



T/CECS XXX-202X

---

中国工程建设标准化协会标准

铁路钢-超高性能混凝土(UHPC)组合桥面  
技术规程

Technical specification for railway steel and ultra-high performance  
concrete (UHPC) composite deck

(征求意见稿)

中国\*\*出版社

# 中国工程建设标准化协会标准

## 铁路钢-超高性能混凝土(UHPC)组合桥面

### 技术规程

Technical specification for railway steel and ultra-high performance  
concrete (UHPC) composite deck

**T/CECS XXX—202X**

(征求意见稿)

主编单位： 中铁第四勘察设计院集团有限公司

批准单位： 中国工程建设标准化协会

执行日期： 202X年XX月XX日

中国\*\*出版社

202X 北 京

# 前 言

《铁路钢-超高性能混凝土(UHPC)组合桥面技术规程》（以下简称规程）是根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2022〕13 号）的要求编制的。编制组在深入调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外现行标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为 8 章，主要技术内容包括：总则、术语和符号、材料、结构计算、抗剪连接件计算、构造要求、施工及验收等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中铁第四勘察设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈给中铁第四勘察设计院集团有限公司（地址：湖北省武汉市武昌杨园和平大道 745 号，邮政编码：430063）。

**主编单位：** 中铁第四勘察设计院集团有限公司

**参编单位：** 中国铁路经济规划研究院有限公司

湖南大学

中铁大桥科学研究院有限公司

中国铁路设计集团有限公司

中国铁建大桥工程局集团有限公司

**主要起草人：** 严爱国 文望青 曾 敏 王存国 邵旭东

王 波 周尚猛 陈良江 孙宗磊 赵会东

王凯林 马 广 熊满华 刘振标 王新国

夏正春 罗春林 崔苗苗 郭 攀 李振东

张超超 高立强 曹君辉 李盼盼 杜宝军

周天喜 赵 健 任延龙 安东省 罗文辉

梁倬贤 陈晓辉 黄 振 蔡 畅 王志平

曹阳梅 杨得旺 高 慰 王小飞 任 征

**主要审查人：**

# 目 次

1	总则.....	8
2	术语和符号.....	9
2.1	术语.....	9
2.2	符号.....	9
3	材料.....	13
3.1	UHPC.....	13
3.2	钢材.....	15
3.3	普通钢筋.....	16
4	结构计算.....	17
4.1	一般规定.....	17
4.2	强度验算.....	17
4.3	刚度验算.....	19
4.4	稳定验算.....	20
4.5	疲劳验算.....	20
4.6	抗裂验算.....	20
5	抗剪连接件计算.....	22
5.1	一般规定.....	22
5.2	抗剪强度验算.....	22
5.3	抗剪连接件疲劳验算.....	23
6	构造要求.....	24
6.1	钢桥面板及剪力钉.....	24
6.2	超高性能混凝土层.....	24
6.3	接缝构造.....	25
7	施工.....	28
7.1	一般规定.....	28
7.2	栓钉焊接.....	28
7.3	钢筋铺设.....	29
7.4	UHPC 搅拌与运输.....	29
7.5	UHPC 布料与摊铺.....	29

7.6	接缝施工.....	30
7.7	UHPC 养护 .....	31
8	验收.....	32
8.1	一般规定.....	32
8.2	钢材检验.....	32
8.3	干混料检验.....	32
8.4	钢桥面板表面处理施工检验.....	33
8.5	栓钉焊接检验.....	33
8.6	钢筋网铺设检验.....	33
8.7	UHPC 摊铺施工检验 .....	34
8.8	施工验收.....	35
附录 A	UHPC 轴心抗拉强度试验方法 .....	36
附录 B	UHPC 层疲劳细节和疲劳寿命 .....	40
附录 C	UHPC 名义弯拉应力容许值 .....	41
附录 D	UHPC 层第二、三体系主要检算位置 .....	42
附录 E	降低 UHPC 层名义拉应力的方法.....	43
	用词说明.....	44
	引用标准名录 .....	45
	附：条文说明.....	46

# Contents

1	General provisions .....	8
2	Terms and symbols .....	9
2.1	Terms .....	9
2.2	Symbols.....	9
3	Materials.....	13
3.1	UHPC .....	13
3.2	Structural steel.....	15
3.3	Steel reinforcement .....	16
4	Structural calculation .....	17
4.1	General requirements .....	17
4.2	Checking of Strength .....	17
4.3	Checking of Stiffness .....	19
4.4	Checking of Stability .....	20
4.5	Checking of fatigue .....	20
4.6	Checking of crack resisting.....	20
5	Calculation of shear connections .....	22
5.1	General requirements .....	22
5.2	Checking of shear strength.....	22
5.3	Checking of fatigue of shear connections .....	23
6	Detailing requirements .....	24
6.1	Steel bridge deck and shear studs .....	24
6.2	UHPC layer .....	24
6.3	Structural details of the joints .....	25
7	Construction.....	28
7.1	General requirements .....	28
7.2	Welding shear studs .....	28
7.3	Reinforcement placement.....	29
7.4	UHPC mixing and transportation.....	29
7.5	UHPC distribution and paving.....	29
7.6	Joint construction .....	30
7.7	UHPC curing.....	31
8	Acceptance .....	32
8.1	General requirements .....	32

8.2	Structural steel inspection .....	32
8.3	Dry blend inspection .....	32
8.4	Construction inspection of surface treatment of steel bridge deck .....	33
8.5	Inspection of welding shear studs .....	33
8.6	Inspection of reinforcement mesh placement .....	33
8.7	Construction inspection of UHPC paving.....	34
8.8	Construction acceptance.....	35
Appendix A	Test method for axial tensile strength of UHPC .....	36
Appendix B	Fatigue details and fatigue life of UHPC layer.....	40
Appendix C	Allowance value of nominal flexural-tensile stress of UHPC.....	41
Appendix D	The main checking positions of the second and third systems of UHPC layer.....	42
Appendix E	Methods to reduce the nominal tensile stress of UHPC layer .....	43
	Explanation of wording.....	44
	List of quoted standards .....	45
	Addition: Explanation of provisions .....	46

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范铁路钢-超高性能混凝土(UHPC)组合桥面桥梁的设计、施工及检验标准，确保其安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理，特制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于新建铁路有砟及无砟轨道钢桥面，既有桥梁钢桥面改造可参考使用。

**1.0.3** 本规程中钢-超高性能混凝土(UHPC)组合桥面桥梁的钢梁指含有正交异性钢桥面板的钢主梁。

**1.0.4** 钢-超高性能混凝土(UHPC)组合桥面桥梁的设计、施工及检验除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 超高性能混凝土 ultra-high performance concrete (UHPC)

由水泥、矿物掺合料、石英砂、添加剂、钢纤维、减水剂等材料经充分搅拌形成匀质的干混料后，按照一定质量比例加水拌和、凝结硬化后形成，具有超高力学性能、超高抗渗性能的高韧性水泥基复合材料，抗压强度在 100MPa 以上、抗折强度在 25MPa 以上，简称“UHPC”。

