

重庆市工程建设标准

超高性能混凝土-钢组合桥面结构技术标准

Technical standard for ultra-high performance concrete-steel
composite Bridge deck structure

DBJ50/T-423-2022

主编单位:重庆市市政设计研究院有限公司

重庆市城市建设发展有限公司

批准部门:重庆市住房和城乡建设委员会

施行日期:2022年12月01日

2022 重 庆

重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标〔2022〕25 号

重庆市住房和城乡建设委员会 关于发布《超高性能混凝土-钢组合 桥面结构技术标准》的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,两江新区、西部科学城重庆高新区、重庆经开区、万盛经开区、双桥经开区建设局,有关单位:

现批准《超高性能混凝土 钢组合桥面结构技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为 DBJ50/T 423 2022,自 2022 年 12 月 1 日起施行。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆市市政设计研究院有限公司负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2022 年 8 月 25 日

重庆工程建设

前 言

根据重庆市住房和城乡建设委员会《关于下达 2019 年度重庆市工程建设标准制定修订项目计划的通知》(渝建[2019]151 号)文件要求,标准编制组经过对桥梁案例的深入调查研究,参考和借鉴国内、外相关标准,结合技术发展更新,认真总结理论基础与实践经验,并在广泛征求意见的基础上,制定本标准。

本标准的主要技术内容是:1. 总则;2. 术语和符号;3. 基本规定;4. 材料;5. 设计;6. 施工;7. 施工质量检验。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,由重庆市市政设计研究院有限公司负责具体技术内容解释。在本标准执行过程中,请各单位注意收集资料,总结经验,并将需要修改、补充的意见反馈至重庆市市政设计研究院有限公司(地址:重庆市江北区洋河一路 69 号,邮编:400020,电话:023 67737337,邮箱:18908345656@189.cn),以便今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主 编 单 位：重庆市市政设计研究院有限公司

重庆市城市建设发展有限公司

参 编 单 位：西南交通大学

中国交通建设集团有限公司

重庆对外建设(集团)有限公司

重庆华硕建设有限公司

合肥斯派索材料科技有限公司

华新新型建筑材料有限公司

主要起草人：张国庆 杜 江 杜春林 陈德玖 李天富

谢洪斌 樊宇强 张百胜 阎 安 张永贵

李 翔 邓 睿 凌成明 史建朋 张尧情

杨应春 李兴斌 张清华 赵灿晖 卜一之

崔 闯 张明武 尤 琦 谢俊楠 程 帅

程震宇 魏 川 王 彪

审 查 专 家：向中富 钟明全 杨长辉 王兴达 代 彤

黄 刚 朱自立 邓道祥 余 斌

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
3.1	设计	6
3.2	施工	9
4	材料	10
4.1	超高性能混凝土	10
4.2	钢材	14
4.3	粘结层及面层材料	14
5	设计	15
5.1	作用效应计算	15
5.2	强度计算	16
5.3	稳定计算	17
5.4	抗裂计算	18
5.5	变形计算	19
5.6	疲劳计算	20
5.7	连接件计算	22
5.8	构造要求	24
6	施工	30
6.1	一般规定	30
6.2	施工准备	31
6.3	剪力钉施工	32

6.4	钢筋网施工	33
6.5	UHPC 结构层浇筑施工	34
6.6	接缝区及边界施工	36
6.7	UHPC 结构层养护施工	37
6.8	面层施工	39
6.9	桥面维修施工	39
7	质量验收	41
7.1	一般规定	41
7.2	材料及设备入场检查	42
7.3	施工质量检验	43
本标准用词说明		50
引用标准名录		51
条文说明		53

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic rules	6
3.1	Design	6
3.2	Construction	9
4	Materials	10
4.1	Ultra high performance concrete	10
4.2	Steel	14
4.3	Bonding layer and surface layer material	14
5	Design	15
5.1	Effect calculation	15
5.2	Strength calculation	16
5.3	Stability calculation	17
5.4	Crack resistance calculation	18
5.5	Deformation calculation	19
5.6	Fatigue calculation	20
5.7	Connector calculation	22
5.8	Structural requirements	24
6	Construction	30
6.1	General provisions	30
6.2	Construction preparation	31
6.3	Construction of shear stud	32

6.4	Construction of mesh reinforcement	33
6.5	Construction of UHPC structure layer	34
6.6	Construction of joint and boundary	36
6.7	Construction of curing	37
6.8	Construction of surface layer	39
6.9	Maintenance and reinforcement construction	39
7	Quality inspection	41
7.1	General provisions	41
7.2	Inspection of raw materials and equipment	42
7.3	Construction quality inspection	43
	Explanation of Wording in this standard	50
	List of quoted standards	51
	Explanation of provisions	53

1 总 则

1.0.1 为规范超高性能混凝土 钢组合桥面结构的设计和施工，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于采用超高性能混凝土 钢组合桥面结构的新建和改建桥梁。

1.0.3 本标准采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，按分项系数的设计表达式进行设计。

1.0.4 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的 UHPC 结构层设计基准期与桥梁主体结构一致。

1.0.5 超高性能混凝土 钢组合桥面结构工程的设计、施工及质量检验除应符合本标准外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构 Ultra high Performance Concrete Steel Composite Deck Structure

由正交异性钢桥面板、UHPC 结构层、粘结层和面层组成的桥面结构,如图 2.1.1 所示。

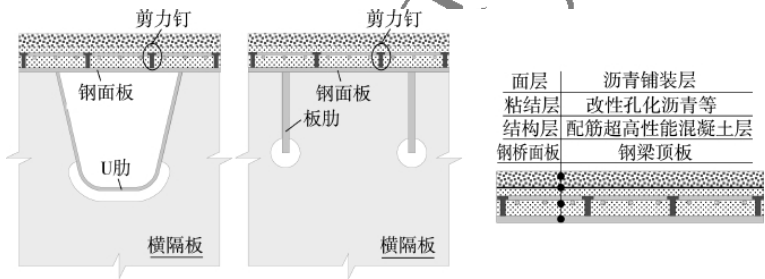


图 2.1.1 超高性能混凝土-钢组合桥面结构

2.1.2 正交异性钢桥面板 Orthotropic Steel Bridge Deck

用纵横向互相垂直的加劲肋(纵肋和横肋)连同钢桥面板所组成的共同承受车轮荷载的结构。

2.1.3 超高性能混凝土 Ultra high Performance Concrete

由水泥、矿物掺合料、骨料、钢纤维、高效减水剂和水等材料拌合而成,再经凝结硬化后形成的一种超高强、高韧性和耐久性优异的水泥基复合材料,简称 UHPC。

2.1.4 UHPC 结构层 Structure Layer

由 UHPC、剪力钉和钢筋网组成,位于正交异性钢桥面板与面层铺装之间,与正交异性钢桥面板组合成受力结构。

2.1.5 粘结层 Bonding Layer

在 UHPC 结构层与面层之间起粘结作用。

2.1.6 面层 Surface Layer

位于超高性能混凝土 钢组合桥面结构顶面的沥青铺装层。

2.1.7 钢纤维掺量 Steel Fiber Fraction

在 UHPC 中钢纤维所占的体积百分数。

2.1.8 剪力钉 Shear Stud

用于连接钢桥面板和 UHPC 结构层并承受二者之间的水平剪力,能抵抗二者相对滑移、竖向分离,保证二者共同工作的构件。

2.1.9 蒸汽养护 Steam curing

UHPC 终凝后在蒸汽环境中持续养护一定时间,达到强度等级要求的养护方法。

2.1.10 热养护 Heat curing

借助于热源的热能,经介质的传导、对流或光波辐射,将热量传递于 UHPC,并对周围相对湿度加以控制的养护方法。

2.1.11 自然养护 Natural curing

利用环境气温高于 5℃ 的自然条件,用适当的材料对 UHPC 表面加以覆盖并浇水保湿,使 UHPC 在一定的时间内维持所需要的温度和湿度条件,实现强度正常增长的养护方法。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能

E_c UHPC 的弹性模量;

E_s 钢材的弹性模量;

E_r 钢筋的弹性模量;

G_c UHPC 的剪切模量;

G_s	钢材的抗剪弹性模量；
$f_{ok}、f_{cd}$	不配筋 UHPC 的轴心抗压强度标准值、设计值；
$f_{cu,k}$	边长 100mm 的 UHPC 立方体抗压强度标准值；
$f_{fk}、f_{td}$	UHPC 抗弯强度标准值、设计值；
f_{td}	不配筋 UHPC 的轴心抗拉强度设计值；
f_{ct}^{serv}	配筋 UHPC 的名义抗裂强度容许值；
f_{ct}^{ult}	配筋 UHPC 的名义抗拉极限强度容许值；
f_{gt}^{serv}	接缝处配筋 UHPC 的名义抗裂强度容许值；
f_{gt}^{ult}	接缝处配筋 UHPC 的名义抗拉极限强度容许值；
f_y	钢材的屈服强度；
f_d	钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
f_{vd}	钢材抗剪强度设计值；
f_{ood}	钢材断面承压强度设计值；
$f_{stud,k}$	剪力钉抗拉强度标准值；
$f_{sk}、f_{sd}$	普通钢筋抗拉强度标准值、设计值；
$f'_{sk}、f'_{sd}$	普通钢筋抗压强度标准值、设计值；
f_{ct}^t	配筋 UHPC 疲劳应力限值；
Δf_y^t	普通钢筋疲劳应力限值。

