

广东省公路路面典型结构 应用技术指南

(试 用)

**Application Technique Guidelines for Typical Structure of
Pavement in Guangdong Province**

广东省交通厅 主编

2008 年 • 广州

目 录

1	总则	1
2	术语、符号、代号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
2.3	代号	4
3	设计依据	5
3.1	交通等级	5
3.2	路基等级	5
3.3	地区分类	6
3.4	结构可靠度	7
4	结构组合设计	8
4.1	概述	8
4.2	沥青路面结构	9
4.3	水泥混凝土路面结构	10
4.4	层间结合	12
4.5	路面结构内部排水设计	14
5	路基与垫层	15
5.1	路基	15
5.2	垫层	16
6	基层与底基层	17
6.1	沥青路面基层与底基层	17
6.2	水泥混凝土路面基层与底基层	22
7	沥青面层	25
7.1	总体结构说明	25
7.2	矿料技术要求	25
7.3	级配技术要求	27

7.4	沥青技术要求.....	30
7.5	沥青混合料技术要求.....	31
7.6	上面层沥青混合料抗滑技术要求.....	33
8	水泥面层.....	34
8.1	水泥混凝土面板设计参数.....	34
8.2	水泥技术要求.....	34
8.3	集料技术要求.....	35
8.4	水泥混凝土配合比技术要求.....	37
8.5	切缝施工要求.....	38
8.6	粤北地区技术要求.....	38
9	桥隧铺装.....	40
9.1	一般说明.....	40
9.2	水泥混凝土桥梁桥面铺装.....	40
9.3	隧道铺装.....	43
10	水泥混凝土路面加铺沥青面层.....	46
10.1	一般说明.....	46
10.2	典型结构.....	46
附录A	路面结构可靠度计算方法.....	50
A.1	沥青路面结构可靠度计算方法.....	50
A.2	水泥混凝土路面结构可靠度计算方法.....	52
附录B	广东省公路路面典型结构图谱.....	56
附录C	本指南用词说明.....	68
附件	广东省公路路面典型结构应用技术指南条文说明.....	69
1	总则.....	70
2	术语、符号、代号.....	71
3	设计依据.....	72
4	结构组合设计.....	74
5	路基与垫层.....	76
6	基层与底基层.....	77

7	沥青面层.....	81
8	水泥面层.....	87
9	桥隧铺装.....	88
10	水泥混凝土路面加铺沥青面层.....	89

1 总则

1.0.1 为适应广东省公路建设发展的需要，提高路面设计水平和工程质量，保证结构安全、耐久，简化路面设计程序，制定本指南。

1.0.2 本指南在总结广东省多年路面设计和使用经验、吸收国内外路面研究最新成果的基础上编制而成。

1.0.3 本指南适用于广东省二级及二级以上新建公路的沥青路面和水泥混凝土路面结构设计，水泥混凝土桥梁桥面铺装结构设计、隧道铺装结构设计以及水泥混凝土路面加铺沥青面层结构设计。

1.0.4 在实际工程中，广东省公路路面结构推荐采用本指南中的相关设计内容和技术要求。

1.0.5 对于特殊工程，可在本指南推荐的路面典型结构基础上，经过充分论证，对其结构组合形式及厚度做出适当调整。

1.0.6 广东省公路路面结构设计应遵循因地制宜、合理选材、节约资源的原则。

1.0.7 本指南的未尽事宜请参照现行国家和行业有关标准、规范的规定。

2 术语、符号、代号

2.1 术语

2.1.1 沥青路面 asphalt pavement

铺筑沥青面层的路面结构。

2.1.2 水泥混凝土路面 cement concrete pavement

以水泥混凝土做面层（钢筋或不配筋）的路面，亦称刚性路面。

2.1.3 半刚性基层 semi-rigid base

采用无机结合料稳定集料或土类材料铺筑的基层。

2.1.4 刚性基层 rigid base

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

2.1.5 柔性基层 flexible base

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

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

采用半刚性基层铺筑的沥青路面结构。

2.1.7 刚性基层沥青路面 rigid base asphalt pavement

采用刚性基层铺筑的沥青路面结构。

2.1.8 柔性基层沥青路面 flexible base asphalt pavement

采用柔性基层铺筑的沥青路面结构。

2.1.9 普通混凝土路面 plain concrete pavement

除接缝区和局部范围外面层内均不配筋的水泥混凝土路面,亦称素混凝土路面。

2.1.10 连续配筋混凝土路面 continuous reinforced concrete pavement

面层内配置纵向连续钢筋和横向钢筋,横向不设缩缝的水泥混凝土路面。

2.1.11 钢纤维混凝土路面 steel fiber reinforced concrete pavement

在混凝土面层中掺入钢纤维的水泥混凝土路面。

2.1.12 贫混凝土 lean concrete

水泥用量较低的水泥混凝土。

2.1.13 当量轴次 equivalent single axle loads

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

2.1.14 累计当量轴次 cumulative equivalent axle loads

在设计年限内,考虑车道系数后,一个车道上的当量轴次总和。

2.1.15 可靠度 reliability

路面结构在规定的时间内和规定的条件下完成预定功能的概率。

2.1.16 目标可靠度 objective reliability

作为设计依据的可靠度。

2.1.17 可靠指标 reliability index

度量路面结构可靠性的一种数量指标。

2.1.18 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。

2.2 符号

N_e ——设计年限内标准轴载累计作用次数

k_c ——水泥路面综合影响系数

k_f ——水泥路面荷载疲劳应力系数

k_j ——水泥路面接缝传荷系数

T_g ——水泥混凝土面层最大温度梯度

E_c ——水泥混凝土的弯拉弹性模量

E_t ——基层顶面当量回弹模量

f_r ——水泥混凝土弯拉强度

C_v ——变异系数

2.3 代号

AC——沥青混凝土

ATB——密级配沥青稳定碎石

CGA——水泥稳定级配碎石

CCS——水泥稳定碎石（或砾石）

CS——水泥稳定石屑

GA——级配碎石

PCC——普通水泥混凝土

LCC——贫混凝土

3 设计依据

3.1 交通等级

3.1.1 广东省公路交通等级按照设计年限内一个车道上的累计当量轴次 N_e 和每车道、每日大客车及中型以上货车的交通量双重标准进行分级。

3.1.2 交通量根据表 3.1.2 的规定划分为四个等级。

表 3.1.2 广东省公路交通等级分级表

交通等级		特重交通			重交通	中等交通	轻交通
		一级	二级	三级			
BZZ-100 累计当量轴次 N_e (万次/车道)	沥青路面	>2500			1200~2500	300~1200	<300
	水泥路面	>2000			100~2000	3~100	<3
大客车及中型以上货车交通量[辆/(d·车道)]		>5000	3000~5000	2000~3000	1200~2000	800~1200	<800

注：1. 高速公路的交通等级包括特重、重、中等三级。

2. 一级公路的交通等级包括特重、重、中等、轻四级。

3. 二级公路的交通等级包括重、中等、轻三级。

3.1.3 特重交通应根据每车道、每日大客车及中型以上货车交通量划分为特重交通一级、特重交通二级和特重交通三级。

3.2 路基等级

3.2.1 广东省公路路基按照回弹模量的不同划分为四个强度等级，S1、S2、S3 和 S4，见表 3.2.1。表中同时列出与之相对应的 CBR 数值和路基顶面弯沉代表值的范围，以便控制工程质量。

表 3.2.1 广东省公路路基等级分级表

等级	路基回弹模量 (MPa)	CBR (%)	弯沉代表值 (1/100mm)
S1	30~40	8	240~180
S2	40~60	8~12	180~120
S3	60~100	12~20	120~70
S4	>100	>20	<70

注：1. S1 的路基回弹模量下限值 30MPa 为一级公路、二级公路和国省道干线路基强度的最低要求。

2. S2 的路基回弹模量下限值 40MPa 为高速公路特重交通三级及以下交通等级路段路基强度的最低要求。

3. S3 的路基回弹模量下限值 60MPa 为高速公路特重交通一级、特重交通二级路段路基强度的最低要求。

4. S4 为岩石路基。

3.2.2 实际工程中，原状路基强度若达不到表 3.2.1 的要求，须进行处理，达到标准后方可进行上层路面结构施工。处理方法可参考现行《公路路基设计规范》(JTG D30—2004) 中的相关规定。

3.2.3 路基弯沉的分级与路基强度分级相互对应，见表 3.2.1。路基回弹模量应采用承载板试验确定，CBR 应采用室内浸水试验确定。弯沉应采用贝克曼梁测定；当采用落锤式弯沉仪测定弯沉时，应进行动、静态弯沉的修正。

3.2.4 当采用 CBR 试验测定路基强度时，路基土的取样深度应按表 3.2.4 的要求进行。

表 3.2.4 路基强度检测取样深度范围

交通等级	取样深度 (cm)
特重交通	120~150
重交通	100~120
中等交通	80~100
轻交通	60~80

3.3 地区分类

3.3.1 从路面结构设计角度，本指南将广东省划分为两个地区：粤北地区，珠江

三角洲、粤东、粤西地区。

3.3.2 针对粤北地区山区重交通的特点，在相同的交通条件下，沥青面层的材料选择和技术指标应比其他地区提高一个技术等级；同时，考虑到粤北山区冬季存在明显的负温，沥青面层应考虑防止低温开裂的问题。

3.4 结构可靠度

3.4.1 广东省不同公路等级的路面结构设计可靠度应满足表 3.4.1 的规定。

表 3.4.1 广东省公路路面典型结构设计可靠度标准

公路等级		高速公路	一级公路	二级公路
安全等级		一级	二级	三级
设计年限 (年)	沥青路面	15	15	12
	水泥路面	30	30	20
目标可靠度		95%	90%	85%
目标可靠指标		1.64	1.28	1.04

3.4.2 沥青路面结构可靠度分析可参考交通部“七五”重点科技项目“沥青路面结构可靠度设计的分析研究”的成果。计算方法详见附录 A。

4 结构组合设计

4.1 概述

4.1.1 公路路面结构应具有良好的使用性能耐久性和结构安全性，以满足在设计年限内不产生结构性破坏，并保持行车的平整、舒适、安全。

4.1.2 广东省二级及二级以上公路路面典型结构设计的可靠度标准、路基等级和交通等级见表 4.1.2。

表 4.1.2 广东省公路路面典型结构设计的有关参数

公路等级	结构设计可靠度	路基等级	交通等级
高速公路	95%	S2、S3、S4	特重、重、中等
一级公路	90%	S1、S2、S3、S4	特重、重、中等、轻
二级公路	85%	S1、S2、S3、S4	重、中等、轻

4.1.3 广东省不同等级公路沥青路面典型结构类型包括：半刚性基层沥青路面、刚性基层沥青路面和柔性基层沥青路面；水泥混凝土路面典型结构类型包括：半刚性基层水泥混凝土路面和刚性基层水泥混凝土路面，见表 4.1.3。

表 4.1.3 广东省不同等级公路路面结构类型

公路等级		高速公路	一级公路	二级公路
结构类型	沥青路面	半刚性基层沥青路面 刚性基层沥青路面 柔性基层沥青路面	半刚性基层沥青路面 刚性基层沥青路面	半刚性基层沥青路面
	水泥混凝土路面	半刚性基层水泥路面 刚性基层水泥路面	半刚性基层水泥路面 刚性基层水泥路面	半刚性基层水泥路面

4.1.4 半刚性基层沥青路面适用于各种公路等级、交通等级和路基等级的公路，刚性基层沥青路面和柔性基层沥青路面可根据实际情况选用。

4.1.5 半刚性基层水泥混凝土路面适用于各种公路等级、交通等级和路基等级的公路，刚性基层水泥混凝土路面可根据实际情况选用。

4.2 沥青路面结构

4.2.1 广东省高速公路沥青路面共推荐典型结构 19 种，其中半刚性基层沥青路面典型结构 9 种，刚性基层沥青路面典型结构 4 种，柔性基层沥青路面典型结构 6 种，见附表 B-1。在相同路基等级下，相同交通等级的不同路面结构使用效果是等效的，在实际工程中可根据建设投资情况进行选择。

4.2.2 广东省一级公路沥青路面共推荐典型结构 22 种，其中半刚性基层沥青路面典型结构 16 种，刚性基层沥青路面典型结构 6 种，见附表 B-3。在相同路基等级下，相同交通等级的不同路面结构使用效果是等效的，在实际工程中可根据建设投资情况进行选择。

4.2.3 广东省二级公路沥青路面共推荐典型结构 12 种，见附表 B-5。

4.2.4 高速公路、一级公路沥青路面各结构层主要材料推荐的抗压回弹模量和变异水平见表 4.2.4。实际工程中应以实测的抗压回弹模量试验数据为准，在缺少试验数据的情况下可参考表中数据。

表 4.2.4 高速公路、一级公路沥青路面各结构层主要材料推荐的抗压回弹模量和变异水平

材料类型	模量 (MPa)		变异水平 (%)		
	代表值	均值	低	中	高
密实型沥青混合料	900	1350	10~20	20~30	30~40
密实型沥青混合料 (柔性基层用)	1000	1500	10~20	20~30	30~40
贫混凝土	6000	9000	10~20	20~30	30~40
水泥稳定级配碎石 (CGA)	1500	2400	15~25	25~35	35~45
水泥稳定碎石 (或砾石) (CCS)	1300	2100	15~25	25~35	35~45
级配碎石 (GS)	250	400	15~25	25~35	35~45
未筛分碎石	200	320	15~25	25~35	35~45
土基	—	—	15~25	25~35	35~45

注：抗压回弹模量代表值可用于按现行《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006)的方法验算路面结构的设计指标，抗压回弹模量均值和变异水平可用于结构的可靠性分析。

4.2.5 高速公路、一级公路沥青路面各结构层厚度施工中的变异水平应满足表 4.2.5 的要求。

表 4.2.5 高速公路、一级公路沥青路面各结构层厚度的变异水平

结构层	变异水平 (%)					
	低变异		中变异		高变异	
	高速公路	一级公路	高速公路	一级公路	高速公路	一级公路
沥青面层	≤5	≤7	5~10	7~12	10~15	12~17
半刚性基层或底基层	≤10	≤10	10~15	10~15	15~20	15~20
垫层	≤10	≤10	10~15	10~15	15~20	15~20

4.2.6 不同交通等级下，高速公路、一级公路沥青路面设计弯沉推荐指标见表 4.2.6。

表 4.2.6 高速公路、一级公路沥青路面设计弯沉指标 (1/100mm)

	结构形式	特重交通			重交通	中等交通	轻交通
		一级	二级	三级			
高速公路	刚性基层沥青路面	14.5	15.8	18.1	19.9	23.0	—
	半刚性基层沥青路面	16.0	17.4	19.9	21.9	25.3	—
	柔性基层沥青路面	23.2	25.3	29.0	31.8	—	—
一级公路	刚性基层沥青路面	14.5	15.8	23.0	18.1	—	—
	半刚性基层沥青路面	16.0	17.4	25.3	19.9	21.9	30.3

4.3 水泥混凝土路面结构

4.3.1 高速公路

1. 广东省高速公路水泥混凝土路面共推荐典型结构 21 种，见附表 B-2。在相同路基等级下，相同交通等级的不同路面结构使用效果是等效的，在实际工程中可根据建设投资情况进行选择。

2. 特重交通条件下，水泥混凝土面板推荐厚度为 28~30cm；重交通条件下，水泥混凝土面板推荐厚度为 26~28cm；中等交通条件下，水泥混凝土面板推荐厚度为 26~28cm。水泥混凝土的 28 天抗折强度应控制在 5.0MPa。

3. 半刚性基层和底基层根据不同交通等级和路基等级，采用不同的强度标准和材料层厚度。基层材料采用水泥稳定级配碎石，底基层采用水泥稳定碎石（或砾石）。

（1）在特重交通一级、特重交通二级所推荐的典型结构中，半刚性材料层共三层，其中 S2 为两层基层、一层底基层，S3 和 S4 为一层基层、两层底基层。

（2）其它交通等级和路基等级时，半刚性材料层共两层，即：一层基层、

一层底基层。针对广东省高温、多雨的气候特点，为降低水损害对路面结构的影响，典型结构还推荐了贫混凝土基层的结构形式，厚度为 18~20cm。

4. 垫层主要采用级配碎石或未筛分碎石，其中 S2、S3 路基垫层采用级配碎石，S4 路基采用未筛分碎石垫层。

4.3.2 一级公路

1. 广东省一级公路水泥混凝土路面共推荐典型结构 22 种，见附表 B-4。在相同路基等级下，特重交通三种路面结构的使用效果是等效的，重交通两种路面结构的使用效果也是等效的，可根据实际工程的建设投资情况进行选择。

2. 特重交通条件下，水泥混凝土面板推荐厚度为 26~30cm；重交通条件下，水泥混凝土面板推荐厚度为 25~28cm；中等交通条件下，水泥混凝土面板推荐厚度为 25~26cm；轻交通条件下，水泥混凝土面板推荐厚度为 24~25cm。水泥混凝土的 28 天抗折强度应控制在 5.0MPa。

3. 基层和底基层均采用水泥稳定粗集料的混合料，基层为水泥稳定级配碎石、水泥稳定碎石（或砾石），底基层为水泥稳定碎石（或砾石）、水泥稳定石屑。基层都采用两层结构，即一层基层和一层底基层。对于特重交通、重交通和中等交通，基层全部采用水泥稳定级配碎石，底基层采用水泥稳定碎石（或砾石）；对于轻交通，基层采用水泥稳定碎石（或砾石），底基层采用水泥稳定石屑。

4. 垫层主要采用级配碎石或未筛分碎石，其中 S1、S2 路基垫层采用级配碎石，S3、S4 路基采用未筛分碎石垫层。

4.3.3 二级公路

1. 广东省二级公路水泥混凝土路面共推荐典型结构 12 种，见附表 B-6。

2. 重交通条件下，水泥混凝土面板推荐厚度为 25~28cm；中等交通条件下，水泥混凝土面板推荐厚度为 25~26cm；轻交通条件下，水泥混凝土面板推荐厚度为 23~24cm。水泥混凝土的 28 天抗折强度应控制在 5.0MPa。