#### 2.1.2 钢-超高性能混凝土(UHPC)组合桥面 steel and ultra-high performance concrete (UHPC) composite deck

由正交异性钢桥面板、UHPC 层组合而成的一种桥面形式，其中 UHPC 层与正交异性钢桥面板间通过连接件连接。

#### 2.1.3 钢纤维 steel fiber

采用钢制材料加工制成的微细纤维。

#### 2.1.4 栓钉 shear stud

栓钉又名剪力钉，起到连接正交异性钢桥面板与 UHPC 层的作用。

#### 2.1.5 热点应力法 hot spot stress method

热点应力法是一种采用有限元方法计算焊趾位置疲劳的计算方法，一般将距焊趾特定位置处的应力外推得到焊趾处的热点应力。

#### 2.1.6 增强型接缝 enhanced joint

为满足 UHPC 在大跨、宽幅桥面上的分块与分幅施工，或满足钢-UHPC 组合桥面体系的节段拼装施工，在不同施工单元间设置的增强型连接构造。

#### 2.1.7 蒸汽养护 steam curing

浇筑的 UHPC 终凝后在相对湿度不低于 95%，温度在 80~90℃蒸汽环境中持续养护 72 小时，或温度在 90℃以上蒸汽环境中持续养护 48 小时后达到强度等级的养护过程。

### 2.2 符号

#### 2.2.1 材料性能有关符号

UHPC120——边长 100mm 立方体抗压强度标准值为 120MPa 的超高性能混凝土；

$E_c$  ——UHPC 的弹性模量 (MPa) ;  
 $E_s$  ——钢材的弹性模量 (MPa) ;  
 $E_g$  ——普通钢筋的弹性模量 (MPa) ;  
 $G_c$  ——UHPC 的剪切模量 (MPa) ;  
 $G_s$  ——钢材的剪切模量 (MPa) ;  
 $n_0$  ——钢材与 UHPC 弹性模量比;  
 $n_{G0}$  ——钢材与 UHPC 剪切模量比;  
 $\mu_c$  ——UHPC 的泊松比;  
 $\alpha_c$  ——UHPC 的温度线膨胀系数 ( $1/^\circ\text{C}$ ) ;  
 $\nu_s$  ——钢材的泊松比;  
 $\alpha_s$  ——钢材的温度线膨胀系数 ( $1/^\circ\text{C}$ ) ;  
 $\rho_s$  ——钢材的质量密度 ( $\text{kg/m}^3$ ) ;  
 $f_{cu,k}$  ——边长 100mm 的 UHPC 立方体抗压强度标准值 (MPa) ;  
 $f_c$ 、 $f_{ct}$  ——UHPC 的轴心抗压、抗拉极限强度 (MPa) ;  
 $f_{fk}$  ——UHPC 的抗折极限强度 (MPa) ;  
 $\tau_c$  ——UHPC 的抗剪强度 (MPa) ;  
 $f_t^r$  ——配筋 UHPC 的名义弯拉应力容许值 (MPa) ;  
 $f_{t, joint}^r$  ——接缝处配筋 UHPC 的名义弯拉应力容许值 (MPa) ;  
 $f_s$  ——钢材的屈服强度 (MPa) ;  
 $f_g$  ——普通钢筋抗拉、抗压计算强度的屈服强度 (MPa) ;  
 $f_{su}$  ——栓钉极限抗拉强度 (MPa) ;  
 $[\sigma_c]$  ——UHPC 弯曲或偏心受压容许应力 (MPa) ;  
 $[\sigma]$  ——钢材轴向容许应力 (MPa) ;  
 $[\sigma_w]$  ——钢材弯曲容许应力 (MPa) ;  
 $[\tau]$  ——钢材剪切容许应力 (MPa) ;  
 $[\sigma_g]$  ——普通钢筋的容许应力 (MPa) ;  
 $[\Delta\sigma]$  ——普通钢筋应力幅容许值 (MPa) ;

### 2.2.2 作用和作用效应有关符号

$M_I$  ——形成钢-UHPC 组合桥面前截面的弯矩计算值 (N mm) ;  
 $M_{II}$  ——形成钢-UHPC 组合桥面后截面计算弯矩增量 (N mm) ;

$M$ ——截面的弯矩计算值 (N mm) ;  
 $V$ ——计算剪力 (N) ;  
 $V_s$ ——混凝土收缩徐变或温度效应在钢和混凝土结合面产生的纵桥向水平剪力 (N) ;  
 $V_{ms}$ ——UHPC 和钢主梁界面最大单位长度纵向水平剪力(N);  
 $V_{su}$  ——栓钉的抗剪承载力 (N) ;  
 $V_1$  ——单位长度内钢和 UHPC 结合面上的纵向剪力 (N) ;  
 $\sigma_s$ ——钢结构弯曲正应力 (MPa) ;  
 $\sigma_{sl}$ ——钢结构纵向正应力 (MPa) ;  
 $\sigma_{st}$ ——钢结构横向正应力 (MPa) ;  
 $\sigma_c$ ——UHPC 层弯曲正应力 (MPa) ;  
 $\sigma_t$ ——UHPC 层底面的最大拉应力 (MPa) ;  
 $\tau_s$ ——钢结构剪应力 (MPa) ;  
 $\tau_{sb}$ ——钢结构弯曲剪应力 (MPa) ;  
 $\tau_{sp}$ ——钢结构扭转剪应力 (MPa) ;  
 $\tau_c$ ——UHPC 层剪应力 (MPa) ;  
 $\tau_{cb}$ ——UHPC 层弯曲剪应力 (MPa) ;  
 $\tau_{cp}$ ——UHPC 层扭转剪应力 (MPa) ;  
 $\sigma_g$ ——钢筋重心处的拉应力 (MPa) ;

### 2.2.3 几何参数有关符号

$y$ ——所求应力点到换算截面中性轴的距离 (mm) ;  
 $I_n$ ——钢结构截面惯性矩 (mm<sup>4</sup>) ;  
 $I_{un}$ ——钢-UHPC 组合截面的换算截面惯性矩 (mm<sup>4</sup>) ;  
 $S$ ——剪应力计算点以上的换算截面对总换算截面中性轴的面积矩 (mm<sup>3</sup>) ;  
 $t$ ——换算截面的腹板厚度 (mm) ;  
 $b$ ——UHPC 换算宽度 (mm) ;  
 $c$ ——验算方向上 (纵桥向或横桥向), UHPC 层受拉钢筋外边缘至受拉侧表面的距离 (mm) ;  
 $A_g$ ——受拉区钢筋截面总面积 (mm<sup>2</sup>) ;  
 $A_c$ ——有效受拉 UHPC 截面面积 (mm<sup>2</sup>) ;  
 $A_{c0}$ ——UHPC 层毛截面面积 (mm<sup>2</sup>) ;

$d$ ——验算方向上（纵桥向或横桥向），受拉区钢筋直径（mm）；

$y_0$ ——受拉 UHPC 上表面到中性轴的距离（mm）；

$h_{td}$ ——受拉区未开裂的 UHPC 高度（mm）；

$h_r$ ——受拉钢筋重心位置至受拉 UHPC 上表面的距离（mm）；

$y_g$ ——纵向钢筋重心至换算截面中性轴的距离（mm）；

$A_s$ ——栓钉钉杆截面面积（mm<sup>2</sup>）；

$l_{cs}$ ——混凝土收缩徐变或温度引起的纵桥向集中剪力在结合面的水平传递长度（mm）；

$S_c$ ——UHPC 层对组合截面中性轴的面积矩（mm<sup>3</sup>）；

#### 2.2.4 计算系数及其它有关符号

$\gamma$ ——UHPC 的抗剪强度计算系数；

$W_{\max}$ ——UHPC 表面的最大裂缝宽度（mm）；

$\alpha_{cr}$ ——构件受力特征系数；

$\psi$ ——裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数；

$\rho$ ——按有效受拉 UHPC 截面面积计算的受拉钢筋配筋率。

## 3 材 料

### 3.1 UHPC

**3.1.1** UHPC 由水泥、矿物掺合料、石英砂、添加剂、钢纤维等材料经充分搅拌形成匀质的干混料后，按照一定质量比例加水拌和、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。

