，利用概率统计的有关理论和沥青路面的实际情况建立的一种概率型设计方法。

《工程结构可靠度设计统一标准》对结构可靠度的定义为在规定的条件和规定的时间内完成预定功能的概率。沥青路面结构可靠度的定义为对于正常设计、正常施工和正常使用的路面结构，在路面达到规定的设计累计标准轴载作用次数的时间内，表面最大弯沉、半刚性基层层底最大拉应力、面层最大剪应力和面层底面最大拉应变分别不超过其容许值的概率。

可靠度系数定义为抗力均值与应力均值的比值，是目标可靠度及设计参数变异水平等级和相应的变异系数的函数。在可靠度设计中，各项参数通常都选用均值作为标准值。考虑到目前路面结构设计参数取值是考虑了一定保证率的数值，已有一定的工程实践基础，在可靠度系数的推演中考虑了这些因素的影响。

**5.4.2** 在公路沥青路面设计规范中，结构设计指标为路表弯沉值、沥青层、半刚性材料基层的抗弯拉应力，考虑到城镇道路行车条件以及路面受力特征（交叉口、公共汽车停靠站等），本规范增加沥青层最大剪应力和沥青层层底拉应变指标。

在国外设计方法中，大多采用沥青层的弯拉疲劳应变，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。

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

## 2 关于弯拉应变和弯拉应力指标

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。我国现行《公路沥青路面设计规范》采用弯拉应力指标来控制沥青层底的疲劳破坏，而在国外的相关技术规范中，多以弯拉应变指标来控制沥青层底的疲劳

破坏。目前相关理论分析结果表明,对于半刚性基层或贫混凝土基层沥青路面,基层上的沥青层无论层间连续还是滑动,可能处于压应力和拉应变状态,在重载作用下拉应变会放大,可能会出现沥青层疲劳开裂状况,另外沥青层底拉应变对柔性基层沥青路面起控制作用。因此,以沥青层底的拉应变指标来控制其疲劳破坏更为合理。鉴于此,本规范借鉴了美国沥青协会(AI)的沥青混合料疲劳方程,并根据AASHTO的研究和修正,利用最新的AASHTO沥青路面力学-经验设计方法中提出的沥青面层混合料的疲劳方程来计算沥青面层底部的容许拉应变,以控制沥青层的疲劳开裂。

### 3 关于剪应力指标

随着社会经济的发展,重车不断增多,超载越来越严重。城市道路在夏季持续高温季节交叉口进口道、公交车停靠站、弯道、匝道等路段上易出现车辙。剪切指标与沥青混合料的热稳定性密切相关,高温时沥青混合料的黏结力和内摩阻力有明显变化。根据我国气候环境考虑最不利温度情况,选择路面60℃的剪应力指标进行路表剪应力计算。

在1990版《城市道路设计规范》中,是采用闭式三轴试验测定 $c$ 和 $\phi$ 值,通过 $\tau = C + \sigma_{\alpha} \tan \phi$ 求得抗剪强度 $\tau$ ,式 $\sigma_{\alpha}$ 中为破坏面上的法向应力。

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_1 - \tau_{max} (1 + \sin \phi) \quad (3)$$

$\sigma_1$ 、 $\tau_{max}$ ——分别为最大主应力和最大剪应力。

然后与路面可能产生的剪应力 $\tau_{\alpha} = \tau_{max} \cdot \cos \phi$ 相平衡。90版规范设计方法沥青路面剪应力验算力学概念清晰,但是使用起来太过复杂,不便于普及应用。

同济大学孙立军等建议采用贯入试验,通过抗剪强度参数求得 $\tau_{max}$ 、 $\sigma_1$ 和 $\sigma_3$ 再辅以单轴试验,从摩尔圆求得 $c$ 和 $\phi$ 值,以取代三轴试验。

同济大学林绣贤认为由于过去三轴试验只能求得 $c$ 和 $\phi$ 值,而不能直接得到抗剪强度 $\tau_m$ ,只好按以上方法转化。贯入试验可以直接求得抗剪强度 $\tau_R$ ,那就可以与路面上产生的最大剪应力 $\tau_m$ 直接取得平衡,而无需再通过 $c$ 和 $\phi$ 值转化了。

规范编制组吸取了林绣贤的观点,进行了本次面层剪应力验算的修订编制工作。

**5.4.3** 沥青路面表面设计弯沉值是路表弯沉值的设计标准,它是以路面在车辆荷载反复作用下出现纵向裂缝为临界状态,以纵向网裂为破坏状态,它主要反映在车辆荷载作用下路面结构整体,包括结构层部分应力与抗力对比失衡状态时的表现特征。

设计弯沉值与材料、路面结构类型及厚度有直接关系。在控制路基容许压应变相同的条件下，可以选择不同结构组合的路面形式，而在不同结构组合下路表弯沉值有所不同。因此以路表弯沉值为设计指标时，其设计弯沉标准必须考虑不同路面结构的影响，这个影响是通过路面结构类型系数加以考虑的。对于半刚性基层沥青路面结构与柔性基层沥青路面结构，路面结构系数取值参照公路沥青路面的设计方法；对于采用柔性结构层和半刚性基层组合而成混合式基层的路面，是从柔性向半刚性过渡的结构，设计弯沉值应介于二者之间，路面结构系数  $A_b$  可采用内插的方法处理。即半刚性基层或底基层上柔性结构层总厚度小于 180mm 时为半刚性基层结构，路面结构系数  $A_b$  为 1.0；柔性结构层大于 300mm，路面结构系数  $A_b$  为 1.6；柔性结构层为 180~300mm 之间，路面结构系数  $A_b$  可线性内插。对于交通量较大的柔性基层沥青路面结构，目前尚处于研究阶段，缺乏工程实践经验。因此采用柔性基层沥青路面结构时，应结合国外经验和国内实际，慎重为之。

**5.4.4** 疲劳开裂是沥青混凝土路面破坏的主要形式。已有研究认为，重复荷载引起拉应力和剪应力，开裂首先出现在临界拉应变和拉应力发生处。临界拉应变的大小和位置取决于路面的刚度以及荷载的构成。沥青层疲劳破坏通常是以拉应变和混合料刚度（模量）为函数的模型。疲劳模型的常用数学关系为：

$$N_f = Ck_1 \left( \frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{k_2} \left( \frac{1}{E} \right)^{k_3} \quad (4)$$

式中：  $N_f$  ——疲劳开裂重复作用次数；

$\varepsilon_t$  ——临界位置拉应变；

$E$  ——材料刚度（动态回弹模量）；

$k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  ——试验回归系数。

AASHTO 2002 采用了美国沥青协会（AI）的疲劳开裂预测模型：

$$N_f = 0.00432 * K'_1 * \left( \frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{3.291} * 10^M * \left( \frac{1}{E} \right)^{0.854} \quad (5)$$

$$M = 4.84 \left( \frac{v_b}{v_b + v_a} - 0.69 \right) \quad (6)$$

式中：  $N_f$ 、 $\varepsilon_t$  ——同上；

$K'_1$  ——沥青层厚度的函数；

$M$  ——沥青混合料空隙率与有效沥青含量的函数；

$E_m$ ——20℃沥青混合料的回弹模量 (psi) ;

$V_b$ ——有效沥青含量 (%) ;

$V_a$ ——空隙率 (%) 。

对于从下向上的开裂,

$$K_1' = \frac{1}{0.000398 + 0.003602 \left(1 + e^{(11.02 - 1.374h)}\right)^{-1}} \quad (7)$$

式中:  $h$  为沥青层总厚度 (cm), 当  $h \geq 15\text{cm}$  时,  $K_1' = 0.004$ 。

为保证柔性基层沥青路面在设计基准期内不发生沥青层疲劳开裂, 以沥青层层底拉应变为设计指标, 规范组借鉴了美国 AASHTO2002 沥青路面设计方法和 AI 沥青协会的疲劳开裂预测模型 (5), 建立了沥青层容许拉应变与设计基准期内累计当量轴次的关系, 并根据国内外的研究成果, 对公式中各回归系数进行了分析修正, 得到沥青层容许拉应变预估公式。

其中, 美国规范中沥青混合料动态回弹模量的试验温度为华氏 70°F, 换算摄氏温度为 21.1℃, 本规范采用了试验温度 20℃。对于加载频率, 考虑到 10Hz 的加载频率相当于路面车辆行驶速度为 60~65km/h, 与我国现行城市道路的设计行车速度一般为 40-100km/h 相当, 故一般采用 10Hz 加载速率。沥青混合料动态回弹模量测定方法详见附录 F。

**5.4.6** 单轴贯入抗剪强度试验方法的理论基础是基于单圆均布荷载作用下弹性半无限体的最大剪应力。同时孙教授课题组用有限元分析方法得到了本试验方法的剪应力参数, 并用大量的室内试验证明了本试验得到的剪切强度与三轴试验的数值和规律是一致的。

此外, 同济大学郭忠印教授课题组采用同轴剪切进行了沥青混合料的剪切强度测定, 理论分析表明中空圆柱体沥青混合料试件的内侧面受力模式与沥青路面表面层在垂直荷载和水平荷载综合作用下的受力模式比较相近。其试验结果也与单轴贯入剪切试验和三轴剪切试验的数值和规律一致。基于试验误差的考虑, 本规范以单轴贯入抗剪强度为基准, 有条件的单位也可以进行同轴剪切试验, 建立与单轴贯入试验的关联。

同轴剪切试验方法如下:

1、用旋转压实或静压法成型混合料试件，试件尺寸应符合直径  $150\text{mm}\pm 2\text{mm}$  的要求，并在报告中注明试件成型方法，试件的密度应符合马歇尔标准密度的  $100\%\pm 1\%$ 。

2、采用钻芯机对  $\Phi 150\text{mm}\times 100\text{mm}$  的圆柱体试件钻芯取样，最后可得内径  $\Phi 55\text{mm}$ ，外径  $\Phi 150\text{mm}$ ，高  $100\text{mm}$  的中空圆柱体试件；

3、采用切割机对中空式圆柱体的两端进行切割，去掉多余部分，可得内径  $55\text{mm}\pm 2\text{mm}$ ，外径  $150\text{mm}\pm 2\text{mm}$ ，高  $50\text{mm}\pm 2\text{mm}$  的中空圆柱体试件。用于同轴剪切抗剪强度试验的试件不少于 3 个。