3. 基层均采用水泥稳定碎石（砾石）。底基层根据条件不同，分别采用水泥稳定碎石和水泥稳定石屑两种，其中重载交通条件下采用水泥稳定碎石（砾石），其余为水泥稳定石屑。基层都采用两层结构，即一层基层和一层底基层。

4. 垫层采用未筛分碎石，厚度为 15~25m。

4.4 层间结合

4.4.1 沥青路面结构的层间结合与处理

1. 半刚性基层沥青路面层间处理措施宜根据表 4.4.1-1 中要求进行选择。

表 4.4.1-1 半刚性基层沥青路面层间处理措施

公路等级	交通等级		上、中（下）面层之间	中、下面层之间	下面层与基层之间
高速公路	特重交通	一级	改性沥青防水粘结层	改性乳化沥青粘层	改性沥青防水粘结层+透层
		二级	改性沥青防水粘结层	改性乳化沥青粘层	改性沥青防水粘结层+透层
		三级	改性沥青防水粘结层	乳化沥青粘层	（改性沥青）防水粘结层+透层
	重交通		改性沥青防水粘结层	乳化沥青粘层	下封层（包括透层）
	中等交通		改性乳化沥青粘层	乳化沥青粘层	下封层（包括透层）
一级公路	特重交通	一级	改性沥青防水粘结层	改性乳化沥青粘层	改性沥青防水粘结层+透层
		二级	改性沥青防水粘结层	改性乳化沥青粘层	防水粘结层+透层
		三级	防水粘结层	乳化沥青粘层	下封层（包括透层）
	重交通		防水粘结层	乳化沥青粘层	下封层（包括透层）
	中等交通		改性乳化沥青粘层	乳化沥青粘层	下封层（包括透层）
	轻交通		改性乳化沥青粘层	乳化沥青粘层	下封层（包括透层）
二级公路	重交通		防水粘结层	—	下封层（包括透层）
	中等交通		乳化沥青粘层	—	下封层（包括透层）
	轻交通		—	—	下封层（包括透层）

（1）沥青面层层间可洒布乳化沥青、改性乳化沥青或热沥青做为粘层材料。

（2）改性沥青防水粘结层可选择橡胶沥青和 SBS 改性沥青，普通沥青防水粘结层可选择 AH-70 号沥青。上、中（下）面层之间的沥青洒布量一般为：橡胶沥青 2.4~2.6kg/m²，SBS 改性沥青 2.0~2.2kg/m²，AH-70 号沥青 1.6~1.8kg/m²。下面层与基层之间的洒布量应比上、中（下）面层之间的洒布量高 0.2~0.4kg/m²。

防水粘结层的沥青洒布后，应及时撒铺洁净、干燥的单一粒径碎石，碎石的粉尘含量应不大于 0.8%，当气温较低时，应对碎石进行加热处理。基层顶面撒铺碎石的规格为 16~19mm，撒布量为满铺的 60%~70%；上、中面层之间撒铺碎石的规格为 13.2~16mm，撒布量为满铺的 70%~80%。

（3）透层应在基层养生结束、经检验合格并清扫干净后施工。透层油可选

择煤油或柴油稀释沥青、阳离子乳化沥青（PC-2）、阴离子乳化沥青（PA-2）和非离子乳化沥青（PN-2）。

（4）透层施工后，应适时洒布乳化沥青粘层油，进行下封层的施工。粘层油可选择阳离子乳化沥青（PC-3）、阴离子乳化沥青（PA-3）。

（5）下封层可采用撒布式或摊铺式的稀浆封层方法施工，但为了保证质量推荐采用摊铺式方法。乳化沥青可选择阳离子乳化沥青（BC-1）、阴离子乳化沥青（BA-1）。

（6）当用改性乳化沥青进行粘层和封层施工时，应选用快裂或中裂的 PCR 型改性乳化沥青。

2. 刚性基层沥青路面层间处理措施宜根据表 4.4.1-2 中要求进行选择。

表 4.4.1-2 刚性基层沥青路面层间处理措施

公路等级	交通等级		上、下面层之间	面层与基层之间
高速公路	特重交通	一级	改性沥青防水粘结层	改性沥青防水粘结层
		二级	改性沥青防水粘结层	改性沥青防水粘结层
		三级	改性沥青防水粘结层	改性沥青防水粘结层
	重交通		改性沥青防水粘结层	改性沥青防水粘结层
一级公路	特重交通	一级	防水粘结层	防水粘结层
		二级	防水粘结层	防水粘结层
		三级	防水粘结层	防水粘结层
	重交通		改性乳化沥青粘层	防水粘结层

（1）改性沥青防水粘结层的材料要求与 4.4.1 第 1 条中的（2）相同。

（2）为了防止出现反射裂缝，宜在基层顶面改性沥青防水粘结层施工之前铺设双经双纬的玻璃纤维格栅（跨缝铺设或满铺）或者洒布橡胶沥青。

3. 柔性基层沥青路面层间处理措施宜根据表 4.4.1-3 中要求进行选择。

表 4.4.1-3 柔性基层沥青路面层间处理措施

公路等级	交通等级	特重交通			重交通
		一级	二级	三级	
高速公路	上、下面层之间	防水粘结层	防水粘结层	防水粘结层	防水粘结层
	面层与基层之间	改性乳化沥青	改性乳化沥青	乳化沥青	乳化沥青

防水粘结层、改性乳化沥青、乳化沥青的材料要求与 4.4.1 第 1 条中的（2）

~ (6) 相同。

4.4.2 水泥混凝土路面结构的层间结合与处理

1. 水泥混凝土面板和基层之间的隔离层应使用沥青封层或稀浆封层。
2. 沥青滑动封层养生后厚度一般为 5mm，施工时应注意使用热沥青，石料撒布要均匀，撒布量控制在 8.0kg/m^2 ，压路机跟压要及时。
3. 稀浆封层养生后厚度一般为 5mm，矿料用量一般为 8%~12%，油石比为 7%~12%，施工时应注意混合料摊铺后的局部缺陷，应及时使用橡胶耙等工具进行人工找平。

4.5 路面结构内部排水设计

4.5.1 路面结构内部排水设计应符合《公路排水设计规范》(JTJ 018—97) 中的相关规定。

4.5.2 为排除通过路面接缝、裂缝或空隙，或者由路肩渗入并滞留在面层结构内部的自由水，可在基层顶面设置下封层并沿路面边缘设置边缘排水系统。边缘排水系统应包括碎石盲沟、透水性填料集水沟、纵向渗沟、纵向排水管、横向出水管和防渗土工布等。

4.5.3 为拦截地下水、滞留水或泉水进入路面结构，或者排除因负温差作用而积聚在路基上层的自由水，可设置透水性的碎石垫层，并根据需要配置纵向集水沟、排水管和出水管等。超高路段排水垫层的设置应与中央分隔带内纵向盲沟的设置相匹配。

5 路基与垫层

5.1 路基

5.1.1 路基应密实、均匀、稳定，对路面结构提供均匀的支撑。

5.1.2 路基设计应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)、《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006)和《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)中的相关规定。

5.1.3 路堤标高宜超过中湿状态路基的临界高度，使路床处于中湿或干燥状态；当受标高限制达不到时，应采取相应的措施提高填料的水稳定性或降低地下水位。

5.1.4 填方路基上路床、零填及挖方路基路床的 CBR 值，对于高速公路特重交通三级及以下交通等级路段应不低于 8%，对于高速公路特重交通一级、特重交通二级路段应不低于 12%；对于一级公路，CBR 值应不低于 8%；对于二级公路 CBR 值应不低于 6%。路堤下路床的 CBR 值，对于高速公路和一级公路应不低于 5%，二级公路应不低于 4%。

5.1.5 土质路基的压实度应符合表 5.1.5 的要求。

表 5.1.5 路基压实度要求

填挖类型		路床顶面以下深度 (cm)	压实度 (%)	
			高速、一级公路	二级公路
填方路基	上路床	0~30	≥96	≥95
	下路床	30~80	≥96	≥95
	上路堤	80~150	≥94	≥94
	下路堤	150 以下	≥93	≥92
零填及挖方路基		0~30	≥96	≥95
		30~80	≥96	≥95

5.2 垫层

5.2.1 沥青路面结构的垫层

1. 广东省地下水位比较高，在绝大多数情况下应设置足够厚度的碎石垫层。
2. 垫层主要用于路面结构内部的隔离和排水，通常不作为承重层，在路面结构厚度计算和验算时可不予考虑。
3. 垫层的设计厚度可根据公路等级、交通等级和路基等级参照附录 B 中的典型结构图谱进行选择，一般为 15~20cm，通常一次铺筑碾压成型。对于厚度大于 20cm 的垫层，应分为两层或两层以上施工，每层施工厚度为 10~20cm。
4. 垫层材料主要有级配碎石和未筛分碎石两种。不同公路等级、交通等级和路基等级的垫层材料及厚度可根据沥青路面典型结构图谱——附表 B-1、附表 B-3 和附表 B-5 进行选择。
5. 高速公路柔性基层沥青路面的垫层应采用级配碎石，根据厚度不同可分为一层到三层进行施工，见表 5.2.1。

表 5.2.1 高速公路柔性基层沥青路面垫层层数设置表

路基等级	特重交通			重交通
	一级	二级	三级	
S2	—	—	三层	二层
S3	二层	二层	二层	二层
S4	二层	二层	二层	一层

5.2.2 水泥混凝土路面结构的垫层

1. 水泥混凝土路面结构垫层设置条件和材料要求应符合现行《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)中的相关规定。
2. 根据广东省已有路段垫层设置经验，一般厚度为 15~20cm，一次铺筑碾压成型。垫层材料主要有级配碎石和未筛分碎石两种，高速公路在特重交通条件下一般采用级配碎石，其它路段采用未筛分碎石。
3. 对于高速公路和一级公路，当路基等级为 S2、S3 时，垫层采用级配碎石；当路基等级为 S4 时，垫层采用未筛分碎石。最大粒径应与结构层厚度相协调，不得超过结构层厚度的 1/2。要保证一定的透水性，通过 0.075mm 筛孔颗粒含量应小于 5%，塑性指数应小于 8%。对于二级公路，垫层全部采用未筛分碎石。

6 基层与底基层

6.1 沥青路面基层与底基层

6.1.1 半刚性基层与底基层

1. 半刚性基层与底基层适用于各种公路等级、交通等级和路基等级的沥青路面结构。

2. 半刚性基层与底基层宜根据设计厚度的不同分为 1~2 层施工，各等级公路半刚性基层与底基层的结构组合情况见表 6.1.1-1。

表 6.1.1-1 沥青路面半刚性基层与底基层的结构组合情况

公路等级	路基等级	交通等级			
		特重	重	中等	轻
高速公路	S1	—	—	—	—
	S2	2+2	2+1	1+2	—
	S3	2+1	1+2	1+2	—
	S4	1+2	1+2	1+2	—
一级公路	S1	2+2	2+2	2+1	1+2
	S2	2+2	2+1	1+2	1+2
	S3	2+1	1+2	1+2	1+2
	S4	1+2	1+2	1+2	1+1
二级公路	S1	—	2+1	2+1	1+2
	S2	—	2+1	1+2	1+2
	S3	—	1+2	1+2	1+2
	S4	—	1+2	1+2	1+1

注：结构组合中第一个数字代表半刚性基层的层数，第二个数字代表半刚性底基层的层数。

3. 半刚性基层与底基层应根据公路等级、交通等级和路基等级选择不同的强度标准，见表 6.1.1-2。表中要求为强度值的下限，施工过程中同一批次强度抽检试验的变异水平，高速公路、一级公路应不大于 15%，二级公路应不大于 20%。

4. 高速公路半刚性基层宜采用水泥稳定级配碎石，半刚性底基层宜采用水泥稳定碎石（或砾石）；一级公路半刚性基层可采用水泥稳定级配碎石、水泥稳定碎石（或砾石），半刚性底基层可采用水泥稳定碎石（或砾石）、水泥稳定石屑；二级公路半刚性基层宜采用水泥稳定碎石（或砾石），底基层可采用水泥稳定碎石（或砾石）、水泥稳定石屑。不同公路等级、交通等级和路基等级下半刚性基

层与底基层的材料可参照附表 B-1、附表 B-3 和附表 B-5 进行选择。

表 6.1.1-2 沥青路面半刚性基层与底基层 7d 无侧限抗压强度标准

公路等级	结构层	路基等级	特重交通			重交通	中等交通	轻交通
			一级	二级	三级			
高速公路	基层 (MPa)	S2	—	—	4.5	4.5	4.5	—
		S3	6	5	4.5	4.5	4	—
		S4	6	5	4.5	4.5	4	—
	底基层 (MPa)	S2	—	—	3.5	3.5	3.5	—
		S3	4.5	4	3.5	3.5	3	—
		S4	4.5	4	3.5	3.5	3	—
一级公路	基层 (MPa)	S1	6	5	4.5	5	4.5	4
		S2	5	4.5	4	4.5	4.5	4
		S3	5	4.5	4	4.5	4	4
		S4	5	4.5	4	4.5	4	4
	底基层 (MPa)	S1	4.5	4	3.5	3.5	3.5	2.5
		S2	4.5	4	3.5	3.5	3.5	2.5
		S3	4.5	4	3.5	3.5	3	2.5
		S4	4.5	4	3.5	3.5	2.5	2.5
二级公路	基层 (MPa)	S1	—	—	—	5	4.5	4
		S2	—	—	—	4.5	4	4
		S3	—	—	—	4.5	4	4
		S4	—	—	—	4.5	4	4
	底基层 (MPa)	S1	—	—	—	3.5	3	2.5
		S2	—	—	—	3.5	3	2.5
		S3	—	—	—	3.5	3	2.5
		S4	—	—	—	3.5	3.5	2.5

5. 水泥稳定级配碎石根据公称最大粒径的不同可以分为 CGA20 和 CGA25 两种级配类型，参考级配范围见表 6.1.1-3。

表 6.1.1-3 水泥稳定级配碎石参考级配范围

筛孔	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
CGA20		100~	89~	79~	63~	40~	28~	20~	14~	10~	7~	5~
		90	79	67	52	30	17	10	6	3	2	0
CGA25	100~	84~	76~	69~	58~	40~	28~	20~	14~	10~	7~	5~
	90	73	65	58	47	30	17	10	6	3	2	0

(1) 实际工程中，应根据当地原材料情况通过试验验证选择合理的级配曲线。为了有效控制混合料的级配，水泥稳定级配碎石的集料规格应至少划分为四档。对于 CGA20 级配分别为：0~5、5~10、10~15（或 10~20）、15~20（或 15~25）；

对于 CGA25 级配分别为：0~5、5~10、10~20（或 10~30）、20~30（或 20~40）。

（2）水泥稳定级配碎石的集料宜选择与中、下面层沥青混合料相同的集料。细集料宜采用机制砂，粉尘含量不宜超过 10%。

（3）水泥稳定级配碎石宜采用两台连续式的稳定材料厂拌设备按照先后顺序依次拌和（即二次拌和）的方式进行施工。

6. 水泥稳定碎石（或砾石）根据公称最大粒径的不同可以分为 CCS25 和 CCS30 两种级配类型，参考级配范围见表 6.1.1-4。当用于基层时，宜选择 CCS25；当用于底基层时，宜选择 CCS25 或 CCS30。

表 6.1.1-4 水泥稳定碎石（或砾石）参考级配范围

筛孔	37.5	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
CCS25		100	100~90	89~72	67~47	49~29	35~17	22~8	7~0
CCS30	100	100~90		90~67	68~45	50~29	38~18	22~8	7~0

7. 水泥稳定石屑主要用于底基层，其参考级配范围见表 6.1.1-5。

表 6.1.1-5 水泥稳定石屑参考级配范围

筛孔	37.5	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
CS	100~90	100~66	100~54	100~39	84~28	70~20	57~14	47~8	30~0

6.1.2 刚性基层与半刚性底基层

1. 高速公路特重交通一级、特重交通二级条件下路基等级为 S3 时，特重交通三级、重交通条件下路基等级为 S2、S3 时，可选择刚性基层沥青路面。

一级公路特重交通、重交通条件下路基等级为 S1、S2、S3 时，可选择刚性基层沥青路面。

2. 刚性基层可选择连续配筋混凝土、水泥混凝土和贫混凝土。

（1）连续配筋混凝土的承载能力标准应与普通素混凝土相一致。

（2）水泥混凝土或连续配筋混凝土基层应根据公路等级、交通等级和路基等级选择不同的结构层厚度，详见附表 B-1 和附表 B-3。

（3）贫混凝土可采用现场浇筑成型或碾压成型。为防止收缩开裂，在成型

5~7 天后，每隔 8~12m 进行预切缝处理，切缝深度为铺层厚度的 1/2~1/3。碾压成型的贫混凝土级配可参考表 6.1.1-3 水泥稳定级配碎石的级配范围。

3. 刚性基层下面宜采用半刚性底基层。

(1) 高速公路路基等级为 S2 时采用二层半刚性底基层，路基等级为 S3 时采用一层半刚性底基层。半刚性底基层可采用水泥稳定碎石（或砾石），级配要求见表 6.1.1-4。

(2) 一级公路路基等级为 S1、S2 时采用二层半刚性底基层，路基等级为 S3 时采用一层半刚性底基层。特重交通条件下底基层材料宜选择水泥稳定碎石（或砾石），重交通条件下底基层材料宜选择水泥稳定碎石（或砾石）和水泥稳定石屑，级配要求见表 6.1.1-4 和表 6.1.1-5。

4. 高速公路、一级公路刚性基层与半刚性底基层材料宜选择不同的结构层厚度和强度标准，要求见表 6.1.1-6 和表 6.1.1-7。表中要求为强度值的下限，施工过程中同一批次强度抽检试验的变异水平应不大于 15%。

