

公路水泥混凝土路面设计规范

Specifications of Cement Concrete Pavement Design for Highway

2002-12-04 发布

2003-06-01 实施

中华人民共和国交通部发布

<http://ziyuan.51gcwl.com>

中华人民共和国行业标准

公路水泥混凝土路面设计规范

Specifications Of Cement Concrete Pavement Design for Highway

JTG D40—2002

主编部门：中交公路规划设计院

批准部门：中华人民共和国交通部

施行日期：2002 年 06 月 01 日

人民交通出版社

2002 · 北京

图书在版编目(C I P)数据

公路水泥混凝土路面设计规范 / 中交公路规划设计院

主编. —北京: 人民交通出版社, 2003.5

ISBN 7—114—04621—9

I. 公... . 中... . 水泥混凝土路面—设计—
规范—中国 .U416.216.02-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 015773 号

中华人民共和国行业标准
公路水泥混凝土路面设计规范
JTG D40—2002

中交公路规划设计院主编

责任印制: 杨柏力 责任校对: 戴瑞萍

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本: 880x 1230 1/16 印张: 6.75 字数: 190 千

2003 年 3 月第 1 版

2003 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

印数: 0001—11000 册定价: 26.00 元

ISBN 7—114—04621—9

关于发布《公路水泥混凝土路面设计规范》 (JTG D40—2002)的公告

第 8 号

现发布《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40--2002),自 2003 年 6 月 1 日起施行,原《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012--94)同时废止,有关强制性条文另行批复。

该规范由中交公路规划设计院主编并负责解释,人民交通出版社出版。请各单位在实践中注意积累材料,总结经验,及时将发现的问题和修改意见函告中交公路规划设计院(北京东四前炒面胡同,邮编 100010,电话:010-65279988)与中建标公路工程委员会秘书处(北京西土城路 8 号,邮编 100088,电话:010-62079195),以便修订时参考。

特此公告。

中华人民共和国交通部

二 二 年十二月四日

关于批准《公路水泥混凝土路面设计规范》
(JTG D40 — 2002)强制性条文的函

建办标[2003]10 号

交通部办公厅：

你厅《关于报送(公路水泥混凝土路面设计规范)(JTG D40--2002)强制性条文报批稿的函》(厅公路字[2003]7号)收悉。经我部研究，批准《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40--2002)中 3.0.6 条为强制性条文，自 2003 年 6 月 1 日起施行。该强制性条文将纳入《工程建设标准强制性条文》(公路工程部分)，必须严格执行。《工程建设标准强制性条文》(公路工程部分)2002 年版中关于《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTH012012—94)的强制性条文同时废止。

强制性条文的具体内容，将在近期出版的《工程建设标准化》刊物上登载。

中华人民共和国建设部办公厅

二 三年三月五日

前 言

根据交通部交公路发(1999)739号“关于下达1999年度公路建设标准、规范、定额等编制、修订工作计划的通知”修订本规范。

《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012--94)发布实施以来,我国水泥混凝土路面有了很大的发展,积累了高速公路和一级公路修筑水泥混凝土路面的实践经验,取得了水泥混凝土路面结构可靠度、路面结构排水等研究成果,使水泥混凝土路面的技术水平提高到一个新的层次。为此,有必要对原规范进行修订,以提高水泥混凝土路面的设计质量,适应我国公路水泥混凝土路面建设不断发展的需要。

本次修订后的规范分8章,另有6个附录。主要内容包括水泥混凝土路面结构组合设计、接缝设计、混凝土配筋设计、加铺层结构设计等。与原规范比,主要增加了路面结构可靠度设计和水泥混凝土路面上加铺沥青面层设计方法,充实了连续配筋混凝土面层配筋计算方法,细化了路面结构组合和材料组成及性质参数要求,修改了旧混凝土路面调查和评定方法,补充了交通分析方法。

本规范送审稿经公路司主持专家会审查后,修改形成报批初稿,由中建标公路工程委员会组织进行了总审校。

对本规范的意见以及在使用过程中遇到的问题,请及时与主编单位联系(地址:北京东四前炒面胡同33号中交公路规划设计院,邮编:100010)。

主 编 单 位 : 中交公路规划设计院

参 编 单 位 : 同济大学

长安大学

重庆市公路局

山西省交通科学研究院

福建省交通规划设计院

主要起草人: 刘伯莹 姚祖康 王秉纲 谈至明 唐伯明

赵队家 祝心树 陈筱华 万少英

目 次

1 总则.....	1
2 术语、符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	4
3 设计依据.....	6
4 结构组合设计.....	9
4.1 路基.....	9
4.2 垫层.....	9
4.3 基层.....	10
4.4 面层.....	11
4.5 路肩.....	13
4.6 路面排水.....	13
5 接缝设计.....	15
5.1 纵向接缝.....	15
5.2 横向接缝.....	16
5.3 交叉口接缝布设.....	19
5.4 端部处理.....	19
5.5 接缝填封材料.....	23
6 面层配筋设计.....	24
6.1 特殊部位配筋.....	24
6.2 钢筋混凝土面层配筋.....	26
6.3 连续配筋混凝土面层配筋.....	27
7 材料组成要求及性质参数.....	28
7.1 垫层材料.....	28
7.2 基层材料.....	28
7.3 面层材料.....	29
7.4 材料性质参数.....	30
8 加铺层结构设计.....	31
8.1 一般规定.....	31
8.2 路面损坏状况调查评定.....	31
8.3 接缝传荷能力和板底脱空状况调查评定.....	32
8.4 旧混凝土路面结构参数调查.....	32
8.5 分离式混凝土加铺层结构设计.....	34
8.6 结合式混凝土加铺层结构设计.....	34
8.7 沥青加铺层结构设计.....	35
附录 A 交通分析.....	36
A.1 交通调查与分析.....	36
A.2 轴载调查与分析.....	36
附录 B 混凝土板应力分析及厚度计算流程.....	39
B.1 荷载应力分析.....	39

B.2 温度应力分析.....	41
B.3 混凝土板厚度计算流程.....	42
附录 C 双层混凝土板应力分析.....	44
C.1 荷载应力分析.....	44
C.2 温度应力分析.....	45
附录 D 有沥青上面层的混凝土板应力分析.....	47
D.1 荷载应力分析.....	47
D.2 温度应力分析.....	47
附录 E 连续配筋混凝土面层纵向配筋计算.....	49
附录 F 材料参数经验参考值.....	52
F.1 中湿路路床顶面回弹模量经验参考值范围.....	52
F.2 垫层和基层材料回弹模量经验参考值范围.....	52
F.3 水泥混凝土弯拉弹性模量经验参考值.....	53
F.4 钢筋强度和弹性模量经验参考值.....	53
F.5 连续配筋混凝土纵向配筋率计算参数经验参考值.....	53
本规范用词说明.....	54
附件《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40--2002)条文说明.....	55
1 总则.....	57
2 术语、符号.....	58
3 设计依据.....	59
4 结构组合设计.....	62
5 接缝设计.....	67
6 面层配筋设计.....	70
7 材料组成要求及性质参数.....	71
8 加铺层结构设计.....	72
附录 A 交通分析.....	78
附录 B 混凝土板应力分析及厚度计算流程.....	79
附录 C 双层混凝土板应力分析.....	84
附录 D 有沥青上面层的混凝土板应力分析.....	89
附录 E 连续配筋混凝土面层纵向配筋计算.....	92
附录 F 材料参数经验参考值.....	95

1 总则

- 1.0.1 为适应交通运输发展和公路建设的需要,提高水泥混凝土路面的设计质量和技术水平,保证工程安全可靠、经济合理,制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于新建和改建公路和水泥混凝土路面设计。
- 1.0.3 水泥混凝土路面设计方案,应根据公路的使用任务、性质和要求,结合当地气候、水文、土质、材料、施工技术、实践经验以及环境保护要求等,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、接缝构造和钢筋配制等。水泥混凝土路面结构应按规定的安全等级和目标可靠度,承受预期的荷载作用,并同所处的自然环境相适应,满足预定的使用性能要求。
- 1.0.4 水泥混凝土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、符号

2.1 术语

- 2.1.1 水泥混凝土路面 cement concrete pavement
以水泥混凝土做面层(配筋或不配筋)的路面,亦称刚性路面。
- 2.1.2 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。
- 2.1.3 钢筋混凝土路面 jointed reinforced concrete pavement
面层内配置纵、横向钢筋或钢筋网并设接缝的水泥混凝土路面。
- 2.1.4 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。
- 2.1.5 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。
- 2.1.6 复合式路面 composite pavement
面层由两层不同类型和力学性质的结构层复合而成的路面。
- 2.1.7 水泥混凝土预制块路面 concrete block pavement
面层由水泥混凝土预制块铺砌成的路面。
- 2.1.8 碾压混凝土 roller compected concrete
采用振动碾压成型的水泥混凝土。
- 2.1.9 贫混凝土 lean concrete
水泥用量较低的水泥混凝土。
- 2.1.10 设计基准期限 design reference period
计算路面结构可靠度时,考虑各项基本度量与时间关系所取用的基准时间。
- 2.1.11 安全等级 safety classes
根据路面结构的重要性和破坏可能产生后果的严重程度而划分的设计等级。
- 2.1.12 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。
- 2.1.13 目标可靠度 objective reliability
作为设计依据的可靠度。
- 2.1.14 可靠指标 reliability index
度量路面结构可靠性的一种数量指标。
- 2.1.15 目标可靠指标 objective reliability index
作为设计依据的可靠指标。

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。

2.2 符号

2.2.1 作用及作用效应符号

N_e ——设计基准期内标准轴载累计作用次数

N_s ——标准轴载的作用次数

P ——轴载

P_s ——标准轴载

w ——弯沉

ϵ_{sh} ——干缩应变

σ_{pr} ——荷载疲劳应力

σ_{ps} ——标准轴载的引力

σ_s ——钢筋应力

σ_{tm} ——最大温度梯度时的温度翘曲应力

σ_{tr} ——温度梯度疲劳应力

2.2.2 设计参数和计算系数符号

B_x ——温度应力系数

C_v ——变异系数

C_x ——温度翘曲应力系数

g_r ——交通量年平均增长率

k_c ——综合影响系数

k_f ——荷载疲劳应力系数

k_j ——接缝传荷系数

k_p ——轴载当量换算系数

k_r ——接缝传荷能力的应力折减系数

k_s ——粘结刚度系数

k_t ——温度疲劳应力系数

k_u ——层间结合系数

p ——概率或频率

T_g ——混凝土面层最大温度梯度

α_c ——混凝土线膨胀系数

α_s ——钢筋线膨胀系数

γ_r ——可靠度系数

i ——轴-轮型系数

——车辆轮迹横向分布系数

α_c ——混凝土温缩应力系数

α_{st} ——钢筋温度应力系数

b ——裂缝宽度系数

μ ——面层与基层之间的摩阻系数

ρ ——配筋率

ρ_f ——钢纤维体积率

ϕ ——钢筋刚度贡献率

2.2.3 几何参数符号

A_s ——钢筋面积
 b_j ——裂缝缝隙宽度
 d_f ——钢纤维直径
 d_s ——钢筋直径
 h ——结构层厚度
 l_f ——钢纤维长度
 l ——面层板长度
 L_d ——裂缝间距

2.2.4 材料性能和混凝土板抗力符号

D ——面层的弯曲刚度
 D_g ——双层混凝土面层的总弯曲刚度
 E ——土基或基、垫导线材料回弹模量
 E_c ——水泥混凝土的弯拉弹性模量
 E_s ——钢筋的弹性模量
 E_t ——基层顶面当量回弹模量
 f_r ——混凝土弯拉强度
 f_{rm} ——混凝土配合比设计强度
 f_{sp} ——混凝土劈裂强度
 f_{sy} ——钢筋屈服强度
 f_t ——混凝土抗拉强度
 r ——混凝土面层的相对刚度半径

3 设计依据

3.0.1 各级公路水泥混凝土路面结构的设计安全等级及相应的设计基准期、目标可靠指标和目标可靠度，应符合表 3.0.1 的规定。各安全等级路面的材料性能和结构尺寸参数的变异水平等级，宜按表 3.0.1 的建议选用。

表 3.0.1 可靠度设计标准

公路技术等级	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 (a)	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

3.0.2 材料性能和结构尺寸参数的变异水平分为低、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 3.0.2 的规定。

表 3.0.2 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 0.10	0.10 < c_v 0.15	0.15 < c_v 0.20
基层顶面当量回弹模量	c_v 0.25	0.25 < c_v 0.35	0.35 < c_v 0.55
水泥混凝土面层厚度	c_v 0.04	0.04 < c_v 0.06	0.06 < c_v 0.08

3.0.3 水泥混凝土路面结构设计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，其表达式采用式 (3.0.3)。

$$\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r \quad (3.0.3)$$

式中：

γ_r ——可靠度系数，依据所选目标可靠度及变异水平等级按表 3.0.3 确定；

σ_{pr} ——行车荷载疲劳应力 (MPa)，计算方法见附录 B.1；

σ_{tr} ——温度梯度疲劳应力 (MPa)，计算方法见附录 B.2；

f_r ——水泥混凝土弯拉强度标准值 (MPa)，见 3.0.6 条。

表 3.0.3 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

注：变异系数在表 3.0.2 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。

3.0.4 水泥混凝土路面结构设计以 100kN 的单轴-双轮组荷载作为标准轴载。不同轴-轮型和轴载的作用次数，按式 (3.0.4-1) 换算为标准轴载的作用次数。

$$N_s = \sum_{i=1}^n \delta_i N_i \left(\frac{P_i}{100} \right)^{16} \quad (3.0.4-1)$$

$$\delta_i = 2.22 \times 10^3 P_i^{-0.43} \quad (3.0.4-2)$$

或 $\delta_i = 1.07 \times 10^{-5} P_i^{-0.22} \quad (3.0.4-3)$

或 $\delta_i = 2.24 \times 10^{-8} P_i^{-0.22} \quad (3.0.4-4)$

式中：

N_s ——100kN 的单轴-双轮组标准轴载的作用次数；

P_i ——单轴-单轮、单轴-双轮组、双轴-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；

δ_i ——轴-轮型系数，单轴-双轮组时， $\delta_i=1$ ；单轴-单轮时，按式 (3.0.4-2) 计算；双

轴-双轮组时，按式 (3.0.4-3) 计算；三轴-双轮组时，按式 (3.0.4-4) 计算。

3.0.5 水泥混凝土路面所承受的轴载作用，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，分级范围如表 3.0.5。

表 3.0.5 交通分级

交通等级	特重	重	中等	轻
设计车道标准轴载累计作用次数 $N_e (10^4)$	> 2000	100 ~ 2000	3 ~ 100	< 3

注：交通调查和分析及 N_e 计算，参照本规范附录 A。

3.0.6 水泥混凝土的强度以 28d 龄期的弯拉强度控制。当混凝土浇筑后 90d 内不开放交通时，可采用 90d 龄期的弯拉强度。各交通等级要求的混凝土弯拉强度标准值不得低于表 3.0.6 的规定。

表 3.0.6 混凝土弯拉强度标准值

交通等级	特重	重	中等	轻
水泥混凝土的弯拉强度标准值 (MPa)	5.0	5.0	4.5	4.0
钢纤维混凝土的弯拉强度标准值 (MPa)	6.0	6.0	5.5	5.0

3.0.7 在季节性冰冻地区，路面的总厚度不应小于表 3.0.7 规定的最小防冻厚度。

表 3.0.7 水泥混凝土路面最小防冻厚度 (m)

路基干湿类型	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
中湿路基	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
潮湿路基	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：冻深小或填方路段，或者基、垫层为隔温性能良好的材料，可采用低值；冻深大或挖方及地下水位高的路段，或者基、垫层为隔温性能较差的材料，应采用高值；冻深小于 0.50m 的地区，一般不考虑结构层防冻厚度。

3.0.8 水泥混凝土面层的最大温度梯度标准值 T_g ，可按照公路所在地的公路自然区划按表 3.0.8 选用。

表 3.0.8 最大温度梯度标准值 T_g

公路自然区划	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
最大温度梯度(/m)	88 ~ 83	90 ~ 95	86 ~ 92	93 ~ 98

注：海拔高时，取高值；湿度大时，取低值。

4 结构组合设计

4.1 路基

4.1.1 路基应稳定、密实、均质，对路面结构提供均匀的支承。

4.1.2 高液限粘土及含有机质细粒土，不能用做高速公路和一级公路的路床填料或二级和二级以下公路和上路床填料；高液限粉土及塑性指数大于 16 或膨胀率大于 3% 的低液限粘土，不能用做高速公路和一级公路的上路床填料。因条件限制而必须采用上述土做填料时，应掺加石灰或水泥等结合料改善。

4.1.3 地下水位高时，宜提高路堤设计标高。在设计标高受限制，未能达到中湿状态的路基临界高度时，应选用粗粒土或低剂量石灰或水泥稳定细粒土做路床或上路床填料；未能达到潮湿状态的路基临界高度时，除采用上述填料措施外，还应采取在边沟下设置排水渗沟等降低地下水位的措施。

4.1.4 路基压实度应符合《公路路基设计规范》(JTJ013) 的要求。多雨潮湿地区，对于高液限土及塑性指数大于 16 或膨胀率大于 3% 的低液限粘土，宜采用由轻型压实标准确定的压实度，并在含水量略大于其最佳含水量时压实。

4.1.5 岩石或填石路床顶面应铺设整平层。整平层可采用未筛分碎石和石屑或低剂量水泥稳定粒料，其厚度视路床顶面不平整程度而定，一般为 100 ~ 500mm。

4.2 垫层

4.2.1 遇有下述情况时，需在层基下设置垫层：

——季节性冰冻地区，路面总厚度小于最小防冻厚度要求（表 3.0.7）时，其差

值应以垫层厚度补足；

——水文地质条件不良的土质路堑，路床土湿度较大时，宜设置排水垫层；

——路基可能产生不均匀沉降或不均匀变形时，可加设半刚性垫层。

4.2.2 垫层的宽度应与路基同宽，其最小厚度为 150mm。

4.2.3 防冻垫层和排水垫层宜采用砂、砂砾等颗粒材料。半刚性垫层可采用低剂量无机结合料稳定粒料或土。

4.3 基层

4.3.1 基层应具有足够的抗冲刷能力和一定的刚度。

4.3.2 基层类型宜依照交通等级按表 4.3.2 选用。混凝土预制块面层应采用水泥稳定粒料基层。

表 4.3.2 适宜各交通等级的基层类型

交通等级	基层类型
特重交通	贫混凝土、碾压混凝土或沥青混凝土基层
重交通	水泥稳定粒料或沥青稳定碎石基层
中等或轻交通	水泥稳定粒料、石灰粉煤灰稳定粒料或级配粒料基层