图 1 试验用中空圆柱体试件

4、按相关试验方法测定试件的密度、空隙率等各项相关物理指标。

5、制备同轴剪切试验试件采用环氧树脂把中空圆柱体试件粘贴在内径  $\Phi 160\text{mm}$ ，高  $80\text{mm}$ ，壁厚  $5\text{mm}$  的钢筒内；然后把  $\Phi 50\text{mm}\times 80\text{mm}$  的钢柱体用环氧树脂固定在中空圆柱体试件的腔体内。为了把试件沾牢，钢筒内壁是螺纹和钢柱体的外壁也是螺纹。在用环氧树脂固定时，必须确保在同一界面上试件的圆心、钢柱体的圆心和钢筒的圆心重合在一点上。



图 2 同轴剪切试验试件

6、将试件在  $60^{\circ}\text{C}$  的烘箱中保温  $6\text{h}$ 。

7、使试验机环境保温箱温度达到要的试验温度。

8、将试件从烘箱中取出，立即置于压力机试验台座上，以 1mm/min 的加载速率均匀加载直至破坏，读取荷载峰值，准确值 100N。

9、同轴剪切得到的沥青混合料抗剪强度见 8 式。

$$\tau_s = 0.121 \times F \quad (8)$$

式中： $F$ ——试件破坏时的最大荷载（N）。

路面的剪切破坏往往是在多次承受车辆启动、制动的状况下产生的，所以要计入轴载重复作用的影响。 $K_r$  即为考虑轴载重复作用影响的抗剪强度结构系数，它与行车荷载状况有关。经调查整理，在车站、交叉口车辆都是有准备的缓慢制动停车， $K_r$  与该处车站或交叉口在设计基准期内停车的当量轴载累计数及道路等级有关；而对于一般路段的偶然紧急制动时，虽然水平系数较大，但却不会出现在同一个点，故  $K_r$  计算时不考虑累计轴载的作用。

车站在设计基准期内的累计当量轴次  $N_p$  可按该公交站点经过的公交车班次，每班公交车每天的发车次数、该站点每年增加的班次来综合考虑。一般情况下，同一车站处每年不会增加太多班次，可按该公交站点最多可容纳的班车次来考虑即可。统计分析设计站点所经过的公交车班次  $i$  以及每班车的每日发车班次  $n_i$ ，按照公式 3.2.3-1 换算为当量轴次  $N_a$ ，则设计基准期内该车站累计当量轴次  $N_p$  为  $N_a \times 365 \times$  设计基准期（次）。

交叉口范围内在设计基准期内的累计当量轴次  $N_p$ ，可根据交叉口的红绿灯间隔时间，以停车次数最多车道的日平均当量轴次来考虑。如某路口红绿灯间隔时间为 60s，某一车道在交叉口同一位置处平均每分钟停车一次，每天按 16 小时（6:00~22:00）考虑，统计分析不同车型日均作用次数，并根据公式 3.2.3-1 计算得到同一位置停车处单日平均当量轴次  $N_{PD}$ 。则设计基准期内的累计当量轴次为：

$$N_p = \frac{[(1+\gamma)^T - 1] \times 365}{\gamma} \cdot N_{PD} \quad (9)$$

式中： $N_p$ ——交叉口设计基准期内同一位置停车的累计当量轴次（次）；

$T$ ——设计基准期（年）；

$N_{PD}$ ——路面营运第一年交叉口某停车位置处单日平均当量轴次（次/日）；

$\gamma$ ——设计基准期内交通量的平均年增长率(%)。

该预估公式是在无实测数据的情况下，对交叉口设计基准期内同一位置停车处的累计当量轴次的粗略统计和预估，如果有实测数据来补充，则更为准确、可靠。

**5.4.7** 路面质量验收时，需要在路表面检测路表弯沉值。因半刚性基层的强度、刚度与龄期有关，设计厚度时采用了标准龄期的材料模量值。若在施工工程中，检测各结构层的弯沉值时，应根据检测时半刚性基层、底基层的实际龄期对应的材料模量值、施工厚度来计算各结构层的表面弯沉，以此作为计算各结构层的标准弯沉值。

1 当没有 BZZ-100 标准车测定时，可采用其它轴载的车辆测定。若用其它非标准轴载（轴载 80~130kN）的车辆测定时，应按照公式（10）将非标准轴载测得到弯沉值换算为标准轴载下的弯沉值。

$$\frac{l_{100}}{l_i} = \left( \frac{P_{100}}{P_i} \right)^{0.87} \quad (10)$$

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

$P_i$ 、 $l_i$ ——非标准轴载及与其相对应的弯沉值。

当弯沉在非不利季节测定时，应根据当地经验考虑季节影响系数  $K_1$ 。

对于季节影响系数和湿度系数，近年来未统一进行新的调研工作，各地区可根据本地区调查成果积累数据。

路表弯沉值以 20℃ 为测定的标准状态，当沥青面层厚度小于或等于 50mm 时，不需要进行温度修正；当路面温度在 20℃±2℃ 范围内时，也不进行温度修正；其它情况下测定弯沉值均应进行温度修正。温度修正可参考以下方法进行。

1) 测定时沥青路面的平均温度按照公式（11）计算：

$$T = a + T_0 \quad (11)$$

式中： $T$ ——测定时沥青面层的平均温度（℃）；

$a$ ——系数， $a = -2.65 + 0.52h$ ；

$b$ ——系数， $b = 0.62 - 0.008h$ ；

$T_0$ ——测定时路表温度与前 5h 平均温度之和（℃）；

$H$ ——沥青面层厚度（cm）。

2) 沥青路面弯沉的温度修正系数  $K_3$  按照公式（12）计算：

$$K_3 = \frac{l_{20}}{l_T} \quad (12)$$

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

$l_T$ ——测定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， $K_3 = e^{\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{20}\right)h}$ ；

当  $T \leq 20^\circ\text{C}$  时,  $K_3 = e^{0.002(20-T)h}$ 。

温度修正系数也可以采用《公路路基路面现场测试规程》(JTG E60)T0951-2008 相应的温度修正系数方法进行确定。

## 5.5 新建路面结构层的计算

**5.5.2** 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,资料分析仍然引入公路沥青路面规范中给出的弯沉综合修正系数  $F$ ,将理论弯沉值进行修正,使计算弯沉值与实测弯沉值趋于接近实际。

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

1997 年公路规范修订时,又扩大了试验,通过七条试验路铺筑的 49 种结构,路面总厚度在 490~930mm。在实测表面弯沉值为 3~88 (0.01mm)、多数弯沉值为 10~50 (0.01mm)、土基模量大多为 30MPa 的条件下,对测试资料进行分析,提出弯沉综合修正系数  $F$ ,使计算弯沉值与实测弯沉值趋于接近实际。

**5.5.5** 为防止路面面层出现车辙、波浪、推移和自上而下开裂等破坏,应控制沥青层的最大剪应力小于面层材料的容许剪应力。

温度是影响沥青混合料抗剪性能的重要因素,考虑我国的气候条件,抗剪性能适合研究的区间是  $30^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 。考虑最不利环境温度,选取  $60^\circ\text{C}$  作为沥青表面层混合料抗剪试验温度和力学分析时的模量取值温度。A.Hofstra 在第三届沥青路面结构设计国际会议“ The modulus of asphalt layers at high temperature: comparison of laboratory measurements under simulated traffic conditions with theory”一文中采用室内环道试验,实测了路面结构在表面层加热到  $60^\circ\text{C}$  温度下轮载作用的变形及力学响应,并以粘弹性

层状体系理论和弹性层状体系理论分别进行计算，结果表明在 60℃ 高温情况下沥青层采用相应温度的抗压回弹模量，则弹性层状体系理论计算仍然是适用的。

对于最不利条件下的剪应力计算时模量取值，表面层温度为 60℃，应选择 60℃ 抗压回弹模量，而中下面面层温度在 40℃~50℃ 之间，因此计算时中下面层模量应采用 40℃~50℃ 时模量，但是不同温度下的模量应用给设计带来了很大麻烦，因此编制组对比了中下面层取不同温度下的模量下的剪应力计算结果，结果表明，中下面层模量变化对剪应力结果影响很小，采用 20℃ 与 50℃ 模量计算剪应力结果相差在 5% 以内，因此为了方便设计应用，中下面层采用 20℃ 时的抗压回弹模量。

秉承 90 版城市道路设计规范，规范编制组采用双圆均布荷载，针对不同路面结构形式、不同厚度、不同水平力系数等对沥青层最大剪应力及其位置进行计算分析。结果表明，路面结构形式、厚度对沥青层最大剪应力的数值影响相对较小，水平力系数  $f_h$  对最大剪应力的影响最大；当有水平力存在时，其最大剪应力基本位于路表轮迹外边缘处。结合 90 版城市道路设计规范和规范编制组在对不同路面结构、不同厚度以及不同水平力系数的情况下路面结构内最大剪应力计算的基础上，提出计算点水平位置选取了路表距单圆荷载中心  $0.9\delta$  靠近荷载外边缘处与距路表  $0.1h_1$  ( $h_1$  为表面层厚度) 荷载外侧边缘处两点。通过计算并选取两个点处的较大剪应力值，得到沥青层的理论计算最大剪应力。

关于水平力的大小，在正常行驶和思想有准备的制动、启动时，水平力系数一般小于 0.17，故设计公交车车站、交叉口等路段时  $f_h$  以 0.2 计算。但在紧急制动时水平力系数可高达 0.5 左右，最大值接近于路面的摩擦系数，鉴于高温时路面摩擦系数较标准状态略低，故设计时  $f_h$  以 0.5 计算。而紧急制动有可能发生在车行道的任何一个部位，所以一般路段按水平力系数为 0.5 取值。

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

**5.5.7** 材料设计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。设计参数应根据路面的损坏类型、受力模式采用不同方法测定相应的参数。对于弯拉应力计算，考虑到弯拉模量测试试验繁琐、数据离散性大的问题，曾在 1997 版公路沥青路面设计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的方法。并有专题研究了以抗压模量代替弯拉模量、劈裂强度代替弯拉强度的可行性，同时对弯拉疲劳与劈裂疲劳结果进行了对比分析。从对比分析结果来看，采用抗压模量代替弯拉模量、劈裂强度代替弯拉强度在取值上是偏于保守的，对于半刚性基层，弯拉模量与抗压模量比值一般在 2~3 左右，弯拉强度与劈裂强度的比值一般在 1.1~1.7 左右。这个结果表明，所推荐的抗压模量远远低于弯拉模量，劈裂强度小于弯拉强度，且两者显然不是同比例的变化。因此，从统一设计指标与计算参数的角度出发，采用弯拉模量与弯拉强度更合理。然而，目前实测弯拉模量与弯拉强度数据较少，希望各省份根据当地材料制件测试计算参数。在没有充足的试验资料前，仍采用抗压回弹模量与劈裂强度作为弯拉应力计算的参数。

