

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/ T 979—2015

斜向预应力混凝土路面技术规范

Technical specification for cross-tensioned prestressed concrete pavement

2015 – 09 – 28 发布

2015 – 11 – 01 实施

陕西省质量技术监督局

发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、符号和代号 1

4 基本要求 3

5 路面结构设计 4

6 材料 9

7 施工方法和技术要求 10

8 质量检查与验收 12

附录 A（规范性附录） 斜向预应力混凝土路面面板应力分析及计算流程 16

附录 B（资料性附录） 斜向预应力混凝土路面计算示例 20

附录 C（资料性附录） 斜向预应力混凝土路面预应力筋张拉记录表 23

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准的附录 A 为规范性附录，附录 B、附录 C 为资料性附录。

本标准由陕西省交通运输厅提出并归口。

本标准由西安公路研究院负责解释。

本标准起草单位：西安公路研究院、陕西省交通建设集团公司。

本标准主要起草人：张东省、徐希娟、李娜、韩微微、贾德生、张威、袁卓亚、朱绪飞、尹亮、赵卫东。

本标准首次发布。

联系信息如下：

单位：西安公路研究院

电话：029-87898931

地址：陕西省西安市高新区高新六路 60 号

邮编：710065

斜向预应力混凝土路面技术规范

1 范围

本标准规定了斜向预应力混凝土路面技术的术语和定义、符号和代号、基本要求、结构设计、材料要求、施工方法及技术要求、质量检查与验收标准。

本标准适用于陕西省新建斜向预应力混凝土路面的设计、施工及质量检验评定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 175 通用硅酸盐水泥
GB/T 5223 预应力混凝土用钢丝
GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
GB 13693 道路硅酸盐水泥
GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
GB 50010 混凝土结构设计规范
GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
GB 50422 预应力混凝土路面工程技术规范
JGJ 63 混凝土用水标准
JGJ 92 无粘结预应力混凝土结构技术规程
JTG D40-2011 公路水泥混凝土路面设计规范
JTG F10 公路路基施工技术规范
JTG/T F20 公路路面基层技术细则
JTG F30-2011 公路水泥混凝土路面施工技术细则

3 术语和定义、符号和代号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

斜向预应力混凝土路面 cross-tensioned prestressed concrete pavement

是在面板内配置双斜向预应力筋，采用后张法施加斜向预压应力的水泥混凝土路面。

3.1.2

滑动层 sliding layer

是基层顶面设置的用于滑动的功能层。

3.1.3

缓凝胶粘材料 retard-bonded adhesive material

是涂包在预应力筋表面具有一定厚度的专用胶粘材料，有良好的防腐性能，具有缓凝特性。

3.1.4

临界荷位 critical load position

是斜向预应力混凝土路面在荷载和温度综合作用下产生的最大疲劳损坏位置。

3.2 符号和代号

下列符号和代号适用于本文件。

3.2.1 材料性能

D_b ——混凝土路面板下整体性基层截面弯曲刚度，单位为兆牛·米（MN·m）；

D_c ——混凝土面层的截面弯曲刚度，单位为兆牛·米（MN·m）；

E_b ——混凝土路面板下整体性基层弯拉弹性模量，单位为兆帕（MPa）；

E_c ——混凝土面层弯拉弹性模量，单位为兆帕（MPa）；

E_i ——第 i 结构层的回弹模量，单位为兆帕（MPa）；

E_o ——路床顶面综合回弹模量，单位为兆帕（MPa）；

E_t ——板底地基当量回弹模量，单位为兆帕（MPa）；

E_x ——粒料层的当量回弹模量，单位为兆帕（MPa）；

f_r ——混凝土弯拉强度标准值，单位为兆帕（MPa）；

ν_b ——混凝土路面板下整体性基层的泊松比；

ν_c ——混凝土面层的泊松比；

α_c ——混凝土的线胀系数；

γ_g ——混凝土路面双层板的总相对刚度半径，单位为米（m）。

3.2.2 作用、作用效应及承载力

N_e ——使用年限内车道的标准轴载累计作用次数，单位为轴次/车道；

N_i ——各类轴型 i 级轴载的作用次数，单位为轴次/（车道·日）；

N_s ——设计轴载的作用次数，单位为轴次/（车道·日）；

P_s ——设计轴载重，单位为千牛（kN）；

σ_{con} ——预应力筋容许张拉控制应力，单位为兆帕（MPa）；

σ_l ——预应力总损失值，单位为兆帕（MPa）；

σ_{pr} ——荷载疲劳应力，单位为兆帕（MPa）；

σ_{ps} ——荷载应力，单位为兆帕（MPa）；

σ_{py} ——有效预应力引起的混凝土中的纵向平均压应力，单位为兆帕（MPa）；

$\sigma_{t, max}$ ——最大温度梯度时面层产生的最大温度应力，单位为兆帕（MPa）；

σ_{tr} ——温度疲劳应力，单位为兆帕（MPa）。

3.2.3 几何参数

A_p ——预应力筋公称截面积，单位为平方毫米（mm²）；

h_b ——混凝土路面板下整体性基层相当板的厚度，单位为毫米（mm）；

h_c ——混凝土面层的厚度，单位为毫米（mm）；

- h_x ——粒料层的总厚度，单位为毫米（mm）；
 l ——预应力筋布置间距，单位为毫米（mm）；
 θ ——预应力筋与路面的纵向夹角，单位为度（°）。

3.2.4 计算系数

- C_V ——变异系数；
 g_r ——交通量年平均增长率；
 k_c ——考虑偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数；
 k_f ——考虑设计基准期内荷载应力累计疲劳作用的疲劳应力系数；
 k_t ——温度疲劳应力系数；
 T_g ——混凝土面板的最大温度梯度标准值，单位为摄氏度/米（℃/m）；
 t ——设计使用年限，单位为年（a）；
 γ ——可靠度系数。

4 基本要求

4.1 设计参数

- 4.1.1 斜向预应力混凝土路面结构的设计安全等级及相应的设计基准期、目标可靠指标与目标可靠度，应符合 JTG D40-2011 中 3.1 的要求。
- 4.1.2 各安全等级路面的材料性能和结构尺寸参数的变异水平可分为低、中和高三个等级，高速公路、一级公路的变异水平等级宜为低级，二级公路的变异水平等级应不大于中级。变异系数范围应符合 JTG D40-2011 中 3.2 的要求。
- 4.1.3 斜向预应力混凝土路面结构设计应以面层在设计基准期内，在行车荷载、温度梯度的综合作用下，不产生疲劳断裂为设计标准，其极限状态设计表达式如公式（1）：

$$\sigma_{py} \geq \gamma (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) - f_r \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- σ_{py} ——有效预应力引起的混凝土中的纵向平均压应力，单位为兆帕（MPa）；
 γ ——可靠度系数，按 4.1.1 取值；
 σ_{pr} ——荷载疲劳应力（按附录 A 的要求计算，计算方法参见附录 B），单位为兆帕（MPa）；
 σ_{tr} ——温度疲劳应力（按附录 A 的要求计算，计算方法参见附录 B），单位为兆帕（MPa）；
 f_r ——混凝土弯拉强度标准值，单位为兆帕（MPa）。