2.2.2 作用和作用效应有关符号

M	弯矩设计值；
V_u	剪力钉的抗剪承载力设计值；
W	主梁截面抗弯模量；
σ_{ct}	UHPC 结构层的应力；
σ_a	钢主梁应力；
$\Delta\tau$	剪力钉名义等效剪应力幅；
ΔQ	剪力钉剪力幅；
$\Delta\sigma_s^t$	受拉钢筋拉应力幅。

2.2.3 几何参数有关符号

A_{sc}	剪力钉的钉杆截面面积；
----------	-------------

- H 主梁截面高度；
 L 钢桥面板纵肋腹板的中心间距；
 h_c UHPC 层的厚度；
 $l_{d,L}$ 剪力钉纵向间距；
 $l_{d,T}$ 剪力钉横向间距；
 k_{ss} 剪力钉的抗剪刚度；
 d_{ss} 剪力钉钉杆的直径。

2.2.4 计算系数及其他有关符号

- η 焊环对剪力钉抗剪承载力的贡献系数；
 γ_v 剪力钉抗力分项系数；
 ν_c UHPC 泊松比。

3 基本规定

3.1 设计

3.1.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构中正交异性钢桥面板可采用开口加劲肋或闭口加劲肋。

3.1.2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构在钢桥面板与 UHPC 结构层界面应设置抗剪连接件,宜采用剪力钉。

3.1.3 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的面层应按《公路沥青路面设计规范》JTG D50 和《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》JTG/T 3364-02 有关规定进行设计。

3.1.4 超高性能混凝土 钢组合桥面结构应对其构件进行下列验算:

1 按承载能力极限状态的要求进行持久状况与偶然状况的承载力分析,作用组合应采用作用基本组合;

2 按正常使用极限状态的要求进行持久状况的抗裂、应力验算,作用组合应采用作用频遇组合、准永久组合;

3 按短暂状况结构受力状态的要求进行施工各个阶段的承载力验算。

3.1.5 采用超高性能混凝土 钢组合桥面结构的桥梁设计使用年限应按表 3.1.5 采用。

表 3.1.5 超高性能混凝土-钢组合桥面结构的设计使用年限

类别	设计使用年限(年)	桥梁类型
1	30	小桥
2	50	中桥、重要小桥
3	100	特大桥、大桥、重要中桥

注:对有特殊要求结构的设计使用年限,可在上述规定基础上经技术经济论证后予以调整。

3.1.6 采用超高性能混凝土 钢组合桥面结构的桥梁安全等级应根据结构的重要性、结构破坏可能产生的严重性按表 3.1.6 采用。

表 3.1.6 桥梁的安全等级

安全等级	破坏后果	桥梁类型
一级	很严重	① 各等级公路上的特大桥、大桥、中桥；
一级	很严重	② 高速公路、一级公路、二级公路、国防公路及城市附近交通繁忙公路上的小桥。
二级	严重	三、四级公路上的小桥。

注：1. 表中所列大、中、小桥系按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 中的单孔跨径确定，对于多跨不等跨桥梁，以其中最大跨径为准，本表冠以“重要”的中桥和小桥，系指高速公路和一级公路上、国防公路上、城市快速路上、主干路和交通特别繁忙的城市次干路上的桥梁；

2. 城市桥梁的安全等级划分可参考《城市桥梁设计规范》CJJ 11 的规定；

3. 对有特殊要求的桥梁，其设计安全等级可根据具体情况另行确定。

3.1.7 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的承载能力极限状态计算应采用下式：

$$\gamma_0 S_{sd} \leq R \quad (3.1.7)$$

式中： γ_0 桥梁的重要性系数，对应于设计安全等级一级、二级的超高性能混凝土 钢组合桥面结构桥梁应分别取不小于 1.1、1.0；

S_{sd} 作用效应的组合设计值，对于汽车荷载效应应计入冲击系数；

R 构件承载能力设计值。

3.1.8 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的正常使用极限状态验算应采用下式计算：

$$S_{sd} \leq C \quad (3.1.8)$$

式中： S_{sd} 正常使用极限状态作用组合的效应设计值；

C 结构构件达到正常使用要求所规定的变形、应力和裂缝宽度等的限值。

3.1.9 超高性能混凝土 钢组合桥面结构抗疲劳设计时各作用应

采用标准值。

3.1.10 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的计算应考虑第一、第二和第三体系,将三个体系的计算结果进行线性叠加,即可得到结构各部件的实际受力状态。

3.1.11 超高性能混凝土 钢组合桥面结构设计可依据下列顺序进行:

1 根据桥面板结构形式、设计采用的技术标准及建设条件以及超高性能混凝土 钢组合桥面板构造要求,初步拟定超高性能混凝土 钢组合桥面板结构方案,主要包括:正交异性钢桥面板结构形式、构造设计和设计参数等;

2 按本章相关规定,进行钢主梁整体性能和超高性能混凝土 钢组合桥面板局部性能的验算;

3 当验算不满足设计要求时,调整桥面板结构设计;

4 对通过验算的方案进行技术、经济分析,确定超高性能混凝土 钢组合桥面结构设计参数、材料性能和施工方案。

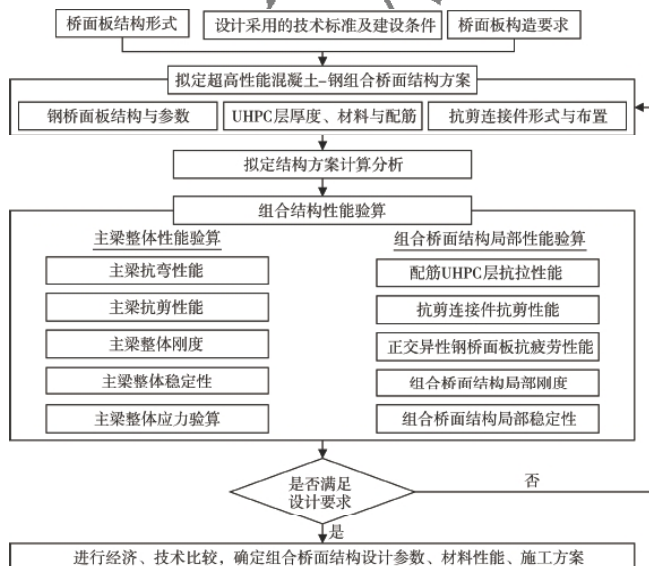


图 3.1.11 超高性能混凝土-钢组合桥面结构设计流程图

3.1.12 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的设计计算除应符合本标准的规定外,尚应符合现行行业标准《钢 混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的要求。

3.2 施 工

3.2.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的施工应选择具有相关工程经验的技术人员和专业施工设备的单位完成。

3.2.2 施工前应制定详细的施工组织设计;对相关人员进行培训,建立质量控制体系,并保证对施工质量的有效控制。

3.2.3 施工期间,应封闭施工范围内的钢桥面,除必需的人员及设备外,严禁任何车辆、机具及人员通行,确保现场工作面的干燥、整洁,并防止施工过程对工作面的污染。

3.2.4 施工前,宜进行试验段施工,以检验施工设备的正常有效运转及各工序质量控制的准确性。

3.2.5 施工单位应建立各道工序的质量检查制度,并应留有完整的检查记录。

3.2.6 每道工序完工后,应进行全面质量检验,确认合格后才能进行下一道工序施工。

4 材 料

4.1 超高性能混凝土

4.1.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构采用的 UHPC 水胶比宜为 0.14~0.22。

4.1.2 水泥宜采用 42.5 级以上硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，并应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175 的规定。

4.1.3 矿物掺合料采用的粉煤灰应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的规定，粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的规定，石灰石粉应符合现行国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164 的规定，硅灰应符合现行国家标准《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的规定。宜采用 I 级粉煤灰、S95 等级以上的粒化高炉矿渣粉。当采用其它矿物掺合料时，其性能应符合现行国家标准的有关规定，且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。

4.1.4 骨料宜选用单粒级石英砂和石英粉，也可选用天然砂或人工砂，性能指标应符合表 4.1.4 1 的规定。天然砂或人工砂应符合现行国家标准《建设用砂》GB/T 14684 的规定，其中含泥量、石粉含量、泥块含量、有害物质含量、坚固性应达到 I 类的要求。不同粒级石英砂的超粒径颗粒含量限制值应符合表 4.1.4 2 的规定。

表 4.1.4-1 骨料的技术指标(单位: %)

项目	技术指标
二氧化硅含量	≥ 95
氯离子含量	≤ 0.02
硫化物及硫酸盐含量	≤ 0.5
云母含量	≤ 0.5

表 4.1.4-2 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	
	$\geq 1.25\text{mm}$	$< 0.63\text{mm}$	$\geq 0.63\text{mm}$	$< 0.315\text{mm}$	$\geq 0.315\text{mm}$	$< 0.16\text{mm}$
质量百分比 (%)	≤ 5	≤ 10	≤ 5	≤ 10	≤ 5	≤ 5

4.1.5 减水剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和现行国家标准《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。