计算沥青层层底拉应变时，需采用各层材料的动态回弹模量值，目前我国测定动态回弹模量的单位较少，实测材料动态回弹模量将较为繁琐，半刚性基层的模量设计值，按照附录 C.3 中推荐材料参数取值，粒料与土基模量可采用公式 5.5.7-2 计算确定。对于沥青层模量，沥青混凝土动态回弹模量可按 3 个水平确定：

第 1 水平：按照标准的试验方法，在一定荷载频率和温度下，实际测定沥青混合料的动态回弹模量。

沥青混合料抗压动态回弹模量的标准试验方法主要有以下几个：美国材料与试验协会（ASTM）的沥青混合料动态回弹模量标准试验方法（ASTM D3497-79）、美国各州公路和运输官员协会（AASHTO）的热拌沥青混合料动态回弹模量标准试验方法（AASHTO TP62-03）以及美国国家公路合作研究项目（NCHRP）的两个研究项目（NCHRP 9-199-29）。这几个标准试验方法的试验原理基本一致，但在试件制备、试验温度和频率、位移传感器的安置、加载时间、试件破坏判定以及模量计算等方面存在差异。ASTM D3497-79 中规定试验试件的高径比为 2: 1，且试件的最小直径为 4in.（101.6mm），试验温度为 5、25、40℃，试验频率为 1、4、16HZ，试验过程中沿试件圆周等间距安放 2 个位移传感器，试验加载时间为 30s~45s，混合料的模量计算是采用最后 3 个加载循环的应力幅值和应变幅值，并且该标准没有给出试件破坏的判定标准；AASHTO TP62-03 中规定试件的尺寸是直径为 100 mm，高度为 150 mm，试验温度为-10、4.4、21.1、37.8、54.4℃，测试频率为 0.1、0.5、1、5、10、25HZ，沿试件圆周等间距安放 3 个位移传感器，加载时间的规定是根据试验频率的不同给出相应的加载循环次数，混合料的模量计算是采用最后 5 个加载循环的应力幅值和应变

幅值，试件破坏的判定是以累计塑性变形是否超过 1500 微应变为标准；NCHRP 9-199-29 除了要求的试验温度和模量的计算方法（采用最后 10 个加载循环来计算）与 AASHTO TP62-03 有所不同外其余的规定基本一致。

在考虑国外各种沥青混合料抗压动态回弹模量标准试验方法的差异性和优缺点的基础上，结合我国室内沥青混合料试验的现状，给出了沥青混合料单轴压缩动态回弹模量测试方法，详见附录 F——沥青混合料单轴压缩动态回弹模量测试方法。

第 2 水平：无需进行动态回弹模量室内试验，而是使用动态回弹模量预估方程获得。目前由于预估方程种类较多，样本数据存在差异性和局限性，因此暂时没有推荐使用。

第 3 水平：不需要试验和预估方程确定沥青混合料的动态回弹模量，而是采用推荐的材料参数值，见附录 C。

建议和提倡在路面设计过程中，采用标准试验方法实测沥青混合料的动态回弹模量。

**5.5.8** 沥青路面结构设计流程见图 3。

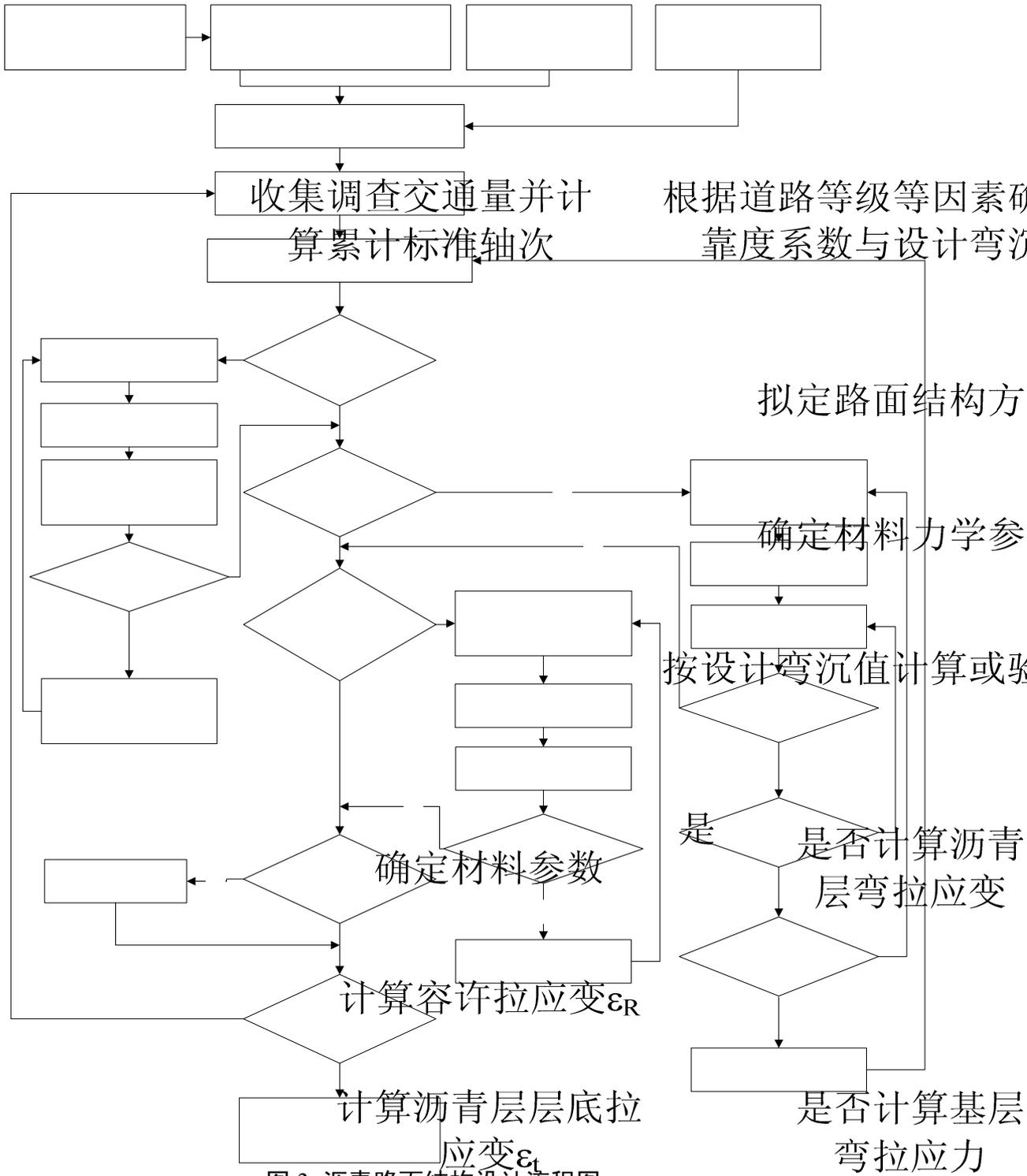


图 3 沥青路面结构设计流程图

新建沥青路面结构层厚度计算示例：

1 基本资料

1) 自然地理条件

新建快速路和支路所在城市地处 1-4-1 区，属于夏炎热冬温湿润地区，道路所处  
 沿线地质为中液限粘性土，填方路基，属于中湿状态，年降雨量在 1100mm 左右，年

调整厚度或材料配合比

是

是否验算剪应力

否

否

平均气温在 20℃左右。快速路为双向六车道，拟采用沥青路面结构；支路为双向两车道，拟采用沥青路面结构。

### 2) 土基回弹模量的确定

设计路段路基处于中湿状态，快速路路基土回弹模量设计值为 50MPa，支路路基土回弹模量设计值为 30MPa。

### 3) 设计轴载

快速路沥青路面设计基准期 15 年，以设计弯沉值、沥青层剪应力和沥青层层底拉应变为设计指标时等效换算的累计轴次为 2000 万次，结构层底拉应力等效时的累计轴次为 2500 万次。根据工程可行性研究报告，预测该快速路年交通增长率为 5%。

支路沥青路面设计基准期 10 年，以设计弯沉值、沥青层剪应力和沥青层层底拉应变为设计指标时等效换算的累计轴次为 300 万次，结构层底拉应力等效时的累计轴次为 360 万次。根据工程可行性研究报告，预测该支路年交通增长率为 3%。

## 2 初拟路面结构

根据本地区的路用材料，结合已有的工程经验与典型结构，拟定几种路面结构组合方案。根据结构层的最小施工厚度、材料、水文、交通量等因素，初拟路面结构组合和各层厚度见表 4 所示。

表 4 快速路和支路结构方案

快速路路面结构	支路路面结构
4cm SMA-13 (SBS 改性沥青)	4cm 细粒式沥青混凝土 (AC-13)
6cm 中粒式沥青混凝土 (AC-20)	6cm 中粒式沥青混凝土 (AC-20)
8cm 粗粒式沥青混凝土 (AC-25)	16cm 水泥稳定碎石 4.0MPa
18cm 水泥稳定碎石 4.0MPa	? 水泥稳定碎石 3.0MPa (计算层)
? 水泥稳定碎石 3.0MPa (计算层)	15cm 砾石砂
15cm 砾石砂	土基
土基	

## 3 材料参数确定

各种材料的设计参数见表 5~表 8。

表 5 快速路沥青层材料设计参数

材料名称	20℃抗压模量 (MPa)	15℃抗压模量 (MPa)	15℃劈裂强度 (MPa)	60℃抗压模量 (MPa)
SMA-13	1500	1800	1.7	300
AC-20	1200	1800	1.0	—
AC-25	1000	1200	0.8	—

表 6 快速路半刚性材料及其他材料设计参数

材料名称	抗压模量 (MPa) (弯沉计算用)	抗压模量 (MPa) (拉应力、剪应力计算用)	劈裂强度 (MPa)
水泥稳定碎石 4.0MPa	1500	4000	0.5
水泥稳定碎石 3.0MPa	1300	3600	0.4
砾石砂	200	200	—
土基	50	50	—

表 7 支路沥青层材料设计参数

材料名称	20℃抗压模量 (MPa)	15℃抗压模量 (MPa)	15℃劈裂强度 (MPa)	60℃抗压模量 (MPa)
AC-13	1400	2000	1.4	280
AC-20	1200	1800	1.0	—