**3.1.2** 水泥宜采用品质稳定、强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其性能应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的规定。

**3.1.3** 粉煤灰应符合国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的规定，硅灰应符合现行《铁路混凝土》TB/T 3275 的技术要求。当采用其它矿物掺合料时，应通过试验进行验证，确定 UHPC 性能满足工程应用要求后方可使用。

**3.1.4** 骨料应使用 SiO<sub>2</sub> 含量大于 90%、含泥量不大于 0.5% 的石英砂。石英砂可分为粗粒径砂（1.25~0.63mm）、中粒径砂（0.63~0.315mm）和细粒径砂（0.315~0.16mm）三个粒级，筛分试验应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 的规定。不同粒级石英砂的超粒径颗粒含量限值应符合表 3.1.4 的规定。石英粉中公称粒径小于 0.16mm 的颗粒的体积比例应大于 95%。

表 3.1.4 不同粒级石英砂的超粒径颗粒含量

粒级要求	1.25~0.63mm 粒级		0.63~0.315mm 粒级		0.315~0.16mm 粒级	
	≥1.25mm	<0.63mm	≥0.63mm	<0.315mm	≥0.315mm	<0.16mm
质量百分比 (%)	≤5	≤10	≤5	≤10	≤5	≤5

**3.1.5** 钢纤维性能指标应满足：直径 0.10~0.25mm，长度 6~25mm，抗拉强度不应低于 2000MPa，其它性能应满足现行行业标准《钢纤维混凝土》JG/T 472 的规定。为提高钢纤维耐久性，其表面宜镀铜。

**3.1.6** 减水剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定，宜选用高性能减水剂，减水剂的减水率宜大于 30%。

**3.1.7** 拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定，在具体项目实施前需要使用施工拌合水试拌确认 UHPC 性能。

**3.1.8** 膨胀剂应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB 23439 关于 I 型膨胀剂的相关技术

要求。

**3.1.9** 掺用改善拌合物和 UHPC 性能的其它外加剂时，其性能应符合现行国家标准的规定；且应通过试验，确定 UHPC 性能满足工程应用要求后方可使用。

**3.1.10** UHPC 轴心抗压极限强度  $f_c$ 、抗折极限强度  $f_{tk}$ 、弯曲或偏心受压容许应力 $[\sigma_c]$ 应按表 3.1.10 取用，轴心抗拉极限强度  $f_{ct}$ 宜通过附录 A 试验方法确定，当无试验资料时可参考表 3.1.10 取用。

**表 3.1.10 UHPC 强度等级 (MPa)**

强度	UHPC 强度等级		
	UHPC100	UHPC120	UHPC140
轴心抗压极限强度 $f_c$	61.5	73.9	86.2
轴心抗拉极限强度 $f_{ct}$	7.25	8.70	10.15
抗折极限强度 $f_{tk}$	25	28	32
弯曲或偏心受压容许应力 $[\sigma_c]$	30.8	37.0	43.1

**3.1.11** UHPC 的抗剪强度可通过试验确定。当无试验资料时，可按公式 (3.1.11) 计算取值：

$$\tau_c = \gamma f_c \quad (3.1.11)$$

式中： $\tau_c$ ——UHPC 的抗剪强度 (MPa)；

$\gamma$ ——计算系数，一般取 0.095~0.121，本规程建议取 0.095；

$f_c$ ——UHPC 的轴心抗压极限强度 (MPa)。

**3.1.12** UHPC 的弹性模量的试验采用 100mm×100mm×300mm 的试件，按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 或《活性粉末混凝土》GB/T 31387 通过试验确定。当无试验资料时，可按表 3.1.12 取值。

**表 3.1.12 不同强度等级 UHPC 的弹性模量 (MPa)**

UHPC 强度等级	UHPC100	UHPC120	UHPC140
弹性模量	$3.44 \times 10^4$	$3.76 \times 10^4$	$4.07 \times 10^4$

**3.1.13** UHPC 的剪切模量  $G_c$ 可按公式 (3.1.13) 取值：

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\mu_c)} \quad (3.1.13)$$

式中： $G_c$ ——UHPC 的剪切模量；

$E_c$ ——UHPC 的抗压/抗拉弹性模量；

$\mu_c$ ——UHPC 的泊松比，按照本规程第 3.1.14 条取值。

**3.1.14** UHPC 的泊松比  $\mu_c$  可取为 0.2，温度线膨胀系数  $\alpha_c$  可取为  $1.1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。

**3.1.15** 在不同养护条件下，UHPC 的收缩应变和徐变系数按表 3.1.15 取值。

**表 3.1.15 UHPC 的收缩应变和徐变系数终极值**

养护条件	收缩应变 ( $\times 10^{-6}$ )	徐变系数终极值
自然养护 (相对湿度 50%~70%)	400	0.8
高温蒸汽养护	0	0.2

**3.1.16** UHPC 的抗渗等级不低于 P20 级，即抗渗压强不低于 2.0MPa。

**3.1.17** UHPC 的抗氯离子扩散系数  $\leq 0.1 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 。

## 3.2 钢 材

**3.2.1** 钢材可采用 Q345q、Q370q、Q420q 和 Q500q，其质量等级、板厚、交货技术条件等应符合《铁路桥梁用结构钢》TB/T 3556 的有关规定。

**3.2.2** 钢材的基本容许应力应按表 3.2.2 确定。

**表 3.2.2 钢材的屈服强度、基本容许应力表 (MPa)**

应力种类	符号	钢材牌号			
		Q345q	Q370q	Q420q	Q500q
屈服强度	$f_s$	345	370	420	500
轴向应力	$[\sigma]$	200	210	240	285
弯曲应力	$[\sigma_w]$	210	220	250	300
剪应力	$[\tau]$	120	125	145	170

注：钢材的基本容许应力与《铁路桥梁用结构钢》TB/T 3556 中板厚  $t \leq 50 \text{mm}$  的屈服强度相对应，当  $t > 50 \text{mm}$  时，容许应力可按屈服点的比例予以调整。

**3.2.3** 钢材的物理性能指标应按表 3.2.3 采用。

**表 3.2.3 钢材的物理性能指标**

弹性模量 $E_s$ (MPa)	剪切模量 $G_s$ (MPa)	泊松比 $\nu_s$	线膨胀系数 $\alpha_s$ ( $1/^\circ\text{C}$ )	质量密度 $\rho_s$ ( $\text{kg/m}^3$ )
$2.1 \times 10^5$	$8.1 \times 10^4$	0.3	$1.2 \times 10^{-5}$	7850

3.2.4 栓钉机械性能和化学成分应符合《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433 的有关规定。

### 3.3 普通钢筋

3.3.1 钢筋应符合《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的有关规定。

3.3.2 钢筋的计算强度、容许应力及弹性模量应按表 3.3.2 采用。

表 3.3.2 钢筋的计算强度、容许应力及弹性模量 (MPa)

指 标	符 号	钢筋牌号	
		HRB400	HRB500
计算强度	$f_g$	400	500
容许应力	$[\sigma_g]$	210	260
弹性模量	$E_g$	$2.0 \times 10^5$	$2.0 \times 10^5$

3.3.3 钢筋的疲劳容许应力幅 $[\Delta\sigma]$ 应符合《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的有关规定。

## 4 结构计算

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 铁路钢-UHPC 组合桥面桥梁第一体系整体计算可考虑 UHPC 层的受力，第二、三体系局部受力计算应考虑 UHPC 组合桥面受力，第一体系宜与二、三体系相同方向上的计算结果进行线性叠加。