4.3.3 湿润和多雨地区，路基为低透水性细粒土的高速公路和一级公路或者承受特重或重交通的二级公路，宜采用排水基层。排水基层可选用多孔隙的级配水泥稳定碎石、沥青稳定碎石或碎石，其孔隙率约为 20%。

4.3.4 基层的宽度应比混凝土面层每侧至少宽出 300mm（采用小型机具施工时）或 500mm（轨模式摊铺机施工时）或 650mm（滑模式摊铺机施工时）。路肩采用混凝土面层，其厚度与行车道面层相同时，基层宽度宜与路基同宽。级配粒料基层的宽度也宜与路基同宽。

4.3.5 各类基层厚度和适宜范围见表 4.3.5。

4.3.6 碾压混凝土基层应设置与混凝土面层相对应的接缝。贫混凝土基层在其弯拉强度超过 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，应设置纵向缩缝。

4.3.7 基层下未设垫层，上路床为细粒土、粘土质砂或级配不良砂（承受特重或重交通时），或者为细粒土（承受中等交通时），应在基层下设置底基层。底基层可采用级配粒料、水泥稳定粒料或石灰粉煤灰稳定粒料，厚度一般为 200mm。

表 4.3.5 各类基层厚度的适宜范围

基层类型	厚度适宜的范围（mm）
贫混凝土或碾压混凝土基层	120 ~ 200
水泥或石灰粉煤灰稳定粒料基层	150 ~ 250
沥青混凝土基层	40 ~ 60
沥青稳定碎石基层	80 ~ 100
级配粒料基层	150 ~ 200
多孔隙水泥稳定碎石排水基层	100 ~ 140
沥青稳定碎石排水基层	80 ~ 100

4.3.8 排水基层下应设置由水泥稳定粒料或者密级配粒料组成的不透水底基层，厚度一般为 200mm。底基层顶面宜铺设沥青封层或防水土工织物。

4.4 面层

4.4.1 水泥混凝土面层应具有足够的强度、耐久性，表面抗滑、耐磨、平整。

4.4.2 面层一般采用设接缝的普通混凝土；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。其他面层类型可根据适用条件按表 4.4.2 选用。

表 4.4.2 其他面层类型选择

面层类型	适用条件
连续配筋混凝土面层	高速公路
沥青上面层与连续配筋混凝土或横缝设传力杆的普通混凝土下面层组成的复合式路面	特重交通的高速公路
碾压混凝土面层	二级及二级以下公路、服务区停车场
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
矩形或异形混凝土预制块面层	服务区停车场、二级及二级以下公路桥头引道沉降未稳定段

4.4.3 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一般采用矩形。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。

4.4.4 纵向接缝的间距按路面宽度在 3.0~4.5m 范围内确定。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。

4.4.5 横向接缝的间距按面层类型和厚度选定：

- 普通混凝土面层一般为 4~6m，面层板的长宽不宜超过 1.30，平面尺寸不宜大于 25m²；
- 碾压混凝土或钢纤维混凝土面层一般为 6~10m；
- 钢筋混凝土面层一般为 6~15m。

4.4.6 普通混凝土、钢筋混凝土、碾压混凝土或配筋混凝土面层所需的厚度，可参照表 4.4.6 所示参考范围并按 4.4.9 条规定计算确定。

表 4.4.6 水泥混凝土面层厚度的参考范围

交通等级	特重				重			
公路等级	高速	一级		二级	高速	一级		二级
变异水平等级	低	中	低	中	低	中	低	中
面层厚度 (mm)	260	250	240		270~240	260~230		250~220

交通等级	中等				轻	
公路等级	二级		三、四级	三、四级	三、四级	
变异水平等级	高	中	高	中	高	中
面层厚度（mm）	240～210	230～200		220～200	230	220

4.4.7 钢纤维混凝土面层的厚度按钢纤维掺量确定，钢纤维体积率为 0.6%~1.0% 时，其厚度为普通混凝土面层厚度的 0.65~0.75 倍。特重或重交通时，其最小厚度为 160mm；中等或轻交通时，其最小厚度为 140mm。

4.4.8 复合式路面沥青上面层的厚度一般为 25~80mm。

4.4.9 除混凝土预制块面层外，各种混凝土面层的计算厚度应满足式 (3.0.3) 的要求。

荷载疲劳应力和温度疲劳应力分别按附录 B.1 和 B.2 计算。面层设计厚度依计算厚度按 10mm 向上取整。

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分别按附录 C.1 和 C.2 计算。上、下层板的计算厚度应分别满足式(3.0.3)的要求。

具有沥青上面层的水泥混凝土板,在临界荷位处的荷载疲劳应力和温度疲劳应力分别按附录 D.1 和 D.2 计算。混凝土板的计算厚度,应满足式(3.0.3)的要求。

- 4.4.10 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表 4.4.10 的要求。

表 4.4.10 各级公路水泥混凝土面层的表面构造深度(mm)要求

公路等级	高速公路、一级公路	二、三、四级公路
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: 特殊路段——对于高速公路和一级公路系指立交、平交或变速车道等处,对于其他等级公路系指急弯、陡坡、交叉口或集镇附近;

年降雨量 600mm 以下的地区,表列数值可适当降低。

- 4.4.11 混凝土预制块可采用异形块或矩形块。预制块的长度为 200 ~ 250mm,宽度为 100 ~ 125mm,长宽比通常为 2 ~ 1。预制块厚度为 100 ~ 120mm。预制块下稳平层的厚度为 30 ~ 50mm。

4.5 路肩

- 4.5.1 路肩铺面结构应具有一定的承载能力,其结构层组合和材料选用应与行车道路面相协调,并保证进入路面结构中的水的排除。
- 4.5.2 路肩铺面可选用水泥混凝土面层或沥青面层。
- 4.5.3 路肩水泥混凝土面层的厚度通常采用与行车道面层等厚,其基层宜与行车道基层相同。选用薄面层时,其厚度不宜小于 150mm,基层应采用开级配粒料。
- 4.5.4 路肩沥青面层宜选用密实型沥青混合料。其基层可选用无机结合料稳定粒料或级配粒料。行车道路面结构不设内部排水设施时,沥青面层和不透水基层的总厚度不宜超过行车道面层的厚度,基层下应选用透水性粒料填筑。

4.6 路面排水

- 4.6.1 行车道路面应设置双向或单向横坡,坡度为 1% ~ 2%。路肩铺面的横向坡度值宜比行车道路面的横坡值大 1% ~ 2%。
- 4.6.2 行车道路面结构设置排水基层或垫层时,应在排水基层或垫外侧边缘设置纵向集水沟和带孔集水管,并间隔 50~100m 设置横向排水管。
- 4.6.3 排水基层的纵向边缘集水沟,路肩采用水泥混凝土面层时,可设在路肩下或路肩外侧边缘内;路肩采用沥青面层时,可设在路肩内侧边缘内。排水垫层的纵向边缘集水沟设在路床边缘。
- 4.6.4 带孔集水管和孔径通常采用 100~150mm。集水沟的宽度通常采用 300mm。集水沟的深度应能保证集水管管顶低于排水层底面,并有足够厚度和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,或者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。横向排水管不带孔,其管径与集水管相同。

- 4.6.5 集水沟和集水管的纵坡宜与路线纵坡相同，但不得小于 0.25%。横向排水管的坡度不宜小于 5%。
- 4.6.6 横向排水管出口端应设端墙。端头用镀锌铁丝网或格栅罩住，出水口应进行冲刷防护。在横向排水管上方的路肩边缘处应设置标志，标明出水口位置。

5 接缝设计

5.1 纵向接缝

5.1.1 纵向接缝的布设应路面宽度和施工铺筑宽度而定：

- 一次铺筑宽度小于路面宽度时，应设置纵向施工缝。纵向施工缝采用平缝形式，上部应锯切槽口，深度为 30~40mm，宽度为 3~8mm，槽内灌塞填缝料，构造如图 5.1.1a) 所示；
- 一次铺筑宽度大于 4.5m 时，应设置纵向缩缝。纵向缩缝采用假缝形式，锯切的槽口深度应大于施工缝的槽口深度。采用粒料基层时，槽口深度应为板厚的 1/3；采用半刚性基层时，槽口深度为板厚的 2/5。其构造如图 5.1.1b) 所示。

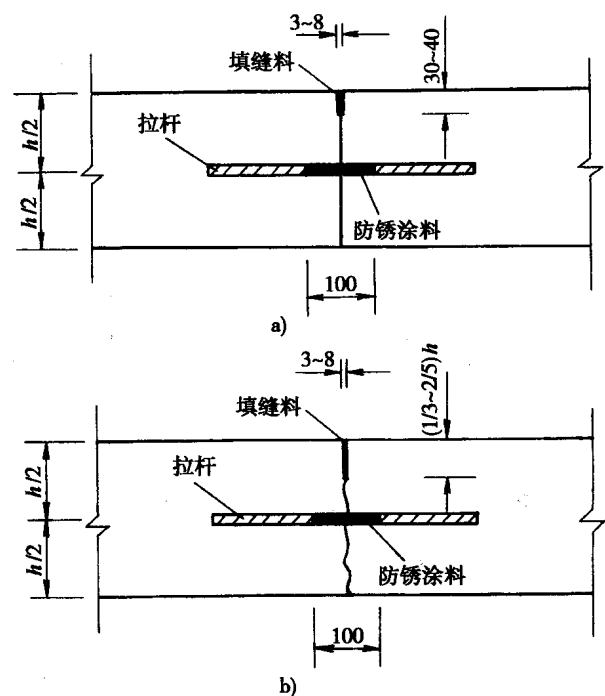


图 5.1.1 纵缝构造(尺寸单位：nun)
a)纵向施工缝；b)纵向缩缝

- 5.1.2 纵缝应与路线中缝平行。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，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。
- 5.1.3 拉杆应采用螺纹钢筋，设在板后中央，并应对拉杆中部 100mm 范围内进行防锈处理。拉杆的直径、长度和间距，可参照表 5.1.3 选用。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 5.1.3 拉杆直径、长度和间距（mm）

面层厚度 (mm)	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
200~250	14 × 700 × 900	14 × 700 × 800	14 × 700 × 700	14 × 700 × 600	14 × 700 × 500	14 × 700 × 400
260~300	16 × 800 × 900	16 × 800 × *800	16 × 800 × 700	16 × 800 × 600	16 × 800 × 500	16 × 800 × 400

注：拉杆直径、长度和间距的数字为直径×长度×间距。

5.1.4 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。

5.2 横向接缝

5.2.1 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，其位置应尽可能选在缩缝或胀缝处。设在缩缝处的施工缝，应采用传力杆的平缝形式，其构造如图 5.2.1a)所示；设在胀缝处的施工缝，其构造与胀缝相同。遇有困难需设在缩缝之间时，施工缝采用设拉杆的企口缝形式，其构造如图 5.2.1b)所示。

5.2.2 横向缩缝可等间距或变间距布置，采用假缝形式。特重和重交通公路、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，其构造如图 5.2.2a)所示。其他情况可采用不设传力杆假缝形式，其构造如图 5.2.2b)所示。

5.2.3 横向缩缝顶部应锯切槽口，深度为面层厚度的 $1/5 \sim 1/4$ ，宽度为 3~8mm，槽内填塞填缝料。高速公路的横向缩缝槽口宜增设深 20mm、宽 6~10mm 的浅槽口，其构造如图 5.2.3 所示。

5.2.4 在邻近桥梁或其他固定构造物处或其他道路相交处应设置横向胀缝。设置的胀缝

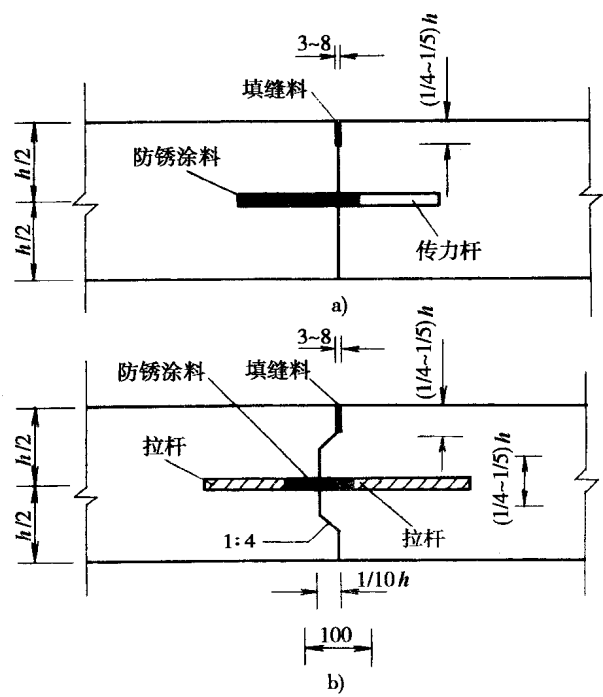


图 5.2.1 横向施工缝构造(尺寸单位:mm)
a)设传力杆平缝型;b)设拉杆企口缝型

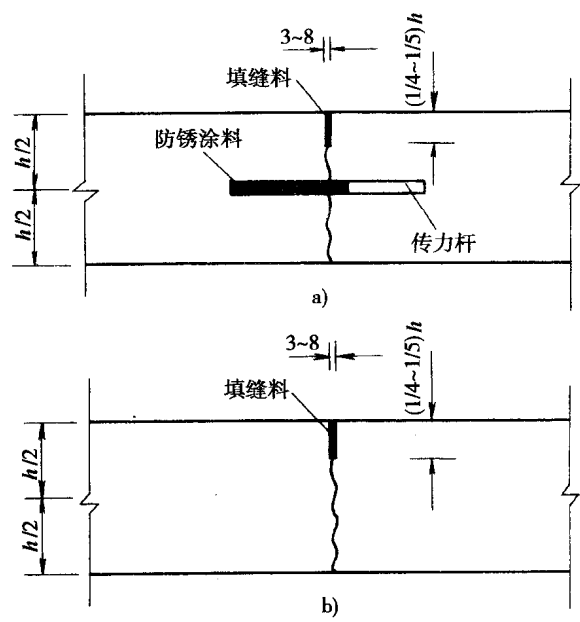
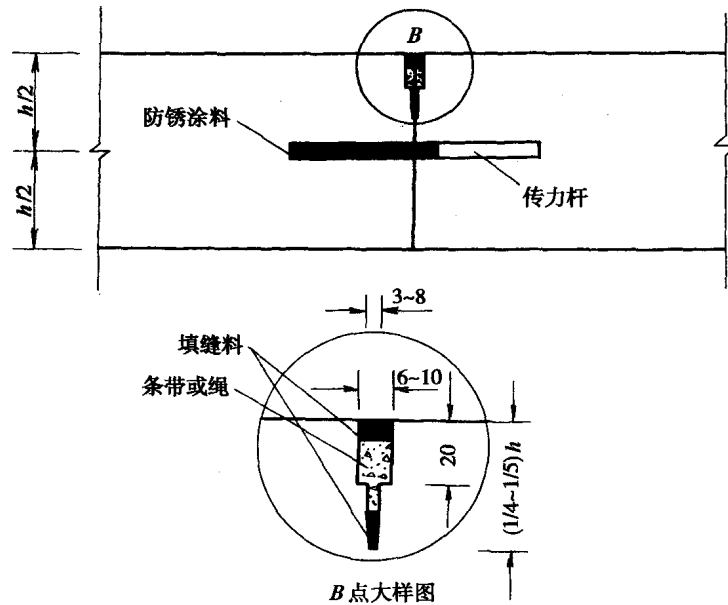


图 5.2.2 横向缩缝构造(尺寸单位:mm)
a)设传力杆假缝型;b)不设传力杆假缝型

条数，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，宜酌情确定是否设置胀缝。胀缝宽 20mm，缝内设置填缝板和可滑动的传力杆。胀缝的构造如图 5.2.4 所示。



5.3.1 两条道路正交时,各条道路和直道部分均保持本身纵缝的连贯,而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,保证两条道路的纵横缝垂直相交,互不错位。两条道路斜交时,主要道路的直道部分保持纵缝的连贯,

而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。

- 5.3.2 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。

5.4 端部处理

- 5.4.1 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%。

- 5.4.2 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 6~10m 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。

- 5.4.3 混凝土路面与沥青路面相接时,其间应设置至少 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,如图 5.4.3 所示。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。

- 5.4.4 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:

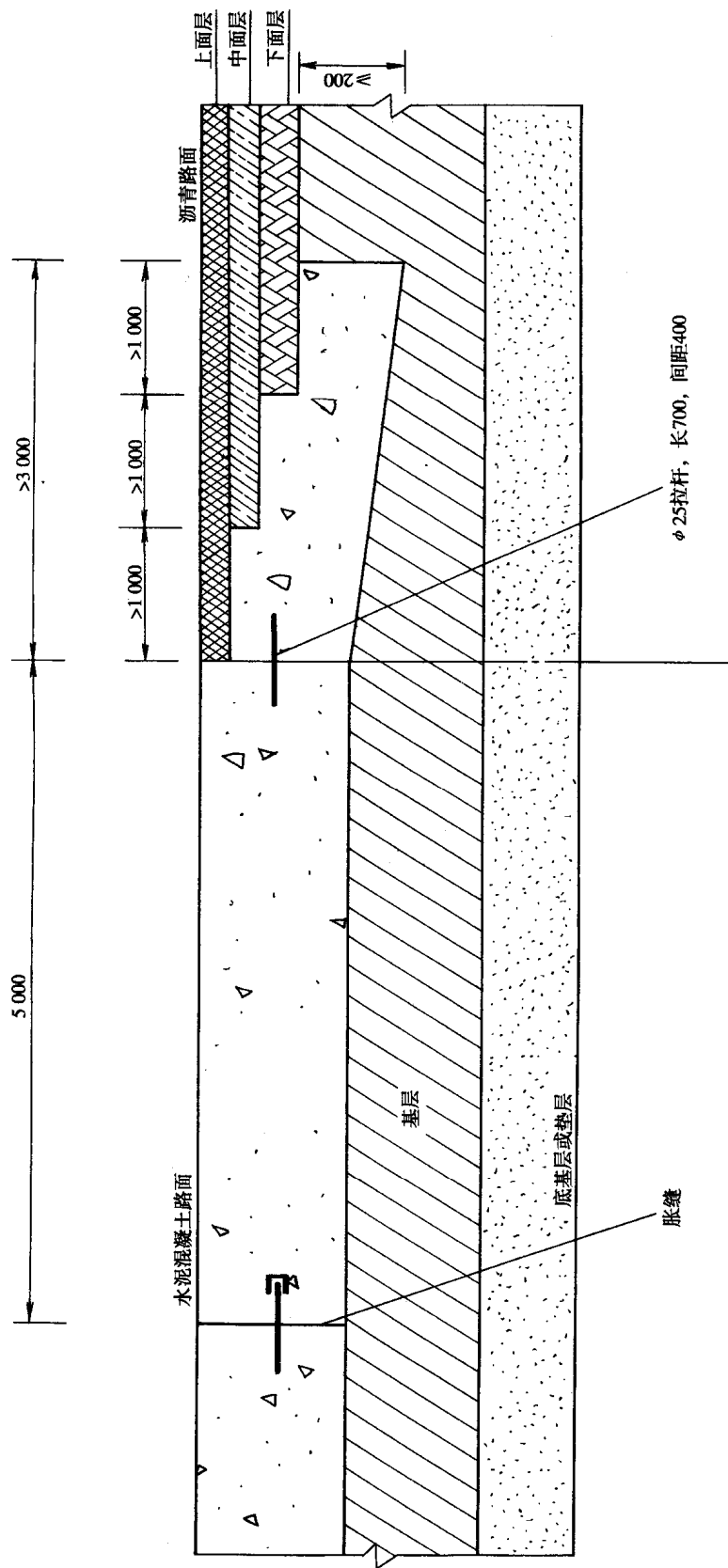


图 5.4.3 混凝土路面与沥青路面相接段的构造布置(尺寸单位:mm)