表 8 支路半刚性材料及其他材料设计参数

材料名称	抗压模量 (MPa) (弯沉计算用)	抗压模量 (MPa) (拉应力、剪应力计算用)	劈裂强度 (MPa)
水泥稳定碎石 4.0MPa	1500	4000	0.5
水泥稳定碎石 3.0MPa	1300	3600	0.4
砾石砂	200	200	—
土基	30	30	—

#### 4 路面结构层厚度计算

##### 1) 快速路结构层厚度计算

根据表 3.2.7 和表 5.4.1, 确定该快速路路面结构设计满足目标可靠度 95% 的可靠度系数  $\gamma_a$  按 1.10 考虑。

##### ①以弯沉为设计指标

该快速路结构为半刚性基层, 采用公式 (5.4.3-1) 计算设计弯沉, 快速路  $A_c$  取 1.0, 沥青混凝土面层  $A_s$  取 1.0, 半刚性基层沥青路面  $A_b$  取 1.0, 因此

$$l_d = 600N_e^{-0.2}A_cA_sA_b = 600 \times (2.0 \times 10^7)^{-0.2} \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 20.79 \text{ (0.01mm)}$$

$$F = 1.63 \left( \frac{l_s}{2000\delta} \right)^{0.38} \left( \frac{E_0}{0.7} \right)^{0.36} = 0.544$$

利用程序计算出满足设计弯沉指标要求的水泥稳定碎石底基层厚度为 23cm, 路表计算弯沉为 34.62 (0.01mm), 则  $1.10l_s = 1.10 \times 34.62 \times 0.544 = 20.68$  (0.01mm)。

$1.10l_s < l_d$ , 满足设计要求。

##### ②以半刚性基层层底拉应力为设计指标

半刚性材料容许拉应力采用公式 (5.4.5-1) 计算, 满足容许拉应力的水泥稳定碎石下基层厚度计算结果见表 9。

水稳碎石上基层层底容许拉应力:  $\sigma_R = \sigma_s / K_{s,r} = 0.5 / (0.35 N_e^{0.11} / A_c) = 0.219(\text{MPa})$

水稳碎石下基层层底容许拉应力:  $\sigma_R = \sigma_s / K_{s,r} = 0.4 / (0.35 N_e^{0.11} / A_c) = 0.175(\text{MPa})$

表 9 计算结果

材料	劈裂强度 (MPa)	容许拉应力 $\sigma_R$ (MPa)	层底最大拉应力 $\sigma_m$ (Mpa)	$\gamma_a \sigma_m$	水稳碎石下基层厚度 (cm)
水稳碎石上基层	0.5	0.219	0.025	0.0275	26.5
水稳碎石下基层	0.4	0.175	0.157	0.173	

满足结构层层底拉应力要求的水泥稳定碎石下基层厚度为 26.5cm。

③以沥青层剪应力为设计指标

采用公式 (5.4.6-1) 计算沥青混合料结构层容许抗剪强度。不同类型沥青混合料 60℃ 剪切强度  $\tau_s$  可参照附录 C 给出值。  $K_r$  为抗剪强度结构系数。

设计基准期内某大型交叉口同一位置停车的标准轴载累计数为  $3.78 \times 10^6$ , 某大型公交停靠站标准轴载累计数为  $1.92 \times 10^6$ 。则

交叉口:  $K_r = 0.39 N_p^{0.15} / A_c = 0.39 \times (3.78 \times 10^6)^{0.15} / 1.0 = 3.78$

停靠站:  $K_r = 0.39 N_p^{0.15} / A_c = 0.39 \times (1.92 \times 10^6)^{0.15} / 1.0 = 3.42$

对于突然紧急制动点,  $K_r = 1.2 / 1.0 = 1.2$ 。

设计水泥稳定碎石下基层厚度确定为 26.5cm 时, 不同水平力系数下沥青层最大剪应力计算结果见表 10。

表 10 不同水平力系数时沥青层最大剪应力

水平力系数	0.2		0.5
	交叉口	停靠站	
沥青层最大剪应力 $\tau_m$ (MPa)	0.2473	0.2473	0.4180
$\tau_m \times K_r$	0.9348	0.8458	0.5016
$\gamma_a \times (\tau_m \times K_r)$	1.0283	0.9303	0.5518

考虑最不利情况, 交叉口、停靠站容易发生剪切疲劳破坏, 因此应适当提高沥青混合料抗剪强度在 1.03MPa 以上才能满足抗剪强度要求, 或者作为特殊路段进行特殊设计; 对于一般行驶路段, 沥青表面层混合料的抗剪强度也应在 0.55MPa 以上才能满

足设计要求。本快速路采用的 SMA-13 抗剪强度在 0.8MPa 以上，可满足一般路段的抗剪设计指标要求。

综合以上分析，设计厚度取水泥稳定碎石下基层 27cm。路表计算弯沉为 33.04 (0.01mm)。一般路段沥青上面层采用 SMA-13 (SBS 改性沥青) 可行。建议大型交叉口、公交停靠站作为特殊路段进行特殊设计。

2) 支路结构层厚度计算

根据表 3.2.7 和表 5.4.1，确定该支路路面结构设计满足目标可靠度 85%的可靠度系数按 1.06 考虑。

①以弯沉为设计指标

该支路结构为半刚性基层，采用公式 (5.4.3-1) 计算设计弯沉，支路  $A_c$  取 1.2，沥青混凝土面层  $A_s$  取 1.0，半刚性基层沥青路面  $A_b$  取 1.0，因此

$$l_d = 600N_e^{-0.2} A_c A_s A_b = 600 \times (3 \times 10^6)^{-0.2} \times 1.2 \times 1.0 \times 1.0 = 36.47 \text{ (0.01mm)}$$

$$F = 1.63 \left( \frac{l_s}{2000\delta} \right)^{0.38} \left( \frac{E_0}{0.7} \right)^{0.36} = 0.56$$

利用程序计算出满足设计弯沉指标要求的水泥稳定碎石下基层厚度为 16cm，路表计算弯沉为 60.9 (0.01mm)，则  $1.06l_s = 1.06 \times 60.9 \times 0.56 = 36.06$  (0.01mm)。

$1.06l_s < l_d$ ，满足设计要求。

②以半刚性基层层底拉应力为设计指标

半刚性材料容许拉应力采用公式 (5.4.5-1) 计算，满足容许拉应力的水泥稳定碎石下基层厚度计算结果见表 11。

表 11 计算结果

材料	劈裂强度 (MPa)	容许拉应力 $\sigma_R$ (MPa)	层底最大拉应力 $\sigma_m$ (Mpa)	$\gamma_\alpha \sigma_m$	水稳碎石下基层厚度 (cm)
水稳碎石上基层	0.5	0.326	0.0243	0.026	23.5
水稳碎石下基层	0.4	0.261	0.243	0.258	

满足结构层层底拉应力要求的水泥稳定碎石下基层厚度为 23.5cm。

③以沥青层剪应力为设计指标

采用公式 (5.4.6-1) 计算沥青混合料容许抗剪强度。不同类型沥青混合料的 60℃ 抗剪强度  $\tau_s$  可参照附录 C 给出值。 $K_r$  为抗剪强度结构系数。

设计基准期内该路某交叉口同一位置停车的标准轴载累计数为  $1.34 \times 10^6$ ，某公交停靠站标准轴载累计数为  $5.11 \times 10^5$ 。则：

$$\text{对于交叉口, } K_r = 0.39N_a^{0.15} / A_c = 0.39 \times (1.34 \times 10^6)^{0.15} / 1.2 = 2.69$$

$$\text{停靠站, } K_r = 0.39N_a^{0.15} / A_c = 0.39 \times (5.11 \times 10^5)^{0.15} / 1.2 = 2.33$$

$$\text{对于突然紧急制动点, } K_r = 1.2 / 1.2 = 1.0。$$

设计水泥稳定碎石下基层厚度确定为 23.5cm 时，不同水平力系数下沥青层最大剪应力计算结果见表 12。

表 12 不同水平力系数时沥青层最大剪应力

水平力系数	0.2		0.5
	交叉口	停靠站	
沥青层最大剪应力 $\tau_m$ (MPa)	0.2443	0.2443	0.4168
$\tau_m \times K_r$	0.6572	0.5692	0.4168
$\gamma_\alpha \times (\tau_m \times K_r)$	0.6966	0.6034	0.4418

根据分析，交叉口、停靠站容易发生剪切疲劳破坏，因此应适当提高沥青混合料抗剪强度在 0.7MPa 以上才能满足抗剪强度要求，建议交叉口、停靠站路段可采用 SBS 改性沥青混合料；一般行驶路段，沥青表面层混合料的抗剪强度应要求达到 0.44MPa，本支路采用的 AC-13 混合料抗剪强度最高可达 0.6MPa，能够满足设计要求。

综合以上分析，设计厚度取水泥稳定碎石下基层 24cm。路表计算弯沉为 53.32 (0.01mm)。一般路段沥青上面层采用 AC-13 可行，建议交叉口、停靠站路段上面层采用 SBS 改性沥青混合料。

## 5.6 加铺路面设计

**5.6.1** 根据对原路面调查检测资料，按《城镇道路养护技术规范》(CJJ 36) 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。

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。对于快速路、主干道，路面抗滑标准在良以下(不包括良)；次干路及次干路以下道路，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，超薄磨耗层一般厚度为 20mm~25mm。

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道路等级、交通量、改扩建规划和已有经验确定适当的设计基准期。

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。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，以保证工程质量。

5.6.2 旧水泥混凝土路面加铺沥青层厚度设计，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。

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，本规范中只提出的沥青加铺层厚度仅是最低要求。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。

## 6 水泥混凝土路面

### 6.2 设计控制要素

**6.2.1** 材料性能和结构尺寸参数的变异水平等级，按施工技术、施工质量控制和管理水平分为低、中、高三级。由滑模或轨道式施工机械施工，并进行认真、严格的施工质量控制和管理的工程，可选用低变异水平等级。由滑模或轨道式施工机械施工，但施工质量控制和管理水平较弱的工程，或者采用小型机具施工，而施工质量控制和管理得到认真、严格执行的工程，可选用中低变异水平等级。采用小型机具施工，施工质量控制和管理水平较弱的工程，可选用高变异水平等级。

