广西壮族自治区工程建设地方标准 DB

**DBJ/T45-xxx-2024**

**备案号：Jxxxxx-2024**

**超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构技术规程**

Technical specification for ultra-high performance concrete-normal concrete composite cover slab structures

**（征求意见稿）**

**2024年xx月xx 发布 2024年xx月xx 实施**

广西壮族自治区住房和城乡建设厅 发布

广西壮族自治区工程建设地方标准

**超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构技术规程**

Technical specification for ultra-high performance concrete - normal concrete composite cover slab structures

**DBJ/T45-xxx-2024**

**（征求意见稿）**

**批准部门：**广西壮族自治区住房和城乡建设厅

**主编单位：**广西新祥高速公路有限公司

广西大学

**施行日期：**2024年XX月XX日

**2024年 广西**

**前 言**

根据广西壮族自治区住房和城乡建设厅《自治区住房和城乡建设厅关于下达2022年度第二批全区工程建设地方标准制（修）订项目计划的通知》（桂建标[2022] 4号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，结合广西区内市政工程建设中城市下穿通道盖板结构的应用特点，认真总结超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的实践经验，参考国家、行业现行有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制订了本规程。

本规程共11章，主要技术内容包括：1 总则，2 术语和符号，3 基本规定，4 材料，5 持久状况承载能力极限状态计算，6 持久状况正常使用极限状态计算，7 持久状况和短暂状况构件的应力计算，8 构造要求，9 施工，10 检验与评定。

本规程由广西壮族自治区住房和城乡建设厅负责管理，由广西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，请寄送广西大学（地址：广西南宁西乡塘区大学东路100号广西大学土木建筑工程学院，邮编：510004），以供修订时参考。

**本标准主编单位：**广西新祥高速公路有限公司

广西大学

**本标准参编单位：**广西交建工程建设集团有限公司

中铁一局集团有限公司

中国一冶集团有限公司

广西正茂材料科技有限公司

**本标准主要起草人员：**

**本标准主要审查人员：**

**目 次**

[1 总则 1](#_Toc5566)

[2 术语和符号 2](#_Toc5104)

[3 基本规定 7](#_Toc10910)

[4 材料 8](#_Toc375)

[4.1 超高性能混凝土 8](#_Toc48)

[4.2 其他材料 9](#_Toc15977)

[5 持久状况承载能力极限状态计算 10](#_Toc18429)

[5.1 一般规定 10](#_Toc17465)

[5.2 梁板正截面抗弯承载力计算 10](#_Toc5007)

[5.3 主梁斜截面抗剪承载力计算 12](#_Toc27805)

[5.4 界面抗剪钢筋承载力计算 14](#_Toc4788)

[5.5 界面抗剪钢筋数量计算 14](#_Toc14677)

[6 持久状况正常使用极限状态计算 17](#_Toc13491)

[6.1 一般规定 17](#_Toc1804)

[6.2 裂缝宽度验算 17](#_Toc19476)

[6.3 挠度验算 19](#_Toc27757)

[7 持久状况和短暂状况构件的应力计算 21](#_Toc4609)

[7.1 持久状况构件应力计算 21](#_Toc20123)

[7.2 短暂状况构件应力计算 21](#_Toc3390)

[8 构造要求 24](#_Toc16045)

[8.1 一般规定 24](#_Toc16969)

[8.2 超高性能混凝土倒“T”/“π”形梁 25](#_Toc4071)

[9 施工 27](#_Toc32043)

[9.1 一般规定 27](#_Toc21689)

[9.2 钢筋施工 27](#_Toc19183)

[9.3 模板 27](#_Toc8408)

[9.4 超高性能混凝土拌合和预制 29](#_Toc10223)

[9.5 超高性能混凝土板的运输与现场安装 30](#_Toc8420)

[9.6 安全文明施工、环保措施 31](#_Toc20809)

[10 检验与评定 32](#_Toc23673)

[10.1 一般规定 32](#_Toc23358)

[10.2 模板 32](#_Toc23971)

[10.3 钢筋工程 32](#_Toc31561)

[10.4 超高性能混凝土工程 33](#_Toc4359)

[用词说明 35](#_Toc11311)

[引用标准名录 36](#_Toc3137)

[附：条文说明 38](#_Toc17244)

**Contents**

1 General Provisions   1

2 Terminology and Symbols 2

3 General Requirements 7

4 Material 8

4.1 Ultra-High Performance Concrete 8

4.2 Other Materials 9

5 Ultimate Limit States Design under Permanent Situation 10

5.1 General Provisions 10

5.2 Calculation of Flexural Capacity for Beams 10

5.3 Calculation of Shear Capacity for Beams 12

5.4 Calculation of the bearing capacity of interface shear resistant steel bars 14

5.5 Calculation of the quantity of shear resistant steel bars on the interface 14

6 Serviceability Limit States Design under Permanent Situation 17

6.1 General Provisions 17

6.2 Checking of Crack Widths 17

6.3 Checking of Deflection 19

7 Stress Calculation of Members under Permanent and Short-Term Situations 21

7.1 Stress Calculation of Members under Permanent Situation 21

7.2 Stress Calculation of Members under Short-Term Situation 21

8 Structural Requirements 24

8.1 General Provisions 24

8.2 Inverted "T" or "π"-shaped Ultra-High Performance Concrete Beam 25

9 Construction 27

9.1 General Provisions 27

9.2 Construction of Reinforcement 27

9.3 Formwork 27

9.4 Mixing and prefabrication of ultra-high performance concrete 29

9.5 Transportation and on-site Installation of Ultra-High Performance Concrete Slabs 30

9.6 Safe and civilized construction, environmental protection 31

10 Inspection and Evaluation 32

10.1 General Provisions 32

10.2 Formwork 32

10.3 Construction of Reinforcement 32

10.4 Construction of Ultra-High Performance Concrete 33

Explanation of Wording in this Specification 35

Reference Standards 36

Explanation of Provisions 38

# 1 总则

**1.0.1** 为规范超高性能混凝土一普通混凝土组合式盖板结构的设计与施工，统一质量检验标准，按照技术先进、安全可靠、耐久使用、经济合理的原则，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于广西区市政工程新建下穿通道工程中超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的设计、施工与验收。

**1.0.3**  超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构设计应根据城乡规划确定的道路等级、通道过水要求、城市交通发展需要，遵循节约资源、低碳节能、保护环境的原则进行设计与施工。

**1.0.4** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的设计、施工与验收除应符合本规程外，尚应符合国家、行业及广西壮族自治区现行有关标准相关规定。

# 2 术语和符号

**2.1 术语**

**2.1.1** 超高性能混凝土 ultra-high performance concrete

由水泥、矿物掺合料、细骨料、钢纤维和外加剂等材料或由上述材料制成的干混料加水拌和，经凝结硬化后形成的一种具有超高强度、超高韧性和超高耐久性的水泥基复合材料，简称UHPC。

**2.1.2** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板 ultra-high performance concrete-normal strength concrete composite cover slab

一种由超高性能混凝土倒“T”/“π”形预制梁及上浇普通混凝土组成的组合式盖板结构，简称UHPC-NSC组合式盖板。

**2.1.3** 钢纤维体积率 steel fiber volume fraction

钢纤维所占超高性能混凝土的体积百分比。

**2.1.4** 弹性极限抗拉强度 elastic limit tensile strength

轴拉试件达到弹性极限点时对应的拉应力，也称为初裂抗拉强度。

**2.1.5** 应变硬化 strain hardening

当拉应力超过弹性极限抗拉强度后，拉应力随应变增大而无明显下降的现象。

**2.1.6** 应变软化 strain softening

当拉应力超过弹性极限抗拉强度后，拉应力随应变增大而持续下降的现象。

**2.1.7** 极限抗拉强度 ultimate tensile strength

单轴拉伸为应变硬化时所对应的最大拉应力，或单轴拉伸为应变软化时，达到规定应变或变形量时所对应的拉应力。

**2.1.8**  钢纤维取向系数 fiber orientation coefficient

表示纤维取向效应对超高性能混凝土受拉开裂后力学性能的影响系数。

**2.1.9** 整体纤维取向系数 fiber orientation coefficient associated with global effects

表示较大区域内应力不受局部缺陷影响，与整体效应相关的纤维取向系数。

**2.1.10** 局部钢纤维取向系数 fiber orientation coefficient associated with local effects

表示局部区域内应力受局部缺陷影响，与局部效应相关的纤维取向系数。

**2.1.11** 界面抗剪钢筋 interfacial shear-resistance rebar

在预制超高性能混凝土板中设置垂直于板体的界面抗剪钢筋，以抵抗超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构在受弯荷载作用下的层间剪切滑移和竖向掀起，达到确保组合式盖板结构中超高性能混凝土与普通混凝土共同受力的目的。

**2.1.12** 标准蒸汽养护 standard steam curing

浇筑的超高性能混凝土试件在温度为 20℃±5℃、相对湿度大于 50%的室内静置 1d～2d 后脱模，将脱模后的试件放入蒸汽养护箱，以不大于 15℃/h 的速率升温至 90℃，持续养护 48h，然后以不大于 15℃/h 的速率降温至室温，待试件冷却至室温后从蒸汽养护箱中取出的养护过程。

**2.2 符号**

**2.2.1 材料性能有关符号**

|  |  |
| --- | --- |
| 、 | ——超高性能混凝土弹性极限抗拉强度、极限抗拉强度； |
| 、 | ——超高性能混凝土整体纤维取向系数、局部纤维取向系数； |
|  | ——边长为100mm的超高性能混凝土立方体抗压强度标准值； |
| 、 | ——超高性能混凝土轴心抗压强度标准值、设计值； |
| 、 | ——超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值； |
|  | ——超高性能混凝土弹性模量； |
|  | ——超高性能混凝土泊松比； |
|  | ——超高性能混凝土温度线膨胀系数； |
| 、 | ——普通钢筋的屈服强度、抗拉强度设计值； |
| 、 | ——受拉区NSC层、UHPC层的纵向受力钢筋的抗拉强度设计值； |
| 、 | ——抗剪箍筋抗拉强度标准值、设计值； |
|  | ——普通混凝土轴心抗压强度设计值； |
|  | ——纤维增强截面的残余抗拉强度； |
|  | ——组合式盖板结构受压边缘普通混凝土极限压应变； |
|  | ——普通钢筋弹性模量； |
| 、 | ——施工阶段普通混凝土轴心抗压、抗拉强度标准值； |
|  | ——施工阶段超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值； |
|  | ——超高性能混凝土的重力密度； |
| UC120 | ——边长为100mm的立方体抗压强度标准值为120MPa的超高性能混 |
|  | 凝土； |
| UT6 | ——哑铃型试件轴心抗拉强度标准值为6MPa的超高性能混凝土； |
| UF22 | ——棱柱体弯拉强度标准值为22MPa的超高性能混凝土； |
|  | ——短暂状况时钢筋的应力限值。 |

2.2.2 作用和作用效应有关符号

|  |  |
| --- | --- |
| 、 | ——正截面弯矩设计值、抗弯承载力； |
| 、 | ——基本组合剪力设计值、斜截面抗剪承载力； |
| 、 | ——构件斜截面上超高性能混凝土基体、纤维受剪承载力设计值； |
| 、 | ——构件斜截面上抗剪钢筋、普通混凝土基体受剪承载力设计值； |
|  | ——倒“T”形组合式盖板结构内超高性能混凝土与普通混凝土交界面 |
|  | 的纵向剪力； |
| 、 | ——计算界面剪力时取的自由体右、左端压力； |
| 、 | ——计算界面剪力时取的自由体右、左段力矩； |
| 、 | ——计算界面剪力时取的自由体右、左段拉力； |
|  | ——单根抗剪钢筋的抗剪承载力设计值； |
| 、 | ——作用频遇组合下开裂截面UHPC层和NSC层钢筋的应力； |
|  | ——短暂状况计算时截面受压区边缘NSC的压应力； |
|  | ——中性轴处超高性能混凝土的主拉应力； |
|  | ——由临时的施工荷载标准值产生的弯矩值； |
|  | ——按短暂状况计算时受拉区第i层钢筋的应力； |
|  | ——由临时的施工荷载标准值产生的剪力值； |
|  | ——新浇筑超高性能混凝土对模板的最大侧压力； |
|  | ——受压区超高性能混凝土压力合力； |
| 、 | ——受拉区超高性能混凝土受拉弹、塑性区拉力合力； |
| 、 | ——受拉区NSC、UHPC层钢筋拉力； |