图 5.4.4-1 钢筋混凝土梁锚固(尺寸单位:mm)

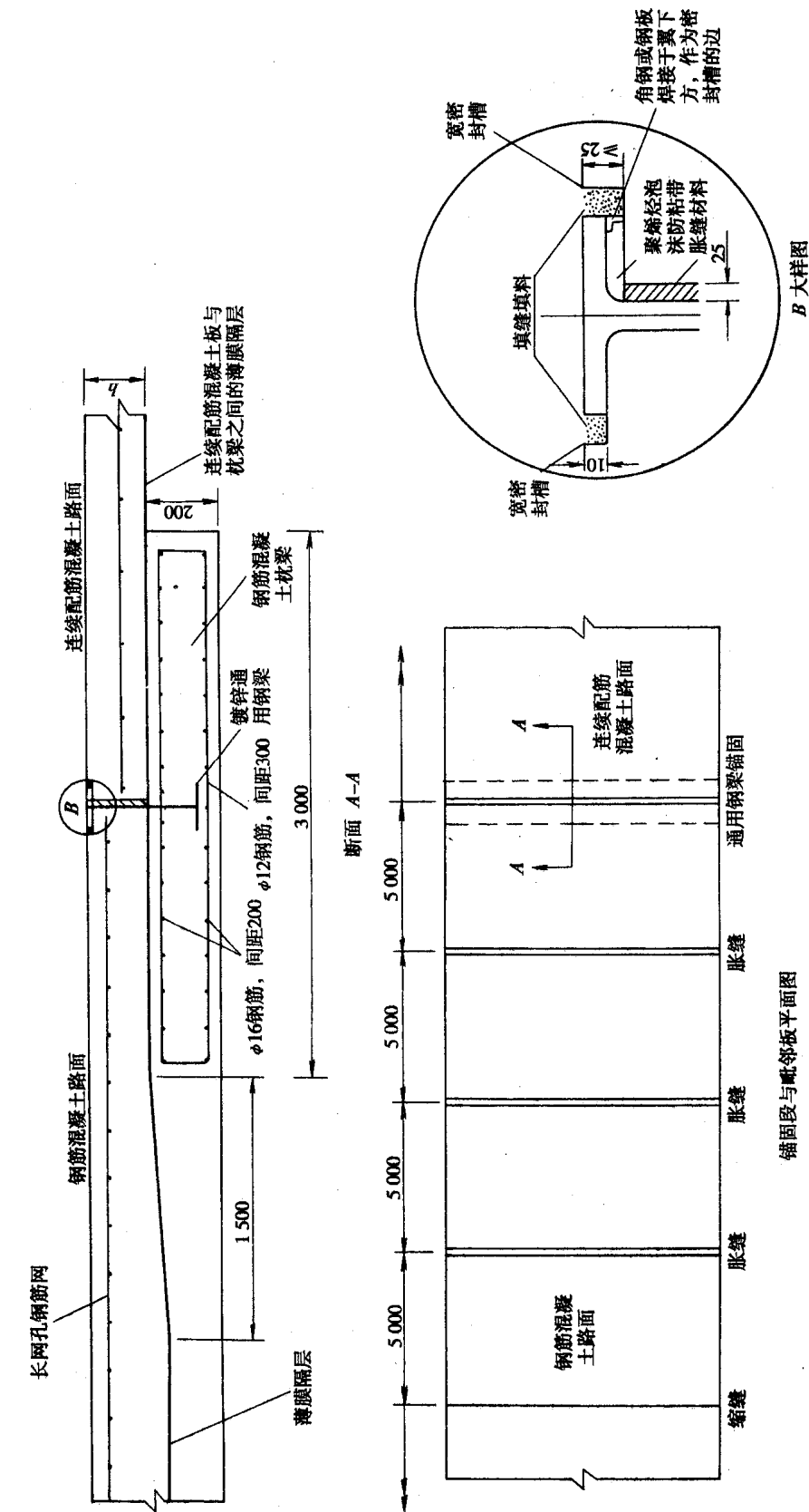


图 5.4.4-2 宽翼缘工字钢梁锚固(尺寸单位:mm)

- 钢筋混凝土梁一般采用 3~5 个，梁宽 400~600mm，梁高 1200~1500mm，间距 5000~6000mm；地梁与连续配筋混凝土面层连成一体；其构造如图 5.4.4-1 所示；
- 宽翼缘工字钢梁的底部锚入钢筋混凝土枕梁内，枕梁一般长 3000mm、厚

200mm；钢梁腹板与连续配筋混凝土面层端部间填入胀缝材料；其构造如图 5.4.4-2 所示。

5.5 接缝填封材料

- 5.5.1** 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、复原率高和耐久性好的材料。高速公路和一级公路宜选用泡沫橡胶板、沥青纤维板；其他等级公路也可选用木材类或纤维类板。
- 5.5.2** 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。常用的填缝材料有聚氨酯焦油类、氯丁橡胶类、乳化沥青类、聚氯乙烯胶泥、沥青橡胶类、沥青玛蹄脂及橡胶嵌缝条等。

6 面层配筋设计

6.1 特殊部位配筋

6.1.1 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。通常选用 2 根直径为 12~16mm 的螺纹钢筋,置于面层底面之上 $1/4$ 厚度处并不小于 50mm,间距为 100mm,钢筋两端向上弯起,如图 6.1.1 所示。

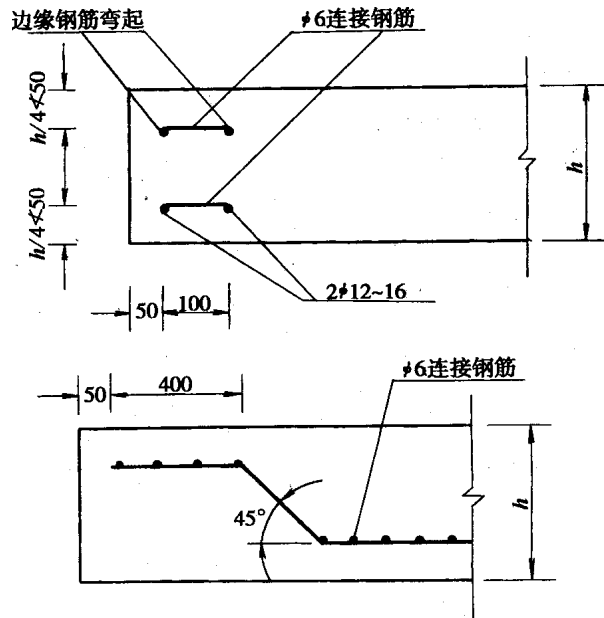
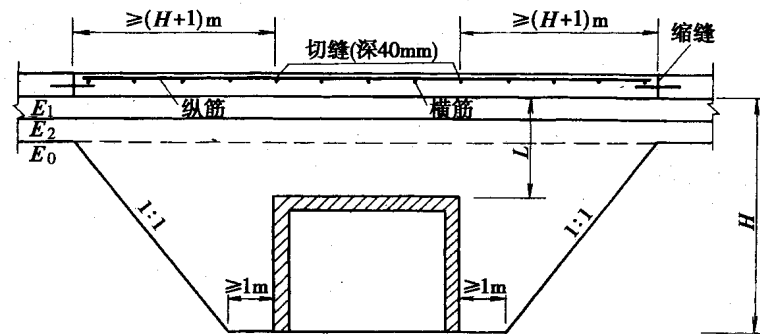


图 6.1.1 边缘钢筋布置(尺寸单位:mm)

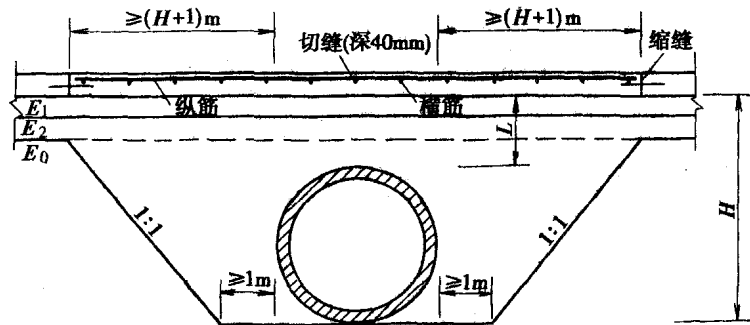
6.1.2 承受特重交通的胀缝、施工缝和自由边的面层角隅及锐角面层角隅,宜配置角隅钢筋。通常选用 2 根直径为 12~16mm 的螺纹钢筋,置于面层上部,距顶面不小于 50mm,距边缘为 100mm,如图 6.1.2 所示。

6.1.3 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 $1/4 \sim 1/3$ 厚度处,如图 6.1.3-1 所示。构造物顶面至面层底面的距离在 400~1200mm 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 $1/4 \sim 1/3$ 厚度处,如图 6.1.3-2 所示。钢筋直径为 12mm,纵向钢筋间距 100mm,横向钢筋间距 200mm。配筋混凝土面层与相邻混凝土面层之间设置传力杆缩缝。

图 6.1.3-1 箱形构造物横穿公路处的面层配筋(L 小于 400mm 或嵌入基层)



6.1.4 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 1200 mm 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 $1/4\sim 1/3$ 厚度处,如图 6.1.4 所示。钢筋尺寸和间距及传力杆接缝设置与 6.1.3 条相同。

图 6.1.4 圆形管状构造物横穿公路处的面层配筋(L 小于 1 200mm)

6.2 钢筋混凝土面层配筋

6.2.1 钢筋混凝土面层的配筋量按式(6.1.2)确定。

$$A_s = \frac{16L_s h \mu}{f_{sv}} \quad (6.1.2)$$

式中：

A_s ——每延米混凝土面层宽（或长）所需的钢筋面积（ 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);

μ ——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_{sv} ——钢筋的屈服强度 (MPa), 按附录 F.4 选用。

6.2.2.2 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 6.2.2 的规定。钢筋的最小间距为集料最大粒径的 2 倍。

表 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	12	350	750

6.2.3 钢筋布置应符合下列要求：

——纵向钢筋设在面层顶面下 $1/3 \sim 1/2$ 厚度范围内 横向钢筋位于纵向钢筋之下；

——纵向钢筋的搭接长度一般不小于 35 倍钢筋直径，搭接位置应错开，各搭接端接线与纵向钢筋的夹角应小于 60° ；

——边缘钢筋至纵缝或自由边的距离一般为 100~150mm。

6.3 连续配筋混凝土面层配筋

6.1.3 连续配筋混凝土面层的纵向配筋率按允许的裂缝间距(1.0~2.5m)、缝隙宽度($<1\text{mm}$)和钢筋屈服强度确定,通常为0.6%~0.8%。最小纵向配筋率,冰冻地区为0.7%,一般地区为0.6%。具体计算方法见附录E。横向钢筋的用量,按6.2.1条计算确定。

6.3.2 连续配筋混凝土面层的纵向和横向钢筋均采用螺纹钢筋,其直径为 12~20mm。

6.3.3 钢筋布置应符合下列要求：

——纵向钢筋设在面层表面下 $1/2 \sim 1/3$ 厚度范围内，横向钢筋位于纵向钢筋之下；

- 纵向钢筋的间距不大于 250mm，不小于 100mm 或集料最大粒径的 2.5 倍；
- 横向钢筋的间距不大于 800mm；
- 纵向钢筋的焊接长度一般不小于 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° ；
- 边缘钢筋至纵缝或自由边的距离一般为 100~150mm。

7 材料组成要求及性质参数

7.1 垫层材料

- 7.1.1 防冻垫层所用砂、砂砾材料中通过 0.075mm 筛孔的细粒含量不宜大于 5%。
- 7.1.2 排水层材料的级配应满足下述渗滤标准：
 - 垫层材料通过率为 15% 时的粒径 D_{15} 不小于路床土通过率为 15% 时的粒径 d_{15} 的 5 倍 ($D_{15} \geq 5d_{15}$)；
 - 垫层材料通过率为 15% 时的粒径 D_{15} 不大于路床土通过率为 85% 时的粒径 d_{85} 的 5 倍 ($D_{15} \leq 5d_{85}$)；
 - 垫层材料通过率为 50% 时的粒径 D_{50} 不大于路床土通过率为 50% 时的粒径 d_{50} 的 25 倍 ($D_{50} \leq 25d_{50}$)；
 - 垫层材料的均匀系数 (D_{60} / D_{10}) 不大于 20。

7.2 基层材料

- 7.2.1 贫混凝土集料公称最大粒径不宜大于 31.5mm，水泥用量不得少于 170kg/m^3 ，28d 弯拉强度标准值宜控制在 1.0~1.8Mpa 范围内。碾压混凝土集料公称最大粒径不得大于 26.5mm。
- 7.2.2 沥青混凝土基层宜采用集料公称最大粒径为 19.0mm 或 26.5mm 的混合料。沥青碎石基层宜采用集料公称最大粒径为 26.5mm 或 31.5mm 的混合料。
- 7.2.3 水泥稳定粒料、级配碎石或砾石的集料公称最大粒径宜为 26.5mm 或 19.0mm。小于 0.075mm 的细粒含量不得大于 5%，小于 4.75mm 的颗粒含量不宜大于 50%，细粒土的液限应小于 25%，塑性指数应小于 6。承受重交通时，水泥剂量宜为 5%；中等和轻交通时，水泥剂量宜为 4%。
- 7.2.4 石灰粉煤灰稳定粒料的集料公称最大粒径宜为 26.5mm。小于 0.075mm 的细粒含量不得大于 7%；小于 4.75mm 的颗粒含量不宜大于 52%。石灰与粉煤灰的配比宜为 1~2~1~4；粒料与石灰粉煤灰的配比宜为 85~15~80~20。
- 7.2.5 多孔隙水泥稳定碎石的集料公称最大粒径宜为 31.5mm 或 26.5mm。小于 0.075mm 的细粒含量不得大于 2%；小于 2.36mm 的颗粒含量不宜大于 5%；小于 4.75mm 的颗粒含量不宜大于 10%。水泥剂量一般为 9.5%~11%，水灰比一般为 0.39~0.43。
- 7.2.6 多孔隙沥青稳定碎石的集料公称最大粒径宜为 26.5mm 或 19.0mm。小于 0.075mm 的细粒含量不得大于 2%；小于 0.6mm 的颗粒含量不宜大于 5%；小于 2.36mm 的颗粒含量不宜大于 15%；小于 4.75mm 的颗粒含量不宜大于 20%。沥青标号应选用 AH-50 或 AH-70，沥青用量一般为 2.5%~3.5%。

7.3 面层材料

- 7.3.1 水泥混凝土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；高速公路面层的用砂，其硅质砂或石英砂的含量不宜低于 25%。

水泥用量不得小于 300kg/m^3 (非冰冻地区) 或 320kg/m^3 (冰冻地区)。冰冻地区的混凝土中必须掺加引气剂。
- 7.3.2 厚度大于 280mm 的普通混凝土面层，分上下两层连续铺筑时，上层一般为总厚度的 1/3，可采用高强、耐磨的混凝土材料，碎石集料公称最大粒径为 19mm。
- 7.3.3 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，并不宜大于 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 360kg /m³ (非冰冻地区) 或 380kg /m³ (冰冻地区)。

7.3.4 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 , 水泥用量不得少于 280kg /m³ (非冰冻地区) 或 310kg /m³ (冰冻地区)。

7.3.5 混凝土预制块的抗压强度不宜低于 50Mpa (非冰冻地区) 或 60Mpa (冰冻地区)。其外观质量、尺寸偏差和物理性能应符合优等品或一等品的规定。稳平层垫砂宜选用细度模数为 2.3~3.0 的天然砂 , 4.75mm 筛孔的累计筛余量不应大于 5% , 含泥量不应大于 5%。

7.4 材料性质参数

7.4.1 路床土和路面各结构层混合料的各项性质参数 , 应按有关试验规程的标准试验方法试验确定 , 其标准值按概率分布的 0.85 分位值确定。

7.4.2 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 , 可参照附录 F 的相关经验数值范围或有关规定数值 , 结合工程经验分析确定。

7.4.3 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 (7.4.3) 确定。

$$f_{rm} = \frac{f_r}{1-1.04c_v} + ts \quad (7.4.3)$$

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 3.0.2 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 7.4.3 确定。

表 7.4.3 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
三、四级公路	0.20	0.56	0.37	0.29	0.22	0.19

8 加铺层结构设计

8.1 一般规定

8.1.1 在进行旧混凝土路面加铺层设计之前，应调查下列内容：

- 公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；
- 路面损坏状况：损坏类型、轻重程度、范围及修补措施等；
- 路面结构强度：路表弯沉、接缝荷能力、板底脱空状况、面层厚度和混凝土强度等；
- 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；
- 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。

8.1.2 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。

8.1.3 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。

8.1.4 加铺层设计应包括施工期间维持通车的设计方案。

8.1.5 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。

8.2 路面损坏状况调查评定

8.2.1 旧混凝土路面的损坏状况采用断板率和平均错台量两项指标评定。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，量测点的位置在错台严重车道右侧边缘内 300mm 处，以调查路段内各条接缝高程差的平均值表示该路段的平均错台量。

8.2.2 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分级标准见表 8.2.2。

表 8.2.2 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

8.3 接缝传荷能力和板底脱空状况调查评定

8.3.1 旧混凝土面层板的接缝传荷能力和板底脱空状况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。