选定了变异等级，施工时就应采取相应的技术和管理措施，以保证主要设计参数的变异系数控制在表 6.2.1 中相应等级的规定范围内。

**6.2.5** 水泥混凝土弯拉强度是衡量水泥混凝土强度的重要指标，也是设计中必须满足的技术指标。

### 6.3 结构组合设计

#### 6.3.2 面层设计

1 由于表面平整度难以做好和接缝处难以设置传力杆，碾压混凝土不宜用做快速路或主干路或者承受特重或重交通的次干路的面层。

选用连续配筋混凝土面层可提高路面的平整度和行车舒适性，适用于快速路。

复合式面层的水泥混凝土下面层，如选用不设传力杆的普通混凝土或碾压混凝土，则为了减缓反射裂缝的出现，须采用较厚的沥青混凝土上面层(如 100mm 以上)。选用这种方案，还不如选用连续配筋混凝土或设传力杆的普通混凝土经济。因为，后种方案既降低了反射裂缝出现的可能性，又可采用较薄的沥青混凝土上面层(如 25~80mm)，因上面层厚度减薄而减少的费用，足以抵消因配筋而增加的费用。

2 在横缝不设传力杆的中和轻交通路面上，横缝也可设置成与纵缝斜交，使车轴两侧的车轮不同时作用在横缝的一侧，从而减少轴载对横缝的影响，但横缝的斜率不应使板的锐角小于 75°。

为了避免混凝土板产生不规则裂缝，在路段范围内要求横缝必须对齐，不得错缝。在交叉口等特殊地段也应避免错缝，当不得已出现错缝时，应采取防裂措施。

3 在普通混凝土面层的建议范围内，所选横缝间距可随面层厚度增加而增大。

4 在所建议的各级面层厚度参考范围内，标准轴载作用次数多、变异系数大、最大温度梯度大或者基、垫层厚度或模量值低时，取高值。

5 连续配筋混凝土面层由于裂缝间距的随意性，在应力分析时难以确定板块的尺寸，厚度计算可近似地按普通水泥混凝土面层的各项设计参数和规定进行。碾压混凝土和贫混凝土基层的刚度接近于混凝土面层，而与下卧的底基层或垫层和路床的刚度差别较大。将这两种基层与下卧结构层组合在一起，按它们的综合模量计算面层厚度，一方面会得到偏保守的计算结果，另一方面会忽视基层底面因弯拉应力超过其强度而出现开裂的可能性。按分离式双层板进行计算，可以凸现这两种基层的特性，并通过调节上、下层的厚度，使上、下层板的板底应力和强度处于协调或平衡状态。

## 6.4 面层材料

**6.4.1** 尽管目前路面工程上提高抗冰冻和抗盐冻的主要手段是掺用引气剂，但是除了引气剂外，混凝土本身应有足够的抗冰冻和盐冻破坏能力以及足够高的弯拉强度，这就要求低水灰比和较大水泥用量。同时，混凝土应具有足够的抗渗性和防水性，而防水、抗渗性混凝土表面必须有足够厚度的水泥砂浆，同样要求较大的水泥用量及低水灰比。

钢纤维混凝土配合比的最大特点是水泥用量和砂率较大，若没有充足的水泥用量和用砂量，钢纤维难以被砂浆包裹，表面会暴露出钢纤维和粗集料，因此钢纤维混凝土比普通水泥混凝土规定的最小水泥用量要高。

**6.4.2** 混凝土性质参数的变异性，一部分来自实验室的试验误差，另一部分来自混合料组成的变异和施工（拌和、摊铺、振捣和养生）以及质量控制和管理的变异。后一部分变异性的影响，已反映在结构设计内（表 6.2.2 和表 6.2.3）。而前一部分变异性的影响，须在混凝土配合比设计时考虑，计入混凝土试配弯拉强度的要求值。

## 6.5 路面结构计算

**6.5.5** 水泥混凝土板厚度计算流程图见图 4。

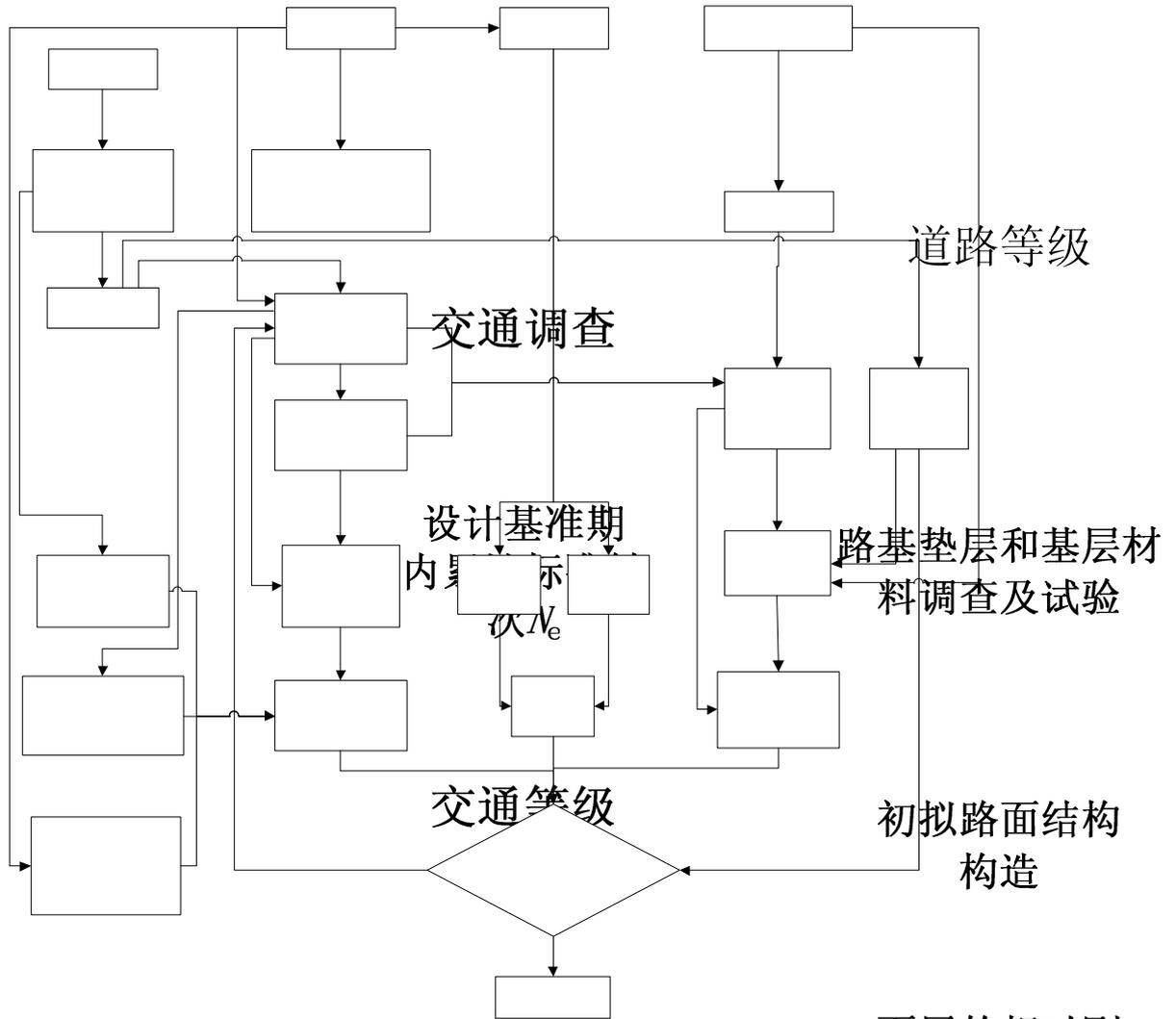


图 4 混凝土板厚度计算流程图

### 6.6 面层配筋设计

#### 6.6.1 特殊部位配筋

3、4 关于构造物横穿公路时混凝土面层配筋，借鉴《公路水泥混凝土路面设计规范》（JTG D40）近年的研究成果，较《城市道路设计规范》（CJJ37）**标准轴载临**修订，以满足更高的使用要求。将原规范全部设置单层钢筋修改为依据构造物**荷载疲劳应力**和**标准轴载临**面层地面的高度分别采取单层或双层钢筋网加强。关于混凝土面层的布筋范围，主要**应力折减系数 $k_f$** 决定于涵台背后回填路基的范围，故每侧考虑取填筑高度加 1m 且不小于 4m 的宽度。对于构造物顶部及两侧的回填材料，由于填土压实困难及防止不均匀沉降，根据经验，采用砂砾、稳定土等底基层**接缝传荷能力的**效果，条文据此修改。**荷载疲劳**一问题，各地积累了一些经验，除此之外，有的采用填土分层加土工格栅，有的采用**应力 $\sigma$** 旋喷桩等。设计时应论证地选用，或经过试验工程证明合理有效时再采用。

5 混凝土板中的检查井、雨水口等结构物附近多发生裂缝，致使混凝土板破碎。为防止此种现象发生，在这些结构物周围应加设防裂钢筋。本次参照建设部定型图集《城市道路—水泥混凝土路面》（05MR202）成果的做法，在检查井、雨水口周围设置了矩形防裂钢筋网。

## 6.7 接缝设计

### 6.7.1 纵向接缝

1 纵向接缝，无论是施工缝或缩缝，均应在缝内设置拉杆，以保证接缝缝隙不张开。纵向缩缝的槽口深度应大于纵向施工缝，以保证混凝土在干缩或温缩时能在槽口下位置处开裂。否则，会由于缩缝处截面的强度大于缩缝区外无拉杆的混凝土强度，导致缩缝区外的混凝土板出现纵向断裂。

2 在路面宽度变化的路段内，不可使纵缝的横向位置随路面宽度一起变化。其等宽部分必须保持与路面等宽路段相同的纵缝设置位置和形式，而把加宽部分作为向外接出的路面进行纵缝布置。此外，变宽段起点处的加宽板的宽度应由零增加到 1m 以上，以避免出现锐角板。