**4.1.2** 钢-UHPC 组合桥面的结构计算，UHPC 层和钢结构应符合平截面假定，并应计入 UHPC 层收缩徐变的影响。

**4.1.3** 钢-UHPC 组合梁的截面特性计算可采用换算截面法，将 UHPC 截面换算为钢材截面进行计算。

### 4.2 强度验算

**4.2.1** 钢-UHPC 组合桥面内力与应力计算应按施工阶段、运营阶段，分别计算恒载、活载、附加力、特殊荷载作用下的截面内力，再按平截面假定计算截面应力，截面的正应力、剪应力应分阶段采用叠加法计算。

**4.2.2** 钢-UHPC 组合截面的应力计算应考虑轴力和弯矩共同作用的影响。

**4.2.3** 钢-UHPC 组合桥面的弯曲正应力应按下列公式计算：

$$\sigma_s = \frac{M_I y}{I_n} + \frac{M_{II} y}{I_{un}} \quad (4.2.3-1)$$

$$\sigma_c = \frac{My}{n_0 I_{un}} \quad (4.2.3-2)$$

式中： $\sigma_s$ ——钢结构正应力（MPa），受拉为正；

$\sigma_c$ ——UHPC 层正应力（MPa），受拉为正；

$M_I$ ——形成钢-UHPC 组合桥面前截面的弯矩计算值（N·mm），截面下缘受拉为正；

$M_{II}$ ——形成钢-UHPC 组合桥面后截面计算弯矩增量（N·mm），截面下缘受拉为正；

$M$ ——截面的弯矩计算值（N·mm），截面下缘受拉为正；

$I_n$ ——钢结构截面惯性矩（mm<sup>4</sup>）；

$I_{un}$ ——钢-UHPC 组合截面的换算截面惯性矩 ( $\text{mm}^4$ ) ;

$y$ ——所求应力点到换算截面中性轴的距离 ( $\text{mm}$ ) , 在中性轴以下为正;

$n_0$ ——钢材与 UHPC 弹性模量比, 按  $n_0=E_s/E_c$  计算。

#### 4.2.4 钢-UHPC 组合桥面的弯曲剪应力应按下列公式计算:

$$\tau_{sb} = \frac{VS}{I_{un}t} \quad (4.2.4-1)$$

$$\tau_{cb} = \frac{VS}{n_{G0}I_{un}b} \quad (4.2.4-2)$$

式中:  $\tau_{sb}$ ——钢结构弯曲剪应力 ( $\text{MPa}$ ) ;

$\tau_{cb}$ ——UHPC 层弯曲剪应力 ( $\text{MPa}$ ) ;

$V$ ——计算剪力 ( $\text{N}$ ) ;

$S$ ——剪应力计算点以上的换算截面对总换算截面中性轴的面积矩 ( $\text{mm}^3$ ) , 当计算钢结构剪应力时取剪应力计算点以上的钢截面对钢结构截面中性轴的面积矩;

$I_{un}$ ——组合截面换算截面惯性矩 ( $\text{mm}^4$ ) , 当计算钢结构剪应力时取钢结构截面惯性矩;

$t$ ——换算截面的腹板厚度 ( $\text{mm}$ ) , 即钢结构腹板厚度;

$b$ ——UHPC 换算宽度 ( $\text{mm}$ ) ;

$n_{G0}$ ——钢材与 UHPC 剪切模量比, 按  $n_{G0}=G_s/G_c$  计算。

#### 4.2.5 钢-UHPC 组合桥面的自由扭转剪应力应按下列公式计算:

$$\tau_{cp} = \frac{\tau_{sp}}{n_{G0}} \quad (4.2.5)$$

式中:  $\tau_{cp}$ ——UHPC 层扭转剪应力 ( $\text{MPa}$ ) ;

$\tau_{sp}$ ——钢结构扭转剪应力 ( $\text{MPa}$ ) ;

$n_{G0}$ ——钢材与混凝土剪切模量比, 按  $n_{G0}=G_s/G_c$  计算。

#### 4.2.6 钢-UHPC 组合桥面的钢结构应力应符合下列规定:

$$\sigma_{sl} \leq [\sigma_w] \quad (4.2.6-1)$$

$$\sigma_{st} \leq [\sigma_w] \quad (4.2.6-2)$$

$$\tau_s = \tau_{sb} + \tau_{sp} \leq [\tau] \quad (4.2.6-3)$$

$$\sqrt{\sigma_{sl}^2 + \sigma_{st}^2 - \sigma_{sl}\sigma_{st} + 3\tau_s^2} \leq 1.1[\sigma_w] \quad (4.2.6-4)$$

式中:  $\sigma_{sl}$ ——钢结构纵向正应力 ( $\text{MPa}$ ) ;

$\sigma_{st}$ ——钢结构横向正应力 (MPa) ;  
 $\tau_s$ ——钢结构剪应力 (MPa) ;  
 $\tau_{sb}$ ——钢结构弯曲剪应力 (MPa) ;  
 $\tau_{sp}$ ——钢结构扭转剪应力 (MPa) ;  
 $[\sigma_w]$ ——钢材容许弯曲应力 (MPa) ;  
 $[\tau]$ ——钢材容许剪应力 (MPa) 。

**4.2.7** 钢-UHPC 组合桥面 UHPC 应力应符合下列规定：

$$\sigma_c \leq [\sigma_c] \quad (4.2.7-1)$$

$$\tau_c = \tau_{cb} + \tau_{cp} \leq 0.17f_c \quad (4.2.7-2)$$

式中：
  $\sigma_c$ ——UHPC 层压应力 (MPa) ;  
 $\tau_c$ ——UHPC 层剪应力 (MPa) ;  
 $\tau_{cb}$ ——UHPC 层弯曲剪应力 (MPa) ;  
 $\tau_{cp}$ ——UHPC 层扭转剪应力 (MPa) ;  
 $[\sigma_c]$ ——UHPC 容许压应力 (MPa) ;  
 $f_c$ ——UHPC 抗压极限强度 (MPa) 。

**4.2.8** UHPC 层底面的最大拉应力应建立有限元模型进行计算，在计算荷载的最不利组合作用下，UHPC 层底面的最大拉应力不得超过其轴心抗拉极限强度。

$$\sigma_t \leq f_{ct} \quad (4.2.8)$$

式中：
 $\sigma_t$ ——UHPC 层底面的最大拉应力 (MPa) 。

### 4.3 刚度验算

**4.3.1** 铁路钢-UHPC 组合桥面桥梁的刚度应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的有关规定。

**4.3.2** 桥跨结构宜设预拱度，预拱度的设置可按照《铁路桥涵设计规范》TB 10002 计算，并考虑施工方法和顺序的影响。预拱度应保持桥面线形平顺。

**4.3.3** 铁路钢-UHPC 组合桥面桥梁的变形计算应计入施工顺序的影响，并应计入 UHPC 徐变、收缩和温度等作用的影响。

## 4.4 稳定验算

4.4.1 铁路钢-UHPC 组合桥面桥梁施工阶段钢结构稳定性检算应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的有关规定。

4.4.2 铁路钢-UHPC 组合桥面桥梁在计算荷载的最不利组合作用下，纵横向倾覆稳定系数不应小于 1.3。

4.4.3 铁路钢-UHPC 组合桥面应考虑施工期及运营期桥面板局部稳定。

## 4.5 疲劳验算

4.5.1 承受列车荷载的结构构件与连接，应按疲劳细节类别进行疲劳验算。

4.5.2 疲劳验算时，应采用名义应力法或热点应力法，其中 UHPC 层的疲劳验算应采用名义应力法，钢主梁的疲劳验算宜采用热点应力法，当某些疲劳细节不适合采用热点应力法时，宜采用名义应力法。