表 6.1.1-6 高速公路刚性基层与半刚性底基层技术要求汇总

结构层	材料类型	路基等级	参数	特重交通			重交通
				一级	二级	三级	
基层	水泥混凝土 连续配筋混凝土	S2	厚度 (cm)	—	—	24	22
			抗折强度 (MPa)	—	—	4	4
		S3	厚度 (cm)	26	24	24	22
			抗折强度 (MPa)	5	4.5	4	4
	贫混凝土	S2	厚度 (cm)	—	—	22	22
			抗压强度 (MPa)	—	—	8	7
		S3	厚度 (cm)	24	22	22	20
			抗压强度 (MPa)	9	8	7	7
底基层	水泥稳定碎石 (或砾石)	S2	抗压强度 (MPa)	—	—	3.5	3.5
		S3	抗压强度 (MPa)	4.5	4	3.5	3.5

表 6.1.1-7 一级公路刚性基层与半刚性底基层技术要求汇总

结构层	材料类型	路基等级	参数	特重交通			重交通
				一级	二级	三级	
基层	水泥混凝土 连续配筋混凝土	S1	厚度 (cm)	28	26	24	22
			抗折强度 (MPa)	5	4.5	4	4
		S2	厚度 (cm)	26	24	24	22
			抗折强度 (MPa)	5	4.5	4	4
		S3	厚度 (cm)	26	24	24	22
			抗折强度 (MPa)	5	4.5	4	4
	贫混凝土	S1	厚度 (cm)	24	24	22	22
			抗压强度 (MPa)	10	9	8	7
		S2	厚度 (cm)	24	22	22	20
			抗压强度 (MPa)	9	8	7	7
		S3	厚度 (cm)	24	22	22	20
			抗压强度 (MPa)	8	8	7	6
底基层	水泥稳定碎石 (或砾石)	S1	抗压强度 (MPa)	4.5	4	3.5	3.5
		S2		4.5	4	3.5	3.5
		S3		4.5	4	3.5	3.5
	水泥稳定石屑	S1	抗压强度 (MPa)	—	—	—	3
		S2		—	—	—	3
		S3		—	—	—	3

6.1.3 柔性基层与半刚性底基层

1. 高速公路特重交通一级、二级条件下路基等级为 S3、S4 时, 特重交通三级、重交通条件下路基等级为 S2、S3、S4 时, 可选择柔性基层沥青路面。

2. 柔性基层宜采用密实型大粒径沥青混合料, 施工时应分两层摊铺, 每层厚度为 10~15cm。

3. 柔性基层沥青混合料的级配类型和沥青要求见表 6.1.3-1, 推荐级配范围见表 6.1.3-2; 集料、填料等原材料应与下面层沥青混凝土的要求相同。

表 6.1.3-1 高速公路柔性基层沥青混合料的材料选择要求

路基等级	材料参数	特重交通			重交通
		一级	二级	三级	
S2	沥青	—	—	AH-30/AH-50	AH-50/AH-70
	级配	—	—	25、30	25、30
S3	沥青	AH-30/AH-50	AH-30/AH-50	AH-50/AH-70	AH-70
	级配	30	30	25、30	25、30
S4	沥青	AH-50	AH-50	AH-70	AH-70
	级配	30	30	25、30	25、30

表 6.1.3-2 高速公路柔性基层沥青混合料推荐级配范围

筛孔	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
ATB25		100 ~90	84 ~73	76 ~65	69 ~58	58 ~47	40 ~30	28 ~17	20 ~10	14 ~6	10 ~3	7 ~2	5 ~1
ATB30	100 ~90	92 ~81	78 ~67	72 ~61	66 ~54	56 ~45	40 ~30	28 ~17	20 ~10	14 ~6	10 ~3	7 ~2	5 ~1

4. 柔性基层沥青混合料应采用大型马歇尔击实试验方法进行配合比设计，设计空隙率为 3%~5%，混合料的相关性能指标应不低于下面层沥青混合料。

5. 柔性基层下面应设置一层半刚性材料作为底基层，起到荷载扩散和消解应力的作用。半刚性底基层材料可选择水泥稳定碎石（或砾石），其技术要求见表 6.1.3-3。表中要求为强度值的下限，施工过程中同一批次强度抽检试验的变异水平应不大于 15%。

表 6.1.3-3 高速公路柔性基层路面结构半刚性底基层的材料要求

路基等级	材料参数	特重交通			重交通
		一级	二级	三级	
S2	抗压强度 (MPa)	—	—	4	3.5
S3	抗压强度 (MPa)	4.5	4	3.5	3.5
S4	抗压强度 (MPa)	4	4	3	3

6.2 水泥混凝土路面基层与底基层

6.2.1 设计要求

1. 广东省公路水泥混凝土路面基层和底基层材料可以选择粒料类（碎石、砂砾等）、稳定类（水泥、石灰粉煤灰或沥青稳定粒料）、贫混凝土和碾压混凝土。

2. 广东省水泥混凝土路面基层应选用刚度大、抗冲刷、耐久性好的材料，目前广东省一般采用水泥稳定粒料类基层。

3. 选择用作底基层、垫层以及轻交通道路基层的材料时应做到就地取材。可选择材料有水泥稳定碎石（或砾石）、级配碎（砾）石、填隙碎石等材料。

4. 基层顶面当量回弹模量 E_t 的最小值应满足表 6.2.1-1 的要求，基层强度应满足表 6.2.1-2 的要求。

表 6.2.1-1 基层顶面当量回弹模量 E_t 的最低要求

交通量等级	特重	重	中等	轻
回弹模量 E_t , MPa	120	100	80	80

表 6.2.1-2 基层强度下限表 (7 天无侧限抗压强度)

结构层	路基等级	特重交通		重交通			中等交通			轻交通	
		高速	一级	高速	一级	二级	高速	一级	二级	一级	二级
基层 (MPa)	S1	—	5.0	—	4.5	5	—	3.5	4.5	3.0	3.5
	S2	4.5	4.5	4.0	4.0	4.5	3.5	3.5	4	3.0	3.5
	S3	4.5	4.5	4.0	4.0	4.5	3.5	3.5	4	3.0	3.5
	S4	4.5	4.5	4.0	4.0	4.5	3.5	3.5	4	3.0	3.5
底基层 (MPa)	S1	—	4.0	—	3.5	3.5	—	2.5	3	2.5	2.5
	S2	3.5	3.5	3.0	3.0	3.5	2.5	2.5	3	2.5	2.5
	S3	3.5	3.5	3.0	3.0	3.5	2.5	2.5	3	2.5	2.5
	S4	3.5	3.5	3.0	3.0	3.5	2.5	2.5	3	2.5	2.5

6.2.2 材料要求

1. 宜采用 32.5 级普通硅酸盐水泥, 水泥的初凝时间不小于 3h, 终凝时间不小于 6h。不得使用快硬水泥、早强水泥以及已受潮变质的水泥。当采用 32.5 强度等级的水泥、用设计水泥剂量不能满足基层的强度要求时, 可考虑采用强度等级为 42.5 的水泥。

2. 用于水泥稳定碎石底基层与基层的碎石, 应质地坚硬耐久、洁净、有良好的级配。基层碎石的公称最大粒径为 26.5mm。底基层碎石的公称最大粒径为 31.5mm, 碎石颗粒接近立方体。细集料质地坚硬、耐久、洁净, 并具有良好级配。水泥稳定碎石用集料应满足表 6.2.2-1 的要求, 常用级配范围见表 6.2.2-2。

表 6.2.2-1 水泥稳定碎石用集料技术要求

项目		最大粒径 (mm)	岩石强度	压碎值 (%)	有机质含量 (%)	硫酸盐含量 (%)
技术要求	底基层	31.5	不低于 2 级	≤ 30	≤ 2	≤ 0.25
	基层	26.5	不低于 2 级	≤ 30	≤ 2	≤ 0.25

表 6.2.2-2 水泥稳定碎石的集料级配范围

筛孔尺寸 (mm)	37.5	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
通过百分率 (%)	/	100	90~100	72~89	47~67	29~49	17~35	8~22	0~7

注: 底基层与基层使用集料的粒径应以方孔筛为准。

3. 底基层和基层下层的集料至少分为 3 档，即：碎石，石屑，天然砂。
4. 基层集料至少分为 4 档，分别为：9.5~31.5mm（碎石）、4.75~9.5mm（碎石）、0~4.75mm（石屑）和天然砂。
5. 如果使用贫混凝土基层，其 28 天抗压强度不宜高于 12MPa。贫混凝土基层应每隔 20m 锯一道缝并用沥青灌缝。多孔贫混凝土基层的松铺系数一般在 1.22 左右，宜采用“静碾 1 遍—大振 1 遍—小振 1 遍—静碾去轮迹”的施工工艺。
6. 其他类型基层材料的要求应符合现行《公路水泥混凝土路面设计规范》（JTG D40—2002）中的有关规定。

7 沥青面层

7.1 总体结构说明

7.1.1 广东省公路沥青路面典型结构包括半刚性基层沥青路面、刚性基层沥青路面和柔性基层沥青路面三种类型，在相同的交通荷载和路基等级下这三种结构的使用效果是等效的，可根据实际工程的建设投资情况进行选择。

7.1.2 半刚性基层沥青路面面层厚度和类型要求如下。

1. 高速公路沥青面层总厚度推荐为 18cm，分为上面层、中面层和下面层三层进行铺筑，厚度组合可采用 5cm+6cm+7cm 或 4cm+6cm+8cm。上面层可选择细粒式或中粒式沥青混凝土，中面层一般为中粒式沥青混凝土，下面层可选择中粒式或粗粒式沥青混凝土。

2. 一级公路只有在轻交通条件下沥青面层厚度为 12cm，分两层铺筑，其他条件下沥青面层厚度均为 15~16cm，分三层铺筑。

3. 二级公路只有在轻交通条件下沥青面层厚度为 5~9cm，分 1~2 层铺筑，其他条件下沥青面层厚度均为 12cm，分两层铺筑。

7.1.3 高速公路刚性基层沥青路面面层推荐厚度为 12cm，一级公路刚性基层沥青路面面层推荐厚度为 9cm。

7.1.4 高速公路柔性基层沥青路面面层推荐厚度为 12cm，分两层摊铺，厚度组合宜为 5cm+7cm。

7.2 矿料技术要求

沥青混合料中的粗集料、细集料和填料等矿料应满足现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 的要求。

7.2.1 沥青混合料用粗集料的技术要求见表 7.2.1。**表 7.2.1 沥青混合料用粗集料的技术要求**

指标	单位	高速公路和一级公路		二级公路	试验方法
		上面层	其他层次		
压碎值（或冲击值），不大于	%	22	24	26	T0316-94
表观相对密度，不小于	t/m ³	2.60	2.50	2.45	T0304-94
吸水率，不大于	%	2.0	3.0	2.0	T0305-94
对沥青粘附性，不小于		5 级	4 级	4 级	T0616-93
坚固性，不大于	%	12	12	—	T0314-94
细长扁平颗粒含量，不大于	%	15	18	20	T0312-94 T0311-94
含泥量（<0.075mm），不大于	%	0.8	1	1	T0310-94
软石含量，不大于	%	3	5	5	T0320-94
石料磨光值（PSV），不小于		42	—	—	T0321-94
磨耗值（道瑞法）（AAV），不大于		14	—	—	T0323-94

1. 上面层沥青混合料的粗集料宜选择二次反击破碎的玄武岩、花岗岩或辉绿岩等硬质石料。

2. 结合广东省的实际情况，本指南适当提高了粗集料的压碎值标准，降低了含泥量。

3. 当采用花岗岩石料时，应采取适当措施提高沥青混合料的水稳定性，包括：掺加水泥或消石灰、使用粘度较高的改性沥青、在沥青中掺加抗剥落剂和使用碱性细集料等。

7.2.2 沥青混合料的细集料技术要求见表 7.2.2。细集料可采用机制砂或石屑，应洁净、干燥、无风化、无杂质并有适当的颗粒级配。对于上面层沥青混合料推荐使用石灰岩细集料代替花岗岩细集料。

表 7.2.2 沥青混合料用细集料的技术要求

指标	单位	高速、一级公路	二级公路	试验方法
表观相对密度，不小于	t/m ³	2.50	2.45	T 0328
坚固性（>0.3mm 部分），不小于	%	12	—	T 0340
含泥量（小于 0.075mm 的含量），不大于	%	3	5	T 0333
砂当量，不小于	%	60	50	T 0334
亚甲蓝值，不大于	g/kg	25	—	T 0349
棱角性（流动时间），不小于	s	30	—	T 0345

7.2.3 沥青混合料用矿粉的技术要求见表 7.2.3。

表 7.2.3 沥青混合料用矿粉的技术要求

项 目	单 位	指 标	试验方法
表观相对密度, 不小于	t/m ³	2.50	T 0352
含水量, 不大于	%	1	T 0103 烘干法
粒度范围 <0.6mm	%	100	T 0351
<0.15mm	%	90~100	
<0.075mm	%	75~100	
外观	—	无团粒结块	
亲水系数	—	<1	T 0353
塑性指数	%	<4	T 0354
加热安定性	—	实测记录	T 0355

1. 矿粉必须采用石灰岩或岩浆岩中强基性岩石等憎水性石料经磨细得到的矿粉, 原石料中的泥土杂质应除净。矿粉应保持干燥、洁净, 能自由地从矿粉仓流出。当采用消石灰或水泥代替矿粉时, 其技术指标也应满足表 7.2.3 的要求。

2. 对于上面层沥青混合料, 为了增强集料与沥青的粘附性, 原则上填料应采用消石灰或 325 号、425 号水泥以代替部分矿粉, 替代量应通过试验确定, 并应报监理工程师批准, 严禁将回收粉作为填料加入到沥青混合料中。在有条件地区优先采用消石灰代替部分矿粉, 掺量为 2%~3%; 除粤北山区外, 在特重交通条件下也可采用水泥代替矿粉以提高混合料的水稳定性。

7.3 级配技术要求

7.3.1 高速公路和一级公路沥青混合料级配类型见表 7.3.1。

表 7.3.1 高速公路和一级公路沥青混合料级配类型

交通荷载等级		上面层	中面层	下面层
特重 交通	一级	16	20	25
	二级	13、16	20	25
	三级	13、16	20、25	25
重交通		13	16、20	25
中等交通、轻交通		13	16、20	25

7.3.2 沥青混合料的摊铺厚度应为公称最大粒径的 2.5~3 倍。

7.3.3 高速公路和一级公路在特重交通一级、二级条件下，上面层、中面层、下面层均应选用粗集料断级配密实型沥青混合料，级配范围见表 7.3.3。其它条件下，中、下面层可选择现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中相应的连续密实型级配(粗型)，上面层均应选择粗集料断级配密实型沥青混合料。

表 7.3.3 粗集料断级配混合料级配范围

粒径	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC25	100	100~90	82~70	74~62	65~54	54~42	35~25	27~16	21~11	17~7	13~5	10~3	8~2
AC20		100	100~90	88~77	79~64	59~47	35~25	27~16	21~11	17~7	13~5	10~3	8~2
AC16			100	100~95	86~79	67~58	40~30	32~23	25~17	20~13	16~10	13~8	10~6
AC13				100	100~95	74~66	40~30	32~23	25~17	20~13	16~10	13~8	10~6

7.3.4 上面层 AC13、AC16 的混合料应至少由四档矿料组成：0~3mm、3~5mm、5~10mm 和 10~15mm，筛分范围要求见表 7.3.4-1、7.3.4-2。当生产 AC13 型混合料时，S10 应偏细，13.2mm 的通过率应不小于 90%；当生产 AC16 型混合料时，S10 应偏粗，13.2mm 的通过率应不大于 90%。

表 7.3.4-1 上面层粗集料筛分范围要求

规格名称	公称粒径 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)					
		19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6
S10	10~15	100	80~100	0~15	0~5	—	—
S12	5~10		100	90~100	0~15	0~5	—
S14	3~5			100	90~100	0~15	0~3

表 7.3.4-2 上面层细集料筛分范围要求

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
S16	0~3	—	100	80~100	50~80	25~60	8~45	0~25	0~10

7.3.5 中面层 AC16 中粒式沥青混合料应至少由四档矿料组成：0~3mm、3~5mm、5~10mm 和 10~18mm。中面层 AC20 中粒式沥青混合料应至少由四档矿料组成：0~3mm、3~5mm、5~10mm 和 10~20mm，中、下面层 AC25 粗粒式沥青混合料应至少由四档矿料组成：0~5mm、5~10mm、10~20mm(或 10~15mm)和 10~25mm，筛分范围要求见表 7.3.5-1、7.3.5-2。

表 7.3.5-1 中、下面层粗集料筛分范围要求

规格 名称	公称 粒径 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)									
		37.5	31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6
S7	10~30	100	90~100	—	—	—	—	0~15	0~5	—	—
S8	10~25		100	90~100							
S9	10~20			100	90~100		—	0~15	0~5	—	-
S9F	10~18				100	90~100					
S10	10~15				100		90~100	0~15	0~5	—	—
S12	5~10						100	90~100	0~15	0~5	—
S14	3~5							100	90~100	0~15	0~3

表 7.3.5-2 中、下面层细集料筛分范围要求

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	0~10

7.3.6 SMA 沥青混合料级配宜参考现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 中的有关规定。

7.3.7 上面层材料可根据实际情况选择富沥青混合料 (FAC)、AC-10 超薄沥青混凝土铺装或碎石封层。

7.3.8 对于交通等级为重交通以下的路段, 中、下面层材料可选择传统的连续密实型级配和 ATB, 但应保证混合料的密实性, 且满足混合料的技术指标要求。

7.3.9 中、下面层不宜采用排水结构层。

7.3.10 上面层材料一般不宜使用开级配磨耗层 (OGFC)。在景区公路和一些特殊的轻交通路段, 经过试验比较后方可修筑这种结构, 但下面必须设置防水层。

7.4 沥青技术要求

7.4.1 沥青混合料可使用改性沥青、硬质沥青和普通重交通道路石油沥青，改性沥青可以选择 SBS 改性沥青、橡胶沥青和 PE 改性沥青等。不同等级公路沥青面层的沥青选择情况见表 7.4.1。