3 表 6.7.1 中的拉杆间距并不是所采用的缩缝间距的公倍数。为避免出现拉杆与缩缝的重合，在施工布设时，应依据具体情况调整缩缝附近的拉杆间距。

### 6.7.2 横向接缝

1 设在缩缝之间的横向施工缝采用设拉杆企口缝形式，可提高接缝的传荷能力，使之接近于无接缝的整体板。

2 我国绝大部分混凝土路面的横向缩缝均未设传力杆。不设的主要原因是施工不便。但接缝是混凝土路面的最薄弱处，唧泥和错台病害，除了基层不耐冲刷外，接缝传荷能力差也是一个重要原因。同时，在出现唧泥后，无传力杆的接缝由于板边挠度大而容易迅速产生板块断裂。此外，接缝无传力杆的旧混凝土面层在考虑设置沥青加铺层时，往往会因接缝传荷能力差易产生反射裂缝而不得不加大加铺层的厚度。为了改善混凝土路面的行驶质量，保证混凝土路面的使用寿命，便于在使用后期铺设加铺层，本条规定了在承受特重和重交通的普通混凝土面层的横向缩缝内必须设置传力杆。

3 一次锯切的槽口断面呈窄长形，设在槽口内的填缝料在混凝土板膨胀时易被挤出路面；而在混凝土板收缩时易因拉力较大而与槽壁脱开。为此，对快速路的缩缝，建议采用两次锯切槽口，以保证接缝填封效果和行驶质量。

4 膨胀量大小取决于温度差（施工时温度与使用期最高温度之差）、集料的膨胀性（线膨胀系数）、面层出现膨胀位移的活动区长度。胀缝的缝隙宽度为 20mm，可供膨胀位移的有效间隙不到 10mm。因而，须依据对膨胀量的实际估计来决定需要设置几条胀缝。传力杆一半以上长度的表面涂敷沥青膜，外面再套 0.4mm 厚的聚乙烯膜。杆的一端加一金属套，内留 30mm 空隙，填以泡沫塑料或纱头；带套的杆端在相邻板交错布置。传力杆应在基层预定位置上设置钢筋支架予以固定。

### 6.7.3 交叉口接缝布设

1 布设交叉口的接缝时，不能将交叉口孤立出来进行。应先分清相交道路的主次，保持主要道路的接缝位置和形式全线贯通。而后，考虑次要道路的接缝布设如何与主要道路相协调，并适当调整交叉口范围内主要道路的横缝位置。

2 交叉口范围内转向车辆比较多，如果边长过小，将会造成应力集中，板体容易损坏。

3 将胀缝设置在次要道路上。

### 6.7.4 端部处理

2 本条对搭板的设计未作具体规定，设计时，须与桥涵设计人员联系配合。在混凝土面层与桥台之间铺筑混凝土预制块面层或沥青面层过渡段，是一项过渡措施，待路基沉降稳定后，再铺筑水泥混凝土面层。

3 在混凝土面层与沥青面层相接处，由于沥青面层难以抵御混凝土面层的膨胀推力，易于出现沥青面层的推移拥起，形成接头处的不平整，引起跳车。本条依据国内外的经验，并参照英国标准图制订。

4 设置端部锚固结构是为了约束连续配筋混凝土面层的膨胀位移。端部锚固结构设计，须首先估算板端在温差作用下可能发生的位移量，根据位移控制要求（全部或部分）计算所需的约束力，由此可验算锚固结构的强度、地基稳定性和纵向位移量是否满足控制要求。本条所列出的端部锚固结构形式系参照英国的标准图。

## 6.8 加铺层结构设计

### 6.8.1 一般规定

1 路面在使用过程中，由于行车荷载和环境因素的不断作用，其使用性能会逐渐衰变。当路面的结构状况或表面功能不能满足使用要求时，需采取修复措施以恢复或提高其使用性能。

在旧混凝土路面上铺设加铺层，是一项充分利用旧路面剩余强度，可在较长时期内恢复或提高路面使用性能的有效技术措施。加铺层结构设计，必须建立在对旧路面的结构性能进行全面调查和确切评价的基础上，它要比新建路面的设计更为复杂。为此，本条规定了加铺层设计之前应对旧混凝土路面进行技术调查的主要内容。

3 沿接缝、裂缝渗入路面结构内的自由水，是造成混凝土路面唧泥、错台和板底脱空等病害的主要原因。对于旧路面结构内部排水不良的路段，增设边缘纵向排水系统，以便将旧混凝土面层-基层-路肩界面处积滞的自由水排离出路面结构，是保证加铺层使用寿命的有效措施之一。

4 加铺层的铺筑通常是在边通车、边施工的条件下进行的，设计方案应综合考虑施工期间的交通组织管理、通行车辆对施工质量和施工工期的影响等。

5 当调查评定的旧混凝土路面的断板率、平均错台量和接缝传荷能力均处于差级水平，尤其是当旧面层板下出现严重唧泥、脱空或地基沉降时，对旧混凝土路面进行大面积修复后再铺筑加铺层已不是一种经济有效的技术措施。这时，应对旧面层混凝土进行破碎和压实稳定处理，并用做新建路面的底基层或垫层。破碎稳定处理既减少了大面积挖补所产生的废旧混凝土碎块对环境的不利影响，又保留了旧路面一定程度的结构完整性。

### 6.8.2 路面损坏状况调查评定

1 路面损坏状况是路面结构的物理状况和承载能力的表观反映。水泥混凝土路面的病害有面层断裂、变形、接缝损坏、表层损坏和修补损坏 5 大类，共 17 种损坏类型。其中，对混凝土路面结构性能和行车舒适性影响最大的是断裂类损坏和接缝错台两种，它们是决策加铺层结构形式及其厚度设计的主要因素。因此，加铺层设计中以断板率和平均错台量两项指标来表征旧混凝土路面的损坏状况。断板率的调查和计算可按《公路水泥混凝土路面养护技术规范》（JTJ 073.1）的规定进行；错台调查可采用错台仪或其它方法量测接缝两侧板边的高程差，量测点的位置应在错台严重车道右侧边缘内 300mm 处。

错台量调查宜采用错台仪测试。设备条件不具备时，亦可采用角尺进行量测，但精度难以保证。对于断板率较低的快速路和主干路，应采用断板率和平均错台量两项评定指标。对于断板率较高的其它等级道路，当错台病害对行车安全和行驶质量的影响并非主要因素时，可仅采用断板率作为评定指标。

2 为了有针对性地选择加铺层的结构形式，依据断板率和平均错台量两项指标将路面损坏状况划分为优良、中、次、差四个等级。

### 6.8.3 接缝传荷能力与板底脱空状况调查评定

1 路面表面在荷载作用下的弯沉量和弯沉曲线，反映了路面结构的承载能力。弯沉测试是一项无破损试验，具有测点数量多、对交通干扰少的优点，在旧混凝土路面的接缝传荷能力、板底脱空状况以及基层顶面当量回弹模量等的调查评定中得到了广泛的应用。

水泥混凝土路面的整体刚度大，弯沉量小，弯沉盆大（弯沉曲线曲率半径大）。落锤式弯沉仪（FWD）产生的脉冲力可较好地模拟行车荷载对路面的作用，可方便地测定弯沉曲线，并进行多级加载测试，具有测试速度快、精度高的优点，是进行混凝土路面弯沉量测的较为理想的设备，在国外得到了广泛的应用，因而，适宜于在国内推广应用于混凝土路面的弯沉测定。传统的贝克曼梁式弯沉仪，由于支点往往落在弯沉盆内而使其测试精度难以得到保证，同时，一架仪器仅能进行一个测点的测定，无法获得弯沉曲线数据。因而，应用梁式弯沉仪时，须采用加长杆以增大支点与测点间的距离，并将弯沉仪的支点放在测定板外。

为了避免温度和温度梯度对量测结果的影响，接缝传荷能力的测定应选择在接缝缝隙张开而板角未出现向上翘曲变形的时刻，板角弯沉测定应选择在白天正温度梯度的时段，而板中弯沉的测定则应选择在出现负温度梯度或正温度梯度很小的夜间至清晨时段进行。

2 接缝是混凝土路面结构的最薄弱部位，混凝土路面的绝大多数损坏都发生在接缝附近。对于加铺层设计而言，旧面层接缝（或裂缝）处的弯沉量和弯沉差值是引起加铺层出现反射裂缝的主要原因。如美国沥青协会（AI）就以接缝或裂缝处的板边平均弯沉量和弯沉差作为沥青混凝土加铺层设计的控制指标。接缝传荷系数是反映接缝边缘处相邻板传荷能力的指标。将接缝的传荷能力按传荷系数大小划分为优良、中、次、差四个等级，可作为选择加铺层结构形式和采取反射裂缝防治措施的参考依据。

4 由唧泥引起的板底脱空,使板角隅和边缘失去部分支承,在行车荷载作用下将产生较大的弯沉和应力,最终导致加铺层损坏。板底脱空状况的评定是很复杂的,目前国内外还没有一个公认的方法。本条建议在板角隅处应用 FWD 仪进行多级荷载作用下的弯沉测试,利用测定结果,可点绘出荷载—弯沉关系曲线。当关系曲线的后延线与坐标线的相截点偏离坐标原点时,板底便可能存在脱空。这种评定板底脱空状况的方法,虽已在部分实体工程中得到了良好的作用,但也仅是近似的估计。实际评定时还应结合雨后观察唧泥现象、边缘和角隅处锤击听音等经验方法加以综合判断。

#### 6.8.4 旧混凝土路面结构参数调查

1 采用超声波和雷达设备量测混凝土强度和厚度的非破损测试方法,虽已在水工和建筑结构行业得到了广泛的应用,但由于混凝土面层板与基层(尤其是贫混凝土和无机结合料稳定类基层)材料具有类似的介质特性,这一非破损测试方法的实际量测精度在混凝土路面工程中还难以得到保证。所以,本规范仍建议采用传统的钻孔取芯测试法量取路面板的厚度,并在室内进行劈裂强度试验。标准芯样的直径为 100mm。芯样的数量及其分布应以能够代表评定路段的板厚和混凝土强度状况并满足统计分析的要求为准。

2 式(6.9.4-2)是 20 世纪 80 年代初,在使用 20 年以上的机场旧混凝土道面上分别锯切标准小梁试件和钻取圆柱体试件进行弯拉强度和劈裂强度试验,对 76 组碎石混凝土和 38 组卵石试件的试验结果进行回归分析后得到的经验关系。虽然该公式的相关性较好,但实际应用中发现按该式预估的混凝土弯拉强度值略为偏高,所以本次修订中增加了式(6.9.4-3),即将实测的劈裂强度平均值减去一倍的标准差后,再按式(6.9.4-2)计算混凝土的弯拉强度。这样,既达到了对原公式进行适当修正的目的,又使得强度和板厚两项重要的评价指标在统计上的一致性。当然,旧混凝土弯拉强度和劈裂强度的经验关系还有待进一步的试验验证与完善。