8.3.2 测定接缝传荷能力的试验荷载应接近与标准轴载的一侧轮载（50kN）。将荷载施加在邻近接缝的路面表面，实测接缝两侧边缘的弯沉值。按式（8.3.2）计算接缝的传荷系数。

$$k_j = \frac{w_u}{w_l} \times 100(\%) \quad (8.3.2)$$

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。

8.3.3 旧混凝土面层的接缝传荷能力分为 4 个等级，分级标准见表 8.3.3。

表 8.3.3 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

8.3.4 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。

8.4 旧混凝土路面结构参数调查

8.4.1 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式(8.4.1)计算确定。

$$h_e = \bar{h}_e - 1.04s_h \quad (8.4.1)$$

式中：

h_e ——旧混凝土面层测量厚度的标准值 (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)。

8.4.2 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式 (8.4.2-1) 和式(8.4.2-2)计算确定。

$$f_r = 0.621f_{sp} + 2.64 \quad (8.4.2-1)$$

$$f_{sp} = \bar{f}_{sp} - 1.04s_{sp} \quad (8.4.2-2)$$

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)。

8.4.3 旧混凝土的弯拉弹性模量标准值可按式 (8.4.3) 计算确定。

$$E_c = \frac{10^4}{0.0915 + \frac{0.9634}{f_r}} \quad (8.4.3)$$

式中：

E_c ——旧混凝土的弯拉弹性模量标准值 (MPa) ;

f_r ——旧混凝土的弯拉强度标准值 (MPa) ;

8.4.4 旧混凝土路面基层顶面的当量回弹模量标准值,宜采用落锤式弯沉仪(标准荷载 100KN、承载板半径 150mm)量测板中荷载作用下的弯沉曲线,按式(8.4.4-1)和式(8.4.4-2)确定。

$$E_t = 100 e^{(3.60 + 24.03 w_0^{-0.057} - 15.63 SI^{0.222})} \quad (8.4.4-1)$$

$$SI = \frac{w_0 + w_{300} + w_{600} + w_{900}}{w_0} \quad (8.4.4-2)$$

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 (μm) ;

w_{300} 、 w_{600} 、 w_{900} ——距离荷载中心 300mm、600mm 和 900mm 处的弯沉值 (μm) ;

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式(B.1.6)反算或根据基层钻芯的材料组成及性能情况依经验确定。

8.5 分离式混凝土加铺层结构设计

8.5.1 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。

8.5.2 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凝土、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。

8.5.3 分离式混凝土加铺层的接缝形式和位置,按新建混凝土面层的要求布置。

8.5.4 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。

8.5.5 加铺层和旧混凝土面层应力分析,按分离式双层板进行,计算方法见附录 C。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,采用旧混凝土路面的实测值,按 8.4 节规定的方法确定。加铺层混凝土的弯拉强度标准值应符合表 3.0.6 的要求。加铺层的设计厚度,按加铺层和旧混凝土板的应力分别满足(3.0.3)的要求确定。

8.6 结合式混凝土加铺层结构设计

8.6.1 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。清除接缝中失效的填缝料和杂物，并重新封缝。

8.6.2 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，并在清理后的表面涂敷粘结剂，使加铺层与旧混凝土面层结合成整体。

8.6.3 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。加铺层的最小厚度为 25mm。

8.6.4 加铺层和旧混凝土板的应力分析，按结合式双层板进行，计算方法见附录 C。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，采用旧混凝土路面的实测值，按 8.4 节规定的方法确定。加铺层的设计厚度，按旧混凝土板的应力满足式 (3.0.3) 的要求确定。

8.7 沥青加铺层结构设计

8.7.1 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或中时，可采用沥青加铺层。加铺层铺筑前应更换破碎板，修补和填封裂缝，磨平错台，压浆填封板底脱空，清除旧混凝土面层表面的松散碎屑、油迹或轮胎擦痕，剔除接缝中失效的填缝料和杂物，并重新封缝。

8.7.2 接缝传荷能力评定等级为中时，应根据气温、荷载、旧混凝土路面承载能力、接缝处弯沉差等情况选用下述减缓反射裂缝的措施：

- 增加沥青加铺层的厚度；
- 在加铺层内设置橡胶沥青应力吸收夹层、玻璃纤维格栅或者土工织物夹层；
- 沥青加铺层的下层采用由开级配沥青碎石组成的裂缝缓解层；
- 在沥青加铺层上，对应旧混凝土面层的横缝位置锯切横缝。

8.7.3 沥青加铺层的厚度按减缓反射裂缝的要求确定。高速公路和一级公路的最小厚度为 100mm，其他等级的公路最小厚度宜为 70mm。

8.7.4 沥青加铺层下旧混凝土板的应力分析按附录 D 进行。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，采用旧混凝土路面的实测值，按 8.4 节规定。旧混凝土板的应力应满足式 (3.0.3) 的要求。

8.7.5 沥青加铺层混凝土合料的组成设计参照《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014) 和《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032) 进行。沥青加铺层的下层采用开级配沥青碎石混合料时，必须在路面边缘设置内部排水系统。

附录 A 交通分析

A.1 交通调查与分析

A.1.1 设计车道使用初期的年平均日货车交通量，可按下述方法确定。

利用当地交通量观测站的观测和统计资料，或者通过设立站点进行交通量观测，获取所设计公路的初期年平均日交通量(双向)和车辆组成数据，剔除 2 轴 4 轮以下的客、货车辆交通量，得到初期年平均日货车交通量(双向)。

调查分析双向交通的分布情况，选取交通量方向分配系数，一般情况可采用 0.5。依据设计公路的车道数，参照表 A.1.1 确定交通量车道分配系数。

表 A.1.1 交通量车道分配系数

单向车道数	1	2	3	4
车道分配系数	1.0	0.8~1.0	0.6~0.8	0.5~0.75

注：交通量大时，取低值；交通量小时，取高值。

使用初期年平均日交通量(双向。)乘以方向分配系数和车道分配系数，即为设计车道的年平均日货车交通量(ADTT)。

A.1.2 设计基准期内交通量的年平均增长率，可按公路等级和功能以及所在地区的经

济和交通发展情况，通过调查分析，预估设计基准期内的交通增长量，确定

交通量年平均增长率 g_r 。

A.2 轴载调查与分析

A.2.1 利用当地称重站的测定和统计资料，或者通过设立站点进行轴载调查和测定，获取所设计公路的车型、轴型和轴载组成数据，分析计算设计车道使用初期的标准轴载日作用次数。分析计算可选用下述轴载当量换算系数法或车辆当量轴载系数法。

1. 轴载当量换算系数法

统计 1000 辆 2 轴 6 轮以上客、货车辆中单轴、双联轴和三联轴 3 种轴型分别出现的次数，并分别称取其轴重。称重测定资料分别按轴型和轴重级位整理，得到各种轴型的轴载谱。单轴轴载按 10kN 分级，双联轴和三联轴轴载按 20kN 分级。各种轴型不同轴载级位的标准轴载当量换算系数按式(A.2.1.1)计算确定。

$$k_{p,ij} = \delta_{ij} \left(\frac{P_{ij}}{100} \right)^{16} \quad (\text{A.2.1-1})$$

式中：

$k_{p,ij}$ ——各种轴型不同轴载级位的标准轴载当量换算系数；

i ——轴型；

j ——二轴载级位；

P_{ij} —— i 种轴型 j 级轴载的轴重(kN)；

δ_{ij} —— i 种轴型 j 级轴载的轴-轮型系数，按 3.0.4 条确定。

由轴载谱和轴载当量换算系数可按式(A.2.1-2)计算得到设计车道使用初期

的标准轴载日作用次数。

$$N_s = \frac{ADTT}{1000} \sum_i n_i \sum_j (k_{p,ij} \times p_{ij}) \quad (A.2.1-2)$$

式中：

N_s ——设计车道使用初期的标准轴载日作用次数；

n_i ——每 1000 辆 2 轴 6 轮以上客、货车辆中 i 种轴型出现的次数；

p_{ij} —— i 种轴型 j 级轴载的频率(以分数计)。

2. 车辆当量轴载系数法

将 2 轴 6 轮以上客、货车辆分为 3 大类：整车类，细分为单后轴货车、双后轴货车和大客车 3 类；半挂车类，细分为 3 轴、4 轴、5 轴和 5 轴以上 3 类；全挂车类，细分为 4 轴、5 轴、6 轴和 6 轴以上 3 类。各类车辆的轴型分为单轴、双联轴和三联轴 3 种。

称重测定资料分别按车型和轴型整理得到相应的轴载谱。单轴轴载按 10kN 级，双轴轴载和三轴轴载按 20kN 分级。

各类车辆的当量轴载系数按式(A.2.1-3)计算确定。

$$k_{p,k} = \sum_i (\sum_j (k_{p,ij} \times p_{ij})) \quad (A.2.1-3)$$

式中：

$k_{p,k}$ ——车辆当量轴载系数；

k ——车辆类型；

p_{ij} —— i 种轴型 j 级轴载的频率(以分数计)。

由各类车辆的组成数据，可按(A.2.1-4)计算得到标准轴载日作用次数。

$$N_s = ADTT \times \sum_k (k_{p,k} \times p_k) \quad (A.2.1-4)$$

式中：

N_s ——标准轴载日作用次数；

p_k —— k 类车辆的组成比例(以分数计)。

A.2.2 设计基准期内水泥混凝土面层临界荷位处所承受的标准轴载累计作用次数，可按式(A.2.2)计算确定。

$$N_e = \frac{N_s \times [(1 + g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta \quad (A.2.2)$$

式中：

N_e ——标准轴载累计作用次数；

t ——设计基准期；

g_r ——交通量年平均增长率；

——临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数，按表 A.2.2 选用。

表 A.2.2 车辆轮迹横向分布系数

公路等级		纵缝边缘处
高速公路、一级公路、收费站		0.17 ~ 0.22
二级及二级以下公路	行车道宽 > 7m	0.34 ~ 0.39
	行车道宽 7m	0.54 ~ 0.62

注：车道或行车道宽或者交通量较大时，取高值；反之，取低值。

附录 B 混凝土板应力分析及厚度计算流程

B.1 荷载应力分析

B.1.1 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。

B.1.2 标准轴载 P_S 在临界荷位处产生的荷载疲劳应力按式(B.1.2)确定。

$$\sigma_{pr} = k_r k_f k_c \sigma_{ps} \quad (\text{B.1.2})$$

式中：

σ_{pr} ——标准轴载 P_S 在临界荷位处产生的荷载疲劳应力(MPa)；

σ_{ps} ——标准轴载 P_S 在四边自由板的临界荷位处产生的荷载应力(MPa) 按 B.1.3 条计算确定；

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 B.1.4 条计算确定；

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，按公路等级查表 B.1.2 确定。

表 B.1.2 综合系数 k_c

公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三、四级公路
k_c	1.30	1.25	1.20	1.10

B.1.3 标准轴载 P_S 在四边自由板临界荷位处产生的荷载应力按式(B.1.3-1)计算。

$$\sigma_{ps} = 0.077 r^{0.60} h^{-2} \quad (\text{B.1.3-1})$$

$$r = 0.537 h \left(\frac{E_c}{E_t} \right)^{1/3} \quad (\text{B.1.3-2})$$

式中：

σ_{ps} ——标准轴载 P_S 在四边自由板临界荷位处产生的荷载应力(MPa)；

r ——混凝土板的相对刚度半径(m)，按式(B.1.3-2)计算；

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_t ——基层顶面当量回弹模量(MPa)，按附录 B.1.5 条计算。

B.1.4 设计基准期内的荷载疲劳应力系数按式(B.1.4-1)计算确定。

$$k_f = N_e^\nu \quad (\text{B.1.4-1})$$

式中：

k_f ——设计基准期内的荷载疲劳应力系数；

N_e ——设计基准期内标准轴载累计作用次数，按附录 A 式(A.2.2)计算；

——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， $\nu=0.057$ ；碾压混凝土和贫混凝土， $\nu=0.065$ ；钢纤维混凝土，按式(B.1.4-2)计算确定。

$$\nu = 0.053 - 0.017\rho_f \frac{l_f}{d_f} \quad (\text{B.1.4-2})$$

式中：

ρ_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)。

B.1.5 新建公路的基层顶面当量回弹模量可按式(B.1.5.1)计算确定。

$$E_t = ah_x^b E_0 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{1/3} \quad (\text{B.1.5-1})$$

$$E_x = \frac{h_1^2 E_1 + h_2^2 E_2}{h_1^2 + h_2^2} \quad (\text{B.1.5-2})$$

$$h_x = \left(\frac{12D_x}{E_x} \right)^{1/3} \quad (\text{B.1.5-3})$$

$$D_x = \frac{E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3}{12} + \frac{(h_1 + h_2)^2}{4} \left(\frac{1}{E_1 h_1} + \frac{1}{E_2 h_2} \right)^{-1} \quad (\text{B.1.5-4})$$

$$a = 6.22 \left[1 - 1.51 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.45} \right] \quad (\text{B.1.5-5})$$

$$b = 1 - 1.44 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.55} \quad (\text{B.1.5-6})$$

式中：

E_t ——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 ——基层和底基层或垫层的当量回弹模量(MPa)，按式(B.1.5-2)计算；

E_1 、 E_2 ——基层和底基层或垫层的回弹模量(MPa)；

h_x ——基层和底基层或垫层的当量厚度(m)，按式(B.1.5-3)计算；

D_x ——基层和底基层或垫层的当量弯曲刚度(MN·m)，按式(B.1.5-4)计算；

h_1 、 h_2 ——基层和底基层或垫层的厚度(m)；

a 、 b ——与 E_x / E_0 有关的回归系数，分别按式(B.1.5-5)和式(B.1.5-6)计算。

底基层和垫层同时存在时，可先按式(B.1.5-2)~式(B.1.5-4)将底基层和垫层换算成具有当量回弹模量和当量厚度的单层，然后再与基层一起按上述各式计算基层顶面当量回弹模量。无底基层和垫层时，相应层的厚度和回弹模量分别以零值代入上述各式进行计算。

B.1.6 在旧柔性路面上铺筑水泥混凝土面层时，原柔性路面顶面的当量回弹模量可按式(B.1.6)计算确定。

$$E_t = 13\,739 w_0^{-1.04} \quad (\text{B.1.6})$$

式中：

w_0 ——以后轴重 100kN 的车辆进行弯沉测定，经统计整理后得到的原路面计

算回弹弯沉值(0.01mm)。

B.2 温度应力分析

B.2.1 在临界荷位处的温度疲劳应力按式(B.2.1)确定。

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{tm} \tag{B.2.1}$$

式中：

- σ_{tr} ——临界荷位处的温度疲劳应力(MPa)；
- σ_{tm} ——最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力(MPa)，按 B.2.2 条确定；
- k_t ——考虑温度应力累计疲劳作用的疲劳应力系数，按 B.2.3 条确定。

B.2.2 最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力按式(B.2.2)计算。

$$\sigma_{tm} = \frac{\alpha_c E_c h T_g}{2} B_x \tag{B.2.2}$$

式中：

- σ_{tm} ——最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力(MPa)；
- α_c ——混凝土的线膨胀系数(1/)，通常可取为 $1 \times 10^{-5} /$ ；
- T_g ——最大温度梯度，查表 3.0.8 取用；
- B_x ——综合温度翘曲应力和内应力作用的温度应力系数，可按 l/r 和 h 查用图 B.2.2 确定；
- l ——板长，即横缝间距(m)。

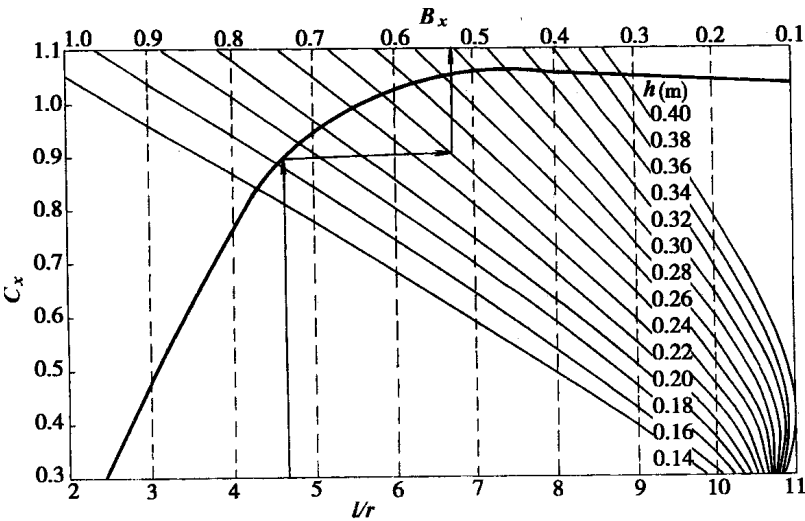


图 B.2.2 温度应力系数 B_x

B.2.3 温度疲劳应力系数可按式(B.2.3)计算确定。

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{tm}} \left[a \left(\frac{\sigma_{tm}}{f_r} \right)^c - b \right] \tag{B.2.3}$$

式中：

- a 、 b 和 c ——回归系数，按所在地区的公路自然区划查表 B.2.3 确定。

表 B.2.3 回归系数 a 、 b 和 c

系 数	公路自然区划					
	II	III		V		V11
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

B.3 混凝土板厚度计算流程

B.3.1 首先, 根据相关的设计依据, 参照第 4 章各条进行行车道路面结构的组合设计(初拟路面结构, 包括路床、垫层、基层和面层的材料类型和厚度), 并按表 4.4.6 所列的水泥混凝土面层厚度建议范围, 依据交通等级、公路等级和所选变异水平等级初选混凝土板厚度。然后, 参照图 B.3.1 所示的混凝土板厚度计算流程, 分别按 B.1 和 B.2 节计算荷载疲劳应力和温度疲劳应力。当荷载疲劳应力同温度疲劳应力之和与可靠度系数的乘积小于且接近于混凝土弯拉强度标准值, 即满足式(3.0.3)的要求时, 则初选厚度可作为混凝土板的计算厚度。否则, 应改选混凝土板厚度, 重新计算, 直到满足式(3.0.3)为止。设计厚度依计算厚度按 10mm 向上取整。