4.1.6 纤维应采用高强度微细纤维，其技术指标应符合表 4.1.6 的规定。钢纤维的性能检验方法应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387 的规定。

表 4.1.6 钢纤维的技术指标

检测项目	技术要求
抗拉强度(MPa)	$\geq 2000\text{MPa}$
长度合格率(%)	≥ 96
直径合格率(%)	≥ 90
形状合格率(%)	≥ 96
杂质含量(%)	≤ 1.0

4.1.7 UHPC 材料用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的规定。

4.1.8 UHPC 材料的各强度等级指标应符合表 4.1.8 的规定。

表 4.1.8 UHPC 强度等级

强度等级	UC120	UC140	UC160
弯曲初裂强度 (MPa)	9	10	11
抗弯强度标准值 f_{ik} (MPa)	22	24	27
抗弯强度设计值 f_d (MPa)	15.2	16.6	18.6
立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ (MPa)	120	140	160
轴心抗压强度标准值 f_{ck} (MPa)	84	98	112
轴心抗压强度设计值 f_{cd} (MPa)	58	68	78
轴心抗拉强度标准值 f_{tk} (MPa)	6.6	7.8	8.9
轴心抗拉强度设计值 f_{td} (MPa)	4.6	5.4	6.1
弹性模量 E_c (GPa)	38	41	44

4.1.9 不同强度等级 UHPC 对应的配筋 UHPC 结构层名义抗裂强度容许值和名义抗拉极限强度容许值可分别按表 4.1.9 1 和表 4.1.9 2 取值。

表 4.1.9-1 配筋 UHPC 结构层的名义抗裂强度容许值

UHPC 强度等级	钢筋间距 (mm)	名义抗裂强度容许值 (MPa)	
		横桥向 $f_{ct,T}^{serv}$	纵桥向 $f_{ct,L}^{serv}$
UC120	75	13.5	15.1
	50	15.0	15.5
	30	18.3	17.2
UC140	75	15.2	17.3
	50	16.7	17.6
	30	20.1	19.0
UC160	75	16.9	19.3
	50	18.4	19.6
	30	21.9	20.7

表 4.1.9-2 配筋 UHPC 结构层的名义抗拉极限强度容许值

UHPC 强度等级	钢筋间距(mm)	名义抗拉极限强度容许值(MPa)	
		横桥向 $f_{ct,T}^{ult}$	纵桥向 $f_{ct,L}^{ult}$
UC120	75	22.0	19.0
	50	29.3	20.2
	30	44.7	22.2
UC140	75	23.9	21.2
	50	31.4	22.1
	30	47.1	23.9
UC160	75	25.9	23.3
	50	33.4	23.9
	30	49.3	25.4

4.1.10 当施工中需要对 UHPC 结构层进行分跨、分幅或分段浇筑时,应在先浇后浇连接位置设置接缝。接缝处 UHPC 的名义抗裂强度容许值 ($f_{ct,T}^{cr}$ 、 $f_{ct,L}^{cr}$) 和名义抗拉极限强度容许值 ($f_{ct,T}^{ult}$ 、 $f_{ct,L}^{ult}$) 应分别按表 4.1.9.1 和表 4.1.9.2 中所列值的 0.7 倍取值。

4.1.11 UHPC 的抗剪强度可通过试验确定。当无试验资料时,可按公式 4.1.11 计算取值:

$$\tau_c = \gamma f_{ck} \quad (4.1.11)$$

式中: τ_c UHPC 的抗剪强度(MPa);

γ 系数,一般取 0.095~0.121,本标准建议取 0.095;

f_{ck} UHPC 的轴心抗压强度标准值(MPa)。

4.1.12 UHPC 的剪切模量 G_c 可按表 4.1.8 中 E_c 值的 0.4 倍采用。

4.1.13 UHPC 的泊松比 ν_c 应取为 0.2。UHPC 的温度线膨胀系数 α_c 应取为 $1.1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 。

4.1.14 在不同养护条件下,UHPC 的收缩应变和徐变系数按表

4.1.14 取值。

表 4.1.14 UHPC 的收缩应变和徐变系数

养护条件	收缩应变/ $\mu\epsilon$	徐变系数
蒸汽养护	0	0.2
热养护	0	0.2
自然养护(相对湿度 50~70%)	400	0.8

4.1.15 钢筋在 UHPC 内的锚固长度的取值应符合以下规定：

- 1 当钢筋达到其屈服强度时,锚固长度为 $6d_r$,其中 d_r 为钢筋的公称直径;
- 2 当钢筋达到其极限强度时,锚固长度为 $9d_r$,其中 d_r 为钢筋的公称直径。

4.1.16 UHPC 耐久性能设计指标包括抗渗性不低于 P20、抗氯离子渗透性不大于 100C。

4.2 钢 材

4.2.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构中钢材的物理和力学性能指标应符合现行《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 或《桥梁用结构钢》GB/T 714 的规定。

4.2.2 UHPC 结构层中的普通钢筋宜选用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 和 RRB400 钢筋,并应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢第 2 部分:热轧带肋钢筋》GB 1499.2 的规定。

4.3 粘结层及面层材料

4.3.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的粘结层和面层材料性能应符合现行《公路沥青路面设计规范》JTG D50 和《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》JTG/T3364 02 的规定。

5 设计

5.1 作用效应计算

5.1.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构作用效应的计算应符合下列规定：

- 1 应按弹性设计方法进行计算；
- 2 应考虑施工方法及顺序的影响；
- 3 应考虑温度效应的影响；
- 4 当采用自然养护的 UHPC 结构层施工工艺时，应考虑 UHPC 结构层的收缩效应，收缩效应应按本标准第 4.1.14 的规定进行计算；当采用热养护或蒸汽养护的 UHPC 结构层施工工艺时，可不考虑 UHPC 结构层的收缩效应；各养护方式均应考虑 UHPC 结构层的徐变效应，并按本标准第 4.1.14 条的规定进行计算；

5 当计算桥梁整体受力时，可不计入正交异性钢桥面板与 UHPC 结构层间的滑移效应；当计算组合桥面结构局部受力时，应计入两者间的滑移效应。

5.1.2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的温度作用应按下列规定计算：

1 计算超高性能混凝土 钢组合桥面结构由于均匀温度作用引起的效应时，应从受到约束时的结构温度开始，计算环境最高和最低有效温度的作用效应。当缺乏实际调查资料时，最高和最低有效温度标准值按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 取值；

2 计算超高性能混凝土 钢组合桥面结构由梯度温度引起的效应时，应采用图 5.1.2 所示的竖向温度梯度分布形式。温度梯

度取值按照式(5.1.2)进行。

温升时, T_2 按照式(5.1.2 1)计算:

$$T_2 = 25 - \frac{25 - 6.7}{100} h_c \quad (5.1.2 1)$$

式中: h_c UHPC 结构层的厚度(mm)。

降温时, T_2 按照式(5.1.2 2)计算:

$$T_2 = -12.5 - \frac{-12.5 + 3.3}{100} h_c \quad (5.1.2 2)$$

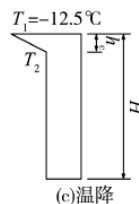
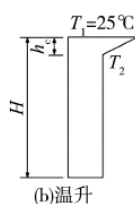
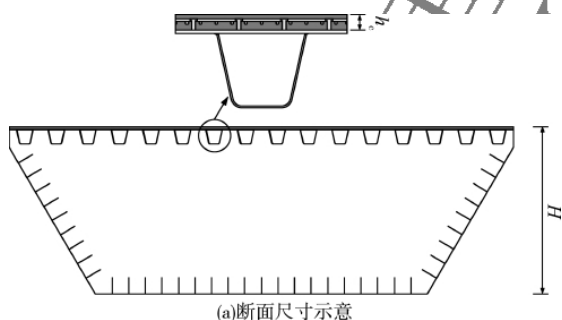


图 5.1.2 温度梯度计算图示

5.2 强度计算

5.2.1 强度计算时,整体和局部受力计算的荷载应按《公路桥涵设计通用规范》JTG D 60 的规定取用。

5.2.2 主梁整体强度计算包括抗弯承载力计算和抗剪承载力计算,应按照《钢 混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 中有关规定进行计算。

5.2.3 超高性能混凝土 钢组合桥面结构局部强度计算应符合下列规定：

1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构应按线弹性方法进行计算,应进行抗弯承载力验算,应以组合桥面结构上任意一点达到材料强度设计值作为强度计算限值;

2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构抗弯承载力验算应考虑整体受力和局部受力的叠加效应;

3 整体受力状态下的正应力应按下式计算:

$$\sigma_{\text{global}} = \sum_{i=1}^{\text{II}} \frac{M_{d,i}}{W_{\text{eff},i}} \quad (5.2.3\ 1)$$

式中: σ_{global} 整体受力状态下的组合桥面结构任一点的正应力(MPa);

i 变量,表示不同的应力计算阶段;其中, $i = \text{I}$ 表示未形成组合截面(纯钢梁)阶段; $i = \text{II}$ 表示形成组合截面阶段;

$M_{d,i}$ 不同应力计算阶段,作用于主梁截面的弯矩设计值(N·mm);

