

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50422 – 2017

预应力混凝土路面工程技术规范

Technical code for engineerings of
prestressed concrete pavement

2017 – 02 – 21 发布

2017 – 10 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布



中华人民共和国国家标准

预应力混凝土路面工程技术规范

Technical code for engineerings of
prestressed concrete pavement

GB 50422 - 2017

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 7 年 1 0 月 1 日

中国计划出版社

2017 北 京

中华人民共和国国家标准
预应力混凝土路面工程技术规范
GB 50422-2017

☆

中国计划出版社出版发行

网址：www.jhpress.com

地址：北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码：100038 电话：(010) 63906433（发行部）

三河富华印刷包装有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 3.5 印张 85 千字

2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷

☆

统一书号：155182·0127

定价：21.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话：(010) 63906404

如有印装质量问题，请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1484 号

住房和城乡建设部关于发布国家标准 《预应力混凝土路面工程技术规范》的公告

现批准《预应力混凝土路面工程技术规范》为国家标准,编号为 GB 50422—2017,自 2017 年 10 月 1 日起实施。其中,第 3.0.5、4.2.5、4.3.1 条为强制性条文,必须严格执行。原国家标准《预应力混凝土路面工程技术规范》GB 50422—2007,同时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2017 年 2 月 21 日

前 言

根据住房城乡建设部《关于印发〈2014年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2013〕169号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订了本规范。

本规范共有7章和1个附录,主要技术内容是:总则,术语和符号,基本规定,路面结构设计,材料,施工要求,质量验收等。

本规范修订的主要技术内容是:

1. 将预应力混凝土路面交通等级由四级改为五级,增加了极重级交通荷载,调整了三、四级公路的设计基准期;

2. 提高了预应力混凝土路面设计安全等级要求,并相应地调整了路面结构的目标可靠指标和目标可靠度;

3. 增加了预应力混凝土路面结构极限状态表达式作为路面结构设计验算公式;

4. 明确了预应力混凝土路面质量验收指标;

5. 在附录预应力混凝土路面面板应力分析中,增补了极限状态下荷载应力计算公式,修订了最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力计算公式。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由东南大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送东南大学(地址:江苏省南京市四牌楼2号,邮政编码:210096)。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:东南大学

中鼎国际工程有限责任公司

参编单位:江苏省交通规划设计院股份有限公司

南京东大现代预应力工程有限责任公司

江苏新筑预应力工程有限公司

西安公路研究院

主要起草人:黄 卫 钱振东 吕志涛 冯 健 郭宏定

何家发 张健康 张 晋 朱卫国 陆志东

牛赫东 张 强 栾文彬 伍石生 陈磊磊

主要审查人:张 汎 郝培文 查旭东 李国芬 钱永久

陈团结 冯大斌 曹亚东 湛润水 彭爱红

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(2)
3	基本规定	(5)
4	路面结构设计	(9)
4.1	几何尺寸	(9)
4.2	配筋	(9)
4.3	滑动层	(11)
4.4	伸缩缝	(11)
4.5	枕梁	(13)
4.6	锚固区	(13)
4.7	后浇带	(14)
5	材 料	(16)
5.1	混凝土材料	(16)
5.2	普通钢材和无粘结预应力钢绞线	(16)
5.3	锚具系统	(17)
5.4	接缝材料	(17)
5.5	外加剂	(17)
6	施工要求	(19)
6.1	施工机具	(19)
6.2	施工准备	(20)
6.3	施工工序	(20)
6.4	枕梁和伸缩缝施工	(21)

6.5	滑动层铺设	(21)
6.6	立模板、布置钢筋	(22)
6.7	预应力混凝土路面的浇筑	(23)
6.8	无粘结预应力钢绞线张拉	(23)
6.9	养护	(24)
6.10	后浇带混凝土施工	(24)
6.11	伸缩缝整修及填缝	(25)
6.12	特殊气候条件下的施工	(25)
7	质量验收	(26)
7.1	一般规定	(26)
7.2	滑动层	(26)
7.3	混凝土面层	(30)
附录 A	预应力混凝土路面面板应力分析及计算流程	(37)
	本规范用词说明	(43)
	引用标准名录	(44)
	附:条文说明	(45)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(2)
3	Basic requirements	(5)
4	Pavement structure design	(9)
4.1	Geometric dimension	(9)
4.2	Reinforcement	(9)
4.3	Sliding layer	(11)
4.4	Expansion joint	(11)
4.5	Sleeper beam	(13)
4.6	Anchorage zone	(13)
4.7	Post-cast strip	(14)
5	Materials	(16)
5.1	Concrete	(16)
5.2	Common steels and unbonded prestressing steel strand	(16)
5.3	Anchorage system	(17)
5.4	Joint material	(17)
5.5	Admixture	(17)
6	Construction requirements	(19)
6.1	Construction equipment	(19)
6.2	Construction preparation	(20)
6.3	Construction procedure	(20)
6.4	Construction of sleeper beam and expansion joint	(21)

6.5	Construction of sliding layer	(21)
6.6	Arrangement of template and reinforcement	(22)
6.7	Paving of prestressed concrete pavement	(23)
6.8	Unbonded prestressing steel strand tension	(23)
6.9	Curing	(24)
6.10	Construction of post-cast strip	(24)
6.11	Repairing and caulking expansion joint	(25)
6.12	Construction under special climatic conditions	(25)
7	Acceptance	(26)
7.1	General requirements	(26)
7.2	Sliding layer	(26)
7.3	Prestressed concrete surfacing	(30)
Appendix A	Stress analysis and procedure of prestressed concrete pavement	(37)
	Explanation of words in this code	(43)
	List of quoted standards	(44)
	Addition: Explanation of provisions	(45)

1 总 则

1.0.1 为适应道路运输发展的需要,规范预应力混凝土路面工程结构设计、施工及质量验收,做到技术先进、经济合理、安全适用,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于无粘结预应力混凝土路面的设计、施工及验收。

1.0.3 预应力混凝土路面工程的设计、施工及验收,除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 预应力混凝土路面 prestressed concrete pavement

预先在路面工作截面上施加压力,以提高受力性能的水泥混凝土路面。

2.1.2 临界荷位 critical load position

预应力混凝土路面在荷载和温度综合作用下产生最大疲劳损坏的位置。

2.1.3 滑动层 sliding layer

在基层顶面设置的低摩阻系数的结构层。

2.1.4 无粘结预应力钢绞线 unbonded prestressing steel strand

采用专用防腐润滑油脂塑料涂包的预应力钢绞线,其与被施加预应力的混凝土之间可保持相对滑动。

2.1.5 板底摩阻应力 slab bottom friction stress

由预应力混凝土路面面板与基层之间的相对滑动或滑动趋势而引起的路面面板中的应力。

2.1.6 后浇带 post-cast strip

设置在锚头位置的结构,起封锚和安装固定伸缩缝的作用。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

D_x ——基层和底基层或垫层的当量弯曲刚度;

E_0 ——路床顶面的当量回弹模量;

E_1 ——基层回弹模量;

- E_2 ——底基层或垫层回弹模量；
- E_c ——混凝土弯拉弹性模量；
- E_s ——非预应力钢筋弹性模量；
- E_t ——基层顶面当量回弹模量；
- E_x ——基层和底基层或垫层的当量回弹模量；
- f_r ——混凝土弯拉强度标准值；
- f_{yk} ——普通钢筋的强度标准值；
- ρ ——混凝土密度。

2.2.2 作用、作用效应及承载力

- N_e ——设计基准期内设计车道所承受的设计轴载累计次数；
- N_i ——各类轴型 i 级轴载的作用次数；
- N_s ——设计轴载的作用次数；
- P_i ——各类轴型第 i 级轴载重,联轴按每一根轴载单独计；
- P_s ——设计轴载重；
- σ_{con} ——无粘结预应力钢绞线张拉控制应力；
- σ_F ——板底摩阻应力；
- σ_L ——荷载应力；
- $\sigma_{L,n}$ ——第 n 项预应力损失值；
- σ_{Lr} ——荷载疲劳应力；
- $\sigma_{L,max}$ ——最重轴载在面层板临界荷位处产生的最大荷载应力；
- σ_p ——有效预应力引起的混凝土中的平均压应力；
- σ_{pe} ——无粘结预应力钢绞线的有效预应力；
- $\sigma_{\Delta T,max}$ ——最大温度梯度时面层板产生的最大温度应力；
- $\sigma_{\Delta Tr}$ ——温度疲劳应力。

2.2.3 几何参数

- d_n ——无粘结预应力钢绞线公称直径；
- h ——混凝土板的厚度；
- h_1 ——基层的厚度；
- h_2 ——底基层或垫层的厚度；

h_x —— 基层和底基层或垫层的当量厚度；

L —— 面层板的横缝间距，即板长；

L_s —— 滑动区计算长度；

r —— 预应力混凝土板的相对刚度半径；

δ —— 路面面板端部的位移值；

χ —— 计算荷位距板端的距离。

2.2.4 计算系数及其他

B_L —— 综合温度翘曲应力和内应力的温度应力系数；

C_L —— 面层板的温度翘曲应力系数；

c_v —— 变异系数；

g_r —— 基准期内货车交通量的年平均增长率；

t —— 设计基准期；

ΔT —— 混凝土路面面板板顶和板底温度差；

T_g —— 混凝土面板的最大温度梯度计算值；

T_n —— 路面面板温差最大值；

α_c —— 混凝土温度膨胀系数；

β —— 配筋率；

γ —— 可靠度系数；

η —— 车轮轮迹横向分布系数；

κ —— 考虑孔道每米长度局部偏差的摩擦系数；

k_f —— 考虑设计基准期内荷载应力累积疲劳作用的疲劳应力系数；

k_t —— 考虑温度应力累计疲劳作用的温度疲劳应力系数；

μ —— 无粘结预应力钢绞线与孔道壁之间的摩擦系数；

μ_r —— 板底摩擦系数；

ν —— 与混合料性质有关的指数；

ν_c —— 混凝土的泊松比；

ω_0 —— 原路面计算回弹弯沉值。

3 基本规定

3.0.1 预应力混凝土路面结构设计应以 100kN 单轴-双轮组荷载作为设计轴载,设计轴载作用次数可按下式计算:

$$N_s = \sum_{i=1}^n N_i \left(\frac{P_i}{P_s} \right)^{16} \quad (3.0.1)$$

式中: N_s ——设计轴载的作用次数(次/d);

n ——各级轴型的轴载级位数;

N_i ——各类轴型 i 级轴载的作用次数(次/d);

P_i ——各类轴型第 i 级轴载重(kN),联轴按每一根轴载单独计;

P_s ——设计轴载重(kN)。

3.0.2 预应力混凝土路面设计车道在设计基准期内,设计轴载累计作用次数应按现行行业标准《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40 进行调查和分析,交通荷载分级宜按表 3.0.2 确定。

表 3.0.2 交通荷载分级

交通荷载等级	设计基准期内设计车道承受设计轴载(100kN) 累计作用次数 $N_e(10^4)$
极重	$1 \times 10^6 < N_e$
特重	$2000 < N_e \leq 1 \times 10^6$
重	$100 < N_e \leq 2000$
中等	$3 \leq N_e \leq 100$

3.0.3 预应力混凝土路面的设计基准期和累计作用次数,应符合下列规定:

1 路面设计基准期和设计使用年限,可按表 3.0.3-1 采用。

表 3.0.3-1 路面设计基准期和设计使用年限

道路等级	高速公路、一级	二级	三级	四级
	快速路、主干路	次干路、支路	—	—
设计基准期(a)	30	20	15	10
设计使用年限 X(a)	30	20	15	10

2 设计基准期内预应力混凝土路面设计车道临界荷位处所承受的设计轴载累计作用次数,可按下式计算确定:

$$N_e = \frac{N_s [(1 + g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta \quad (3.0.3)$$

式中: N_e ——设计基准期内设计车道所承受的设计轴载累计次数(轴次/车道);

g_r ——基准期内货车交通量的年平均增长率(以百分数计);

t ——设计基准期(a);

η ——临界荷位处的车轮轮迹横向分布系数,其范围按表 3.0.3-2 选用。

表 3.0.3-2 车轮轮迹横向分布系数 η 的范围

道路等级		纵缝边缘处
高速公路、一级公路、快速路、主干路、收费站		$0.17 \leq \eta \leq 0.22$
二级及二级以下公路 次干路及以下道路	行车道宽 > 7m	$0.34 \leq \eta \leq 0.39$
	行车道宽 \leq 7m	$0.54 \leq \eta \leq 0.62$

3.0.4 预应力混凝土路面工程的可靠度设计标准、变异系数及可靠度系数应符合下列规定:

1 预应力混凝土路面的设计安全等级、目标可靠度和可靠度指标,应符合表 3.0.4-1 的规定。路面的材料性能和结构尺寸参数的变异水平等级,宜按表 3.0.4-1 选用。当二级及以下安全等级的道路路面结构破坏可能产生很严重后果时,可提高一级安全等级。

表 3.0.4-1 可靠度设计标准

道路等级	高速公路、快速路	一级公路、主干路	二级、次干路及以下道路	三级主路	四级主路
安全等级	一级		二级	三级	
目标可靠度(%)	95	90	85	80	70
目标可靠指标	1.64	1.28	1.04	0.84	0.52
变异水平等级	低	低、中	中	中、高	高

2 道路变异水平等级和相应的变异系数,应按道路等级、施工技术、施工质量控制和管理水平,通过调研确定,材料性能和结构尺寸参数的变异系数可按表 3.0.4-2 确定。

表 3.0.4-2 变异系数 c_v 的范围

变异水平等级	低	中	高
水泥混凝土弯拉强度	$0.05 \leq c_v \leq 0.10$	$0.10 < c_v \leq 0.15$	$0.15 < c_v \leq 0.20$
基层顶面当量回弹模量	$0.15 \leq c_v \leq 0.25$	$0.25 < c_v \leq 0.35$	$0.35 < c_v \leq 0.55$
水泥混凝土面层厚度	$0.02 \leq c_v \leq 0.04$	$0.04 < c_v \leq 0.06$	$0.06 < c_v \leq 0.08$

3 可靠度系数 γ 应依据所选目标可靠度及变异水平等级按表 3.0.4-3 选用。

表 3.0.4-3 可靠度系数 γ 的范围

变异水平等级	目标可靠度(%)			
	95	90	85	80~70
低	$1.20 \leq \gamma \leq 1.33$	$1.09 \leq \gamma \leq 1.16$	$1.04 \leq \gamma \leq 1.08$	—
中	$1.33 \leq \gamma \leq 1.50$	$1.16 \leq \gamma \leq 1.23$	$1.08 \leq \gamma \leq 1.13$	$1.04 \leq \gamma \leq 1.07$
高	—	$1.23 \leq \gamma \leq 1.33$	$1.13 \leq \gamma \leq 1.18$	$1.07 \leq \gamma \leq 1.11$

注:变异系数接近表 3.0.4-2 所示变化范围的下限时,可靠度系数取低值;接近上限时,取高值。

3.0.5 预应力混凝土路面混凝土强度应按 28d 龄期的混凝土弯拉强度控制,且不得小于表 3.0.5 的规定。

表 3.0.5 混凝土弯拉强度标准值

交通等级	极重	特重	重	中等
弯拉强度标准值 f_r (MPa)	5.0	5.0	5.0	4.5

3.0.6 预应力混凝土路面面板的最大温度梯度计算值,可根据道路所在地的自然区划按表 3.0.6 确定。

表 3.0.6 预应力混凝土路面面板的最大温度梯度计算值

自然区划	不同板厚的最大温度梯度 T_g ($^{\circ}\text{C}/\text{mm}$)					
	140mm	160mm	180mm	200mm	220mm	240mm
II、V	$0.102 < T_g \leq 0.108$	$0.097 < T_g \leq 0.103$	$0.092 < T_g \leq 0.098$	$0.087 < T_g \leq 0.092$	$0.083 < T_g \leq 0.088$	$0.078 < T_g \leq 0.083$
III	$0.111 < T_g \leq 0.117$	$0.105 < T_g \leq 0.111$	$0.100 < T_g \leq 0.105$	$0.095 < T_g \leq 0.100$	$0.090 < T_g \leq 0.095$	$0.085 < T_g \leq 0.089$
IV、VI	$0.106 < T_g \leq 0.113$	$0.101 < T_g \leq 0.108$	$0.095 < T_g \leq 0.102$	$0.090 < T_g \leq 0.097$	$0.086 < T_g \leq 0.092$	$0.081 < T_g \leq 0.086$
VII	$0.114 < T_g \leq 0.121$	$0.109 < T_g \leq 0.115$	$0.103 < T_g \leq 0.109$	$0.098 < T_g \leq 0.103$	$0.093 < T_g \leq 0.098$	$0.087 < T_g \leq 0.092$

3.0.7 预应力混凝土路面的路基、垫层、基层、路面横向坡度、路肩、排水及材料应符合国家现行相关标准的规定。

4 路面结构设计

4.1 几何尺寸

4.1.1 预应力混凝土路面面板长度宜为 90m~210m;面板宽度不宜超过两个标准车道宽度;面板厚度宜为 140mm~240mm。

4.1.2 预应力混凝土路面面板最小厚度应满足板内无粘结预应力钢绞线布设及构造的要求。

4.1.3 预应力混凝土路面结构设计验算应符合下列公式规定:

$$\gamma_r (\sigma_{Lr} + \sigma_{\Delta Tr}) \leq f_r + \sigma_p - \sigma_F \quad (4.1.3-1)$$

$$\gamma_r (\sigma_{L, \max} + \sigma_{\Delta T, \max}) \leq f_r \quad (4.1.3-2)$$

式中: γ_r ——可靠度系数,可按本规范第 3.0.4 条取值;

σ_{Lr} ——荷载疲劳应力(MPa),应根据本规范附录 A 进行计算;

$\sigma_{\Delta Tr}$ ——温度疲劳应力(MPa),应根据本规范附录 A 进行计算;

f_r ——混凝土弯拉强度标准值(MPa);

σ_p ——有效预应力引起的混凝土中的平均压应力(MPa);

σ_F ——板底摩阻应力(MPa),应根据本规范附录 A 进行计算。

$\sigma_{L, \max}$ ——最重轴载在面层板临界荷位处产生的最大荷载应力(MPa),应根据本规范附录 A 进行计算;

$\sigma_{\Delta T, \max}$ ——最大温度梯度时面层板产生的最大温度应力(MPa),应根据本规范附录 A 进行计算。

4.2 配筋

4.2.1 无粘结预应力钢绞线的有效预应力应按下式计算:

$$\sigma_{pe} = \sigma_{con} - \sum_{n=1}^5 \sigma_{Ln} \quad (4.2.1)$$

式中： σ_{pe} ——无粘结预应力钢绞线的有效预应力(MPa)；
 σ_{con} ——无粘结预应力钢绞线张拉控制应力(MPa)；
 $\sigma_{L,n}$ ——第 n 项预应力损失值(MPa)。

4.2.2 预应力损失值取值应包括下列项目：

σ_{L1} ：张拉端锚具变形和无粘结预应力钢绞线内缩； σ_{L2} ：无粘结预应力钢绞线的摩擦； σ_{L3} ：无粘结预应力钢绞线的应力松弛； σ_{L4} ：混凝土的收缩和徐变； σ_{L5} ：采用分批张拉时，张拉后批无粘结预应力钢绞线所产生的混凝土弹性压缩损失。

4.2.3 无粘结预应力钢绞线的预应力损失值估算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。无粘结预应力钢绞线的摩擦系数取值应符合现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的有关规定，并按表 4.2.3 取值。

表 4.2.3 无粘结预应力钢绞线的摩擦系数

无粘结预应力钢绞线公称直径 d_n (mm)	k	μ
9.5、12.7、15.2、17.8	0.004	0.09

注：表中系数也可根据实测数据确定。其中， k 为考虑孔道每米长度局部偏差的摩擦系数； μ 为无粘结预应力钢绞线与孔道壁之间的摩擦系数。

4.2.4 在一般气候环境下的预应力混凝土路面，预应力总损失也可按无粘结预应力钢绞线张拉控制应力的 20% 确定，且预应力总损失值不应小于 80MPa。

4.2.5 混凝土路面中有效预应力引起的平均压应力在扣除板底摩阻力后不应小于 0.7MPa，且平均压应力不应大于 4.0MPa。

4.2.6 无粘结预应力钢绞线应配置在路面面板板厚 1/2 下 10mm~30mm 范围内；无粘结预应力钢绞线的配筋率及构造要求应符合现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的有关规定。

4.2.7 横向钢筋的间距及构造应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40 或《城镇道路路面设计规范》CJJ 169 的有关规定。横向钢筋最小配筋率不应小于无粘结预应力钢绞线配筋率的 1/8，横向钢筋的配筋率可按下式计算：

$$\beta = \frac{E_c f_r}{2E_c f_{yk} - E_s f_r} (1.3 - 0.2\mu_r) \times 100 \quad (4.2.7)$$

式中： β ——配筋率(%)；

f_{yk} ——普通钢筋的强度标准值(MPa)；

E_s ——非预应力钢筋弹性模量(MPa)；

μ_r ——板底摩擦系数，宜现场实测。

4.3 滑动层

4.3.1 预应力混凝土路面面板与基层之间应设置滑动层。

4.3.2 预应力混凝土路面铺设滑动层的基层顶面应平整。

4.3.3 预应力混凝土路面的滑动层材料应选用防水材料、细粒状材料或沥青类材料。防水材料可选用土工合成防水织物，细粒状材料可选用粒径相近的细砂或石屑。当采用细粒状材料滑动层时，细粒状材料的厚度不宜大于20mm，其下应铺设防水材料。沥青类材料可选择乳化沥青碎石封层或热沥青碎石封层。

4.4 伸缩缝

4.4.1 预应力混凝土路面面板伸缩缝的宽度应大于路面面板端部的位移值。路面面板端部的位移值应按下列公式计算：

$$\delta = \alpha_c T_n L_s - \frac{\rho \mu_r L_s}{2E_c} \quad (4.4.1-1)$$

$$L_s = \frac{\alpha_c E_c T_n}{\rho \mu_r} \quad (4.4.1-2)$$

式中： δ ——路面面板端部的位移值(mm)；

ρ ——混凝土密度(g/mm^3)；

α_c ——混凝土温度膨胀系数；

T_n ——路面面板温差最大值($^{\circ}\text{C}$)，取路面面板年最高温度与路面合拢时温度的差值；

L_s ——滑动区计算长度(m)，滑动区计算长度不应大于路面面板长度的1/2。

4.4.2 预应力混凝土路面伸缩缝应符合下列规定：

1 伸缩缝的间距宜为 90m~210m。伸缩缝宜采用钢梁型(图 4.4.2-1)或毛勒型(图 4.4.2-2)，当采用毛勒型伸缩缝时，应设置在端头。当采用其他类型伸缩缝时，其材质应符合国家现行有关标准的规定。伸缩缝应涂专用防腐油脂或环氧树脂。