表 7.4.1 不同等级公路沥青面层的沥青选择情况

公路等级	交通荷载等级		AH-70	AH-50	AH-30	SBS 改性	PE 改性	橡胶沥青
高速公路	特重交通	一级	—	中、下	中、下	上、中、下	中、下	上、中
		二级	—	中、下	中、下	上、中	中	上、中
		三级	中、下	中、下	—	上	中	上、中
	重交通		上、中、下	中、下	—	上	—	上
	中等交通		上、中、下	中、下	—	上	—	上
一级公路	特重交通	一级	—	中、下	中、下	上、中	中	上、中
		二级	—	中、下	中、下	上、中	中	上、中
		三级	上、中、下	中、下	—	上	中	上、中
	重交通		上、中、下	中、下	—	上	—	上
	中等交通		上、中、下	中、下	—	—	—	—
	轻交通		上、中、下	—	—	—	—	—
二级公路	重交通		上、下	下	—	上	—	上
	中等交通		上、下	下	—	—	—	—
	轻交通		上、下	—	—	—	—	—

7.4.2 粤北地区特重交通等级的上面层，SBS 改性沥青应选用现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 中的 I-D 标准，其他条件下可选用 I-C 级标准。

7.4.3 橡胶沥青的技术标准见表 7.4.3。橡胶沥青可以采用湿拌和干拌两种工艺，湿拌工艺适用于上面层，干拌工艺适用于中、下面层。

7.4.4 PE 改性沥青可用于特重交通条件下的中、下面层沥青混凝土，以提高抗车辙能力。

7.4.5 特重交通条件下，中、下面层可以使用 AH-30 号硬质沥青，技术标准见表 7.4.5。

表 7.4.3 橡胶沥青技术标准

等级	A	B	C
适用条件	特重交通	重交通	中等交通
180℃ 旋转黏度 (Pa·s)	2.5~4.5	2.0~4.0	1.0~3.0
25℃ 针入度 (0.1mm)	40~60	40~70	50~80
软化点 (℃), 不小于	70	65	60
弹性恢复 (%), 不小于	70	70	80
5℃ 延度 (cm), 不小于	5	10	15
薄膜烘箱 老化后	质量损失 (%)	<0.4	
	25℃ 针入度比 (%), 不小于	80	80
	5℃ 延度比 (%), 不小于	40	40

表 7.4.5 AH-30 号硬质沥青技术标准

技术指标	AH-30 号	试验方法
针入度 (25℃, 100g, 5s) / (0.1mm)	20~40	T0604
延度 (5cm/min, 10℃) / (cm), 不小于	10	T0605
延度 (5cm/min, 15℃) / (cm), 不小于	50	T0605
软化点 (环球法) / (℃), 不小于	55	T0606
闪点 (COC) / (℃), 不小于	260	T0611
含蜡量 (蒸馏法) / (%), 不大于	3	T0615
密度 (15℃) / (g/cm ³)	实测	T0603
溶解度 (三氯乙烯) / (%), 不小于	99.5	T0607
动力粘度 (60℃) / (Pa·s), 不小于	260	T0620
薄膜烘箱或 旋转薄膜烘箱	质量损失 (%)	±0.8
	针入度比, 不小于	65
	延度 (10℃) /cm	-

7.5 沥青混合料技术要求

7.5.1 沥青混合料配合比设计宜采用马歇尔击实试验方法 (JTJ 052—2000/T 0702—2000), 对于有条件的工程项目也可以采用 Superpave (AASHTO M 323—04)、GTM (ASTM D3387) 等试验方法。

7.5.2 标准马歇尔试验的击实次数为双面击实 75 次, 对于特重交通一级的情况可适当提高击实功 (增加击实次数或击实锤重)。当沥青混合料的公称最大粒径大于 26.5mm (包括 26.5mm) 时, 应采用大型马歇尔击实试验, 击实次数为双面击实 112 次。

7.5.3 马歇尔击实试验的油石比间隔为 0.3%~0.4%，应通过 5 个油石比下的击实试验综合确定最佳油石比。

7.5.4 沥青混合料的最大理论密度应采用真空法测定（包括改性沥青混合料）；试件的毛体积密度应采用蜡封法测定。

7.5.5 上面层沥青混合料的设计空隙率为 3~5%，中、下面层沥青混合料的设计空隙率为 2.5~4.5%。对于上面层沥青混合料，当采用 16 型级配时设计空隙率宜取下限，当采用 13 型级配时设计空隙率可取上限；上面层混合料的沥青饱和度不宜大于 75%，对于特重交通应小于 70%，采用橡胶沥青或其它高粘度沥青时沥青饱和度可增加 5%。沥青混合料的矿料间隙率应满足现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40—2004）的要求。

7.5.6 沥青混合料的高温稳定性通过动稳定度指标来评价，要求见表 7.5.6。车辙试件应按照沥青混合料现场实际的压实度或空隙率成型。对于特重一级的交通荷载，将测试温度由 60℃提高到 70℃。

表 7.5.6 沥青混合料的高温性能指标

交通量等级		试验条件	动稳定度 DS（次/mm）		
			上面层	中面层	下面层
特重交通	一级	70℃，0.7MPa	3500	2000	1500
	二级	60℃，0.7MPa	5000	2500	2000
	三级	60℃，0.7MPa	3000	1500	1500
重交通		60℃，0.7MPa	2500	1500	1000
中等交通		60℃，0.7MPa	2000	1500	—

7.5.7 混合料的水稳定性通过沥青与矿料的粘附性试验、残留稳定度试验和冻融劈裂试验来评价，要求见表 7.5.7。多孔隙沥青混凝土应采用浸水条件下的飞散试验来评价。用作残留稳定度试验和冻融劈裂试验的试件应按照沥青混合料现场实际的压实度或空隙率成型。

表 7.5.7 沥青混合料的水稳定性指标

层位	上面层	中面层	下面层
沥青与石料的粘附性, 级, 不低于	5	4	4
浸水马歇尔试验残留稳定度, %, 不低于	80~85	75~80	75~80
冻融劈裂试验残留强度比, %, 不低于	75~80	70~75	70~75

7.6 上面层沥青混合料抗滑技术要求

上面层抗滑性能以横向力系数 SFC_{60} 和路面宏观构造深度 TD (mm) 为主要指标。高速公路、一级公路在竣工验收时, 其抗滑技术指标宜符合表 7.6 的要求, 二级公路可参照执行。

表 7.6 抗滑技术指标

名称	竣 工 验 收 值		
	横向力系数 SFC	摆值 Fb (BPN)	构造深度 TD (mm)
指标范围	≥ 54	≥ 45	≥ 0.7

注: 1. 横向力系数 SFC_{60} ——用横向力系数测试车, 在 (60 ± 1) km/h 的车速下测定;

2. 路面宏观构造深度 TD (mm) ——用铺砂法测定。

8 水泥面层

8.1 水泥混凝土面板设计参数

8.1.1 水泥混凝土面板的设计参数见表 8.1.1。

表 8.1.1 水泥混凝土面板的设计参数

公路等级	交通等级	N_e	E_C GPa	E_t	自然区划	f_r MPa	板厚 cm	k_r	k_c	板长 m	T_g ℃/m	设计年限	车道横向分布系数
高速	特重	$>2 \times 10^7$	31	250~350	IV	5.0	28~30	0.87	1.3	5.0	0.86	30	0.17~0.22
一级	特重	$2 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8$	31	250~350	IV	5.0	26~30	0.87	1.25	5.0	0.86	30	0.17~0.22
	重	$1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^7$	31	250~350	IV	5.0	25~28	0.87	1.25	5.0	0.86	30	0.17~0.22
二级	重	$1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^7$	31	250~350	IV	5.0	26~28	0.87	1.2	5.0	0.86	20	0.34~0.36
	中	$3 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$	29	150~300	IV	4.5	25~26	0.87	1.2	4.5	0.86	20	0.34~0.36
	轻	$<3 \times 10^4$	29	100~200	IV	4.0	23~24	0.92	1.2	4.5	0.86	20	0.36~0.39

注：1. 对于特重交通，所提出的厚度参考值是依据各项有利的参数值计算得到的下限。

2. 对于轻交通，所提出的厚度参考范围的高限，是依据各项不利的参数值计算得到的上限，其低限则为面层最小厚度的限值。

8.1.2 表 8.1.1 可供设计者初拟面层厚度时参考。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、基层和垫层的厚度薄或模量值低时，取高值。

8.2 水泥技术要求

8.2.1 水泥强度及化学物理指标要求见表 8.2.1-1、表 8.2.1-2。

表 8.2.1-1 水泥混凝土路面水泥强度要求

交通等级	特重交通		重交通		中、轻交通	
龄期 (d)	3	28	3	28	3	28
抗压强度 (MPa)，不小于	25.5	57.5	22.0	52.5	16.0	42.5
抗折强度 (MPa)，不小于	4.5	7.5	4.0	7.0	3.5	6.5

表 8.2.1-2 水泥的化学成分和物理指标

性能指标	特重、重交通路面	中、轻交通路面
铝酸三钙，不大于	7.0%	9.0%
铁铝酸四钙，不小于	15.0%	12.0%
游离氧化钙，不大于	1.0%	1.5%
氧化镁，不大于	5.0%	6.0%
三氧化硫，不大于	3.5%	4.0%
碱含量	$\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}\leq 0.6\%$	怀疑有碱活性集料时， $\leq 0.6\%$ ； 无碱活性集料时， $\leq 1.0\%$
混合材种类	不得掺窑灰、煤矸石、火山灰和粘土	不得掺窑灰、煤矸石、火山灰和粘土
出磨时安定性	雷氏夹法检验必须合格	蒸煮法检验必须合格
标准稠度需水量，不大于	28%	30%
烧失量，不大于	3.0%	5.0%
比表面积	宜在 300~450 (m^2/kg)	宜在 300~450 (m^2/kg)
细度 (80 μm)	筛余量不得 $>10\%$	筛余量不得 $>10\%$
初凝时间	不早于 1.5h	不早于 1.5h
终凝时间	不迟于 10h	不迟于 10h
28d 干缩率，不大于	0.09%	0.10%
耐磨性，不大于	3.6 (kg/m^2)	3.6 (kg/m^2)

8.3 集料技术要求

8.3.1 水泥混凝土路面集料公称最大粒径不应大于 31.5mm（碎石）或 19.0mm（卵石）。砂的细度模数不宜小于 2.5；用于高速公路面层的砂，其硅质砂或石英砂的含量不宜低于 25%。水泥用量不得小于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ （非冰冻地区）或 $320\text{kg}/\text{m}^3$ （冰冻地区），冰冻地区的混凝土中必须掺加引气剂。粗、细集料技术指标和级配范围见表 8.3.1-1~8.3.1-4。

8.3.2 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，不宜大于 26.5mm（铣削型钢纤维）或 19mm（剪切型或熔抽型钢纤维）。钢纤维的抗拉强度标准值不宜小于 600 级（600~1000MPa），以体积率计的钢纤维掺量一般为 0.6%~1.0%。水泥用量不得低于 $360\text{kg}/\text{m}^3$ （非冰冻地区）。

表 8.3.1-1 粗集料技术指标

项 目	技术要求		
	I 级	II 级	III 级
碎石压碎指标 (%), 小于	10	15	25
卵石压碎指标 (%), 小于	12	14	16
针片状颗粒含量 (按质量计%), 小于	5	15	20
含泥量 (按质量计%), 小于	0.5	1.0	1.5
泥块含量 (按质量计%), 小于	0	0.2	0.5
有机物含量 (比色法)	合格	合格	合格
岩石抗压强度	火成岩 $\geq 100\text{MPa}$; 变质岩 $\geq 80\text{MPa}$; 水成岩 $\geq 60\text{MPa}$		
表观密度, 大于	2500kg/m^3		
松散堆积密度, 大于	1350kg/m^3		
空隙率, 小于	47%		
碱集料反应	经碱集料反应试验后, 试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象, 在规定试验龄期的膨胀率应小于 0.10%。		

注: 高速公路路面使用的粗集料级别应不低于 II 级, 贫混凝土基层可使用 III 级粗集料。

表 8.3.1-2 粗集料级配范围

级配要求		方筛孔尺寸 (mm)							
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
		累计筛余 (以质量计) (%)							
合 成 级 配	4.75~16	95~100	85~100	40~60	0~10				
	4.75~19	95~100	85~95	60~75	30~45	0~5	0		
	4.75~26.5	95~100	90~100	70~90	50~70	25~40	0~5	0	
	4.75~31.5	95~100	90~100	75~90	60~75	40~60	20~35	0~5	0
粒 级	4.75~9.5	95~100	80~100	0~15	0				
	9.5~16		95~100	80~100	0~15	0			
	9.5~19		95~100	85~100	40~60	0~15	0		
	16~26.5			95~100	55~70	25~40	0~10	0	
	16~31.5			95~100	85~100	55~70	25~40	0~10	0

表 8.3.1-3 细集料技术指标

项 目	技术要求		
	I 级	II 级	III 级
氯化物（氯离子质量计%），小于	0.01	0.02	0.06
坚固性（按质量损失计%），小于	6	8	10
云母（按质量计%），小于	1.0	2.0	2.0
含泥量（按质量计%），小于	1.0	2.0	5.0
泥块含量（按质量计%），小于	0	1.0	2.0
机制砂 MB 值<1.4 或 合格石粉含量（按质量计%），小于	3.0	5.0	7.0
机制砂 MB 值≥1.4 或 不合格石粉含量（按质量计%），小于	1.0	3.0	5.0
有机物含量（比色法）	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐（按 SO ₃ 质量计%），小于	0.5	0.5	0.5
轻物质（按质量计%），小于	1.0	1.0	1.0
表观密度，大于	2500kg/m		
松散堆积密度，大于	1350kg/m		
空隙率，小于	47%		
碱集料反应	经碱集料反应试验后，由砂配制的试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象，在试验龄期的膨胀率应小于 0.10%		

表 8.3.1-4 细集料级配范围

分 级	方筛孔尺寸（mm）					
	0.15	0.30	0.60	1.18	2.36	4.75
	累计筛余（以质量计）（%）					
粗 砂	90~100	80~95	71~85	35~65	5~35	0~10
中 砂	90~100	70~92	41~70	10~50	0~25	0~10
细 砂	90~100	55~85	16~40	0~25	0~15	0~10

8.4 水泥混凝土配合比技术要求

混凝土配合比设计时的混凝土试配弯拉强度的均值应按式（8.4-1）确定。

$$f_{rm} = \frac{f_r}{1 - 1.04c_v} + ts \quad (8.4-1)$$

式中：

f_{rm} ——混凝土试配弯拉强度的均值（MPa）；

f_r ——混凝土弯拉强度标准值（MPa）；

c_v ——混凝土弯拉强度的变异系数，按表 8.4-1 取用；

s ——混凝土弯拉强度试验样本的标准差；

t ——保证率系数，按样本数 N 和判别概率 p 参照表 8.4-2 确定。

表 8.4-1 变异系数 C_v 的变化范围

变异水平等级	低	中	高
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	$C_v \leq 0.04$	$0.04 < C_v \leq 0.06$	$0.06 < C_v \leq 0.08$

表 8.4-2 保证率系数

公路等级	判别概率 p	样 本 数 N				
		3	6	9	15	20
高速公路	0.05	1.36	0.79	0.61	0.45	0.39
一级公路	0.10	0.95	0.59	0.46	0.35	0.30
二级公路	0.15	0.72	0.46	0.37	0.28	0.24

8.5 切缝施工要求

8.5.1 对于有传力杆的横向缩缝切缝深度为 $1/3 \sim 1/4$ 板厚，最浅不得小于 70mm；无传力杆缩缝的切缝深度为 $1/4 \sim 1/5$ 板厚，最小不得小于 60mm。

8.5.2 对已插入拉杆的纵向假缩缝，切缝深度不应小于 $1/3 \sim 1/4$ 板厚，最浅不得小于 70mm，纵向、横缩缝宜同时切缝。

8.5.3 缩缝切缝宽宜控制在 4~6mm，切缝时锯片晃动不应大于 2mm。

8.5.4 路面切缝时间采用度时积来控制，一般切缝时间的度时积必须严格按照 180-200 度时积来控制，天气温度或湿度突变时，应适当提前切缝时间。

8.5.5 桥面切缝要特别注意温度或湿度的变化速率，及时切缝。预留安装伸缩缝位置应先切两刀，形成 2~3cm 的真缝，凿除混凝土。

8.6 粤北地区技术要求

针对粤北气候及交通特点，在结构设计和施工中提出以下措施。

8.6.1 在全线高填方与填挖交界部位，应采用强夯或冲击压实，对软基部位进行堆载预压，并加厚碎石垫层。

8.6.2 如果条件允许，可全线设置碎石垫层，以缓解山区高速公路路基不稳定或欠稳定问题，防止早期断板破坏。

8.6.3 针对降雨量大的特点，宜在上基层顶面设置透层油与沥青封层，防止长期运营中的水冲刷破坏。

8.6.4 夏季高温摊铺时，应对材料进行降温处理。降温方法有下面几种。

1. 在施工搅拌时，先将粗、细集料与水泥干拌，利用骨料吸热降温后，再缓慢加水拌合，干拌时间应不少于 40s。

2. 严格控制水灰比，适当增大减水剂用量，提高混凝土的工作性。

3. 改进水泥装卸工艺，水泥在出磨后先采用吨包装，静置一段时间后，再将吨包装水泥吊起卸入水泥罐车中，使运到现场的水泥温度普遍都降低到 60℃ 以下，使施工得以顺利进行。