4.5.3 UHPC 层各疲劳细节的疲劳强度见附录 B.0.1。

4.5.4 铁路钢-UHPC 组合桥面的钢构件和栓钉的疲劳验算应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的有关规定。

## 4.6 抗裂验算

4.6.1 UHPC 层抗裂验算可通过控制名义弯拉应力或检算裂缝宽度。

4.6.2 当 UHPC 层抗裂验算通过控制名义弯拉应力进行时，若采用 12mm 正交异性钢桥面板，名义弯拉应力应不大于附录 C 中表 C.0.1 中列出的名义弯拉应力容许值。

4.6.3 当通过裂缝宽度计算进行抗裂验算时，铁路钢-UHPC 组合桥面桥梁 UHPC 层表面的最大裂缝宽度按下列式计算：

$$W_{\max} = \alpha_{\text{ct}} \psi \frac{\sigma_{\text{g}}}{E_{\text{g}}} (1.06c + 0.152 \frac{d}{\rho}) \frac{y_0 - h_{\text{td}}}{y_0 - h_{\text{td}} - h_{\text{r}}} \quad (4.6.3-1)$$

$$\psi = 1.1 - 0.12 \frac{f_{\text{ct}}}{\rho \sigma_{\text{g}}} \quad (4.6.3-2)$$

$$\rho = \frac{A_{\text{g}}}{A_{\text{c}}} \quad (4.6.3-3)$$

$$\sigma_{\text{g}} = \frac{My_{\text{g}}}{I_{\text{un}}} \quad (4.6.3-4)$$

式中： $W_{\max}$  —— UHPC 表面的最大裂缝宽度（mm）；

$\alpha_{cr}$ ——构件受力特征系数，纵桥向取 1.8，横桥向取 1.6；  
 $\psi$ ——裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数，当  $\psi < 0.2$  时，取  $\psi = 0.2$ ；当  $\psi > 1.0$  时，取  $\psi = 1.0$ ；  
 $\sigma_g$ ——主+附工况下钢筋重心处的拉应力（MPa）；  
 $E_g$ ——钢筋的弹性模量（MPa）；  
 $c$ ——验算方向上 UHPC 层受拉钢筋（纵桥向或横桥向）外边缘至受拉侧表面的距离（mm）；  
 $d$ ——验算方向上（纵桥向或横桥向），受拉区钢筋直径（mm）；  
 $\rho$ ——按有效受拉 UHPC 截面面积计算的受拉钢筋配筋率；  
 $y_0$ ——受拉 UHPC 上表面到中性轴的距离（mm）；  
 $h_{td}$ ——受拉区未开裂的 UHPC 高度，即拉应力在 0 到  $f_{ct}$  之间的高度（mm）；  
 $h_r$ ——受拉钢筋重心位置至受拉 UHPC 上表面的距离（mm）；  
 $f_{ct}$ ——不配筋 UHPC 的轴心抗拉极限强度（MPa）；  
 $A_g$ ——受拉区钢筋截面总面积（mm<sup>2</sup>）；  
 $A_c$ ——有效受拉 UHPC 截面面积（mm<sup>2</sup>），纵桥向 UHPC 层按轴心受拉构件计算，取计算模型中 UHPC 层截面面积  $A_c = b_e h_c$ ，横桥向 UHPC 层按偏心受拉构件计算，取  $A_c = 0.5b_e h_c$ ， $b_e$ 、 $h_c$  分别为计算模型中 UHPC 层的宽度和厚度；  
 $M$ ——截面弯矩（N·mm），不同受力阶段、种类的荷载应分别计算；  
 $y_g$ ——纵向钢筋重心至换算截面中性轴的距离（mm）；  
 $I_{un}$ ——与截面弯矩相对应的钢-UHPC 组合截面换算截面惯性矩（mm<sup>4</sup>）。

**4.6.4** 铁路钢-UHPC 组合桥面中 UHPC 层顶面的最大裂缝宽度限值为 0.05mm。

**4.6.5** 当施工中需要对 UHPC 层进行分跨、分幅或分段浇筑时，必须在先浇-后浇连接部位设置接缝。接缝处 UHPC 层抗裂验算也通过控制名义弯拉应力来进行，当名义弯拉应力不大于附录 C 中表 C.0.2 中列出的名义弯拉应力容许值，即认为接缝处 UHPC 层顶面最大裂缝宽度不大于 0.05mm。

**4.6.6** UHPC 层中的抗裂计算应重点检算附录 D 所示位置。

**4.6.7** 当 UHPC 层抗裂验算不满足时，除可采用提高 UHPC 等级、减小钢筋间距的方法外，还可以采用附录 E 中措施降低 UHPC 层名义拉应力。

## 5 抗剪连接件计算

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 抗剪连接件应保证钢桥面与 UHPC 界面剪力的有效传递和防止分离，共同承担作用力。

**5.1.2** 钢-UHPC 组合桥面中抗剪连接件宜采用栓钉，也可采用有可靠依据的其它类型连接件。抗剪连接件应具备一定的剪切变形能力，但不同类型的连接件不宜在同一截面混合使用。

### 5.2 抗剪强度验算

**5.2.1** 单个栓钉连接件的抗剪承载力应按下列式进行计算：

$$V_{su} = 0.7 A_s f_{su} \quad (5.2.1)$$

式中： $V_{su}$ ——栓钉的抗剪承载力（N）；

$A_s$ ——栓钉钉杆截面面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$f_{su}$ ——栓钉极限抗拉强度，满足《电弧焊柱焊用圆柱头焊钉》GB/T10433 的要求，可取 400MPa。

**5.2.2** 抗剪连接件的纵向剪力计算应符合下列规定：

**1** 钢主梁和 UHPC 层结合面的纵向最大剪力按未开裂分析方法计算，将抗剪连接件的整体计算结果和局部计算结果进行叠加。

**2** 抗剪连接件的整体计算中单位长度上的纵桥向水平剪力  $V_1$  按下式计算。抗剪连接件的数量宜按剪力钉包络图形状进行分段计算，在相应区段内均匀布置。

$$V_1 = \frac{VS_c}{I_{un}} \quad (5.2.2-1)$$

式中： $V$ ——形成组合截面之后作用于组合体系的竖向剪力（N）；

$S_c$ ——UHPC 层对组合截面中性轴的面积矩（ $\text{mm}^3$ ）；

$I_{un}$ ——组合截面的惯性矩（ $\text{mm}^4$ ）。

**3** UHPC 和钢主梁界面的端部应考虑混凝土收缩徐变作用或温度作用对抗剪连接件纵桥向水平剪力的叠加作用，最大单位长度纵向水平剪力  $V_{ms}$  应按照下列式进行计算：

$$V_{ms} = \frac{2V_s}{l_{cs}} \quad (5.2.2-2)$$

式中： $V_s$ ——混凝土收缩徐变或温度效应在钢和混凝土结合面产生的纵桥向水平剪力（N）；  
 $l_{cs}$ ——混凝土收缩徐变或温度引起的纵桥向集中剪力在结合面的水平传递长度，取主梁相邻腹板间距长度和主梁长度的 1/10 两者中的较小值（mm）。