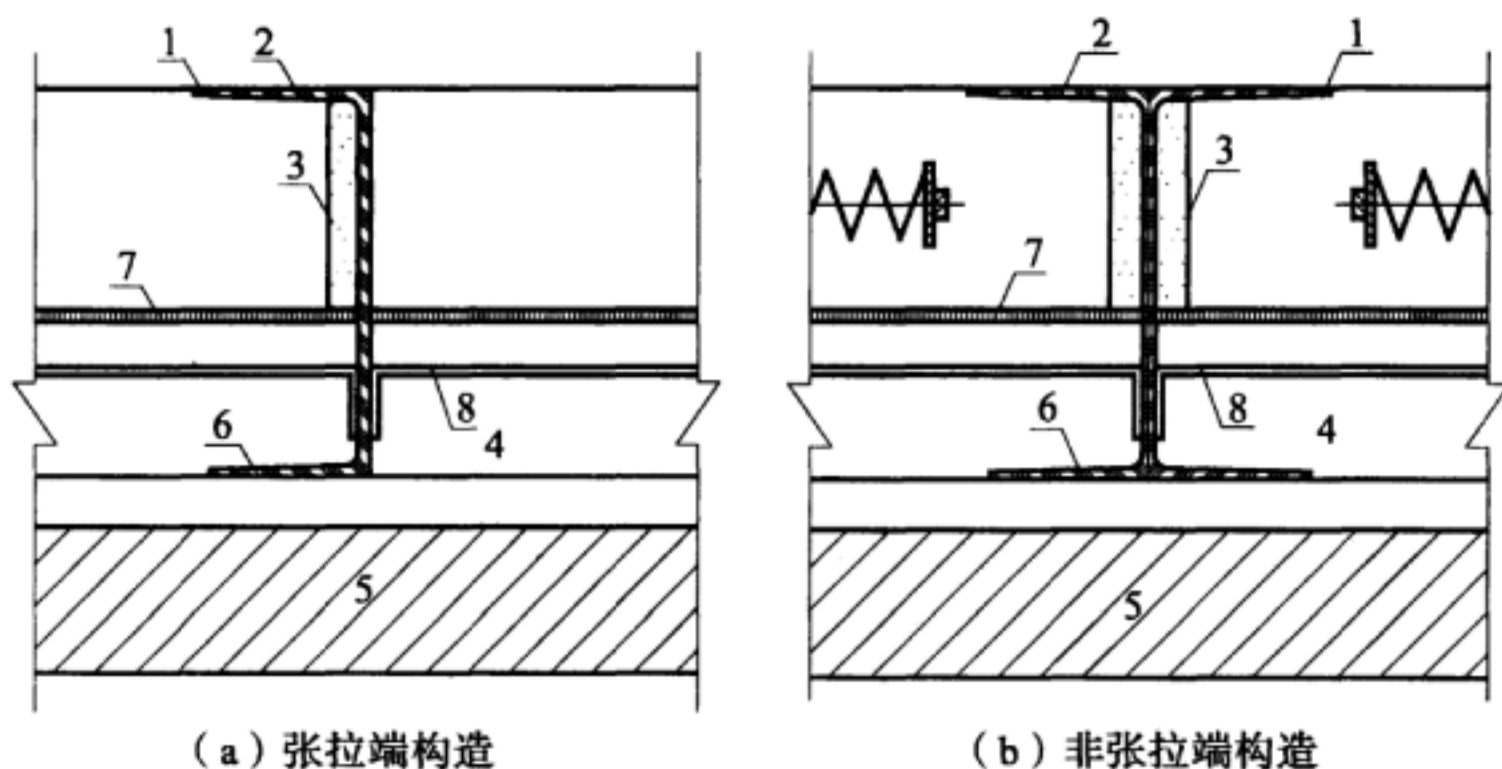


图 4.4.2-1 钢梁型伸缩缝纵截面结构

1—嵌缝胶；2—滑动涂层；3—填缝材料；4—枕梁；5—基层；
6—型钢；7—滑动层；8—连接钢筋

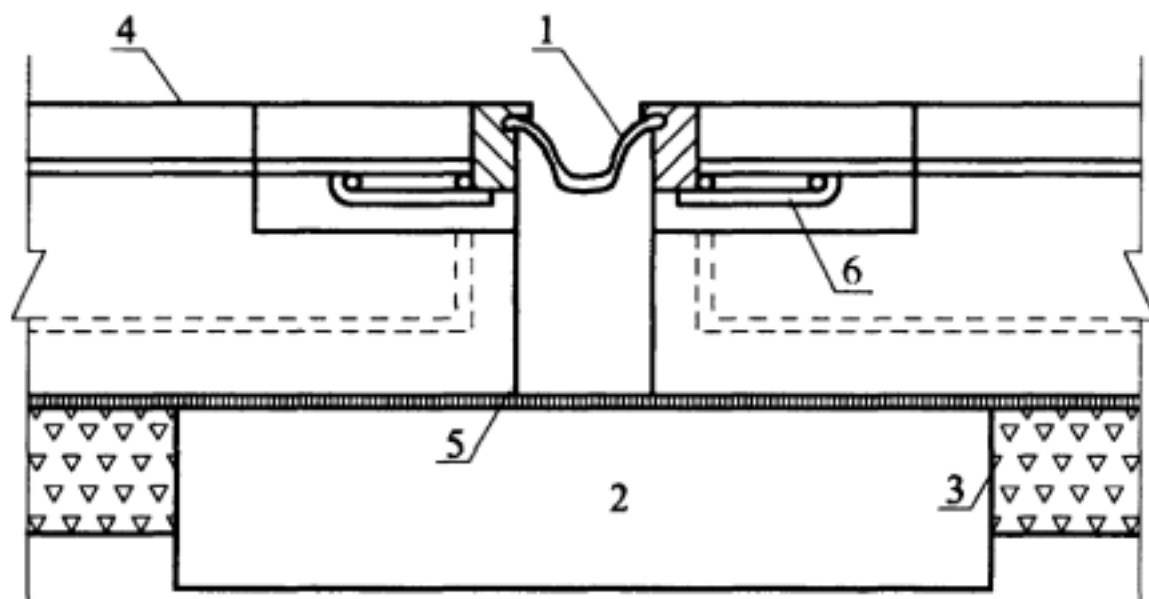


图 4.4.2-2 毛勒型伸缩缝纵截面结构

1—密封橡胶带；2—枕梁；3—基层；4—后浇带；5—滑动层；6—伸缩装置锚筋

2 伸缩缝预留的膨胀宽度不宜小于 20mm,收缩宽度宜为 50mm~80mm;预应力混凝土路面封锚浇筑后,在伸缩缝预留槽口内应填充聚氨酯等嵌缝材料。当环境温差小,且经试验验证不需设伸缩缝时,也可不设伸缩缝。

3 钢梁型伸缩缝的悬臂内侧宜有滑动涂层。

4.5 枕 梁

4.5.1 预应力混凝土路面枕梁(图 4.5.1)应采用现浇钢筋混凝土。枕梁内配筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中构造配筋的有关规定。

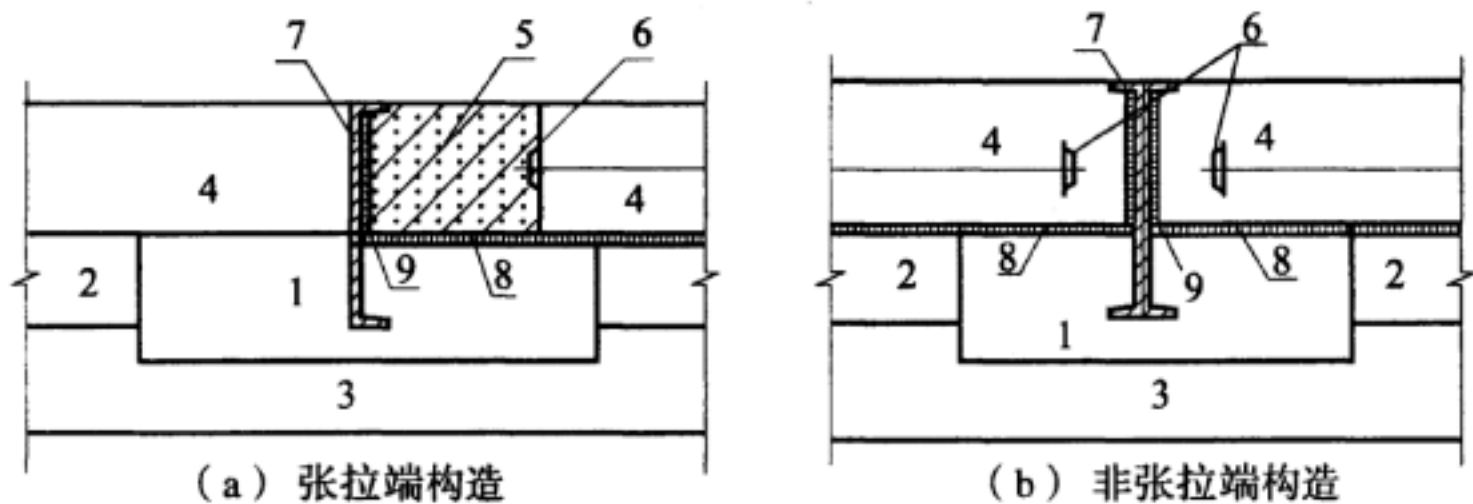


图 4.5.1 枕梁纵截面结构

1—枕梁;2—基层;3—底基层;4—路面面板;5—后浇带;6—锚具;7—伸缩缝;
8—滑动层;9—填缝材料

4.5.2 预应力混凝土路面枕梁的长度应与路面面板宽度相同,宽度宜为 2m~4m,厚度宜为 200mm~250mm,且枕梁顶面应与基层顶面平齐,枕梁施工完毕后,枕梁顶面宜涂刷沥青。

4.6 锚 固 区

4.6.1 预应力混凝土路面面板端部的局部受压承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

4.6.2 预应力混凝土路面面板板端构造应符合下列规定:

- 4.7.2 后浇带宽度应与路面面板宽度相同；后浇带的混凝土强度不应小于路面面板的混凝土强度。
- 4.7.3 后浇带用混凝土宜掺入膨胀剂。
- 4.7.4 后浇带混凝土底部滑动层的滑动能力不应小于预应力混凝土路面的滑动能力。
- 4.7.5 后浇带的加强筋和路面面板的加强筋应一致。

5 材 料

5.1 混凝土材料

5.1.1 水泥应采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。水泥的质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 和《道路硅酸盐水泥》GB 13693 的有关规定。

5.1.2 预应力混凝土路面使用的粗集料、细集料应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

5.1.3 清洗集料、拌和混凝土及养护所用的水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

5.1.4 混凝土配合比设计及混凝土配合比检验应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 的有关规定；混凝土性能要求应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的有关规定。

5.2 普通钢材和无粘结预应力钢绞线

5.2.1 预应力混凝土路面用普通钢筋宜采用 HRB400 级、HRB500 级、HRBF400 级、HRBF500 级热轧带肋钢筋，可采用 HPB300 级钢筋，或采用 CRB550 级、CRB650 级、CRB800 级、CRB970 级、CRB1170 级冷轧带肋钢筋。普通钢材可根据使用部位、功能和施工实际情况确定。

5.2.2 预应力混凝土路面用无粘结预应力钢绞线应符合下列规定：

1 钢绞线性能应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的有关规定；

2 预应力钢绞线外包材料应采用高密度聚乙烯,严禁使用聚氯乙烯。无粘结预应力钢绞线性能还应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161 的有关规定。

5.3 锚具系统

5.3.1 预应力混凝土路面用锚具应符合国家现行标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370、《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 和《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的有关规定。

5.3.2 夹具应具有良好的自锚性能、松锚性能和重复使用性能。

5.4 接缝材料

5.4.1 预应力混凝土路面接缝材料宜采用塑胶、橡胶泡沫板或沥青纤维板。

5.4.2 预应力混凝土路面应优选耐老化性能好的树脂类、橡胶类或改性沥青类填缝材料,并宜在填缝材料中加入耐老化剂。填缝材料的施工包括常温施工式和加热施工式,其技术指标应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的规定。

5.4.3 填缝时应使用背衬垫条。背衬垫条材料应具有良好的弹性、柔韧性、不吸水、耐酸碱腐蚀和高温不软化等性能。背衬垫条材料可采用聚氨酯、橡胶、微孔泡沫塑料等,其形状应为圆柱形,直径应比接缝宽度大 2mm~5mm。

5.5 外加剂

5.5.1 外加剂品种和掺量应根据设计要求,结合施工条件通过试验及技术经济比较确定。

5.5.2 外加剂的品种、掺量及使用性能应符合现行国家标准《混

凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定。

5.5.3 膨胀剂掺量和使用性能应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB 23439 的有关规定。

6 施工要求

6.1 施工机具

6.1.1 预应力混凝土路面施工机具应满足施工进度和质量的要求。

6.1.2 混凝土拌和物宜采用商品混凝土,采用集中拌和,并应符合下列规定:

1 混凝土拌和机具生产率不应低于 $20\text{m}^3/\text{h}$;

2 混凝土拌和机具应采用强制式水泥混凝土搅拌机或搅拌站。

6.1.3 混凝土拌和物运输机具及运输要求应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

6.1.4 混凝土的摊铺成型可采用滑模式摊铺机、轨道式摊铺机或传统的小型机具配合人工进行,摊铺成型机具宜按表 6.1.4 选用。滑模摊铺混凝土路面的施工应设置基准线,并应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的规定。

表 6.1.4 混凝土摊铺成型机具

滑模式摊铺机	轨道式摊铺机	人工方式
供料机	供料机	供料机
摊铺机	匀料机	匀料机
纹理制作机	摊铺机	插入式振捣器
养护剂喷洒机	缝槽成型机	振动梁
切缝机	缝槽修整机	滚筒

续表 6.1.4

滑模式摊铺机	轨道式摊铺机	人工方式
—	表面修整机	磨光机
—	纹理制作机	压纹辊
—	养护剂喷洒机	养护剂喷洒机
—	防护帐篷	—

6.2 施工准备

6.2.1 预应力混凝土路面面板施工前应进行技术交底。设计文件、资料应齐全。

6.2.2 预应力混凝土路面面板施工前,其路基、垫层、基层及下封层的工程质量应符合现行行业标准《公路路基施工技术规范》JTGF10、《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 或《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

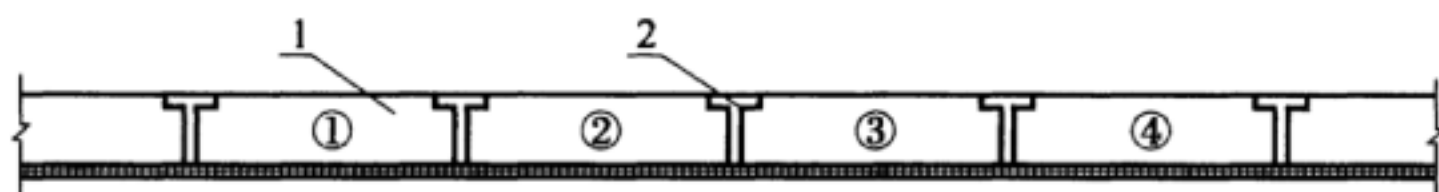
6.2.3 材料进场时应进行进场验收;预应力混凝土路面面板施工前,应检查材料储量、性能,材料质量应符合设计要求。

6.2.4 无粘结预应力钢绞线不应有死弯;当有死弯时必须切断。无粘结预应力钢绞线的每根钢丝严禁有接头。

6.3 施工工序

6.3.1 预应力混凝土路面施工应编制施工组织设计和施工方案。

6.3.2 预应力混凝土路面面板的施工,可采用顺序施工法或交替施工法(图 6.3.2)。



(a) 顺序施工

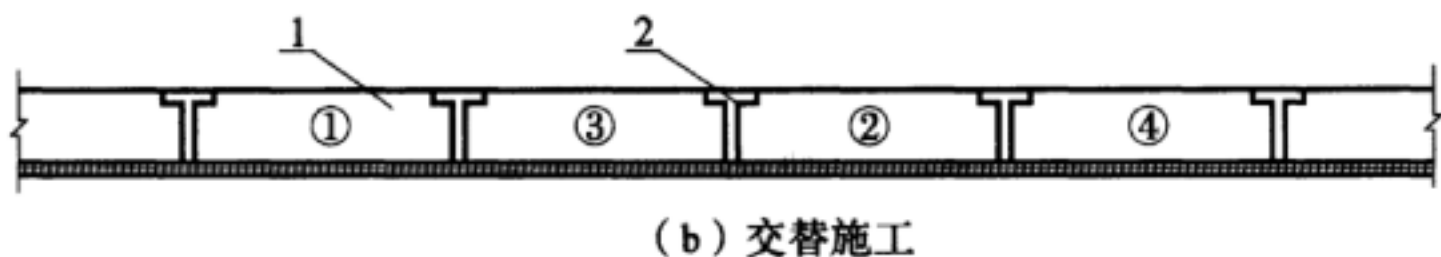


图 6.3.2 预应力混凝土面板施工顺序

1—混凝土面板；2—伸缩缝

6.3.3 预应力混凝土路面面板的施工应按下列工序进行：

①施工准备；②枕梁、伸缩缝施工；③滑动层施工；④立模板、布置钢筋；⑤预应力混凝土路面板浇筑；⑥无粘结预应力钢绞线张拉；⑦养护；⑧后浇带施工；⑨施工放样；⑩下一块路面板施工。

6.4 枕梁和伸缩缝施工

6.4.1 枕梁和伸缩缝施工前应检查基层和下封层，质量应符合设计要求。

6.4.2 枕梁基坑放样开挖应根据设计要求确定。

6.4.3 枕梁浇筑前，枕梁内钢筋和伸缩缝装置应固定牢固。

6.4.4 枕梁及伸缩缝施工应按下列工序进行：

①施工放样；②枕梁基坑开挖；③伸缩缝钢梁定位；④浇筑枕梁混凝土；⑤枕梁养护。

6.5 滑动层铺设

6.5.1 在混凝土浇筑前应在基层顶面设置滑动层。滑动层的设置应符合本规范第 4.3.2 条、第 4.3.3 条的要求。当采用沥青表面处置或乳化沥青稀浆封层作下封层时，下封层可直接作为滑动层。乳化沥青稀浆封层的厚度不宜小于 5mm。可在下封层上铺设土工织物作为滑动层。

6.5.2 当滑动层采用沥青表面处治时，其性能及施工要求应符合现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的有关规定；当滑动层采用乳化沥青稀浆封层时，其性能及施工要求应符合

现行行业标准《路面稀浆罩面技术规程》CJJ/T 66 的有关规定。

6.5.3 当采用土工合成防水织物作滑动层时,其设置应符合下列规定:

1 滑动层铺设前,应清扫预应力混凝土板块范围内的杂物,进行基层质量的全面检查,对破损处应进行修补;

2 滑动层铺设时,宜先铺设细粒状材料,再覆以土工织物。细粒状材料铺设厚度应符合本规范第 4.3.3 条的规定,且应均匀;土工合成防水材料的宽度宜大于路面宽度,土工合成防水材料间的搭接宜采用缝制或粘贴,搭接的长度不应小于 300mm;

3 土工合成防水材料性能应符合现行行业标准《公路工程土工合成材料 防水材料》JT/T 664 和《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 的有关规定;细粒状材料性能也应符合国家现行有关标准的规定;

4 土工合成材料铺设完后,应采取保护措施,应防止穿钉鞋作业或尖锐物的打击。

6.6 立模板、布置钢筋

6.6.1 准备工作应符合下列规定:

1 逐根检查无粘结预应力钢绞线的规格尺寸和数量,检查端部组装配件;检查外包层的完整性,如发现大面积破损漏油,则不宜使用,局部小型破损应进行修补后,方可使用;

2 模板应采用刚度足够的钢模板,不应使用木模板和塑料模板。模板的架设与拆除应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收细则》CJJ 1 的有关规定。

6.6.2 无粘结预应力钢绞线下料宜在路面板块施工范围内,下料前宜先铺设板端下层钢筋网;下料时应机械切割,严禁使用电焊或气割下料。

6.6.3 无粘结预应力钢绞线及横向钢筋布置定位应符合下列

规定：

1 应按设计位置标定横向钢筋和无粘结预应力钢绞线，无粘结预应力钢绞线应布置在横向钢筋上；

2 应按标定位置逐根绑扎无粘结预应力钢绞线和横向钢筋；应采用架立钢筋将无粘结预应力钢绞线架至设计位置，严禁使用水泥混凝土块架立无粘结预应力钢绞线；

3 应逐根检查钢筋绑扎和定位情况，允许偏差应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

6.6.4 无粘结预应力钢绞线配套锚具的安装应符合现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的有关规定。

6.7 预应力混凝土路面的浇筑

6.7.1 预应力混凝土路面浇筑应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

6.7.2 浇筑混凝土时，除应符合本规范第 6.7.1 条的规定外，还应符合下列规定：

1 无粘结预应力钢绞线铺放、安装完毕后，应进行隐蔽工程验收，确认合格后方可浇筑混凝土；

2 混凝土浇筑时，严禁踏压撞碰无粘结预应力钢绞线、支撑架以及端部预埋部件；

3 混凝土必须振捣密实。

6.8 无粘结预应力钢绞线张拉

6.8.1 预应力混凝土路面应采用后张法施工。张拉用锚具、穴模应与无粘结预应力钢绞线配套。

6.8.2 无粘结预应力钢绞线的张拉除应符合现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的有关规定外，还应符合

下列规定：

1 无粘结预应力钢绞线张拉应采用二次张拉工艺。第一次张拉宜在面板浇筑完成 12h 后，且混凝土强度不小于设计抗压强度的 30%，张拉时无粘结预应力钢绞线应由面板中间向两侧交替张拉，第一次张拉应力宜为 $0.3\sigma_{\text{con}}$ ；第二次张拉在面板浇筑完成 6d~7d 后，且混凝土强度不低于设计抗压强度的 75%，第二次张拉时，普通松弛力筋直接张拉至 $1.03\sigma_{\text{con}}$ 后锚固，低松弛力筋直接张拉至 σ_{con} 后持荷 2min 锚固。

2 无粘结预应力钢绞线的锚固，应在张拉控制应力处于稳定状态下进行。锚固后应切除过长的无粘结预应力钢绞线。无粘结预应力钢绞线切除应采用机械方法，严禁采用电弧切断。无粘结预应力钢绞线切断后露出锚具夹片外的长度不得小于 30mm。无粘结预应力钢绞线锚固后应及时进行防护处理。

3 无粘结预应力钢绞线张拉及放张时应填写施工记录。

6.9 养 护

6.9.1 预应力混凝土路面铺筑完成后应立即养护，养护可采用喷洒养护剂同时保湿覆盖的方式。在雨天或养护用水充足的情况下，也可采用覆盖保湿膜、土工布、湿麻袋等水湿养护方式。

6.9.2 养护时间应根据混凝土弯拉强度增长情况确定，且不宜小于设计弯拉强度的 80%。养护天数宜为 14d~21d，高温天气不宜小于 14d，低温天气不宜小于 21d。

6.9.3 混凝土板养护初期，严禁行人、车辆通行；当面板达到弯拉强度后，方可开放交通。

6.10 后浇带混凝土施工

6.10.1 后浇带施工应在第二次预应力施加完 48h 后进行。

6.10.2 后浇带施工前应检查滑动层，滑动层的质量应满足施工要求。同时应将已浇筑的混凝土路面面板端部凿毛，并应清理后

浇带范围内的杂物。

6.10.3 应理顺预留的连接钢筋,再绑扎或焊制后浇带内钢筋网,并应填塞伸缩缝内的填缝材料。

6.10.4 后浇带施工宜采用小型机械和人工浇筑,浇筑用混凝土强度等级不应小于路面面板混凝土强度等级。后浇带表面应按普通混凝土路面饰面要求饰面拉毛。

6.11 伸缩缝整修及填缝

6.11.1 在后浇带或预应力混凝土路面面板非张拉端混凝土浇筑3d后,应采用锯缝机按设计要求在伸缩缝钢梁两侧整修伸缩缝并填塞填缝料。切缝部位应进行必要的补强,补强应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

6.11.2 填缝料的性能要求应符合本规范第5.4.2条的规定,伸缩缝的填缝应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

6.12 特殊气候条件下的施工

6.12.1 预应力混凝土路面铺筑期间,应收集月、旬、日天气预报资料,遇有影响混凝土路面施工质量的天气时,应暂停施工或采取必要的防范措施,制订特殊气候的施工方案。

6.12.2 预应力混凝土路面在特殊气候条件下的施工应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 及其他相关标准的有关规定。

7 质量验收

7.1 一般规定

7.1.1 预应力混凝土路面施工质量的控制、管理与检查应贯穿整个施工过程,建立健全有效的施工质量保证体系,对每个施工环节严格控制把关,确保施工质量的稳定性。

7.1.2 预应力混凝土面层施工过程中应采取有效措施,严防出现质量缺陷。铺筑过程中发现质量缺陷时,应加大检测频率,必要时应停工整顿,查找原因,提出处置对策,恢复到正常铺筑工况和良好质量状态后再继续施工。

7.1.3 施工关键工序宜拍摄照片或进行录像,作为现场记录保存。

7.1.4 所有与工程建设有关的原始数据、试验检测及计算数据、汇总表格,必须如实记录保存。对已经采取措施进行返工和补救的项目,可在原记录和数据上注明,但不得销毁。