- 4.1.4 按疲劳断裂设计标准进行结构分析时，以 100kN 单轴-双轮组荷载作为设计轴载，对极重交通荷载等级的水泥混凝土路面，宜选用货车中占主要份额的特重车型的轴载作为设计轴载。各级轴载作用次数 N_i ，可按 JTG D40-2011 中公式（3.6）换算为设计轴载的作用次数 N_s 。
- 4.1.5 斜向预应力混凝土路面设计车道在设计基准期内所承受的设计轴载累计作用次数应按 JTG D40-2011 中附录 A 的要求进行调查和分析，按设计基准期内设计车道临界荷位处所承受的设计轴载累计作用次数分为 5 级，分级范围应符合 JTG D40-2011 中 3.7 的要求。
- 4.1.6 斜向预应力混凝土路面水泥混凝土的设计强度应采用 28 天龄期弯拉强度。各交通荷载等级要求的水泥混凝土弯拉强度标准值不得低于表 1 的要求。

表1 水泥混凝土弯拉强度标准值

交通荷载等级	弯拉强度标准值 MPa
极重、特重、重	≥5.0
中 等	4.5
轻	4.0

4.1.7 斜向预应力混凝土路面面板的最大温度梯度计算值，可根据公路所在地的自然区划，按 JTG D40—2011 中表 3.10 的要求选取。

4.2 结构构造与组合

4.2.1 斜向预应力混凝土路面的路基、基层、路面横向坡度、路肩、排水及材料选型应符合 JTG D40、JTG F10 和 JTG/T F20 的有关要求。

4.2.2 斜向预应力混凝土路面面板与基层之间应设滑动层。

4.2.3 斜向预应力混凝土可作为复合式路面的基层。

5 路面结构设计

5.1 几何尺寸

5.1.1 斜向预应力混凝土路面板厚应根据公路等级、交通荷载、当地温度及使用性能要求确定，板厚宜为 140mm~260mm。

5.1.2 斜向预应力混凝土路面板宽应根据公路等级及应用场合确定，高速公路或一级公路板宽应为单幅路面宽度，二级及以下公路应为单幅或全幅路面宽度，收费广场板宽宜为 5m~7m。

5.1.3 斜向预应力混凝土路面板长宜大于 30m。

5.2 预应力筋配置

5.2.1 预应力筋的配置应符合下列要求：

a) 预应力筋与路面纵向夹角宜为 25°~45°，高速公路或一级公路路面整幅施工时取高值，二级公路及以下单幅施工时取低值；

b) 预应力筋宜配置在路面面板厚 1/2 下 10mm~30mm 范围内。

5.2.2 预应力筋的布置间距应按公式（2）计算，结果宜为 500mm~1000mm：

$$l = \frac{2(\sigma_{con} - \sigma_l) \times A_p \times \cos \theta}{h_c \times \sigma_{py} \times \tan \theta} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- l ——预应力筋布置间距（计算时向下舍入取 50 的整数倍），单位为毫米（mm）；
- σ_{con} ——预应力筋容许张拉控制应力，单位为兆帕（MPa）；
- σ_l ——预应力总损失值，单位为兆帕（MPa）；
- A_p ——预应力筋的公称截面积，单位为平方毫米（mm²）；
- θ ——预应力筋与路面纵向夹角，单位为度（°）；
- h_c ——混凝土面层板的厚度，单位为毫米（mm）；

σ_{py} ——有效预应力引起的混凝土中的纵向平均压应力，单位为兆帕（MPa）。

5.2.3 预应力损失值计算应符合 GB 50010 的相关要求。预应力总损失也可按预应力筋张拉控制应力的 20% 确定，且预应力损失值应不小于 80MPa。

5.3 构造钢筋配置

5.3.1 斜向预应力混凝土路面板端应布置距板底 50mm 的补强钢筋网，见图 1。

单位：mm

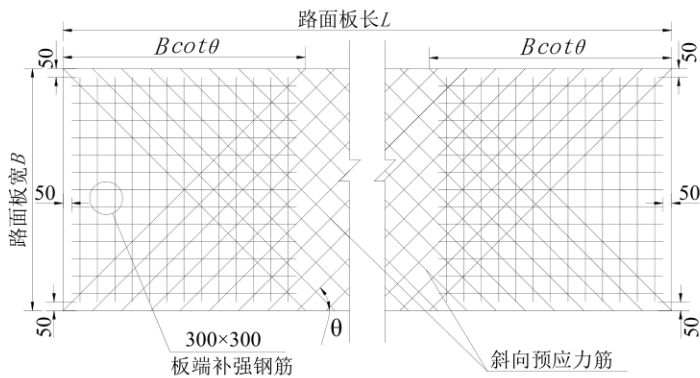


图1 板端补强钢筋网构造

5.3.2 斜向预应力混凝土路面锚固区应布置构造钢筋，见图 2。

单位：mm

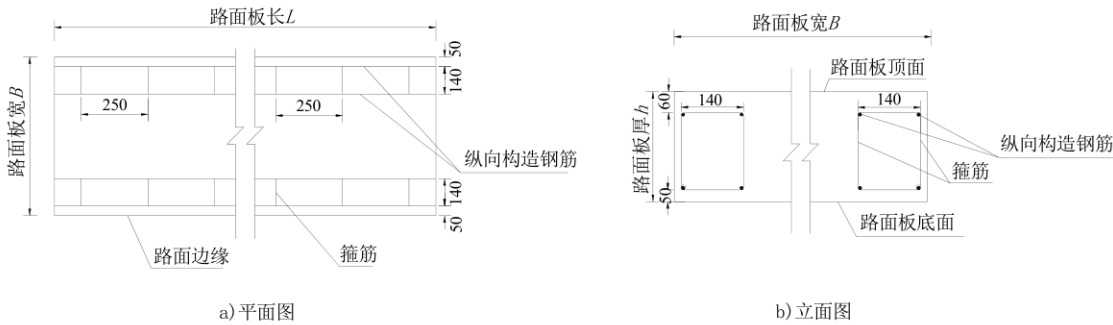


图2 锚固区构造钢

5.3.3 斜向预应力混凝土路面预应力筋下应布置架立钢筋，见图 3。

单位: mm

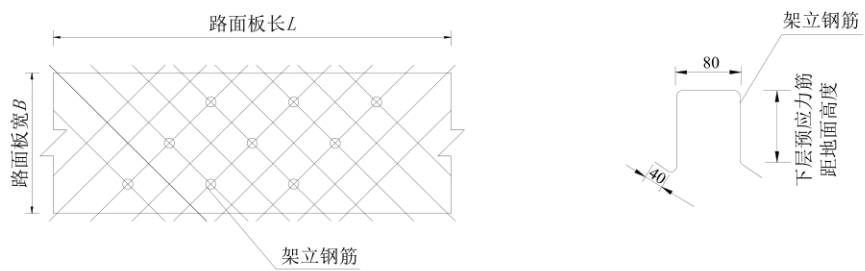


图3 预应力筋下架立钢筋

5.4 滑动层

- 5.4.1 滑动层应铺设在基层的顶面, 基层应平整无坑凹。
- 5.4.2 滑动层结构应为细粒材料上铺设防水材料, 总厚度宜小于 10mm。
- 5.4.3 防水材料之间的搭接宜采用粘贴方式, 搭接宽度不应小于 300mm。