2.2.3 几何参数有关符号

|  |  |
| --- | --- |
|  | ——组合式盖板结构受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值； |
| 、 | ——受拉区NSC层、UHPC层的纵向受力钢筋的截面面积； |
| 、 | ——受拉区NSC层、UHPC层的纵向受力钢筋合力点到受拉边缘的高 |
|  | 度； |
| 、 | ——截面宽度、倒“T”形超高性能混凝土板腹板宽度； |
| 、 | ——受压区等效矩形应力图高度、实际受压区高度； |
|  | ——组合梁截面高度； |
|  | ——倒“T”形截面有效高度； |
|  | ——普通混凝土层高度； |
| 、 | ——超高性能混凝土层高度、倒“T”形超高性能混凝土腹板高度； |
|  | ——纤维作用面积； |
| 、 | ——抗剪箍筋、界面钢筋截面面积； |
|  | ——抗剪箍筋间距； |
| 、 | ——超高性能混凝土、普通混凝土表面裂缝宽度； |
| 、 | ——超高性能混凝土、普通混凝土表面最大裂缝宽度限值； |
|  | ——受拉弹性区高度； |
|  | ——NSC层最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底部的距离； |
| 、 | ——纵向受拉钢筋直径、采用不同钢筋时的换算直径； |
|  | ——超高性能混凝土的有效受拉截面面积； |
|  | ——受压区边缘至受拉区第 i 层钢筋截面重心的距离； |
|  | ——受压区合力点至受拉钢筋合力点的距离； |
|  | ——超高性能混凝土侧压力计算位置处至新浇超高性能混凝土顶面的 |
|  | 总高度； |
|  | ——计算界面剪力时取自由体的长度； |
|  | ——截面曲率； |
|  | ——压力作用线与底部受拉钢筋的竖向距离。 |

**2.2.4 计算系数及其他有关符号**

|  |  |
| --- | --- |
|  | ——结构重要性系数； |
|  | ——主压应力与梁轴线间夹角； |
|  | ——倒“T”形组合式盖板结构的抗剪连接件的数目； |
|  | ——构件受力特征系数； |
|  | ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数； |
| 、 | ——NSC层、UHPC层纵向受拉钢筋的有效配筋率； |
|  | ——钢筋表面形状系数、作用（或荷载）长期效应影响系数、与构件受 |
|  | 力性质有关的系数、考虑超高性能混凝土底板对上层普通混凝土层 |
|  | 的约束作用； |
|  | **——**开裂截面换算截面惯性矩； |
|  | **——**普通混凝土与超高性能混凝土弹性模量的比值； |
|  | **——**普通钢筋弹性模量与超高性能混凝土弹性模量的比值； |
|  | **——**UHPC和NSC界面摩擦系数； |

# 3 基本规定

**3.0.1**  超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构一般应用于市政工程下穿通道工程，设计应符合城乡规划要求。应根据下穿通道功能、等级、通行能力及防洪抗灾要求，结合水文、地质、环境等条件以及施工水平、工期要求、经济性、运营及养护等因素，合理确定组合式盖板结构跨径布置、填土高度、截面构造及与其性能匹配的超高性能混凝土材料。本规程组合式盖板结构适宜的跨径为6-10m。

**3.0.2** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构设计应包含下列内容：

**1** 结构方案设计；

**2** 结构构件的构造设计；

**3** 作用及作用效应分析；

**4** 结构的极限状态验算。

**3.0.3**  超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构应根据组合截面形成过程，对相应的结构体系和工况进行分析计算。

**3.0.4** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态两类极限状态设计。

**3.0.5** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构应按服从总体下穿通道工程的设计工作年限进行设计。

**3.0.6** 本规程未明确规定的结构设计事项应符合现行行业标准《城市桥梁设计规范（2019年版）》CJJ 11-2011、《公路桥涵设计通用规范》JTG D60、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021、《工程结构通用规范》GB55001-2021的相关规定。

**3.0.7** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构宜采用工厂化制造、现场安装的施工方法。

**3.0.8** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的预制安装与现场浇筑的检验评定基本要求和外观质量应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ2-2023的相关规定。

# 4 材料

## 4.1 超高性能混凝土

**4.1.1** 超高性能混凝土制备方法应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387的要求，钢纤维体积率宜大于2.0%，小于3.5%。

**4.1.2** 超高性能混凝土的抗压强度可根据现行行业标准《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27的规定进行测定，强度等级可划分为UC120、UC140、UC160、UC180。

**4.1.3** 超高性能混凝土的轴心抗拉强度可根据现行行业标准《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27的规定进行测定，强度等级可划分为UT6、UT7、UT8、UT9。

**4.1.4** 超高性能混凝土的轴拉性能可分为低应变硬化型和高应变硬化型，其分类应符合表4.1.4的规定。

表4.1.4 超高性能混凝土轴拉性能分类表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 轴拉性能分类 |  |  |  |  |
| 低应变硬化型 | ≥1.0 | ≥1.0 | ≥1.1 | ≥1500με |
| 高应变硬化型 | ≥1.0 | ≥1.0 | ≥1.2 | ≥2000με |

注：；超高性能混凝土极限抗拉强度。

**4.1.5** 超高性能混凝土的弯拉强度等级应根据400mm×100mm×100mm棱柱体弯拉强度标准值确定，强度等级可划分为UF22、UF25、UF28、UF30。

**4.1.6** 超高性能混凝土整体纤维取向系数为1.25，局部纤维取向系数为1.75。

**4.1.7** 超高性能混凝土立方体抗压强度标准值、轴心抗压强度标准值和轴心抗压强度设计值应按表4.1.7-1的规定采用，超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值和轴心抗拉强度设计值应按表4.1.7-2的规定采用。

表4.1.7-1 超高性能混凝土轴心抗压强度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度等级 | UC120 | UC140 | UC160 | UC180 |
| （MPa） | 120 | 140 | 160 | 180 |
| （MPa） | 84 | 98 | 112 | 126 |
| （MPa） | 58 | 68 | 77 | 87 |

表4.1.7-2 超高性能混凝土轴心抗拉强度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度等级 | UT6 | UT7 | UT8 | UT9 |
| （MPa） | 6 | 7 | 8 | 9 |
| （MPa） | 4.1/K | 4.8/K | 5.5/K | 6.2/K |

**注：**K为纤维取向系数，应按本规程第4.1.6条规定取值。

**4.1.8** 超高性能混凝土弹性模量宜根据现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387的规定进行测试。需要进行结构预测或计算分析时，超高性能混凝土弹性模量可按表4.1.8的规定采用。

表4.1.8 超高性能混凝土弹性模量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 强度等级 | UC120 | UC140 | UC160 | UC180 |
| （×103N/mm2） | 41.9 | 44.3 | 46.2 | 47.9 |

**4.1.9** 钢筋超高性能混凝土容重取值不宜小于27kN/m3。

**4.1.10** 超高性能混凝土泊松比可取0.2，超高性能混凝土温度线膨胀系数可取1.1×10-5/℃。

**4.1.11** 超高性能混凝土坍落扩展度宜大于600mm。

**4.1.12** 超高性能混凝土的收缩应变终极值可取零，经过蒸汽养护后，徐变系数终极值可取0.2。

## 4.2 其他材料

**4.2.1** 普通混凝土的相关设计指标应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定取用。

**4.2.2** 普通钢筋的相关设计指标应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定取用。

# 5 持久状况承载能力极限状态计算

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构的持久状况设计应按承载能力极限状态的要求，对盖板结构进行承载能力计算；在进行承载能力极限状态计算时，作用效应应采用其基本组合设计值；当盖板结构覆有填土时，汽车荷载应按现行行业标准《城市桥梁设计规范（2019年版）》CJJ 11-2011的规定进行等效。

**5.1.2** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构正截面承载力应按下列基本假定进行计算：

**1** 结构弯曲后，其截面仍保持为平面，即符合平截面假定。

**2** 普通混凝土与超高性能混凝土之间设置有界面抗剪钢筋，具有可靠连接，忽略相对滑移，共同承担作用。

**5.1.3** 结构正截面受压区可全部按普通混凝土计算，其压应力分布等效为矩形分布。

**5.1.4** 盖板结构正截面受拉区拉应力计算应符合下列规定：

**1** 受拉区普通混凝土的抗拉强度不予考虑。

**2** 正截面受拉区超高性能混凝土的应力图可简化为等效的矩形应力图，等效矩形应力图的抗拉强度可取0.5倍抗拉强度设计值，其矩形高度可按下列公式计算。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (5.1.5) |
| 式中： h | ——截面高度（mm）； | | |
|  | ——受压区高度（mm）。 | | |

## 5.2 梁板正截面抗弯承载力计算

**5.2.1** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构的正截面相对界限受压区高度应按下列公式计算：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (5.2.1) |
| 式中： β | ——组合式盖板结构受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值，按现行标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定取值； | | |
|  | ——普通钢筋的抗拉强度设计值（N/mm2）； | | |
|  | ——组合式盖板结构受压边缘普通混凝土极限压应变，按现行标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定取值。 | | |

**5.2.2** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构正截面抗弯承载力验算应按下列公式计算：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (5.2.2) |
| 式中： | ——结构重要性系数，按重要小桥取1.1； | | |
|  | ——弯矩设计值（N·m）； | | |
|  | ——正截面抗弯承载力，应按本规程第5.2.3条规定计算（N·m）。 | | |

**5.2.3** 倒“T”形超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构受弯构件，其正截面抗弯承载力计算应按下列规定进行计算（图5.2.3）：

**1** 当符合下列条件时，中性轴位于普通混凝土内：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.2.3-1) |
|  | | |
|  | | |
| (b) | | |

图5.2.3 倒“T”形盖板结构正截面承载力计算图示

其正截面抗弯承载力应按下列公式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5.2.3-2) |

受压区高度 应按下列公式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.2.3-3) |

**2** 当不符合式(5.2.3-1)的条件时，计算中受压区全部按普通混凝土计算，其正截面抗弯承载力应按下列公式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | (5.2.3-4) |
| 式中： | ——普通混凝土轴心抗压强度设计值（MPa）； | |
|  | ——超高性能混凝土轴心抗拉强度设计值（MPa）； | |
|  | ——截面宽度、倒“T”形超高性能混凝土板腹板宽度（mm）； | |
|  | ——实际受压区高度（mm）； | |
|  | ——受压区等效矩形应力图高度（mm），； | |
|  | ——组合梁截面高度（mm）； | |
|  | ——分别为普通混凝土层高度、超高性能混凝土层高度、倒“T”形超高性能混凝土腹板高度（mm）； | |
|  | ——分别为受拉区NSC层和UHPC层的纵向受力钢筋的抗拉强度设计值（N/mm2）； | |
|  | ——分别为受拉区NSC层和UHPC层的纵向受力钢筋的截面面积（mm2）； | |
|  | ——分别为受拉区NSC层和UHPC层的纵向受力钢筋合力点到受拉边缘的高度（mm）。 | |