7.1.5 施工结束后,应清理现场,处理废弃物,恢复耕地或绿化,做到工完场清。

7.2 滑动层

7.2.1 滑动层铺设应平整均匀,滑动层材料应符合设计要求。

7.2.2 沥青表面处治滑动层在铺筑过程中应随时对铺筑质量进行评定,质量检查的内容、频度、允许偏差应符合表 7.2.2-1 的规定。在铺筑完工后应将施工全线以 1km 作为一个评价路段按表 7.2.2-2 的规定进行全线质量检查和验收。施工单位应在规定时间内提交全线检测结果。

表 7.2.2-1 沥青表面处治滑动层施工过程中工程质量的控制指标

项次	项 目	检查频度及 单点检验评价方法	质量要求或 允许偏差	检验方法
1	外观	随时	集料嵌挤密实, 沥青撒布均匀, 无花白料,接头 无油包	目测
2	集料及沥青用量	每日 1 次逐日评定	±10%	每日施工长度的 实际用量和计划 用量比较, JTG E60 T0982
3	沥青洒布温度	每车 1 次评定	符合 JTG F40 的规定	温度计测量
4	厚度(路中及路两侧 各 1 点)	不少于每 2000m ² 一点,逐点评定	-5mm	JTG E60 T0912
5	平整度(最大间隙)	随时,以连续 10 尺 的平均值评定	10mm	JTG E60 T0931
6	宽度	检测每个断面逐个 评定	±30mm	JTG E60 T0911
7	横坡度	检测每个断面逐个 评定	±0.5%	JTG E60 T0911

表 7.2.2-2 沥青表面处治滑动层交工检查与验收质量标准

项次	项 目	检查频度 (每一侧车道)	质量要求或 允许偏差	检验方法
1	外观	全线	集料嵌挤密实, 沥青撒布均匀, 无花白料,接头 无油包	目测

续表 7.2.2-2

项次	项 目		检查频度 (每一侧车道)	质量要求或 允许偏差	检验方法
2	厚度	代表值	每 200m 每车道 1 点	-5mm	JTG E60 T0921
		极值	每 200m 每车道 1 点	-10mm	
3	路表平 整度	标准差	全线每车道连续	4.5mm	JTG E60 T0932
		IRI	全线每车道连续	7.5mm/km	JTG E60 T0933
		最大间隙	10 处/km,各连续 10 尺	10mm	JTG E60 T0931
4	宽度	有测石	20 个断面/km	±3cm	JTG E60 T0911
		无测石	20 个断面/km	不小于设计 宽度	
5	纵断高程		20 个断面/km	±20mm	JTG E60 T0911
6	横坡度		20 个断面/km	±0.5%	JTG E60 T0911
7	沥青用量		1 点/km	±0.5%	JTG E20 T0722
8	矿料用量		1 点/km	±5%	JTG E20 T0722

7.2.3 乳化沥青稀浆滑动层在铺筑施工过程中应对稀浆混合料进行抽样检测,检验要求应符合表 7.2.3-1 的规定;在铺筑完工后应将施工全线以 1km 作为一个评价路段按表 7.2.3-2 的规定进行全线质量检查和验收。施工单位应在规定时间内提交全线检测结果。

表 7.2.3-1 乳化沥青稀浆滑动层施工过程中检验要求

项次	项 目	检验频度	质量要求或 允许偏差	检验方法
1	稠度	1 次/100m	适中	经验法
2	油石比	1 次/日	施工配合比的 油石比±0.2%	三控检验法

续表 7.2.3-1

项次	项 目	检验频度	质量要求或允许偏差	检验方法
3	矿料级配	1次/日	满足施工配合比的矿料级配要求	摊铺过程中从矿料输送带末端接出集料进行筛分
4	外观	全线连续	表面平整、均匀,无离析,无划痕	目测
5	摊铺厚度	5个断面/km	-10%	钢尺测量或其他有效手段,每个断面中间及两侧各1点,取平均值作为检测结果
6	浸水 1h 湿轮磨耗	1次/7个工作日	$\leq 800\text{g}/\text{m}^2$	—

表 7.2.3-2 乳化沥青稀浆滑动层施工验收要求

项次	项 目		检验频度	质量要求或允许偏差
1	表观质量	外观	全线连续	表面平整、密实、均匀,无松散,无花白料,无轮迹,无划痕
2		横向接缝	每条	对接平顺 不平整 $< 3\text{mm}$
3		纵向接缝	全线连续	宽度 $< 80\text{mm}$ 不平整 $< 6\text{mm}$
4		边线	全线连续	任一 30m 长度范围内的水平波动不得超过 $\pm 50\text{mm}$

续表 7.2.3-2

项次	项 目	检 验 频 度	质量要求或允许偏差
5	渗水系数	3 个点/km	$\leq 10\text{mL}/\text{min}$
6	厚度	2 个断面/km	-10%

7.2.4 土工合成防水材料滑动层应检查铺设厚度和布设宽度,搭接情况应符合本规范第 6.5.3 条的规定。

7.3 混凝土面层

7.3.1 预应力混凝土的原材料、配合比设计及混凝土性能等应符合设计要求。

7.3.2 预应力混凝土路面铺筑施工管理包括几何尺寸的控制和检查以及质量控制和检查。

7.3.3 预应力混凝土面层铺筑几何尺寸质量标准及检查项目、频率和方法应符合表 7.3.3-1 和表 7.3.3-2 的规定。

表 7.3.3-1 公路工程预应力混凝土面层铺筑几何尺寸质量及检验项目、频率和方法

项次	项 目		规定值或允许偏差		检查频率		检验方法
			高速公路、一级公路	其他公路	高速公路、一级公路	其他公路	
1	相邻板高差(mm)		≤ 2	≤ 3	每 200m 纵 横缝 2 条, 每条 3 处	每 200m 纵 横缝 2 条, 每条 2 处	尺测
2	平整度	平均值	≤ 3	≤ 5	每 200m 纵 向工作缝, 每条 3 处, 每处间隔 2m 测 3 尺, 共 9 尺	每 200m 纵 向工作缝, 每条 2 处, 每处间隔 2m 测 3 尺, 共 6 尺	尺测
		极值	≤ 5	≤ 7			

续表 7.3.3-1

项次	项 目		规定值或允许偏差		检查频率		检验方法
			高速公路、一级公路	其他公路	高速公路、一级公路	其他公路	
3	接缝顺直度(mm)		≤ 10		每 200m 测 6 条	每 200m 测 4 条	20m 拉 线测
4	中线平面偏位(mm)		≤ 20		每 200m 测 6 条	每 200m 测 4 条	经纬 仪测
5	路面宽度(mm)		$\leq \pm 20$		每 200m 测 6 处	每 200m 测 4 处	尺测
6	纵断高程 (mm)	平均值	± 5	± 10	每 200m 测 6 点	每 200m 测 4 点	水准 仪测
		极值	± 10	± 15			
7	横坡度(%)		± 0.15	± 0.25	每 200m 测 6 个断面	每 200m 测 4 个断面	
8	路缘石顺直度和高度 (mm)		≤ 20	≤ 20	每 200m 测 4 处	每 200m 测 2 处	
9	灌缝饱满度(mm)		≤ 2	≤ 3	每 200m 接缝测 6 处	每 200m 接缝测 4 处	测针加 尺测
10	最浅切缝 深度(mm)	缝中有拉 杆、传力杆	≥ 80	≥ 80	每 200m 测 6 处	每 200m 测 4 处	尺测
		缝中无拉 杆、传力杆	≥ 60	≥ 60			

表 7.3.3-2 城镇道路工程预应力混凝土面层铺筑几何尺寸质量及
检验项目、频率和方法

项次	项 目		规定值或允许偏差		检查频率		检验方法
			城市快速 路、主干路	次干路、 支路	范围	点数	
1	纵断面高程(mm)		± 15		20m	1	水准 仪测

续表 7.3.3-2

项次	项 目		规定值或允许偏差		检查频率		检验方法
			城市快速路、主干路	次干路、支路	范围	点数	
2	中线偏位(mm)		≤ 20		100m	1	经纬仪测
3	连续摊铺纵缝高差(mm)	标准差 σ (mm)	≤ 1.2	≤ 2	100m	1	测平仪测
		最大间隙 (mm)	≤ 3	≤ 5	20m	1	3m直尺和塞尺连续量2尺,取较大值
4	路面宽度(mm)		0~ -20		40m	1	尺测
5	横坡度(%)		± 0.30 且不反坡		20m	1	水准仪测
6	井框与路面高差(mm)		≤ 3		每座	1	十字法。用钢尺和塞尺量,取最大值
7	相邻板高差(mm)		≤ 3		20m	1	用钢尺和塞尺量

续表 7.3.3-2

项次	项 目	规定值或允许偏差		检查频率		检验方法
		城市快速路、主干路	次干路、支路	范围	点数	
8	纵缝直顺度(mm)	≤ 10		100m	1	用 20m 线和钢尺量
9	横缝直顺度(mm)	≤ 10		40m		
10	蜂窝麻面面积 ^a (%)	≤ 2		20m	1	观察和尺测

注:a 每 20m 查一块板的侧面。

7.3.4 公路工程预应力混凝土路面铺筑质量及检验项目、频率和方法应符合表 7.3.4 的规定,城镇道路工程预应力混凝土路面铺筑质量及检验项目、频率和方法应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

表 7.3.4 预应力混凝土路面铺筑质量及检验项目、频率和方法

项次	项 目		规定值或允许偏差		检查频率		检验方法
			高速公路、一级公路	其他公路	高速公路、一级公路	其他公路	
1	弯拉强度 ^a (MPa)	标准小梁弯拉强度	在合格标准之内		每班留 2 组~4 组试件,日进度 <500m 留 2 组; $\geq 500m$ 留 3 组; $\geq 1000m$ 留 4 组	每班留 1 组~3 组试件,日进度 <500m 留 1 组; $\geq 500m$ 留 2 组; $\geq 1000m$ 留 3 组	JTG E30 T0552、T0558

续表 7.3.4

项次	项 目		规定值或允许偏差		检查频率		检验方法
			高速公路、一级公路	其他公路	高速公路、一级公路	其他公路	
1	弯拉强度 ^a (MPa)	路面钻芯 劈裂强度 换算弯拉 强度	在合格标准之内		每车道每 3km 钻取 1 个芯样, 单独施工 硬路肩为 1 个车道	每车道每 2km 钻取 1 个芯样, 单独施工 硬路肩为 1 个车道	JTG E30 T0552、 T0561
2	板厚度(mm)		平均值 ≥ -5 ; 极值 ≥ -15 , <i>c</i> _v 值符合 设计规定		路面摊铺 宽度内每 100m 左右 各 2 处,连 续摊铺每 100m 单边 1 处	路面摊铺 宽度内每 100m 左右 各 1 处,连 续摊铺每 100m 单边 1 处	板边与 岩芯尺 测,岩 芯最终 判定
3	平整度	σ^b (mm)	≤ 1.32	≤ 2.00	所有车道连续检测		车载平 整度检 测仪
		IRI ^b (m/km)	≤ 2.20	≤ 3.30			
		最大间隙 Δh (mm) (合格率 应 $\geq 90\%$)	≤ 3	≤ 5	每半幅车道 100m 测 2 处, 每处 10 尺	每半幅车道 200m 测 2 处, 每处 10 尺	3m 直尺
4	抗滑构造 深度 <i>TD</i> (mm)	一般路段	0.7~1.1	0.5~0.9	每车道及硬 路肩每 200m 测 2 处	每车道 每 200m 测 1 处	铺砂法
		特殊路段 ^c	0.8~1.2	0.6~1.0			

续表 7.3.4

项次	项 目		规定值或允许偏差		检查频率		检验方法
			高速公路、一级公路	其他公路	高速公路、一级公路	其他公路	
5	摩擦系数 SFC	一般路段	≥ 50	—	行车道、超车道全长连续检测,每车道每 20m 连续检测 1 个测点	一般路段免检,仅检查特殊路段,每车道每 20m 连续检测 1 个测点,不足 20m 测 1 个测点	JTG E60 T0965
		特殊路段 ^c	≥ 55	≥ 50			
6	取芯法 测定抗冻 等级 ^d	严寒地区 ^f	≥ 250	≥ 200	每车道每 3km 钻取 1 个芯样	每车道每 5km 钻取 1 个芯样	JTG E30 T0552
		寒冷地区 ^f	≥ 200	≥ 150			

注:a 标准小梁弯拉强度用于评定施工配合比;路面钻芯劈裂强度用于评价实际面层密实度及弯拉强度。

b 动态平整度 σ 与 IRI 可选测一项。

c 高速公路、一级公路特殊路段指立交匝道、平交口、弯道、变速车道、组合坡度不小于 3%、桥面、隧道路面及收费站广场等处;其他公路系指设超高路段、加宽弯道段、组合坡度大于或等于 4% 坡道段、交叉口路段、桥面及其上下坡段、隧道路面及集镇附近路段等处。

d 钻芯法测定抗冻性仅在抗冰冻要求的地区必检。

f 严寒地区指当地最冷月平均气温低于 -8°C 的地区;寒冷地区指当地最冷月平均气温低于 $-8^{\circ}\text{C} \sim -3^{\circ}\text{C}$ 的地区。

7.3.5 预应力混凝土路面施工过程中的钢筋工程和模板工程的质量检查和验收应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

7.3.6 无粘结预应力钢绞线用锚具、夹具和连接器等材料的验收应符合现行行业标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规

程》JGJ 85 的有关规定。

7.3.7 当无粘结预应力钢绞线采用应力控制方法张拉时,应采用伸长值进行校核。实际伸长值与理论伸长值的差值应符合设计规定;当设计未规定时,其偏差应控制在 $\pm 6\%$ 以内,否则应暂停张拉,待查明原因并采取措旒予以调整后,方可继续张拉。对环形筋、U形等曲率半径较小的预应力束,其实际伸长值与理论伸长值的偏差宜通过试验确定。同时张拉多根无粘结预应力钢绞线时,应预先调整其单根无粘结预应力钢绞线的初应力,使相互之间的应力一致,再整体张拉,其偏差的绝对值不得超过按一个构件全部无粘结预应力钢绞线预应力总值的 5% 。

7.3.8 预应力混凝土冬期施工除应符合本规范的规定外,尚应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104 的有关规定。其他特殊气候条件下,预应力混凝土路面的施工应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

附录 A 预应力混凝土路面面板应力分析及 计算流程

A.1 荷载应力分析

A.1.1 预应力混凝土路面面板的临界荷位应为面板纵向边缘中部。

A.1.2 设计轴载在临界荷位处产生的荷载疲劳应力可按下式计算：

$$\sigma_{Lr} = k_f k_c \sigma_L \quad (\text{A.1.2})$$

式中： σ_{Lr} ——荷载疲劳应力(MPa)；

k_f ——考虑设计基准期内荷载应力累积疲劳作用的疲劳应力系数，按本规范附录 A 第 A.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，按道路等级查表 A.1.2 确定；

σ_L ——荷载应力(MPa)。

表 A.1.2 综合系数 k_c

道路等级	高速公路/ 快速路	一级公路/ 主干路	二级公路/ 次干路	三、四级公路/ 支路
k_c	1.30	1.25	1.20	1.10

A.1.3 设计轴载在临界荷位处产生的荷载应力可按下列公式计算：

$$\sigma_L = 1.02 \times 10^{-3} \times r^{0.60} h^{-2} P_s^{0.94} \quad (\text{A.1.3-1})$$

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

式中： r ——预应力混凝土板的相对刚度半径(m)；

h ——混凝土板的厚度(m)；

P_s ——设计轴载的单轴重(kN);

E_c ——混凝土弯拉弹性模量(MPa);

E_0 ——基层顶面当量回弹模量(MPa),按本规范附录 A 第 A.1.5 条计算。

A.1.4 设计基准期内的荷载疲劳应力系数可按下式计算:

$$k_f = (N_e)^\nu \quad (\text{A.1.4})$$

式中: N_e ——设计基准期内设计车道所承受的设计轴载累计次数;

ν ——与混合料性质有关的指数,在预应力混凝土路面中, $\nu = 0.057$ 。

A.1.5 新建道路的基层顶面当量回弹模量可按下列公式计算:

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

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

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

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

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

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

式中: E_0 ——路床顶面的当量回弹模量(MPa);

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

E_1 、 E_2 ——基层和底基层或垫层回弹模量(MPa);

h_x ——基层和底基层或垫层的当量厚度(m),按式(A.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(A.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(A.1.5-5)和式(A.1.5-6)计算。

底基层和垫层同时存在时,可先按式(A.1.5-2)~式(A.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式(A.1.5-1)~式(A.1.5-6)进行计算。

A.1.6 在旧柔性路面上铺筑预应力混凝土面层时,原柔性路面顶面的当量回弹模量可按下式计算:

$$E_t = 13739\omega_0^{-1.04} \quad (\text{A.1.6})$$

式中: ω_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)。

A.1.7 最重轴载在面层板临界荷位处产生的最大荷载应力可按下式计算:

$$\sigma_{L,\max} = k_c \sigma_{Lm} \quad (\text{A.1.7})$$

式中: $\sigma_{L,\max}$ ——最重轴载在面层板临界荷位处产生的最大荷载应力(MPa);

σ_{Lm} ——最重轴载 P_m 在四边自由板临界荷位处产生的最大荷载应力(MPa),按式(A.1.3-1)计算,式中的设计轴载 P_s 改为最重轴载 P_m (以单轴计,kN)。

A.2 温度应力分析

A.2.1 在临界荷位处产生的温度疲劳应力可按下式计算:

$$\sigma_{\Delta Tr} = k_t \sigma_{\Delta T,\max} \quad (\text{A.2.1})$$

式中: $\sigma_{\Delta Tr}$ ——路面面板温度疲劳应力(MPa);

k_t ——考虑温度应力累计疲劳作用的温度疲劳应力系数;

$\sigma_{\Delta T, \max}$ ——最大温度梯度时面层板产生的最大温度应力 (MPa)。

A. 2. 2 温度疲劳应力系数可按下式计算：

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{\Delta T, \max}} \left[a_t \left(\frac{\sigma_{\Delta T, \max}}{f_r} \right)^{b_t} - c_t \right] \quad (\text{A. 2. 2})$$

式中： a_t 、 b_t 、 c_t ——回归系数，按所在地区的公路自然区划查表 A. 2. 2 确定。

表 A. 2. 2 回归系数 a_t 、 b_t 、 c_t

系数	公路自然区划					
	II	III	IV	V	VI	VII
a_t	0.828	0.855	0.841	0.871	0.837	0.834
b_t	1.323	1.355	1.323	1.287	1.382	1.270
c_t	0.041	0.041	0.058	0.071	0.038	0.052

A. 2. 3 最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力可按下式计算：

$$\sigma_{\Delta T, \max} = \frac{E_c \alpha_c h T_g}{2} B_L \quad (\text{A. 2. 3})$$

式中： E_c ——混凝土弯拉弹性模量(MPa)；

α_c ——混凝土温度膨胀系数(m/°C)；

T_g ——混凝土面板的最大温度梯度计算值，按本规范表 3. 0. 6 取用；

B_L ——综合温度翘曲应力和内应力的温度应力系数，按本规范 A. 2. 4 条确定。

A. 2. 4 综合温度翘曲应力和内应力的温度应力系数可按下列公式计算：

$$B_L = 1.77e^{-4.48h} C_L - 0.131(1 - C_L) \quad (\text{A. 2. 4-1})$$

$$C_L = 1 - \frac{\sinh t \cosh t + \cosh t \sinh t}{\cosh t \sinh t + \sinh t \cosh t} \quad (\text{A. 2. 4-2})$$

$$t = \frac{L}{3r} \quad (\text{A. 2. 4-3})$$

式中： C_L ——面层板的温度翘曲应力系数，按式(A. 2. 4-2)计算；
 L ——面层板的横缝间距，即板长(m)；
 r ——预应力混凝土板的相对刚度半径(m)。

A. 3 板底摩阻应力分析

A. 3. 1 最大温度梯度时混凝土板的板底摩阻应力可按下式计算：

$$\sigma_F = \mu_r \rho \chi \quad (\text{A. 3. 1})$$

式中： σ_F ——板底摩阻应力(MPa)；
 μ_r ——板底摩擦系数，宜现场实测；
 ρ ——混凝土密度(g/mm^3)；
 χ ——计算荷位距板端的距离(m)，宜取路面面板长度的1/2。

A. 4 预应力混凝土路面面板厚度及配筋计算

A. 4. 1 收集交通资料，应包括：初始年日平均交通量和交通组成（各类车辆的比例）、方向分配系数（来向和去向的比例）、车道分配系数（每个方向有两个以上车道时每个车道的比例）以及交通量的年平均增长率。

A. 4. 2 利用收集的交通资料，应按本规范式(3. 0. 1)计算设计车道的初始年日设计轴载作用次数 N_s ，按本规范表 3. 0. 2 确定公路的交通荷载分级，按本规范表 3. 0. 3-1 确定其设计使用年限。根据公路的交通组织和车道宽度，由本规范表 3. 0. 3-2 选定轮迹横向分布系数 η 。然后，按本规范式(3. 0. 3)计算设计车道使用年限内的设计轴载累计作用次数 N_c 。

A. 4. 3 初拟路面结构，应包括：路基类型和土质、垫层和厚度、基层类型和厚度，并按本规范第 4. 1. 1 条、第 4. 1. 2 条的规定初拟面板厚度和平面尺寸。

A. 4. 4 应按本规范表 3. 0. 5 所列混凝土弯拉强度标准值的最低

要求,设计混凝土混合料组成,同时根据现场试验确定混凝土弹性模量 E_c 。

A.4.5 确定基层顶面当量回弹模量 E_t 。对于新路,按初拟路面结构,应按本规范式(A.1.5-1)计算基层顶面当量回弹模量。当在旧柔性路面上铺筑预应力混凝土面层时,按本规范式(A.1.6)计算原柔性路面顶面当量回弹模量。

A.4.6 计算荷载应力 σ_{Lr} 及 $\sigma_{L,max}$ 。按本规范式(A.1.3-1)分别计算设计轴载及最重轴载产生的荷载应力 σ_L 及 σ_{Lm} 。按照交通等级,选定综合系数 k_c 。由第2步得到的 N_c ,按本规范式(A.1.4)计算疲劳荷载应力系数 k_f 。按本规范式(A.1.2)将各项相乘后即得到荷载疲劳应力 σ_{Lr} 。按本规范式(A.1.7)将各项相乘后即得到最大荷载应力 $\sigma_{L,max}$ 。

A.4.7 计算温度应力 $\sigma_{\Delta Tr}$ 及 $\sigma_{\Delta T,max}$ 。按本规范式(A.2.4-1)计算综合温度翘曲应力和内应力的温度应力系数 B_L ,按本规范公路所在自然区划表3.0.6选取最大温度梯度 T_g ,按本规范式(A.2.3)计算最大温度梯度时的温度应力 $\sigma_{\Delta T,max}$,按本规范式(A.2.2)计算温度疲劳应力系数 k_t ,最后由本规范式(A.2.1)计算确定温度疲劳应力 $\sigma_{\Delta Tr}$ 。

A.4.8 计算预应力混凝土路面板底摩阻应力 σ_F 。宜通过现场试验确定 μ_r ,按本规范式(A.3.1)计算板底摩阻应力 σ_F 。

A.4.9 按本规范式(4.1.3-1)计算确定所需的平均压应力值 σ_p 。当求得的平均压应力值 σ_p 大于4.0MPa,应增大路面板厚,重复第A.4.5条以后的计算,直至满足所求平均压应力值 σ_p 小于或等于4.0MPa。按本规范式(4.1.3-2)校核路面结构极限状态,并应满足要求;当不满足要求时,应重新进行路面结构设计。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

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

引用标准名录

- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 《道路硅酸盐水泥》GB 13693
- 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370
- 《混凝土膨胀剂》GB 23439
- 《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1
- 《路面稀浆罩面技术规程》CJJ/T 66
- 《城镇道路路面设计规范》CJJ 169
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85
- 《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92
- 《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104
- 《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40
- 《公路路基施工技术规范》JTG F10
- 《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40
- 《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20
- 《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30
- 《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161
- 《公路工程土工合成材料 防水材料》JT/T 664