5.5 接缝

- 5.5.1 斜向预应力混凝土路面纵向接缝应符合下列要求:
 - a) 纵向施工缝不宜设置拉杆。
 - b) 纵向施工缝上部应锯切槽口, 深度宜为 30mm~40mm, 宽度宜为 3mm~8mm, 槽内应灌塞填缝料。
- 5.5.2 斜向预应力混凝土路面横向接缝应符合下列要求:
 - c) 每日施工结束或因临时原因中断施工时, 应设置横向施工缝, 上部应锯切槽口, 深度宜为 30mm~40mm, 宽度宜为 3mm~8mm, 槽内应灌塞填缝料, 预应力筋连续布置不间断, 不设传力杆。
 - d) 与其他水泥混凝土路面相接时, 应设置横向接缝, 横缝处应设传力杆, 缝内应填塞填缝料, 传力杆应采用光圆钢筋, 横缝宽度宜为 3mm~8mm, 尺寸和间距见表 2, 其构造如图 4 所示, 传力杆的设置不应妨碍相邻混凝土板自由伸缩, 钢筋表面应作防锈处理。

表2 传力杆尺寸和间距

单位: mm

面层厚度	传力杆直径	传力杆最小长度	传力杆最大间距
≤180	22	350	300
200	25	350	300
220	28	400	300
240	30	400	300
260	32	450	300

单位：mm

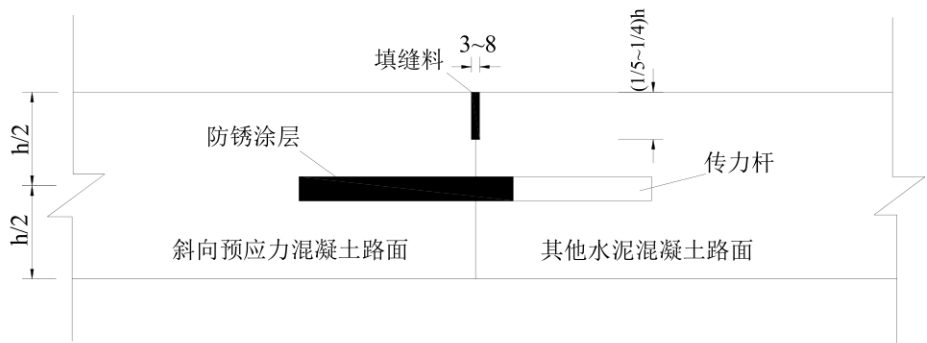


图4 横缝构造

e) 在邻近桥梁或其他固定构造物处，应设置横向胀缝，胀缝处应设置可滑动的传力杆，缝内应填充填缝料。胀缝宽度宜为 20mm~25mm，传力杆应采用光圆钢筋，尺寸和间距应符合表 2 的要求，胀缝构造见图 5。

单位：mm

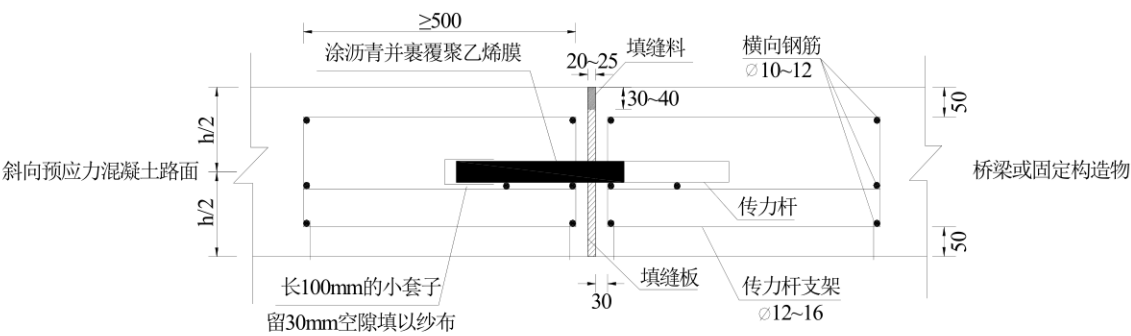


图5 胀缝构造

5.5.3 斜向预应力混凝土路面与沥青路面相接时，应设置不小于 3m 的过渡段。过渡段的路面应采用两种路面呈阶梯状叠合布置（见图 6）。过渡板顶面应设横向拉槽，沥青面层与过渡板之间应粘结良好。过渡板与混凝土面层板相接处宜设置直径 25mm、长 700mm、间距 400mm 的拉杆，过渡板混凝土的强度等级应与斜向预应力混凝土强度等级相同。

单位: mm

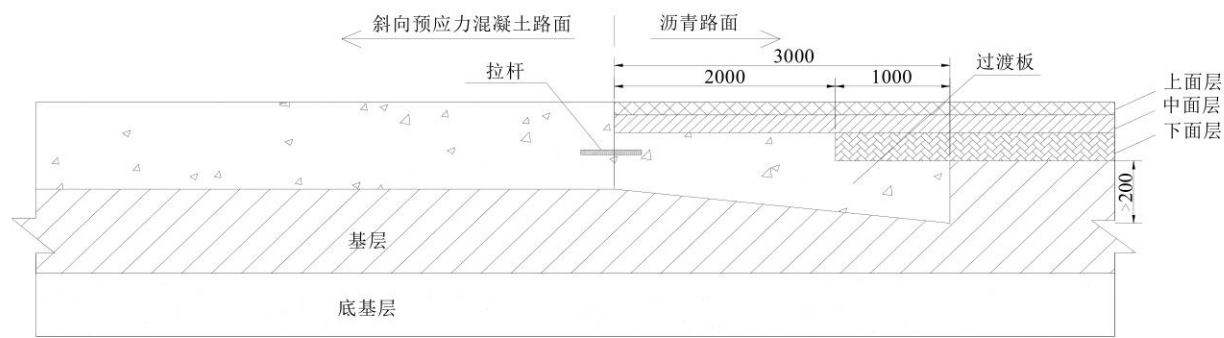


图6 斜向预应力混凝土路面与沥青路面相接段的构造布置

5.6 锚固区

- 5.6.1 斜向预应力混凝土路面锚固区局部受压承载力验算, 应符合 GB 50010 的相关要求。
- 5.6.2 预应力筋的锚具应根据结构特点和张拉施工方法, 按表 3 选用。