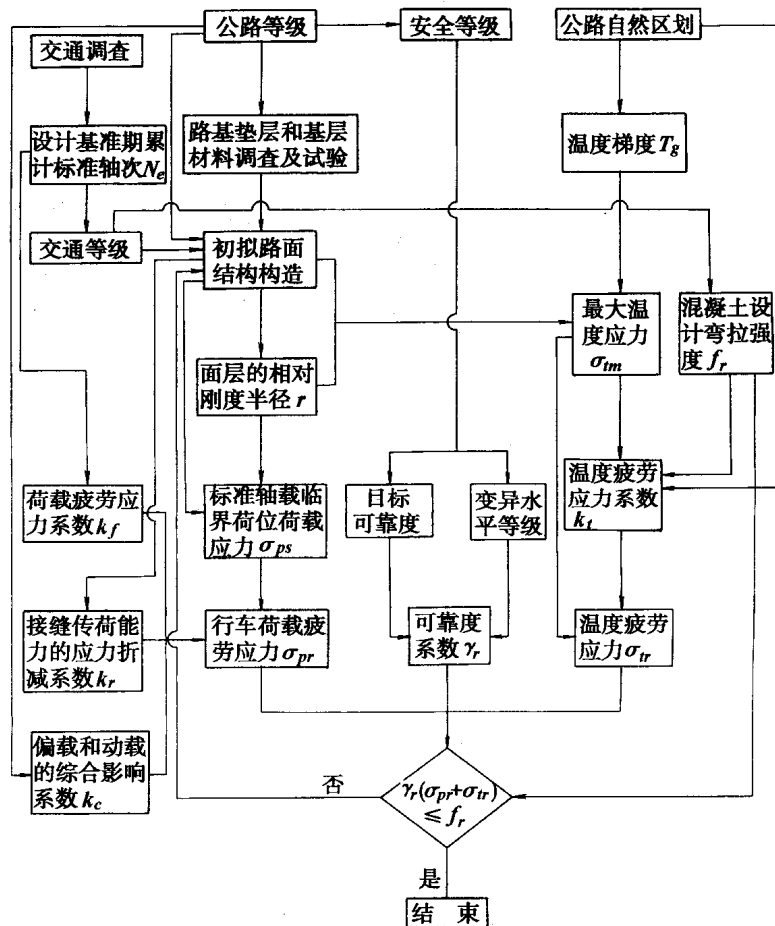


图 B.3.1 混凝土板厚度计算流程图

附录 C 双层混凝土板应力分析

C.1 荷载应力分析

- C.1.1 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 P_S 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 σ_{pr1} 和 σ_{pr2} ，分别按式(B.1.2)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 σ_{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。
- C.1.2 标准轴载 P_S 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，分别由式(C.1.2-1)和式(C.1.2-2)确定。

$$\sigma_{ps1} = 0.077 r_g^{0.60} \frac{E_{c1} h_{01}}{12 D_g} \quad (C.1.2-1)$$

$$\sigma_{ps2} = 0.077 r_g^{0.60} \frac{E_{c2} (0.5 h_{02} + h_x k_u)}{6 D_g} \quad (C.1.2-2)$$

式中：

- σ_{pr1} 、 σ_{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)，按 C.1.3 条公式计算确定；
 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)，按 C.1.4 条公式计算确定；
 r_g ——双层混凝土板的相对刚度半径(m)，按 C.1.5 条公式计算确定。

- C.1.3 下层板中面至结合式双层板中性面的距离可按式(C.1.3)计算。

$$h_x = \frac{E_{c1} h_{01} (h_{01} + h_{02})}{2(E_{c1} h_{01} + E_{c2} h_{02})} \quad (C.1.3)$$

- C.1.4 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，按式(C.1.4)计算。

$$D_g = \frac{E_{c1} h_{01}^3}{12} + \frac{E_{c2} h_{02}^3}{12} + \frac{E_{c1} h_{01} E_{c2} h_{02} (h_{01} + h_{02})^2}{4(E_{c1} h_{01} + E_{c2} h_{02})} k_u \quad (C.1.4)$$

式中符号意义同前。

- C.1.5 双层混凝土板的相对刚度半径按式(C.1.5)计算。

$$r_g = 1.23 \left(\frac{D_g}{E_t} \right)^{1/3} \quad (C.1.5)$$

C.2 温度应力分析

- C.2.1 双层混凝土板上层和下层的温度疲劳应力 σ_{tr1} 和 σ_{tr2} 分别按式(B.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 σ_{tr1} ，结合式双层板仅需计算下层板的温度疲劳应力 σ_{tr2} 。其中，温度疲劳应力系数的确定方法与单层混凝土板完全相同。
- C.2.2 分离式双层混凝土板上层的最大温度翘曲应力按式(C.2.2-1)计算。

$$\sigma_{tm1} = \frac{\alpha_c E_{c1} h_{01} T_g}{2} B_{x1} \quad (C.2.2-1)$$

$$B_{x1} = \xi_1 B_x \quad (C.2.2-2)$$

$$\xi_1 = C_x^{0.32-0.81 \ln \left(\frac{h_{01} E_{c1}}{h_{02} E_{c2}} + 2.5 \frac{h_{01}}{h_{02}} \right)} \quad (C.2.2-3)$$

式中：

σ_{tm1} ——分离式双层混凝土板上层的最大温度翘曲应力(MPa)；

B_{x1} ——分离式双层混凝土板的温度应力系数，可近似按式(C.2.2-2)和(C.2.2-3)计算确定；

B_x ——上层混凝土板的温度应力系数，按 l / r_g 和 h_{01} 查图 B.2.2 确定；

C_x ——混凝土板的温度翘曲应力系数，按 l / r_g 查图 B.2.2 确定；

其他符号意义同前。

C.2.3 结合式双层混凝土板下层的最大温度翘曲应力按式(C.2.3-1)计算确定。

$$\sigma_{tm2} = \frac{\alpha_c E_{c2} (h_{01} + h_{02}) T_g}{2} B_{x2} \quad (C.2.3-1)$$

$$B_{x2} = \xi_2 B_x \quad (C.2.3-2)$$

$$\xi_2 = 1.77 - 0.27 \ln \left(\frac{h_{01} E_{c1}}{h_{02} E_{c2}} + 18 \frac{E_{c1}}{E_{c2}} - 2 \frac{h_{01}}{h_{02}} \right) \quad (C.2.3-3)$$

式中：

σ_{tm2} ——结合式双层混凝土板下层的最大温度翘曲应力(MPa)；

B_{x2} ——结合式双层混凝土板的温度应力系数，可按式(C.2.3—2)和式(C.2.3—3)计算；

B_x ——混凝土板的温度应力系数，按 l / r_g 和 $(h_{01} + h_{02})$ 查图 B.2.2 确定；

其他符号意义同前。

附录 D 有沥青上面层的混凝土板应力分析

D.1 荷载应力分析

D.1.1 有沥青上面层的混凝土板的临界荷位，为板的纵向边缘中部。标准轴载 P_s 在临界荷位处产生的荷载疲劳应力 σ_{pr} ，按式(B.1.2)计算确定。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。

D.1.2 标准轴载只在有沥青上面层的混凝土板临界荷位处产生的荷载应力按式(D.1.2)计算。

$$\sigma_{psa} = (1 - \zeta h_a) \sigma_{ps} \quad (D.1.2)$$

式中：

σ_{psa} ——标准轴载 P_s 在有沥青上面层的混凝土板临界荷位处产生的荷载应力 (MPa)；

——系数，可由图 D.1.2 查取；

h_a ——沥青上面层厚度(m)；

σ_{ps} ——标准轴载在无沥青上面层的混凝土板临界荷位处的荷载应力 (MPa)，按式(B.1.3-1)计算。

D.2 温度应力分析

D.2.1 有沥青上面层的混凝土板临界荷位处温度疲劳应力按式(D.2.1)确定。

$$\sigma_{tra} = (1 + \zeta' h_a) \sigma_{tr} \quad (D.2.1)$$

式中：

σ_{tra} ——有沥青上面层的混凝土板临界荷位处温度疲劳应力 (MPa)；

ζ' ——系数，可由图 D.2.1 查取；

σ_{tr} ——无沥青上面层时混凝土板在临界荷位处的温度疲劳应力 (MPa)，按附录 B.2 计算确定；其中，计算混凝土板最大温度翘曲应力 σ_{tm} 时，其最大温度梯度 T_g 值须考虑沥青上面层厚度的影响按表 D.2.1 取值。

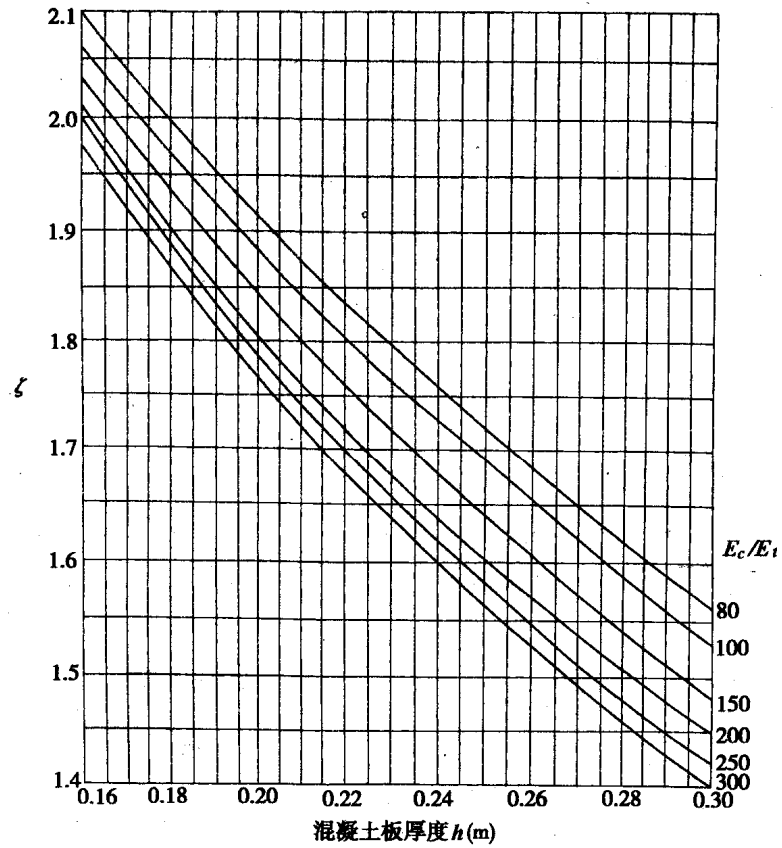


图 D.1.2 系数 ζ 图

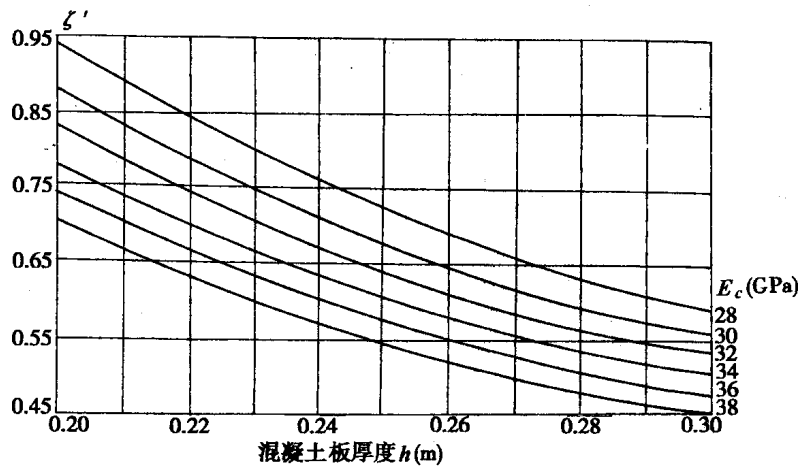


图 D.2.1 系数 ζ' 图

表 D.2.1 有沥青上面层的混凝土板的最大温度梯度值 T_g (/ m)

h_a (m)	公路自然区划			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
0.00	83 ~ 88	90 ~ 95	86 ~ 92	93 ~ 98
0.04	58 ~ 62	62 ~ 67	60 ~ 65	66 ~ 70
0.08	40—43	46 ~ 48	43—49	47 ~ 50
0.12	28—30	30 ~ 32	29 ~ 31	31 ~ 33

附录 E 连续配筋混凝土面层纵向配筋计算

E.0.1 连续配筋混凝土面层的纵向配筋设计，采用以下 3 项设计标准：

- 混凝土面层横向裂缝的平均间距为 1.0~2.5m；
- 裂缝缝隙的最大宽度为 1mm；
- 钢筋拉应力不超过钢筋屈服强度。

E.0.2 横向裂缝平均间距按式(E.0.2-1)和式(E.0.2-2)计算确定。

$$L_d = \frac{2b}{\sqrt{\frac{4k_s}{d_s E_s} (1 + \varphi)}} \quad (\text{E.0.2-1})$$

$$\varphi = \rho \frac{E_s}{E_c} \quad (\text{E.0.2-2})$$

$$\lambda_c = \frac{f_t}{E_c (\alpha_c \Delta T + \epsilon_{sh})} \quad (\text{E.0.2-3})$$

式中：

L_d ——横向裂缝平均间距(m)；

——钢筋刚度贡献率(%)，按式(E.0.2-2)计算确定；

——配筋率(%)；

E_s ——钢筋弹性模量(MPa)，可参考附录 F.4 取用；

E_c ——混凝土弹性模量(MPa)；

d_s ——钢筋直径(mm)；

k_s ——粘结刚度系数(MPa/mm)，可参考附录 F.5 取用；

b ——随系数 λ_c 和 φ 而变的系数，可查图 E.0.2 得到；

α_c ——混凝土温缩应力系数，由式(E.0.2-3)计算确定；

f_t ——混凝土抗拉强度标准值(MPa)，可参考附录 F.5 取用；

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

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；

ϵ_{sh} ——连续配筋混凝土干缩应变，可参考附录 F.5 取用。

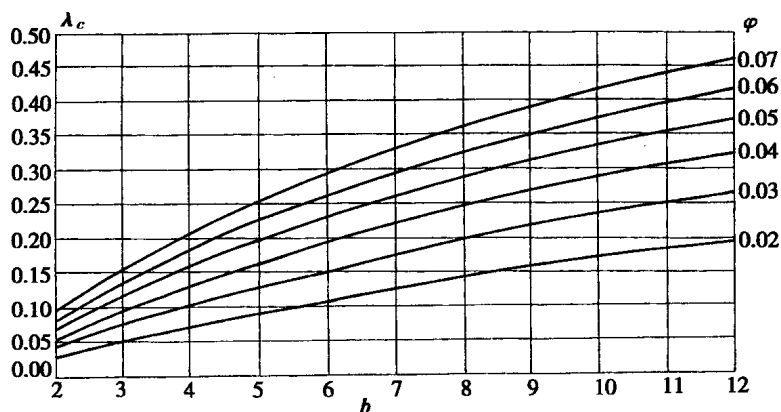


图 E.0.2 不同 φ 值时系数 b 与系数 λ_c 的关系曲线

E.0.3 裂缝缝隙宽度可按式(E.0.3)计算确定。

$$b_j = (\alpha_c \Delta T + \epsilon_{sh}) \lambda_b L_d \quad (E.0.3)$$

式中：

b_j ——裂缝缝隙宽度(mm)；

λ_b ——裂缝宽度系数，可由钢筋刚度贡献率 φ 值和 b 值查图 E.0.3 得到；其他符号意义同前。

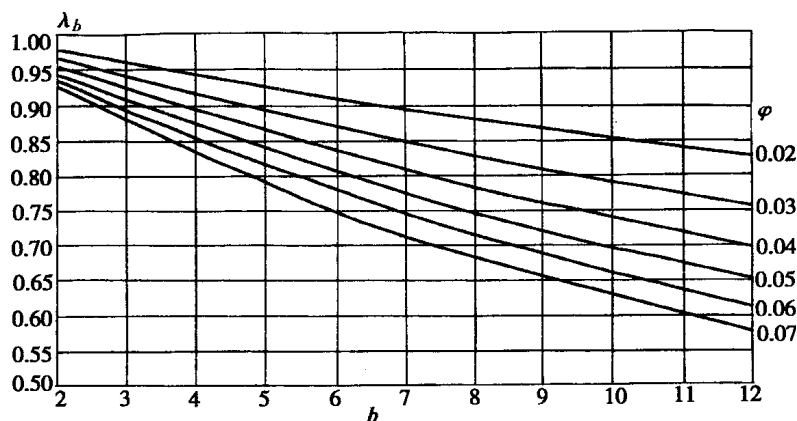


图 E.0.3 不同 φ 值时系数 b 与裂缝宽度系数 λ_b 的关系曲线

E.0.4 钢筋应力可由式(E.0.4)计算得到。

$$\sigma_s = E_s (\alpha_c \Delta T \lambda_{st} + \alpha_s \Delta T) \quad (E.0.4)$$

式中：

σ_s ——钢筋应力(MPa)；

λ_{st} ——钢筋温度应力系数，可由钢筋刚度贡献率 φ 值和 b 值查图 E.0.4 得到；

α_s ——钢筋线膨胀系数，通常取为 $9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ；

其他符号意义同前。

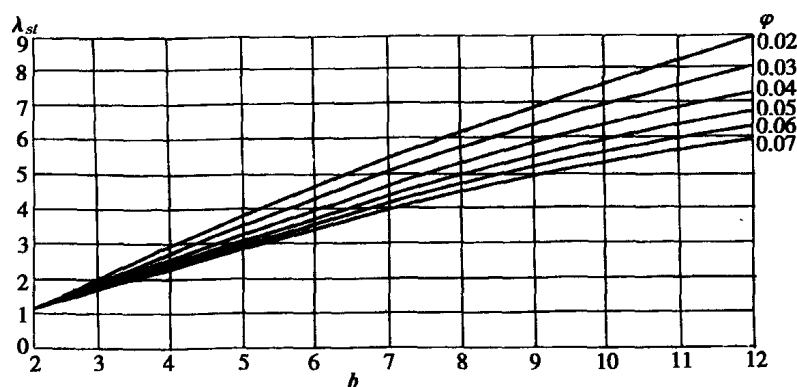


图 E.0.4 不同 φ 值时系数 b 与钢筋温度应力系数 λ_{st} 的关系曲线

E.0.5 纵向配筋率的计算如下：

1. 初拟配筋率 ρ ，按式(E.0.2-2)计算钢筋刚度贡献率 φ ，再按式(E.0.2-3)计算混凝土温缩应力系数 λ_c ，然后根据 φ 和 λ_c 查图 E.0.2 得系数 b ，最后按式(E.0.2-1)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。
2. 由钢筋刚度贡献率 φ 值和 b 值，查图 E.0.3 得到裂缝宽度系数 λ_b ，按式(E.0.3)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。

3. 由钢筋刚度贡献率 φ 值和 b 值，查图 E.0.4 得到钢筋温度应力系数 λ_{st} ，按式 (E.0.4) 计算钢筋应力 σ_s 。当 $\sigma_s \leq f_{sy}$ 时，满足要求；否则应增大配筋率，重复上述计算至符合要求。
4. 综合上述 3 项计算结果，最终确定配筋率，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。

附录 F 材料参数经验参考值

F . 1 中湿路基路床顶面回弹模量经验参考值范围(表 F . 1)

表 F . 1 中湿路基路床顶面回弹模量经验参考值范围(MPa)

土 组	公路自然区划				
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

F . 2 垫层和基层材料回弹模量经验参考值范围(表 F . 2)

表 F . 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(兆)	材料类型	回弹模量(m)
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