中华人民共和国国家标准

预应力混凝土路面工程技术规范

GB 50422 - 2017

条文说明



编制说明

《预应力混凝土路面工程技术规范》GB 50422—2017,经住房城乡建设部 2017 年 2 月 21 日以第 1484 号公告批准发布。

本规范是在《预应力混凝土路面工程技术规范》GB 50422—2007 的基础上修订而成,上一版的主编单位是东南大学,参编单位是江苏省交通厅、江苏省交通规划设计院、南京东大现代预应力工程有限责任公司、江苏新筑预应力工程有限责任公司和西安公路研究所,主要起草人是黄卫、吕志涛、郭宏定、钱振东、钱国超、张健康、冯健、栾文彬、张晋、牛赫东和伍石生。本次修订的主要技术内容是:①将预应力混凝土路面交通等级由四级改为五级,增加了极重级交通荷载,调整了三、四级公路的设计基准期;②提高了预应力混凝土路面设计安全等级要求,并相应地调整了路面结构的目标可靠指标和目标可靠度;③增加了预应力混凝土路面结构极限状态表达式作为路面结构设计验算公式;④明确了预应力混凝土路面质量验收指标;⑤在附录预应力混凝土路面面板应力分析中,增补了极限状态下荷载应力计算公式,修订了最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力计算公式。

本规范修订过程中,编制组进行了预应力混凝土路面工程技术的调查研究,认真总结了近年来无粘结预应力混凝土路面领域成熟的新材料、新成果、新技术,同时注意与相关的现行行业技术规范 and 标准进行协调统一。

为便于广大施工、监理、设计、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《预应力混凝土路面工程技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明,对条

文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与规范正文等同的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则	(51)
2	术语和符号	(52)
2.1	术语	(52)
2.2	符号	(52)
3	基本规定	(53)
4	路面结构设计	(57)
4.1	几何尺寸	(57)
4.2	配筋	(65)
4.3	滑动层	(67)
4.4	伸缩缝	(70)
4.5	枕梁	(71)
4.6	锚固区	(72)
4.7	后浇带	(75)
5	材 料	(76)
5.1	混凝土材料	(76)
5.2	普通钢材和无粘结预应力钢绞线	(76)
5.3	锚具系统	(78)
5.4	接缝材料	(78)
5.5	外加剂	(79)
6	施工要求	(80)
6.1	施工机具	(80)
6.2	施工准备	(83)
6.3	施工工序	(84)
6.4	枕梁和伸缩缝施工	(85)

6.5	滑动层铺设	(88)
6.6	立模板、布置钢筋	(88)
6.7	预应力混凝土路面的浇筑	(89)
6.8	无粘结预应力钢绞线张拉	(90)
6.9	养护	(91)
6.10	后浇带混凝土施工	(91)
6.11	伸缩缝整修及填缝	(92)
6.12	特殊气候条件下的施工	(92)
7	质量验收	(93)
7.2	滑动层	(93)
7.3	混凝土面层	(93)
附录 A	预应力混凝土路面面板应力分析及计算流程	(94)

1 总 则

1.0.1 针对我国优质路用沥青的不足和水泥资源相对丰富,以及水泥混凝土路面研究取得了可喜的成果,有着比较完善的设计、施工技术规范的现状,将水泥混凝土路面应用于高等级公路是我国公路发展的一个选择。预应力混凝土路面具有很多传统水泥混凝土路面无法比拟的优点,随着预应力技术的发展,为适应交通运输的发展、改善传统混凝土路面的不足,对预应力混凝土路面的研究成果进行总结,修订了本规范。

1.0.2 由于预应力混凝土路面是采用在混凝土路面面板施加预应力的方式修筑的,因此在设计时必须考虑预应力的的大小,无粘结预应力钢绞线的张拉方式等因素;同时考虑到我国公路运输繁忙和超载现象严重的情况,加之预应力混凝土施工工艺及施工管理水平尚待提高,以及对路面性能影响较大的基层摩阻力等因素的影响,预应力混凝土路面的建设应做出合理、经济的选择。

1.0.3 本规范涉及的标准较多,除在规范中提到的《混凝土结构设计规范》GB 50010、《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40、《城镇道路路面设计规范》CJJ 169、《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30、《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20、《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1、《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92、《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119、《混凝土膨胀剂》GB 23439 等有关标准外,还有《公路自然区划标准》JTJ 003、《公路工程技术标准》JTG B01、《公路排水设计规范》JTG/T D33、《公路路基设计规范》JTG D30、《公路水泥混凝土路面养护技术规范》JTJ 073.1、《公路水泥混凝土路面接缝材料》JT/T 203 等多部国家现行标准。

2 术语和符号

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,可参阅现行国家标准《道路工程术语标准》GBJ 124 和国家现行标准《公路工程名词术语》JTJ 002 的规定;有关结构工程的专业性名词术语可参阅现行国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132、《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083 等的有关规定。

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“材料性能”、“作用、作用效应及承载力”、“几何参数”及“计算参数及其他”等分类列出。

3 基本规定

3.0.1 目前,公路上的超载现象较为严重,特别是一些行驶特重轴载车辆或特种车辆的公路。由于预应力混凝土路面的疲劳损伤量对轴重很敏感(与轴重比成 16 次方的关系),对于特重轴载采用 100kN 设计轴载进行设计时,基准期内的设计轴载累计作用次数往往会达到天文数字。为了避免出现这种情况,对于极重交通等级的公路,建议选取货车中占主要份额特重车型的轴载作为设计轴载。

轴载换算公式是以等效疲劳损伤原则推导出的。对于同一个路面结构,轴载 P_i 和设计轴载 P_s 在只产生相同疲劳损伤时,相应的作用次数 N_i 和 N_s 之间的关系为:

$$\frac{N_i}{N_s} = \left(\frac{\sigma_{pi}}{\sigma_{ps}} \right)^{\frac{1}{\nu}} \quad (1)$$

式中: σ_{pi} 、 σ_{ps} ——相应为轴载 P_i 和设计轴载 P_s 在同一个路面结构内产生的荷载应力;

ν ——材料疲劳指数,取值见附录第 A.1.4 条。

以轴载与应力的关系式代入式(1),即可得到轴载换算公式(3.0.1)。

双联轴驶过混凝土面层板时,临界荷位处会出现二次应力峰值;三联轴驶过时,则会出现三次应力峰值。由于相邻轴产生负弯矩,应力峰值要比单轴作用时小(降低 10%~14%)。邻轴的应力影响(降低)程度,与基层刚度和接缝传荷能力等因素有关,计算分析较为复杂。同时,根据轴载调查发现,多联轴各根轴之间的轴重差异较大。双联轴的前轴重与平均轴重之比平均为 1.03;三联轴的前轴重与平均轴重之比平均为 1.05。综合这两方面因素,为了

简化计算,对多联轴的轴载换算做偏保守的处理,忽略邻轴的影响(应力降低作用),双联轴按 2 次单轴计,三联轴按 3 次单轴计,从而避免考虑多联轴的轴重不均匀问题,并可直接利用称重站的轴载数据。

3.0.2 本次规范修订将交通荷载分为 4 个等级。除了按设计基准期内 100kN 设计轴载的累计作用次数分为特重、重、中等 3 个等级外,增加了极重级,以考虑承受特重轴载车辆或特种车辆作用(设计轴载超过 100kN)时的特殊情况,其中预应力混凝土路面不用于轻交通荷载等级路面。

3.0.3 本次规范修订根据现行行业标准《公路工程技术规范》JTG B01 将道路设计使用年限进行调整,并考虑到三、四级公路的实际使用寿命及功能要求,将三级公路的设计基准期调低至 15 年,四级公路的设计基准期调整为 10 年,同时把城镇道路设计基准期也纳入到本规范。

3.0.4 公路工程结构的设计安全等级,是根据结构破坏可能产生的后果的严重程度划分,一级为破坏后果很严重、二级为严重、三级为不严重。本规范依据国家现行标准《公路工程结构可靠度设计统一标准》GB/T 50283 和《城镇道路路面设计规范》CJJ 169,规定了公路与城镇道路工程结构的设计安全等级,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,本规范对现行国家标准《公路工程结构可靠度设计统一标准》GB/T 50283 的规定作了调整,将一级公路路面的安全等级提升为一级,二级公路路面的安全等级提升为二级,三级和四级公路路面的安全等级列为三级,并相应地调整了路面结构的目标可靠指标和目标可靠度。

考虑到道路的地位和功能,条文还规定二级及二级以下的安全等级道路可根据结构破坏可能产生的很严重后果(如具有政治、经济、国防或抢险救灾等重要作用,以及危及人的生命、造成经济损失、对社会和环境产生影响等),提高一级设计安全等级。

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。

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，需提高混凝土面层的设计厚度要求；而提高变异水平等级，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。但对于高速公路和城市快速路的路面，为保证优良的行驶质量，不宜采用高变异水平等级。

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。由滑模或轨道式机械化施工，并严格按规范和操作规程等进行施工质量控制和管理的工程，可选用低变异水平等级。由滑模机械化施工，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，而施工质量控制严格和管理规范的工程，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。

按选定的变异等级进行设计，同时设计文件也应提示施工时就应采取相应的质量控制和管理措施，以保证主要设计参数的变异系数不大于表 3.0.4-2 中相应等级的规定。

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 3.0.4-3 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 3.0.4-2)，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。

3.0.5 利用水泥混凝土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,如表 3.0.5 所示。混凝土材料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,可用于弯拉强度的经验关系表述。在设计时,混凝土弯拉强度和模量值应根据现场试验确定,条件不具备时也可参考表 1 的经验值选用。

表 1 水泥混凝土强度关系经验参考值

弯拉强度标准值 f_r (MPa)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
抗压强度 f_c (MPa)	24.2	29.7	35.8	41.8	48.4
弯拉弹性模量 E_c (10^3 MPa)	25	27	29	31	33

3.0.7 尽管预应力混凝土路面在较弱的地基上,却仍然表现出优良的性能,但考虑到路面面板厚度较小,而板长又较大,为了防止路面被破坏,仍应采用较强的地基,路基、垫层、基层、路面横向坡度、路肩、排水及材料选型与要求和普通混凝土路面相同。

4 路面结构设计

4.1 几何尺寸

4.1.1、4.1.2 对预应力混凝土路面,路面面板长取 90m~210m,可大大减少路面板缝数量,从而改善行车平稳性和舒适性。路面面板越长,由预应力损失和板底摩阻力造成的影响就越大,预应力在板内的效果就越差,因此,板底摩阻力小,板长就可取较大值。路面面板纵向预应力的施加大大提高了路面的纵向承载能力,但对横向承载能力几乎无影响。当道路路幅较宽时,面板的横向应力较大,成为主要的控制应力,因此规定路面面板宽不宜超过标准两车道的宽度,可不设置横向无粘结预应力钢绞线。预应力的存在使路面面板整体性较强,减少了横向开裂的可能性,而且,即使路面面板因荷载产生裂缝也能自行闭合,提高了路面的耐久性。

上述结论可通过对荷载下预应力混凝土路面面板的应力分析得出(本章有关应力分析及相关结论均根据国内已修建的两条预应力混凝土路面,即 1997 年修建的南京禄口试验路和 1998 年修建的徐州贾汪试验路的实际工程情况并通过有限元分析得出):

在板宽确定的情况下(模型取板宽 7.2m),路面面板长应由所施加的预应力大小和温差引起的纵向最大拉应力共同来控制。如图 1 所示,随板长的增加,板内横纵向拉应力都有所增加,但横向拉应力增加量非常小(板长每增长 20m,横向拉应力仅增加约 0.02MPa),纵向拉应力的增加几乎与板长成正比;横向拉应力比纵向拉应力大很多。

预应力大小对于路面面板的影响,如图 2 所示。由该图可见,

随预应力值的增大,板的上翘值在减小。因此,施加预应力可使板底各点的位移趋向一致,增强了路面的整体性,减小了路面面板下的不均匀沉降或脱空现象出现的可能性。

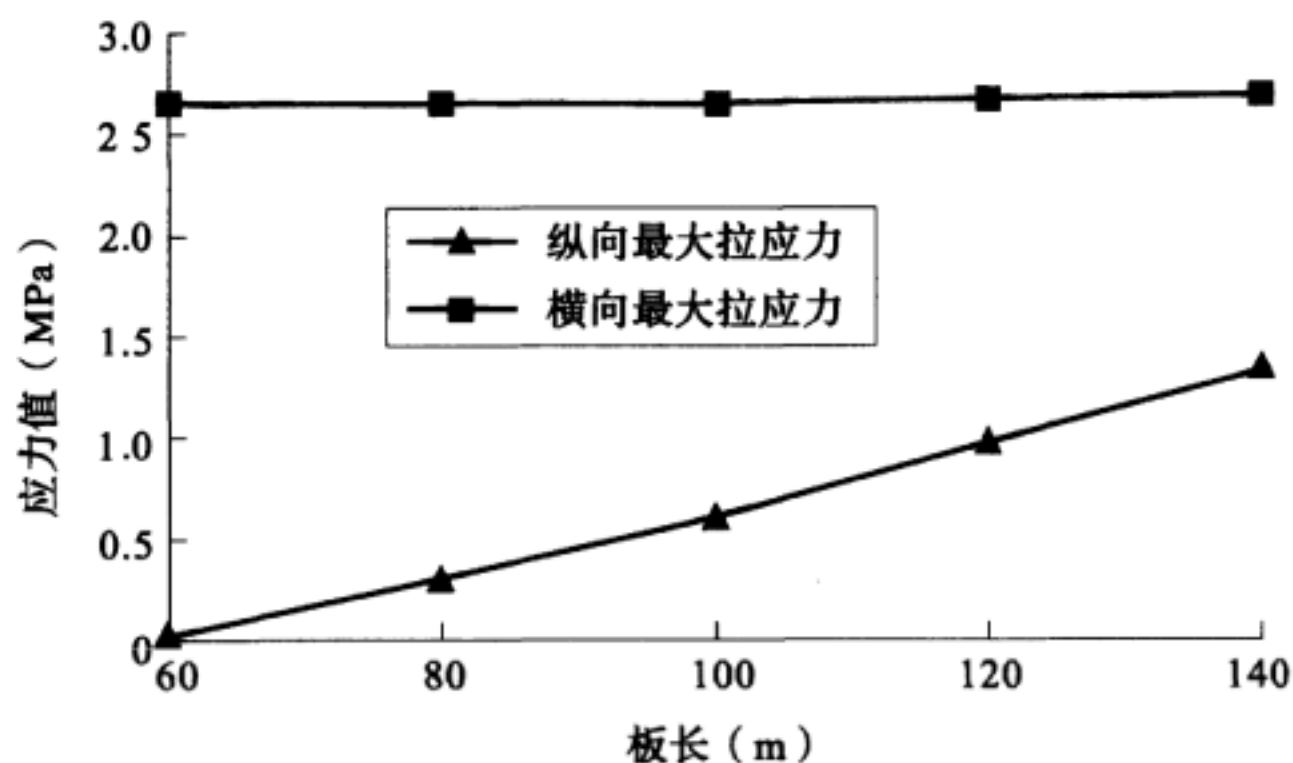


图1 板长的影响

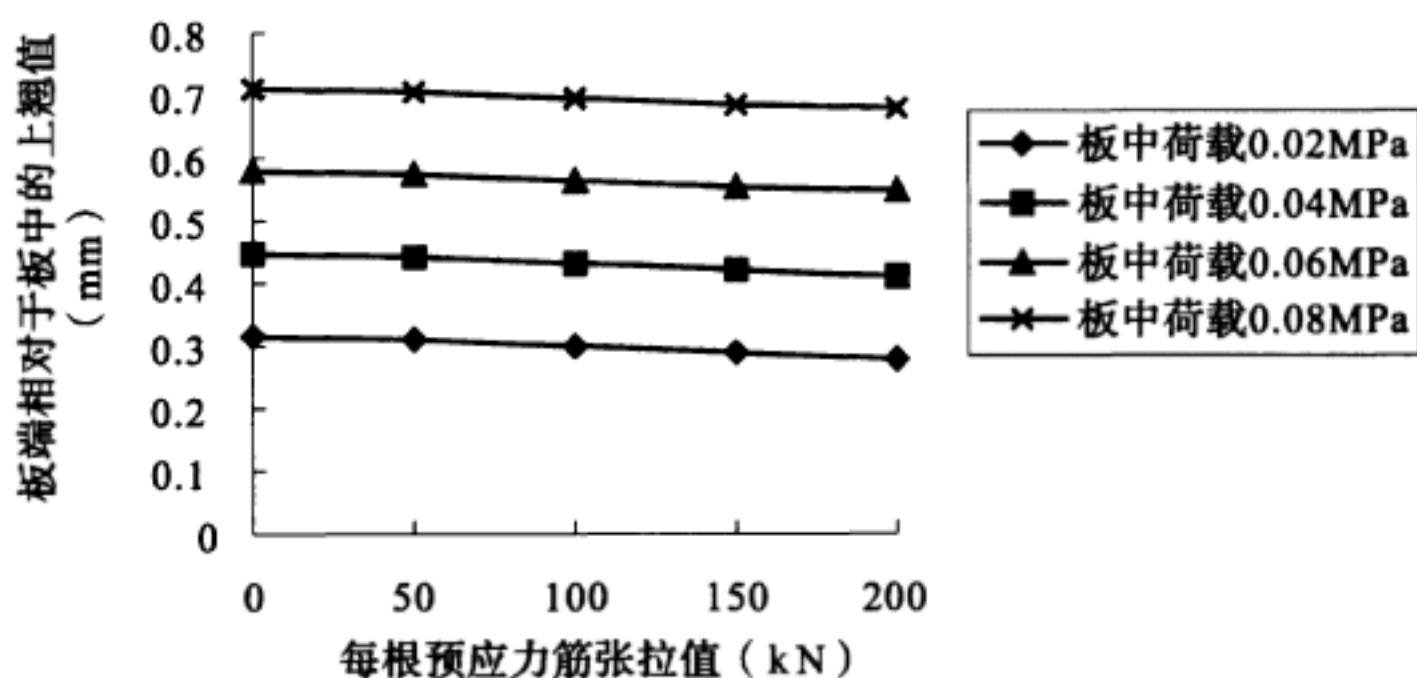


图2 预应力对板挠度的影响

对于横向预应力各国意见不统一,据国外资料介绍,认为当板宽不超过两个标准车道宽度时,可不设横向预应力,但为了安全起见,要求在横向配置一定数量的防止开裂并起到固定、支撑纵向无

粘结预应力钢绞线的构造钢筋。对于横向预应力的确定,根据计算所得的最大横向应力与混凝土的设计弯拉强度(建议取80%的抗弯拉强度)的比较而定。如果不需施加横向预应力,则需配置横向钢筋,可按现行行业标准《公路水泥混凝土路面设计规范》JTG D40 或《城镇道路路面设计规范》CJJ 169 中连续配筋混凝土路面选用。当路面面板的宽度较大时,可采用双向预应力以提高抗裂能力。

无粘结预应力钢绞线的混凝土保护层厚度不宜小于50mm;锚具系统的最小混凝土保护层厚度应符合现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的有关规定。保护层厚度的规定是为了满足结构构件的耐久性要求和对受力钢筋有效锚固的要求。预应力混凝土路面面板的最小厚度值,应能给无粘结预应力钢绞线提供最小的保护层厚度,以防开裂、锈蚀,同时需能满足板在荷载下的挠度变形设计要求。

对于预应力混凝土路面,由于预应力的施加,提高了路面面板截面的实际弯拉强度,因而,在相同的荷载作用下,预应力路面面板的厚度较普通混凝土路面面板取得更薄。根据国内外的工程理论分析,并结合我国公路运输繁忙和超载现象严重的情况,加之施工工艺及施工管理水平及各地施工环境相异等因素,推荐板厚取值为140mm~240mm,板初估厚度为相应素混凝土路面面板厚的70%~75%。

国外关于预应力混凝土路面的设计与施工研究开展得较早,并取得了很多经验。

最早的预应力混凝土路面是法国于1946年修建的。在法国,只有一条试验路是板边薄于板中的,其他都是由平均约150mm的等厚板组成。美国最著名的 Patuxent River Naval Air Station 预应力混凝土道面是由 Bureau of Yards and Docks 于1953年~1954年修建的,长152.4m、宽3.66m、厚178.1mm,其后又修建了多条试验路,其中1980年在芝加哥 O'Hare 国际机场修建的预

应力混凝土罩面(240m长、45m宽、200mm~225mm厚的跑道),是美国首次将预应力混凝土用于商用机场道面。其他国家如比利时、奥地利等都于20世纪50年代前后开始修建预应力混凝土路面。巴西于1972年~1978年在里约热内卢修建了一条180mm厚的预应力混凝土机场道面;荷兰、瑞士也都修筑了预应力混凝土路面。

4.1.3 预应力混凝土路面的设计以混凝土疲劳断裂为设计极限状态。由于预应力事先在路面面板工作截面上施加压应力,当荷载作用于路面时,混凝土截面产生的拉应力一部分由预应力产生的压应力抵消,板截面上的应力较之普通混凝土板路面低,从而提高了混凝土的抗弯拉强度,在荷载重复作用下,预应力混凝土路面设计应满足本规范式(4.1.3-1)的要求。

预应力混凝土路面面板内荷载应力、温度应力和板底摩阻应力的处理参考本规范附录A。

国外关于预应力混凝土路面结构设计也有采用混凝土疲劳应力比SR指标来进行的。预应力混凝土路面面板的厚度按SR指标设计时按下式计算:

$$SR = \frac{\sigma_{\Delta T} + \sigma_T + \sigma_F - \sigma_p}{f_t + \sigma_p - \sigma_F} \quad (2)$$

式中:SR——混凝土疲劳应力比,可按表2取值;

f_t ——混凝土设计弯拉强度(MPa)。

表2 混凝土净工作拉应力与净开裂应力的比值

SR	容许重复次数	SR	容许重复次数
0.51	400000	0.56	100000
0.52	300000	0.57	75000
0.53	240000	0.58	57000
0.54	180000	0.59	42000
0.55	130000	0.60	32000

续表 2

SR	容许重复次数	SR	容许重复次数
0.61	24000	0.68	3500
0.62	18000	0.69	2500
0.63	14000	0.70	2000
0.64	11000	0.71	1500
0.65	8000	0.72	1100
0.66	6000	0.73	850
0.67	4500	0.74	650

路面中所施加的预应力大小主要由三个因素决定：交通荷载；由温度和湿度所引起的翘曲约束；板收缩期间的板底摩阻约束。预应力混凝土路面常用的预应力值可参考如下：

(1)路面面板内仅使用纵向无粘结预应力钢绞线或纵、横向都配无粘结预应力钢绞线时，一般为 0.63MPa~2.87MPa；机场道面内平均值可达 3.15MPa，当采用斜向钢筋来产生纵向预应力时，平均值约为 1.93MPa。

(2)横向预应力还未被广泛采用，一般为 0~1.4MPa，当板宽不大于两个标准车道宽度时，可不设横向预应力。

(3)从无粘结预应力钢绞线的实际间距和经济使用方面考虑，如果求得的预应力值 $\sigma_p > 4.0\text{MPa}$ ，则需增大路面面板厚度，重新计算。

纵向预应力的处理模型应符合下列规定：

(1)无粘结预应力钢绞线仅在锚固端与混凝土结合，在其他地方会发生纵向相对滑动；

(2)对路面面板施加预应力时，将预应力作为一种外力加在路面面板的锚固端，扣除无粘结预应力钢绞线与周围接触的混凝土或套管之间的摩阻损失（图 3，图中未画出板底的摩阻力）。