表3 锚具选用

预应力筋品种	张拉端	固定端
预应力钢绞线	夹片锚具	挤压锚具
预应力钢丝	夹片锚具	镦头锚具

- 5.6.3 斜向预应力混凝土路面锚固区形式有固定端与张拉端两种, 其构造分别见图 7 和图 8。

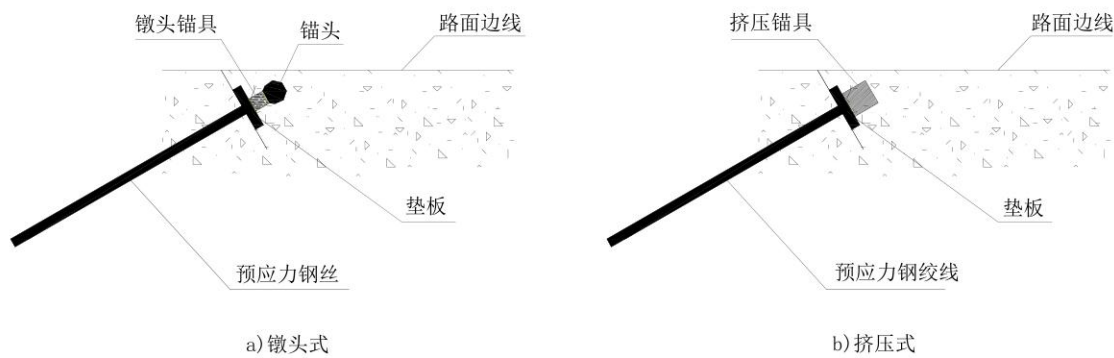


图7 固定端构造

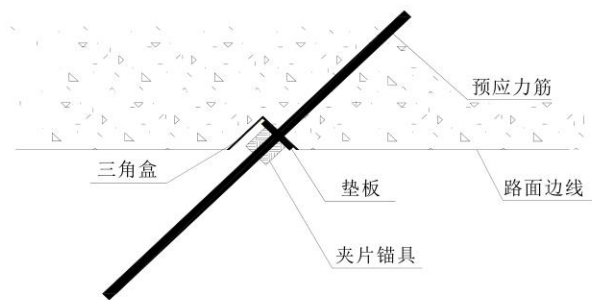


图8 张拉端构造

6 材料

6.1 混凝土材料

- 6.1.1 水泥应采用道路硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，水泥的技术要求应符合 GB 175 和 GB 13693 的要求，不得使用早强型水泥。
- 6.1.2 斜向预应力混凝土路面使用的粗集料、细集料应符合 JTG F30 的相关要求。
- 6.1.3 清洗集料、拌和混凝土及养生所用的水应符合 JGJ 63 的相关要求。

6.2 普通钢筋

斜向预应力混凝土路面用普通钢筋可根据使用部位和功能确定，其等级及规格应符合表4的要求。

表4 钢筋等级及规格

部位和功能	钢筋等级	钢筋直径 mm	外形
板端补强钢筋	HRB335	12	螺纹
纵向构造钢筋	HRB335	12	螺纹
箍筋	HPB235	6	光圆
架立钢筋	HPB235	6	光圆

6.3 预应力筋

- 6.3.1 斜向预应力混凝土路面用预应力筋可选用预应力钢丝或钢绞线，预应力钢丝性能应符合 GB/T 5223 的相关要求，钢绞线性能应符合 GB/T 5224 的相关要求。
- 6.3.2 预应力筋应通长，不得有接头。

6.4 缓凝胶粘材料

- 6.4.1 缓凝胶粘材料应无毒、无害、无污染，有防腐性能，常温下呈半固态，具有先粘结后固化的特性。
- 6.4.2 缓凝胶粘材料的缓凝期应在 14 天~28 天。

6.5 锚具

6.5.1 斜向预应力混凝土路面用锚具应符合 GB/T 14370 的相关要求。

6.5.2 夹具应具有良好的自锚性能、松锚性能和重复使用性能。锚具性能应符合 JGJ 92 的相关要求。

6.6 滑动层材料

6.6.1 细粒材料可选用粒径小于 2.36mm 的天然砂。

6.6.2 防水材料可选用油毡或厚度大于 0.1mm 的聚乙烯膜。

6.7 接缝材料

6.7.1 斜向预应力混凝土路面胀缝板宜采用塑胶、橡胶泡沫板或沥青纤维板。

6.7.2 斜向预应力混凝土路面纵向与横向接缝填缝料应优选耐老化性能好的树脂类、橡胶类或改性沥青类。填缝料包括常温施工式和加热施工式，其技术指标应符合 JTG F30 的要求。