4 旧混凝土面层下的基层顶面当量回弹模量是加铺层设计的重要参数之一。面层下的基层顶面模量难以直接测到,但混凝土路表弯沉是路面结构刚度特性的综合反映,因此,应用 FWD 仪实测路表弯沉,并按弹性地基板理论反算基层顶面模量的方法是可行的。该条借鉴了《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)中的回归公式。

为评定基层顶面当量回弹模量而进行的弯沉测试，应以板中为标准荷载位置，弯沉测点沿重载车道板的纵向中线布置，测点间距为 20m~50m，评定路段内的总测点数应不小于 30 点。按上述方法逐测点反算模量，再统计评定路段内基层顶面回弹模量的标准值。

### 6.8.5 分离式混凝土加铺结构设计

所谓分离式混凝土加铺结构即为在清除旧路面表面的松散碎屑和由接缝内挤出的填缝料后，铺设一层由沥青混合料组成的隔离层，再铺筑水泥混凝土加铺层。

分离式加铺层与旧混凝土面层之间设置了隔离层，可隔断加铺层与旧面层的粘结，使加铺层成为独立的结构受力层。隔离层既可以防止或延缓反射裂缝，需要时也可以起到调平层的作用。因此，分离式加铺层适用于损坏状况及接缝传荷能力评定为中级和次级的旧混凝土路面。同时，加铺层的接缝形式和位置也不必考虑与旧混凝土面层接缝相对应。相反，加铺层的接缝位置如能与旧面层接缝相互错开 1m 以上，使作用在加铺层板边的荷载能下传到旧面层板的中部，反而可改善加铺层的受荷条件。

加铺层与旧混凝土面层之间必须保证完全隔离，因此，沥青混合料隔离层必须具有足够的厚度；同时，也不能采用松散粒料做隔离层。

5 分离式加铺层与旧混凝土面层之间设有隔离层，上下层板围绕各自的中和面弯曲，分别承担一部分弯矩。因此，加铺层和旧混凝土面层的应力和混凝土弯拉强度在设计中均起控制作用。在设计时，须协调上下层的厚度（影响应力值）和弯拉强度的比例关系，以获得优化的设计。

### 6.8.6 结合式混凝土加铺结构设计

所谓结合式混凝土加铺结构即采用冷磨，喷射高压气、高压水、钢珠或者酸蚀等方法刨松和清理旧面层表面，并在清理后的表面涂水泥浆、乳胶或者环氧等粘结剂后，铺筑混凝土加铺层。

1 设置结合式加铺层的主要目的是改善旧混凝土面层的表面功能，或者提高其承载能力或延长其使用寿命。结合式加铺层的厚度较薄，旧面层的接缝和发展性裂缝都会反射到加铺层上。所以，只有当旧混凝土路面结构性能良好，其损坏状况和接缝传荷能力均评定为优良时，才能采用结合式加铺层。

2 结合式加铺层的厚度小，加铺层与旧混凝土面层的结合便成为这种加铺形式成功的关键。因此，一方面需采取措施彻底清理旧混凝土面层表面的污垢和水泥砂浆

体，并使表面粗糙，另一方面需在清理后的表面涂以乳胶和环氧树脂等高强的粘结剂，使加铺层与旧混凝土面层粘结为一个整体。

3 由于加铺层薄，层内不设拉杆和传力杆，加铺层的接缝形式和位置必须与旧混凝土面层完全对应，以防加铺层产生反射裂缝或与旧混凝土面层之间出现层间分离。

4 结合式加铺层与旧混凝土板粘结在一起，围绕一个共享的中和面弯曲。加铺层处于受压状态，旧混凝土板处于受拉状态。因此，旧混凝土板的应力和混凝土弯拉强度在设计中起控制作用。

## 7 砌块路面

### 7.2 砌块材料技术要求

**7.2.1** 用于砌块路面铺装的材料种类较多，根据材料类型大致包括：天然石材、水泥混凝土预制砌块、地面砖、装饰用建筑砖和其它砌块材料，如沥青砌块、木砌块、橡胶砌块以及其它特殊用途的砌块等。用于城市道路路面铺装的砌块路面多为天然石材路面和混凝土预制块路面。

天然石材包括规则板材和碎拼板材，规则板材如：块石、条石、拳石或小方石等。混凝土预制砌块包括普通型混凝土和联锁型混凝土砌块。

砌块材料的部分性能要求参照国家行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》（CJJ1）、《混凝土路面砖》（JC/T446）中的相关规定。

**7.2.2** 普通型混凝土砌块用于支路、广场、停车场时，其力学性能参照 C40 水泥混凝土的抗压强度和 C45 水泥混凝土的抗折强度确定；用于人行道、步行街时，其力学性能参照 C30 水泥混凝土的抗压强度和 C40 水泥混凝土的抗折强度确定；联锁型混凝土砌块由于其平面尺寸通常较小，其力学性能用抗压强度确定，用于车行系统和人行系统时，参照 C50 和 C40 水泥混凝土的抗压强度确定。

根据石料材质可分为花岗岩、大理石、安山岩、砂岩等，花岗岩石材材质具有结构细密、性质坚硬、耐腐蚀、吸水性小、抗压强度高特点，是城市道路铺装中最常用的石材。条文中给出了城市道路中常用的花岗岩石材的饱和抗压强度和饱和抗折强度，如采用其他石材，应根据石材性能另行确定。

### 7.3 结构层与结构组合

**7.3.2** 砌块路面采用水泥混凝土基层时，其力学性能指标可参照表 13 的要求，并按水泥混凝土路面规定设置缩缝、纵缝和胀缝。采用其他基层时，满足本规范规定。

表 13 水泥混凝土基层力学性能指标要求

道路类型	混凝土标号	抗折强度（28d, MPa）
车行道、停车场	C30	≥4.5
人行道、步行街	C20	≥3.5

**7.3.3** 由于目前砌块路面尚无公认的设计理论和方法，本规范考虑参照沥青路面或水泥混凝土路面的结构设计理论进行计算，将砌块、接缝砂和砂垫层共同定义为面层。

**7.3.4~7.3.6** 条文中所列砌块尺寸为参照国内城市道路及人行道铺装常用尺寸确定。

普通型混凝土砌块平面尺寸结合人行道宽度有增大趋势，如：400mm×400mm、500mm×500mm 的方形或 250mm×500mm、300mm×600mm，随着平面尺寸的增加，其厚度也应随之增加。普通型混凝土砌块用于有车辆通行的道路、停车场、广场时，为加强联锁效应，应采用嵌锁型较好的铺筑型式。

由于联锁型砌块尺寸一般较小，由于嵌锁作用，厚度可比普通型砌块略有减小。

石材受加工成型条件限制，一般采用正方形或长方形。根据加工方式，分为机刨、剁斧、锤击、火烧等。其尺寸使用范围较广，从 80mm~100mm 的正方形拳石、100mm~200mm 的小块石，至大尺寸的块石、板材，具有特殊铺装需求的石材尺寸长度可至 1.5m。条文中结合常用花岗岩石材铺装列出常用尺寸，如采用特大尺寸，应通过计算确定厚度。

**7.3.7~7.3.8** 接缝宽度对砌块路面性能有很大的影响，接缝太宽，缝中的填缝料太多，不利于块体的相互作用，影响整体强度。

砂垫层有两个作用，一是调平基层的顶面，为面层的铺筑提供理想的表面；二是提供适量的变形，促进块体间的初期嵌挤。如太薄，不足以整平基层，太厚将使变形过大，容易产生破坏。

结合我国工程实践，接缝宽度的控制值应不大于 5mm，砂垫层的厚度控制值最好为 5cm 左右。

## 7.4 结构层计算

**7.4.1** 目前砌块路面结构的分析方法有弹性层状理论、有限元方法和板的破裂理论。层状弹性理论是将砌块层和砂垫层等效为一个各向同性的均匀体材料，虽然对砌块层间的荷载扩散能力有所扩大，但仍是设计中通常采用的设计方法。

砌块路面的设计方法一般通过修正沥青路面设计方法而得。修正方式有三种：一是采用等效层的方法，以 2.1~2.9 倍块体厚度的碎砾石代替砌块层，或以 1.1~1.5 倍砌块厚度的密级配沥青混凝土层作为砌块层的等效层；二是认为砌块层的相对强度系数为 1.02~1.08；三是采用 16cm 厚度的沥青混凝土代替砌块层和砂垫层，沿用以层状弹性体系理论为基础的沥青路面设计方法。综合国内外对砌块路面的研究成果和使用经验，砌块路面的设计方法力求简化，因而采用等效厚度设计法及经过实际工程检验的典型结构法较为切合实际。

人行道砌块路面典型结构可参考表 14 确定，可采用混凝土基层或半刚性基层，表中各基层厚度为最小厚度。

表 14 人行道砌块路面典型结构 (mm)

项目	普通型混凝土砌块				联锁型混凝土砌块		石材砌块		
	50		60		60		50	60	80
砌块厚度	50		60		60		50	60	80
整平层厚度	20		20		30		30	30	30
混凝土基层	100	—	100	—	100	—	100	100	100
半刚性基层	—	150	—	150	—	150	—	—	—
粒料类底基层	150	不设	150	不设	150	不设	150	150	150
总厚度	320	220	330	240	340	230	330	340	360

车行道普通型混凝土砌块路面典型结构可按表 15 确定，可采用混凝土基层或半刚性基层，表中各基层厚度为最小厚度。

表 15 车行道普通型混凝土砌块路面典型结构 (mm)

项目	类型					
	支路、广场、停车场					
砌块厚度	80		100		120	
整平层厚度	30		30		30	
混凝土基层	150	—	150	—	150	—
半刚性基层	—	200	—	200	—	200
粒料类底基层	150	150	150	150	150	150
总厚度	410	460	430	480	450	500

注：1. 土基回弹模量  $E_0$  不小于 30MPa。

车行道联锁型混凝土砌块路面典型结构可按表 16 确定，可采用混凝土基层或半刚性基层，表中各基层厚度为最小厚度。

表 16 车行道联锁型混凝土砌块路面典型结构 (mm)

项目	类型			
	大型停车场		支路、广场、小型停车场	
砌块厚度	100		80	
整平层厚度	30		30	
混凝土基层	150	—	150	—
半刚性基层	150	300	—	200
粒料类底基层	150	150	150	150
总厚度	580	580	410	460