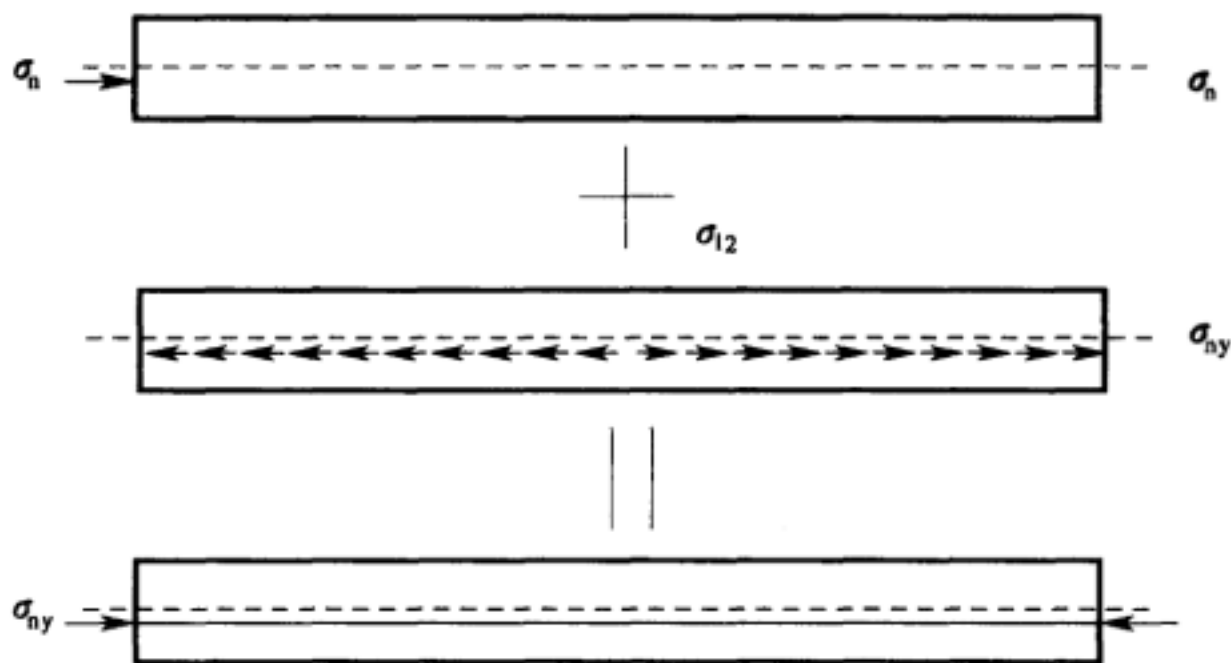


图3 预应力施加分解

σ_n —名义预压应力； σ_{l2} —无粘结预应力钢绞线摩阻损失；
 σ_{hy} —扣除损失后的预压应力

预应力损失的处理模型应符合下列规定：

(1) 预应力混凝土路面的预应力损失计算按本规范第 4.2.2 条的规定确定，本规范第 4.2.2 条中的各项应力损失不是同时发生的，预应力损失值的组合可根据应力损失出现的先后与全部完成所需要的时间，按预施应力和使用阶段来进行区分。对于后张预应力混凝土路面，预施应力阶段和使用阶段的预应力损失可按下列公式计算：

$$\text{预施应力阶段: } \sigma_1^I = \sigma_{11} + \sigma_{12} + \sigma_{14} \quad (3)$$

$$\text{使用阶段: } \sigma_1^{II} = \sigma_{13} + \sigma_{15} \quad (4)$$

(2) 在有限元模型分析中，应将以上计算的 σ_{12} 、 σ_{13} 、 σ_{14} 、 σ_{15} 等效为一组和预施应力方向相反的外力，分别作用于锚固端混凝土上。

钢筋的处理模型应符合下列规定：

(1) 预应力混凝土路面面板应采用整体式模型，其弹性矩阵可按下列式计算：

$$[D] = [D_c] + [D_s] \quad (5)$$

式中： $[D_c]$ ——混凝土的应力应变矩阵；

$[D_s]$ ——分布钢筋的应力应变关系矩阵。

(2)模型可不考虑混凝土的开裂,按一般均质体计算,混凝土的应力应变矩阵 $[D_c]$ 可按下式计算:

$$[D_c] = \begin{bmatrix} D_1 & D_2 & D_2 & 0 & 0 & 0 \\ & D_1 & D_2 & 0 & 0 & 0 \\ & & D_1 & 0 & 0 & 0 \\ \text{对} & & & D_3 & 0 & 0 \\ & \text{称} & & & D_3 & 0 \\ & & & & & D_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: $D_1 = \frac{E_r(1-\nu_c)}{(1+\nu_c)(1-2\nu_c)}$, $D_2 = \frac{\nu_c E_r}{(1+\nu_c)(1-2\nu_c)}$, $D_3 = \frac{E_r}{2(1+\nu_c)}$, E_r 和 ν_c 分别为混凝土的弹性模量和泊松比。

(3)对于等效的分布钢筋,其应力-应变关系矩阵 $[D_s]$ 可按下式计算:

$$[D_s] = E_s \begin{bmatrix} \rho_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & \rho_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & \rho_z & 0 & 0 & 0 \\ \text{对} & & & 0 & 0 & 0 \\ & \text{称} & & & 0 & 0 \\ & & & & & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: E_s ——钢筋的弹性模量;

ρ_x, ρ_y, ρ_z ——沿 x, y 和 z 方向的配筋率。

温度应力的处理模型应符合下列规定:

(1)同一时刻,板截面上温度不一致产生的翘曲应力,在预应力混凝土路面模型中宜采用热弹性三维有限元方法;

(2)不同时刻,由于温度上升或下降时引起的热胀冷缩而在板内产生的热压应力或收缩应力,在预应力混凝土路面模型中假定为均匀变化。

板底摩阻力的处理模型应符合下列规定:

预应力混凝土路面,板底摩阻力对路面受力影响很大,必须予以考虑。板底摩阻力主要由以下三方面的因素引起:

- (1)由施加预应力引起的板底摩阻力；
- (2)由温度引起的板底摩阻力；
- (3)由车辆荷载引起的板底摩阻力(可忽略)。

根据线性叠加原理,在分析处理时将上述三项同时考虑进去,进行一次迭代求解板底摩阻力(选取的是每一断面的最大值)。

预应力混凝土路面在预应力、温度应力、荷载应力的共同作用下,摩阻力沿板底并非均匀分布,板底摩擦系数为变量,与板底位移有关。图4为板底摩阻力随板底位移的变化情况,板底位移增大时,板底摩阻力也随之增大,当位移达到 w_a 时板底摩阻力最大,位移再增大,板底摩阻力趋于定值 τ_a 。在路面面板模型中假定在板中处不发生位移,即板中附近处摩阻力很小,板端处最大。

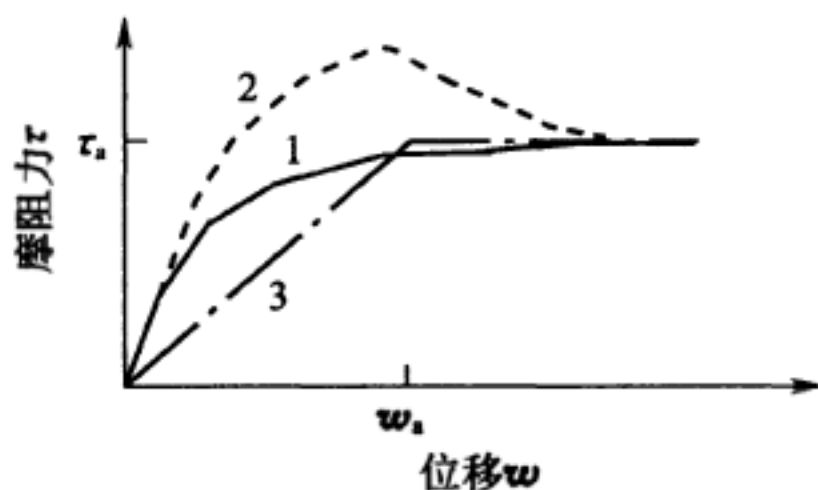


图4 板底摩阻力随位移变化图
1—砂层;2—压实的砾砂;3—理论

对于细砂滑动层, $w_a \approx 0.6\text{mm}$,可采用图4中的理论曲线3用于板底摩阻力的分析。在分析过程中,采用以下做法:

(1)在沿板长的某个断面上,假定板底摩阻力 τ 是均匀分布的,该断面中的摩擦系数的取值原则为:先在不考虑摩阻力的情况下,计算出板底各结点的位移,然后根据每一断面的水平向(沿板长)最大位移确定摩擦系数。 $w \geq 0.6\text{mm}$ 时, $\mu_r = f$ (给定值);当 $w \leq 0.6\text{mm}$ 时, $\mu_r = w \cdot f / 0.6$ 。根据各结点的形函数,分配摩阻力,进行第二次计算,此时已考虑了摩阻力的影响;

- (2)只考虑沿板长方向的板底摩阻力;

(3)以板中处位移为基准,用其他各点相对于板中的位移来决定摩擦系数的大小(因垂直荷载的影响很小,忽略由荷载组合引起的板底摩阻力)。

预应力混凝土路面模型在进行地基处理时,可采用温克勒地基或弹性半空间地基模型,并在计算分析时假定:在变形过程中,板与地基始终紧密接触,无间隙。

预应力混凝土路面模型在进行地基反力集度处理时,地基反力集度的计算应与所采用的地基模型相对应,应根据地基的计算模型,在已知位移的情况下求力的运算。

4.2 配 筋

4.2.1~4.2.4 对预应力混凝土路面的无粘结预应力钢绞线,其预应力损失值的计算原则和公式按现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 的有关规定执行。无粘结预应力钢绞线与塑料外包层之间的摩擦系数 μ 及考虑塑料外包层每米长度局部偏差对摩擦影响的系数 κ ,是根据中国建筑科学研究院结构所和北京市建筑工程研究院等单位的试验结果及工程实测数据,并参考了国外的试验数据确定的。

4.2.5 平均预压应力指扣除全部预应力损失后,在混凝土总截面面积上建立的平均预压应力。

4.2.6 无粘结预应力钢绞线配置在混凝土路面面板板厚 $1/2$ 下 $10\text{mm}\sim 30\text{mm}$ 范围内,正好与面板在荷载作用下的板内拉应力进行抵消,从而减少板的竖向翘曲位移,有利于增强面板的承载能力;从应力的角度看,作用于板中部偏下的位置能增大板底的压应力,充分利用预应力。

对预应力混凝土路面无粘结预应力钢绞线在板中的作用位置进行有限元分析:

如图5所示,在只考虑重力的情况下,对于作用于板中部偏下处的预应力可减少板的竖向翘曲位移,从而有利于面板承载力的增强。

板中无粘结预应力钢绞线沿路面纵向布设,一般采用等间距布置;钢筋的间距除满足构造要求外,还需根据实际情况布设。

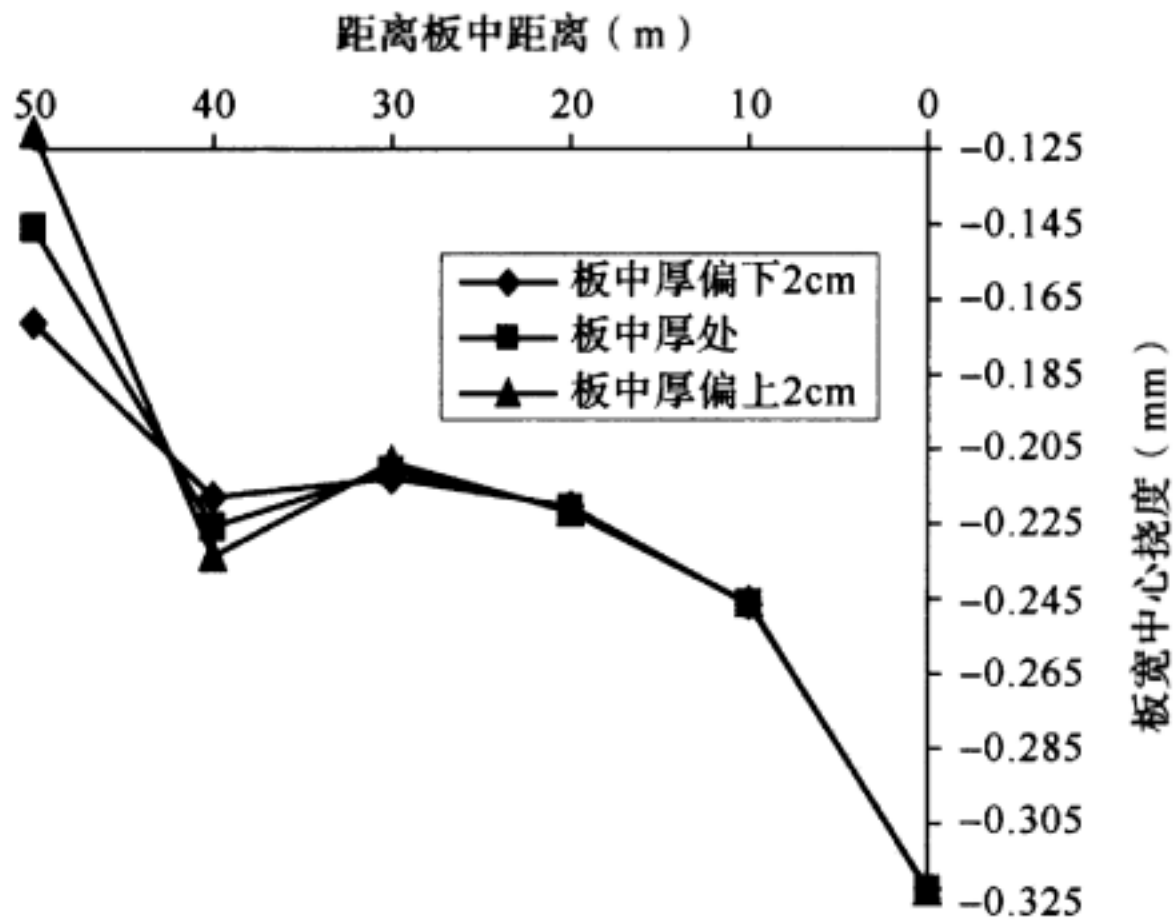


图 5 预应力作用位置影响

4.2.7 横向钢筋采用普通钢筋,一般采用等间距布置。通过分析横向配筋率对板内应力值的影响关系表明(图 6):随着横向配筋率的增大,板内最大主应力也随着增大,但幅度不大。因此,配置横向钢筋并非能减小板内应力,主要是用于支撑纵向无粘结预应力钢绞线,防止路面的纵向开裂,增强路面的整体性。选择适当的配筋率在设计中应加以考虑。

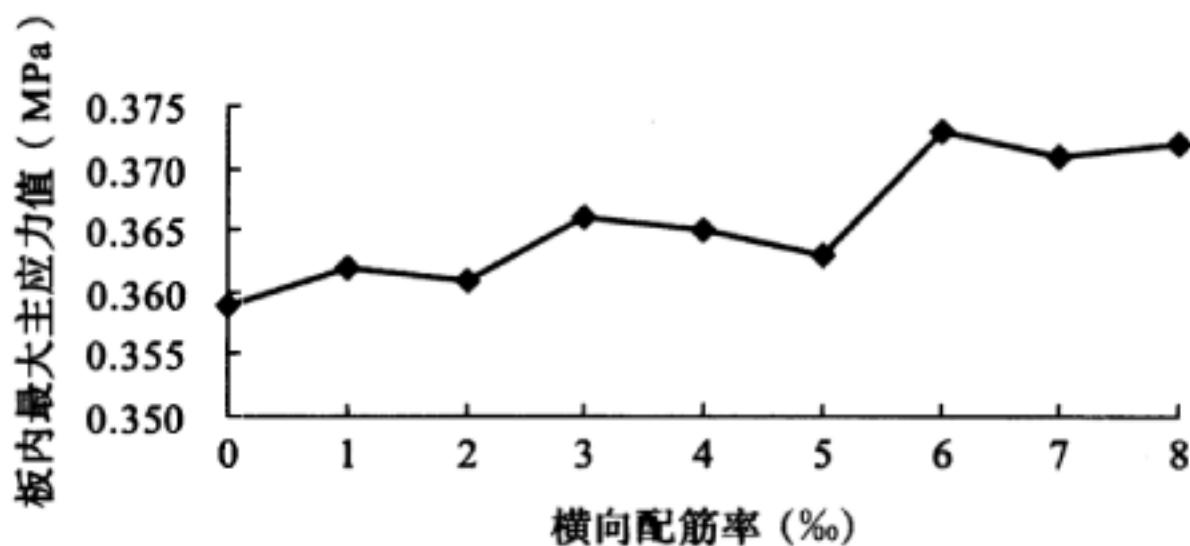


图 6 横向配筋率影响

4.3 滑动层

4.3.1 对预应力混凝土路面,尽量减小路面面板的板底摩阻力是非常重要的,因为它是引起预应力损失的重要因素,同时它也决定着板的长度。为了减小摩擦,在混凝土面板底面与基层顶面设置滑动层,减少面板与基层间的摩阻力,这样可以减少预应力损失,防止面板被拉断。

4.3.2、4.3.3 当基层表面与混凝土面板底面的摩阻力较大时,混凝土面板收缩和膨胀不能够自由滑动,板内的拉应力增加,因此在基层与面板之间应设置滑动层。滑动层通常可选用细粒状材料与土工合成防水材料的组合。不少研究人员在减小摩擦方面做了很多尝试,许多研究表明:采用薄层的同一粒径的球形颗粒(砂、石屑等)对于减小摩擦效果较好,其作用如同滚珠轴承。滑动层的结构形式示意如图7所示。

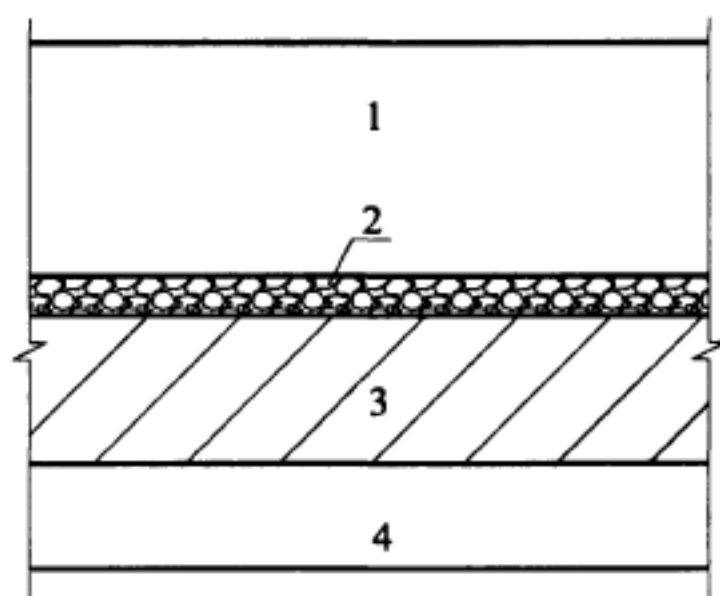


图7 滑动层结构示意图

1—路面面板;2—滑动层;3—基层;4—地基

混凝土路面面板板底的摩擦系数的取值,与路面面板下滑动层的设置有直接关系。预应力混凝土路面滑动层的类型有多种,各种类型的滑动层,其顶面的摩擦系数并不相同,尽管国外在这方面已做了不少工作,但其值仍难以确定。大多数室内试验所确定

的摩擦系数都比现场的小,这是因为室内不能真实反映现场的实际条件所致。设计施工时应根据现场试验实测所得,在没有进行现场试验的情况下,可根据经验选用滑动层摩擦系数,一般未铺设滑动层时的摩擦系数可取 1.5,有滑动层时,摩擦系数可取 0.5~1.0。当基层表面平整性良好且滑动层的材料滑动性能良好时,可取较小值,反之则取较大值。

滑动层对预应力混凝土路面面板的重要性可以在下述分析中体现:

在预应力混凝土路面面板中作用有一荷载,面积为 $10\text{m} \times 0.57\text{m}$ (分别为沿板长方向和垂直于板长向的尺寸),均布压力为 80kPa ,预施压力值为 150kN ,无粘结预应力钢绞线的抗拉强度 1860MPa ,施加预应力时混凝土的立方体抗压强度为 40MPa 。板底摩擦系数对于板中 X 向正应力的影响如图 8 所示。

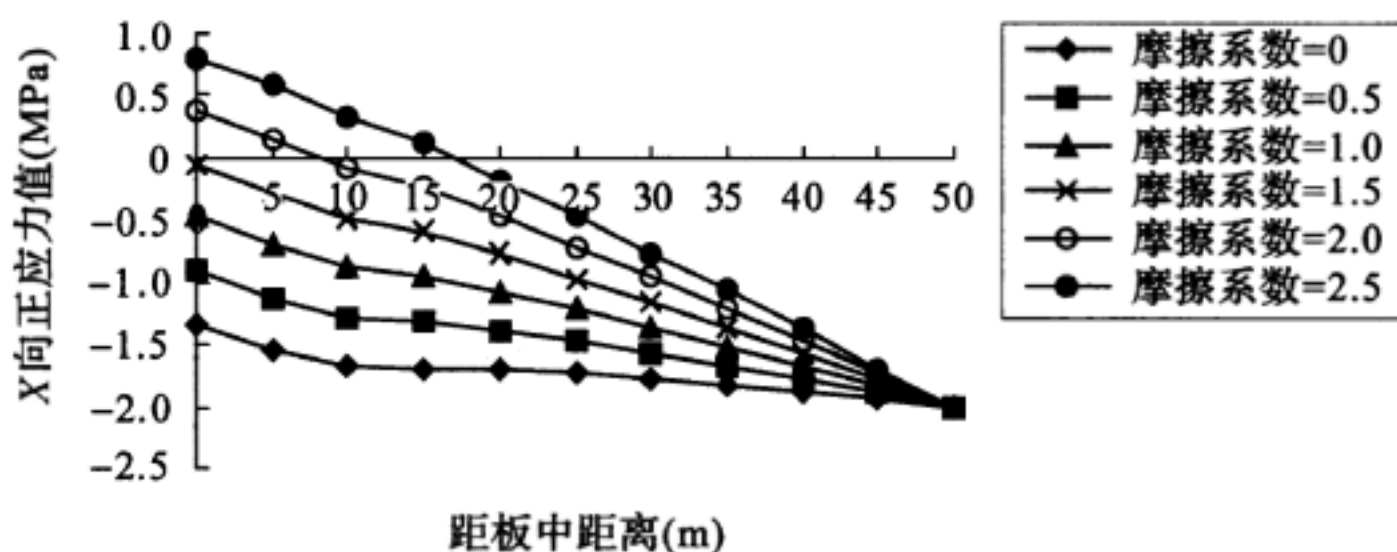


图 8 板底摩擦系数影响

计算结果表明,板底摩擦系数对横向应力影响非常小。而对纵向应力影响很大,随着摩擦系数的增大,纵向压应力的减小很明显。因此,对预应力混凝土路面,应采取一些措施,尽量减小路面面板板底摩擦系数。

板底摩擦系数对温度应力的影响也非常大。如图 9 所示,板底摩擦系数由 0 增大到 2.5,板内纵向正应力由压应力 0.2MPa

线性地变为拉应力 2.5MPa,而对板底的横向正应力则影响较小,这主要是板横向长度较短,并且横向无预应力,故所采用的计算模型忽略该方向的摩阻力,只考虑对纵向的影响。由纵向应力的变化,易知板底摩擦系数的大小对预应力的效果影响很大。因此,不论从荷载应力考虑,还是从温度应力考虑,都应在板底提供用以减小摩擦系数的滑动层,这也是预应力混凝土路面与其他路面的不同之处。另一方面,由图 10 可见,板底摩擦系数越小,板端纵向位移则越大(图中摩擦系数每减小 0.5,位移量增大 0.4mm),对伸缩缝的要求有所提高。板底摩擦系数减小对路面板端位移的影响不是很大,同时考虑预应力混凝土路面面板较长,易引起开裂,预应力混凝土路面应尽量减小板底摩擦系数。