F . 3 水泥混凝土弯拉弹性模量经验参考值(表 F . 3)

表 F . 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
--------------	----	----	----	----	----

F . 4 钢筋强度和弹性模量经验参考值(表 F . 4)

表 F . 4 钢筋强度和弹性模量经验参考值

钢筋种类	钢筋直径 d (mm)	屈服强度 f_{sy} (MPa)	弹性模量 E_s (MPa)
R235(Q235)	8 ~ 20	235	2.1×10^5
HRB335	6 ~ 50	335	2.0×10^5
HRB400	6 ~ 50	400	2.0×10^5
KL400	8 ~ 40	400	2.0×10^5

F . 5 连续配筋混凝土纵向配筋率计算参数经验参考值(表 F . 5)

表 F . 5 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 ϵ_{sh}	0.00045	0.0003	0.0002

本规范用词说明

对执行规范条文严格程度的用词，采用以下写法：

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，在正常情况下均应这样做的用词：

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”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

附件

《公路水泥混凝土路面设计规范》

(JTG D40—2002)

条 文 说 明

1 总则

1.0.1 《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012---94)(以下简称原规范)发布实施以来,我国水泥混凝土路面有了很大的发展,一方面积累了高速公路和一级公路修筑水泥混凝土路面的实践经验;另一方面取得了水泥混凝土路面结构可靠度、路面结构排水等研究成果,使水泥混凝土路面的技术水平提高到一个新的层次。为此,对原规范进行修订,以提高水泥路面的工程质量,适应我国公路水泥混凝土路面建设不断发展的需要。

1.0.3 修订后的规范(以下简称本规范)的主要内容包括水泥混凝土路面结构组合设计、接缝设计、混凝土面层配筋设计、材料组成要求及性质参数、加铺层结构设计等。与原规范比,主要增加了路面结构可靠度设计和水泥混凝土路面上加铺沥青混凝土面层设计方法,充实了连续配筋混凝土面层配筋计算方法,细化了路面结构组合和材料组成及性质参数要求,修改了旧混凝土路面调查和评定方法,补充了交通分析方法。

我国幅员辽阔,各地区自然条件差异较大,当地材料、技术和经济条件也不尽相同。因此,路面设计应紧密结合当地的具体情况和实践经验,选择经济、技术合理的设计方案。由于路面是公路的有机组成部分,与公路的路基、排水等密切相关,设计时必须综合考虑。

根据国家标准《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB / T 50283)的规定,本规范以“概率极限状态设计法”取代原规范的“定值设计法”,即在度量路面结构可靠性上由经验方法转变为运用统计数学的方法,从而使路面结构更为符合实际情况。

1.0.4 本规范涉及的标准规范较多。除在规范条文中列出的如:《公路排水设计规范》(JTJ 018)、《公路沥青路面设计规范》(JTJ014)和《公路水泥混凝土路面养护技术规范》(JTJ 073.1)等外,在条文中还引用但未列出的有:《公路自然区划标准》(JTJ003)、《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283)和《公路水泥混凝土路面接缝材料》(JT/T 203)等。

2 术语、符号

2.1 术语

本节对本规范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,可参阅国家标准《道路工程术语标准》(GBJ 124)和行业标准《公路工程名词术语》(JTJ 002)的规定。

2.2 符号

本节所列符号为本规范中的主要符号。为便于查阅,符号按“作用及作用效应”、“设计参数和设计系数”、“几何参数”及“材料性能和混凝土板抗力”等分类列出,并依先拉丁字母、后希腊字母的顺序排列。

3 设计依据

- 3.0.1 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划分。《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB / T 50283)规定的公路工程结构的设计安全等级为三个等级，路面工程的安全等级仅考虑高速公路、一级公路和二级公路的路面，相应的安全等级要求规定为一级、二级和三级。本规范适用于各等级公路的水泥混凝土路面设计。为使本规范适用范围内的路面都能应用可靠度设计统一标准，本规范对《公路工程结构可靠度设计统一标准》的规定作了调整：除了维持原规定的高速公路、一级公路和二级公路路面相应符合三个设计安全等级的要求外，为三级和四级公路路面增加一个设计安全等级——目标可靠指标和目标可靠度，系按前三级的数值级差递降得到的。

目标可靠度是所设计路面结构应具有的可可靠度水平。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需提高。通常采用“校准法”来确定目标可靠度。“校准法”是对按现行设计规范或设计方法设计的已有路面进行隐含可靠度的分析，参照隐含可靠度制定目标可靠度，则所设计的路面结构接纳了以往的工程设计和使用经验，包含了与原有设计方法相等的可接受性和经济合理性。本规范的目标可靠度，是在分析了 30 余条已建混凝土路面的隐含可靠度，并结合国外的分析数据和沥青路面的隐含可靠度后制定的。

表 3.0.1 所列的材料性能和结构尺寸参数的变异水平等级为建议采用的，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定。但对于高速公路的路面，为保证优良的行驶质量，不宜降低变异水平等级。

- 3.0.2 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、严格的执行的工程，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。

各变异水平等级主要设计参数的变异系数变化范围，系依据 20 世纪 90 年代在广东、浙江、安徽、河北和黑龙江等省的新建和已建混凝土路面 150 个代表性路段上采集的实际数据，经统计分析整理后提出的。这些路段的技术等级包括高速公路、一级公路和二级公路，施工方法包括机械化和小型机具，因而，所提出的变化范围可大体上代表我国公路混凝土路面施工技术及质量控制和管理的已有(可达到)水平。

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 3.0.2 中相应等级的规定范围内。

- 3.0.3 路面结构可靠度可定义为，在规定的时间内，在规定的条件下，路面使用性能满足

预定水平要求的概率。本规范选定的水泥混凝土结构设计方法,仅考虑满足、路面的结构性能要求,并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标准。因而,混凝土路面结构可靠度也可定义为,在规定的基准期内,在规定的交通和环境条件下,行车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。据此,列出了式(3.0.3)所示的极限状态设计表达式。

可靠度系数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。表 3.0.3 所示的可靠度系数是按各变异水平等级的变异系数变化范围(表 3.0.2),应用可靠度计算式推算得到的。设计时,可依据各设计参数变异系数值在各变异水平等级变化范围内的情况选择可靠度系数。

- 3.0.4 轴载换算公式是以等效疲劳断裂损坏原则导出的。对于同一路面结构,轴载 P_i 和标准轴载只产生相同疲劳损耗时,相应的作用次数 N_i 和 N_s 间的关系为:

$$\frac{N_i}{N_s} = \left(\frac{\sigma_{Pi}}{\sigma_{Ps}} \right)^{\frac{1}{v}} \quad (1)$$

式中:

σ_{Pi} 、 σ_{Ps} ——相应为轴载 p_i 和标准轴载 p_s 在同一路面结构中产生的荷载应力;

v ——与混凝土性质有关的指数,见附录 B.1.4 条。

对于混凝土板临界荷位(纵缝边缘中部)而言,双轴-双轮组驶过出现了二次应力峰值,即二次双轴作用。三轴-双轮组驶过则出现三次应力峰值,即二次双轴作用和一次三轴同时作用在一块板上。将荷载应力的有限元计算结果(见条文说明附录 B.1.3 条)代入式(1),得到不同轴-轮型和轴载的当量换算公式为:

$$N_s = \delta_i N_i (P_i/100)^{16} \quad (2-1)$$

$$\delta_i = 1.45 \times 10^3 r^{-1.90} P_i^{-0.43} \quad (2-2)$$

$$\delta_i = 1.02 \times 10^{-5} r^{-0.23} P_i^{-0.22} \quad (2-3)$$

$$\delta_i = 1.70 \times 10^{-8} r^{-0.23} P_i^{-0.22} + 3.33 \times 10^{-9} r^{-1.84} P_i^{-0.24} \quad (2-4)$$

式中:

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

水泥混凝土路面结构的相对刚度半径一般变化在 0.7-0.9m 范围内。为避免设计时的多次试算,近似地取用 r 的平均值 0.8m 代入上式,整理得到式(3.0.4-2 ~ 3.0.4-4)。

- 3.0.6 在可靠度设计方法中,各项设计参数通常都应选用均值作为标准值。考虑到混凝土强度值在工程中的应用习惯,本规范的强度标准值按随机变量分布函数的 85%分位值取值。这一取值标准所产生的影响,已考虑在可靠度系数的推演中。
- 3.0.7 中湿路基是指下路床下部受地下水毛细润湿影响的路基,路床土的平均湿度变动于土的塑限上下。潮湿路基是指上路床受地下水毛细润湿影响的路基,路床土的平均湿度较多地超过了土的塑限。

4 结构组合设计

4.1 路基

- 4.1.1 通过混凝土路面结构传到路床顶面的荷载应力很小,因而,对路基承载能力的要求并不高。但路基出现不均匀变形时,混凝土面层与下卧层之间会出现局部脱空,面层应力会由此增加,从而导致面层板的断裂。因此,对路基的基本要求是提供均匀的支承,即路基在环境和荷载作用下产生的不均匀变形小。

路基不均匀变形主要在下述情况下出现:

- (1) 软弱地基的不均匀沉降;
- (2) 填挖交替或新老填土交替;
- (3) 季节性冰冻地区的不均匀冻胀;
- (4) 填土因压实不足而引起的压密变形,受湿度变化影响而产生的膨胀收缩变形。

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。

- 4.1.2 《公路路基设计规范》(JTJ 013)规定,路堤上路床及零填和路堑路床的 CBR 值不得低于 8% (高速公路和一级公路)或 6% (其他等级公路);路堤下路床不得低于 5% (高速公路和一级公路)或 4% (其他等级公路)。根据这一要求以及各类土的 CBR 经验值,提出了各级公路路床填料选择的最低要求。

膨胀率的定义为,在 CBR 试验中,试件浸水 4d 后的高度与未浸水前的高度之比,以百分率表示。按膨胀率的大小,土可分为不膨胀的(膨胀率不大于 2%,土的塑性指数约小于 10)、中等膨胀的(膨胀率为 2%~4%,土的塑性指数约为 10~20)和高膨胀的(膨胀率大于 4%,土的塑性指数约大于 20)三级。

- 4.1.3 路堤标高应尽可能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。受标高限制不能达到时,须采取相应的措施,提高填料的水稳定性或降低地下水位。
- 4.1.4 路基土的湿度变化与周围环境的影响处于动态平衡状态,在多雨潮湿地区,此平衡状态的湿度接近于土的塑限。高液限土及塑性指数大于 16 或膨胀率大于 3% 的低液限粘土的塑限,接近于轻型压实标准时土的最佳含水量。这些土采用重型压实标准压实时,其最佳含水量远低于土的塑限。因而,压实土在随后与环境的动态平衡过程中会吸收水分而产生较大的膨胀变形。这一方面抵消了施工时所投入的压实功,另一方面反而增加了路基的不均匀变形量。为此,条文规定了对于这类土宜采用轻型压实标准。

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。在路床土湿度较大的挖方路段上,设置排水垫层可以疏干路床土,改善路面结构的支承条件。软弱地基上的路基或者填挖交替或新老填土交替的路基,在按 4.1 节的要求采取相应的措施控

制不均匀沉降或不均匀变形后,预计仍有部分余量会影响到路面结构使面层产生断裂时,可以设置由水泥、石灰或粉煤灰稳定粒料或土组成的半刚性垫层,以其刚度来缓解路基不均匀沉降或不均匀变形对面层的不利影响。

4.3 基层

- 4.3.1 对水泥混凝土面层下基层的首要要求是抗冲刷能力。不耐冲刷的基层表面,在渗入水和荷载的共同作用下,会产生唧泥、板底脱空和错台等病害,导致行车的不舒适,并加速和加剧板的断裂。提高基层的刚度,有利于改善接缝的传荷能力。然而,其作用只能是在基层未受冲刷的前提下才能得到保证,同时,其效果不如在接缝内设置传力杆。
- 4.3.2 交通繁重程度影响到基层受冲刷的程度以及唧泥和错台出现的可能性和程度。各种基层具有不同的抗冲刷能力,它取决于基层材料中结合料的性质和含量以及细料的含量。依据上述首要要求,按交通等级和基层的抗冲刷能力,提出了各交通等级宜选用的基层类型。
- 4.3.3 通过接缝或裂缝渗入混凝土路面内的水量相当大。在混凝土路面结构内设置排水基层和纵向边缘排水系统以排出渗入水,可减少渗入水对基层的冲刷作用,从而降低唧泥、错台和板底脱空等病害出现的可能性和程度。
- 4.3.5 提高基层的强度或刚度,对于降低面层的应力或者减薄面层的厚度,影响很小。因而,混凝土面层下的基层不必很厚。条文建议的各类基层的厚度范围,是依据形成结构层、方便施工(单层摊铺碾压)或排水要求等因素制定的。在所建议的范围内,按设计轴载数的多少和路床的强弱程度选择基层的厚度。
- 4.3.6 碾压混凝土和强度较高的贫混凝土基层会产生收缩裂缝,导致混凝土面层出现反射裂缝。因而,对这两种基层规定了设置接缝的要求。
- 4.3.7 承受特重或重交通时,通常选用刚度较大的贫混凝土、碾压混凝土、水泥稳定粒料、沥青混凝土或沥青稳定碎石做基层。这时,上路床如由细粒土、粘土质砂或级配不良砂组成,则基层与路床之间的刚度差过大,会由此引起基层的开裂。因而,须在基层与路床间设置底基层。

4.4 面层

- 4.4.1 耐久性主要指混凝土的抗冻性。
- 4.4.2 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高速公路或二级公路或者承受特重或重交通的二级公路的面层。

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,适用于高速公路。

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,后种方案降低了反射裂缝出现的可能性,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。

- 4.4.3 在横缝不设传力杆的中等和轻交通路面上,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° 。

4.4.5 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。

4.4.6 表 4.4.6 所建议的面层厚度参考范围,是在对标准的路面结构和设定的条件进行计算分析后归纳而成的。标准路面结构是按 4.1、4.2 和 4.3 节对路床、垫层和基层的有关要求拟定的。设定的条件包括:设计安全等级和设计基准期、各安全等级的目标可靠度和变异水平分级、变异系数变化范围以及不同目标可靠度和变异水平等级的可靠度系数。依据这些设定条件,可归纳为 4 种交通等级和 7 种公路等级和变异水平等级情况。对于特重交通等级,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。对于轻交通等级,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。所提出的表 4.4.6 可供路面结构组合设计及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、最大温度梯度大或者基、垫层厚度或模量值低时,取高值。

4.4.8 依据国外的经验,40mm 厚的沥青混凝土上面层约可减少 10mm 厚的下面层。

4.4.9 普通水泥混凝土、碾压混凝土、钢筋混凝土、钢纤维混凝土或连续配筋混凝土面层,都按相同的设计表达式[式(3.0.3)]和应力分析方法(附录 B 和 C)进行厚度计算。

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。

4.5 路肩

4.5.1 观测资料表明,在主车道上行驶的车辆中,有 6%~9% 的车辆右侧车轮越出车道线行驶在路肩上。因此,路肩铺面结构应具有一定的承载能力,可承受主车道标准轴载累计作用次数的 6%~9% 的轴次的作用。

路肩铺面结构设计还应考虑渗入行车道混凝土路面结构内的水分的横向排流问题,在结构层组合和材料选用方面为行车道路面提供排水通道。

4.6 路面排水

4.6.2 排水系统的具体设计要求,请参阅《公路排水设计规范》(JTJ018)。

~

4.6.6

5 接缝设计

5.1 纵向接缝

- 5.1.1 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。
- 5.1.2 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。
- 5.1.3 表 5.1.3 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。

5.2 横向接缝

- 5.2.1 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。
- 5.2.2 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。
- 5.2.3 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，对高速公路的缩缝，建议采用两次锯切槽口，以保证接缝填封效果和行驶质量。
- 5.2.4 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。

5.3 交叉口接缝布设

- 5.3.1 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。
- 5.3.2 将胀缝设置在次要道路上。

5.4 端部处理

5.4.2 本条文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。

5.4.3 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，而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。

5.4.4 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。

5.5 接缝填封

5.5.1 各类接缝填封材料的技术要求，参见《公路水泥混凝土路面施工技术规范》~ (JTJ037)。

5.5.2

6 面层配筋设计

6.1 特殊部位配筋

6.1.3 关于构造物横穿公路时混凝土面层配筋，通过近年的实践与研究成果，较原规范作较大的修订，以满足更高的使用要求。关于混凝土面层单层筋布置条件，

6.1.4 将原箱状构造物顶面至面层底面距离 L 从 $300 \sim 800\text{mm}$ 改为 $400 \sim 1200\text{mm}$ ，双层筋从 L 小于 300mm 改为小于 400mm 。管状构造物单层钢筋设置条件也从 L 小于 800mm 改为小于 1200mm 。原文中有 L 小于 300mm 时设双层钢筋，考虑到 L 小于 300mm 或 400mm ，设圆管涵已不合适，故修订条文时将这种情况予以删除。关于混凝土面层的布筋范围，主要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(见图 6.1.3 和图 6.1.4)。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、稳定土等底基层用材料，易取得良好效果，条文据此修改。对于这一问题，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。

6.2 钢筋混凝土面层配筋

6.2.1 钢筋混凝土面层配筋数量是为平衡混凝土面层收缩受限制时产生的拉力。当混凝土面层收缩时其中央两侧向内的摩阻力为一半面层混凝土的质量乘以其与基层的摩阻系数，这一摩阻力即为作用于混凝土面层中央的拉力，并假定沿面层断面平均作用而由钢筋承受。据此推导出式(6.2.1)，推演中混凝土的容重取为 24kN/m^3 ，钢筋的容许应力取 0.75 倍屈服强度。钢筋混凝土面层的配筋率与面层平面尺寸和气候因素有关，一般为 $0.1\% \sim 0.2\%$ ，最低为 0.05% ，最高可达 0.25% 。

6.3 连续配筋混凝土面层配筋

6.3.1 连续配筋混凝土面层的横向配筋原则和要求与钢筋混凝土面层的配筋相同，因而，可采用式(6.2.1)计算确定。此外，也可按纵向钢筋用量的 $1/5 \sim 1/8$ 取用。

7 材料组成要求及性质参数

7.1 垫层材料

7.1.2 为保证排水垫层排水畅通，并防止路床细粒土渗入垫层内堵塞孔隙，排水垫层材料的级配必须满足渗滤标准。

7.2 基层材料

7.2.1 混凝土面层下采用贫混凝土基层，主要是为了增加基层的抗冲刷能力，并不要求它有很高的强度。高强度的贫混凝土并不能使面层厚度降低很多，反而会增加混凝土面层的温度翘曲应力，并产生会影响到面层的收缩裂缝。条文所列的强度范围，采用 7%~8% 水泥用量即可达到。