$W_{\text{eff},i}$ 不同应力计算阶段,主梁截面抗弯模量(mm³)。

4 局部受力状态下的应力 σ_{local} 宜建立有限元模型进行计算;

5 应按下式进行超高性能混凝土 钢组合桥面结构抗弯承载力验算:

$$\gamma_0 (\sigma_{\text{global}} + \sigma_{\text{local}}) \leq f \quad (5.2.3\ 2)$$

式中: f 钢梁、UHPC或钢筋的强度设计值(MPa)。

5.3 稳定计算

5.3.1 采用超高性能混凝土 钢组合桥面结构的主梁整体稳定性和抗倾覆稳定性计算应符合现行国家标准《钢 混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计

规范》JTG 3362 的有关规定。

5.4 抗裂计算

5.4.1 配筋 UHPC 结构层在正常使用极限状态下最大裂缝宽度限值为 0.05mm。

5.4.2 由作用频遇组合效应引起的 UHPC 结构层顶面名义拉应力应按下列要求计算：

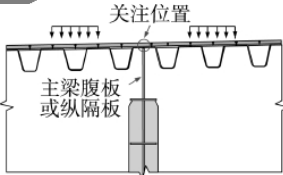
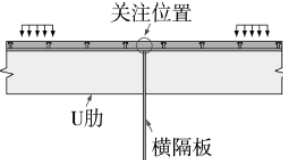
1 UHPC 结构层顶面名义拉应力应按照本标准第 3.1.10 条规定进行计算；

2 第一体系计算应按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 规定选取桥梁整体计算荷载；

3 第二、三体系受力计算应按《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 规定选取疲劳荷载计算模型进行桥面系构件局部受力计算；

4 UHPC 结构层顶面名义拉应力计算应参照表 5.4.2 确定最不利受力位置。

表 5.4.2 超高性能混凝土-钢组合桥面结构中 UHPC 结构层抗裂计算关注位置

序号	关注位置	图示	说明
1	主梁腹板或纵隔板顶面位置		沿横桥向正应力
2	横隔板顶面位置		沿纵桥向正应力

续表 5.4.2

序号	关注位置	图示	说明
3	纵肋腹板顶面位置— 相邻横隔板间的跨 中处		沿横桥向正 应力
4	纵肋腹板顶面位置— 横隔板断面处		沿横桥向正 应力

5.4.3 应按下式进行超高性能混凝土 钢组合桥面结构中配筋 UHPC 结构层的抗裂验算：

$$\sigma_{\alpha, d} \leq f_{ct}^{serv} \quad (5.4.3)$$

式中： $\sigma_{\alpha, d}$ 正常使用极限状态下配筋 UHPC 结构层抗裂计算
关注点处的名义拉应力设计值。

f_{ct}^{serv} 配筋 UHPC 结构层名义抗裂强度容许值，应按表
4.1.9-1 取值。

5.5 变形计算

5.5.1 采用超高性能混凝土 钢组合桥面结构的主梁整体挠度应
按照现行《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64-01 中
有关规定进行计算。

5.5.2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的局部挠度验算应按图
5.5.2-1 所示的桥梁设计车辆荷载中的重轴加载模式计算，轴重
为 140 kN，且计算结果应满足以下要求：

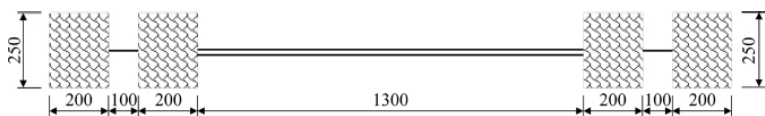


图 5.5.2-1 变形计算时的荷载图示(单位:mm)

超高性能混凝土 钢组合桥面结构在加劲肋间的挠跨比不应大于 $L/1000$ 。

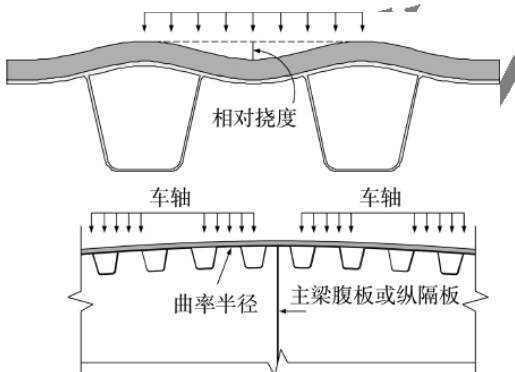


图 5.5.2-2 局部挠度验算加载示意图

5.6 疲劳计算

5.6.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构抗疲劳设计应符合下列规定：

- 1 正交异性钢桥面板、配筋 UHPC 结构层和抗剪连接件均应进行疲劳验算；
- 2 组合桥面结构疲劳验算应采用弹性分析方法；
- 3 组合桥面结构疲劳验算宜采用名义应力法；
- 4 疲劳荷载的选取应符合现行《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的有关规定。

5.6.2 正交异性钢桥面板疲劳验算应符合以下规定：

- 1 正交异性钢桥面板疲劳强度和疲劳验算应符合现行《公

路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的有关规定；

2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构中正交异性钢桥面板疲劳验算应考虑钢 UHPC 组合效应。

5.6.3 剪力钉疲劳验算应符合以下规定：

1 剪力钉的疲劳强度和疲劳验算应符合现行《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的有关规定；

2 剪力钉疲劳验算应采用名义等效剪应力幅，计算公式如下：

$$\Delta\tau_L = \frac{\Delta Q_L}{A_{sc}} \quad (5.6.3\ 1)$$

$$\Delta\tau_T = \frac{\Delta Q_T}{A_{sc}} \quad (5.6.3\ 2)$$

$$\Delta\tau = \sqrt{\Delta\tau_L^2 + \Delta\tau_T^2} \quad (5.6.3\ 3)$$

式中： $\Delta\tau_L$ 剪力钉纵桥向名义剪应力幅(MPa)；

$\Delta\tau_T$ 剪力钉横桥向名义剪应力幅(MPa)；

$\Delta\tau$ 剪力钉名义等效剪应力幅(MPa)；

ΔQ_L 剪力钉纵桥向剪力幅(N)；

ΔQ_T 剪力钉横桥向剪力幅(N)；

A_{sc} 剪力钉顶杆截面面积(mm²)。

5.6.4 配筋 UHPC 结构层的疲劳强度验算应符合以下规定：

1 配筋 UHPC 结构层(含接缝)的疲劳验算时，应计算表 5.4.2 中关注位置处 UHPC(含接缝)拉应力和受拉钢筋的应力幅；

2 在疲劳荷载作用下负弯矩区受拉 UHPC(含接缝)的拉应力应满足：

$$\sigma_{ct,max}^i \leq f_{ct}^i \quad (5.6.4\ 1)$$

式中： $\sigma_{ct,max}^i$ 疲劳荷载作用下表 5.4.2 抗裂计算关注点处的 UHPC 表层名义拉应力；

f_{ct}^i 配筋 UHPC 疲劳应力限值，应按表 5.6.4 1 取值。

3 在疲劳荷载作用下负弯矩区受拉钢筋的拉应力幅应满足：

$$\Delta\sigma_s^i \leq \Delta f_y^i \quad (5.6.4.2)$$

式中： $\Delta\sigma_s^i$ 疲劳荷载作用下表 5.4.2 抗裂计算关注点处的受拉钢筋拉应力幅；

Δf_y^i 普通钢筋的疲劳应力幅限值，应按表 5.6.4.2 取值。

表 5.6.4-1 UHPC 结构层的疲劳细节与分类

受拉疲劳应力限值 (MPa)	细节位置	细节描述
$0.7f_{ykT}, 0.7f_{ykL}$	UHPC 结构层连续区域	① UHPC 结构层连续浇筑。
$0.7f_{ykT}, 0.7f_{ykL}$	UHPC 结构层接缝区域	② 先浇后浇交界面，设置 UHPC 接缝。

表 5.6.4-2 普通钢筋疲劳应力幅限值

应力比 R	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
疲劳应力幅限值 Δf_y^i (MPa)	175	162	156	149	137	123	106	85	60	31

5.7 连接件计算

5.7.1 计算剪力钉剪力设计值时，应符合以下规定：

1 宜按照本标准第 3.1.10 条规定计算不同受力体系下的剪力设计值；

2 计算第一体系整体荷载效应时，应考虑钢与 UHPC 结构层组合后的结构重力、汽车荷载、收缩、徐变以及钢与 UHPC 结构层的升、降温差等作用，不同的剪力方向尚应进行作用组合；

3 计算第二、三体系局部荷载效应，应考虑由车辆轮载竖向力作用和制动力作用，其中制动力作用按照车辆轮载竖向力作用的 1/2 考虑，如图 5.7.1 所示。

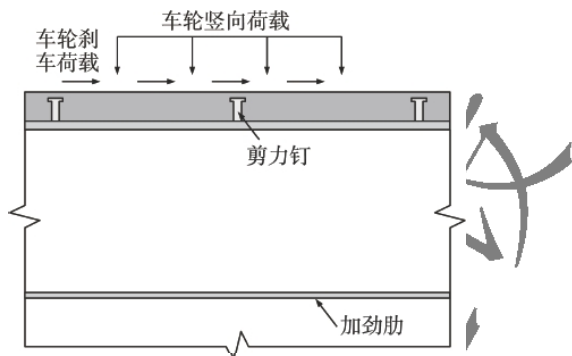


图 5.7.1 剪力钉剪力设计值局部荷载效应计算加载示意图

5.7.2 剪力钉的抗剪刚度可按式(5.7.2)进行计算:

$$k_{ss} = 13.0 d_{ss} \sqrt{E_c f_{ck}} \quad (5.7.2)$$

式中: k_{ss} 剪力钉的抗剪刚度(N/mm);

d_{ss} 剪力钉钉杆的直径(mm);