7 施工方法和技术要求

7.1 施工机具

7.1.1 斜向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。

7.1.2 混凝土拌合物可采用工厂生产或现场拌制。现场混凝土拌合机应采用强制式水泥混凝土搅拌机或搅拌站。

7.1.3 混凝土拌合物的运输机具及运输要求应符合 JTG F30 的相关要求。

7.1.4 混凝土的摊铺成型可采用滑模摊铺机、三辊轴整平机或小型机具铺筑，所需的摊铺成型机应按 JTG F30 的相关要求选用。

7.2 施工准备

7.2.1 开工前，建设单位应组织设计、施工、监理单位进行技术交底。设计文件、图纸、资料应齐全。

7.2.2 斜向预应力混凝土路面面板施工前，路基及基层工程质量应符合 JTG F10 和 JTG/T F20 的相关要求。

7.2.3 材料进场时应按相关要求进行现场验收；预应力混凝土路面面板施工前，应检查所需材料的储量、性能，确保所有材料的数量和质量。

7.2.4 斜向预应力混凝土的配合比设计应符合 JTG F30 的相关要求。

7.3 施工工序

7.3.1 斜向预应力混凝土路面板的施工应有经审查批准的施工组织设计和施工技术方案。

7.3.2 斜向预应力混凝土路面面板的施工可按图 9 所示的工序进行。

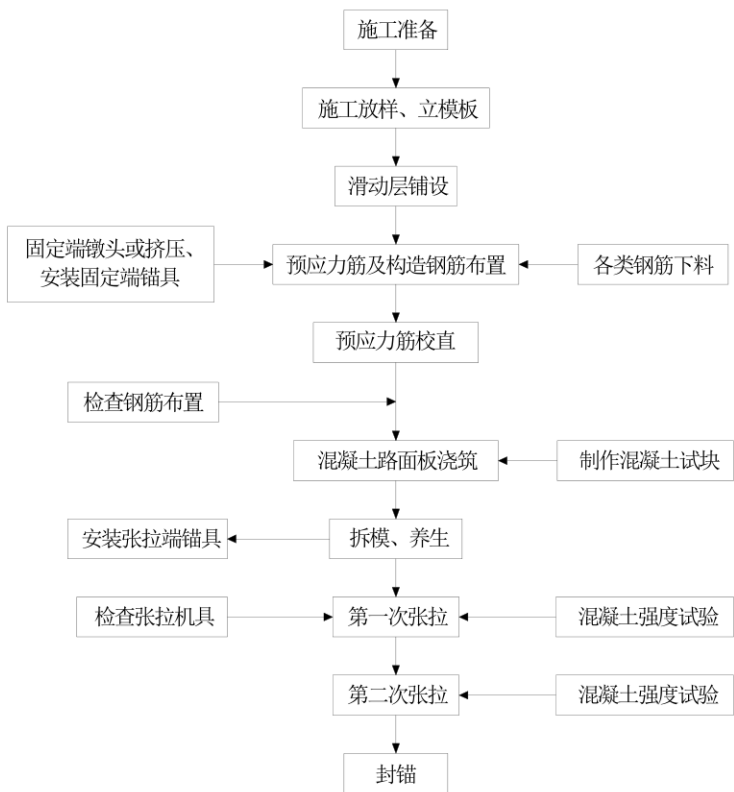


图9 斜向预应力混凝土路面面板施工工序

7.4 滑动层铺设

- 7.4.1 滑动层铺设前，应清扫斜向预应力混凝土板范围内的杂物，全面检查基层质量，对发现的破损处应进行修补。
- 7.4.2 滑动层铺设时，应先撒布细粒材料，厚度应均匀，再敷设防水材料，防水材料应略宽于路面宽度，且两端向上折起以防止漏浆。
- 7.4.3 防水材料铺设完成后，应做好保护工作，不得穿钉鞋作业或使用尖锐物打击。若防水材料破损，应及时进行修补。

7.5 预应力筋和构造钢筋布置

- 7.5.1 应检查预应力筋、构造钢筋的规格、尺寸和数量。
- 7.5.2 预应力筋和构造钢筋下料应使用机械切割，不得使用电焊或者气割下料。
- 7.5.3 预应力筋和构造钢筋布置应符合下列要求：
- a) 应按设计位置标定预应力筋与构造钢筋，先布置板端补强钢筋网与锚固区构造钢筋，再布置预应力筋；
 - b) 预应力筋应与垫板垂直，预应力筋交叉处应绑扎定位；
 - c) 应用架立钢筋将预应力筋架至设计位置，不得使用水泥混凝土块架立预应力筋；
 - d) 应逐根检查预应力筋绑扎和定位情况，允许偏差应符合 GB 50204 的相关要求；
 - e) 预应力筋铺设完毕后，应将缓凝胶粘材料均匀涂刷在预应力筋上。
- 7.5.4 预应力筋配套锚具的安装应符合 JGJ 92 的相关要求。

7.6 斜向预应力混凝土路面浇筑

7.6.1 斜向预应力混凝土路面浇筑应符合 JTG F30 的相关要求。

7.6.2 浇筑混凝土时，应符合以下要求：

- a) 预应力筋布置完毕后，应进行验收，当确认合格后方可浇筑混凝土。
- b) 混凝土浇筑时，宜选用布料机、挖掘机、吊斗或其他转运设备配合摊铺，不得踏压碰撞预应力筋、构造钢筋及架立钢筋。
- c) 混凝土应全面振捣密实，锚固区混凝土应加强振捣。

7.7 预应力筋张拉

7.7.1 斜向预应力混凝土路面应采用后张法施工。

7.7.2 预应力筋的张拉应符合下列要求：

- a) 张拉前应进行张拉设备校验。
- b) 高速公路、一级公路斜向预应力混凝土路面的预应力筋应采用两端张拉；二级公路、收费广场斜向预应力混凝土路面的预应力筋可一端张拉，张拉顺序为沿路面纵向从中间向两端依次对称张拉。
- c) 应采用二次张拉工艺。第一次张拉宜在面板浇筑完成 24h 后，且混凝土强度不得低于设计抗压强度的 30%，第一次张拉应力宜为 $0.3 \sigma_{con} \sim 0.5 \sigma_{con}$ ；第二次张拉宜在面板浇筑完成 6d~7d 后，且混凝土强度不得低于设计抗压强度的 75%，第二次应采用超张拉，张拉应力宜为 $1.05 \sigma_{con}$ ，持荷 2min，再卸荷至 σ_{con} 后锚固，或应在第二次张拉时直接张拉至 $1.03 \sigma_{con}$ 后锚固，并实测预应力筋伸长量。
- d) 锚固后应切除过长的预应力筋，应采用机械方法裁剪，不得采用电弧割断。预应力筋切断后露出锚具外的长度应为 30mm~50mm，并应用与路面相同强度等级的混凝土及时封锚。
- e) 预应力筋张拉应详细填写张拉记录，张拉记录表见附录 C。

7.8 养生

斜向预应力混凝土路面养生应符合 JTG F30 的相关要求，其中不同气温条件下斜向预应力混凝土路面养生龄期应按 JTG F30-2011 中表 11.4.6 关于配筋混凝土的要求取值。

8 质量检查与验收

8.1 一般要求

8.1.1 斜向预应力混凝土路面的施工质量控制、管理与检查应严格要求，对每个施工环节进行严格控制，对于出现的问题，应立即进行纠正。

8.1.2 斜向预应力混凝土钢筋工程及模板应符合 GB 50204、JTG F30 及本标准的相关要求。

8.1.3 斜向预应力混凝土路面基层的质量检查验收应符合 JTG/T F20 的要求。

8.2 滑动层的施工质量检查与验收

8.2.1 实测项目检查

滑动层的实测项目应按表 5 的要求执行。

表5 滑动层实测项目检查

项次	检查项目	允许偏差 mm	检查方法和频率
1	细粒状材料层厚度	±3	尺量，每 200m 每车道 2 处
2	细粒状材料层宽度	0， + 50	尺量，每 200m 测 4 点
3	聚乙烯薄膜宽度	0， + 50	尺量，每 200m 测 4 点

8.2.2 外观鉴定

细粒状材料应无大颗粒及泥块，聚乙烯薄膜表面应平整无破损。

8.3 钢筋加工及安装

8.3.1 实测项目

钢筋加工及安装的实测项目应符合表6、表7的要求。

表6 锚固区构造钢筋实测项目检查

项次	检查项目		允许偏差 mm	检查方法和频率
1	箍筋间距		±10	尺量，每 50m 检查 5~10 个间距
2	纵向构造钢筋	长	±30	尺量，按 30%抽查
		宽、高	±10	

表7 板端补强钢筋网实测项目检查

项次	检查项目	允许偏差 mm	检查方法和频率
1	网的长、宽	±10	尺量，全部
2	网眼尺寸	±10	尺量，抽查 3 个网眼
3	对角线差	15	尺量，抽查 3 个网眼对角线