7.2.3 为减少冲刷并保证混合料的匀质，本条文主要对无机结合料稳定粒料和级配粒料提出了控制细料含量和最大粒径的要求。

7.2.4

7.2.5 本条文对排水基层多孔隙混合料组成的建议，是依据近年来各地修筑试验路的经验提出的。它们能达到 20% 以上的孔隙率和 1.0 cm/s 以上的渗透系数，

7.2.6 其强度和模量值均能满足基层的要求。

7.4 材料性质参数

7.4.3 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)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 3.0.2 和表 3.0.3)。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。

8 加铺层结构设计

8.1 一般规定

- 8.1.1 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。

- 8.1.3 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。
- 8.1.4 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。
- 8.1.5 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。

8.2 路面损坏状况调查评定

- 8.2.1 路面损坏状况是路面结构的物理状况和承载能力的表现反映。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。

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。对于断板率较低的高速公路和一级公路，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公路，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。

- 8.2.2 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。

8.3 接缝传荷能力和板底脱空状况调查评定

- 8.3.1 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。

- 8.3.2 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

- 8.3.3 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。

- 8.3.4 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、边缘和角隅处敲击听音等经验方法加以综合判断。

8.4 旧混凝土路面结构参数调查

- 8.4.1 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。

- 8.4.2 式(8.4.2-1)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(8.4.2-2)，即将实测的劈裂强度平均值减去一倍的标准差后，再按式(8.4.2-1)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。

- 8.4.4 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。

由板中荷载作用下测得的路表弯沉曲线可方便地按式(8.4.4-2)计算出无量纲参数 SI，它反映了路面结构扩散荷载的能力。理论上，SI 与混凝土路面板的相对刚度半径存在一一对应的关系。基于这一特征，在对常用的混凝土路面结构参数(板厚 $h=200, 230, 250, 280, 300, 330, 350\text{mm}$ ，混凝土弹性模量 $E_c=2.5, 3.0, 3.5, 4.0 \times 10^4\text{MPa}$ ，地基综合模量 $E_t=100, 250, 500, 1000, 2000, 4000\text{MPa}$)，进行了 168 组不同结构组合的混凝土路面结构的有限元计算分析(板中荷载 100kN、荷载作用半径 150mm)，依据计算结果进行回归分析后得到式(8.4.4-1)。

该回归公式具有非常显著的相关性，说明反算模量的方法在理论上是可行的。但是，由于路面结构理论模型与路面实际状况之间存在一定的差异，实际应用中还需要运用工程经验或辅之以室内材料试验，对反算结果的合理性作出分析判断或作适当修正。

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 20~50m，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。

8.5 分离式混凝土加铺层结构设计

- 8.5.1 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

- 8.5.3 要时也可以起到调平层的作用。因此，分离层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载到旧面层的板中部，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。

- 8.5.5 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。

8.6 结合式混凝土加铺层结构设计

- 8.6.1 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。
- 8.6.2 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。
- 8.6.3 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。
- 8.6.4 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。

8.7 沥青加铺层结构设计

- 8.7.1 旧混凝土面层的接缝或发展性裂缝往往在通车数年内会很快反射到沥青加铺层上。为了防止和控制反射裂缝，本条要求只有当旧混凝土面层的结构损坏状况和接缝传荷能力均评定为优良或中时，并且对旧混凝土面层存在的进展性裂缝、错台和板底脱空等病害进行修复后，才能采用沥青加铺层。
- 8.7.2 防止和控制反射裂缝是沥青加铺层设计的重点。反射裂缝是由于旧混凝土面层在接缝或裂缝附近的较大位移引起其上方沥青加铺层内出现应力集中所造成的，它包括因温度和湿度变化而产生的水平位移，以及因交通荷载作用而产生的竖向剪切位移。旧混凝土面层的接缝传荷能力评定为中时，沥青加铺层在接缝处产生的竖向剪切位移很大，会由此引起反射裂缝的出现。为此，本条规定接缝传荷能力评定为中时应采取减缓反射裂缝措施。

在旧混凝土面层与沥青加铺层之间设置夹层，是预防和减缓反射裂缝的常用措施，主要有：

- 橡胶沥青应力吸收夹层，这是一种高弹性低劲度的软夹层，厚度为 10～50mm，模量为 10～100MPa，其作用为降低旧混凝土面层与沥青加铺层之间的粘附阻力，从而减少温度下降引起的反射裂缝；
- 土工织物夹层，包括聚丙烯或聚脂织物以及聚乙烯、聚脂无纺布物，其作用原理与粘胶沥青应力吸收夹层相同；
- 格栅，包括玻璃格栅和金属格栅，格栅的刚度相对较大，对降低加铺层内因温度下降引起的应力和应变作用不如软夹层，但对于降低荷载应力和应变的作用则远大于软夹层。

另外，亦可采用复合式夹层，如下层为应力吸收层，上层为格栅。具体设计时，应依据加铺路段的实际情况和条件，分析出现反射裂缝的可能原因，有针对性地设置相应的预防或减缓措施。

- 8.7.4 沥青加铺层降低旧混凝土板荷载应力的效果很有限，加铺层下的旧混凝土路面仍起关键的承载作用，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。沥青加铺层的厚度，主要取决于减缓反射裂缝的考虑，依赖使用经验确定。

附录 A 交通分析

A.1 交通调查与分析

A . 1 . 2 年增长率一般变动于 2% ~ 6% 范围内。所确定的年增长率；应控制在设计基准期末的交通量不超出车道通行能力的合理范围内。

附录 B 混凝土板应力分析及厚度计算流程

B.1 荷载应力分析

B.1.3 本次规范修订,对轴载作用于四边自由矩形板纵向边缘中部所产生的荷载应力,应用有限元法重新进行了计算分析,使公式对轴载的适用范围由原规范的单轴 140kN 扩大到 240kN,双轴 320kN 扩大到 480kN,并增加了三轴一双轮组的情况。新的荷载应力计算公式为:

$$\sigma_p = Ar^m P^n h^{-2} \quad (1)$$

式中:

P——轴重(kN);

r——混凝土板的相对刚度半径(m);

h——混凝土板厚度(m);

A、m、n——与轴型有关的回归系数,见表 B1。

表 B1 荷载应力公式回归系数

轴 型	A	m	n
单轴-单轮	0.00247	0.707	0.881
单轴-双轮组	0.00175	0.862	0.905
双轴-双轮组	0.000872	0.843	0.893
三轴-双轮组	0.000541	0.710	0.892

路面结构对荷载的实际响应与理论模型的分析结果之间存在着差异。原规范通过基层顶面当量模量的修正使二者吻合。本次修订采用了重新整理分析后的基层顶面当量模量修正系数关系式:

$$n_0 = 3.79r^{0.92} \quad (2)$$

将此模量修正系数关系式包含在轴载应力计算公式中,便可得到新的符合路面结构实际响应的应力计算式,其形式与式(1)相同,而回归系数修改为表 B2 中的数值。

表 B2 荷载应力公式回归系数

轴 型	A	m	n
单轴-单轮	0.00180	0.490	0.881
单轴-双轮组	0.00119	0.597	0.905
双轴-双轮组	0.000599	0.585	0.893
三轴-双轮组	0.000395	0.493	0.892

以标准轴载 P=100kN 和表 B2 中单轴双轮组的系数值代入式(1),便可得到标准轴载作用下的荷载应力计算式:

$$\sigma_{ps} = 0.077r^{0.60}h^{-2} \quad (\text{B.1.3-1})$$

由于已将模量修正系数包含在荷载应力计算式中,在计算相对刚度半径和荷载应力时,可直接采用由实测模量值按 B.1.5 节换算得到的基层顶面当量回弹模量值。

B.1.5 原规范的基层顶面当量回弹模量计算方法,是依据双层弹性体系公式和图表提出的,对于三层和三层以上的弹性体系,采用双层体系公式由下而上两层-两层重复计算得到顶面当量回弹模量。由于每次计算时作用荷载的图式不变,重复计算的次数越多,计算结果同多层体系计算值的偏差便越大。本次规范直接采用三层弹性体系程序进行计算,并对路床上的基层和底基层或垫层结构,依据等弯曲刚度的原则换算为回弹模量和厚度当量的单层结构后,按双层体系进行计算。对比两种计算结果,通过回归分析建立了 B.1.5 条所列的各项关系式。按 B.1.5 条所列各式计算得到的当量回弹模量,与按多层体系计算的结果的偏差在 1%~4% 范围内。

B.2 温度应力分析

B.2.2 原规范采用基层顶面计算回弹模量,对基层顶面当量回弹模量乘以 0.35 倍的模量修正系数。本次规范分别对面层混凝土的模量乘以 0.85 的系数,对基层顶面回弹模量乘以 0.70 的系数,以考虑材料在温度应力作用下的蠕变效应,并将它们计入温度应力系数计算式和计算曲线中。因而,计算相对刚度半径和温度应力时,可直接采用由实测模量值按 B.1.5 节换算得到的基层顶面当量回弹模量值。

B.2.3 原规范中的温度疲劳应力系数采用列表的形式,查表时往往须插值。为方便使用,本次规范改为列出计算式,可以得到较为准确的系数值。

B.3 混凝土面板厚度计算示例

示例：重交通二级公路水泥路面厚度设计

公路自然区划 II 区拟新建一条二级公路,路基为粘质土,采用普通混凝土路面,路面宽 9m。经交通调查得知,设计车道使用初期标准轴载日作用次数为 2100。试设计该路面厚度。

解：1. 交通分析

由表 3.0.1,二级公路的设计基准期为 20 年,安全等级为三级。由表 A.2.2,临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数取 0.39。取交通量年平均增长率为 5%。按式(A.2.2)计算得到设计基准期内设计车道标准荷载累计作用次数为

$$N_e = \frac{N_s[(1+g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta = \frac{2100 \times [(1+0.05)^{20} - 1] \times 365}{0.05} \times 0.39$$

$$= 9.885 \times 10^6 \text{ 次}$$

属重交通等级。

2. 初拟路面结构

由表 3.0.1,相应于安全等级三级的变异水平等级为中级。根据二级公路、重

交通等级和中级变异水平等级,查表 4.4.6,初拟普通混凝土面层厚度为 0.22m。基层选用水泥稳定粒料(水泥用量 5%),厚 0.18m。垫层为 0.15m 低剂量无机结合料稳定土。普通混凝土板的平面尺寸为宽 4.5m,长 5.0m。纵缝为设拉杆平缝,横缝为设传力杆的假缝。

3. 路面材料参数确定

按表 3.0.6,取普通混凝土面层的弯拉强度标准值为 5.0MPa,相应弯拉弹性模量标准值为 31GPa。

查附录 F.1,路基回弹模量取 30MPa。查附录 F.2,低剂量无机结合料稳定土垫层回弹模量取 600MPa,水泥稳定粒料基层回弹模量取 1300MPa。

按式(B.1.5)计算基层顶面当量回弹模量如下:

$$E_x = \frac{h_1^2 E_1 + h_2^2 E_2}{h_1^2 + h_2^2} = \frac{1300 \times 0.18^2 + 600 \times 0.15^2}{0.18^2 + 0.15^2} = 1013(\text{MPa})$$

$$\begin{aligned} D_x &= \frac{E_1 h_1^3}{12} + \frac{E_2 h_2^3}{12} + \frac{(h_1 + h_2)^2}{4} \left(\frac{1}{E_1 h_1} + \frac{1}{E_2 h_2} \right)^{-1} \\ &= \frac{1300 \times 0.18^3}{12} + \frac{600 \times 0.15^3}{12} \\ &\quad + \frac{(0.18 + 0.15)^2}{4} \left(\frac{1}{1300 \times 0.18} + \frac{1}{600 \times 0.15} \right)^{-1} \\ &= 2.57(\text{MN-m}) \end{aligned}$$

$$h_x = \sqrt[3]{12 D_x / E_x} = \sqrt[3]{12 \times 2.57 / 1013} = 0.312(\text{m})$$

$$a = 6.22 \left[1 - 1.51 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.45} \right] = 6.22 \times \left[1 - 1.51 \times \left(\frac{1013}{30} \right)^{-0.45} \right] = 4.293$$

$$b = 1 - 1.44 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.55} = 1 - 1.44 \times \left(\frac{1013}{30} \right)^{-0.55} = 0.792$$

$$E_t = a h_x^b E_0 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{1/3} = 4.293 \times 0.312^{0.792} \times 30 \times \left(\frac{1013}{30} \right)^{1/3} = 165(\text{MPa})$$

普通混凝土面层的相对刚度半径按式(B.1.3.2)计算为

$$r = 0.537 h \sqrt[3]{E_c / E_t} = 0.537 \times 0.22 \times \sqrt[3]{31\,000 / 165} = 0.677(\text{m})$$

4. 荷载疲劳应力

按式(B.1.3),标准轴载在临界荷位处产生的荷载应力计算为

$$\sigma_{ps} = 0.077 r^{0.6} h^{-2} = 0.077 \times 0.677^{0.6} \times 0.22^{-2} = 1.259(\text{MPa})$$

因纵缝为设拉杆平缝,接缝传荷能力的应力折减系数 $k_r=0.87$ 。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 $k_f = N_e^{-n} = (9.885 \times 10^6)^{0.057} = 2.504$ 。

根据公路等级,由表 B.1.2,考虑偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数 $k_c=1.20$ 。

按式(B.1.2), 荷载疲劳应力计算为

$$\sigma_{pr} = k_r k_f k_c \sigma_{ps} = 0.87 \times 2.504 \times 1.20 \times 1.259 = 3.29(\text{MPa})$$

5. 温度疲劳应力

由表 3.0.8, 区最大温度梯度取 88(/m)。板长 5m, $l/r_1/r=5/0.677=7.39$, 由图 B.2.2 可查普通混凝土板厚 $h=0.22\text{m}$, $B_x=0.71$ 。按式(B.2.2), 最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力计算为

$$\sigma_{tm} = \frac{\alpha_c E_c h T_g}{2} B_x = \frac{1 \times 10^{-5} \times 31\,000 \times 0.22 \times 88}{2} \times 0.71 = 2.13(\text{MPa})$$

温度疲劳应力系数 k_t , 按式(B.2.3)计算为

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{tm}} \left[a \left(\frac{\sigma_{tm}}{f_r} \right)^c - b \right] = \frac{5.0}{2.13} \left[0.828 \times \left(\frac{2.13}{5.0} \right)^{1.323} - 0.041 \right] = 0.532$$

再由式(B.2.1)计算温度疲劳应力为

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{tm} = 0.532 \times 2.13 = 1.13(\text{MPa})$$

查表 3.0.1, 二级公路的安全等级为三级, 相应于三级安全等级的变异水平等级为中级, 目标可靠度为 85%。再据查得的目标可靠度和变异水平等级, 查表

3.0.3, 确定可靠度系数 $\gamma_r=1.13$ 。

按式(3.0.3)

$$\gamma_r (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) = 1.13 \times (3.29 + 1.13) = 4.99\text{MPa} \leq f_r = 5.0\text{MPa}$$

因而, 所选普通混凝土面层厚度(0.22m)可以承受设计基准期内荷载应力和温度应力的综合疲劳作用。

附录 C 双层混凝土板应力分析

C.1 荷载应力分析

C.1.1 双层混凝土板包括旧混凝土面层上的混凝土加铺层及贫混凝土或碾压混凝土基层上的混凝土面层两种情况，都可按弹性地基上的双层板进行应力分析。

C.2 温度应力分析

C.2.2 据分析，在分离式双层板的上层厚度和隔离层厚度之和大于 0.14m 时，传到下层板内的温度梯度较小，相应的温度翘曲应力也就很小。8.6.4 条规定的加铺层最小厚度为 0.14m(钢纤维混凝土)或 0.18m(普通混凝土)，沥青混合料隔离层的最小厚度为 0.025m。贫混凝土或碾压混凝土基层上的混凝土面层厚度也不会小于 0.20m。因而，可不必计算下层的最大温度翘曲应力 σ_{tm2} ，也可不必考虑下层的温度疲劳应力 σ_{tr2} 。

C.2.3 结合式双层板的上层，在轴载作用于临界荷位时处于受压状态，在正温度梯度(板顶温度大于板底)作用下也处于受压状态，而负温度梯度产生的应力较小。因而，可不必考虑上层的温度翘曲应力

双层混凝土板厚度计算示例

示例：特重交通高速公路水泥混凝土面层与碾压混凝土基层组成复合式路面厚度设计

公路自然区划 III 区拟新建一条高速公路，路基土为黄土，采用普通混凝土面层与碾压混凝土基层组成的复合式路面，单幅路面宽 11.75m。经交通调查分析得知，设计车道使用初期标准轴载日作用次数为 3800。试设计该路面厚度。

解：1. 交通分析

由表 3.0.1，高速公路的设计基准期为 30 年，安全等级为一级。由表 A.2.2，临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数取 0.22。取交通量年平均增长率为 5%。按式(A.2.2)计算得到设计基准期内设计车道标准荷载累计作用次数为

$$\begin{aligned} N_e &= \frac{N_s [(1 + g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta \\ &= \frac{3800 \times [(1 + 0.05)^{30} - 1] \times 365}{0.05} \times 0.22 \\ &= 2.03 \times 10^7 \text{ 次} \end{aligned}$$

属特重交通等级。

2. 初拟路面结构

由表 3.0.1 知，相应于安全等级一级的变异水平等级为低级。根据高速公路特重交通等级和低变异水平等级，查表 4.4.6，初拟普通混凝土面层厚度为 0.24m，碾压混凝土基层 0.16m，底基层选用水泥稳定粒料(水泥用量 5%)，厚 0.18m，垫层为 0.15m 低剂量无机结合料稳定土。水泥混凝土上面层板的平面尺

寸长为 4.0m、宽从中央分隔带至路肩依次为 4m、4m、3.75m；纵缝为设拉杆平缝，横缝为设传力杆的假缝。碾压混凝土不设纵缝，横缝设假缝，间距(板长)4m。

3. 路面材料参数确定

按表 3.0.6 和附录 F.3，取普通混凝土面层的弯拉强度标准值为 5.0MPa，相应弯拉弹性模量标准值为 31GPa；碾压混凝土弯拉强度标准值为 4.0MPa，相应弯拉弹性模量标准值为 27GPa。