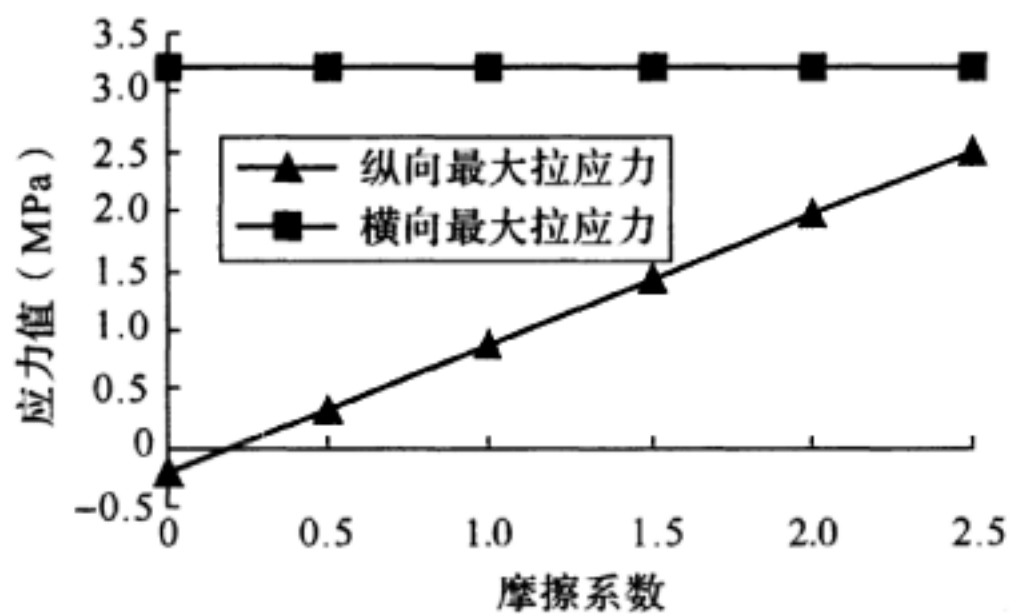


图 9 摩擦系数对温度应力的影响

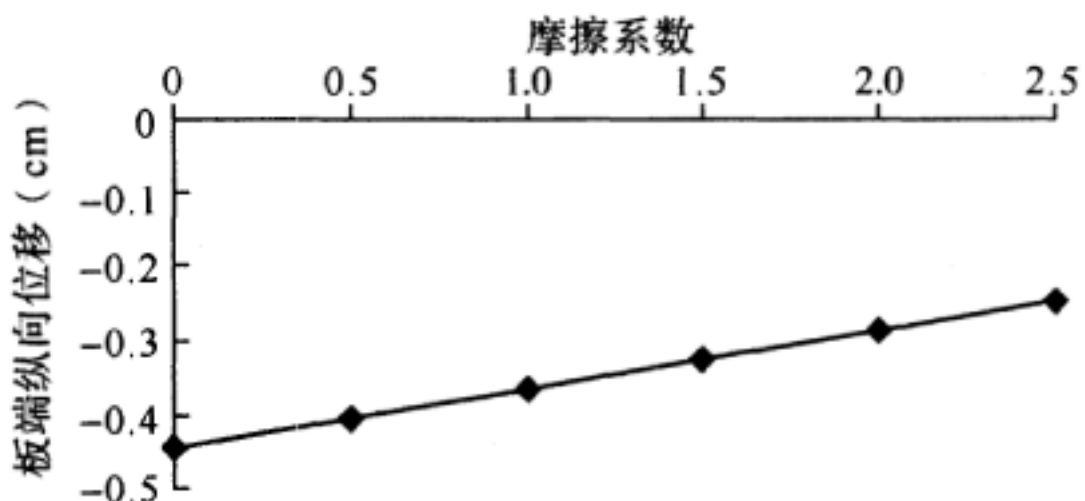


图 10 摩擦系数对板端位移的影响

4.4 伸 缩 缝

4.4.1 预应力混凝土路面板块长度较大,并且板底与基层采用了减小摩阻力的措施,因此在季节性温度变化时其两端产生的纵向位移值要达到几个厘米。纵向位移必须要在设计中予以妥善处理。另外,预应力混凝土路面面板板端也是无粘结预应力钢绞线的张拉或锚固端,在伸缩缝的设计上必须保证锚固端不能受到不良影响。伸缩缝设计的可靠性和耐久性在很大程度上决定了预应力混凝土路面的长期使用性能。

伸缩缝设计主要考虑:由于预应力混凝土板在温度和路面混凝土自身因素等综合作用下,伸缩缝装置要能满足板的伸长变形量。影响伸缩量及伸缩装置在使用过程中变形的因素较多。对预应力混凝土路面的接缝设计应遵循以下原则:

- (1) 接缝必须能容许板端发生位移,能够不被压坏。
- (2) 交通荷载不会使接缝产生过大的挠度和应力。
- (3) 接缝材料(选取的具体材料)必须耐磨、抗疲劳和防腐。
- (4) 接缝应密封,防止水和不可压缩的杂物进入。
- (5) 损坏部分的修补应当方便易行。
- (6) 接缝的施工程序应与预应力的张拉方法相协调。
- (7) 接缝的建造费用应尽量低。

4.4.2 预应力混凝土路面由于面板做得较长,板端的位移量也会比较大,因而对伸缩缝的设计要求较高。对伸缩缝装置的规格、选取可参考现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的相关规定。本条条文中给出了两种伸缩缝类型,下面对它们在试验路的实际使用情况进行说明:

南京禄口试验路采用的 GQF-C-80 型伸缩缝,从实际的使用效果看,由于伸缩缝间隙易被杂物填满,使用效果并不很理想。该伸缩缝施工需要先浇筑封锚并预留其安装位置,最终安装定位需再次浇筑混凝土,工序复杂,养护时间长,同时,它的造价比较高,

不利于在预应力混凝土路面上推广使用。

因此对在徐州修建的第二条预应力混凝土试验路的伸缩缝进行了改进,自行设计了工字型钢梁伸缩缝,其一般构造如本规范条文说明第 6.4.3 条所示。

(1)非张拉端伸缩缝采用 2 块 6m 长的 [36 轻型槽钢焊接的工字钢,张拉端伸缩缝采用 1 块 6m 长的 [36 轻型槽钢。伸缩缝顶面要保证与路面平齐。

(2)绑扎、定位板端钢筋网前,应完成伸缩缝施工。伸缩缝内填充 25mm 厚普通泡沫塑料,起到允许路面面板发生膨胀变形的作用,对泡沫塑料无其他特殊要求。型钢悬臂内侧要求贴一层油毡以保证路面与伸缩缝间的滑动。

(3)预应力混凝土路面及后浇带浇筑完毕后,在伸缩缝预留槽口内填充聚氨酯嵌缝胶或其他可靠的弹性填缝材料,以防止使用过程中渗水。

这种采用两块槽钢焊接而成的工字形伸缩缝,其构造能满足预应力板端位移要求,能防止杂物堵塞伸缩空隙,并且整体性和平整度良好,造价也比较低。施工时可结合混凝土枕梁和后浇带封锚一起进行,简化了施工工序。

4.5 枕 梁

4.5.1、4.5.2 预应力混凝土路面的张拉端和锚固端的下部应设置枕梁,以提供接缝处较强的基础和保证路面的连续性。其宽度应大于锚夹具投影位置 300mm。枕梁的设置是为加固基层,防止板端之间的接缝发生沉降不均匀而导致破坏。枕梁施工在基层相应位置开挖后浇筑,并同时进行伸缩缝的定位安排。由于枕梁本身没有特别的承载要求,因此,枕梁内的配筋可按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中构造配筋的要求进行设计。枕梁施工完毕后,顶面涂刷沥青,以保证板端的自由滑动。枕梁施工结束并达到一定强度后,方可进行另一侧水泥混凝土路面的

施工。

4.6 锚固区

4.6.1、4.6.2 在预应力混凝土路面中,预压力是通过锚具经垫板传递给混凝土的。由于预压力很大,而锚具下的垫板与混凝土的接触面积往往较小,锚具下的混凝土将承受较大的局部压力。在局部压力作用下,路面面板端部因局部受压承载能力不足而导致破坏。

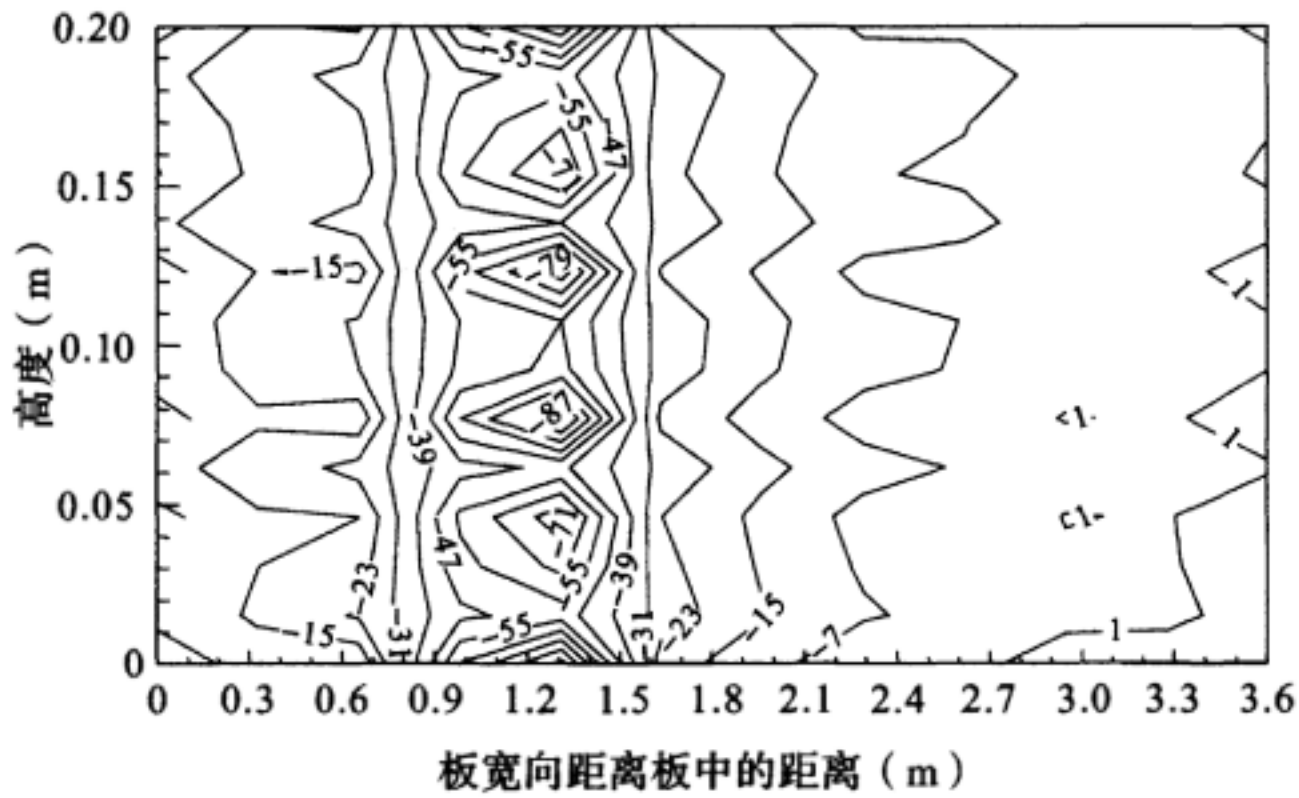
锚具下混凝土截面的压力非常集中,逐渐远离锚具的地方,其截面应力将逐步扩散,最后被均匀地传递到整个截面上。在传递区内,垂直于无粘结预应力钢绞线的方向会产生较大的拉应力,这与锚具的大小和相对于混凝土截面的位置有关,该应力可能导致混凝土发生劈裂而破坏。

应用有限元法,对预应力混凝土路面锚固区的应力进行分析,结果如图 11(a)、(b)和图 12(a)、(b)所示。

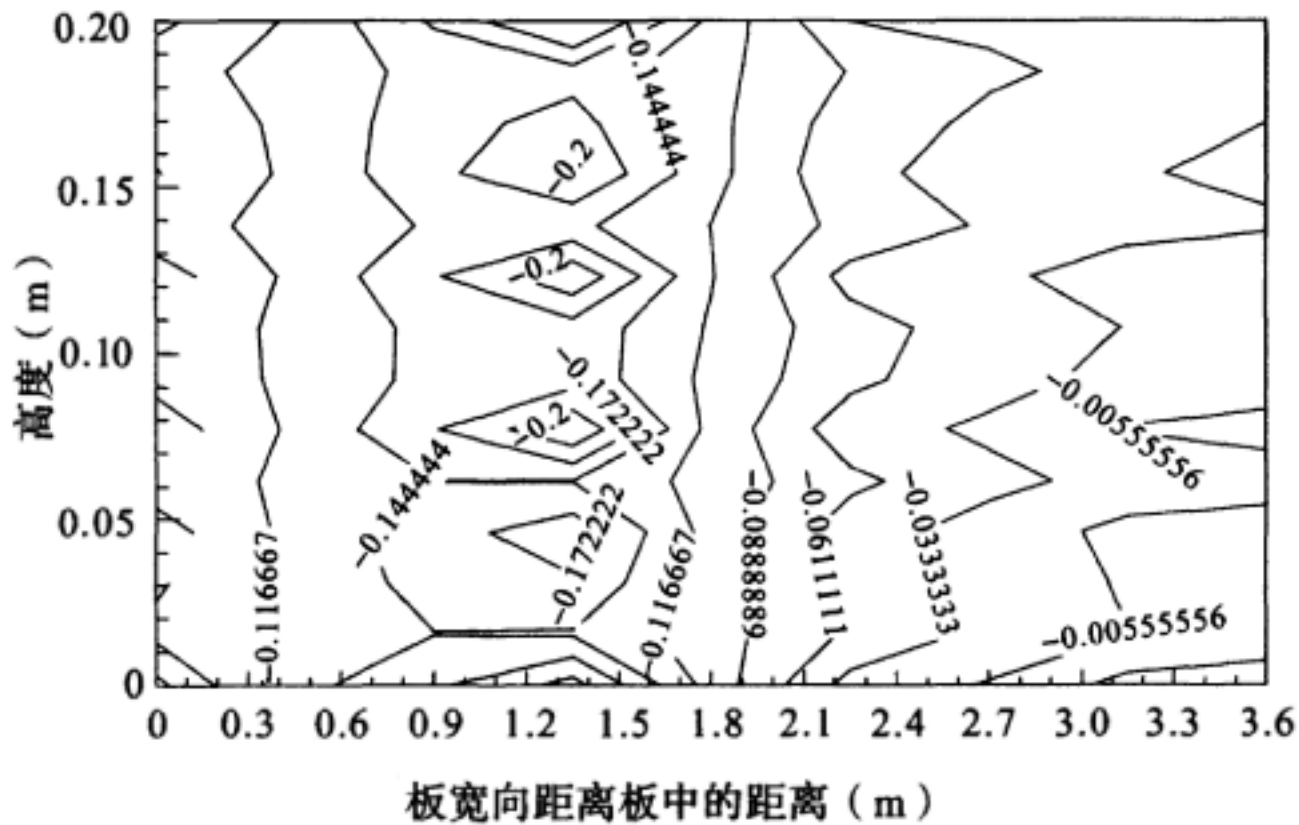
(1)锚端截面受力分析如下:

如图 11(a)所示,在无粘结预应力钢绞线作用位置[图上坐标为(1.2,0.08)], σ_x 数值很大,即混凝土所受压力很大,随着离该位置距离的增大, σ_x 逐渐减小,最后变为拉应力,但由图可见,此拉应力很小,不足以使混凝土产生开裂。在实际工程中,由于布置的无粘结预应力钢绞线数目远不止两个,所以,不会产生很大的拉应力 σ_x ,只需考虑锚下混凝土的局部承压强度是否满足即可。

如图 11(b)所示,沿无粘结预应力钢绞线作用位置所在高度上(即图上横坐标为 1.2 的各点), σ_y 最大,分布基本相同而且均为压应力,其值小于无粘结预应力钢绞线位置处的 σ_x 。随着离 $x=1.2$ 位置的距离增大, σ_y 也逐渐减小,可能会产生拉应力。一般认为, σ_y 引起的张拉力可能会引起锚端混凝土的纵向开裂,因此,在下面的讨论中主要研究该应力。



(a)板端锚固横截面 σ_x 的分布图



(b)板端锚固横截面 σ_y 的分布图

图 11 板端锚固横截面 σ_x 、 σ_y 的分布图

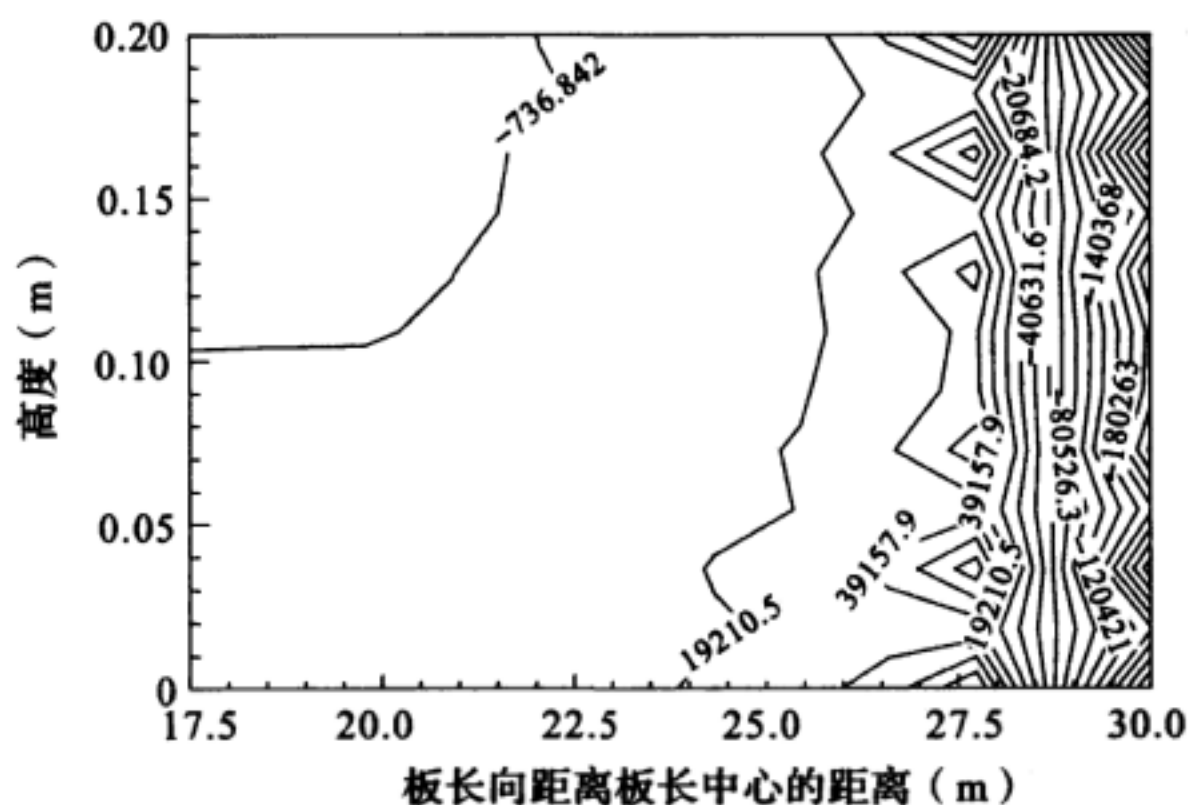
注:其中将高度按比例放大,图(a)中应力单位为 0.01MPa,
图(b)中应力单位为 MPa。

(2)沿板长横向应力分析如下:

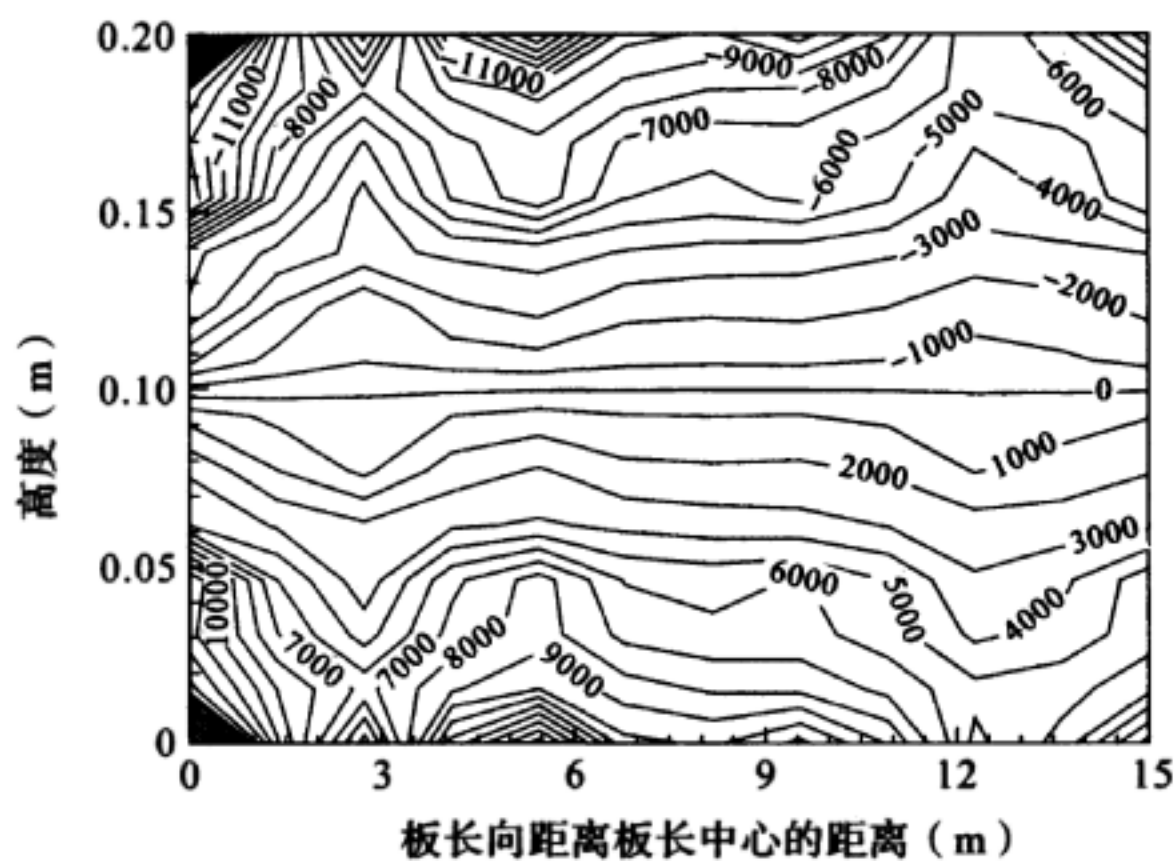
图 12(a)、(b)为无粘结预应力钢绞线作用位置截面的应力等值线图。如图 12(a)所示,在距离锚具较近处 σ_y 为压应力,随着离板端距离的增大,板端的最大压力逐渐减小,在一定距离时变为拉

应力,而且拉应力值较大。

如图 12(b)所示,在远离锚端的板中附近的 σ_y 分布很有规律,符合平截面假定,板底产生拉应力,但在设计时应加以注意。



(a)板端段 σ_x 的分布图



(b)板端段 σ_y 的分布图

图 12 板端段 σ_x 、 σ_y 的分布图

注:其中将高度按比例放大,图(a)和图(b)的应力单位均为 Pa。

通过以上分析易知,由于纵向压应力由集中作用转移为线性分布,将在锚具端部附近产生较大的横向拉应力,可能引起路面面板的纵向开裂,因此,在设计时,面板端部可加大截面尺寸、加大锚具端部承压钢板尺寸,并应在板端附近(大约 10m 以内)配置两层双向钢筋网。对于整块板,应配置横向构造钢筋,并应放在板厚 1/2 稍下处以承受横向拉应力。

张拉端的加强钢筋网应延伸至后浇带,若采用单向张拉,非张拉端的加强钢筋网也应延伸至后浇带。

4.7 后 浇 带

4.7.1~4.7.5 为了便于预应力混凝土路面的施工,加强对预应力张拉端的有效保护,提出本条要求。同时,为确保后浇带与张拉端的有效连接,保证其共同变形,加强筋应从路面面板延伸至后浇带,且后浇带下部滑动层的滑动效果不应低于路面面板中部滑动层的滑动效果。

5 材 料

5.1 混凝土材料

5.1.1 对预应力混凝土路面水泥的工程品质、物理化学性能及强度等级的规定可参考现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 条文说明中的相关内容。

5.1.2、5.1.3 预应力混凝土路面粗集料、细集料的种类及规定的规定是参考现行国家标准《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685 及《建筑用砂》GB/T 14684 的规定制订的。混凝土用水的规定则应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

5.1.4 由于无粘结预应力钢绞线用的钢绞线强度很高,故要求混凝土结构的混凝土强度等级亦应相应提高,这样才能达到更经济的目的。由于预应力混凝土路面不设施工缝,且施工是连续作业的目的,因此,预应力混凝土路面需要的混凝土应具有的品质包括高强度、低收缩和低徐变,水灰比应尽可能小,以避免由于收缩和徐变引起过大的预应力损失。混凝土的早期横向裂缝主要是由于其在凝结硬化过程中产生的体积收缩和温度收缩两个原因造成的。因此,预应力混凝土在配合比设计中可掺入外加剂以减小混凝土的干缩特性,从而减少和控制初张拉前的开裂。