8.6.5 与广东省其它地区相比，粤北地区冬季气温较低，建议采取以下措施：

1. 气温在 0~5℃ 时，原则上不宜施工。

2. 尽量选用水化热量大的 R 型水泥。

3. 搅拌机出料温度不得低于 10℃，摊铺水泥混凝土温度不得低于 5℃。

4. 加强保温保湿覆盖养生，遇雨雪必须加盖塑料薄膜等。

9 桥隧铺装

9.1 一般说明

9.1.1 桥梁结构和隧道内路基与一般的公路路基有明显的不同，在荷载作用下面层会产生不同的应力状态，因此其相应的铺装结构有所不同。

9.1.2 水泥混凝土桥梁桥面铺装和隧道铺装是公路路面结构的一部分，为了便于施工和养护，除特大桥外，一般应与结构物两端正常路基段的面层混合料类型相一致。

9.2 水泥混凝土桥梁桥面铺装

9.2.1 一般说明

1. 水泥混凝土桥梁桥面铺装包括沥青铺装和水泥混凝土铺装两种。
2. 对于沥青铺装而言，公路等级越高桥面铺装越厚，但由于桥梁恒载限制，高速公路的桥面铺装也可使用单层的铺装结构。沥青铺装一般分为两种结构形式，一是双层铺装结构，铺装层厚度为 9~12cm，为便于施工一般与正常路基段的上、中沥青面层等厚；二是单层铺装结构，铺装厚度为 4~5cm，极限铺装厚度为 3cm，一般与正常路基段的上面层等厚。对于特大桥也可在混凝土桥面上加设缓冲层，可以起到密实防水、改善层间接触状态、增强层间粘结及抗剪强度的作用。
3. 对于水泥混凝土铺装而言，桥面铺装层水泥混凝土强度等级应不低于主梁的强度等级。水泥混凝土铺装材料可选用普通混凝土、钢筋混凝土或钢纤维混凝土。为了保证桥面铺装层与裸梁的牢固粘结，应先将桥面表层浮浆、渣土凿除，用水冲洗干净，再进行铺装。

9.2.2 典型结构图谱

1. 广东省不同等级公路上水泥混凝土桥梁桥面铺装共推荐 11 种结构，见附

表 B-7。

2. 沥青混凝土铺装结构中的双层结构主要适用于高速公路、一级公路中等交通以上的桥面铺装结构,当受到恒载限制时也可使用单层结构;当采用单层铺装结构,桥面板的平整度应达到较高的要求,一般不低于下面层沥青混凝土路面的平整度水平。为保证桥面铺装质量,应在保证压实度的前提下,提高铺装层的平整度,宜采用重钢轮压路机以高频低振的方式进行碾压。

3. 水泥混凝土铺装应根据主梁的结构形式选择不同的铺装结构。

(1) 对于大跨径连续箱梁,应采用双层钢筋网,而且应该加密钢筋间距,一般为 $10 \times 10\text{cm}$,钢筋直径为 $\Phi 10 \sim \Phi 12$ 。在支座附近负弯矩区应采用 $\Phi 12$ 钢筋,其余位置可采用 $\Phi 10$ 钢筋。同时为了改善混凝土的受力合理性,可掺入 $50 \sim 80\text{kg/m}^3$ 左右的钢纤维。

(2) 跨径为 40m 以下的 T 梁和箱型梁,水泥混凝土铺装厚度一般为 $13 \sim 15\text{cm}$,且应将每根主梁的肋筋和箍筋加长伸入铺装层中与直径采用 $\Phi 10$ 的 $10 \times 10\text{cm}$ 桥面钢筋网连接好。

(3) 空心板结构设计时,考虑到桥面混凝土参与主梁受力,内设双层 $10 \times 10\text{cm}$ 采用 $\Phi 10$ 钢筋的钢筋网,顶层钢筋距水泥混凝土铺装层顶部为 5cm 。

9.2.3 铺装层材料要求

1. 桥面铺装的沥青混凝土一般选用与正常路基段相同的材料和技术标准。对于特大桥梁沥青混凝土材料可进行单独设计。

2. 特重交通或单层铺装的重交通,宜采用改性沥青混凝土。

3. 当设置缓冲层沥青混凝土时,宜采用高模量改性沥青,其技术指标见表 9.2.3-1。

表 9.2.3-1 高模量改性沥青的技术指标

沥青使用性能等级	PG76-16		技术要求	单位
粘度 ASTMD4402	原样沥青	135℃	≤4.0	Pa.s
动态剪切, G*/sinδ		76℃	≥1.0	kPa
质量损失, max (%)	RTFOT		≤1.0	%
动态剪切, G*/sinδ	残留沥青	76℃	≥2.2	kPa
PAV 老化温度(℃)	PAV 残留沥青 (SHRP B-005)	100		
动态剪切, G*·sinδ		34	≤5000	kPa
蠕变劲度		-6	m≥0.30	—
			S≤300	MPa
60℃复数模量	原样沥青	60℃	≥10.0	kPa

4. 缓冲层上宜铺设 SMA13 沥青混凝土, 其设计技术要求和检验指标要求分别见表 9.2.3-2、表 9.2.3-3。

表 9.2.3-2 SMA-13 马歇尔配合比设计技术要求

试 验 项 目	技术要求
击实次数 (次)	两面各 75/重载炎热交通
稳定度 (KN)	不小于 6.0
流值 (0.1mm)	改性沥青无要求
空隙率 (%)	3-4.5/重载炎热交通
粗集料骨架空隙率 VCA_{mix}	不大于 VCA_{DRC}
矿料空隙率 VMA (%)	不小于 16.5
沥青饱和度 (%)	75-85

表 9.2.3-3 SMA-13 马歇尔配合比设计检验指标技术要求

检 验 项 目	技术要求
残留马歇尔稳定度(%)	>80
冻融劈裂试验残留强度比(%)	>80
185℃谢伦堡沥青析漏试验的结料损失(%)	不大于 0.1
肯塔堡飞散试验的混合料损失(20℃) (%)	不大于 15
60℃动稳定度(次/mm)	大于 6000
渗水系数(ml/min)	<80

5. 用于桥面的钢纤维单丝抗拉强度不宜小于 600MPa。长度应与混凝土粗集料公称最大粒径相匹配, 最短长度不宜小于粗集料公称最大粒径的 1/3; 最大长度不宜大于粗集料公称最大粒径的 2 倍; 长度与标称值的偏差不应超过±10%。

9.2.4 桥面防水与粘结

1. 沥青混凝土桥面铺装设计的技术关键是处理好沥青混凝土铺装层与水泥

混凝土桥面板层间界面的粘结和防水问题。根据已有的工程经验,按照不同的公路等级应采取不同可靠性和耐久性的技术措施,其中主要有:热洒改性沥青防水粘结层、热洒普通沥青防水粘结层和冷洒改性乳化沥青粘层等三种措施。其中热洒改性沥青中的橡胶沥青效果最好,SBS 改性沥青其次。

2. 桥面板应进行拉毛或铣刨处理,一般不宜采用喷砂处理。

3. 为了便于施工质量控制,达到良好的使用效果,将桥面防水与层间结合综合考虑,采取综合处理措施。

4. 在附表 B-7 中,特重交通条件下的结构一和结构四,桥面板上应采用热洒布式的橡胶沥青或粘度较高的 SBS 改性沥青作为防水粘结层,对于结构二和结构五可采用热洒布式粘度较低的 SBS 改性沥青或普通 AH-70 号沥青作为防水粘结层,对于结构三和结构六可采用改性乳化沥青作为桥面粘结层。

5. 对于双层铺装结构,上下面层的层间结合及防水也应处理好。对于特重交通应采用热洒布型改性沥青防水粘结层,对于重交通可采用普通 AH-70 号沥青的防水粘结层,对于中等交通可采用乳化沥青粘层。

6. 当洒布改性沥青时,宜先洒布 $0.3\sim 0.5\text{kg/m}^2$ 的煤油稀释沥青或乳化沥青,其技术指标同上文透层油标准,待破乳、挥发后再洒布改性沥青。SBS 改性沥青洒布量为 $2.0\sim 2.2\text{kg/m}^2$,橡胶沥青为 $2.4\sim 2.6\text{kg/m}^2$ 。然后,及时撒铺单一粒径、干净、干燥的碎石,碎石的粉尘含量应不大于 0.8%,当气温比较低时,可对石料进行加热处理。碎石撒铺规格为 13.2~16mm,撒铺量为满铺的 70%~80%。

7. 缓冲层下面也应设置粘层油。一般洒布 $0.8\sim 1.2\text{kg/m}^2$ 的热改性沥青(或改性乳化沥青)做为粘层油;粘层油均匀洒布之后,撒铺 2.36~4.75mm 粒径的预拌碎石,使碎石撒铺面积覆盖率达到 60%~70%。

9.3 隧道铺装

9.3.1 一般说明

1. 公路隧道一般分为两类,一是山区公路的隧道,二是穿越江河的隧道,这两种类型隧道的路基状态不一样,因此路面结构形式存在一定差别。

2. 隧道内的路面分为水泥路面和沥青路面两种形式。

9.3.2 沥青路面结构图谱

1. 山区隧道和江河隧道不同交通等级条件下的沥青路面结构推荐图谱见附表 B-8。
2. 原则上沥青面层底部需要设定一定厚度的碎石垫层。
3. 在相同轴载水平下，高速公路沥青混凝土面层厚度取图谱中的上限，二级公路或一级公路取下限。
4. 在水泥混凝土基层和贫混凝土基层上面必须设热沥青防水粘结层，高速公路和一级公路应采用改性沥青。
5. 有关沥青混凝土、基层材料、底基层材料的技术指标要求原则上与相邻正常路基段的材料要求一致，以便于施工管理。
6. 对于特长隧道，路面材料可进行单独设计。

9.3.3 水泥路面结构图谱

1. 隧道内不同公路等级的水泥混凝土路面结构推荐图谱见附表 B-9。
2. 由于隧道内施工面小，滑模摊铺时很难实现侧向供料，所以隧道路面不宜使用连续钢筋混凝土路面和间断钢筋混凝土路面，而应优先选择纤维混凝土路面、高弯拉强度混凝土路面和普通水泥混凝土路面。
3. 高速公路面层一般采用纤维混凝土或普通混凝土，厚度为 28~30cm，强度等级为 C40~C50，抗折强度为 4.5~5.0MPa；一级公路面层一般采用普通混凝土，厚度为 26~28cm，强度等级为 C40~C45，抗折强度为 4.0~4.5MPa；二级公路面层一般采用普通混凝土，厚度为 24~26cm，强度等级为 C40，抗折强度为 4.0~4.5MPa。
4. 不设仰拱的隧道，岩石路基因存在超挖与欠挖现象，路面结构宜设整平层、基层和面层；设仰拱的隧道，其仰拱填充已充当了整平层的功能，路面可只设基层和面层。岩石路基的整平层混凝土抗折强度应与基层相同，厚度 10~15cm。
5. 基层宜采用素混凝土，适宜的厚度范围为 16~20cm，其抗压强度不低于 C20 或抗折强度不低于 1.8MPa。在抗折强度值超过 1.8MPa 时，应设置与混凝土面层相对应的横向缩缝；一次摊铺宽度大于 7.5m 时，应设纵向缩缝。
6. 当隧道长度超过 500m，须在洞口安装通风设备，以排除各种施工机械排放的废气，确保施工人员安全。当摊铺的长度小于 500m，且隧道通风良好时，

不需另行设置通风装置，但在摊铺时，所有施工人员均戴上口罩，防止吸入过多的废气和粉尘。

7. 路面表面构造应采用刻槽、压槽、拉毛或凿毛等方法制作，构造深度在使用初期应满足表 9.3.3 要求。

表 9.3.3 隧道内水泥混凝土路面表面构造深度要求

公路等级	高速公路、一级公路	其它等级公路
构造深度 (mm)	0.8~1.2	0.6~1.0

8. 路面结构下应设纵向中心水沟（管），集中引排地下水。隧底应设横向导水管，以连接中心水沟（管）与衬砌墙背排水盲管。路面底部应设不小于 1.5% 的横向排水坡度。

10 水泥混凝土路面加铺沥青面层

10.1 一般说明

10.1.1 旧水泥路面上加铺沥青混凝土面层是在对原有路面结构进行补强的基础上，恢复或提升路面的使用品质。

10.1.2 水泥路面加铺沥青面层分为两种情况：一是现有路面路况良好，加铺沥青混凝土主要是为了恢复或提升路面的使用功能，如舒适性、降低行车噪音、美观等，即所谓功能性加铺；二是现有路面存在较严重的破损，或是承载能力不能满足改造后公路等级的要求，需要进行结构性补强，即所谓结构性加铺。

10.1.3 确定加铺方案前，首先需要对原有路面结构进行全面的检测评价。评价的方式包括无损检测、有损检测以及人工勘查等方式。判定现有路面病害的主要类型及成因，为加铺设计提出针对性的处理意见和对策。

10.1.4 旧路的加铺改造，应本着充分利用原有路面的残余承载能力、减少废弃物的原则，选择加铺方案。

10.2 典型结构

10.2.1 不同水泥混凝土路面状态下沥青混凝土加铺方案推荐图谱见附表 B-10。根据原有水泥路面破损的情况分为三种类型：一是原有路面比较完好，不需要结构性补强；二是原有路面存在一定的破损，需要进行结构性补强，但原有路面可以整体性利用；三是原有路面严重破损，需要进行结构性补强，但原有路面无法整体性利用。

10.2.2 原有路面比较完整破损较轻，加铺改造后原有路面的交通量等级不产生变化的，可采用直接加铺方式。

1. 当路面的断、碎板率小于 10%，错台小于 1cm，板中弯沉（落锤式弯沉仪检测）不大于 15 微米（特重交通）或 20 微米（重交通），除局部换板外，原有的水泥路面大部分可以直接利用，根据交通等级和公路等级，直接加铺 1~2 层沥青混凝土面层。

2. 在加铺前应对水泥路面进行拉毛或铣刨处理，深度为 0.5~1cm，确保新铺沥青混凝土与原有路面有效结合。

3. 在特重交通和重交通路段的高速和一级公路，在水泥板上应铺设改性沥青防水粘结层；当铺设一层时，应选用粘度较高的橡胶沥青或高粘度的 SBS 改性沥青。

4. 为延缓或减少反射裂缝的产生，宜采用玻璃纤维格栅与防水粘结层综合整治措施，铺设在水泥板上。在有条件地区，也宜采用橡胶沥青混凝土路面（湿拌工艺）。

5. 水泥板上的调平层可根据调平层的厚度选择不同粒径的沥青混合料，混合料的指标应不低于下面层沥青混合料。应保证摊铺厚度不小于混合料公称最大粒径的 1.5 倍，当摊铺厚度不能满足此要求时，可与下面层沥青混合料一起摊铺。

6. 一层或二层的加铺层沥青混合料的原材料和混合料技术要求等同于同交通等级和公路等级的沥青混合料要求。

7. 这种加铺方式对原有路面标高基本没有影响，一般不受标高限制。

10.2.3 当路面存在一定破损，或承载能力不足，或者加铺后公路的交通等级将产生明显变化、提升的，需要对原有路面进行适当补强后，再加铺 2 层沥青面层。

1. 当路面的断、碎板率为 10%~20%，错台为 1~2cm，板中弯沉（落锤式弯沉仪检测）大于 15 微米（特重交通）或 20 微米（重交通），原有的水泥路面一般可以间接利用，经过局部修补、换板及灌浆处理后，根据交通等级和公路等级，增设 1~2 层半刚性基层或 1 层刚性基层后，加铺 2 层沥青混凝土面层。

2. 当采用一层半刚性结构补强时，对于高速公路或一级公路的特重交通宜采用水泥稳定级配碎石（CGA），对于一级公路重交通及其以下等级可采用水泥稳定碎石（或砾石）（CCS）。

3. 当采用二层半刚性结构补强时，可等同于一层刚性结构补强。对于高速

公路或一级公路的特重交通上层宜采用水泥稳定级配碎石（CGA），下层可采用水泥稳定碎石（或砾石）（CCS）；对于一级公路重交通及其以下等级可采用双层水泥稳定碎石（或砾石）（CCS）。

4. 补强结构层材料的技术指标要求等同于同公路等级和交通等级条件下的技术要求。

5. 二层的加铺层沥青混合料的原材料和混合料技术要求等同于同交通等级和公路等级的沥青混合料要求。

6. 为加强沥青面层与补强结构层的粘结，减少水损坏和反射裂缝，对于高速公路和特重交通的一级公路，在两者之间应增设防水粘结层或与玻纤格栅综合处置的方案。

7. 当受到构造物的标高限制，需局部路段挖出原有路面结构时，需按同等级公路设置结构方案进行回填。

10.2.4 当原路严重破损，无法直接利用，可将原有路面打碎后作为新路结构的下底基层或垫层使用，然后加铺 2~3 层沥青混凝土面层。

1. 当路面的断、碎板率大于 20%，错台大于 2cm，板中弯沉（落锤式弯沉仪检测）大于 30 微米（特重交通）或 40 微米（重交通），且改造后路面交通将提升 2 个等级及其以上，原有的水泥路面需要采用专门技术将水泥板打碎、稳压后作为新结构的下底基层或垫层使用，再根据交通等级和公路等级，增设 2~3 层半刚性材料结构层或 1 层刚性基层和 1 层半刚性底基层后，再加铺 2~3 层沥青混凝土面层。

2. 二层半刚性结构层补强适合于改造后，公路交通等级维持不变或提高 1 级的路段，高速公路和特重交通的一级公路宜采用水泥稳定级配碎石（CGA）基层，水泥稳定碎石（或砾石）（CCS）底基层材料；对于其它等级路段基层材料可采用水泥稳定碎石（或砾石）（CCS），底基层可采用水泥稳定石屑（CS）。

3. 当改造后，公路等级提高 2 级及其以上时，采用三层半刚性材料层或刚性基层和半刚性底基层补强。高速公路和特重交通的一级公路采用一层水泥稳定级配碎石（CGA）基层和二层水泥稳定碎石（或砾石）（CCS）底基层材料，或采用刚性基层补强结构；对于其它等级路段基层材料可采用一层水泥稳定碎石

(或砾石)(CCS), 二层底基层可采用水泥稳定石屑(CS)。

4. 对于原有旧混凝土板也可经现场破碎后, 运至拌和场, 经二次破碎、筛分后, 加入水泥, 重新拌和成水泥稳定粒料材料, 铺设在原路结构层的位置。这样可节省一层底基层或基层结构, 然后按以上说明加铺上面的结构层。