E_c UHPC 材料的弹性模量(MPa);

f_{ck} UHPC 材料的轴心抗压强度标准值(MPa)。

5.7.3 剪力钉的承载力极限状态和正常使用极限状态验算应按下列规定进行:

1 承载力极限状态应按式(5.7.3 1)验算:

$$\gamma_0 V_d \leq V_u \quad (5.7.3 1)$$

式中: V_d 承载力极限状态下剪力钉剪力设计值(N);

V_u 承载力极限状态下剪力钉抗剪承载力设计值(N)。

2 正常使用极限状态应按式(5.7.3 2)验算:

$$S_{max} \leq S_{lim} \quad (5.7.3 2)$$

$$S_{max} = V_{sd} / k_{ss} \quad (5.7.3 3)$$

式中: S_{max} 正常使用极限状态下结合面的最大滑移值(mm);

S_{lim} 正常使用极限状态下结合面的滑移限值(mm);

V_{sd} 正常使用极限状态下剪力钉剪力设计值(N);

k_{ss} 剪力钉的抗剪刚度(N/mm)。

5.7.4 UHPC 中剪力钉的抗剪承载力设计值可按下式计算:

$$V_u = (A_{sc} f_{stud,k} + 0.16 \eta f_{ck} d^2) / \gamma_v \quad (5.7.4.1)$$

$$\eta = 0.0119 f_{ck} - 0.983 \quad (5.7.4.2)$$

式中: A_{sc} 剪力钉钉杆横截面面积(mm²);

$f_{stud,k}$ 剪力钉抗拉强度标准值(MPa);

η 焊环对剪力钉抗剪承载力的贡献系数;

f_{ck} UHPC 材料的轴心抗压强度标准值(MPa);

d 剪力钉钉杆直径(mm);

γ_v 剪力钉抗力分项系数, 取为 1.25。

5.7.5 剪力钉抗疲劳设计应符合本标准第 5.6.3 条的规定。

5.8 构造要求

5.8.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构中钢桥面板厚度不应小于 10 mm。

5.8.2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构中 UHPC 结构层的厚度不应小于 45mm。

5.8.3 超高性能混凝土 钢组合桥面结构中面层(磨损层)的厚度宜为 25~40mm。

5.8.4 UHPC 结构层上表面应进行糙化处理, UHPC 结构层与面层间的粘结层材料及用量应保证面层与结构层之间的粘结强度满足界面抗剪设计要求。

5.8.5 UHPC 结构层中钢筋网的设置应符合下列规定:

1 钢筋上 UHPC 保护层厚度不应不小于 10mm 且不大于 20mm, 宜为 15mm;

2 钢筋直径不应小于 10mm, 钢筋中心间距不宜大于 75mm;

3 钢筋纵向接头宜设置在两横隔板中间 1/3 跨处, 宜采用焊接或绑扎的方式, 并应错开布置。搭接长度不宜小于 20 倍的

钢筋直径；

4 钢筋网应包含横桥向和纵桥向两层钢筋，纵桥向钢筋应置于下层，横桥向钢筋应置于上层。

5.8.6 剪力钉的设置应符合下列规定：

1 剪力钉直径不应大于钢顶面厚度的 1.5 倍，剪力钉的高度不应小于 30mm；

2 剪力钉布置形式宜为等距矩阵式布置，且不宜布置于纵肋腹板和横隔板的正上方以及相邻纵肋腹板跨中；

3 剪力钉间距应符合下列规定：

- 1) 剪力钉间距不应大于 300mm；
- 2) 剪力钉间距不应小于剪力钉直径的 5 倍，且不得小于 100mm；
- 3) 当剪力钉间距大于 250mm 时，应对桥面板外周一圈的剪力钉加密一倍。

5.8.7 UHPC 结构层施工接缝设置应符合下列规定：

1 施工接缝宜采用如图 5.8.7 所示的矩形企口和异型加强钢板接缝方案；

2 施工接缝应设置在主梁顶板拉应力较小或受压的区域，且应满足以下规定：

- 1) 横缝应设置在相邻两道横隔板中间的跨中断面前后 $S_d/4$ 范围内，其中 S_d 为横隔板的纵向间距；
- 2) 当钢主梁在行车道区域存在主梁腹板（或纵隔板）时，纵缝应设置在相邻两道主梁腹板（或纵隔板）间的中间截面左右 $S_{wb}/4$ 范围内，其中 S_{wb} 为主梁腹板（或纵隔板）的横向间距；当钢主梁在行车道区域未设置主梁腹板（或纵隔板）时，纵缝应设置在相邻两道纵向加劲肋的中间位置；

3 矩形企口施工接缝构造应符合以下要求：企口尺寸应与剪力钉的间距成比例，但不宜大于 2 倍剪力钉间距，剪力钉之间的钢

5.8.8 UHPC 结构层与边界交接处应设置边界连接构造,连接构造的设置应符合以下规定:

1 边界遇钢护栏或钢制构筑物时,应焊接如图 5.8.8 1 所示的 U 形钢筋或如图 5.8.8 2 所示的剪力钉;

- 1) 当采用焊接 U 形钢筋时,U 形筋应与 UHPC 结构层中横筋同型号并处于同一平面;U 形筋腹部应与钢制边界单面满焊,两肢宜与相邻横筋焊接;U 形筋两肢长度不应小于 150mm,两肢间距和相邻 U 形筋中心距宜与剪力钉纵桥向间距保持一致;
- 2) 当采用焊接剪力钉时,剪力钉直径宜与组合桥面板中所采用剪力钉直径一致,其长度不应小于 35mm;剪力钉布置应保证 UHPC 保护层厚度与组合桥面板中剪力钉保护层厚度一致,纵向布置间距宜与组合桥面板中剪力钉纵桥向间距保持一致。

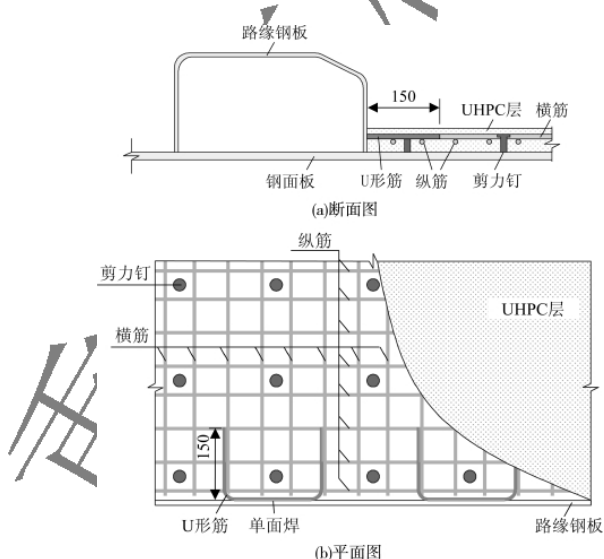


图 5.8.8-1 焊接 U 形钢筋的超高性能混凝土-钢边界连接构造示意图(单位:mm)

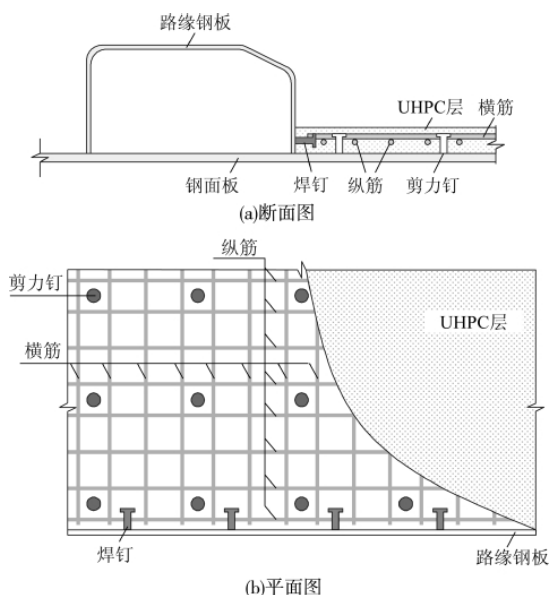
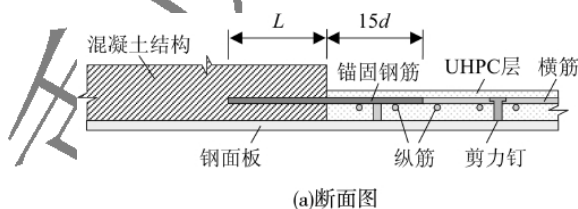
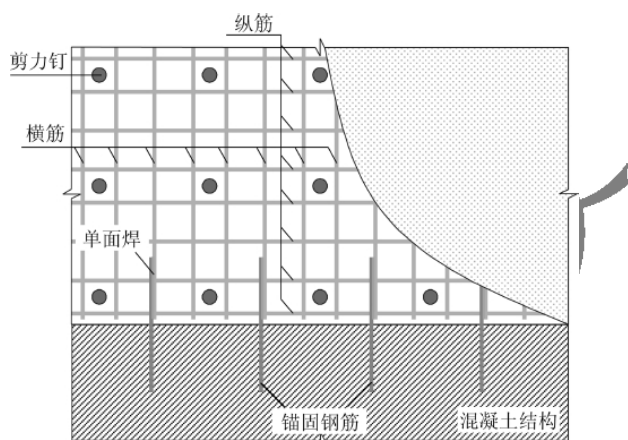