5.2 普通钢材和无粘结预应力钢绞线

5.2.1 普通钢材可根据使用部位和功能,按表 3 确定。

表 3 钢材等级及规格

部位和功能	钢筋直径(mm)	外形
板内横向钢筋	12	螺纹

续表 3

部位和功能	钢筋直径(mm)	外形
板端钢筋	12 或 16	螺纹
架立钢筋	8 或 10	光面
伸缩缝基础或枕梁	12 或 16	螺纹
板后浇带	12	螺纹
伸缩缝钢梁	钢板厚 8~10, 型钢<16	[、I 型钢或钢板

在预应力混凝土构件中,建议非无粘结预应力钢绞线采用 HRB335 级或 HRB400 级热轧钢筋,是考虑非无粘结预应力钢绞线在构件达到破坏时能够屈服,且钢筋的抗拉强度设计值又不至于太低。国外规定非无粘结预应力钢绞线的设计屈服强度不应大于 400MPa。非无粘结预应力钢绞线采用热轧钢筋,也有利于提高构件的延性,从抗裂的角度来说,非无粘结预应力钢绞线采用变形钢筋比采用光面钢筋好,故宜采用 HRB335 级、HRB400 级热轧带肋钢筋。同时,对预应力混凝土路面用普通钢筋的规定也是和现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 及现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定一致的。表 3 的内容是根据预应力混凝土试验路工程实践经验得到的推荐值。

另外依据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中第 4.2.1 条的相关规定,取消 HPB235 级以及 RRB 级钢筋。

5.2.2 对无粘结预应力钢绞线用钢绞线的性能要求应按现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 中的相关条文执行。无粘结预应力钢绞线用的钢绞线中的钢丝系采用高碳钢经多次拉拔而成,并经消除应力热处理,以提高其塑性、韧性。

钢筋的品种、级别、规格和数量对预应力混凝土路面的性能有重要的影响。借鉴国内外使用经验,本规范规定无粘结预应力钢绞线外包层材料应采用高密度聚乙烯。由于聚氯乙烯在长期的使

用过程中氯离子将析出,对周围的材料有腐蚀作用,故严禁使用。无粘结预应力钢绞线的外包层材料及防腐蚀涂料层应具有的性能要求,是根据我国的气候及使用条件提出的,其成分和性能尚应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161 的有关规定。

5.3 锚具系统

5.3.1 无粘结预应力钢绞线锚具系统应具有可靠的锚固性能、足够的承载能力和良好的适用性,以满足分级张拉、补张拉以及放张无粘结预应力钢绞线的要求,从而能保证充分发挥无粘结预应力钢绞线的强度,安全地实现预应力张拉作业。

当用于地震区时,无粘结预应力钢绞线锚具组装件应通过上限取预应力钢材抗拉强度标准值的 80%、下限取预应力钢材抗拉强度标准值的 40%、循环次数为 50 次的周期荷载试验。

5.3.2 夹片锚具的夹片、锚环及连体锚具所采用的材料由预应力锚具体系确定,且均应符合相关标准的规定。无粘结预应力钢绞线锚具系统的质量检验和合格验收应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370、《水泥混凝土路面施工及验收规范》GBJ 97 及现行行业标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 的有关规定。

5.4 接缝材料

5.4.1 预应力混凝土路面用的接缝材料是参考普通水泥混凝土路面用的各类接缝板材料而确定的。

5.4.2、5.4.3 路面接缝材料的技术指标可参照现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的规定执行。根据工程实践,本次修订建议在填缝材料中加入耐老化剂。

背衬垫条是参照美国 ACPA 的接缝技术指南,本次修订具体说明了对背衬的性能要求。对我国大型机械施工的高速公路,用

背衬垫条来控制均匀的填缝深度和填缝料形状系数,能提高接缝的灌缝质量。对背衬垫条的应用情况可参考现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关条文说明。

5.5 外加剂

5.5.1~5.5.3 外加剂品种、掺量及使用性能应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 和《混凝土膨胀剂》GB 23439的有关规定。

预应力混凝土中可添加的外加剂种类较多,其中较为重要的是膨胀剂(预应力混凝土路面及其后浇带宜使用混凝土膨胀剂,以减少混凝土干缩引起的早期裂缝)。从国内外应用效果和可靠性来看,以形成钙矾石和氢氧化钙的膨胀剂效果相对稳定。选用膨胀剂时,首先检验其性能是否满足现行行业标准《混凝土膨胀剂》GB 23439 的有关规定。膨胀剂运到工地或混凝土搅拌站,应进行限制膨胀率检测,合格后方可入库、使用,其检测的内容包括有:碱含量不大于 0.75%、水中 7d 限制膨胀剂不小于 0.025%、单位体积混凝土中的掺量不大于 12%。由于在混凝土中掺入膨胀剂后,对混凝土的性能如水化热反应、耐久性等方面都会产生影响,因此,对于混凝土掺入膨胀剂的技术控制,应按现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定执行。

6 施工要求

6.1 施工机具

6.1.1 预应力混凝土路面的施工需根据其本身的特性选取施工机具。预应力混凝土路面需要大量的无粘结预应力钢绞线,施工工艺较复杂,手工操作的工作量大,对施工人员素质要求较高,并需进行严格的质量控制,因此实现全部机械化、自动化施工难度大。而现代高等级公路建设必须具备大型成套摊铺装备和依靠高新施工技术,高等级混凝土路面的内在质量、表面行驶功能和耐久性技术指标也要求这样做。因此在选取预应力混凝土路面施工机具时,应注意满足下列要求:

(1)根据工程特点、规模、场地大小和运输远近等施工条件选择施工机械,所选机械的生产能力应满足施工进度、质量和设计的要求。

(2)选机具应结构先进、生产效率高、性能可靠、易于检修、驾驶安全、机动性能强,具有良好的环保性能。

(3)应选择适用性广、利用效率高的一般通用机械,根据施工条件和施工规模可为某道工序设计专用机械。

(4)工程量大、施工强度高、施工条件又适合使用大型机械时,宜选择大型机械。

(5)有条件的宜选择操作方便、仪表齐全、能防震防噪声和具有空调的机械,使驾驶人员精力充沛地工作,提高机械生产率和施工质量。

(6)应优先选用批量生产的国产机械,以利于促进国内工程机械的发展。选用进口机械时,应选用技术上先进、适合我国施工技术水平且零件供应易解决的机械。

(7)尽量减少机械的组合数,机械组合数越多工作效率越低,机械组合数越少越好。在组合机械时,力求选用的机械机型统一,以便于维修和管理。

(8)在整个工作线上使用组合机械作业时,应对组合的各种机械能力进行平衡。

(9)在组织机械化施工时,要注意分成几个系列的机械组合,同时并列进行施工,避免发生全面停工。

6.1.2 预应力混凝土路面施工时,混凝土拌和料宜根据施工的工程量及现场条件,合理地选择商品混凝土拌和料或现场直接拌和混凝土混合料。混凝土拌和应采用拌和时间短、生产效率高、搅拌质量好的双卧轴强制式搅拌机,拌和机具总功率宜大于 $20\text{m}^3/\text{h}$ 。混凝土拌和宜根据工程规模、施工场地、施工规模、技术要求等考虑采用自动化程度高、拌和质量稳定及拌和功率大的强制式水泥混凝土搅拌站(楼)。

对搅拌站的选配:混凝土搅拌站应选配强制双卧轴或行星立轴的机型。同时配备齐全的自动供料、称量、计量、砂石料含水率反馈控制、外加剂加入装置及计算机控制自动配料的操作系统。间歇搅拌站比连续搅拌站的效果更好,宜优先选配。

对搅拌楼的选配参考现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

在选取混凝土的拌和设备时,其总拌和的生产能力及容量配套的要求可参考现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

6.1.3 混凝土拌和物运输车辆视运距而定,当运距较近时,可以采用自卸汽车等无搅拌器的运输工具;当运距较远时,宜采用搅拌运输车辆,如混凝土运输汽车等。配备混凝土运输车辆应充分考虑混凝土凝结速度和浇筑速度的需要,在工作不间断的同时使混

凝土运到浇筑地点时仍保持均匀性和施工所需的坍落度。一般情况下运距在 1km 以内时,以 2t 以下的小型自卸车为宜;运距在 5km 左右时,以 5t~8t 中型自卸车为宜;更远的运输距离以采用容量为 6m³ 以上的混凝土搅拌运输车为宜。

6.1.4 混凝土摊铺成型可以采用以下几种机械组合:

(1)采用滑模式摊铺机进行混凝土摊铺成型,其机械组成及功能见表 4。本次修订根据工程实践,要求滑模摊铺混凝土路面的施工设置基准线。

表 4 混凝土滑模式摊铺成型机具

机械组成		主要功能	备注
供料机		混凝土运送、供给	按运输方式确定
摊铺机	刮板	分料、粗平	—
	螺旋布料器	摊铺、布料、匀料	—
	振动器	振实	—
	振动梁	振实	—
	平整梁	整平、整修	—
	修光梁	表面精光	—
	测压模板	成型用滑动侧模	—
	自动调平系统	自动找平	—
纹理制作机		纹理制作	—
养护剂喷洒机		喷混凝土养护剂	—
切缝机		制作接缝缝槽	—

(2)采用轨道式摊铺机进行混凝土摊铺成型,其机械组成及功能见表 5。

表 5 混凝土轨道式摊铺成型机具

机械组成		主要功能	备注
供料机		混凝土运送、供给	按运输方式确定

续表 5

机械组成	主要功能	备注
匀料机	匀料、粗平	—
摊铺机	摊铺、振实、整平	—
缝槽成型机	制作接缝缝槽	湿法成型用
缝槽修整机	修整接缝缝槽	湿法成型用
表面修整机	表面精光、修整	—
纹理制作机	制作路表纹理	—
养护剂喷洒机	喷洒混凝土养护剂	—
防护帐篷	混凝土早期养护	—

(3) 采用传统的小型机具配合人工进行混凝土摊铺, 所需机具有插入式振捣器、平板振捣器、振动梁、滚筒、磨光机、压纹辊等。

6.2 施工准备

6.2.1 技术交底是开工前, 由建设单位组织设计部门向施工单位、监理单位进行技术交底。

6.2.2 根据我国多年的施工实践, 因路基的不稳定、不均匀沉降造成的断板、沉陷破坏占相当大的比例。因此预应力混凝土路面的路基应稳定、密实、匀质。路基的稳固性等要求可参考现行行业标准《公路路基施工技术规范》JTG F10、《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的相关规定。垫层、基层的具体施工要求可参考现行行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关要求及说明。

6.2.3 保证工程质量和工程顺利进行的基础是有足够的符合路用品质的原材料。在开工之前应对原材料进行相关的检查。原材料进场应称量过磅, 不合格的原材料不得进场。对进场的原材料

要做好登记、储存和签发管理。原材料的检验项目、批量应符合相关国家标准的有关规定。施工的设备机具也应进行全面的检查。开工前需保证设备机具的到位,对于设备易损部件应有适量的储备。对以上的检查工作形成报表备案后,向建设单位和监理提出开工报告。待建设单位和监理对开工报告审批后,进行预应力混凝土路面的施工。

6.2.4 在施工中如果形成死弯,由于其变形程度较大,有较高的残余应力,将导致材料脆化,在张拉过程中该处易发生脆断,故应将它切除。此外,由于高碳钢的可焊性差,在生产过程拉拔中及拉拔后的焊接接头质量不能保证,而采用机械连接接头体积又太大,不能满足张拉要求,故要求成型中的每根钢丝应该是通长的,只允许保留生产工艺拉拔前的焊接接头,接头距离应满足现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 中有关条文的规定。

6.3 施工工序

6.3.1 对具体的施工项目,要求有经审查批准的施工组织设计和施工技术方案。施工组织设计和施工技术方案应按程序审批。

6.3.2 为保证预应力混凝土路面施工中无粘结预应力钢绞线张拉、后浇带施工的相互协调,同时考虑施工设备、材料及施工进度要求,混凝土面板的板块之间可采取不同的施工顺序,不同面板之间的施工顺序对施工提出不同的要求:采用顺序施工时,施工进度相对交替施工慢,但施工所需设备、人力、材料等少;而采用交替施工时,施工进度快,但施工所需的要求相对较高。在工程中,可根据工程的实际情况选取合适的施工顺序。

6.3.3 参考水泥混凝土路面的施工工艺,结合东南大学修筑的两条预应力混凝土试验路的工程经验,最后总结出预应力混凝土路面的施工工艺。具体施工工序如图 13 所示。

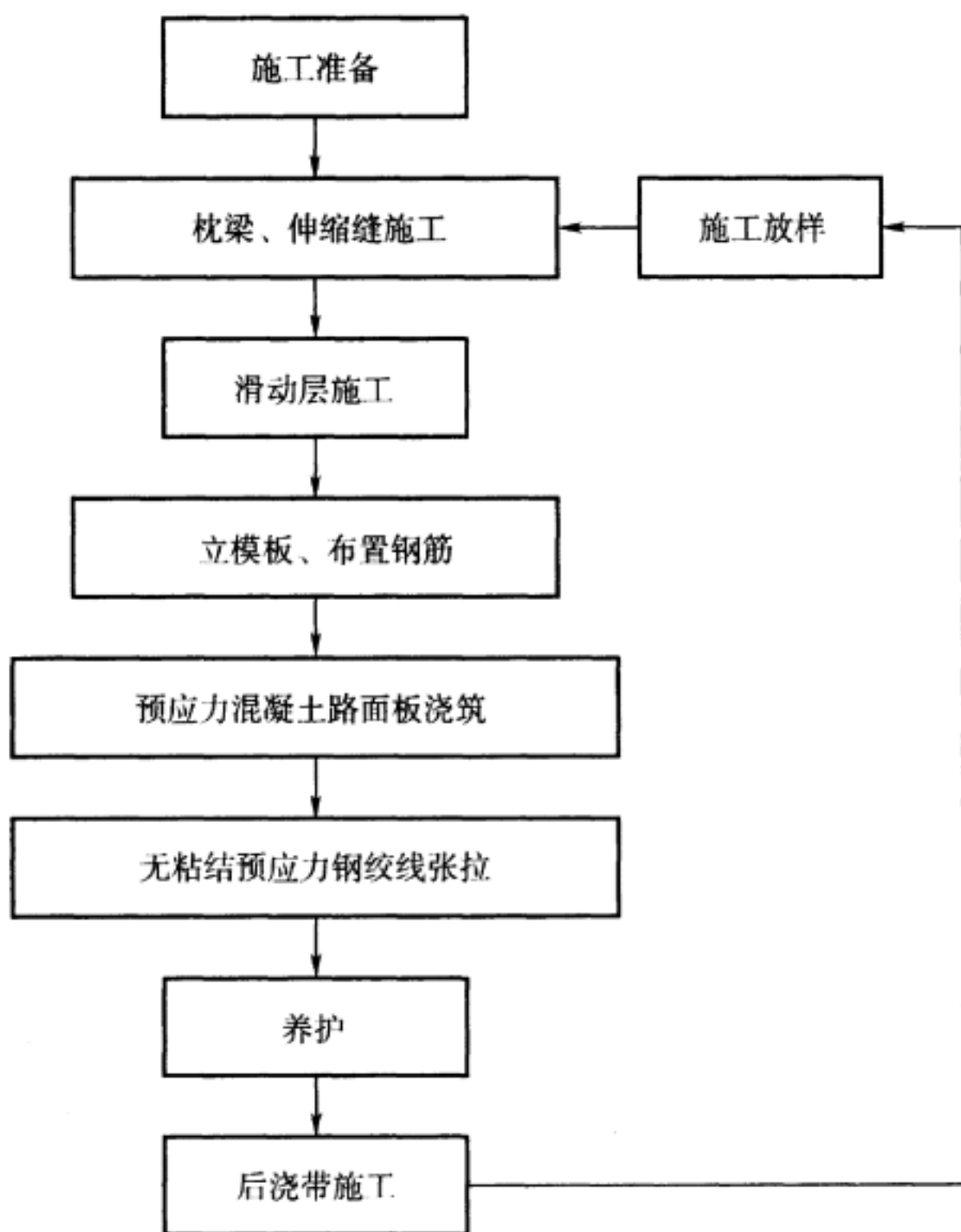


图 13 预应力混凝土路面面板施工工序

6.4 枕梁和伸缩缝施工

6.4.1、6.4.2 伸缩缝的施工与所在段枕梁的施工应相互协调。

基坑开挖时,宜采用机械切割配合人工进行开挖。一般用切割机将基坑周围切割一定深度后,采用人工进行开挖。基坑底面不应高于设计高程,并应平整。如不平整,可采用低标号水泥混凝土等措施调平。

6.4.3 钢梁伸缩缝制作中焊接应严格按照钢结构要求进行。定位时应采用水准仪和钢尺反复调整钢梁的平面位置和梁顶高程。

钢梁底应垫实放稳,避免浇筑混凝土时钢梁变位。浇筑时应加强振捣,尤其是钢梁周围混凝土应充分振捣。从试验路施工现场情况看,钢梁伸缩缝施工简单,造价低,钢梁还可以起到板端预应力筋定位作用,能够达到设计效果。

当采用钢梁型伸缩缝装置时,枕梁及伸缩缝的施工可参考下列方法进行:

(1)伸缩缝钢梁可根据设计要求在现场制作,也可委托工厂进行定型生产。

(2)现场制作伸缩缝钢梁时,其焊接质量应满足钢结构焊接的要求(图 14 和图 15)。

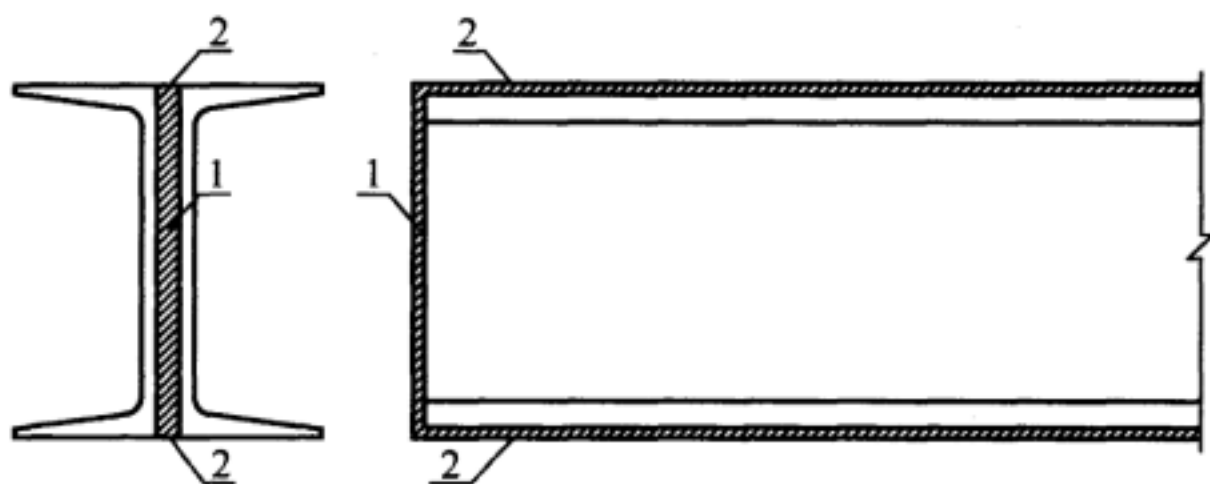


图 14 [型钢焊接为工字型钢梁

1—竖向焊缝;2—横向焊缝

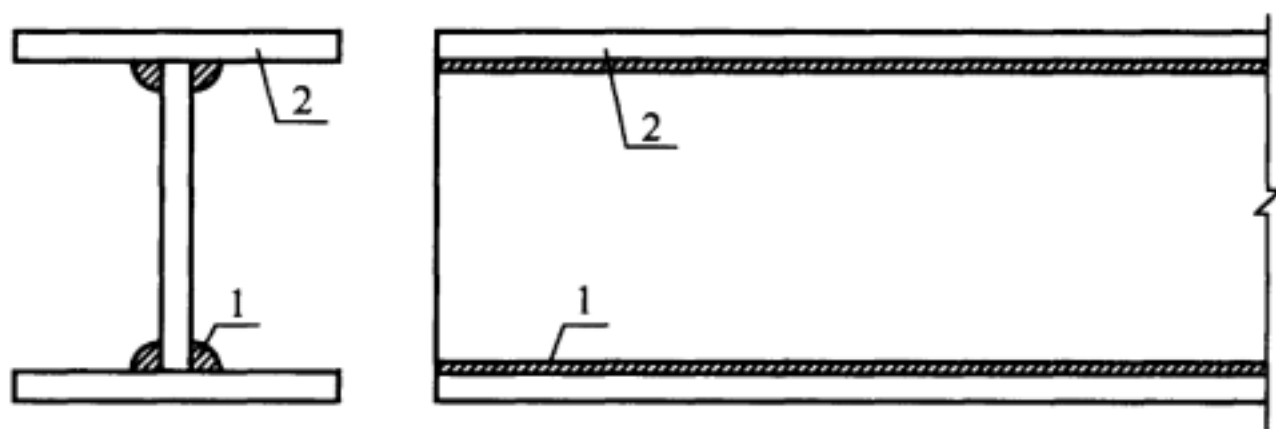


图 15 钢板焊接为工字型钢梁

1—焊缝;2—工字型钢梁

(3)钢梁底应垫实放稳,按设计要求定位;伸缩缝钢梁应焊接连接钢筋(图 16);连接钢筋与枕梁钢筋应焊接或绑扎成一个整

体,搭接长度不应小于 200mm。

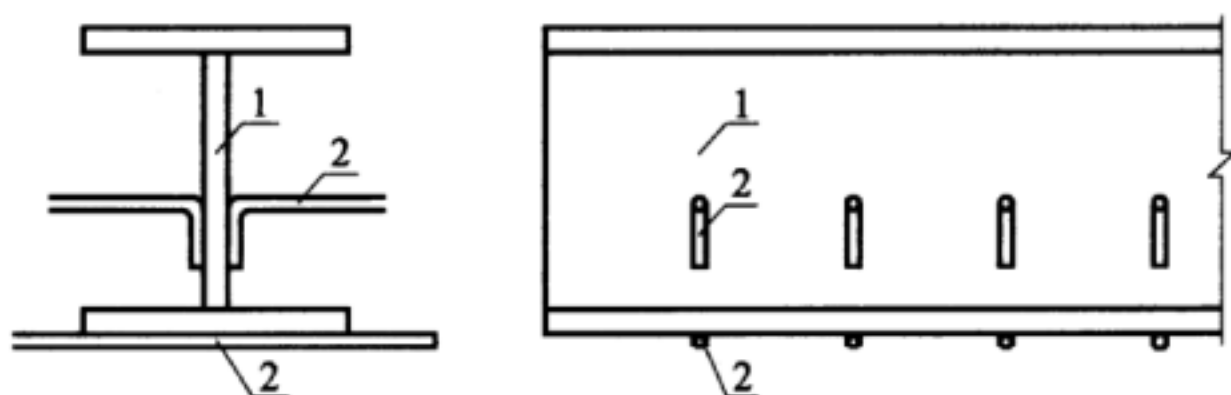


图 16 钢梁与连接钢筋的焊接

1—钢梁;2—钢筋

(4)浇筑混凝土时,钢梁四周混凝土应充分振捣,振捣时振捣器(棒)不可直接接触钢梁;枕梁混凝土顶面应与基层顶面平齐,浇筑完毕后抹面养护。当采用其他形式的伸缩缝时,其具体的施工可参考现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30、《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的有关规定。