5. 补强结构层材料的技术指标要求等同于同公路等级和交通等级条件下的技术要求。

6. 加铺层沥青混合料的原材料和混合料技术要求等同于同交通量等级和公路等级的沥青混合料要求。

7. 为加强沥青面层与补强结构层的粘结, 减少水损坏和反射裂缝, 对于高速公路和特重交通的一级公路, 在两者之间宜增设防水粘结层或与玻纤格栅综合处置的方案。

8. 当受到构造物的标高限制, 需局部路段挖出原有路面结构时, 需按同等级公路设置结构方案进行回填。

附录 A 路面结构可靠度计算方法

A.1 沥青路面结构可靠度计算方法

A.1.1 沥青路面结构可靠度设计方法采用应力—强度干涉理论和一次二阶矩模型进行计算。

A.1.2 弯沉指标和弯拉应力指标的路面结构可靠度概念分别表述为：

$$R_1 = P(l_d - l_s > 0) \quad (\text{A. 1-1})$$

$$R_2 = P(\sigma_d - \sigma_m > 0) \quad (\text{A. 1-2})$$

式中： l_d ——沥青路面结构的设计弯沉；

l_s ——沥青路面结构的实际弯沉；

σ_R ——容许弯拉应力；

σ_m ——实际弯拉应力；

P ——概率。

则，整个路面结构的可靠度水平位移上各个指标可靠度的最小值为：

$$R = \min\{R_1, R_2\} \quad (\text{A. 1-3})$$

研究表明：设计指标弯沉和弯拉应力的概率分布基本符合正态分布和对数正态分布，并且以正态分布为主，故按照正态模式计算各指标的可靠度（可靠指标），公式如下。

$$\beta = \frac{\mu_x - \mu_y}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}} \quad (\text{A. 1-4})$$

$$R = \Phi(\beta) \quad (\text{A. 1-5})$$

令 $K = \frac{\mu_x}{\mu_y}$ ，则：

$$\beta = \frac{K - 1}{\sqrt{K^2 C_{v_x}^2 + C_{v_y}^2}} \quad (\text{A. 1-6})$$

式中： β 、 R ——分别为可靠指标和相应的可靠度；

μ_X 、 μ_Y 、 σ_X 、 σ_Y 、 Cv_X 、 Cv_Y ——分别为结构抗力（设计弯沉、容许弯拉应力）的均值、标准差和变异系数，结构应力（实际弯沉、实际弯拉应力）的均值、标准差和变异系数；

K ——抗力均值与应力均值的比值，或称可靠度系数；

$\Phi(\bullet)$ ——正态分布函数。

A.1.3 以弯沉指标为例，根据现行沥青路面设计规范，设计弯沉的计算公式为：

$$l_d = 600N_e^{-0.2}A_cA_sA_b \quad (\text{A. 1-7})$$

由于交通轴载水平符合对数正态分布，则设计弯沉的均值和变异系数近似为：

$$\bar{l}_d = 600\overline{N_e^{-0.2}}A_cA_sA_d \quad (\text{A. 1-8})$$

$$Cv_{l_d} = \sqrt{\exp[0.2^2 \times \ln(1 + Cv_{N_e}^2)]} - 1 \quad (\text{A. 1-9})$$

实际弯沉的计算公式为：

$$l_s = 1000 \frac{2p\delta}{E_1} \alpha_c F = l_e \cdot F = l_e \cdot \left[1.63 \left(\frac{l_s}{2000\delta} \right)^{0.38} \left(\frac{E_0}{p} \right)^{0.36} \right] \quad (\text{A. 1-10})$$

则：

$$l_s = \left[l_e \cdot 1.63 \left(\frac{1}{2000\delta} \right)^{0.38} \left(\frac{E_0}{p} \right)^{0.36} \right]^{1/0.62} \quad (\text{A. 1-11})$$

式中： δ 、 p ——分别为荷载圆的半径和接地压强，可视为常数。

则，实际弯沉为路面各结构层厚度和模量的复杂函数，可写为：

$$l_s = f(x_1, x_2, x_3 \cdots x_n) \quad (\text{A. 1-12})$$

采用泰勒级数展开的方法（展开至二阶），则实际弯沉均值和标准差的近似公式为：

$$\bar{l}_s = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3 \cdots \bar{x}_n) + \frac{1}{2} \sum \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \sigma_{x_i}^2 + \sum_{i < j} \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \sigma_{x_i} \sigma_{x_j} \quad (\text{A. 1-13})$$

$$\sigma_{ls}^2 = \sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2 + \frac{1}{2} \sum \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \sigma_{x_i}^2 \right)^2 + \sum_{i < j} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \sigma_{x_i} \sigma_{x_j} \right)^2 \quad (\text{A. 1-14})$$

将这些公式带入到以上的可靠系数计算公式,就可以求得以弯沉为指标的路面结构可靠度水平。同理,也可计算以弯拉应力为指标的路面结构可靠度水平。最终得到整个路面结构的可靠度水平。

A.2 水泥混凝土路面结构可靠度计算方法

A.2.1 设计标准

路面可靠度可广义地定义为:“在设计使用年限内,在将遇到的环境条件和荷载作用下,路面能够发挥其预期功能的概率”。我国现行《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)中采用的结构设计方法是以混凝土路面板在车辆荷载应力和温度应力综合作用下在纵缝边缘中部出现纵向疲劳开裂作为临界损坏状态,设计时以荷载应力和温度应力的叠加小于等于混凝土疲劳强度作为设计标准。因此,路面结构的极限状态函数可表示为:

$$\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r \quad (\text{A.2-1})$$

式中: γ_r ——可靠度系数,依据所选目标可靠度及变异水平按表 A-1 确定;

σ_{pr} ——行车荷载疲劳应力, MPa;

σ_{tr} ——温度梯度疲劳应力, MPa;

f_r ——水泥混凝土弯拉强度标准值。

则,混凝土路面结构可靠度即为:在设计使用年限内,在车辆荷载应力和温度应力综合作用下,路面板纵缝边缘中部不出现疲劳开裂的概率(荷载疲劳应力和温度梯度疲劳应力的总和不超过混凝土弯拉强度的概率),即为:

$$R = P(\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r) \quad (\text{A.2-2})$$

由于 σ_{pr} 和 σ_{tr} 之间是相互独立的,因此可直接应用可靠性理论中的干涉理论求解。另外,在保持控制失效模式的实质不变的前提下,也可采用路面结构疲劳寿命(结构允许当量标准轴载作用次数 N_R) 大于等于累计当量标准轴载作用次数 N_e 作为路面结构极限状态函数。即为:

$$N_R \geq N_e \quad (\text{A.2-3})$$

路面结构可靠度则可表示为:

$$R=P(N_R \geq N_e) \quad (\text{A.2-4})$$

公路工程结构的设计安全等级系根据结构破坏可能产生的后果的严重程度来划分。《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)规定了公路工程结构的设计安全等级,路面工程的安全等级主要是针对高速公路、一级公路、二级公路和三、四级公路(新增)的路面,相应的安全等级要求规定为一级、二级、三级和四级。目标可靠度是所设计路面结构应具有可靠度水平。它的选取是一个工程经济问题。目标可靠度定得较高,则所设计的路面结构较厚,初期修建费用较高,但使用期间的养护费用和车辆运行费用较低;目标可靠度定得较低,初期修建费用可降低,但养护费用和车辆运行费用会增长。可靠度设计标准及可靠度系数见附表 A-1 和附表 A-2。

附表 A-1 可靠度设计标准

公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三、四级公路
安全等级	一级	二级	三级	四级
设计基准期, 年	30	30	20	20
目标可靠度, %	95	90	85	80
目标可靠指标	1.64	1.28	1.04	0.84
变异水平等级	低	低~中	中	中~高

附表 A-2 可靠度系数

变异水平等级	目标可靠度 (%)			
	95	90	85	80
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	1.04~1.07
高	—	1.23~1.33	1.13~1.18	1.07~1.11

也可按施工技术、施工质量控制和管理要求达到和可能达到的具体水平,选用其他等级。降低选用的变异水平等级,须增加混凝土面层的设计厚度要求;而提高选用的变异水平等级,则可降低混凝土面层的设计厚度或混凝土的设计强度要求。可通过技术经济分析和比较予以确认。但对于高速公路路面,为保证优良的行驶质量,不宜提高变异水平等级。

A.2.2 设计参数取值和变异系数范围

水泥混凝土路面结构可靠度设计的有关参数有:设计年限内累计轴载作用次

数 N_e 、混凝土的抗弯拉强度和弹性模量以及路面板厚度等。目前广东省比较广泛地采用半刚性稳定粒料基层，基层和土基抗压回弹模量以及由此计算获得的基层顶面综合回弹模量也是路面结构可靠度设计的重要参数。

1. 标准轴载累计作用次数 N_e

累计轴载作用次数 N_e 是由使用初期的当量轴次 N_0 、年增长率 r 和横向分布系数 η 三个随机变量决定的，它的变异系数见附表 A-3。

附表 A-3 N_e 的预估标准差和变异系数

公路等级	高速	一级	二级
设计年限（年）	30	20、30	20
标准差 σ_{N_e}	0.0385		
变异系数 C_{vN_e} (%)	0.304	0.252	0.146

2. 混凝土抗弯拉强度和弹性模量

路面水泥混凝土设计强度以 28d 龄期的弯拉强度为标准，各级交通要求的水泥混凝土设计弯拉强度和弹性模量见附表 A-4，混凝土的抗弯拉强度和弹性模量变异系数范围见附表 A-5。

附表 A-4 混凝土弯拉强度和弹性模量

交通等级	特重	重	中等	轻
设计弯拉强度（MPa）	5.0	5.0	4.5	4.0
弯拉弹性模量（GPa）	30	30	28	27

附表 A-5 变异系数 C_v 的变化范围

变异水平等级	低	中	高
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	$C_v \leq 0.04$	$0.04 < C_v \leq 0.06$	$0.06 < C_v \leq 0.08$

3. 混凝土板厚 h

混凝土板厚的变异系数范围见附表 A-6。

附表 A-6 混凝土板厚的变异系数

变异水平	低	中	高
变异系数	0.02~0.04	0.04~0.06	0.06~0.08

4. 基层和土基抗压回弹模量

稳定粒料基层弯拉强度和抗压回弹模量及土基回弹模量均值见附表 A-7。

附表 A-7 基层和土基抗压回弹模量

项 目	抗弯拉强度 (MPa)	抗压回弹模量 (MPa)
水泥稳定粒料	1.0	1300~1700
二灰稳定粒料	1.0	1300~1700
土基	—	30~80

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。

附录 B 广东省公路路面典型结构图谱

广东省公路路面典型结构图谱如附表 B-1~附表 B-10 所示。图例说明如下：

	AC——沥青混凝土
	ATB——密级配沥青稳定碎石
	CGA——水泥稳定级配碎石
	CCS——水泥稳定碎石
	CS——水泥稳定石屑
	GA——级配碎石
	未——为筛分碎石
	PCC——水泥混凝土
	LCC——贫混凝土
	土基
	乳化沥青粘层
	改性乳化沥青粘层
	AH-70 号沥青防水粘结层
	热洒铺式粘度较低的 SBS 改性沥青防水粘结层
	热洒铺式橡胶沥青或粘度较高的 SBS 改性沥青防水粘结层

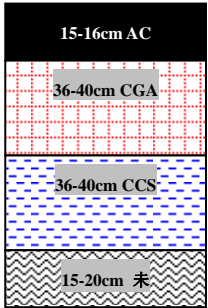
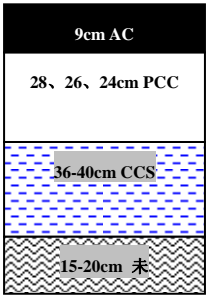
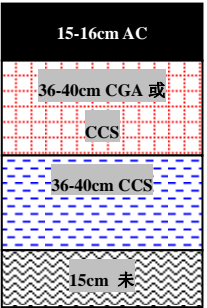
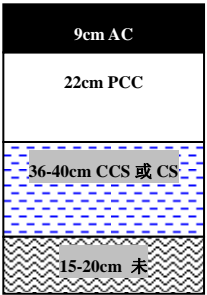
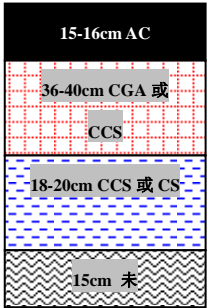
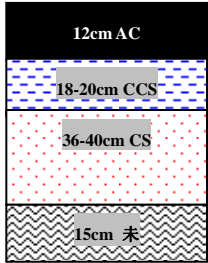
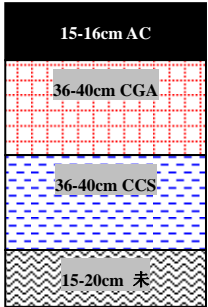
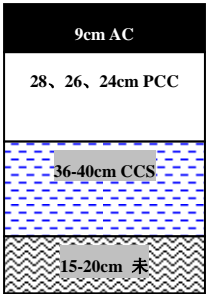
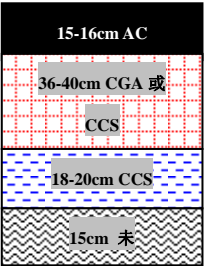
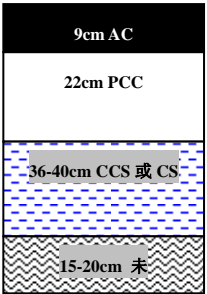
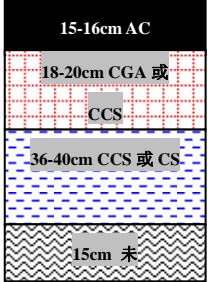
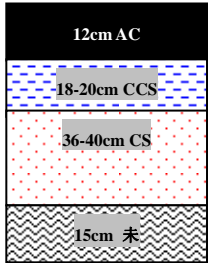
附表 B-1 广东省高速公路沥青路面典型结构图

路基等级	特重交通			重交通			中等交通
	半刚性基层	刚性基层	柔性基层	半刚性基层	刚性基层	柔性基层	半刚性基层
S2 40~60 MPa							
S3 60~100 MPa							
S4 >100 MPa		—			—		

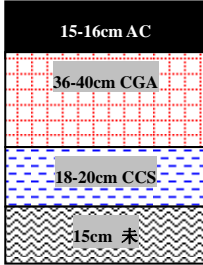
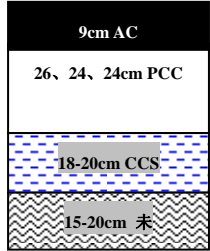
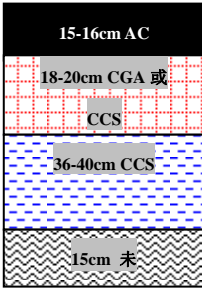
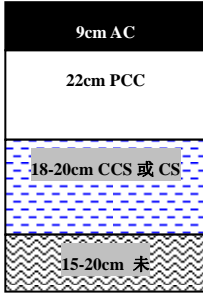
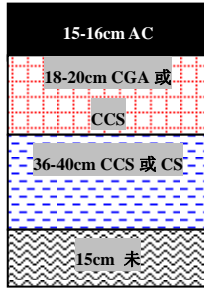
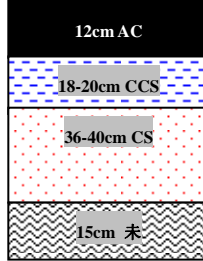
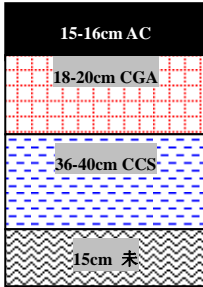
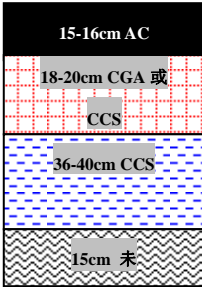
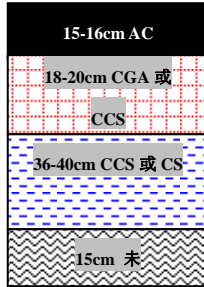
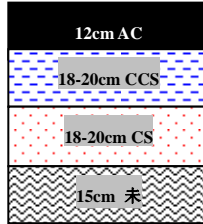
附表 B-2 广东省高速公路水泥混凝土路面典型结构图谱

路基 等级	特重交通			重交通			中等交通
	一级	二级	三级				
S2 40~60 MPa	<div>30-32cm PCC</div> <div>36-40cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20-25cm GA</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>36-40cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>15-20cm GA</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm LCC</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20-25cm GA</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20-25cm GA</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm LCC</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20-25cm GA</div>	<div>26-28cm PCC</div> <div>2-4cm AC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20-25cm GA</div>	<div>26-28cm PCC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20-25cm GA</div>
S3 60~100 MPa	<div>30-32cm PCC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>36-40cm CCS</div> <div>20-25cm GA</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>36-40cm CCS</div> <div>15-20cm GA</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm LCC</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>15-20cm GA</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>15-20cm GA</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm LCC</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>15-20cm GA</div>	<div>26-28cm PCC</div> <div>2-4cm AC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>15-20cm GA</div>	<div>26-28cm PCC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>15-20cm GA</div>
S4 >100 MPa	<div>30-32cm PCC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>36-40cm CCS</div> <div>20cm 未</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>36-40cm CCS</div> <div>15cm 未</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm LCC</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20cm 未</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20cm 未</div>	<div>28-30cm PCC</div> <div>18-20cm LCC</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20cm 未</div>	<div>26-28cm PCC</div> <div>2-4cm AC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20cm 未</div>	<div>26-28cm PCC</div> <div>18-20cm CGA</div> <div>18-20cm CCS</div> <div>20cm 未</div>

附表 B-3 广东省一级公路沥青路面典型结构推荐图谱

路基等级	特重交通		重交通		中等交通	轻交通
	半刚性基层	刚性基层	半刚性基层	刚性基层	半刚性基层	半刚性基层
S1 30~40 MPa						
S2 40~60 MPa						