图 5.8.8-2 焊接剪力钉的超高性能混凝土-钢
边界连接构造示意图(单位:mm)

2 边界遇混凝土构筑物时应预设锚固钢筋或植筋,锚固钢筋的型号应与 UHPC 结构层中横筋同型号并处于同一平面;锚固钢筋与 UHPC 结构层内横筋应焊接搭接,搭接长度不低于 $15d$,锚固钢筋预埋长度 L 应符合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTJG 3362 的有关规定。





(b)平面图

图 5.8.8-3 植筋的超高性能混凝土-混凝土
边界连接构造示意图(单位:mm)

6 施 工

6.1 一般规定

6.1.1 超高性能混凝土钢组合桥面结构的施工可采用两种方式,如下所示(图 6.1.1):

1 现浇施工。先完成钢主梁架设,进行 UHPC 结构层现浇和养护,最后铺筑磨耗层;

2 装配式施工。场内制作完成钢主梁节段后,在钢面板上浇筑和养护 UHPC 结构层,梁段运至现场拼装,并完成节段间 UHPC 接缝的浇筑和养护,全桥合拢后,铺筑磨耗层。

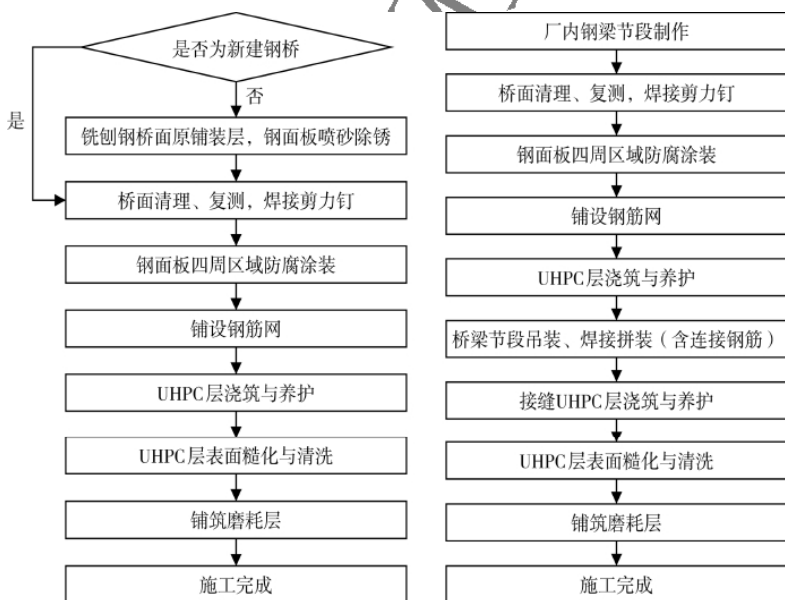


图 6.1.1 超高性能混凝土-钢组合桥面结构施工工艺流程

6.1.2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构 UHPC 结构层浇筑时,应有专人负责接收和报告气象预报工作,遇有降雨和大风(6 级及以上)时,不得进行浇筑施工。

6.1.3 夏季施工,当施工气温高于 38°C 时,应立即停止施工,当气温高于 30°C 时,宜避开中午施工,可选择在早晨、傍晚或夜间施工。若不能避开,应及时对成型后覆盖保湿薄膜的 UHPC 结构层洒水保湿。混凝土拌和物的温度不得超过 35°C 。夏季高温季节施工时,应随时加测气温和水泥、拌和水、拌和物及路面温度。

6.1.4 冬季施工,当施工气温低于 5°C 时,应立即停止施工,当施工气温处于 $5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 时,应采取适当的保温覆盖措施施工,施工时应随时检测气温和混合料、拌和水及路面的温度。

6.1.5 雨天施工,当遇雨天时应立即停止施工,待消除雨水带来的危害后方可继续施工。

6.1.6 接缝的设置应符合以下规定:

1 采用现浇施工时:

- 1) 需根据工程规模和施工能力确定 UHPC 结构层的摊铺施工单元;
- 2) 宜将桥梁的伸缩缝作为横向施工缝;
- 3) 当设备摊铺宽度小于桥面宽度时,宜将桥面中线为纵向施工缝。

2 采用装配式施工时,宜将钢主梁的拼装节段作为 UHPC 结构层的摊铺施工单元,节段间接缝宜设置在相邻两道横隔板间的跨中区域。

6.2 施工准备

6.2.1 施工前,应根据工程规模、现场条件等确定施工方案,编制施工组织设计。

6.2.2 应按照施工组织计划,组织施工设备、试验仪器进场,并

做好安装、调试及标定工作。

6.2.3 应按材料使用计划,组织材料进场,并做好试验、检验及复检工作。

6.2.4 应根据设计要求、工程经验和原材料性能指标,对 UHPC 材料进行试配、调整及检验,得出施工配合比。

6.2.5 应按工程用量、进度计划等提前预拌干混料,运输过程严格做好防潮、防尘措施,且应按下列规定储存:

1 原材料、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,严禁使用超过保质期限的材料;

2 散装干混料储存于散装筒仓中,不得混存混用;

3 散装干混料在储存及使用过程中,当对质量有疑问或争议时,应按产品要求的有关规定进行检验。

6.2.6 施工前应准备足够的防雨篷或塑料薄膜。防雨篷支架宜采用焊接钢结构,材料宜使用帆布或编织布。

6.2.7 施工前应针对可能发生的停电事故采取相应应急措施:

1 加强供电设施维修和保养,保证供电设施完好性;

2 配备满足需求的电工、工具、备用物质,做好充分准备工作,加强保障工作,避免不必要的断电事故发生;

3 配备备用发电机,保证发电机能尽快供电。

6.3 剪力钉施工

6.3.1 旧钢桥桥面铺装翻修施工时,应在焊接剪力钉前,清除原桥面铺装层及粘结层等,清除过程中,应严格控制铣刨深度,不得损伤钢桥面板,清除完毕后,应对钢桥面进行清洗并进行喷砂除锈。

6.3.2 喷砂除锈施工应符合下列规定:

1 喷砂除锈前,应检查钢桥面板的外观,确保表面无锐边、

飞溅、不光滑焊缝及切割边缘等缺陷,否则必须通过打磨加以消除,锋利的边角必须处理成半径为 2mm 以上的圆角;

2 现场喷砂除锈应采用全自动无尘喷砂设备,严禁二次污染;

3 喷砂除锈完成后,应立即检查钢板的清洁度和粗糙度,应对除锈后的钢板进行保护,防止二次污染。

6.3.3 新建钢桥在工厂进行除锈处理后,应对每个剪力钉位置进行局部打磨,打磨范围直径为 3~5cm,确保焊接处钢桥面板表面平整、光滑、洁净。

6.3.4 在焊接剪力钉时,应符合下列规定:

1 根据设计的剪力钉布置位置在钢桥面板上划墨线定位。当剪力钉加密时,定位中应先定位出普通位置点,再定位出加密位置点;

2 当剪力钉的设计位置与钢主梁拼接焊缝位置冲突时,应将剪力钉偏离焊缝边界 2~3cm,严禁直接在焊缝上焊接剪力钉;

3 剪力钉焊接宜采用电弧螺栓焊,按要求正确操作,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,并应在钢桥面板四周 0.5m 范围内进行防腐涂装。

6.4 钢筋网施工

6.4.1 钢筋网铺设应符合下列规定:

1 钢筋网铺设前,应根据设计图纸对钢筋网进行纵向、横向定位,并应摆放好钢筋垫块;

2 宜先铺设纵向钢筋,再铺设横向钢筋;

3 钢筋的搭接长度应符合构造要求的相关规定,不得随意变动;搭接位置应错开,同一断面位置,搭接钢筋的面积不应超过 50%;

- 4 钢筋位置与剪力钉布置有冲突时,可适当调整钢筋位置;
- 5 钢筋网在界接头处应与相对应的锚固钢筋准确连接,钢筋的连接宜采用焊接或机械连接;
- 6 接缝区域的钢筋网应按照设计图纸进行布置,若无设计要求时,应符合构造要求相关规定。

6.5 UHPC 结构层浇筑施工

6.5.1 UHPC 宜采用干混料集中湿拌或现场加水拌和,并应符合下列规定:

- 1 UHPC 的拌合应根据工程规模、施工工艺和进度要求合理配备搅拌设备,应采用具有计量系统的强制式搅拌机。设备计量偏差应小于 $\pm 2\%$,使用前计量设备应归零,并应定期校准。搅拌时间不宜少于 8min,待 UHPC 流化之后继续搅拌 2min;