8.3.2 外观鉴定

钢筋表面应无铁锈及焊渣。

8.4 预应力筋的布置和张拉

8.4.1 实测项目

预应力筋布置和张拉的实测项目应符合表8、表9的要求。

表8 预应力筋网眼实测项目检查

项次	检查项目	允许偏差 mm	检查方法和频率
1	网眼尺寸	± 20	尺量, 每 10m 抽查 3 个网眼
2	对角线差	30	尺量, 每 10m 抽查 3 个网眼对角线

表9 预应力筋实测项目检查

项次	检查项目	允许偏差或规定值	检查方法和频率
1	预应力筋位置允许偏差	$\pm 10\text{mm}$	尺量, 每 50m 抽查 3 处
2	预应力角度允许偏差	$\pm 5^\circ$	尺量, 每 50m 抽查 3 处
3	张拉应力值	符合设计要求 (Mpa)	查油表读数, 全部
4	张拉伸长率	符合设计要求 (%), 无设计要求时 $\pm 6\%$	尺量, 全部

8.4.2 外观鉴定

预应力筋表面应保持清洁, 不得有明显的锈迹。

8.5 水泥混凝土面层的质量检查与验收

8.5.1 实测项目

斜向预应力混凝土面层的实测项目应按表10的要求执行。

表10 斜向预应力混凝土面层实测项目检查

项次	检查项目		规定值或允许偏差		检查方法和频率
			高速公路、一级公路	其他公路	
1	弯拉强度 MPa		符合设计要求		标准小梁法或钻芯劈裂法，/
2	板厚度 mm	代表值	-5		挖验或钻芯法， 每 200m 每车道两处
		合格值	-10		
3	平整度 mm	σ	≤ 1.32	≤ 2.00	采用平整度仪全线每车道连续检测，每 100m 计算 σ 、IRI 3m 直尺，半幅车道板带每 200m 测 2 处×10 尺
		IRI	≤ 2.20	≤ 3.30	
		最大间隙 h	≤ 3	≤ 5	
4	抗滑构造深度 mm		一般路段不小于 0.7 且 不大于 1.1；特殊路段不 小于 0.8 且不大于 1.2	一般路段不小于 0.5 且不大于 1.0； 特殊路段不小于 0.6 且不大于 1.1	铺砂法，每 200m 测 1 处
5	相邻板高差 mm		2	3	尺测，每条 2 点
6	纵缝顺直度 mm		10		每 20m 拉线，每 200m 测 4 处

表 10 斜向预应力混凝土面层实测项目检查(续)

项次	检查项目	规定值或允许偏差		检查方法和频率
		高速公路、一级公路	其他公路	
7	中线平面偏位 mm	20		经纬仪, 每 200m 测 4 点
8	路面宽度 mm	± 20		抽量, 每 200m 测 4 处
9	纵断高程 mm	± 10	± 15	水准仪, 每 200m 测 4 断面
10	横坡 %	± 0.15	± 0.25	水准仪, 每 200m 测 4 断面
注: 表中 σ 为平整度仪测定的标准差; IRI 为国际平整度指数; h 为 3m 直尺与面层的最大间隙。				

8.5.2 外观鉴定

斜向预应力混凝土面层的外观鉴定应包括以下内容:

- a) 对于高速公路和一级公路, 混凝土板表面的脱皮、印痕、裂纹和缺边掉角等病害现象的缺陷面积不得超过受检面积的 0.2%, 其他公路不得超过 0.3%。
- b) 路面侧石应直顺、曲线圆滑。
- c) 接缝填筑应饱满密实, 不得污染路面。
- d) 胀缝应无明显缺陷。

附录 A
(规范性附录)

斜向预应力混凝土路面面板应力分析及计算流程

A.1 力学模型

斜向预应力混凝土路面结构分析应采用弹性地基板模型,适用于无机结合料类基层或沥青类基层上混凝土面层,旧混凝土路面上加铺分离式混凝土面层;面层和基层或者新旧面层设计分析时作为分离式双层板,基层底面以下或者旧面层底面以下部分应按弹性地基处理。

斜向预应力混凝土面层板的临界荷位位于板长边缘中部。

A.2 荷载疲劳应力分析

A.2.1 标准轴载在临界荷位处产生的荷载疲劳应力按公式(A.1)计算。

$$\sigma_{pr} = k_f k_c \sigma_{ps} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- σ_{pr} ——设计轴载在面层板临界荷位处产生的荷载疲劳应力,单位为兆帕(MPa);
 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,按公式(A.6)计算确定;
 k_c ——考虑计算理论与实际差异以及动载等因素影响的综合系数,查表A.1按公路等级确定;
 σ_{ps} ——荷载应力,单位为兆帕(MPa)。

表A.1 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	1.15	1.10	1.05	1.00

A.2.2 设计轴载在临界荷位处产生的荷载应力按公式(A.2)计算。

$$\sigma_{ps} = \frac{1.45 \times 10^{-3}}{1 + D_b/D_c} r_g^{0.65} h_c^{-2} P_s^{0.94} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- σ_{ps} ——荷载应力,单位为兆帕(MPa);
 D_b ——下层板的截面弯曲刚度,按公式(A.3)计算,单位为兆牛·米(MN·m);
 D_c ——上层板的截面弯曲刚度,按公式(A.4)计算,单位为兆牛·米(MN·m);
 r_g ——双层板的总相对刚度半径,按公式(A.5)计算,单位为米(m);
 h_c ——上层板的厚度,单位为米(m);

P_s ——设计轴载重，单位为千牛（kN）。

$$D_b = \frac{E_b h_b^3}{12(1-\nu_b^2)} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

D_b ——下层板的截面弯曲刚度，单位为兆牛·米（MN·m）；

E_b ——下层板的弯拉弹性模量，单位为兆帕（MPa）；

h_b ——下层板的厚度，单位为米（m）；

ν_b ——下层板的泊松比。

$$D_c = \frac{E_c h_c^3}{12(1-\nu_c^2)} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

D_c ——上层板的截面弯曲刚度，单位为兆牛·米（MN·m）；

E_c ——上层板的弯拉弹性模量，单位为兆帕（MPa）；

h_c ——上层板的厚度，单位为米（m）；

ν_c ——上层板的泊松比。

$$r_g = 1.21[(D_c + D_b)/E_t]^{1/3} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

r_g ——双层板的总相对刚度半径，单位为米（m）；

D_c ——上层板的截面弯曲刚度，按公式（A.4）计算，单位为兆牛·米（MN·m）；

D_b ——下层板的截面弯曲刚度，按公式（A.3）计算，单位为兆牛·米（MN·m）；

E_t ——板底地基当量回弹模量，单位为兆帕（MPa）。

A.2.3 设计基准期内的荷载疲劳应力系数按公式（A.6）计算。

$$k_f = (N_e)^\lambda \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

k_f ——设计基准期内的荷载疲劳应力系数；

N_e ——设计基准期内设计轴载累计作用次数，按 JTG D40-2011 中附录 A 的公式（A.5）计算；

λ ——材料疲劳指数，在斜向预应力混凝土路面中， $\lambda=0.057$ 。

A.2.4 新建公路的板底地基当量回弹模量 E_t 应按公式（A.7）计算。

$$E_t = \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^\alpha E_0 \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