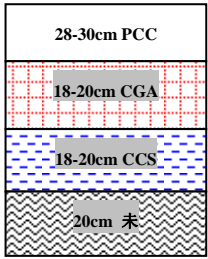
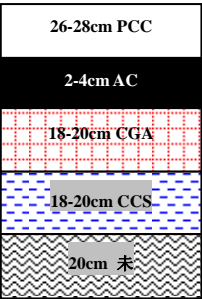
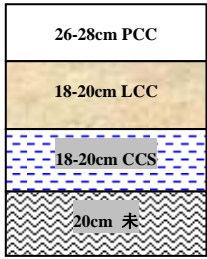
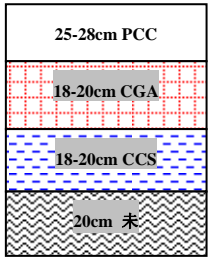
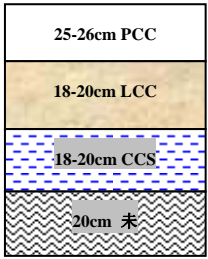
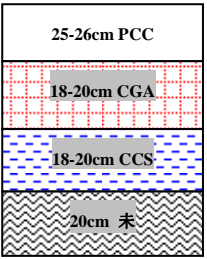
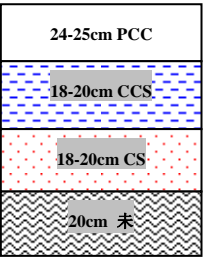
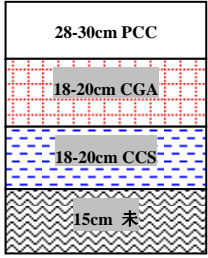
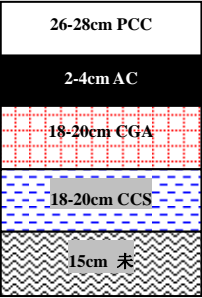
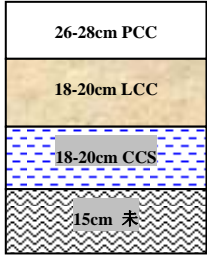
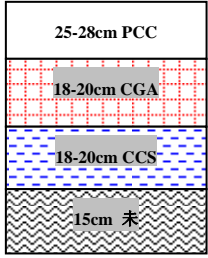
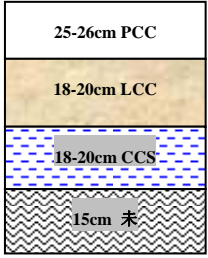
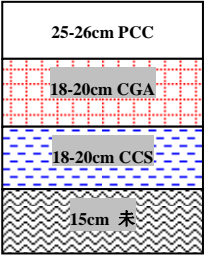
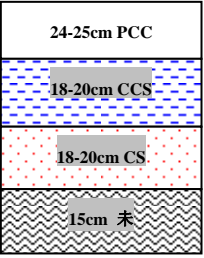
续附表 B-3

<p>S3 60~100 MPa</p>						
<p>S4 >100 MPa</p>		<p>—</p>		<p>—</p>		

附表 B-4 广东省一级公路水泥混凝土路面典型结构图谱

路基等级	特重交通			重交通		中等交通	轻交通
S1 30~40 MPa							
S2 40~60 MPa							

续附表 B-4

<p>S3 60~100 MPa</p>							
<p>S4 >100 MPa</p>							

附表 B-5 广东省二级公路沥青路面典型结构推荐图谱

路基等级	重交通	中等交通	轻交通
	半刚性基层	半刚性基层	半刚性基层
S1 30~40 MPa			
S2 40~60 MPa			
S3 60~100 MPa			
S4 >100 MPa			

附表 B-6 广东省二级公路水泥混凝土路面典型结构图谱

路基等级	重交通	中等交通	轻交通
S1 30~40MPa			
S2 40~60MPa			
S3 60~100MPa			
S4 >100MPa			

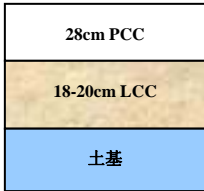
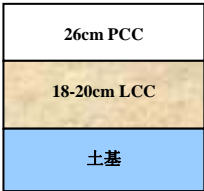
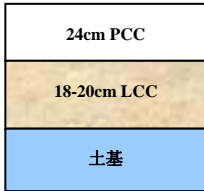
附表 B-7 水泥混凝土桥梁桥面铺装推荐图谱

沥青铺装结构	双层结构			
	示意图	结构一	结构二	结构三
	适用条件	特重交通	重交通	中等交通
	单层结构			
	示意图	结构四	结构五	结构六
	适用条件	特重交通	重交通、中等交通	轻交通
	设置缓冲层结构			
	示意图	结构七	结构八	
	适用条件	特重交通	重交通、中等交通	
水泥混凝土铺装结构	示意图	结构九	结构十	结构十一
	适用条件	特重交通	重交通	中等交通


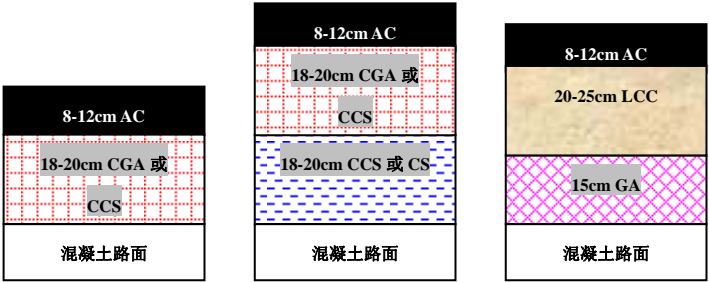
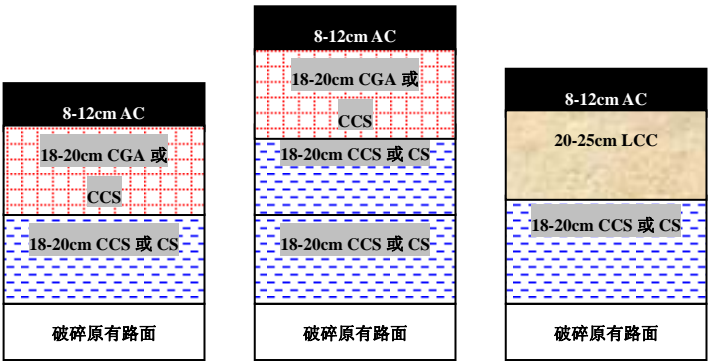
附表 B-8 隧道内沥青混凝土铺装推荐图谱

路基等级	特重交通	重交通	中等交通/轻交通
山区隧道			
江河隧道			

附表 B-9 隧道内水泥路面结构推荐图谱

高速公路	一级公路	二级公路
		

附表 B-10 水泥混凝土路面加铺沥青面层结构推荐图谱

原水泥路面状况	推荐结构
原水泥路面路况良好	
存在一定破损和不均匀沉降，需要结构补强	
原有水泥板严重破损，无法直接利用	

附录 C 本指南用词说明

为了准确地掌握指南条文，对执行指南严格程度的用词作如下规定：

1. 表示很严格，非这样做不可的用词。正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
2. 表示严格，在正常情况均应这样做的用词。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用词。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”。

附件 广东省公路路面典型结构应用技术指南条文说明

1 总则

1.0.2 本指南是在对广东省现有公路路面结构形式和使用状态进行分析、总结，并结合近些年来国内外最新的研究成果和广东省现有的施工经验基础上提出来的，能够满足广东省的自然地质状况和交通荷载条件。

2 术语、符号、代号

2.1 术语

本节对本指南中出现的主要名词术语作了规定。其他有关公路工程专业性名词术语，可参阅现行国家标准《道路工程术语标准》（GBJ 124—88）和现行交通行业标准《公路工程名词术语》（JTJ 002—87）中的相关规定。

2.2 符号

本节所列符号为本指南中的主要符号。此处未列出但指南中出现的其他符号请参阅现行公路沥青路面和水泥混凝土路面相关设计及施工技术规范。

3 设计依据

3.1 交通等级

交通等级是典型路面结构设计的主要技术参数之一。为了与现行规范统一，交通等级仍沿用现行路面设计规范中的分类方法，即根据设计年限内单车道累计标准轴载作用次数将交通量划分为轻、中等、重和特重四个等级，划分标准保持不变，但在相同累计轴载作用次数下，对应的大客车及中型以上货车日交通量与现行路面设计规范有所差别。

表 3-1 现行路面设计规范中交通荷载等级划分

交通等级	沥青路面		水泥路面
	BZZ-100 累计标准轴载作用次数（次/车道）	大客车及中型以上货车交通量 [辆/（d·车道）]	BZZ-100 累计标准轴载作用次数（次/车道）
轻交通	$<3 \times 10^6$	<600	$<3 \times 10^4$
中等交通	$3 \times 10^6 \sim 1.2 \times 10^7$	600~1500	$3 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^6$
重交通	$1.2 \times 10^7 \sim 2.5 \times 10^7$	1500~3000	$1.0 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^7$
特重交通	$>2.5 \times 10^7$	>3000	$>2.0 \times 10^7$

公路等级与交通等级之间没有直接必然的关系。对于相同等级的公路，由于交通量水平的不同，可能属于不同交通等级。

3.2 路基等级

3.2.1 根据广东省地质条件和以往相关课题的研究成果，路基等级宜采用量化的强度分级，如采用模量或 CBR 指标，这两个指标可通过对比试验找到经验换算公式。

3.2.3 进行路基模量、弯沉现场试验时，路基表面必须压实、整平，以确保试验数据的可靠。

3.3 地区分类

3.3.2 在相同的交通条件下,针对粤北地区山区重交通的特点,对沥青面层的材料选择和技术标准等方面需要有比其他地区更高的要求,一般采取提高一个技术等级的方法。例如:当交通等级为特重交通三级水平,当在粤北山区长大纵坡路段,在沥青面层的材料选择和技术标准时,应按特重交通二级水平的标准选择。此外,粤北地区冬季存在较明显的负温、温度更低,因此在沥青混合料的材料选择和技术要求应考虑防止低温开裂的问题。

3.4 结构可靠度

3.4.1 本指南对于相同交通等级的公路,在典型结构设计时采用不同可靠度指标来体现不同公路等级的重要性。

3.4.2 广东省是交通部“七五”重点科技项目“沥青路面结构可靠度设计的分析研究”的主要参加单位,项目提出了采用应力—强度干涉理论和一次二阶矩模型计算沥青路面可靠度的设计方法。该项目为形成国家标准《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)奠定了研究基础。

4 结构组合设计

4.1 概述

4.1.4 半刚性基层沥青路面结构是广东省高等级公路中使用最普遍的一种结构形式，具有广泛的实践基础和使用应用经验。实践证明，这种路面结构形式适用于广东省各种交通环境、地质条件和公路等级，具有技术可靠、经济合理的特点，因此作为此次典型结构研究主要的推荐形式。

为了提高路面结构整体承载能力的耐久性，借鉴国外经验和国内有关省份的应用成果，对于道路等级高、交通量重、路基等级低的公路提出了刚性基层的复合路面结构。对于这种结构有两个技术重点：一是沥青面层与刚性基层应保证有效的粘结，需要采取必要措施消减该层间的应力集中问题；二是应采取合理手段，延缓或消除由于刚性基层引起的反射裂缝问题。

柔性基层沥青路面在广东省有一定的应用基础，广深高速公路是我国第一条也是唯一一条大交通量的，经过长期考验的柔性基层高速公路，近些年来在粤赣高速公路、渝湛高速公路等先后修建了柔性基层试验路段。在总结这些经验的基础上，提出了广东省高速公路柔性基层的典型结构的推荐形式。柔性基层沥青路面结构的造价比较高，在选用时应考虑经济因素，达到技术经济的最优化。

4.2 沥青路面结构

4.2.4 水泥稳定类材料的模量水平与强度大小紧密相关，强度越高，模量也越高，表 4.2.4 中水泥稳定级配碎石对应的强度为 5MPa，水泥稳定碎石（或砾石）的强度为 4MPa。

4.4 层间结合

4.4.1 为了加强沥青路面各结构层的整体粘结，改善结构的受力状态，减少水损坏，提高沥青面层的高温抗车辙能力，处理好沥青层之间以及与基层之间的粘结

问题十分必要。

1. 该措施是为了加强沥青面层之间的整体性。
2. 针对广东地区潮湿多余的特点，为了减少路面的水损坏，加强沥青面层与半刚性基层之间的粘结，延缓反射裂缝，消除层间不利的应力状态，对于特重交通和重交通路段的上、中面层之间应设置（改性）沥青防水粘结层（或称应力消解层），防水粘结层或应力消解层所洒铺的沥青根据使用效果从高到低依次为：橡胶沥青、SBS 改性沥青以及 AH-70#沥青。

5 路基与垫层

5.1 路基

5.1.1 路面对路基的要求是提供均匀支撑,即路基在环境和荷载作用下产生尽可能小的不均匀变形。路基不均匀变形主要出现在软弱地基、填挖交替或新老填土交替、季节性冰冻地区的不均匀冻胀、填土因压实不足而引起的压密变形和受湿度变化影响而产生的膨胀收缩变形等处。为控制路基的不均匀变形,须在地基、填料、压实等方面采取相应的措施。

5.1.5 实践证明,路基压实是保证路基强度与稳定性的关键,是提高路基路面使用寿命的最经济和最有效的技术措施之一。所以路基必须具有足够的压实度,应符合表 5.1.5 的规定。

5.2 垫层

5.2.1 沥青路面结构的垫层

1. 对于广东地区地下水位比较高,在绝大多数情况下,设置足够厚度的碎石垫层,用以隔断地下水对上部路面结构的影响,提高路面结构整体稳定的耐久性是十分必要的。

6 基层与底基层

6.1 沥青路面的基层与底基层

1. 路面基层和底基层材料比较复杂，既有常用的水泥稳定类材料等无机结合料半刚性材料，也有对于提高路面结构耐久性和承载能力十分有利的刚性材料，如水泥混凝土、贫混凝土和连续配筋混凝土等，还有这些年来引起重视的柔性材料，如沥青混合料和级配碎石材料等。

2. 根据广东省的交通特点和近些年来国内对于重载长寿命路面结构研究的成果，对于半刚性基层沥青路面结构，半刚性材料层数根据情况可设置 2~4 层。对于复合路面结构和柔性基层结构，为了保证路面结构下部的稳定，也宜设置 1~2 层半刚性材料层，以保证基础稳定。

3. 对于刚性基层根据强度水平的不同分为贫混凝土和水泥混凝土（包括连续配筋混凝土），贫混凝土指抗压强度为 8~12MPa 以上的水泥稳定类材料，根据施工工艺分为浇筑式和碾压式两种。

4. 表 6.1.1-1 为广东省高速公路水泥稳定碎石类的半刚性基层和底基层材料的 7 天无侧限抗压强度的设计标准。路基等级对材料的强度标准影响不大，而交通荷载等级对材料的影响比较明显，随着荷载等级的提高，材料标准逐步提高。对于基层材料，为了提高路面结构的安全性，高速公路的强度标准比一、二级公路提高一个档次。该标准为强度要求的下限。

5. 值得指出的是，材料的强度标准为一定保证率水平下的代表值，因此，为了达到设计要求，不仅需要材料具有一定的强度平均水平，更主要是提高材料强度的均匀性，降低材料的变异水平。强度变异水平过大，反映出施工的均匀性差，尽管可以满足强度的标准，但是对路面结构的质量不利。例如：如果材料的设计强度标准为 5MPa，当施工的变异水平为 10%，为了满足设计要求，强度的平均值需要达到 6 MPa；当施工的变异水平为 20%，为了满足设计要求，强度的平均值需要达到 7.5 MPa；当施工的变异水平为 30%，为了满足设计要求，强度的平均值需要达到 9.9 MPa。

6. 表 6-1 为省内 13 条高速公路半刚性基层材料（水泥稳定类）钻芯检测抗

压强度的试验统计结果，包括平均值、变异系数和代表值等参数的最大值、最小值、平均值和标准差。由表中数据看出，当前省内高速公路半刚性基层材料的强度均值水平偏高，变异水平偏大，而实际的代表值水平略低。为了保证路面结构的耐久性，在提高半刚性基层材料强度的前提下，需要严格控制材料的变异水平。为此，要求对于高速公路和一级公路在施工过程中，同一批次强度抽检试验的变异水平不大于 15%，对于二级公路，变异水平不大于 20%。

表 6-1 广东省 13 条高速公路半刚性基层材料抗压强度检测结果

参数	\overline{R}_7 (MPa)	C_v (%)	$R_{0.95}$ (MPa)
最大值	8.40	30.80	5.70
最小值	5.40	9.90	2.90
平均值	6.46	21.89	4.12
标准差	0.86	7.23	0.89

7. 根据广东省常用基层和底基层材料的特点，为了水泥稳定材料既能具有较高的强度，保证路面结构的耐久性，同时又可有效地减少半刚性材料本身的温缩和干缩裂缝，在常用的水泥稳定碎石或粒料和水泥稳定石屑（含有一定比例的碎石）两种材料类型外，进一步规范水泥稳定碎石的级配，提出水泥稳定级配碎石。水泥稳定级配碎石比水泥稳定碎石或粒料有更严格的级配要求，主要用于高速公路和一级公路的基层，这种材料的强度标准为不低于 4.5MPa。另外，水泥稳定石屑仅限于一级和二级公路的底基层使用。

8. 对应表 6-1 中强度试验的结果，统计分析了相同路段，半刚性材料的抗压回弹模量水平，见表 6-2。由表中数据看出，水泥稳定类半刚性材料的抗压回弹模量代表值的最大值为 1792MPa，最小值为 943MPa，平均值为 1330MPa，比设计时采用的回弹模量（平均为 1086MPa）平均提高了 22%。另外，从变异水平看，最大值为 36%，最小为 11%，平均为 26.5%，标准差为 6.5%。由此看出，基层材料的回弹模量的变异性明显大于沥青混合料，说明基层材料的施工质量的均匀性不如沥青面层。可以均匀性划分为高、中、低三档。高档为 15%~25%，中档为 25%~35%，低档为 35%~45%。

表 6-2 广东省 13 条高速公路半刚性基层材料回弹模量检测结果

参数	\bar{E} (MPa)	C_v (%)	$E_{0.95}$ (MPa)
最大值	2897	36.00	1792
最小值	1826	17.10	943
平均值	2378	26.54	1330
标准差	305	6.54	253