- 2 拌和前,应检查搅拌设备状态,并应严格按施工配合比进行拌和;

- 3 应通过试验确定投料顺序、数量及分段搅拌时间等工艺参数;

- 4 拌合时置于同一包装件中的干混料应一次搅拌完成,不得分盘搅拌;

- 5 搅拌第一盘拌合料前,应润湿搅拌机,并排尽积水。拌合时,每台班结束后应对搅拌机进行清洗,剔除结硬的混凝土块,并更换严重磨损的搅拌叶片;

- 6 搅拌应保证拌合物质量均匀,出机拌合物中不得有钢纤维结团现象。

6.5.2 UHPC 拌合物性能要求应根据工程实际需求确定。无特殊要求的情况下,浇筑时的扩展度、扩展度经时损失和扩展时间等应符合表 6.5.2 的规定。

表 6.5.2 UHPC 拌合物性能要求

项目	扩展度 mm	扩展度经时损失 mm	扩展时间 s
要求	≥650	≤100	3~10

6.5.3 干混料中的原材料计量允许偏差应符合表 6.5.3 的规定。

表 6.5.3 原材料计量技术要求

原材料品种	粉料	骨料	水	外加剂	钢纤维
允许偏差(%)	±2	±3	±1	±1	±1

注：粉料主要为水泥和矿物掺合料等。

6.5.4 UHPC 远距离运输宜采用混凝土搅拌车。采用混凝土搅拌运输车运输时，应符合下列规定：

1 混凝土搅拌车的性能必须良好，其运输能力应大于现场摊铺能力；

2 对于寒冷、严寒或炎热的气候情况，混凝土搅拌运输车的搅拌罐应有保温或隔热措施；

3 接料前，应排净混凝土搅拌车罐内的积水；

4 在运输途中及等候卸料时，应保持混凝土搅拌车罐体正常转速，不得停转。运输过程中应保证拌合物均匀，不产生分层、离析；

5 卸料前，混凝土搅拌车罐体宜快速旋转搅拌 20s 以上后再卸料，卸料后，应及时采用清水清洗干净；

6 UHPC 拌合物从搅拌机卸入搅拌运输车至卸料时的时间不宜长于 90min。

6.5.5 UHPC 近距离运输时，宜因地制宜选用运输设备，运输时，应符合下列规定：

1 根据现场施工组织能力，运输能力应大于现场摊铺能力，保证现场浇筑连续进行；

2 运输设备使用前应用水湿润,但不得有积水;

3 运输应避免阳光直射,运输时长不宜超过 30min,运输过程中不得往拌合物中加水。

6.5.6 场内输送布料宜采用管道泵送、专用布料机或手推车,并应符合下列规定:

1 作业前,应仔细检查设备状态,并应空转运行,且应使设备处于湿润状态;

2 专用布料机布料时,可采用地泵或手推车进行送料;

3 无专用布料机布料时,应采用车泵送料,并应及时移动泵管,确保布料均匀;

4 手推车送料时,应布料均匀,宜采用人工布料;

5 布料松铺系数宜控制在 1.0~1.1 之间。

6.5.7 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,避免出现拌合物离析、分层以及纤维裸露出结构表面等情况。宜采用专用摊铺机或振平梁摊铺,同时宜采用平板振动器进行辅助振捣,并应符合下列规定:

1 摊铺前,应检查设备状态,且应使设备处于湿润状态;

2 摊铺前,应根据摊铺厚度、塌落度大小,通过工艺试验确定摊铺速度、振捣频率及振动时间;

3 摊铺前,应根据摊铺厚度立模并固定,宜采用角钢或工字钢作为侧向模板;

4 摊铺过程中,应派专人进行摊铺厚度检查并及时反馈修正;

5 控制好摊铺速度,应根据布料进度调整,保证连续摊铺作业。

6.6 接缝区及边界施工

6.6.1 接缝区域在钢桥面板顶设置异型加强钢板时,钢板设置应满足以下规定:

1 加强钢板应严格按照设计图纸设置。设计图纸未明确时,加强钢板应设置在钢主梁中两道相邻横隔板间的跨中位置;

2 焊接加强钢板前,应确保该区域的钢桥面板清洁、平整、光滑;

3 区域内剪力钉的焊接位置应预留,待加强钢板焊接完成之后再焊接剪力钉;

4 加强钢板与钢桥面板可采用角焊缝连接,应严格按照设计图纸施焊;

5 焊接施工完成后,应清除接缝区域的焊渣等杂物。

6.6.2 湿接缝浇筑前,应对接缝面进行凿毛处理。凿毛施工应符合以下规定:

1 凿毛断面上应有大量钢纤维裸露在外,并无遗留松散残渣和屑末;

2 凿毛深度不应小于 10mm;

3 浇筑 UHPC 前,应对凿毛面进行洒水湿润,但不能有积水。

6.7 UHPC 结构层养护施工

6.7.1 UHPC 的养护可采用三种方式:自然养护、热养护或蒸汽养护。

6.7.2 UHPC 结构层摊铺完成后,应及时喷水雾使 UHPC 结构层表面处于湿润状态,后采用养生薄膜覆盖进行保湿自然养护,并应符合下列规定:

1 覆膜前,应对 UHPC 结构层表面进行整平抹面,并检查 UHPC 结构层表面是否有表面裂纹,如有裂纹应及时抹除;

2 养生薄膜应搭接铺设,搭接位置宜采用方木或砂粒覆盖,搭接宽度应大于 20cm;

3 覆盖养生薄膜时,不应损坏 UHPC 结构层,宜搭设架子覆盖养生薄膜,铺膜过程中应对膜进行抹平,使膜与 UHPC 面贴

合紧密,不得有鼓泡现象。鼓泡位置应采用铁丝戳破,并用保湿薄膜覆盖裸露位置;

4 保湿养护过程中,应加强巡查力度,发现有缺水部位时,应及时补水养护;

5 采取自然养护方式时,UHPC 结构层覆膜保湿时间不少于 24 小时。保湿结束后揭开塑料薄膜立即覆盖土工布,并且在养护期间保持土工布湿润;

6 采取热养护方式时,试件成型后应立即用不透水的薄膜覆盖表面。应在温度为 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的环境中静停 24h 后拆模,试件拆模后进行热养护;

7 采取高温蒸汽养护时,覆膜保湿时间不宜少于 48 小时,试件拆模后应撤除养生薄膜并及时开始高温蒸汽养护。

6.7.3 进行自然养护时的环境平均气温不应小于 5°C ,构件表面应保持湿润不少于 7d,若环境温度处于 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$,应按冬季施工处理,采取有效保温措施。

6.7.4 热养护通过工业电热毯等设施实现,并应符合下列规定:

1 养护前应先将在透水的土工布覆盖于构件上,再将工业电热毯覆盖于土工布上进行加热;

2 加热养护温度控制应采用自动控制系统;

3 升温速度不应超过 $12^{\circ}\text{C}/\text{h}$,升温至 UHPC 表面温度达到 $75 \sim 85^{\circ}\text{C}$ 后,保持恒温($\pm 5^{\circ}\text{C}$) 48h,再以不超过 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速率降温至室温;

4 升温养护过程中的相对湿度应不小于 95%。

6.7.5 高温蒸汽养护通过蒸汽锅炉、蒸汽管道和蒸汽养护棚等设施实现,并应符合下列规定:

1 养护前,应根据养护空间计算好蒸汽锅炉功率、架子和保温棚的规格、数量;

2 应根据现场条件和养护要求确定架子搭设、锅炉布置及养护方案;

3 养护过程中的温度和湿度宜通过传感器调整蒸汽量的大小实现；

4 养护温度恒定在 80°C 时,养护时间不应少于 72h;养护温度恒定在 90°C ,养护时间不少于 48h。养护过程中蒸汽养护棚内的相对湿度不低于 95%；

5 蒸汽高温养护时的升温阶段,升温速度不应大于 $12^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；养护结束后,以不超过 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的降温速度将温度逐渐降至环境温度；

6 蒸汽养护棚应具有足够的强度、刚度、稳定性和密封性,顶面不应积水；

7 养护过程中温度控制宜采用自动控制系统。应合理设置监控点,确保能有效监控蒸汽养护棚内温、湿情况。

6.7.6 自然养护、热养护以蒸汽养护结束后,应检查 UHPC 结构层外观,发现有局部变形部位,应采用打磨机打磨,确保 UHPC 结构层表面平整。

6.8 面层施工

6.8.1 为保证 UHPC 结构层与沥青铺装面层的连接,应先将 UHPC 结构层表面进行糙化处理,以形成有利于层间连接的糙化面,且表面颜色均匀。

6.8.2 面层施工前应先对粘结层进行施工,粘结层和面层的施工应符合现行国家标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 和《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》JTG/T3364-02 的有关规定。

6.9 桥面维修施工

6.9.1 对于旧桥桥面沥青混凝土铺装全部替换为超高性能混凝土

土钢组合桥面结构时,必须清除原有铺装层及粘结层等,并清洗桥面,在钢桥面板干净干燥并满足相关要求情况下方可进行后续施工。

6.9.2 对现有超高性能混凝土钢组合桥面结构中出现局部损坏的UHPC结构层进行拆除时,应先采用切割机对修补区域边界的UHPC结构层进行切割,随后利用风镐对切割处UHPC结构层进行破碎,然后通过拉拔修补区域内的钢筋对UHPC结构层进行拆除,最后对修补区域残余的UHPC进行清理。