E_t ——板底地基当量回弹模量，单位为兆帕（MPa）；

E_x ——粒料层的当量回弹模量，按公式（A.9）计算，单位为兆帕（MPa）；

E_0 ——路床顶综合回弹模量，单位为兆帕（MPa）；

α ——与粒料层总厚度 h_x 有关的回归系数, 按公式 (A. 8) 计算。

$$\alpha = 0.86 + 0.26 \ln h_x \quad \dots\dots\dots (A. 8)$$

式中:

α ——与粒料层总厚度 h_x 有关的回归系数;

h_x ——粒料层的总厚度, 按公式 (A. 10) 计算, 单位为米 (m)。

$$E_x = \sum_{i=1}^n (h_i^2 E_i) / \sum_{i=1}^n h_i^2 \quad \dots\dots\dots (A. 9)$$

式中:

E_x ——粒料层的当量回弹模量, 单位为兆帕 (MPa);

h_i ——第 i 结构层的厚度, 单位为米 (m);

E_i ——第 i 结构层的回弹模量, 单位为兆帕 (MPa)。

$$h_x = \sum_{i=1}^n h_i \quad \dots\dots\dots (A. 10)$$

式中:

h_x ——粒料层的总厚度, 单位为米 (m);

h_i ——第 i 结构层的厚度, 单位为米 (m)。

A. 3 温度疲劳应力分析

A. 3. 1 在面层板临界荷位处产生的温度疲劳应力按公式 (A. 11) 计算。

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{t, \max} \quad \dots\dots\dots (A. 11)$$

式中:

σ_{tr} ——面层临界荷位处的温度疲劳应力, 单位为兆帕 (MPa);

k_t ——考虑温度应力累计疲劳作用的温度疲劳应力系数, 按公式 (A. 13) 确定;

$\sigma_{t, \max}$ ——最大温度梯度时面层板产生的最大温度应力, 按公式 (A. 12) 确定, 单位为兆帕 (MPa)。

A. 3. 2 最大温度梯度时混凝土面层板最大温度应力 $\sigma_{t, \max}$ 应按公式 (A. 12) 计算。

$$\sigma_{t, \max} = \frac{E_c \alpha_c h_c T_g}{2(1 - \nu_c)} \quad \dots\dots\dots (A. 12)$$

式中:

$\sigma_{t, \max}$ ——最大温度梯度时面层板产生的最大温度应力, 单位为兆帕 (MPa);

E_c ——混凝土面层弯拉弹性模量, 单位为兆帕 (MPa);

α_c ——混凝土的线膨胀系数, 根据粗集料的岩性按 JTG D40-2011 中表 E. 0. 3-2 取用;

h_c ——上层板的厚度, 单位为米 (m);

T_g ——公路所在地 50 年一遇的最大温度梯度, 查 JTG D40-2011 中表 3. 0. 10 取用, 单位为摄

氏度每米 (°C/m);
 ν_c ——上层板的泊松比。

A.3.3 温度疲劳应力系数 k_t , 应按公式 (A.13) 计算。

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{t,max}} \left[a_t \left(\frac{\sigma_{t,max}}{f_r} \right)^{b_t} - c_t \right] \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

k_t ——温度疲劳应力系数;

f_r ——混凝土弯拉强度标准值, 单位为兆帕 (MPa) ;

$\sigma_{t,max}$ ——最大温度梯度时面层板产生的最大温度应力, 按公式 (A.12) 确定, 单位为兆帕 (MPa);

a_t ——回归系数, 按所在地区的公路自然区划查表 A.2 确定;

b_t ——回归系数, 按所在地区的公路自然区划查表 A.2 确定;

c_t ——回归系数, 按所在地区的公路自然区划查表 A.2 确定。

表A.2 回归系数 a_t 、 b_t 和 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.4 斜向预应力混凝土路面计算流程

斜向预应力混凝土路面计算流程按下列程序进行:

a) 收集交通资料, 计算使用初期设计车道所承受的标准轴载作用次数 N_s , 确定公路的交通等级及设计使用年限。根据公路的交通组织和车道宽度, 选定轮迹横向分布系数 η 。然后计算设计车道使用年限内的标准轴载累计作用次数 N_e ;

b) 初拟路面板厚。一般公路预应力路面板厚应略大于相应素混凝土路面的 0.65 倍。考虑到交通量大和重载影响, 公路预应力混凝土路面的板厚宜取相应素混凝土路面板厚的 0.7 倍~0.75 倍;

c) 计算荷载疲劳应力 σ_{pr} 。首先计算标准轴载产生的荷载应力 σ_{ps} , 然后按照交通等级, 选定综合系数 k_c , 计算疲劳荷载应力系数 k_f ;

d) 计算温度疲劳应力 σ_{tr} 。按公路所在自然区划表选取温度梯度, 然后计算最大温度梯度时的温度应力 $\sigma_{t,max}$, 再计算温度疲劳应力系数 k_t ;

e) 确定纵向预应力值 σ_{py} 。根据公式 (1), 设 $[\gamma (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) - f]_t = \sigma_0$, σ_{py} 取值应大于等于 σ_0 。

f) 拟定预应力筋与路面纵向夹角, 按照公式 (2) 计算预应力筋布置间距 l 。如果求得的预应力筋布置间距 $l < 50\text{cm}$, 则需减小预应力筋与路面纵向夹角, 重新进行计算, 直至满足所求的预应力筋布置间距 $l \geq 50\text{cm}$; 若角度调整到最小, 求得的预应力筋布置间距仍不满足要求, 则需增加路面板厚, 重复第 2 步以后的计算, 直至所求的预应力筋布置间距 $l \geq 50\text{cm}$ 为止。如果求得的预应力筋布置间距 $l > 100\text{cm}$, 则取预应力筋布置间距为 100cm。

附录 B (资料性附录)

斜向预应力混凝土路面计算示例

B.1 斜向预应力混凝土路面计算示例

B.1.1 交通资料

以××××公路为例,公路所在地区的自然区划为III区,经交通调查得知,设计轴载 $P_s=100\text{kN}$,设计车道使用初期设计轴载的日作用次数为2500次,交通量年平均增长率5%。面层为斜向预应力混凝土路面,路面宽度9m,半幅宽度4.5m,混凝土设计弯拉强度 $f_r=5.0\text{MPa}$,混凝土弯拉弹性模量 $E_c=3.1\times 10^4\text{MPa}$,混凝土的泊松比为0.15,混凝土线胀系数 $\alpha_c=1.0\times 10^{-5}/^\circ\text{C}$,基层为石灰粉煤灰稳定碎石,厚度16cm,基层回弹模量为1300MPa,泊松比取0.20,底基层为石灰粉煤灰稳定砂砾,厚度18cm,底基层回弹模量取1100MPa。土基为粉质土,干湿类型为中湿,路床顶综合回弹模量 $E_0=40\text{MPa}$ 。预应力钢绞线(采用 $\phi 15.2$)标准强度 $R_p=1860\text{MPa}$,公称截面面积 $A_p=140\text{mm}^2$ 。