## 5.3 主梁斜截面抗剪承载力计算

**5.3.1** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构主梁斜截面抗剪承载力计算仅考虑超高性能混凝土腹板部分的抗剪贡献。

**5.3.2** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构斜截面抗剪承载力验算应采按下列公式计算：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (5.3.2) |
| 式中： | ——基本组合剪力设计值（N）； | | |
|  | ——斜截面抗剪承载力，应按本规程第5.3.3条规定计算（N）。 | | |

**5.3.3** 倒“T”形超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构受弯构件，其斜截面抗剪承载力应按下列公式计算：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | + | (5.3.3-1) |
| 式中： | ——斜截面抗剪承载力（N）； | | |
|  | ——构件斜截面上超高性能混凝土基体受剪承载力设计值（N）； | | |
|  | ——构件斜截面上纤维受剪承载力设计值（N）； | | |
|  | ——构件斜截面上抗剪钢筋受剪承载力设计值（N）；  ——构件斜截面上普通混凝土基体受剪承载力设计值（N）； | | |

**1** 超高性能混凝土基体受剪承载力设计值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (5.3.3-2) |
| 式中： | ——超高性能混凝土轴心抗压强度标准值（N/mm2）； | | |
|  | ——倒“T”形截面腹板宽度（mm）； | | |
|  | ——倒“T”形截面有效高度（mm），； | | |

**2** 纤维受剪承载力设计值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (5.3.3-3) |
| 式中： | ——纤维增强截面的残余抗拉强度（N/mm2），符合表4.1.4规定的低应变硬化型和高应变硬化型超高性能混凝土可取； | | |
|  | ——纤维作用面积（mm2），； | | |
|  | ——主压应力与梁轴线间夹角，宜取； | | |

**3** 抗剪箍筋受剪承载力设计值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (5.3.3-4) |
| 式中： | ——抗剪箍筋截面面积（mm2）； | | |
|  | ——抗剪箍筋间距（mm）； | | |
|  | ——抗剪箍筋抗拉强度设计值（N/mm2）； | | |
|  | ——主压应力与梁轴线间夹角，宜取； | | |

**4** 普通混凝土基体受剪承载力设计值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (5.3.3-5) |
| 式中： | ——普通混凝土轴心抗拉强度标准值（N/mm2）； | | |
|  | ——倒“T”形截面腹板宽度（mm）； | | |
|  | ——倒“T”形截面有效高度（mm），； | | |

**5.3.4** 倒“T”形超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构受弯构件，其抗剪截面尺寸应符合下列规定：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (5.3.4) |
| 式中： | ——腹板厚度（mm）； | | |
|  | ——超高性能混凝土抗压强度标准值（N/mm2）。 | | |

## 5.4 界面抗剪钢筋承载力计算

**5.4.1** 组合式盖板结构界面抗剪钢筋一般采用普通钢筋，单根抗剪钢筋的抗剪承载力设计值取式（5.4.1）中的计算值，摩阻系数可取1.4，也可根据斜剪试验确定。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | |  | (5.4.1) |
| 式中： |  | ——UHPC和NSC界面摩擦系数； | | |
|  |  | ——钢筋屈服强度； | | |
|  |  | ——界面上抗剪钢筋的截面面积。 | | |

## 5.5 界面抗剪钢筋数量计算

**5.5.1** 一个倒“T”形组合式盖板结构的抗剪连接件的数目应满足下列要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (5.5.1) |
| 式中： | ——倒“T”形组合式盖板结构内超高性能混凝土与普通混凝土交界面的纵向剪力（N）； | | |
|  | ——单根抗剪钢筋的抗剪承载力设计值（N）。 | | |

**5.5.2** 一个倒“T”形组合式盖板结构超高性能混凝土与普通混凝土交界面的纵向剪力可参照AASHTO LRFD规范提出的方法，仅考虑普通混凝土层与超高性能混凝土底板之间的界面剪力，将组合式盖板简化为矩形截面组合板，按式5.5.2-1至5.5.2-6确定：

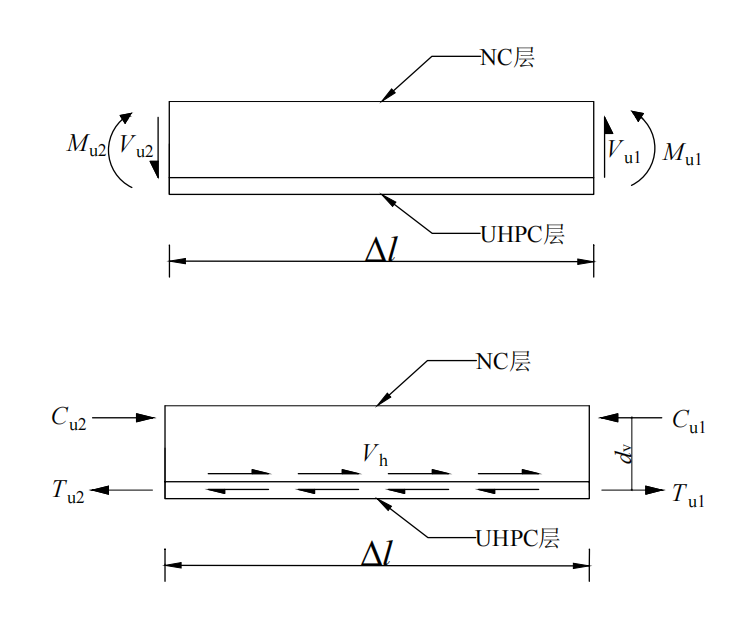


图5.4.1 自由体受力示意图

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | |  | | (5.5.2-1) |
|  | | |  | | (5.5.2-2) |
|  | | |  | | (5.5.2-3) |
|  | | |  | | (5.5.2-4) |
|  | | |  | | (5.5.2-5) |
|  | | |  | | (5.5.2-6) |
| 式中： | | **、** | | **——**自由体右、左端弯矩； | |
|  | **、** | | | **——**自由体右、左端剪力； | |
|  | 、 | | | ——自由体右、左端压力； | |
|  |  | | | ——自由体长度； | |
|  |  | | | ——压力作用线与底部受拉钢筋的竖向距离。 | |

**5.5.3** 根据（式5.5.1）计算得到的抗剪连接件的数目在组合式盖板结构跨中截面至梁端均匀布置。

# 6 持久状况正常使用极限状态计算

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构的持久状况设计应按正常使用极限状态的要求，采用作用频遇组合、作用准永久组合或作用频遇组合并考虑作用长期效应的影响，对构件的抗裂、裂缝宽度和挠度进行验算，各项计算值不应超过本规程规定的相应限值。上述的各种组合中，汽车荷载效应可不计冲击系数。

6.1.2 计算超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构的挠度和应力时应计入施工顺序的影响，并应计入混凝土徐变、收缩以及温度等作用的影响。

## 6.2 裂缝宽度验算

**6.2.1** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构应按作用频遇组合并考虑长期效应的影响验算裂缝宽度。

**6.2.2** 当组合式盖板结构的超高性能混凝土的拉应力不大于时，可不验算钢筋超高性能混凝土构件裂缝宽度；当组合式盖板结构的超高性能混凝土的拉应力大于时，应验算组合式盖板结构的超高性能混凝土的裂缝宽度。

**6.2.3** 超高性能混凝土构件的裂缝宽度验算是指验算超高性能混凝土表面裂缝宽度。普通混凝土的裂缝宽度验算是指验算交界面处普通混凝土下表面的裂缝宽度。各类环境中混凝土最大裂缝宽度不应超过表6.2.3规定的限值，即应同时满足下列要求：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (6.2.3-1) |
|  | |  | (6.2.3-2) |
| 式中： | ——超高性能混凝土表面裂缝宽度（mm）； | | |
|  | ——普通混凝土表面裂缝宽度（mm）； | | |
|  | ——超高性能混凝土最大裂缝宽度限值（mm）； | | |
|  | ——普通混凝土最大裂缝宽度限值（mm）。 | | |

表6.2.3 最大裂缝宽度限值（mm）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 环境类别 | 超高性能混凝土 | 普通混凝土 |
| I类-一般环境 | 0.10 | 0.20 |
| III类-近海或海洋氯化物环境 | 0.05 | 0.15 |

**6.2.4** 超高性能混凝土和普通混凝土最大裂缝宽度可按下列公式计算：

**1** 超高性能混凝土板底面最大裂缝宽度计算公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (6.2.4-1) |
|  |  | (6.2.4-2) |
|  |  | (6.2.4-3) |
|  |  | (6.2.4-4) |
|  |  | (6.2.4-5) |

**2** 普通混凝土最大裂缝宽度计算公式如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | | (6.2.4-6) |
|  |  | | (6.2.4-7) |
| 式中： | | ——超高性能混凝土层钢筋位置处最大裂缝宽度（mm）； | |
|  | | ——分别为截面宽度和倒“T”形梁腹板宽度（mm）； | |
|  | | ——分别为截面高度、超高性能混凝土梁高度、倒“T”形超高性能混凝土梁腹板高度（mm）； | |
|  | | ——受压区高度（mm）； | |
|  | | ——受拉弹性区高度（mm）； | |
|  | | ——超高性能混凝土梁底板纵向受力钢筋合力点到受拉边缘的高度（mm）； | |
|  | | ——构件受力特征系数，取2.1； | |
|  | | ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数：当时，可取；当时，可取； | |
|  | | ——超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值（N/mm2）； | |
|  | | ——超高性能混凝土整体纤维取向系数，应按本规程第4.1.6条规定取值； | |
|  | | ——作用频遇组合下开裂截面超高性能混凝土层和普通混凝土层钢筋的应力（N/mm2），应符合本规程第6.2.5条规定； | |
|  | | ——普通钢筋弹性模量（N/mm2）； | |
| c | | ——普通混凝土层最外层纵向受拉钢筋外边缘至受拉区底部的距离（mm）； | |
| d | | ——纵向受拉钢筋直径（mm），采用不同直径钢筋时，d改用换算直径，式中为受拉区第i种钢筋的根数，为受拉区第i种钢筋的直径； | |
|  | | ——超高性能混凝土层纵向受拉钢筋的有效配筋率，当时，可取；当时，可取； | |
|  | | ——普通混凝土层纵向受拉钢筋配筋率，当时，取，时，取； | |
|  | | ——分别为受拉区普通混凝土层和超高性能混凝土层的纵向受力钢筋的截面面积（mm2）； | |
|  | | ——超高性能混凝土的有效受拉截面面积（mm2），受弯构件可取； | |
|  | | ——钢筋表面形状系数，对光面钢筋，；对带肋钢筋，； | |
|  | | ——作用（或荷载）长期效应影响系数，，其中和分别为按作用（或荷载）长期效应组合和短期效应组合计算的内力值（弯短或轴向力）； | |
|  | | ——与构件受力性质有关的系数，当为钢筋混凝土板式受弯构时，；其他受弯构件时，。 | |
|  | | ——考虑超高性能混凝土底板对上层普通混凝土层的约束作用，设定的修正系数。 | |

**6.2.5** 由作用频遇组合引起的组合盖板超高性能混凝土开裂截面纵向受拉钢筋的应力计算宜考虑超高性能混凝土的抗拉作用。

## 6.3 挠度验算

**6.3.1** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构受弯构件，在正常使用极限状态下的挠度，可根据给定的构件刚度用结构力学或有限元方法进行计算。计算时应考虑施工阶段组合式截面的分阶段形成，且应根据施工阶段结构各单元加载龄期和计算龄期，按超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021附录C计算收缩及徐变变形增量，并进行累加得到结构挠度变形。

**6.3.2** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构的刚度，可按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362进行计算，其中开裂截面抗弯刚度计算宜考虑超高性能混凝土抗拉作用。

# 7 持久状况和短暂状况构件的应力计算

## 7.1 持久状况构件应力计算

7.1.1 持久状况下，超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构在进行持久状况设计时，应计算其使用阶段正截面超高性能混凝土及普通混凝土的法向压应力、斜截面超高性能混凝土主压应力，并不得超过本节规定的限值，尚应符合下列规定：