4 在局部计算中抗剪连接件的内力计算宜采用有限元分析法，建立局部计算模型，模拟抗剪连接件的连接作用，并考虑由列车车轮竖向力和制动力引起的栓钉纵、横向剪力。

### 5.3 抗剪连接件疲劳验算

5.3.1 抗剪连接件疲劳验算细则应遵循本规程第 4.5 节的规定。

5.3.2 抗剪连接件的疲劳验算内力应考虑总体荷载效应和局部荷载效应叠加。

## 6 构造要求

### 6.1 钢桥面板及剪力钉

**6.1.1** 桥梁的钢面板厚度不宜小于 12mm，加劲肋可采用 U 肋、T 肋、I 肋等形式，隔板及加劲肋间距可在常规正交异性钢桥面基础上根据计算适当加大。

**6.1.2** 剪力钉的设置应符合下列规定：

1 剪力钉的钉柱直径不宜小于 13mm，一般可采用 19mm。最小长度不应小于 35mm，并根据 UHPC 层厚度及保护层要求调整。

2 剪力钉的布置形式为矩阵式布置。

3 剪力钉间距应符合下列规定：

- 1) 剪力钉纵、横向布设间距宜为 150~250mm，不应小于 5 倍焊钉直径，且不应大于 300mm，可结合列车活载受力扩散范围，受力复杂区域适当进行加密；
- 2) 尽量避免剪力钉布设在横隔板、腹板及加劲肋的顶面附近，最小距离不小于 20mm。

### 6.2 超高性能混凝土层

**6.2.1** 钢-UHPC 组合桥面 UHPC 层厚度不宜小于 50mm。

**6.2.2** UHPC 中钢筋网的设置应符合下列规定：

1 UHPC 钢筋保护层厚度不应小于 10mm、且不应大于 20mm。

2 钢筋直径不宜小于 10mm，间距可采用 100mm，且间距不应小于 30mm，可结合列车活载受力扩散范围，受力复杂区适当进行加密。

3 加密钢筋避免在纵、横隔板处截断，截断位置距隔板距离不小于 500mm。

4 钢筋接头宜设置在受力小的区段，宜采用焊接或绑扎的方式，并应错开布置，错开距离应满足《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定。搭接长度不小于 20 倍的钢筋直径，锚固长度不小于 10 倍的钢筋直径。

5 钢筋应包含横桥向和纵桥向两层钢筋，一般情况下，纵桥向钢筋置于下层，横桥向钢筋置于上层。

6 UHPC 层中钢筋的最小配筋率应符合下列规定：

- 1) 钢筋配筋率为面积率，按  $\rho = A_g / A_{c0}$  计算；
- 2) UHPC 层中钢筋的最小单向配筋率（纵桥向或横桥向）不宜小于 1.5%。

## 6.3 接缝构造

**6.3.1** UHPC 分段浇筑时，接缝宜设置在拉应力较小的区域，且应满足以下规定：

1 对于横向接缝，接缝位置宜设置在两相邻横隔板间跨中至前后 1/4 点的范围内。

2 对于纵向接缝，接缝位置宜设置在两相邻腹板（或纵向加劲肋）间跨中至前后 1/4 点的范围内。

**6.3.2** 为提高接缝处的连接性能和力学性能，接缝形式宜采用方波式（图 6.3.2-1）或 Z 型接缝（图 6.3.2-2），内部钢筋网接头宜错开布置。

1 采用方波式接缝时，应符合下列规定：

1) 方波尺寸宜为 200mm~400mm；

2) 方波接缝和钢筋网接头宜错开布置。

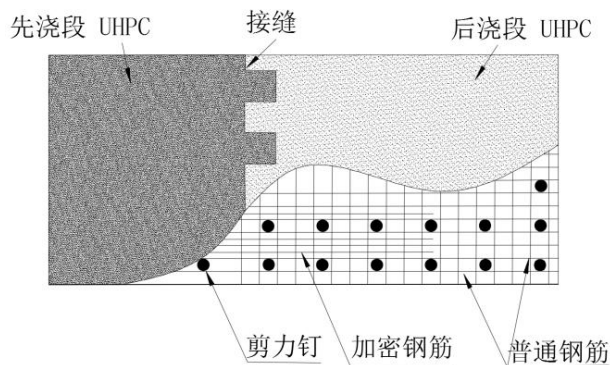


图 6.3.2-1 UHPC 接缝方案：方波接缝

2 采用 Z 型钢板接缝时，应符合下列规定：

1) Z 型钢板厚度宜为 10mm、宽度宜为 300mm；

2) Z 型钢板通过间隔焊固定在钢桥面板顶板上，焊接总长度不宜低于 Z 型钢板边缘总长度的 20%。

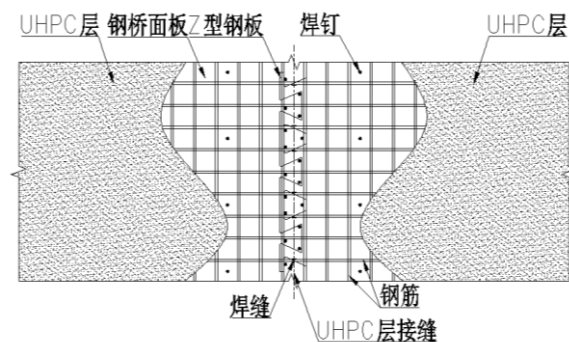


图 6.3.2-2 UHPC 接缝方案：Z 型接缝

**6.3.3** UHPC 层与普通混凝土之间连接时，连接构造应符合下列规定。

1 应在混凝土结构中预埋锚固钢筋，钢筋的型号应与 UHPC 内的钢筋相同，并处于同一

平面，间距应不大于 300mm，搭接长度不小于 15d；

2 锚固钢筋预埋长度 L 应按《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 确定。UHPC 层与混凝土结构的边界连接构造可参照图 6.3.3 设置。

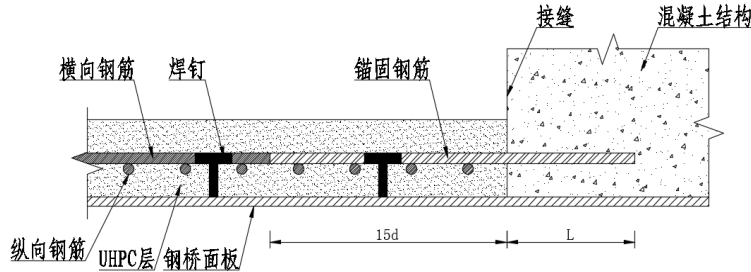


图 6.3.3 UHPC 层与混凝土结构连接立面示意图

6.3.4 UHPC 层与周边钢结构连接时，连接构造应符合下列规定。

1 当采用焊接 U 型钢筋作为连接构造时，应符合以下规定：

- 1) 焊接 U 型钢筋时，应按图 6.3.4-1 进行设计，U 型钢筋应与 UHPC 中的钢筋同型号；
- 2) U 型钢筋与钢结构界面之间采用单面满焊方式；
- 3) U 型钢筋两肢长度不宜低于 150mm，开口端宽度宜为 150mm；
- 4) 相邻 U 型钢筋间距不宜大于 300mm。

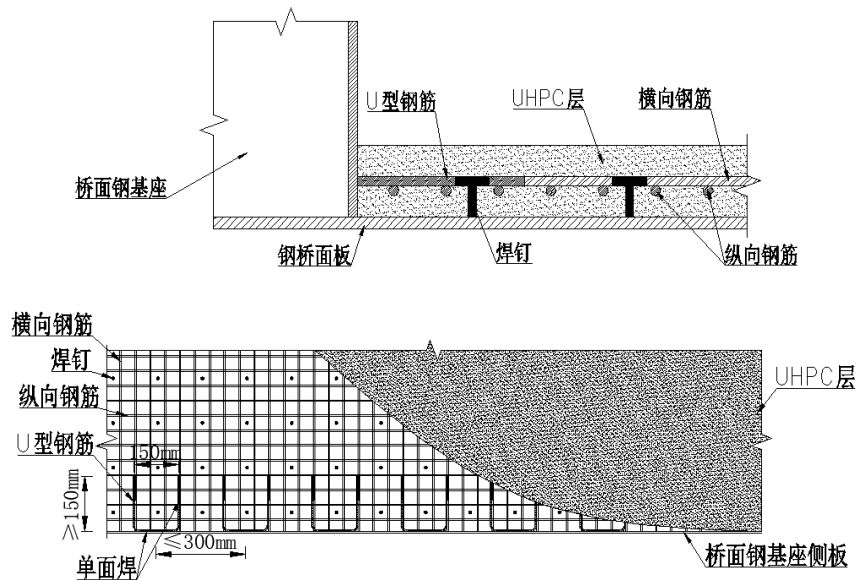


图 6.3.4-1 UHPC 层与钢结构连接示意图 (U 型钢筋连接)