B.1.2 交通分析

查JTG D40-2011表3.1可知,二级公路,设计使用年限为20年,安全等级为二级,目标可靠度为85%,目标可靠指标为1.04,二级公路的变异水平等级不大于中級,车辆轮迹横向分布系数取较大值0.62,计算得到设计基准期内设计车道设计轴载累计作用次数:

$$N_e = \frac{N_s [(1 + g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \times \eta = \frac{2500 \times [(1 + 0.05)^{20} - 1] \times 365}{0.05} \times 0.62 = 1870 \times 10^4 \text{ 次}$$

根据 JTG D40-2011 表 3.7 可知,属于重交通荷载等级。

B.1.3 初拟路面结构

初拟斜向预应力混凝土路面厚度为 240mm,板长为 100m。

B.1.4 荷载疲劳应力计算

B.1.4.1 计算板底地基当量回弹模量 E_t 。

$$h_x = \sum_{i=1}^n h_i = h_1 + h_2 = (0.16 + 0.18)\text{m} = 0.34\text{m}$$

$$\alpha = 0.86 + 0.26 \ln h_x = 0.86 + 0.26 \ln 0.34 = 0.580$$

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i^2 E_i)}{\sum_{i=1}^n h_i^2} = \left(\frac{0.16^2 \times 1300 + 0.18^2 \times 1100}{0.16^2 + 0.18^2} \right) \text{MPa} = 1188 \text{MPa}$$

$$E_t = \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^\alpha E_0 = \left[\left(\frac{1188}{40} \right)^{0.580} \times 40 \right] \text{MPa} = 285 \text{MPa}$$

B.1.4.2 计算混凝土面层板的弯曲刚度 D_c 。

$$D_c = \frac{E_c h_c^3}{12(1-\nu_c)^2} = \left(\frac{31000 \times 0.24^3}{12 \times (1-0.15)^2} \right) \text{MN} \cdot \text{m} = 36.5 \text{MN} \cdot \text{m}$$

B. 1. 4. 3 计算半刚性基层板的弯曲刚度 D_b 。

$$D_b = \frac{E_b h_b^3}{12(1-\nu_b)^2} = \left(\frac{1300 \times 0.16^3}{12 \times (1-0.20)^2} \right) \text{MN} \cdot \text{m} = 0.462 \text{MN} \cdot \text{m}$$

B. 1. 4. 4 计算路面结构总相对刚度半径 r_g 。

$$r_g = 1.21[(D_c + D_b)/E_t]^{1/3} = \{1.21 \times [(36.5 + 0.462)/285]^{1/3}\} \text{m} = 0.613 \text{m}$$

B. 1. 4. 5 计算设计轴载在临界荷位处产生的荷载应力 σ_{ps} 。

$$\sigma_{ps} = \frac{1.45 \times 10^{-3}}{1 + D_b/D_c} r_g^{0.65} h_c^{-2} P_s^{0.94} = \left(\frac{1.45 \times 10^{-3}}{1 + 0.462/36.5} \times 0.613^{0.65} \times 0.24^{-2} \times 100^{0.94} \right) \text{MPa} = 1.371 \text{MPa}$$

B. 1. 4. 6 计算设计基准期内的荷载疲劳应力系数 k_f 。

$$k_f = (N_e)^\lambda = (1.87 \times 10^7)^{0.057} = 2.597$$

B. 1. 4. 7 计算标准轴载在临界荷位处产生的荷载疲劳应力 σ_{pr} 。

$$\sigma_{pr} = k_f k_c \sigma_{ps} = (2.597 \times 1.05 \times 1.377) \text{MPa} = 3.75 \text{MPa}$$

B. 1. 5 温度疲劳应力 σ_{tr} 计算

B. 1. 5. 1 计算最大温度梯度时混凝土面层板最大温度应力 $\sigma_{t,\max}$ 。

$$\sigma_{t,\max} = \frac{E_c \alpha_c h_c T_g}{2(1-\nu_c)} = \left[\frac{31000 \times 1 \times 10^{-5} \times 0.24 \times 0.95 \times 100}{2 \times (1-0.15)} \right] \text{MPa} = 4.16 \text{MPa}$$

B. 1. 5. 2 计算温度疲劳应力系数 k_t 。

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{t,\max}} \left[a_t \left(\frac{\sigma_{t,\max}}{f_r} \right)^{b_t} - c_t \right] = \frac{5}{4.16} \times \left[0.855 \times \left(\frac{4.16}{5} \right)^{1.355} - 0.041 \right] = 0.751$$

B. 1. 5. 3 计算温度疲劳应力 σ_{tr} 。

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{t,\max} = (0.751 \times 4.16) \text{MPa} = 3.12 \text{MPa}$$

B. 1. 6 纵向预应力值 σ_{py} 计算

$\sigma_0 = \gamma(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) - f_r = [1.04 \times (3.75 + 3.12) - 5] \text{MPa} = 2.2 \text{MPa}$ ， $\sigma_{py} \geq \sigma_0$ ， σ_{py} 取值为 2.2MPa。

B. 1. 7 预应力筋布置间距 l 计算

拟定预应力筋与路面纵向夹角取值 30° ，预应力损失值按张拉控制应力的 20% 计算。

$$l = \frac{2(\sigma_{con} - \sigma_l) \times A_p \times \cos \theta}{h_c \times \sigma_{py} \times \tan \theta} = \left(\frac{2 \times 0.8 \times 0.75 \times 1860 \times 140 \times \cos 30^\circ}{240 \times 2.2 \times \tan 30^\circ} \right) \text{mm} = 914 \text{mm}$$

因此，斜向预应力筋布置间距为 90cm。计算得出的预应力筋的布置间距 $100\text{cm} \geq l \geq 50\text{cm}$ ，因此拟定的板厚及预应力筋角度合适，满足设计要求。

附 录 C
(资料性附录)
斜向预应力混凝土路面预应力筋张拉记录表

C.1 斜向预应力混凝土路面预应力筋张拉记录表

斜向预应力混凝土路面预应力筋张拉记录表如表C.1所示。

表 C.1 斜向预应力混凝土路面预应力筋张拉记录表

合同段_____

工程名称			桩号范围		张拉日期	
千斤顶编号				油压表编号		
预应力筋编号		张拉前长度（mm）	张拉后长度（mm）	实际伸长量（mm）	滑断丝情况及处理措施	
张拉人					记录人	