1 计算时作用应取其标准值，不考虑汽车荷载的冲击系数；

2 应考虑施工顺序、混凝土徐变、收缩以及温度等作用的影响。

7.1.2 使用阶段正截面超高性能混凝土、普通混凝土的压应力限值应符合下列规定：

1 普通混凝土正截面的法向最大压应力不宜大于;

2 超高性能混凝土正截面的法向最大压应力不宜大于。

7.1.3 使用阶段斜截面超高性能混凝土的主压应力、主拉应力和箍筋设置应符合下列规定：

1 超高性能混凝土的主压应力不宜大于;

2 根据计算所得的超高性能混凝土主拉应力，应按下列规定设置箍筋：

1. 在 的区段，可不设置箍筋；
2. 在 的区段，箍筋间距；可按下列公式计算：

(7.1.3)

式中：——箍筋抗拉强度标准值；

——同一截面内箍筋的总截面面积（mm2）；

b——倒“T”型UHPC板腹板厚度（mm）

## 7.2 短暂状况构件应力计算

**7.2.1** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构在进行短暂状况设计时，考虑倒“T”型UHPC板在制作、运输及安装等施工阶段，以及组合结构在填土施工等阶段，由自重、施工荷载等引起的正截面和斜截面的应力，并不应超过本节规定的限值，施工荷载除有特别规定外均采用标准值，当有组合时，不考虑荷载组合系数，即组合系数取1.0。

**7.2.2** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构正截面应力应符合下列规定：

**1** 受压区超高性能混凝土及普通混凝土边缘的压应力分别满足

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (7.2.2-1) |

**2** 受拉区钢筋的应力

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (7.2.2-2) |
| 式中： | ——短暂状况计算时截面受压区边缘普通混凝土的压应力（N/mm2）； | | |
|  | ——由临时的施工荷载标准值产生的弯矩值（N·m）； | | |
|  | ——换算截面的受压区高度，可按换算截面受压区和受拉区对中性轴面积矩相等的原则求得（mm）； | | |
|  | ——开裂截面换算截面惯性矩，根据已求得的受压区高度，可按开裂换算截面对中性轴惯性矩之和求得（mm4）； | | |
|  | ——按短暂状况计算时受拉区第i层钢筋的应力（N/mm2）； | | |
|  | ——受压区边缘至受拉区第 i 层钢筋截面重心的距离（mm）； | | |
|  | ——普通混凝土与超高性能混凝土弹性模量的比值； | | |
|  | ——普通钢筋弹性模量与超高性能混凝土弹性模量的比值； | | |
|  | ——施工阶段普通混凝土轴心抗压强度标准值（N/mm2），按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362规定采用（N/mm2）； | | |
|  | ——施工阶段普通混凝土轴心抗拉强度标准值（N/mm2）；应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362规定采用（N/mm2）； | | |
|  | ——普通钢筋抗拉强度标准值，应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362规定采用（N/mm2）。 | | |

**7.2.3** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构中性轴处超高性能混凝土的主拉应力应符合下列规定：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | (7.2.3) |
| 式中： | ——由临时的施工荷载标准值产生的剪力值（N）； | | | |
|  | ——倒“T”形截面的腹板宽度（mm）； | | | |
|  | ——受压区合力点至受拉钢筋合力点的距离，如图7.2.3所示，当受压区合力点位于普通混凝土，即时，取（mm）； | | | |
|  | ——施工阶段超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值（N/mm2）。 | | | |
|  | | |  | |
| （a）受压区合力点位于超高性能混凝土腹板中 | | | （b）受压区合力点位于普通混凝土中 | |

图7.2.3 受压区合力点至受拉钢筋合力点的距离取值

**7.2.4** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构中性轴处的主拉应力应符合下列规定：

**1** 若满足的条件，该区段的主拉应力全部由超高性能混凝土承受，此时可不设置抗剪钢筋。

**2** 若不满足的条件，该区段的主拉应力全部由超高性能混凝土和箍筋共同承受，箍筋的间距应满足下列要求。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | (7.2.4) |
| 式中： | ——短暂状况时钢筋的应力限值，可取（N/mm2）； | | |
|  | ——同一截面内箍筋总截面面积（mm2）。 | | |

**3** 按本条计算的箍筋用量少于按斜截面抗剪承载力计算的箍筋用量时，箍筋用量应采用两者较大值。

# 8 构造要求

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的一般构造如图8.1.1所示。

|  |
| --- |
|  |
| （a）倒“π”形组合梁 |
|  |
| （b）倒“T”形组合梁 |

图8.1.1 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构一般构造图

**8.1.2** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构的抗剪连接件宜采用普通钢筋（图**8.1.2）。**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **（a）“π”形梁** | **（b）“T”形梁** |

**图8.1.2界面抗剪连接件示意图**

**8.1.3** 普通钢筋的超高性能混凝土保护层厚度应满足下列要求：

**1** 普通钢筋保护层厚度应取钢筋外缘至超高性能混凝土表面的距离，且不应小于钢筋公称直径。

**2** 普通钢筋保护层厚度不应小于1.5倍钢纤维长度。当掺入纤维长度不等的混杂纤维时，钢纤维长度应取较大值。

**3** 超高性能混凝土结构最外侧钢筋的保护层厚度不应小于表8.1.2的规定值。

表8.1.2 超高性能混凝土保护层最小厚度

|  |  |
| --- | --- |
| 环境类别 | 超高性能混凝土梁、板最小保护层厚度（mm） |
| Ⅰ类环境-一般环境 | 15 |
| Ⅲ类环境-近海或海洋氯化物环境 | 20 |

注：表中数值仅针对一般环境或近海环境的通道工程，且作用等级最低、钢筋和超高性能混凝土均无特殊防腐措施规定的。

**8.1.4** 组合式盖板结构普通混凝土部分顶面应设置构造钢筋，并应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定。

## 8.2 超高性能混凝土倒“T”/“π”形梁

**8.2.1** 超高性能混凝土倒“T”/“π”形梁的尺寸应满足下列要求：

**1** 超高性能混凝土倒“T”/“π”形梁底板厚度不应小于80mm。

**2** 超高性能混凝土倒“T”/“π”形梁的腹板厚度，未配置箍筋时不应小于75mm，配置箍筋时不应小于100mm。

**3** 底板与腹板连接处宜设倒角，必要时也可设置承托。

**8.2.2** 普通钢筋净距不应小于1.5倍钢筋公称直径，不应小于1.5倍钢纤维长度，且不应小于20mm。

**8.2.3** 箍筋采用HPB300钢筋时弯曲直径不应小于箍筋直径的2.5倍，采用HRB400钢筋时弯曲直径不应小于箍筋直径的5倍，并应符合下列规定：

**1** 当钢筋混凝土倒“T”/“π”形梁的腹板厚度大于10cm时，箍筋形状宜采用封闭式矩形，箍筋末端应做成弯钩，弯曲角度可取135°。弯钩的弯曲直径应大于被箍的受力主钢筋的直径，弯钩平直段不应小于箍筋直径的4倍。

**2** 当钢筋混凝土倒“T”/“π”形梁的腹板厚度小于或等于10cm时，箍筋形状宜采用门式并交错布置，并在箍筋与上下纵向钢筋相交处做成弯折，弯曲角度应取90°。弯折的弯曲直径应大于被箍的受拉主筋，上下弯折后的平直段不应小于箍筋直径的8倍。

**8.2.4** 当超高性能混凝土抗拉性能符合本规程表4.1.4的应变硬化型的规定和裂缝宽度验算满足本规程规定时，对钢筋超高性能混凝土受弯构件中纵向受力钢筋的最小配筋率可不作要求。

**8.2.5** 当超高性能混凝土抗拉性能符合本规程表4.1.4的应变硬化型的规定、抗剪承载力和抗裂验算满足本规程规定时，对钢筋超高性能混凝土受弯构件中箍筋的最小配箍率可不作要求。

**8.2.6** 超高性能混凝土倒“T”/“π”形梁底板应设置界面抗剪钢筋。界面抗剪钢筋布置应符合本规程第8.3节规定，且间距不宜大于500mm，并呈梅花形布置。

**8.2.7** 超高性能混凝土倒“T”/“π”形梁的外表面除与普通混凝土接触部分外，宜采用表面涂层进行处理，且应符合现行《混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件》JT/T 695的规定。

# 9 施工

## 9.1 一般规定

**9.1.1** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的施工应选择具有相关工程经验的专业施工单位完成。

**9.1.2** 施工前，应根据倒“T”型/“π”型超高性能混凝土板的结构特点、受力特性、环境条件等制订合理的预制施工程序和工艺方案。

**9.1.3** 超高性能混凝土板预制场地的布置应便于构件的浇筑、移动、堆放、养护及转场，场地应硬化平整，设有超高性能混凝土拌制及高温蒸汽养护系统。

**9.1.4**  超高性能混凝土板的模板设计宜兼顾超高性能混凝土浇筑、振捣、蒸汽养护及外观质量等工艺要求。

**9.1.5** 在超高性能混凝土拌合物的运输及浇筑过程中，严禁往拌合物中加水。

**9.1.6** 浇筑倒“T”型/“π”型超高性能混凝土板时，宜底板与腹板一次性连续浇筑完成，不宜设置施工缝。

**9.1.7** 本规程未明确规定的施工要求应符合国家标准《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）、现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650及《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021的相关规定。

## 9.2 钢筋施工

**9.2.1** 钢筋施工除应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650的相关规定之外，尚应符合下列规定：

1 超高性能混凝土板底板受力纵筋宜采用通长布置。

2 钢筋与模板之间应设置垫块，垫块宜采用与主体结构同等级超高性能混凝土制作垫块。

## 9.3 模板

**9.3.1**  模板的设计除应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关规定之外，尚应符合下列规定：

1 超高性能混凝土板模板宜采用钢模，应保证足够的强度、刚度和密封性。

2 模板应能适应构件的高温蒸汽养护，对于钢模板表面尚应进行防腐防锈处理。

3 新浇筑超高性能混凝土对模板的最大侧压力应按下式计算：

(10.3.1)

式中： *F*—新浇筑超高性能混凝土对模板的最大侧压力（N/mm2）；

—超高性能混凝土的重力密度（N/mm3）；

*H*—超高性能混凝土侧压力计算位置处至新浇超高性能混凝土顶面的总高度（mm）。

**9.3.2** 模板的制作、安装除应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关规定之外，尚应符合下列规定：

1 钢模板安装应连接牢固、局部缝隙可喷涂发泡胶，确保密封严密，无漏浆、无错台。

2 应根据9.3.1条的模板最大侧压力计算结果，采取可靠限位措施防止超高性能混凝土底板上表面钢模板的上浮、偏位以及腹板侧模的局部鼓起。

3 钢模板与超高性能混凝土的接触面应清理干净并应涂刷脱模剂，脱模剂不得污染超高性能混凝土表面。

4 模板安装质量应满足表9.3.2 的规定。

表9.3.2 模板安装质量标准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 项目 | 允许偏差（mm） | 检查方法和频率 |
| 1 | 模板高程 | ±10 | 水准仪：每个构件测 1 处 |
| 2 | 模板尺寸 | +5，-0 | 尺量：每个构件长、宽、高各测 1 点 |
| 3 | 轴线偏位 | 10 | 经纬仪：每个构件纵、横向各测1点 |
| 4 | 支承面高程 | +2，-5 | 水准仪：每个支承面测1 点 |
| 5 | 表面平整度 | 3 | 2m 直尺：沿梁长方形每侧面每10m 梁长测1 处×2 尺 |
| 6 | 侧向弯曲 | L/1500 | 沿侧模全长拉线，用钢尺量 |
| 注：1. L 为计算长度（mm）。  2. 支承面高程系指模板底模上表面支撑混凝土面的高程。 | | | |