注：1. 土基回弹模量  $E_0$  不小于 30MPa。

车行道石材砌块路面典型结构可按表 17 确定，应至少设置一层混凝土基层，表中各基层厚度为最小厚度。

表 17 车行道石材砌块路面典型结构 (mm)

项目	类型		
	支路、广场、停车场		
砌块厚度	80	100	140
整平层厚度 (不小于)	30	30	30

混凝土基层（不小于）	150	150	200
半刚性基层	150	150	150
粒料类底基层	150	150	150
总厚度	560	580	650

注：1. 土基回弹模量  $E_0$  不小于 30MPa。

砌块路面的表面铺筑应满足平整性和抗滑性的要求，其要求可按水泥混凝土路面与其他路面相关规定。

**7.4.2** 对于半刚性基层和柔性基层，利用层状弹性理论，采用等效厚度法进行计算，当荷载很小时，计算结果偏于保守；当荷载较大时，计算结果偏于不安全。所以对于换算系数的选取，在道路等级较高、交通量较大、砌块面积尺寸较大时取高值；砌块抗压强度较高、砌块面积尺寸较小时取低值。

**7.4.3** 对于刚性基层，按水泥混凝土路面设计确定板厚度后，按砌块对荷载扩散能力相等的原则进行厚度换算。砌块面积较小，嵌锁条件好时，荷载扩散能力较强，换算系数可取低值；相反时，换算系数可取高值。

## 8 其他路面工程

### 8.1 透水人行道

**8.1.1~8.1.4** 现在城市道路设计越来越重视环保、生态设计，透水人行道结构正是在这样的大背景下逐渐发展。全国各地进行了很多尝试，北京 2007 年 8 月出台了《北京市透水人行道设计施工技术指南》，沈阳市 2005 年 9 月发布了《沈阳市透水路面应用技术规定》等。2005 年 2 月国家发展和改革委员会发布了建材行业标准《透水砖》（JC/T945），规范了路面透水砖的标准。本条主要从整个透水人行道结构组合以及各层的材料上提出了相关要求。

透水人行道的设计应保证各结构层透水性能的连续，避免某些层次成为透水能力的瓶颈。根据渗透理论，天然沉积而成的土壤其土层渗透系数随水流方向的不同而有所改变。

渗入道路内的雨水主要有三个去向：入渗、横流和蒸发。影响降水的入渗量最主要是土基的渗透系数。美国透水路面使用经验表明，地基的透水系数量级不低于  $10^{-3}$  mm/s，存储在基层内的水能在 72h 内完全入渗时，透水道路的耐久性和稳定性表现良好。英国有资料推荐：地基的透水系数大于 0.5in/h（即  $3.5 \times 10^{-3}$  cm/s）且基层内的水能在 72h 内渗完。

软土（淤泥与淤泥质土）、未经处理的人工杂填土、湿陷性土、膨胀土等特殊土质上不适合铺设透水路面。

设置垫层的主要目的是防止土基中细粒土的反渗，试验中采用中砂或粗砂垫层厚度 40mm~50mm 就能达到找平、反渗的效果。

基层主要功能是透水、储水。因此采用级配碎石做基层时应注意其级配。

## 9 路面排水

### 9.1 一般规定

**9.1.3** 正文表 9.1.3 道路排水重现期参考以下资料确定：

1 《室外排水设计规范》（GB50014）重现期一般采用 0.5~3 年，重要干道；重要地区或短期积水即能引起较严重后果的地区，一般采用 3~5 年，应与道路设计协调。特别重要地区和次要地区可酌情增减。

2 《室外排水设计规范》（GB50014）规定立交设计重现期不小于 3 年，重要区域标准可适当提高，同一立交工程不同部位可采用不同的重现期。

3 设计降雨重现期系根据地形特点和地区建设性质（居住区、中心区、工厂区、干道、广场等）两项主要因素确定，一般按表 18 选用。

表 18 设计降雨量的重现期

地形分级		重现期 (P) 的选用范围(a)	说 明
I	平缓地形	0.5、1、2	选用的原则主要是地区建设性质的重要性，其分级见注 2
II	谿谷线地形	1、2、3	
III	重要地区、封闭洼地	2、3、5 个别 10、20	

注：1.平缓地形一般指其地面坡度小于 0.003.

2.地区重要性分级大致如下：

- (1) 特殊重要地区。
- (2) 重要地区，指干道、广场、中心区、仓库区、使馆区等。
- (3) 一般居住区及一般道路。

3.道路立交一半可按封闭洼地考虑，但当雨水能自流排放，不需监理泵站时，可选用略低的 P 值。

4 当地气象特点也可用作选 P 的参考因素， $q_{20}$  较大的地区可选用较大的 P 值。

5 本表用于平原城市的一般情况，至于特殊情况及山区城市，须另作考虑。

立交排水与一般道路排水不同，有以下特点：

(1) 高程上不利，无论道路与道路立交或铁道与铁路立交，位于下穿道路的最低点往往形成盆地，且道路纵坡较大，雨水很快就汇集到立交最低处，极易造成严重积水。

(2) 交通上特殊，立交多设置在交通量大的快速路或主干路上，为防止积水，确保车辆通行，排水设计标准要高于一般道路。

(3) 设计上应适当考虑养护管理的便利。

(4) 当地下水位高于设计路基时，为避免地下水造成路基翻浆和冻胀，需同时考虑地下水的排除。

(5) 养护管理上的要求：由于立交道路一般车辆多速度快，对排水管道的养护管理、雨水口的清淤，带来一定困难，设计上应适当考虑养护管理的便利。

## 9.2 路面排水设计

**9.2.3** 管材、接口、基础及附属构造物可按《给水排水设计手册（第二版）》第5册（中国建筑工业出版社）选用。

设计时应考虑就地取材，根据水质、断面尺寸、土壤性质、地下水位、地下水侵蚀性、内外所受压力以及现场条件、施工方法等因素进行选择。

**9.2.4** 雨水口的间距取决于径流量和雨水篦泄水能力，可根据实际计算确定。

## 9.5 交叉口范围路面排水

**9.5.2** 立交排水与一般道路排水不同，具有以下特点：

(1) 高程上的不利条件：位于下边的道路，其最低点往往比周围干道低 2m~3m，形成盆地，且纵坡很大，雨水很快就汇集到立交最低点，极易造成严重积水。

(2) 交通上的特殊性：立交多设在交通频繁的主要干道上，防止积水，确保车辆通行，自然成为排水设计应考虑的主要原则，因此排水设计标准要高于一般道路。

(3) 养护管理上的要求：由于立交道路一般车辆多，速度快，对排水管道的养护管、雨水口的清淤，带来一定困难，设计上应适当考虑养护管理的便利。

(4) 地下水排除的问题：当地下水位高于设计路基时，为避免地下水造成路基翻浆和冻胀，需要同时考虑地下水的排除问题。

立交的类型和形式较多，每座立交的组成部分也不完全相同，但对于划分汇水面积，应当提出一个共同的要求：尽量缩小其汇水面积，以减小流量，在条件许可的情况下，应争取将属于立交范围的一部分面积，划归附近另外系统，或采取分散排放的原则，即高水高排，低水低排。以免使雨水都汇集到最低点，一时排泄不及，造成积水。

## 附录C 沥青路面设计参数参考值

Timothy 经过大量的试验研究认为沥青混合料 40℃的模量约为 20℃的模量的 1/2；54℃的模量约为 20℃的模量的 1/4。同济大学冯俊领在其博士论文中对沥青混合料在 60℃、50℃、40℃、20℃温度条件下进行回弹模量试验验证 Timothy 的研究结论，试验结果表明沥青混合料 60℃的模量约为 20℃的模量的 1/5 左右。

## 附录E 沥青混合料单轴贯入抗剪强度试验方法

本试验方法主要参考同济大学孙立军教授课题组的一系列科研成果进行整理得到的。

**E.4** 公式 E.4-1 中 0.327 为圆形均布荷载作用下弹性半无限体根据布辛氏理论得到的泊松比为 0.35 的最大剪应力值，以此作为基本的抗剪参数，乘以贯入强度值，也就求出了试件中最大剪应力值。

贯入试验的典型应力应变图（图 5）显示整个试验过程可以分为压密阶段、弹性工作阶段、破坏阶段以及彻底破坏阶段。从图中可以看出，混合料试件破坏的判断点有两个：一个为破坏拐点，此时为混合料内部开始产生裂纹的阶段，即开始出现剪切损伤的拐点；另一个为极值点，在此时，混合料开始彻底破坏，即表示试件所能承受的最大剪应力点。

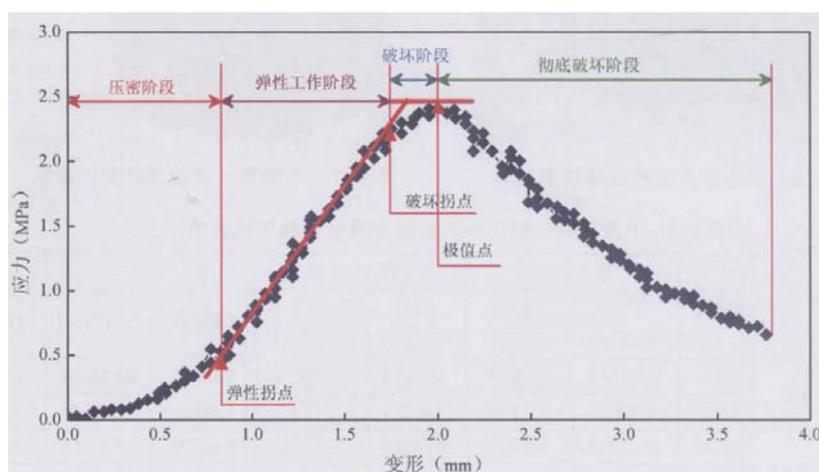


图 5 单轴贯入剪切强度试验应力应变曲线图

毕玉峰选取破坏拐点作为混合料的剪切破坏判断点，这个点能反应混合料发生剪切破坏的起始点，从物理意义来说，可以从剪切的角度控制早期损坏的发生。但是由于试件和试验具体情况的差异，比如均匀程度、空隙率以及表面形状和压头的位置等，容易导致裂纹产生位置、大小和时间的差异，很容易导致剪切破坏起始点的不同；同时取点的人为因素有很大的影响。

邵显智经过了大量的试验对比后，发现混合料极值点的剪应力值乘以 80%可以得到损伤拐点的剪应力值，具有良好的线性关系。通过极值点来反映混合料的剪切强度是可取的，且又十分方便，只是在计算结果时，需要乘以 0.8 的系数。