根据抗压强度和回弹模量的试验结果,经统计分析,可以得到广东地区水泥稳定类材料抗压回弹模量与抗压强度的线性统计关系:

$$E = 193.6 \times R + 488$$

由此说明,半刚性材料的强度和回弹模量有一定的相关关系,强度越高,回弹模量也越高,不存在低强度、高模量的半刚性材料。因此,在结构设计中不应该一方面要求半刚性材料有较高的回弹模量,以满足结构设计指标的要求,另一方面为了减少所谓的反射裂缝,降低材料的强度标准。根据以上回归的关系,对于广东省,当基层材料强度要求为 3MPa 时,其回弹模量为 1070MPa;当强度为 4MPa 时,回弹模量为 1260MPa;当强度为 5MPa 时,回弹模量为 1460MPa;当强度为 6MPa 时,回弹模量为 1650Pa。

6.2 水泥混凝土路面的基层与底基层

6.2.1 设计要求

2. 不同的基层类型具有不同的刚度、耐冲刷能力和透水性。作为水泥混凝土路面的基层,应具有一定的刚度。如若基层的刚度较小,则在使用过程中基层产生的变形较大,水泥混凝土路面面层与半刚性基层不能很好地接触,水泥混凝土面板也就会失去工作条件,极易造成水泥混凝土路面板的损坏。一般情况下,强度随水泥掺量的提高而增大,承载力相应地也高。各种基层按强度和刚度排序,依次是:碾压混凝土或贫混凝土、水泥稳定粒料(土)、石灰粉煤灰稳定粒料(土)、石灰稳定碎石(或砂砾)或石灰稳定砂砾土。

3. 目前广东省大多采用水泥稳定粒料基层。当交通荷载以重型货车为主且设计交通量特别大时,也可采用强度更高的基层,如贫混凝土基层。在气候条件

很差的地区（降雨量大）修筑特重或重交通道路，可采用多孔贫混凝土、开级配集料等透水性基层。选择用作底基层、垫层以及轻交通道路基层的材料时应尽量做到就地取材。可选择材料有水泥稳定碎石、级配碎（砾）石、填隙碎石等材料等。气候条件差的地区宜选择透水性材料作垫层，如碎石、砂砾等，并要求垫层横贯到路基边坡作为排水通道。图 6-1 为目前广东省水泥混凝土路面常用的基层结构。基本上是两层结构，基层为 18~20cm 的水泥稳定级配碎石 CGA，水泥掺量为 5%~6%；底基层为 18~20cm 的水泥稳定碎石或砾石 CCS，水泥掺量为 3%~4%，或者是水泥稳定石屑 CS。



图 6-1 广东省水泥混凝土路面常用基层结构

广东省位于祖国南方，在公路自然区划中被划归为 IV6、IV7 区，属东南湿热区，是典型的海洋季风型气候。受季风影响，广东省降雨量也极为丰富，阳江、汕头、广州、韶关为典型的暴雨带，累计降雨量年均 1500mm 以上，成为我国最湿润的地区之一。因此广东省在进行公路路面设计时，除考虑行车荷载以外，应重点考虑多雨这个因素，即水的影响。对水泥混凝土路面而言，主要是水的冲刷问题。基层应具有足够的抗冲刷能力和一定的刚度。多年来的应用实践表明：在刚度方面，在特重交通条件下采用水泥稳定粒料作为水泥混凝土路面基层，较少有反映由于刚度不足造成水泥混凝土路面损坏的，而反映最多的是水损坏。因此要考虑补强，应主要从抗水冲刷方面去补强。不放弃半刚性基层而要提高其抗水冲刷能力，比较切合实际的想法是复合基层，即在半刚性基层上加铺一层抗水冲刷能力较强的结构层。从规范推荐的材料来看，抗水冲刷能力较强的有碾压混凝土、贫混凝土和沥青混凝土三类。从加铺的功能来看，加铺的厚度应较薄，厚则失去了加铺与复合的意义。碾压混凝土和贫混凝土两种因加铺时必须保证一定的厚度(≥10cm)，如果从经济方面考虑，沥青混凝土比较合适，其厚度可小至 0.5cm，它不但可以防冲刷而且是良好的防水层，防止了水的下渗，保证其下的抗水冲刷能力较弱的基层不受水的侵蚀。

7 沥青面层

7.1 总体结构说明

7.1.2 本指南按照公路等级的不同提出半刚性基层上不同的沥青面层厚度，二级公路一般为 9~12cm，一级公路一般为 15~16cm，高速公路为 18cm。该厚度比广东省当前各种等级公路的沥青面层略微增加。广东省绝大部分高速公路的沥青面层厚度为 15~16cm，只是近些年新建的一些高速公路采用 18cm，从提高高速公路沥青面层使用安全性角度，本指南中高速公路沥青路面的典型结构推荐采用 18cm。但需要说明的是：针对当前广东省高速公路沥青面层中存在的问题，并不是单纯增加沥青面层厚度就可以解决的，反而会造成没必要的过度投资，因此，没有推荐超过 18cm 的沥青面层厚度（柔性基层结构除外）。对于一、二级公路推荐的沥青面层厚度普遍比当前的厚度增加一层，主要是考虑到，尽管当前广东省高速公路网十分发达，但是一、二级公路仍承担着主要的交通运输任务，特别是重载的货物运输，因此，有必要提高这些等级公路沥青路面的质量。广东中山 105 国道改造（生产路段，一级公路）采用 15cm 的沥青面层，经过 5 年多的使用，承受了特大交通的考验，取得了良好的使用效果。

7.1.3 对于复合式路面或基层强度比较高的沥青路面，沥青面层主要改善路面的平整舒适，其厚度可为 1~2 层。这种结构关键是处理好沥青面层与刚性基层或高强度半刚性基层之间的粘结。这个问题解决好不仅可以提高沥青路面的使用寿命，而且可以大大节约建设投资。这在广东省内有许多工程实例。广东省中山 105 国道改造项目（城区段），基层采用设计强度 5MPa 的 36cm 的全厚式水泥稳定碎石，沥青面层仅为 8~9cm，沥青面层与基层之间设置了 2.0kg/m^2 的改性沥青防水粘结层，经过 5 年特大交通的考验，至今使用效果良好；广珠东线高速公路逸仙大道改造工程，在旧水泥路面上加铺沥青面层，沥青面层设计最小厚度为 8cm，施工平均厚度 12~13cm（包括调平层），1999 年通车一直使用至今没有产生严重的病害和翻修。此外，特大水泥混凝土桥面铺装，从结构角度类似于复合结构，凡是重视层间粘结和防水的工程，在薄沥青面层铺装条件下均能取得良好

的使用效果，典型工程有细窖大桥和沙口大桥（铺装厚度分别为 3cm 和 4cm）。

7.1.4 柔性基层路面结构以广深高速公路的结构形式为蓝本，沥青面层厚度为 12cm，一般分上下两层摊铺 5+7cm，主要用于高速公路特重交通和重交通的条件，其上、下沥青面层材料的选择同刚性基层组合式沥青路面的上下面层沥青混凝土。

对于柔性基层的路面结构，需要区分沥青混凝土面层与沥青混合料基层。沥青混凝土面层一般为两层 9~12cm 厚左右，而沥青混合料的柔性基层厚度达到 10~30cm，可设置 1 层或 2 层。广东省内柔性基层结构的典型代表工程为广深高速公路。广深高速公路实际上为 2 层沥青面层：4cm 中粒式沥青混凝土 AC-16II+8cm 粗粒式沥青混凝土 AC-25I，然后由两层各 10cm 的沥青混合料柔性基层组成：粗粒式沥青混凝土 AC-30II+沥青碎石 AM-30。AC-30II 和 AM-30 均属于开级配混合料可作为排水结构使用。近些年来，在渝湛、粤赣等高速公路上先后修建了一些柔性基层的试验路段，由于通车时间比较短，交通量比较轻，因此这些路段的柔性结构的合理性还需要进一步验证。

7.2 矿料技术要求

7.2.1 表 7.2.1 为各等级公路粗集料的质量技术要求。与现行规范的指标比较，结合广东省石料情况，有些指标进行了适当调整。具体表现为：

1. 石料的压碎值明显提高，主要是因为规范中有关标准过于宽泛，对于广东省以花岗岩为主的石料起不到有效控制作用。
2. 高速公路上面层石料的含泥量由 1.0%提高到 0.8%，主要是为了保证上面层沥青混合料的质量。
3. 对于细长扁平颗粒含量指标没有进行调整，但仍需要在实际工程中认真加以控制，以切实满足设计技术要求。
4. 对于沥青粘附等级，广东省以花岗岩石料为主，一般难以满足 5 级标准，对此需要进行混合料技术处理，如掺加水泥或消石灰，或者使用粘度较高的改性沥青或添加剂。因此，并不排斥花岗岩石料在上面层的使用。

7.3 级配技术要求

7.3.1 从沥青混合料高温抗变形能力角度,在相同级配规律条件下,混合料中碎石粒径越大,其抗变形能力越好。为此,广东常用的 13 型和 16 型上面层混合料中,交通量越重,越适合选择 16 型混合料,广深高速公路、机荷高速公路、广珠东线高速公路等均采用 16 型混合料。另一方面,对于高碎石含量的 16 型混合料(4.75mm 以上的碎石含量 60%以上)存在施工难度大,对沥青用量的敏感性大等弱点,如果施工控制不好,容易造成局部离析和泛油,严重的会产生比较多的坑槽等水损坏。为此,也推荐采用 13 型混合料,前提是保证足够的高温稳定性和抗滑性能。

7.3.3 粗集料断级配密实型沥青混合料的使用在广东省的使用有 10 多年的时间,早期的机荷高速公路、广珠东线高速公路和前几年广深高速公路大修工程、中山 105 国道改造工程的上面层混合料都是使用这种级配型式。在保证混合料密实的前提下,明显增加了混合料中粗集料的含量,以保证上面层均有良好的抗滑性能和高温稳定性。同时,与现行规范中同粒径混合料相比,级配范围更加严格,便于施工管理,确保质量。

这种混合料的另一个特点是高矿粉含量,高矿粉含量是与高碎石含量相对应的。混合料中碎石含量高,细集料少,不利于沥青混合料中结构沥青的形成,容易导致混合料中沥青含量低、空隙率大的弱点,为此,需要增加矿粉含量。这将有助于提高混合料中结构沥青的含量,增加混合料的密实性,提高混合料的抗疲劳性能。这点与法国断级配混合料形成的概念一致,也与 SMA 混合料中高矿粉含量的目的类似。另外,广东一些高速公路采用原设计规范中 AK-16A 型混合料,出现了许多坑槽,与级配设计中矿粉含量偏少有关。因为这个级配来源于粗集料断级配,两者碎石含量级配相当,但是矿粉含量明显偏少。

需要指出的是,由于不同工程使用的石料品种有较大差别,此次推荐的级配范围仅供参考。在实际工程中,设计和生产单位可根据推荐的级配范围进行相应的配合比设计,并根据实际情况进行优化、调整。

7.3.7 10 型混合料在广东省城市道路的建设中使用比较早,在公路上使用则是

在 2002 年前后，典型工程是广东中山的 105 国道改造工程。这种混合料不同于规范中 10 型混合料，为了保证路面的抗滑性能，具有较高的碎石含量（4.75mm 以上的碎石达到 60%以上）。该成果获得交通部中国公路学会科技二等奖。这种混合料铺设的路面具有美观、低噪音、抗滑性能好等特点，且由于铺装厚度薄，造价比较低。

对于碎石封层技术在高等级国道上的应用，广东使用比较少，但国外已有比较成熟的经验。这种铺装层对提高路面的抗滑，减少路面结冰有明显效果，适合于在山区公路使用。

7.4 沥青技术要求

7.4.2 对于特重交通条件下，除粤北山区的上面层外，SBS 应选用现行规范中 I-D 级标准，其他可选用 I-C 级标准。在改性沥青的选择使用时，切忌避免单纯依靠改性沥青提高沥青面层质量，特别是高温稳定性的思想。广东省大量的工程实践表明，矿料、沥青等原材料的优化组合是提高沥青混合料使用品质的关键。广深高速公路、机荷高速公路、广珠东线高速公路等省内几条经过长时间、大交通考验的优质工程都是采用普通沥青修筑的。此外，尽管 SBS 改性沥青在广东省乃至全国有多年的使用经验，但仍有一些技术问题没有解决，不少采用改性沥青混凝土的高速公路仍产生许多早期损坏问题。最新的研究表明，SBS 改性沥青经过长时间的使用，SBS 会游离在沥青中，是改性沥青性能衰减成为普通沥青。在改性沥青使用中需要注意以下几个问题：

1. 不要盲目追求软化点。近些年来，为了提高沥青面层的抗车辙能力，一些工程过分追求沥青的高软化点。这里需要明确：首先软化点指标并不能准确反映沥青高温性能的好坏，其次，高软化点并不意味着混合料高温稳定性好。广东省某工程先后进场了相同厂家的两批沥青 A、B，A 的软化点比 B 高 5℃左右，但进行相同矿料、同级配的混合料试验，B 沥青混合料的高温性能比 A 沥青的高温性能高 50%（车辙试验的动稳定度），后来进一步试验分析发现，尽管 A 沥青的软化点高于 B，但是其针入度指标也比 B 沥青高 10（0.1mm）。这种高软化点、高针入度的改性沥青对提高沥青混合料的高温性能没有好处。

2. 选择较软一些的改性沥青有助于减少沥青面层的裂缝。一般来说 I-D 级改性沥青混合料的高温性能好于 I-C 级, 但是从延度指标看 I-D 改性沥青比 I-C 级差, 说明 I-D 沥青的抗裂性能差于 I-C 级。当前省内沥青面层的裂缝比较普遍, 除结构原因之外, 可能与改性沥青偏硬有关。因此, 广东省可以有条件使用 I-C 改性沥青。

3. 为了优化 SBS 改性沥青质量, 可采用 I-D 和 I-C 的组合指标, 即针入度、软化点按规范 I-D 的标准, 而延度采用规范 I-C 的标准, 这样兼顾沥青的高、低温性能。

7.4.3 广东省是国内较早使用橡胶沥青及混合料修筑高等级公路的省份, 早在本世纪初先后使用干法工艺和湿法工艺在一些国道主干线上修筑了试验路或实体工程。如肇庆马房大桥桥面铺装, 中山 105 国道改造工程等。马房大桥 2001 年通车至今, 在大交通量的作用下没有产生明显的车辙变形, 说明干法工艺的橡胶沥青混合料具有良好的高温稳定性。中山在旧水泥路面上直接铺设了 3cm 湿拌工艺的橡胶沥青混合料, 通车 3 年至今没有产生所担心的反射裂缝, 说明湿拌工艺橡胶沥青混合料具有良好的抗裂性能。如今这些经验成果已逐步推广到全国, 2007 年交通部四个重点科技示范工程中均由橡胶沥青的推广内容, 其中湖北沪蓉西高速公路 105 万平米橡胶沥青混合料和 50 万平米的橡胶沥青防水粘结层正在施工。另外, 为迎接北京奥运会, 首都机场高速公路南线 50 万平米的桥面防水全面采用橡胶沥青。因此, 橡胶沥青及混合料在广东省是有广泛的应用基础和推广价值的。从使用条件看, 湿拌工艺的橡胶沥青适用于上面层, 改善路面的抗裂性能和抗疲劳性能, 同时具有良好的降低行车噪音的效果, 而干拌工艺的橡胶沥青混合料适用于中、下面层, 提高路面的抗车辙能力。

7.4.5 对于特重交通的中、下面层使用 AH-30 号沥青以及包括其它交通荷载条件下使用 AH-50 号沥青, 不仅有利于提高中下面层混合料的高温稳定性, 而且对提高沥青路面的承载能力有显著效果, 且经济合理。广东省是我国最早使用低标号沥青修建高速公路的省份, 广深高速公路就是第一个选用 AH-50 号沥青修建的。近些年来, 省内一些科研单位又进一步完善研究了低标号沥青的使用, 铺

设了试验路段。从市场看，广东省内和周边省份具备生产低标号沥青的能力，市场价格一般比常用的 AH-70 号贵 200~300 元/吨，远比使用改性沥青经济合理。因此，针对广东省的气候和交通环境，推广低标号沥青在高等级公路中的应用十分必要，也切实可行。

8 水泥面层

8.1 水泥混凝土板设计参数

8.1.1 水泥混凝土路面的厚度根据公路等级和交通荷载水平设定厚度为 23~30cm。考虑到水泥混凝土路面的使用期长,且 Ne 变异性较大,故在通常情况下水泥混凝土板“宜厚不宜薄”。

板厚 h 是路面使用寿命的决定性因素。 h 增加 1cm, Ne 可增加 4~6 倍。板较薄时 ($h \leq 24\text{cm}$) 增加 h 对 Ne 的影响效果比板较厚时 ($h > 24\text{cm}$) 显著。

8.2 水泥技术要求

8.2.1 水泥是路面混凝土中最重要的胶凝材料,其质量直接影响混凝土的弯拉强度、抗冲击振动性能、疲劳循环周次、体积稳定性和耐久性等关键路用性能。因此,必须引起重视。

9 桥隧铺装

9.2 水泥混凝土桥面铺装

9.2.1 一般说明

2. 水泥混凝土桥面上沥青混凝土铺装层的损坏是当前路面破坏的主要形式之一，其主要原因是沥青混凝土铺装层与混凝土板之间的粘结和防水问题，该问题的解决是提高桥面铺装质量的关键。

9.3 隧道内铺装

9.3.1 一般说明

隧道内结构铺装具有路基条件比较好，使用环境相对稳定的特点，同时，隧道内铺装受到结构层厚度的限制，以及运营后养护维修比较困难的特点，因此隧道内的路面结构相对比较保守。

隧道内的路面结构关键是需要排除岩缝中的裂隙水，防止对路面结构耐久性的影响。因此原则上都需要设定一定厚度的碎石垫层。

9.3.2 沥青路面结构图谱

隧道内铺设沥青路面具有行车噪音低的特点，对于长大隧道，改善司乘人员的行驶环境有利。

10 水泥混凝土路面加铺沥青面层

10.1 一般说明

10.1.3 根据原有水泥路面破损的情况采取不同对策的沥青混凝土的加铺方案。一般分为三种类型：一是原有路面比较完好，不需要结构性补强；二是原有路面存在一定的破损，需要进行结构性补强，但原有路面可以整体性利用；三是原有路面严重破损，需要进行结构性补强，但原有路面无法整体性利用。