**9.3.3**  模板拆除除应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的相关规定之外，尚应符合下列规定：

1 模板的拆除期限和拆除顺序等应严格按施工图设计要求进行，设计未要求时，应在同条件养护超高性能混凝土试件抗压强度达到40MPa 及以上方可拆除。

2 拆模时，构件表面温度与环境温度的温度差不应大于15℃。

## 9.4 超高性能混凝土拌合和预制

**9.4.1** 超高性能混凝土的原材料要求、储存、计量、搅拌、浇筑和养护施工应符合本节规定。

**9.4.2** 超高性能混凝土所使用的各种原材料，除符合《活性粉末混凝土》（GB/T 31387）的相关规定之外，尚应符合下列规定：

**1** 水泥宜选用强度等级为52.5级的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

**2** 细骨料宜采用石英砂，也可采用广西本土生产的机制砂，应通过试验确定机制砂超高性能混凝土配合比，确保性能达到本标准要求和设计要求。

3 钢纤维宜采用长直型或端钩型高强度微细钢纤维，钢纤维体积率宜大于2%。

**9.4.3** 超高性能混凝土供应方式可分为干混料供应和原材料供应两大方式，由供需双方协商确定，优先选用干混料供应方式，两种供应方式、计量及生产应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387及《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021的相关规定。

**9.4.4** 超高性能混凝土搅拌完毕后，应检测超高性能混凝土的坍落扩展度，取样地点、频次及试验要求应符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）与《普通混凝土拌合物性能试验标准》（GB/T 50080）的规定。

**9.4.5** 超高性能混凝土运输宜采用搅拌运输车；若采用吊斗或其他方式运输，应保证超高性能混凝土的连续浇筑。采用混凝土搅拌车运输时，应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387及《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021的相关规定。

**9.4.6** 超高性能混凝土拌合物浇筑应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387及《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021的相关规定。

**9.4.7** 超高性能混凝土浇筑完成后，应及时进行保湿养护，保湿养护应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387及《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021的相关规定，并应符合下列规定：

**1** 养护过程中不宜扰动超高性能混凝土板。

**2** 保湿养护结束后且超高性能混凝土试件抗压强度达到40MPa及以上时方可拆模。

**9.4.8** 超高性能混凝土板拆模后应及时进行高温蒸汽养护，高温蒸汽养护应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387及《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021的相关规定。

**9.4.9** 超高性能混凝土板等的预制质量应符合表9.4.9的规定。

表9.4.9 装配式超高性能混凝土板的预制质量标准

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 项目 | | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
| 1 | 超高性能混凝土强度（MPa） | | 在合格标准内 | 符合《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021附录D的相关规定 |
| 2 | 超高性能混凝土抗折强度（MPa） | | 在合格标准内 |
| 3 | 板的长度（mm） | | +5，-10 | 尺量：每梁底面中线、底面两侧 |
| 4 | 断面尺寸（mm） | 底板宽度 | ±10 | 尺量：每板测 2 个断面 |
| 板的高度 | ±5 |
| 底板、腹板厚度 | +3，0 |

## 9.5 超高性能混凝土板的运输与现场安装

**9.5.1** 超高性能混凝土倒“π”型/“T”型板的运输与现场安装施工应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650的相关规定。

**9.5.2** 超高性能混凝土板的场内移运、存放施工应符合下列规定：

**1** 超高性能混凝土板移动、吊装可采用预埋吊环吊装或外侧安放扁平起重吊带的方式，吊点及扁平吊带受力需经过计算复核。

**2** 超高性能混凝土板等在脱底模、移运、存放和吊装时，超高性能混凝土的强度不应低于设计规定的吊装强度；设计未规定时，吊装强度不宜低于80MPa。

**3** 在起吊超高性能混凝土板的过程中，要对板的重心位置、系点位置和起吊瞬间予以注意，并时刻检查钢丝绳、吊钩、卡环、吊带及其他吊装设备的安全使用情况。

**9.5.3** 超高性能混凝土板的场外运输应符合下列规定：

**1** 应根据预制场地理位置、结合实际运输通道条件、整板重量、尺寸等因素选择合适的出运设备。

2 超高性能混凝土板在运输过程中，应采取保护、固定措施，支撑点的设置应避免运输设备振动对板体造成不利影响，应根据运输线路上的最大纵横坡，设置纵横向限位装置。

**9.5.4** 超高性能混凝土板的现场安装施工应符合下列规定：

**1** 超高性能混凝土板支承部位宜铺设油毛毡和细砂，确保接触面平整。

**2** 超高性能混凝土板的安装质量应符合表9.5.4的规定。

表9.5.4 装配式超高性能混凝土板的现场安装质量标准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 项目 | 规定值或允许偏差 | 检查方法和频率 |
| 1 | 支撑中心偏位（mm） | ≤10 | 尺量：每跨测 6 个支承处，不足 6个时全测 |
| 2 | 板的顶面高程（mm） | ±8 | 水准仪：每跨测 5 处，跨中、支承处应布置测点 |
| 3 | 相邻板顶面高差（mm） | ≤8 | 尺量：测每相邻板高差最大处 |
| 4 | 轴线偏位（mm） | ≤5 | 全站仪：每跨测 3 处 |

## 9.6 安全文明施工、环保措施

**9.6.1** 超高性能混凝土板施工过程中，施工单位应做好安全文明施工和环境保护工作。

**9.6.2** 超高性能混凝土板的施工工序繁杂，浇筑、养护、运输、吊装等过程中的细节问题多，需要遵循严格流程和注意事项。施工前应对施工人员进行培训，确保他们熟悉施工方案和操作流程，并具备相应的技能和经验。

**9.6.3** 超高性能混凝土材料、构件、料具等堆放时，悬挂有名称、品种、规格等标牌，水泥和其他易扬尘细颗粒材料（硅灰、粉煤灰、矿粉、石英粉等）应密闭存放或采取覆盖等措施，聚羧酸减水剂、钢纤维等分类存放。

**9.6.4** 超高性能混凝土板浇筑过程中模板压力远大于普通混凝土工程浇筑时的压力水平，应检查模板及其支撑的稳固性，发现问题及时加固。

**9.6.5** 超高性能混凝土拌制、浇筑施工过程中产生的超高性能混凝土废料、漏浆、废弃物等应及时清理外运，防止结硬后处理困难，保证施工现场的整洁、干净、环保，并按要求对施工中造成的污染（粉尘、噪声、污水、废弃物等）进行认真处置。

**9.6.6** 超高性能混凝土板现场吊装及普通混凝土浇筑阶段，现场应设置安全警示标志牌、现场围挡，若下穿通道有通行要求，宜设置防护棚进行防护。

# 10 检验与评定

## 10.1 一般规定

**10.1.1** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构应进行质量检验与评定，并应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ2-2023和《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）的有关规定。

**10.1.2** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的质量检验与评定内容包括分项工程基本要求检查、实测项目检验、检查项目合格判定、外观质量检验和质量保证资料要求等，检验项目评定为不合格的，应进行整修或返工处理直至合格。

**10.1.3** 工程质量等级分为合格与不合格，评定为不合格的分项工程，应返工、加固、补强或调测，满足设计要求后，方可重新进行检验评定。

## 10.2 模板

**10.2.1** 模板的制作、安装应符合下列基本要求：

1 应符合施工设计图、施工方案的规定。

2 模板应稳固牢靠，接缝严密，不得漏浆。

3 模板与超高性能混凝土接触面必须清理干净并涂刷隔离剂。

**10.2.2** 模板安装的实测项目应符合本规程表10.3.2 的规定。

**10.2.3** 模板的制作、安装的外观质量应符合下列规定：

1 超高性能混凝土浇筑前，模板内无积水和杂物。

2 模板与超高性能混凝土的接触面应平整、清洁。

3 固定在模板上的预埋件、预留孔和预留洞不得遗漏，且应安装牢固。

## 10.3 钢筋工程

**10.3.1** 钢筋加工及安装的基本要求和外观质量应符合现行行业标准《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）的有关规定。

**10.3.2** 钢筋加工和安装的实测项目应符合表11.3.1-1和表11.3.1-2的规定。

**表10.3.2-1 钢筋加工实测项目**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 项 目 | 规定值或允许偏差 | 检验方法和频率 |
| 1 | 受力钢筋顺长度方向的净尺寸(mm) | ±5 | 尺量：按每个工作日同一类型钢筋、同一加工设备抽查3件 |
| 2 | 箍筋内净尺寸(mm) | ±3 |

**表 10.3.2-2 钢筋安装实测项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 项 目 | | 规定值或允许偏差 | 检验方法和频率 |
| 1 | 受力钢筋间距（mm） | 两排以上排距 | ±5 | 尺量：每片板检查2 个断面 |
| 同排 | ±5 |
| 2 | 箍筋、横向水平钢筋间距（mm） | | ±10 | 尺量：每片板测 10 个间距 |
| 3 | 保护层厚度（mm） | | ±3 | 尺量：每片板各立模板面每 3m2检查1 处，且每侧面不少于 5 处 |

## 10.4 超高性能混凝土工程

**10.4.1** 超高性能混凝土材料的检验与评定应符合下列要求：

1 超高性能混凝土原材料质量要求应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387 的规定。

2 超高性能混凝土采用干混料供应方式时，应检查干混料的产品使用说明、检验合格证和出厂检验报告，同生产厂家、同批号、同品种、同强度等级、同出厂日期且连续进场的干混料，检验批量不应大于200 t。不同批次或非连续供应的不足一个检验批量的超高性能混凝土干混料应作为一个检验批。

3 超高性能混凝土采用原材料供应方式时，超高性能混凝土的配合比设计宜符合国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387 的规定，原材料的检验与评定应满足国家现行标准的规定。

4 超高性能混凝土材料的检验项目应符合表10.4.1的规定。

表10.4.1 超高性能混凝土材料的检验项目

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 扩展度 | 抗压强度 | 弯拉强度 | 轴拉性能 |
| 干混料供应 | 型式检验 | √ | √ | √ | √ |
| 出厂检验 | √ | √ | √ | × |
| 交货检验 | √ | √ | √ | 〇 |
| 原材料供应 | 出厂检验 | √ | √ | √ | 〇 |
| 交货检验 | √ | √ | √ | √ |

**注：**“√”为必检项目，“×”为无需检验项目，“〇”为可选检项目，由设计单位或供需双方协商确定

**10.4.2** 超高性能混凝土基本性能指标实测项目应符合表10.4.2的规定：

表 10.4.2 超高性能混凝土基本性能指标实测项目

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 项目 | 规定值 | 检验方法和频率 |
| 1 | 抗压强度 | 在合格标准内 | 《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021附录 D：每 50m3检验一次 |
| 2 | 弯拉强度 | 在合格标准内 | 《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021附录 D：每 50m3检验一次 |
| 3 | 轴拉性能 | 在合格标准内 | 《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021附录 A、附录 D：确定施工配合比、材料或配合比发生重大变化时检验一次 |
| 4 | 坍落扩展度（mm） | ≥550 | 《纤维混凝土应用技术规程》 JGJ/T 221：每一批次检验一次 |

**10.4.3** 超高性能混凝土材料及预制板外观形态与质量应符合下列要求：

1 超高性能混凝土干混料应无结团和受潮现象。

2 振捣充分和保湿养护后，超高性能混凝土应均匀完好，且不应有龟裂现象。

3 蒸汽养护完成后，超高性能混凝土层应均匀完好且无收缩裂纹。

4 超高性能混凝土板底板上表面及腹板侧面凿毛处理后，表面粗糙，断面上有大量钢纤维裸露在外。

**10.4.4** 超高性能混凝土板现场安装后外观质量应符合下列要求：

1 桥梁的内外轮廓线形应无异常突变。

2 超高性能混凝土板底不得出现超过设计规定的受力裂缝。采用肉眼观察、读数放大镜观测的方式对所有表观裂缝进行检测。

# 用词说明

**1.0.1**  执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

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”或“可”；

反面词采用“不宜”。

**1.0.2** 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：

“应按……执行”或“应符合……的要求(或规定)”。

如非必须按指定的标准、规范的规定执行时，写法为“可参照……执行”