2 当采用焊钉作为连接构造时，应符合以下规定：

- 1) 焊接焊钉时，应按图 6.3.4-2 进行设计，焊钉应与钢桥面板上的焊钉同型号；
- 2) 焊钉位置宜位于 UHPC 的一半厚度处，间距不宜大于 300mm；

3) 焊钉直径不宜低于 13mm，长度不宜小于 35mm。

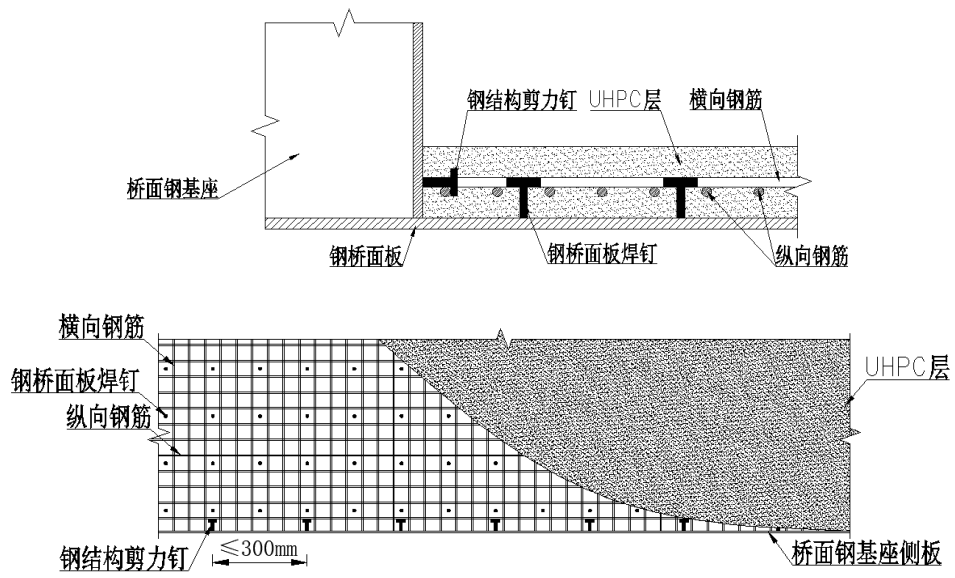


图 6.3.4-2 UHPC 层与钢结构连接示意图（焊钉连接）

## 7 施 工

### 7.1 一般规定

- 7.1.1** 钢-UHPC 组合桥面体系施工应根据结构特点和受力特性确定施工程序和工艺，保证施工质量，应选择专业施工技术队伍和采用专业施工设备。
- 7.1.2** 钢桥面板应清除铁锈、焊渣冰层、泥土和其它杂物，且应作防腐处理。
- 7.1.3** 施工时应避开雨季和冬季施工，施工时现场环境气温应在 5℃以上，宜在 10℃以上，风力达到 6 级及以上必须停止施工。
- 7.1.4** UHPC 混合料宜提前进行工厂预混干拌，应采用专用设备，且应确保钢纤维不结团。
- 7.1.5** UHPC 宜采用干混料直接加水的方式搅拌。
- 7.1.6** 钢-UHPC 组合桥面体系可采用现场浇筑，也可采用在厂内随主梁节段浇筑、现场浇注湿接缝的形式。
- 7.1.7** UHPC 层应选择温度稳定适宜（气温高于 5℃）、风速较小（6 级及以下）、无雨天气的条件下进行浇筑。

### 7.2 栓钉焊接

- 7.2.1** 无论是旧钢桥桥面铺装翻修还是新建钢桥桥面铺装施工，在焊接栓钉时，应符合下列规定：
- 1** 应按栓钉的布置位置在钢桥面板上画墨线定位。当栓钉加密时，应先定位出普通位置点，再定位出加密位置点。
  - 2** 当栓钉的设计位置与钢主梁拼接焊缝位置冲突时，应将栓钉偏离焊缝边界 2~3cm，不应将栓钉直接焊接在拼接焊缝的顶面。
  - 3** 应采用电弧螺柱焊机焊接栓钉。焊接时应控制焊接时间，确保焊接质量。
  - 4** 焊接完成后，应清除定位时设置的墨线、焊渣、磁环和杂物。
  - 5** 焊接完后应对栓钉进行敲击检查，防止焊接不牢固。
- 7.2.2** 栓钉焊接完成后，钢桥面板防腐涂装采用环氧富锌漆，应涂装 1 道，且干膜厚度不小于 80μm。
- 7.2.3** 当栓钉的设计位置与钢主梁拼接焊缝位置冲突时，应将栓钉偏离焊缝边界 2cm~3cm，严禁直接在焊缝上焊接栓钉。

## 7.3 钢筋铺设

**7.3.1** 钢筋网铺设时，其级别、直径、间距及相对位置应符合设计规定。

**7.3.2** 绑扎钢筋前，应在钢桥面上设置垫层钢筋，垫层钢筋高度应符合设计规定。垫层钢筋应错开设置在钢筋与桥面板之间，并应与钢筋网绑扎牢固。

**7.3.3** 钢筋接头及钢筋网宜采用镀锌钢丝绑扎，丝径宜为 0.7~2.0mm，且钢丝丝头末端应朝向桥面板。

**7.3.4** 钢筋铺设完成后，应对钢筋网高度、间距等进行检查，不符合要求时，应进行局部调整；避免施工中钢筋网的塌陷，同时保持钢筋网的清洁。

## 7.4 UHPC 搅拌与运输

**7.4.1** UHPC 搅拌应满足以下规定：

1 混凝土袋装材料严格按照施工水料比要求进行准确称量，干料称量最大允许偏差应 $\leq \pm 1\%$ ，用水量最大允许偏差应 $\leq \pm 1\%$ 。

2 采用强制式双轴搅拌机搅拌混凝土，采用电子计量系统计量原料。搅拌时，先向搅拌机投入干料，搅拌 1min，然后加水，搅拌 7min。

3 温度低于 5℃时不宜进行搅拌浇筑施工。

**7.4.2** 超高性能混凝土拌合站生产能力、运输能力应满足现场连续浇筑作业的需要，宜采用专业混凝土罐车，不得采用机动翻斗车、手推车等工具长距离运输。

**7.4.3** 超高性能混凝土运输过程中需保证混凝土的均匀性，确保坍落度、流动性等工作性能满足施工要求。

**7.4.4** 长距离运输过程中需对运输设备采取保温隔热措施，防止局部混凝土温度过高（夏季）或过低（冬季）。应采取封闭措施防止外部水浸入运输容器或自身水分蒸发，严禁在运输过程中向混凝土内加水。

**7.4.5** 尽量减少混凝土的转载次数和运输时间，从搅拌机卸出混凝土到混凝土浇筑完毕宜控制在 2h 以内。

**7.4.6** 若采用搅拌罐车运输混凝土，当罐车到达浇筑现场时，应使罐车高速旋转 1~2min，再将混凝土拌合物卸出。

## 7.5 UHPC 布料与摊铺

**7.5.1** UHPC 宜采用专用布料机或管道泵送，布料高度应适当高于模板。

**7.5.2** 采用专用布料机时，应在布料机出口处放置振捣器，在布料机中超高性能混凝土接近布完时打开振捣器，使布料器中混凝土充分流出。

**7.5.3** 采用管道泵送布料时，应符合下列规定：

- 1 宜根据混凝土供应、摊铺设备、场内外条件等划分泵送布料区域及布料顺序。
- 2 宜采用由远而近方式布料，采用多根泵管同时布料时，其布料速度宜保持一致。
- 3 泵送布料完成后，应及时进行输送泵和管道的清洗工作。