6.4.4 枕梁及伸缩缝施工的具体施工工序如图 17 所示。

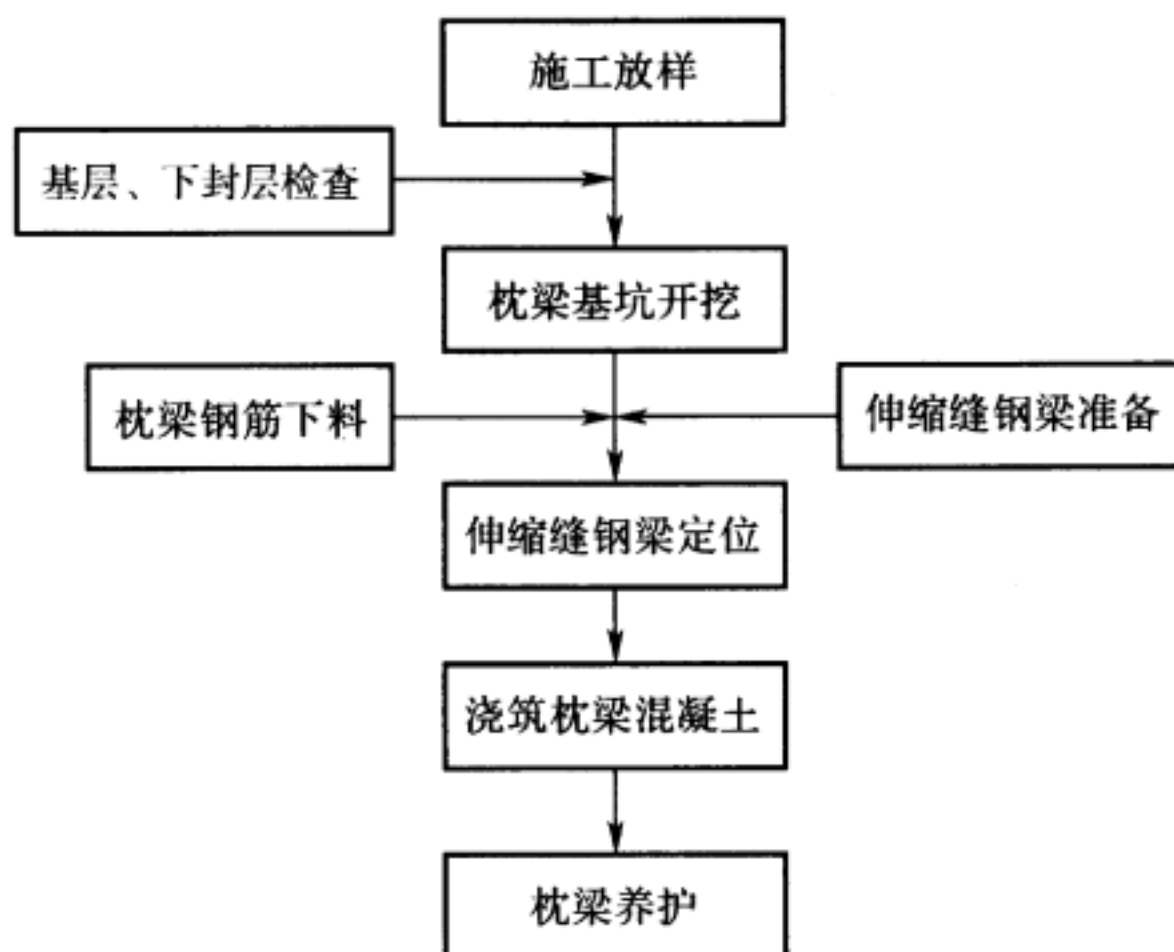


图 17 枕梁及伸缩缝施工工序

6.5 滑动层铺设

6.5.1、6.5.2 设置滑动层是一种新技术、新工艺,在工程实践中的应用并不多,对滑动层的设计、施工和验收尚无相关标准,如何根据设计要求和工程特点制定科学合理的施工方案和操作工艺指导施工,需要在今后的工程实际中不断总结完善。

对预应力混凝土路面,在滑动层铺设前应保证基层的质量符合设计和施工的要求。滑动层的滑动效果除了与基层顶面的平整度、使用材料有关外,还与滑动层材料的选择及设置有关。基层表面可铺设沥青下封层作为滑动层,这样既可整平基层表面,也可减小与混凝土路面面板间的摩阻力。本次修订根据工程经验,建议乳化沥青稀浆封层的厚度不宜小于5mm。基层表面可以铺设防水材料,如土工织物、油毛毡、聚乙烯薄膜等,铺设时,应覆盖整个路面面板。防水材料也不宜太薄,以防止基层的尖锐物或施工不慎而损坏防水材料。在防水材料下也可增铺细粒状材料以增加滑动性能,可以用砂或石屑,铺设应均匀且厚度不宜太大,厚度大易受施工扰动,也影响路面整体的刚性。

对采用土工织物做的滑动层,土工织物宜随细粒状材料层一起铺设,以确保细粒状材料层的厚度、密实度及土工织物间的搭接质量。铺设的细粒状材料层的质量应符合条文规定。铺设细粒状材料层时,可在细粒状材料层表面适当均匀洒水,使铺设时的细粒状材料具有一定的湿度,这样在施工时可使细粒状材料层易于压实拍平,方便成型且不飞扬。

6.5.3 采用土工织物作为滑动层,当土工合成材料铺设完后,应采取保护措施,特别应防止穿钉鞋作业或尖锐物的打击。

6.6 立模板、布置钢筋

6.6.1 准备工作:

(1)试验表明:无粘结预应力钢绞线的外包层出现局部轻微破

损,经过修补后,其张拉伸长值与完好的无粘结预应力钢绞线张拉伸长值相同。故对外包层局部轻微破损的无粘结预应力钢绞线,允许修补后使用。

(2)本次修订明确指出板应采用钢模板,若采用木模板、塑料模板等易发生变形,其精度不能满足要求。模板的允许偏差参考现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1的有关规定,同时也应结合预应力混凝土路面的施工难度及施工水平的实际情况确定。对于模板架设位置应进行测量放样,以确保模板架设的精准。安装最重要的是保证模板的稳固,使得在其上部的机械和机具进行摊铺、振捣、整平作业时不产生位移,保证作业的顺畅进行。对安装好的模板表面应涂脱膜剂或隔离剂等防粘措施,以满足脱膜时的要求。模板安装和拆除的具体施工,可参考现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1的有关规定。

6.6.2~6.6.4 无粘结预应力钢绞线在主要控制点的竖向位置由设计图纸确定,在施工铺放时的竖向位置允许偏差宜根据现行国家标准《水泥混凝土路面施工及验收规范》GBJ 97的有关规定来控制。无粘结预应力钢绞线在铺放过程中,应尽量减少定位支撑钢筋用量,简化施工工艺。

预应力混凝土路面中采用钢绞线制作的无粘结预应力钢绞线,其相应的锚固系统包括夹片锚具和挤压锚具,应采用可靠和完善的锚具体系及配套施工工艺,以确保预应力混凝土施工质量。在实际工程中,整个无粘结预应力钢绞线的铺放过程,都要配备专职人员,负责监督检查无粘结预应力钢绞线束形是否符合设计要求,张拉端和固定端安装是否符合施工要求。对不符合要求的,应及时进行调整。

6.7 预应力混凝土路面的浇筑

6.7.1 预应力混凝土的浇筑应按现行行业标准《公路水泥混凝土

路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定执行,其相关的内容参考该规范条文及其说明。对于预应力混凝土路面面板预应力的施加,在混凝土面板浇筑过程中,推荐从面板的两端同时开始,向板中浇筑,从而能加快施工的进度。

6.7.2 承压板后面混凝土的浇筑质量,直接关系到无粘结预应力钢绞线的张拉效果。工程实践表明:在个别工程中,当混凝土成型并经正常养护后,在该处发生过裂缝或空鼓现象的,只有在无粘结预应力钢绞线张拉之前进行修补后,才允许进行张拉操作。

6.8 无粘结预应力钢绞线张拉

6.8.1 预应力混凝土路面采用无粘结预应力钢绞线的后张法施工工艺,其原因是:

(1)后张法施工简易、方便,不需先张法的台座以及预留孔道、灌浆等操作。

(2)预应力施加容易控制,而且因预应力的施加是在混凝土达到一定强度后进行的,所以由混凝土的收缩、徐变引起的预应力损失可以得到减少。

(3)无粘结预应力钢绞线摩擦小,具有防腐蚀性能,并且易定位和弯成曲线形状。

6.8.2 无粘结预应力钢绞线的张拉施工可参考现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JTJ 92 的相关规定。

对预应力混凝土路面面板中无粘结预应力钢绞线的张拉工艺,采用的是二次张拉。采用对预应力混凝土路面二次张拉工艺,是在预应力混凝土路面工程实践中,为了防止预应力混凝土路面面板发生早期收缩开裂采用的。在预应力混凝土路面试验段的施工过程中,采用了二次张拉的工艺,初次张拉应力采用 $0.3\sigma_{con}$,在初张拉后的 6d~7d,进行第二次张拉,第二次张拉应力 $1.05\sigma_{con}$ 。第二次张拉 12h 后,板端位移稳定,无粘结预应力钢绞线的伸长量

也稳定均匀。

无粘结预应力钢绞线张拉时,对混凝土强度的规定是指同条件养护边长为 150mm 的立方体混凝土试件的抗压强度。

规定无粘结预应力钢绞线采用机械的方法而不采用电弧的方法切断,主要是为了防止电火花损伤钢丝、钢绞线和锚具。切除多余无粘结预应力钢绞线后,无粘结预应力钢绞线和锚具的保护应遵照设计要求执行,并在施工技术方案的做出具体规定,应采取防止锚具锈蚀和遭受机械损伤的有效措施。国内外工程经验表明:应从无粘结预应力钢绞线与锚具系统的张拉端及固定端组成的整体来考虑防护。

6.9 养 护

6.9.1~6.9.3 在养护过程中,混凝土应处在有利于硬化及强度增长的温度和湿度环境中,使硬化后的混凝土具有必要的强度和耐久性。同时考虑到施工对象、环境、水泥品种、外加剂以及对混凝土性能的要求,提出具体切合实际的养护方案。采用薄膜或养护剂养护混凝土时,应经常检查薄膜或养护剂的完整情况和混凝土的保湿效果。

对冬期浇筑的混凝土应养护至其具有抗冻能力的临界强度后,方可撤除养护措施。且在任何情况下,混凝土受冻前的抗压强度不得低于 5MPa。

6.10 后浇带混凝土施工

6.10.1~6.10.4 为保证后浇封锚的混凝土与预应力混凝土路面成为一个整体,防止后浇混凝土与路面连接处的开裂而导致伸缩缝的失效和无粘结预应力钢绞线锈蚀的不良影响,一方面要使后浇带的滑动层保持良好状态,确保其能正常工作,另一方面加强结合部的连接效果,凿毛板端,理顺连接钢筋,从而避免对锚固端的不良影响。

对无粘结预应力钢绞线而言,其张拉后处于高应力状态,对腐蚀非常敏感,所以应尽早封锚。封锚是一种对无粘结预应力钢绞线的永久性保护措施。

封锚时应保证封锚用的混凝土质量。封锚质量的检验应着重于现场观察检查,必要时采取相应措施进行检查。封闭保护应遵照设计要求执行,并在施工技术方案的做出具体规定,确保暴露于结构外的锚具能够永久性地正常工作,不致受外力冲击和雨水浸入而破损或腐蚀。后浇混凝土板时,浇筑的质量控制严格按照设计要求进行。

6.11 伸缩缝整修及填缝

6.11.1、6.11.2 填缝时应先凿去接缝板顶部嵌入的木条,涂粘结剂后,嵌入胀缝专用多孔橡胶条或灌进适宜的填缝料,填缝料不宜使用各种密实型填缝材料。在高温季节施工时填缝材料的厚度可略小,在低温季节施工时填缝材料的厚度可略大,以保证预应力混凝土路面正常工作的自由伸缩。伸缩缝的整修可参考现行行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关条文及其说明。

6.12 特殊气候条件下的施工

6.12.1、6.12.2 预应力混凝土路面铺筑期间,要求有专人及时准确接收、汇总和记录天气预报,异常天气应采取暂停施工或采取必要的防范措施,并调整施工方案。

7 质量验收

7.2 滑动层

7.2.1 对用做滑动层的原材料,应进行材料质量检查。沥青表面处治滑动层的材料质量检查参考现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的有关规定执行;乳化沥青稀浆滑动层的材料质量检查参考现行行业标准《路面稀浆罩面技术规程》CJJ/T 66 的有关规定执行;土工合成防水材料滑动层的材料质量检查参考现行行业标准《公路工程土工合成材料 防水材料》JT/T 664 的有关规定执行。

7.3 混凝土面层

7.3.1 对预应力混凝土的材料、配比、混凝土性能等的质量检查和验收参考现行国家标准《水泥混凝土路面施工及验收规范》GBJ 97 的有关规定执行。预应力混凝土中掺入外加剂时,对外加剂的强度规定及检验参考现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定执行。

7.3.7 当室外日平均气温连续 5d 都低于 5℃时,混凝土工程应采取冬期施工措施,具体要求应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JTJ 104 的有关规定。

附录 A 预应力混凝土路面面板应力分析及 计算流程

A.4 预应力混凝土路面面板厚度及配筋计算流程

重交通一级预应力混凝土路面计算示例：

公路自然区划Ⅱ区拟新建一条一级公路，路基为黏质土，采用预应力混凝土路面，路面宽 7.5m。经交通调查得知，设计轴载 $P_s = 100\text{kN}$ ，最重轴载 $P_m = 150\text{kN}$ ，设计车道使用初期设计轴载日作用次数为 1800 次。试设计该路面厚度及配筋。

解：①交通分析。

由表 3.0.3-1 一级公路的设计使用年限为 30 年。由表 3.0.3-2 临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数取 0.18。取交通量年平均增长率为 5%。按式(3.0.3)计算得到设计年限内设计车道标准荷载累计作用次数为：

$$\begin{aligned} N_e &= \frac{N_s[(1+g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \eta \\ &= \frac{1800 \times [(1+0.05)^{30} - 1] \times 365}{0.05} \times 0.18 \\ &= 7.857 \times 10^6 \end{aligned}$$

属重交通等级。

②初拟路面结构。

由表 3.0.4-1 可知，一级公路的安全等级为一级，相应于安全等级一级的变异水平等级选为低级。根据一级公路、重交通等级和低级变异水平等级，初拟预应力混凝土面层厚度为 210mm。基层选用水泥稳定粒料（水泥用量 5%）厚度为 200mm。垫层为 200mm 的低剂量无机结合料稳定土。预应力混凝土板的平面尺

寸长为 100m、宽为 7.5m。

③路面材料参数确定。

按表 3.0.5,取混凝土面层的弯拉强度标准值为 5.0MPa,相应的弯拉弹性模量标准值为 30GPa,路基回弹模量取 30MPa。低剂量无机结合料稳定土垫层回弹模量取 150MPa,水泥稳定粒料基层回弹模量取 750MPa。按式(A.1.5-1)~式(A.1.5-6)计算基层顶面当量回弹模量如下:

$$E_x = \frac{h_1^2 E_1 + h_2^2 E_2}{h_1^2 + h_2^2} = \frac{0.2^2 \times 750 + 0.2^2 \times 150}{0.2^2 + 0.2^2} = 450(\text{MPa})$$

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

$$= \frac{750 \times 0.2^3 + 150 \times 0.2^3}{12} + \frac{(0.2 + 0.2)^2}{4} \left(\frac{1}{750 \times 0.2} + \frac{1}{150 \times 0.2} \right)^{-1}$$

$$= 1.60(\text{MN} \cdot \text{m})$$

$$h_x = \left(\frac{12D_x}{E_x} \right)^{1/3} = \left(\frac{12 \times 1.60}{450} \right)^{1/3} = 0.349(\text{m})$$

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

$$= 6.22 \times \left[1 - 1.51 \times \left(\frac{450}{30} \right)^{-0.45} \right] = 3.443$$

$$b = 1 - 1.44 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{-0.55} = 1 - 1.44 \times \left(\frac{450}{30} \right)^{-0.55} = 0.675$$

$$E_t = ah_x^b E_0 \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^{1/3} = 3.443 \times 0.349^{0.675} \times 30 \times \left(\frac{450}{30} \right)^{1/3}$$

$$= 125(\text{MPa})$$

混凝土面层的相对刚度半径按式(A.1.3-2)计算为:

$$r = 0.537h \left(\frac{E_c}{E_t} \right)^{1/3} = 0.537 \times 0.21 \times \left(\frac{30000}{125} \right)^{1/3} = 0.701(\text{m})$$

④荷载疲劳应力。

按式(A. 1. 3-1),设计轴载和最重轴载在临界荷位处产生的荷载应力计算为:

$$\begin{aligned}\sigma_L &= 1.02 \times 10^{-3} \times r^{0.60} h^{-2} P_s^{0.94} \\ &= 1.02 \times 10^{-3} \times 0.701^{0.60} \times 0.21^{-2} \times 100^{0.94} = 1.42(\text{MPa})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{L,m} &= 1.02 \times 10^{-3} \times r^{0.60} h^{-2} P_m^{0.94} \\ &= 1.02 \times 10^{-3} \times 0.701^{0.60} \times 0.2^{-2} \times 150^{0.94} = 2.08(\text{MPa})\end{aligned}$$

考虑设计年限内荷载应力累计疲劳作用的疲劳应力系数为:

$$k_f = (N_e)^v = (7.857 \times 10^6)^{0.057} = 2.472$$

根据公路等级,由表 A. 1. 2 可知,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(A. 1. 2),荷载疲劳应力计算为:

$$\sigma_{L,r} = k_f k_c \sigma_L = 2.472 \times 1.25 \times 1.42 = 4.39(\text{MPa})$$

按式(A. 1. 7),最大荷载应力计算为:

$$\sigma_{L,\max} = k_c \sigma_{L,m} = 1.25 \times 2.08 = 2.60(\text{MPa})$$

⑤温度疲劳应力。

由表 3.0.6 可知,Ⅱ区最大温度梯度取 $0.087(\text{°C}/\text{mm})$ 。按式(A. 2. 4-1)~式(A. 2. 4-3)计算综合温度翘曲应力和内应力的温度应力系数 B_L 。

$$t = \frac{L}{3r} = \frac{100}{3 \times 0.701} = 47.60$$

$$C_L = 1 - \frac{\sinh(47.60)\cos(47.60) + \cosh(47.60)\sin(47.60)}{\cos(47.60)\sin(47.60) + \sinh(47.60)\cosh(47.60)} = 1$$

$$\begin{aligned}B_L &= 1.77e^{-4.48h} C_L - 0.131(1 - C_L) \\ &= 1.77e^{-4.48 \times 0.21} \times 1 - 0.131 \times (1 - 1) = 0.691\end{aligned}$$

按式(A. 2. 3)最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力计算为:

$$\begin{aligned}\sigma_{\Delta T,\max} &= \frac{E_c \alpha_c h T_g}{2} B_L \\ &= \frac{30000 \times 1 \times 10^{-5} \times 210 \times 0.087}{2} \times 0.691\end{aligned}$$

= 1.89(MPa)

查表 A. 2. 2 可知, II 区的回归系数 $a_t = 0.828$, $b_t = 1.323$, $c_t = 0.041$ 。温度疲劳应力系数 k_t 。按式(A. 2. 2)计算为:

$$\begin{aligned} k_t &= \frac{f_r}{\sigma_{\Delta T, \max}} \left[a_t \left(\frac{\sigma_{\Delta T, \max}}{f_r} \right)^{b_t} - c_t \right] \\ &= \frac{5}{1.89} \times \left[0.828 \times \left(\frac{1.89}{5} \right)^{1.323} - 0.041 \right] \\ &= 0.496 \end{aligned}$$

再由式(A. 2. 1)计算温度疲劳应力为:

$$\sigma_{\Delta T r} = k_t \sigma_{\Delta T, \max} = 0.496 \times 1.89 = 0.94(\text{MPa})$$

⑥板底摩阻应力。

取板底摩擦系数 $\mu_r = 0.6$, 混凝土密度 $\rho = 0.0024 \text{ g/mm}^3$ 。按式(A. 3. 1)计算:

$$\sigma_F = \mu_r \rho \chi = 0.6 \times 0.0024 \times 50 = 0.072(\text{MPa})$$

⑦预应力值。

查表 3. 0. 4-1, 一级公路的目标可靠度为 90%。再据查得的目标可靠度和变异水平等级, 查表 3. 0. 4-3 确定可靠度系数 $\gamma = 1.10$ 。

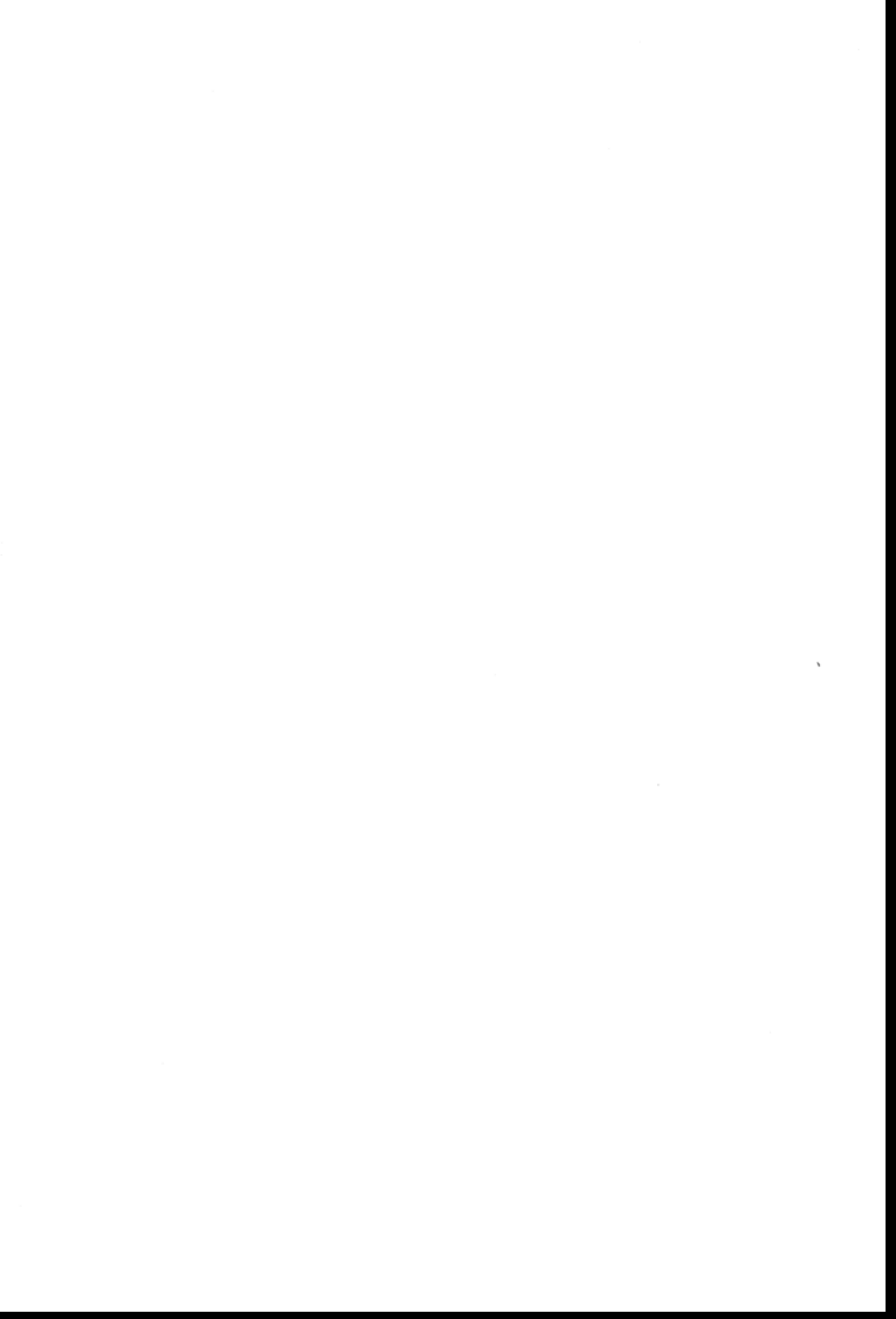
按式(4. 1. 3-1)计算 σ_p :

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \gamma_r (\sigma_{Lr} + \sigma_{\Delta T r}) + \sigma_F - f_r \\ &= 1.10 \times (4.39 + 0.94) + 0.072 - 5 = 0.935 \text{ MPa} \leq 4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

按式(4. 1. 3-2)验算:

$$\begin{aligned} \gamma_r (\sigma_{L, \max} + \sigma_{\Delta T, \max}) &= 1.10 \times (2.60 + 1.89) \\ &= 4.94 \text{ MPa} < f_r = 5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

故预应力混凝土板的厚度($h=21\text{cm}$)及配筋($\sigma_p = 0.935\text{MPa}$)满足要求。取设计厚度为 0.21m。





S/N:155182·0127



9 155182 012707

统一书号: 155182·0127

定 价: 21.00 元