# 引用标准名录

1 《混凝土结构设计规范》 GB 50010

2 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T 50080

3 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082

4 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107

5 《混凝土质量控制标准》 GB 50164

6 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB/T 50476

7 《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204）

8 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》 GB/T 1346

9 《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》 JTG 3420

10 《混凝土泵送施工技术规程》 JGJ/T 10

11 《纤维混凝土应用技术规程》 JGJ/T 221

12 《自密实混凝土应用技术规程》 JGJ/T 283

13 《活性粉末混凝土》 GB/T 31387

14 《公路桥涵设计通用规范》 JTG D60

15 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》 JTG 3362

16 《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》 JTG/T 3310

17 《公路桥涵施工技术规范》 JTG/T 3650

18 《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》 JTG F80/1

19 《城市桥梁设计规范（2019年版）》CJJ 11-2011

20 《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ2-2023

21 《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021

广西壮族自治区工程建设地方标准

超高性能混凝土 - 普通混凝土组合式盖板结构技术规程

条文说明

# 附：条文说明

**1 总则**

**1.0.1** 中、小桥及涵洞“量大面广”，是市政工程、公路工程的重要组成部分。城市道路6m以下跨径下穿通道一般设计为混凝土盖板涵的形式。

从近年来混凝土盖板涵的实际应用情况来看，存在着设计跨度小、板间渗水、跨中横向裂缝多以及盖板涵吊装吨位大等问题。交通运输部颁布盖板涵标准图跨径一般在6m以内，在一些车辆及行人通行密度较大区域维持两个车道仍显紧张；混凝土箱涵跨度可以增加，但一般只能采用搭设支架、现浇混凝土的方式，由于混凝土箱涵结构设计要求两侧涵墙及顶板上面配筋，显然存在钢筋用量较大，造价高、施工繁琐、工期长等缺点。

超高性能混凝土具有超高抗压强度、极佳抗拉性能和良好的耐久性。将超高性能混凝土材料运用到配筋盖板结构设计当中，利用其优越的材料性能简化结构设计，形成的超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构，在不明显增加造价的情况下，可有效提高结构耐久性能、抗裂性能，适应更大的跨径和较高的填土，而且结构装配化可大大加快施工速度，减少对城市交通的干扰，也契合国家大力发展装配式建筑的政策导向。

制定《超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构技术规程》，对适应城市发展需求，加快市政工程中下穿通道工程施工，提升城市通道工程舒适性，意义重大。

图1示出超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的两种设计形式，由倒“π”型或倒“T”型超高性能混凝土板和上浇普通混凝土组成矩形组合式盖板结构。超高性能混凝土板一般在工厂预制，运输至现场安装就位后，上浇普通混凝土即形成组合式盖板结构。

|  |  |
| --- | --- |
| D:\YBGK User\Desktop\盖板结构技术规程\总则图示意\总则图示意1\幻灯片1.JPG | D:\YBGK User\Desktop\盖板结构技术规程\总则图示意\总则图示意1\幻灯片2.JPG |
| （a）倒“π”形 | （b）倒“T”形 |

**图1 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构**

**1.0.2** 本规程适用于广西区市政工程采用超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构新建或改扩建的永久性下穿通道工程中的设计、施工与质量验收。

**1.0.4**  超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的设计遵循了现行《公路工程结构可靠度设计统一标准》（JTG 2120）的规定。本条文参考了现行行业标准《城市桥梁设计规范（2019年版）》（CJJ 11-2011）的规定：极限状态设计采用了分项系数的表达方式，其中，作用设计值由作用标准值乘以相应的作用分项系数表示，此两值在现行标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60中作出了规定：材料强度设计值由本规范直接给出，其来源为材料强度标准值除以相应的抗力（材料）分项系数，抗力（材料）分项系数在本规程有关条文说明中给出。

**2 术语**

**2.0.1** 术语列出了超高性能混凝土梁式桥相关的专业性术语，以达到概念解释与表达统一的目的。符号按材料性能、作用与作用效应、几何参数、计算系数等几个部分列出。

**3 基本规定**

**3.0.1** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构具有跨度大、抗裂性好、耐久性优异等突出优点；施工方面，具有吊装重量轻、无需设置支架、施工快捷等优点，经济跨径可达8m，特别适用于城市下穿通道工程的快速化施工。组合式盖板结构由工厂化预制的倒“π”型/“T”型超高性能混凝土板和后期现场现浇的混凝土两部分组成，前者充当后期现浇混凝土的底模。超高性能混凝土板的制备、养护、构件精度等要求较高，更适合采用装配式结构，之后运输至现场进行安装。

**3.0.2** 本条文规定与现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 相关条文相同：结构设计的内容则仅考虑整个结构体系（组合式盖板结构）和单个构件（倒“π”型/“T”型超高性能混凝土板）两个层次，包括结构方案、受力分析、截面设计、连接构造及耐久性等。

**3.0.3**  应根据盖板结构要求的跨度布置、填土高度来确定与材料性能相匹配的结构形式和截面构造，并根据组合截面形成过程，对结构进行承载能力计算分析，以保证结构性能满足要求，并获取结构较高性价比。

**3.0.4** 本条文规定与现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 相关条文相同：承载能力极限状态包括构件和连接的强度破坏。正常使用极限状态包括影响结构和构件正常使用的开裂、变形。

**3.0.5** 超高性能混凝土具有优异的耐久性，本规程规定超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构应按服从总体下穿通道工程的设计工作年限进行设计。

**3.0.6**  本规程结构设计章节是以现行行业标准《城市桥梁设计规范（2019年版）》CJJ 11-2011、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 为基础进行编写，并参考《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021对超高性能混凝土结构不同于普通混凝土结构设计的要求做出规定。本规程未做出明确规定的其他结构设计条文，应按现行行业标准《城市桥梁设计规范（2019年版）》CJJ 11-2011、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021及《工程结构通用规范》GB55001-2021执行。

**3.0.7** 超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构施工前，应做好倒“π”型/“T”型超高性能混凝土板的专项施工方案。工厂预制具有质量可控、快速化施工、便于蒸汽养护等优点，为此本规程推荐“π”型/“T”型超高性能混凝土板施工宜优先采用工厂预制，现场安装的施工方法。

**3.0.8** 本条文规定了超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构检验评定的基本要求。

**4 材料**

**4.1 超高性能混凝土**

**4.1.1** 本条文规定了超高性能混凝土的制备方法。现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387规定了活性粉末混凝土（超高性能混凝土）制备方法的要求。超高性能混凝土梁结构为承重结构，应采用钢纤维。为保证结构的延性，规定了钢纤维体积率不得低于2.0%。同时钢纤维体积率过高会增加材料成本，可能会产生纤维结团、工作性能和力学性能降低等不利影响，结合国内外已有的超高性能混凝土应用经验，本条文建议超高性能混凝土中纤维体积率不宜大于3.5%。

**4.1.2** 立方体抗压强度标准值是超高性能混凝土各项力学性能指标的基本代表值。现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387规定，活性粉末混凝土立方体抗压强度试验的标准试件采用100mm的立方体试件。为此，本规程建议超高性能混凝土的强度等级应根据100mm立方体抗压强度标准值划分。所以，本规程定义超高性能混凝土立方体抗压强度标准值是指按标准方法制作、养护的边长为100mm立方体试件，在规定试验龄期以标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度值。高温蒸汽养护下的超高性能混凝土试验龄期为7d。养护结束后的试件应在符合现行行业标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081规定的试验环境下存放至试验龄期。超高性能混凝土梁结构作为承重结构，超高性能混凝土的强度等级不应低于UC120。在《活性粉末混凝土》GB/T 31387强度等级划分的基础上，结合桥涵结构实际应用需求确定本规程超高性能混凝土强度等级划分。

**4.1.3** 根据国内外已有试验结果，掺入钢纤维的超高性能混凝土初裂强度（弹性极限抗拉强度）一般在5~12MPa，主要由超高性能混凝土基体性质决定，而超高性能混凝土极限抗拉强度与钢纤维性质（掺量、类型、长径比）等密切相关。对于同一抗压性能分级，超高性能混凝土可有多个极限抗拉强度取值。为此，本规范的超高性能混凝土轴心抗拉强度按哑铃形轴拉试验的超高性能混凝土初裂强度（弹性极限抗拉强度）标准值划分。因此，本规程定义超高性能混凝土轴心抗拉强度标准值是指按标准方法制作、养护的哑铃形试件（附录A所示），在规定试验龄期以标准试验方法测得的具有95%保证率的弹性极限抗拉强度值。超高性能混凝土轴心抗拉强度等级划分为UT6、UT7、UT8、UT9四级，大体可以覆盖超高性能混凝土对不同抗拉性能的应用需求。

**4.1.4** 抗拉性能是超高性能混凝土的关键技术性能指标。用弹性极限抗拉强度、极限抗拉强度和极限拉应变三个参数表征，并用极限抗拉强度与弹性极限抗拉强度比值来表征超高性能混凝土拉伸应变软化与应变硬化水平。

**4.1.5** 结合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387规定，超高性能混凝土弯拉强度等级根据400mm×100mm×100mm棱柱体弯拉强度标准值划分。本规程定义超高性能混凝土弯拉强度标准值是指按标准方法制作、养护的棱柱体试件，在规定试验龄期以标准试验方法测得的具有95%保证率的弯拉强度值。结合国内超高性能混凝土工程经验，将超高性能混凝土弯拉强度划分为UF22、UF25、UF28、UF30四级。大体可以覆盖超高性能混凝土梁构件对不同受弯韧性的要求。一般而言，超高性能混凝土轴拉试验较为复杂、要求更高，弯拉强度试验较为简便。为便于超高性能混凝土质量控制和检验，采用弯拉强度进行超高性能混凝土的交货检验更具有操作性。超高性能混凝土的轴心抗拉强度与弯拉强度有一定相关性，为便于设计，结合试验结果和相关分析，以本规程表4.1.4的轴拉性能为基础，表1给出了不同轴拉性能对应的最低弯拉强度以供参考和选用。

表1 弯拉强度选用表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 轴拉强度等级  轴拉性能等级 | UT6 | UT7 | UT8 | UT9 |
| 应变软化型 | ≥UF22 | ≥UF22 | ≥UF22 | ≥UF22 |
| 低应变硬化型 | ≥UF22 | ≥UF22 | ≥UF25 | ≥UF25 |
| 高应变硬化型 | ≥UF22 | ≥UF25 | ≥UF25 | ≥UF28 |

**4.1.6** 国内外的相关研究表明，纤维取向对超高性能混凝土抗拉力学性能有显著的影响，尤其是对超高性能混凝土裂后抗拉性能。在浇筑过程中混凝土的流动可能使得纤维按流动方向排列，受纤维取向的影响，裂后强度与浇筑过程密切相关。在距离模板不大于纤维长度的范围内，靠近模板的纤维会趋向平行模板排列；构件厚度越接近纤维长度，纤维平面分布的趋势对抗拉强度的影响越大。理论模型中假设超高性能混凝土结构内纤维呈空间随机分布，认为材料的受拉特性各向同性；但是实际结构中纤维的分布和取向受很多因素影响，表现出受拉各向异性；因此，用纤维取向系数K反应这种受拉各向异性特征。