**7.5.4** UHPC 摊铺振捣应能使模板内各部位混凝土摊铺平整、振捣密实，宜采用专用摊铺机和振动梁摊铺、平板振动器辅助振捣，并应符合下列规定：

- 1 通过试验段确定初始摊铺厚度，施工时根据初始摊铺厚度及布料速度控制好摊铺速度。
- 2 混凝土布料完成后宜用振动梁将混凝土做初始振平摊铺。
- 3 初始振平后用摊铺机再次摊铺施工，摊铺机宜按照控制速度匀速推进，不宜反复碾压。如有局部未充分碾压抹平的部位，可采用平板振捣器加以辅助振捣抹平。
- 4 平板振捣器辅助振捣宜在布料后立即开始，并于 5min 内完成。

**7.5.5** 对局部厚度不足的部位宜采用人工布料的方式加料，并用平板振捣器振捣抹平。

**7.5.6** 超高性能混凝土失水过多时，可在摊铺机摊铺前或摊铺后往混凝土表面喷洒水雾，以保持混凝土处于塑性状态。

**7.5.7** 摊铺完成后，宜采用提浆整平机进行振平抹面处理，提浆整平机行进速度通过试铺段确定，同步检查摊铺厚度及必要的局部修补。

**7.5.8** 每盘混凝土从布料入模到摊铺振捣完成时间应控制在 30min 以内。

**7.5.9** 摊铺振捣抹平后，应及时用塑料薄膜将混凝土表面覆盖，且应在塑料薄膜上喷洒水雾，降温保湿养护，且采取措施避免塑料膜脱落。

**7.5.10** 施工时，UHPC 应能自然流至桥面钢筋网任意空隙位置，并经摊铺振捣后能完全覆盖钢筋网和栓钉。

## 7.6 接缝施工

**7.6.1** 顺向 UHPC 接缝宜设置在两线之间；横向 UHPC 接缝宜设置在两个横隔板中间的受压区，横隔板顶部及墩顶的受拉区不宜设置横向 UHPC 接缝。

**7.6.2** 浇筑 UHPC 前应在接缝处设置模板，模板宜采用木板，板身应稳固、竖直，模板下方宜采用聚氨酯泡沫填缝剂密封，防止 UHPC 从模板底部流出。

**7.6.3** 当 UHPC 采用分段施工时，后一节段 UHPC 施工前应对前一节段 UHPC 接缝处进行凿毛处理，凿毛施工应符合以下规定：

- 1 先浇筑的 UHPC 从加水拌合开始至 10h 后（初凝后）进行凿毛处理。
- 2 凿毛宽度应满足设计要求，设计无要求时应全断面凿毛，凿毛深度可为 2cm。
- 3 凿毛面应竖直、钢纤维应清晰均匀可见。
- 4 凿毛后，应吹除遗留在钢桥面板上的 UHPC 屑末。

**7.6.4** 接缝处应衔接良好，无台阶或脱空现象。

## **7.7 UHPC 养护**

**7.7.1** UHPC 养护应视温度条件分为一般保湿养护和高温蒸汽养护。当日平均温度在 10℃ 以上、最低温度在 5℃ 以上，方可采用一般保湿养护。

**7.7.2** 一般保湿养护应按如下步骤进行：

- 1 UHPC 振捣抹平完成后应将塑料薄膜覆盖在表面。
- 2 浇筑完成后至 24h 内，应不定期在塑料薄膜上喷洒水雾。
- 3 24h 后应掀开塑料薄膜，在混凝土表面喷洒水雾，再覆盖上塑料薄膜。
- 4 UHPC 宜带模养护 7d，最短养护时间应不少于 3d。
- 5 养护期间，塑料薄膜应完好无损，彼此搭接完整，搭接位置应用质量较轻的木块或其它物品覆盖，搭接宽度应大于 20cm。
- 6 拆模后混凝土应继续进行养护，总养护时间宜控制在 28d，最短养护时间不少于 14d。

**7.7.3** 高温蒸汽养护宜通过蒸汽锅炉、蒸汽管道和蒸汽养护棚等设施完成，养护前应根据现场条件和养护要求确定保温棚支架搭设、锅炉布置及养护方案，养护过程中宜通过传感器调整蒸汽量的大小实现对温度和湿度的控制。

**7.7.4** 高温蒸汽养护应按如下步骤进行：

- 1 UHPC 振捣抹平完成后应将塑料薄膜覆盖在表面。
- 2 混凝土终凝后撤掉塑料薄膜，开始蒸汽养护。
- 3 当养护温度恒定在 80℃ 时，养护时间不少于 72h；当养护温度恒定在 90℃ 时，养护时间不少于 48h。

**7.7.5** 蒸汽高温养护时升温速度不应大于 12℃/h，养护过程中养护棚内的相对湿度不低于 95%，养护结束后降温速度不超过 15℃/h。

**7.7.6** 养护完成后对明显凹凸不平部位应采用打磨机打磨，确保 UHPC 层均匀完好、无龟裂、无收缩裂纹且表面平整。

## 8 验 收

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 钢-UHPC 组合桥面的施工质量检验和过程控制检测按本规程实施，本规程未规定的按现行国家及行业标准执行。

**8.1.2** 应建立健全的质量保证体系，对施工各工序的质量进行检查、控制。

**8.1.3** 钢-UHPC 组合桥面工程应按分项工程进行质量检验与验收，并应符合现行行业标准《铁路桥涵工程施工质量验收标准》TB 10415 及《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424 的有关规定。

**8.1.4** 拌合用水应符合《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

**8.1.5** 相关原材料检验、试铺、施工原始记录等资料均应如实保存完好。

### 8.2 钢材检验

**8.2.1** 原材料应具有供应商提供的出厂合格检验证书，并按有关检验项目、批次规定，严格实施进场检验。

**8.2.2** 原材料的检验批量应符合下列规定：

1 钢筋、钢纤维、栓钉按进场的批次和产品的抽样检验方案确定；且同一工程、同一原材料来源、同一组生产设备生产前提下，成型钢筋检验批量不应大于 60t、钢纤维检验批量不应大于 30t、栓钉按照国家标准频率进行检验。

2 不同批次或非连续供应的不足一个检验批量的钢筋、钢纤维、栓钉应作为一个检验批。

**8.2.3** 原材料进场检验的样品应随机抽取。

### 8.3 干混料检验

**8.3.1** 干混料进场时，除应按规定批次提供产品检验报告等质量证明文件外，还应进行外观检验和物理力学性能检验，并应符合下列规定：

1 袋装干混料应储存于干燥、通风、防潮、不受雨淋的场所，并按品种、批号分别堆放，不得混堆混用，且应先存先用。

2 袋装干混料应包装完整，无破袋、受潮现象。

3 按推荐用水量拌制混凝土，力学性能、坍落度等参数应符合相关要求。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/737162141112006153>