查附录 F.1，路基土回弹模量取 30MPa。查附录 F.2，低剂量无机结合料稳定土垫层回弹模量取 600MPa，水泥稳定粒料基层回弹模量取 1300MPa。

按式(B.1.5)计算基层顶面当量回弹模量如下：

$$E_x = \frac{h_1^2 E_1 + h_2^2 E_2}{h_1^2 + h_2^2} = \frac{1300 \times 0.18^2 + 600 \times 0.15^2}{0.18^2 + 0.15^2} = 1013(\text{MPa})$$

$$\begin{aligned} D_x &= \frac{E_1 h_1^3}{12} + \frac{E_2 h_2^3}{12} + \frac{(h_1 + h_2)^2}{4} \left(\frac{1}{E_1 h_1} + \frac{1}{E_2 h_2} \right)^{-1} \\ &= \frac{1300 \times 0.18^3}{12} + \frac{600 \times 0.15^3}{12} \\ &\quad + \frac{(0.18 + 0.15)^2}{4} \left(\frac{1}{1300 \times 0.18} + \frac{1}{600 \times 0.15} \right)^{-1} \\ &= 2.57(\text{MN-m}) \end{aligned}$$

$$h_x = \sqrt[3]{12 D_x / E_x} = \sqrt[3]{12 \times 2.57 / 1013} = 0.312(\text{m})$$

$$a = 6.22 \left[1 - 1.51 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.45} \right] = 6.22 \times \left[1 - 1.51 \times \left(\frac{1013}{30} \right)^{-0.45} \right] = 4.293$$

$$b = 1 - 1.44 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.55} = 1 - 1.44 \times \left(\frac{1013}{30} \right)^{-0.55} = 0.792$$

$$E_t = a h_x^b E_0 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{1/3} = 4.293 \times 0.312^{0.792} \times 30 \times \left(\frac{1013}{30} \right)^{1/3} = 165(\text{MPa})$$

4. 荷载疲劳应力

普通混凝土面层与碾压混凝土基层组成分离式复合式面层。此时 $k_u=0$ ， $h_x=0$ 。复合式混凝土面层的截面总刚度，按式(C.1.4)计算为

$$\begin{aligned} D_g &= \frac{E_{c1} h_{01}^3}{12} + \frac{E_{c2} h_{02}^3}{12} + \frac{E_{c1} h_{01} E_{c2} h_{02} (h_{01} + h_{02})^2}{4(E_{c1} h_{01} + E_{c2} h_{02})} k_u \\ &= \frac{31\,000 \times 0.24^3}{12} + \frac{27\,000 \times 0.16^3}{12} \\ &\quad + \frac{31\,000 \times 0.24 \times 27\,000 \times 0.16 \times (0.24 + 0.16)^2}{4 \times (31\,000 \times 0.24 + 27\,000 \times 0.16)} \times 0 \\ &= 44.928(\text{MN-m}) \end{aligned}$$

复合式混凝土面层的相对刚度半径，按式(C.1.5)计算为

$$r_g = 1.23 \sqrt[3]{D_g/E_t} = 1.23 \times \sqrt[3]{44.928/165} = 0.797(\text{m})$$

按式(C.1.2), 标准轴载在普通混凝土面层临界荷位处产生的荷载应力计算为

$$\begin{aligned}\sigma_{ps1} &= 0.077 r_g^{0.6} \frac{E_{c1} h_{01}}{12 D_g} \\ &= 0.077 \times 0.797^{0.6} \times \frac{31\,000 \times 0.24}{12 \times 44.928} = 0.927(\text{MPa}) \\ \sigma_{ps2} &= 0.077 r_g^{0.6} \frac{E_{c2}(0.5 h_{0.2} + h_x k_u)}{6 D_g} \\ &= 0.077 \times 0.797^{0.6} \times \frac{27\,000 \times (0.5 \times 0.16 + 0 \times 0)}{6 \times 44.928} = 0.538(\text{MPa})\end{aligned}$$

普通混凝土面层 因纵缝为设拉杆平缝 接缝传荷能力的应力折减系数 $k_r = 0.87$; 碾压混凝土基层不设纵缝, 不考虑接缝传荷能力的应力折减系数 k_r 。水泥混凝土面层, 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 $k_f = N_e^{-n} = (2.03 \times 10^7)^{0.057} = 2.609$; 碾压混凝土基层, 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 $k_f = N_e^{-n} = (2.03 \times 10^7)^{0.065} = 2.985$ 。根据公路等级, 由表 B.1.2, 考虑偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数后 $k_c = 1.30$ 。按式(B.1.2), 普通混凝土面层的荷载疲劳应力计算为

$$\sigma_{pr1} = k_r k_f k_c \sigma_{ps} = 0.87 \times 2.609 \times 1.30 \times 0.927 = 2.735(\text{MPa})$$

碾压混凝土基层的荷载疲劳应力计算为

$$\sigma_{pr2} = k_f k_c \sigma_{ps} = 2.985 \times 1.30 \times 0.538 = 2.09(\text{MPa})$$

5. 温度疲劳应力

由表 3.0.8, 区最大温度梯度取 $90(^\circ\text{C}/\text{m})$ 。普通混凝土面层板长 4m , $l/r_g = 4/0.776 = 5.15$, 由图 B.2.2 可由普通混凝土面层 $h_{01}=0.24\text{m}$, 查得 $B_x=0.56$, $C_x=0.94$ 。

按式(C.2.2-3、2、1), 最大温度梯度时普通混凝土上面层的温度翘曲应力计算为

$$\begin{aligned}\xi_1 &= C_x^{0.32-0.81 \ln\left(\frac{h_{01} E_{c1}}{h_{02} E_{c2}} + 2.5 \frac{h_{01}}{h_{02}}\right)} = 0.94^{0.32-0.81 \times \ln\left(\frac{0.24}{0.16} \times \frac{31\,000}{27\,000} + 2.5 \times \frac{0.24}{0.16}\right)} = 1.07 \\ B_{x1} &= \xi_1 B_x = 1.07 \times 0.56 = 0.60 \\ \sigma_{tm1} &= \frac{\alpha_c E_{c1} h_{01} T_g}{2} B_{x1} = \frac{1 \times 10^{-5} \times 31\,000 \times 0.24 \times 90}{2} \times 0.60 = 2.0(\text{MPa})\end{aligned}$$

普通混凝土面层的温度疲劳应力系数 k_t , 按式(B.2.3)计算为

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{tm}} \left[a \left(\frac{\sigma_{tm}}{f_r} \right)^c - b \right] = \frac{5.0}{2.0} \left[0.855 \times \left(\frac{2.0}{5.0} \right)^{1.355} - 0.041 \right] = 0.515$$

再由式(B.2.1)计算温度疲劳应力为

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{tm} = 0.515 \times 2.0 = 1.03 \text{MPa}$$

分离式复合式路面中碾压混凝土基层的温度翘曲应力可忽略不计。

查表3.0.1,高速公路的安全等级为一级,目标可靠度为95%,相应的变异水平等级为低。再据此查表3.0.3,确定可靠度系数 $\gamma_r = 1.33$ 。

按式(3.0.3),普通混凝土面层

$$\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) = 1.33 \times (2.735 + 1.03) = 5.0 \text{MPa} \leq f_r = 5.0 \text{MPa}$$

碾压混凝土基层

$$\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) = 1.33 \times (2.09 + 0) = 2.78 \text{MPa} \leq f_r = 4.0 \text{MPa}$$

因而,拟定的由厚度0.24m的普通混凝土上面层和厚度0.16m的碾压混凝土基层组成的分离式复合式路面,可以承受设计基准期内荷载应力和温度应力的综合疲劳作用。

附录 D 有沥青上面层的混凝土板应力分析

D.1.1 对于沥青上面层与混凝土板的复合式面层,沥青上面层的主要作用是提高路面~ 的表面使用功能,对承载作用贡献不大,通过分析增加 40mm 沥青上面层方可

D.2.1 减小 10mm 混凝土下面层厚度;而混凝土板是主要承载层,其作用类似于普通混凝土面层,这是计算分析及设计的主要着眼点。通过对有沥青上面层的混凝土板的应力三维有限元法分析,得出了荷载应力与温度应力的修正公式及有关计算系数,并绘制出计算诺谟图。计算时,应先求无沥青上面层时混凝土板的应力,之后再考虑沥青上面层的影响,从而得到有沥青上面层的混凝土板的荷载应力和温度应力。

有沥青上面层的混凝土板计算示例

示例:旧混凝土路面上加铺沥青混凝土设计

公路自然区划 一条已建的一级公路,采用普通混凝土面层,厚度 0.23m,板长 4m,纵缝为设拉杆平缝,横缝采用未设传力杆假缝。经交通调查分析得知,设计车道目前标准轴载日作用次数为 7000,已建成通车 10 年。经调查评定,路面损坏状况和接缝传荷能力的分级标准为优良,无板底脱空。旧混凝土路面结构参数调查结果:弯拉强度实测标准值为 4.5MPa,弯拉弹性模量标准值为 29GPa,基层顶面回弹模量标准值为 100 MPa。拟加铺沥青混凝土面层,以改善路面使用性能。试确定沥青混凝土加铺层厚度。

解:1. 交通分析

由表 3.0.1,一级公路的设计基准期为 30 年,安全等级为二级。由表 A.2.2,临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数取 0.22。取交通量年平均增长率为 5%。按式(A.2.2)计算,剩余设计基准期内设计车道标准荷载累计作用次数为

$$\begin{aligned} N_e &= \frac{N_s [(1 + g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta \\ &= \frac{7\,000 \times [(1 + 0.05)^{20} - 1] \times 365}{0.05} \times 0.22 = 1.859 \times 10^7 (\text{次}) \end{aligned}$$

属重交通等级。

2. 初拟路面结构

根据规范 8.7.3 条的规定,初拟沥青混凝土面加铺层厚度为 0.1m,分 40 mm 细粒式沥青混凝土和 60 mm 粗粒式沥青混凝土两层。

3. 旧混凝土路面的相对刚度半径

旧混凝土板的相对刚度半径按式(B.1.3-2)计算为

$$r = 0.537h \sqrt[3]{E_c/E_t} = 0.537 \times 0.23 \times \sqrt[3]{29\,000/100} = 0.818(\text{m})$$

4. 荷载疲劳应力

按式(B.1.3-1), 标准轴载在临界荷位处产生的荷载应力计算为

$$\sigma_{ps} = 0.077 r^{0.6} h^{-2} = 0.077 \times 0.818^{0.6} \times 0.23^{-2} = 1.29(\text{MPa})$$

由 $h=0.23\text{m}$, $E_c/E_t = 290$ 查图 D.1.2, 得 $\alpha = 1.64$ 。

按式(D.1.2)计算有沥青混凝土上面层的旧混凝土板在临界荷位处产生的荷载应力为

$$\sigma_{psa} = (1 - \zeta h_a) \sigma_{ps} = (1 - 1.64 \times 0.1) \times 1.29 = 1.08(\text{MPa})$$

因纵缝为设拉杆平缝, 接缝传荷能力的应力折减系数 $k_r=0.87$ 。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 $k_f = N_e^{-n} = (1.859 \times 10^7)^{0.057} = 2.596$ 。根据公路等级, 由表 B.1.2, 考虑偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数 $k_c=1.25$ 。

按式(B.1.2), 荷载疲劳应力计算为

$$\sigma_{pr} = k_r k_f k_c \sigma_{psa} = 0.87 \times 2.596 \times 1.25 \times 1.08 = 3.05(\text{MPa})$$

5. 温度疲劳应力

由表 D.2.1, Ⅲ区, $h_a=0.1\text{m}$, 最大温度梯度取 $40(^\circ\text{C}/\text{m})$ 。板长 4m , $l/r = 4/0.818 = 4.89$, 由图 B.2.2 可查旧混凝土面层 $h=0.23\text{m}$, $B_x=0.57$ 。按式(B.2.2), 最大温度梯度时混凝土面层的温度翘曲应力计算为

$$\sigma_{tm} = \frac{\alpha_c E_c h T_g}{2} B_x = \frac{1 \times 10^{-5} \times 29\,000 \times 0.23 \times 40}{2} \times 0.57 = 0.76(\text{MPa})$$

温度疲劳应力系数 k_t , 按式(B.2.3)计算为

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{tm}} \left[a \left(\frac{\sigma_{tm}}{f_r} \right)^c - b \right] = \frac{4.5}{0.76} \left[0.841 \times \left(\frac{0.76}{4.5} \right)^{1.323} - 0.058 \right] = 0.13$$

再由式(B.2.1)计算温度疲劳应力为

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{tm} = 0.13 \times 0.76 = 0.10(\text{MPa})$$

由 $h=0.23\text{m}$, $E_c=29\,000\text{MPa}$ 查图 D.2.1, 得 $\xi'=0.75$ 。

按式(D.2.1)计算有沥青混凝土上面层的旧混凝土面层温度疲劳应力为

$$\sigma_{tra} = (1 + \xi' h_a) \sigma_{tr} = (1 + 0.75 \times 0.10) \times 0.10 = 0.11(\text{MPa})$$

由表 3.0.1, 一级公路的安全等级为二级, 目标可靠度为 90%。相应于安全等级二级的变异水平等级为低~中级。再据查得的目标可靠度和中级变异水平等级, 查表 3.0.3, 确定可靠度系数 $\gamma_r=1.23$ 。

按式(3.0.3)

$$\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tra}) = 1.23 \times (3.05 + 0.11) = 3.89\text{MPa} \leq f_r = 4.5\text{MPa}$$

因而,所选沥青混凝土加铺层厚度(0.1m),使得旧混凝土面层可以承受剩余设计基准期内荷载应力和温度应力的综合疲劳作用。

附录 E 连续配筋混凝土面层纵向配筋计算

E . 0 . 1 以横向裂缝平均间距、允许最大裂缝宽度及钢筋屈服强度作为控制标准的连续
~ 配筋混凝土面层纵向配筋计算方法，是根据国内近期的研究成果并参考 AASHTO
E . 0 . 5 方法得出的，对原规范做了较大修改。纵向配筋率控制范围较原规范提高了 0.1
%。

连续配筋混凝土面层纵向配筋计算示例

示例：连续配筋混凝土面层纵向配筋计算

某地区一条新建公路，拟采用连续配筋混凝土路面。已知混凝土面层厚度 0.24m，水泥混凝土弯拉弹性模量 30GPa，混凝土强度等级为 C40。该地区最高日平均气温与最低日平均气温之差为 $\Delta T=35$ 。试进行连续配筋混凝土面层纵向配筋计算。

解：1. 计算参数

混凝土强度等级为 C40，查表 F . 5，得混凝土抗拉强度标准值 $f_t=3.5$ (MPa)，粘结刚度系数 $k_s=34$ (MPa/mm)，连续配筋混凝土干缩应变 $\epsilon_{sh}=0.0002$ 。

选用 HRB335 螺纹钢筋，直径选：16mm，查附录 F . 4，得到弹性模量 $E_s=200$ GPa、屈服强度 $f_{sy}=335$ MPa。

2. 横向裂缝间距计算

按式(E.0.2-3)，混凝土温缩应力系数为

$$\lambda_c = \frac{f_t}{E_c(\alpha_c \Delta T + \epsilon_{sh})} = \frac{3.5}{30\,000 \times (1 \times 10^{-5} \times 35 + 0.0002)} = 0.212$$

初拟配筋率 $\rho=0.7\%$ ，按式(E.0.2-2)，计算钢筋贡献率为

$$\varphi = \rho \frac{E_s}{E_c} = 0.007 \times \frac{200 \times 10^3}{30\,000} = 0.0467$$

由 $\lambda_c=0.212$ 和 $\varphi=0.0467$ ，查图 E.0.2，得 $b=6.0$ ，代入式(E.0.2-1)中

$$L_d = \frac{2b}{\sqrt{\frac{4k_s}{d_s E_s}(1 + \varphi)}} = \frac{2 \times 6.0}{\sqrt{\frac{4 \times 34}{16 \times 200 \times 10^3}(1 + 0.0467)}} = 1\,799(\text{mm}) = 1.80\text{m}$$

$L_d=1.80\text{m}$ 满足横向裂缝间距 1.0~2.5m 的要求。

3. 裂缝宽度计算

根据钢筋贡献率为 $\varphi=0.0467$ 和 $b=6.0$ ，查图 E . 0 . 3，得裂缝宽度系数 $\lambda_b=0.83$ ，按式(E.0.3)计算裂缝宽度为

$$\begin{aligned} b_j &= (\alpha_c \Delta T + \epsilon_{sh}) \lambda_b L_d = (1 \times 10^{-5} \times 35 + 0.0002) \times 0.83 \times 1.80 \times 10^3 \\ &= 0.82(\text{mm}) < 1\text{mm} \end{aligned}$$

4. 钢筋应力计算

根据钢筋贡献率为 $\varphi=0.0467$ 和 $b=6.0$,查图 E.0.4 ,得钢筋温度应力系数 $\lambda_{st}=3.8$,
按式(E.0.4)计算钢筋应力为

$$\begin{aligned}\sigma_s &= E_s(\alpha_c \Delta T \lambda_{st} + \alpha_s \Delta T) = 200 \times 10^3 \times (1 \times 10^{-5} \times 35 \times 3.8 + 9 \times 10^{-6} \times 35) \\ &= 329 \text{MPa} < f_{sy} = 335 \text{MPa}\end{aligned}$$

5. 钢筋间距或根数计算

上述计算均满足要求 , 则初拟的纵向钢筋配筋率是合适的。

钢筋间距为

$$\frac{\pi d_s^2}{4 \rho h} = \frac{\pi \times 0.016^2}{4 \times 0.007 \times 0.24} = 120(\text{mm})$$

或每延米纵向钢筋根数为

$$1000 / 120 = 8.3 \quad 9 \text{ 根。}$$

附录 F 材料参数经验参考值

附录 F . 1 中的路床土回弹模量经验参考值范围，系依据《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014)中土基回弹模量参考值表的数值，按各自然区划、不同土组、中湿路基状态稠度归纳而成。

附录 F . 2 中的垫层和基层材料回弹模量经验参考值范围，绝大部分材料的参数引自《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014)，其中，水泥稳定碎石混合料的回弹模量值应与水泥用量有关，表列数值偏低，特别是对水泥含量较高的混合料，如 5% 或 6% 的石灰—粉煤灰稳定碎石材料的回弹模量值也偏低。排水基层多孔隙材料的参数系参照试验工程的实测数据拟定。

混凝土材料(包括贫混凝土、碾压混凝土和普通混凝土等)的弯拉弹性模量随混合料组成(主要是水泥用量)的不同而变化，并可用与弯拉强度的经验关系表述。附录 F.3 中的混凝土弹性模量参考值，系依据由室内试验数据回归得到的弯拉弹性模量与弯拉强度的经验关系式，按不同的混凝土弯拉强度级差拟定的；同时，利用弯拉强度与抗压强度的经验关系式，列出了对应的抗压强度级差。

附录 F . 4 系根据国标列出了钢筋混凝土用钢筋的种类、屈服强度和弹性模量。其中，R235(Q235)取自《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》(GB 13013—1991)，HRB335 和 HRB400 取自《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB 1499--1998)，KL400 取自《钢筋混凝土用余热处理钢筋》(GB 13014--1991)。