为了考虑纤维取向对超高性能混凝土抗拉性能的影响，本条文规定引入纤维取向系数K对超高性能混凝土力学性能进行折减，根据已有研究成果，取整体纤维取向系数为1.25，局部纤维取向系数为1.75。局部纤维取向系数适用于局部效应分析（如桥面板冲切等问题），整体纤维取向系数适用于整体效应分析（如梁的抗弯、抗剪强度等问题）。

**4.1.7** 超高性能混凝土轴心强度的标准值和设计值，现说明如下：

**1** 轴心抗压标准值：根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362，轴心抗压强度标准值为棱柱体抗压强度，记为，其与混凝土强度等级（立方体抗压强度标准值）的关系为

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

式中系数α为棱柱体抗压强度与立方体抗压强度的比值，与混凝土的强度等级有关，C50以下混凝土取为0.76；C55~C80取为0.78~0.82。湖南大学统计了国内外总计142组强度范围在77MPa~189MPa范围内的超高性能混凝土立方体抗压强度和棱柱体抗压强度试验结果，结果表明超高性能混凝土棱柱体抗压强度和立方体抗压强度的比值约在0.76~1.01间，平均值为0.890，标准差为0.055，95%保证率的数值为0.800，因此本规程取。同时，由于超高性能混凝土中掺有钢纤维，超高性能混凝土的受压脆性得到显著改善，可不考虑脆性折减系数。

**2** 轴心抗压强度设计值：考虑材料分项系数的抗压强度设计值，记为，用于构件设计。对于混凝土材料，材料分析系数取，因此轴心抗压强度设计值为：。

**3** 轴心抗拉强度标准值：根据轴心抗拉强度等级划分，依次取6MPa、7MPa、8MPa和9MPa。

**4** 轴心抗拉强度设计值：考虑材料分项系数和纤维取向系数K的抗拉强度设计值，记为，用于构件承载能力极限状态设计。对于混凝土材料，材料分析系数取，因此承载能力极限状态轴心抗拉强度设计值为：。

**4.1.8** 本条文规定的超高性能混凝土弹性模量试件尺寸参考国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387的相关条文。据统计国内总计280组超高性能混凝土立方体抗压强度和弹性模量试验结果，强度范围在100MPa~205MPa之间，弹性模量范围在32.9GPa~58.1GPa之间，采用最小二乘法回归得到如下公式。当无试验资料时，超高性能混凝土弹性模量可根据如下公式计算取值。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2) |

**4.1.9** 常规的配筋混凝土结构容重常取25kN/m³~26kN/m³，而超高性能混凝土中一般掺入了2.0%~3.0%的钢纤维，配筋超高性能混凝土的重度取值大致介于27kN/m³~29kN/m³之间，因此本规程建议计算时取值不宜小于27kN/m³。

**4.1.10** 根据已有研究成果，本规程超高性能混凝土泊松比取0.2。一般认为，超高性能混凝土材料温度线膨胀系数大的水泥基材料含量高，线膨胀系数小的粗骨料含量低或不含，故其线膨胀系数应高于普通混凝土，且低于钢材，结合相关试验研究，本规程超高性能混凝土线膨胀系数取。

**4.1.11** 超高性能混凝土结构的板件较薄，且配有普通钢筋，为确保超高性能混凝土板件浇筑密实，本条文规定超高性能混凝土应满足自密实混凝土的要求。

**4.1.12** 超高性能混凝土的收缩主要有干燥收缩和自收缩。根据已有研究成果，若养护成型的过程中水分有保证，超高性能混凝土材料的收缩将主要为自收缩。采用90℃的蒸汽养护条件，可近似认为养护结束后将不会产生后期收缩变形。

普通混凝土结构在长期荷载作用下的徐变效应非常明显，而超高性能混凝土材料因基体致密和纤维含量较高，使得其徐变系数远小于普通混凝土和高强混凝土。国内外大量的试验研究表明超高性能混凝土材料的徐变主要受养护条件、加载龄期、持荷时间及加载应力水平等的影响。超高性能混凝土材料若未经热养护，则其徐变类似于高性能混凝土；但是，若采用高温蒸汽养护，则其徐变系数将显著降低。

**4.2 其他材料**

**4.2.1~4.2.2** 本节关于普通混凝土、普通钢筋的规定与现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362一致。

**5 持久状况承载能力极限状态计算**

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 本条文按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 和《城市桥梁设计规范》CJJ 11相关条文确定。

**5.1.2** 根据已有研究成果中关于超高性能混凝土设计受压应力-应变曲线的规定，普遍采用简化的双折线模型和三折线模型。综合考虑，本规程采用双折线模型。其中峰值压应变，极限压应变偏安全取0.0034~0.0042。其余假定与《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362规定相同。

**5.1.3** 受压区普通混凝土矩形应力图高度与实际受压区高度的比值，按现行标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规定等效为矩形分布，等效前后压应力合力相等和作用点相同的条件。

**5.1.4** 本条文将受拉区超高性能混凝土的应力图简化为等效矩形应力图。极限状态时，受拉区超高性能混凝土可能已进入受拉应变软化阶段，截面受拉边缘附近拉应力较大区域的部分钢纤维可能被拉断或拔出。受拉区超高性能混凝土考虑1倍的抗拉强度参与计算会对超高性能混凝土受弯构件承载力产生过高的估计。已有试验研究和工程经验表明，考虑0.5倍的超高性能混凝土抗拉强度设计值可较好且偏安全地计算超高性能混凝土构件的抗弯承载力。

**5.2 梁板正截面抗弯承载力计算**

**5.2.1** 本条文规定原理与现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 规定相同。即按组合式盖板结构的纵向受拉钢筋屈服和受压区混凝土破坏同时发生（界限破坏）的原则确定相对界限受压区高度。

**5.2.2~5.2.3** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构正截面抗弯承载力的表达式是根据本规程第 5.1.2条规定的基本假定及承载力计算的基本要求建立的，式中包含了配筋超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构受弯构件的所有设计参数。考虑截面受拉区超高性能混凝土对承载力的贡献是超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构受弯构件和普通混凝土受弯构件承载力计算的主要区别。

为防止受弯构件的超筋设计，本规程规定了截面受压区高度的限制条件，其中相对受压区高度，通过本规程公式（5.2.1）计算。一般来说，当设计计算的受压区高度不能满足上述要求时，表明受拉区纵向钢筋配置过多或构件高度不足，需要进行调整。实际工程中应尽量避免出现两者接近或相等的情况。

在超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构受弯构件正截面承载力计算中，截面受压区高度 可按本条提供的公式近似计算。该公式是假定受压区超高性能混凝土的压力点在受压纵向钢筋的合力点上，以该点为矩心取矩建立起来的，可用于一般情况（受压边缘设置一般厚度的保护层）下的承载力计算。

**5.3 主梁斜截面抗剪承载力计算**

**5.3.1~5.3.3** 本条文规定了超高性能混凝土抗剪承载能力计算公式，考虑了普通混凝土的抗剪贡献。根据国内外超高性能混凝土梁抗剪性能的相关试验结果，该公式计算结果与试验实测结果吻合较好，本规程建议采用该公式作为超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构斜截面抗剪承载能力计算公式。

**5.3.4** 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 3362中对抗剪截面尺寸做出限定，主要是为了防止钢筋混凝土梁斜裂缝开展过宽或出现斜压破坏。本条文参考已有研究成果并通过对比，规定了超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构抗剪截面尺寸要求。

**5.4 界面抗剪钢筋承载力计算**

**5.4.1** AASHTO LRFD规范认为，UHPC层与NSC层之间的界面抗剪强度主要由界面摩阻力、钢筋抗剪承载力组成，因此取AASHTO LRFD规范中的钢筋屈服分量，近似计算界面抗剪钢筋承载能力，其中根据AASHTO LRFD规范，界面摩阻系数可取1.4。

**5.5 界面抗剪钢筋数量计算**

**5.5.2** AASHTO LRFD规范认为，在钢筋混凝土或预应力混凝土梁桥中，带有现浇板，水平剪切力沿着梁和板之间的界面发展。且基于截面弹性行为的经典材料强度方法已被成功用于确定设计界面剪切力。作为经典材料弹性强度方法的替代方案，可以用图5.5.2所示的自由体图推导出弹性或非弹性行为以及开裂或未开裂截面在强度或极端事件极限状态下的系数化界面剪切力的合理近似值。本规程参照AASHTO LRFD规范计算组合式盖板结构超高性能混凝土与普通混凝土交界面的纵向剪力，在实际计算过程中，仅考虑NSC层与UHPC底板之间的截面剪力，不考虑倒“T”形UHPC层竖向腹板与NSC层之间的截面剪力，因此在计算过程中，将盖板简化为矩形截面的UHPC-NSC组合梁计算UHPC底板与NSC层之间的界面剪力。

**6 持久状况正常使用极限状态计算**

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 本条文与现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362相关条文规定相同。

**6.2 裂缝宽度验算**

**6.2.1~6.2.2**  钢筋超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构设计，应进行裂缝宽度验算。当超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构拉应力小于时，认为超高性能混凝土基体没有开裂，不用验算组合式盖板结构的超高性能混凝土裂缝宽度；当超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构拉应力大于时，认为超高性能混凝土基体已开裂，应验算裂缝宽度。

**6.2.3** 超高性能混凝土内掺有大量的钢纤维，而钢纤维对其受力性能十分关键。因此超高性能混凝土裂缝宽度验算宜控制表面裂缝从而保证钢纤维的耐久性。本规程在现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362基础上对非接缝截面裂缝宽度限值偏安全地从严规定，给出了表6.2.3不同环境类别下最低作用等级的钢筋超高性能混凝土最大裂缝宽度限值。为便于工程人员使用，结合现行行业标准《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310的规定，表2分别给出了不同环境类别、环境作用等级下的钢筋超高性能混凝土部分和普通混凝土部分最大裂缝宽度限值。

表 2 组合式盖板结构最大裂缝宽度限值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 环境类别 | 环境作用等级 | 超高性能混凝土最大裂缝宽度限值（mm） | 普通混凝土最大裂缝宽度限值（mm） |
| 一般环境 | I-A | 0.10 | 0.20 |
| I-B |
| I-C |
| 冻融环境 | II-A | 0.10 | 0.20 |
| II-B | 0.10 | 0.15 |
| II-C | 0.05 | 0.10 |
| 近海或海洋氯化物环境 | III-C | 0.10 | 0.15 |
| III-D | 0.10 | 0.15 |
| III-E、III-F | 0.05 | 0.10 |
| 除冰盐等氯化物环境 | IV-C | 0.10 | 0.15 |
| IV-D | 0.1 | 0.15 |
| IV-E | 0.05 | 0.10 |
| 盐结晶环境 | V-D、V-E、V-F | 0.05 | 0.10 |
| 化学腐蚀环境 | VI-C | 0.10 | 0.15 |
| VI-D、VI-E、VI-F | 0.05 | 0.10 |
| 磨蚀环境 | VII-C | 0.10 | 0.20 |
| VII-D、VII-E | 0.15 |

**6.2.4** 与普通混凝土或普通纤维混凝土相比，由于超高性能混凝土的抗压强度较高，钢纤维与超高性能混凝土基体的粘结强度大大提高，超高性能混凝土开裂后，钢纤维在裂缝处的桥接作用分担部分拉力而减小裂缝处钢筋应力，同时，裂缝处超高性能混凝土的残余抗拉强度可减小所需的传递长度而缩短了裂缝间距。本规程基于国内外超高性能混凝土受弯构件裂缝宽度试验研究，在现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的基础上，对裂缝间距、裂缝不均匀系数、构件受力特征系数等公式进行修正，给出钢筋超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构受弯构件中超高性能混凝土部分的裂缝宽度计算公式。普通混凝土的裂缝宽度计算系参照《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》（JTG/TD64-01-2015）给出。

**6.2.5** 计算开裂截面钢筋应力时，应合理地考虑超高性能混凝土抗拉贡献。以下对作用频遇组合下，钢筋超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构受弯构件中超高性能混凝土部分的钢筋应力计算过程予以说明（以倒T型组合式盖板断面为例）：

**1** 基本假定：截面应变分布满足平截面假定；超高性能混凝土受压及钢筋受拉的应力应变均取线弹性；考虑受拉区超高性能混凝土参与截面受力，超高性能混凝土受拉应力应变曲线按下列公式取值。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | (3) |
|  |  | | | (4) |
|  |  | | | (5) |

**2** 假设中和轴位于普通混凝土内（），在已知作用频遇组合计算弯矩值条件下，获得外荷载作用下截面的轴力平衡方程和弯矩平衡方程：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ， | (6) |
|  |  |
|  | ， | (7) |
|  |  |

**3** 求解轴力平衡方程（式6）与弯矩平衡方程（式7），确定截面曲率大小与中和轴位置，进而可根据截面分布求解获得钢筋应力、。



图2 倒T形盖板结构正常使用极限状态中和轴和曲率计算图示

|  |  |
| --- | --- |
| 图中： | ——截面高度（mm）； |
|  | ——分别为受拉区NSC和UHPC的纵向受力钢筋到受拉边缘的高度（mm）； |
|  | ——截面受压区的高度或中和轴到受压边缘的距离（mm）； |
|  | ——受拉未开裂高度（mm，超高性能混凝土拉应力在之间）； |
|  | ——受压边缘普通混凝土的应变和应力（N/mm2）； |
|  | ——受拉区普通混凝土层钢筋的应变和应力（N/mm2）； |
|  | ——受拉区超高性能混凝土层钢筋的应变和应力（N/mm2）； |
|  | ——超高性能混凝土抗拉强度标准值（N/mm2）； |
|  | ——超高性能混凝土纤维取向系数； |
|  | ——受压区超高性能混凝土压力合力（N）； |
|  | ——受拉区超高性能混凝土受拉弹性区拉力合力（N）； |
|  | ——受拉区超高性能混凝土受拉塑性区拉力合力（N）； |
|  | ——受拉区普通混凝土层钢筋拉力（N/mm2）； |
|  | ——受拉区超高性能混凝土层钢筋拉力（N/mm2）； |
|  | ——截面曲率。 |

**6.3 挠度验算**

**6.3.1~6.3.2**  超高性能混凝土中掺有大量的钢纤维，显著提高了超高性能混凝土的抗拉性能，可有效增强组合式盖板结构的裂后刚度。因此，超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的刚度宜考虑超高性能混凝土拉应力的贡献。

**7持久状态和短暂状况构件的应力计算**

**7.1 持久状况构件应力计算**

**7.1.1** 本条文根据现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362相关条文及国内外超高性能混凝土相关研究确定。

**7.2 短暂状况构件应力计算**

**7.2.1** 本条文按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362相关条文确定。

**7.2.2~7.2.3**  本条文按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362相关条文对短暂状况超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构的应力计算及应力限值做出了规定。

**7.2.4** 由于超高性能混凝土中掺有大量的钢纤维，显著提高了超高性能混凝土的抗拉性能，存在取消箍筋的可能。本条文在现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的基础上，综合考虑超高性能混凝土抗拉性能，规定时，可不设置箍筋；若，认为超高性能混凝土主拉应力由超高性能混凝土和箍筋共同承受，箍筋间距根据计算确定。

**8 构造要求**

**8.1 一般规定**

**8.1.1** 超高性能混凝土－普通混凝土组合式盖板结构的力学性能不仅受到两种材料各自材质的影响，而且与剪力连接件的选用有较大关系。应选用合理的剪力连接件保证超高性能混凝土与普通混凝土共同受力。

**8.1.2** 为保证正常使用极限状态下超高性能混凝土和普通混凝土间不发生过大的相对滑移，有必要对正常使用阶段抗剪钢筋连接件所承担的剪力进行限制。抗剪连接件宜采用普通钢筋。若采用普通钢筋以外的新型抗剪连接件时，宜通过试验与分析论证后使用。

**8.1.3**  由于超高性能混凝土具有致密的微观结构，因而具有良好的耐久性。根据已有研究成果，综合考虑粘结力的可靠传递、钢筋抗腐蚀、结构耐火性等因素，制定本条文所规定的保护层厚度的要求。

**8.2 超高性能混凝土倒“T”/“π”形梁**

**8.2.1** 根据已有研究成果，综合考虑超高性能混凝土倒“T”/“π”形梁的承载能力要求，制定本条文所规定的底板、腹板以及倒角尺寸要求。

**8.2.2** 根据已有研究成果，综合考虑粘结力的可靠传递、可施工性等因素，制定本条文所规定的最小钢筋净距的要求。

**8.2.3** 与普通混凝土构件相比，超高性能混凝土构件尺寸较小，板类构件较薄。本条文结合已有超高性能混凝土结构研究和应用经验，按腹板厚度分别提出了两种箍筋形式（图8.2），并在现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的基础上，考虑了钢纤维对钢筋与混凝土粘结强度的有利影响，适当降低了箍筋弯钩平直段的长度，并对箍筋弯曲直径进行了限值。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| （a）腹板厚度＞10cm | （b）腹板厚度≤10cm |

图8.2 箍筋形式

**8.2.4** 根据已有研究成果，当超高性能混凝土材料延性满足的要求，且不考虑钢筋贡献的抗弯承载力不小于开裂弯矩时，超高性能混凝土构件中可不设置普通钢筋。当超高性能混凝土材料满足本规程表4.1.5的规定时，超高性能混凝土材料延性的条件很容易满足。在此基础上，超高性能混凝土构件的疲劳性能和抗裂宽度验算满足本规程要求时，可不对纵向钢筋的最小配筋率作出要求。

**8.2.5** 根据已有研究成果，当超高性能混凝土材料延性、承载力、抗裂性满足要求时，可不配置箍筋。

**8.2.6** 考虑到超高性能混凝土与普通混凝土界面存在剪切应力，为避免界面发生错动，应在界面设置界面抗剪钢筋，间距应满足本条文规定。

**8.2.7** 组合式盖板结构普通混凝土部分宜根据现行行业规范《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的规范设置构造钢筋，且注意横向构造钢筋需避开箍筋相交位置。

**9 施工**

**9.1 一般规定**

**9.1.1** 超高性能混凝土的施工与普通混凝土的施工有较大差异，对施工队伍的素质要求较高，应选择有相关工程经验的专业施工单位。

**9.1.5** 超高性能混凝土水胶比低，其性能受用水量的变化敏感。因此在运输和浇筑过程中往超高性能混凝土拌合物中加水会明显影响强度，同时对其耐久性和其他力学性能产生不利影响，具有较大危害。

**9.1.6** 钢纤维对超高性能混凝土力学性能至关重要。超高性能混凝土的表面易快速结皮，需要避免因超高性能混凝土结皮而产生施工冷缝，影响钢纤维连续性和构件整体性。另外一方面，设置施工缝会在接缝界面阻断钢纤维在超高性能混凝土的连续分布，影响其抗拉性能。“π”型/“T”型超高性能混凝土板的浇筑方量并不大，为确保结构受力完整性，超高性能混凝土板的底板和腹板一次性连续浇筑完成是十分必要的。

**9.2 钢筋施工**

**9.2.1** 超高性能混凝土板的长度一般为6.0m~10.0m，而且纵筋间距较密，若设置接头，净距过小将局部影响超高性能混凝土的浇筑质量，底板受力纵筋宜通长布置。

**9.3 模板**

**9.3.1** 本规程要求超高性能混凝土工作性能达到自密实混凝土的要求，超高性能混凝土对模板侧压力应按液体压力予以计算。与普通混凝土相比，具有自密实性能的超高性能混凝土在浇筑过程中，下部模板所承受的侧向压力会随着浇筑高度增长而线性增加，要求模板具有更高的刚度和坚固程度，宜采用钢模。

**9.3.2** 超高性能混凝土流动性大，模板间的微小缝隙会造成跑浆、漏浆等现象，影响超高性能混凝土均匀性和强度发展，为此规定模板接缝不得漏浆。

**9.3.3** 超高性能混凝土浇筑完成后一般需保湿养护24h~48h，根据超高性能混凝土强度发展规律，超高性能混凝土浇筑完成后24h~48h，超高性能混凝土强度可达到40 MPa以上，可保证超高性能混凝土梁体不会因脱模而损坏、断裂。在低温、干燥或大风环境下拆除模板时，外界的不良环境会使超高性能混凝土的内表温差过大或使超高性能混凝土表面过快失水，从而导致超高性能混凝土表面出现裂缝，严重者会产生裂缝，故规定应采取必要的措施予以防止。

**9.4 超高性能混凝土拌合和预制**

**9.4.1** 超高性能混凝土施工注意事项与普通混凝土和常规的钢纤维混凝土均有所不同。为此，施工过程中应对超高性能混凝土原材料要求、计量、储存、搅拌、运输、浇筑和养护等关键过程和工艺予以重点关注。

**9.4.2** 超高性能混凝土的原材料，现说明如下：

**1** 为有效控制超高性能混凝土的质量，一般情况下选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构主要利用配筋超高性能混凝土的受拉及抗裂性能，对水泥提出了更高要求。

**2** 细骨料宜采用石英砂，部分需从广西区外购入，为降低超高性能混凝土材料成本，可以采用广西本土机制砂来全部或部分代替石英砂，但必须通过试验调整配比，确保超高性能混凝土各项性能指标符合设计要求。

**3** 对于超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构，从经济性及结构抗裂性要求角度，配筋超高性能混凝土板的钢纤维体积含量宜大于2%，推荐采用直径0.2mm、长度13mm的平直型或带端钩钢纤维。

**9.4.3** 本条文参照现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387及《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021的相关规定。

**9.4.4~9.4.8** 本条文参照现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387及《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27-2021的相关规定。

**9.4.9**  与普通混凝土构件相比，超高性能混凝土构件壁厚更轻薄。为确保施工质量，结合国内工程经验，在现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1），适当提高了超高性能混凝土构件板厚等预制要求。

**9.5 超高性能混凝土板的运输与现场安装**

**9.5.2**  超高性能混凝土板在场内的移运和存放除满足现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650的相关规定外，补充规定了装配式超高性能混凝土板建议的吊装方式（预埋吊环、扁平起重吊带）、吊装强度、吊装安全等的要求。

**9.5.4**  超高性能混凝土板在现场安装时支承位置很难保证绝对平整，板与支承处难以完全接触，可能局部脱空，为此建议在支承上部铺设一层油毛毡和细砂，确保接触面平整。同时，结合超高性能混凝土-普通混凝土组合式盖板结构的特点，参考现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650，规定了超高性能混凝土板现场安装误差要求。

**10 检验与评定**

**10.1 一般规定**

**10.1.2~10.1.3**  规定了分项工程基本要求检查、实测项目检验、检查项目合格判定、外观质量检验和质量保证资料要求、工程质量等级分为合格与不合格，分项工程、分部工程、单位工程质量评定应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ2-2023及《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1。未明确规定的检验与评定事宜也应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ2-2023及《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1的相关规定。

**10.2.1~10.2.3**  本节规定了模板施工的基本要求、实测项目和外观质量要求。

**10.3 钢筋工程**

**10.3.1~10.3.2**  本条文在现行行业标准《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1基础上，结合超高性能混凝土板结构特点适当提高了钢筋加工、安装的部分实测项目要求。

**10.4 超高性能混凝土工程**

**10.4.1~10.4.4** 本条文在现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387、现行行业标准《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1及《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27的基础上，结合国内已有工程经验，规定了超高性能混凝土材料、实测项目、预制板外观质量等的检验标准。