6.9.3 对拆除后的局部损坏的UHPC结构层进行修补前,应对修补区域的边界进行凿毛,使原有的纵横向钢筋露出长度不小于10cm,并在接缝界面尽可能露出更多的钢纤维;随后检查剪力钉是否出现损伤,并根据情况进行更换,钢桥面板上如出现锈蚀,应进行除锈处理。

6.9.4 修补区域边界的接缝建议采用接长钢筋与原有钢筋焊接,并通过短钢筋将原有钢筋和钢桥面板焊接的形式。

6.9.5 对现有超高性能混凝土钢组合桥面结构中的面层进行更换时,为增强UHPC结构层与面层之间的粘结性能,应对UHPC表面重新进行糙化处理并清理,糙化方式推荐抛丸。

6.9.6 在超高性能混凝土钢组合桥面结构更换面层时,宜通过相关试验对粘结层的材料、用量以及粘结层与面层的粘结强度进行确定。

7 质量验收

7.1 一般规定

7.1.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的施工应建立健全有效的质量保证体系,对施工各阶段的质量进行检查、控制,达到所规定的质量标准,确保施工质量稳定性。

7.1.2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构的质量验收应按照分部工程中桥面系与附属工程进行验收,其子分部工程、分项工程及检验批划分应符合表 7.1.2 的规定。

表 7.1.2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构工程子分部、
分项工程及检验批划分表

分部工程	子分部工程	分项工程	检验批
桥面系与附属工程	UHPC 结构层	钢桥面清理除锈施工	每个施工段每孔
		剪力钉焊接施工	
		钢筋网铺设	
		UHPC 浇筑施工	
		接缝及边界施工	
		UHPC 养护施工	
	桥面铺装层	粘结层施工	
		面层施工	

7.1.3 所有与超高性能混凝土 钢组合桥面结构施工有关的原始记录,如试验检测、计算数据和声像资料等,均应如实保存。

7.1.4 超高性能混凝土 钢组合桥面结构完工后,施工单位应组织有关人员进行自检,存在施工质量问题时,应及时整改,整改完

毕后,由相关单位进行检验评定。评定不合格的超高性能混凝土 钢组合桥面结构工程,经返工、加固、补强或调测,满足设计要求后,应重新进行检验评定,直至合格。

7.1.5 超高性能混凝土 钢组合桥面结构工程的质量评定及验收应符合现行行业标准《公路工程质量检验评定标准》JTGF80 及《重庆市城市桥梁工程施工质量验收规范》DBJ50/T 086 的有关规定。

7.2 材料及设备入场检查

7.2.1 工程开工前必须检查所有原材料的来源和质量,并按有关的检验项目和批次规定,严格实施进场检验。

7.2.2 UHPC 原材料验收的主控项目包括:水泥、钢纤维、外加剂及矿物掺合料;一般项目包括,骨料和拌合用水。

7.2.3 钢筋、钢材、焊接材料、防锈漆、粘结层及面层材料进场时的质量验收应符合《重庆市城市桥梁工程施工质量验收规范》的有关规定。

7.2.4 原材料的检验批量应符合下列规定:

1 散装水泥应按每 500t 为一个检验批量,袋装水泥应按每 200t 为一个检验批量,其他胶凝材料、矿物掺合物及骨料应按 200t 为一个检验批量;

2 用于同一工程、同一原材料来源、同一组生产设备生产的钢纤维,检验批量不应大于 30t;

3 外加剂应按 50t 为一个检验批量;

4 用于同一工程、同一原材料来源、同一组生产设备生产的成型钢筋,检验批量不应大于 60t;

5 用于同一工程、同一原材料来源、同一组生产设备生产的剪力钉,按照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 进行检验;

6 不同批次或非连续供应的 UHPC 原材料,在不足一个检验批量的情况下,应按同品种和同规格(或等级)材料每批次检验一次。

7.2.3 原材料进场检验的样品应随机抽取。

7.2.4 原材料进场前,应对材料的存放场地进行检查,确认防雨和排水措施符合相应的要求;材料到场后,应根据材料的特性按相应的规定进行储存与管理。

7.2.5 施工前应对打砂机具、拌和厂、运输搅拌罐、路面工程施工机具和设备的配套情况、技术性能、传感器计量精度等进行认真检查及标定。

7.2.6 各种原材料试验结果及混合料配合比设计结果、施工机具和设备的检查结果,应在使用前规定的期限内向有关单位提出正式报告,待取得正式认可后,方可使用。

7.3 施工质量检验

主控项目

7.3.1 对新建钢桥面板或旧钢桥桥面铺装翻修施工时,桥面清理除锈应满足以下规定:

1 桥面板表面应彻底干净和干燥,不得留有垃圾、污垢、杂物及活浆;

2 应按工艺要求施工,有雾、下雨或空气相对湿度大于 85% 时严禁施工,并应保持通风;

3 桥面板表面应无损伤、无坑洞;

4 喷砂除锈后,桥面板的粗糙度、清洁度应达到设计要求。

检验数量和检验方法:按表中规定检验。

表 7.3.1 钢桥面除锈检验方法及要求

项次	检验项目	要求	检验方法和数量
1	相对湿度	$\leq 85\%$	湿度计测量,每班测 1 次
2	氯化物含量	$\leq 0.014\%$	试纸测试,《水溶性盐的现场电导测定法标准》ISO 8502-9,每 200m ² 检测 1 处
3	锈蚀情况	无蓝点	氰化钾试纸测试,《可溶铁腐蚀产物的现场测试标准》ISO 8502-1,每 100m ² 检测 1 处
4	桥面清洁度	$\geq \text{Sa}2.5$ 级	目视比较法,《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923,每 200m ² 检测 1 处
5	桥面粗糙度	满足设计要求	比较样块法,《涂装前钢材表面粗糙度等级的评定》GB/T 13288,每 200m ² 检测 1 处

7.3.2 焊接剪力钉应满足以下规定:

1 剪力钉和瓷环应符合设计要求和国家现行标准,剪力钉应无锈蚀;

2 剪力钉焊接应按有关技术要求和操作规程实施;

3 剪力钉焊接位置应准确,焊缝饱满,钉身竖直;

4 当剪力钉设计位置与钢主梁拼接焊缝位置冲突,应将剪力钉偏离焊缝位置 2.3cm;

5 个别剪力钉的焊接质量不满足要求时,应锤除剪力钉,并在原位附近重新焊接剪力钉。

检验数量和检验方法:按表中规定检验。

表 7.3.2 剪力钉焊接检验方法和允许偏差

项次	检验项目	允许偏差	检验方法和数量	要求
1	剪力钉高度	$\leq 3\text{mm}$	钢尺测量,每 50m ² 检测 1 处	按设计图纸
2	剪力钉倾角	$\leq 10^\circ$	钢尺及量角器测量,每 50m ² 检测 1 处	90°
3	剪力钉间距	$\leq 10\text{mm}$	钢尺测量,每 50m ² 检测 1 处	按设计图纸
4	焊缝可靠性	满足要求	重锤平击钉帽,使剪力钉沿原轴线弯曲 30°,每 50m ² 检测 1 处	无裂纹

7.3.3 钢筋网铺设应满足以下规定：

1 钢筋网应符合设计要求和国家现行标准,钢筋网铺设时,其级别、直径、间距、层数及相对位置应符合设计规定;

2 钢筋网与钢桥面之间应铺设等尺寸的垫块,垫块应与钢筋网绑扎牢固;

3 钢筋铺设完后,应对钢筋网高度、间距进行检查,不符合要求时,应进行局部调整。

检验数量和检验方法:按表中规定检验。

表 7.3.3 钢筋网铺设检验方法和允许偏差

项次	检验项目	允许偏差	检验方法和数量
1	钢筋搭接长度	$\leq 10\text{mm}$	钢尺测量,每 100m ² 检测 1 处
2	钢筋网高度	$\leq 3\text{mm}$	钢尺测量,每 100m ² 检测 1 处
3	钢筋网间距	$\leq 10\text{mm}$	钢尺或游标卡尺测量,每 100m ² 检测 1 处

7.3.4 UHPC 材料制备应满足以下规定：

1 UHPC 拌合物的取样应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定;

2 UHPC 拌合物的坍落度、扩展度、凝结时间、离析、粘稠度、保水性、含气量和表观密度的试验应符合现行《超高性能混凝土试验方法标准》T/CECS 864 的规定;

3 UHPC 拌合物中钢纤维的体积掺量宜采用水洗法进行检验,并应符合设计要求;

4 UHPC 的物理力学性能、长期性能和耐久性能的试验应符合现行《超高性能混凝土试验方法标准》T/CECS 864 的规定;

检验数量和检验方法:按表中规定检验。

表 7.3.4 UHPC 材料性能检验方法和要求

项次	检验项目	检验方法和数量	性能要求
1	抗压强度	100mm×100mm×100mm 立方体试件抗压试验,每 40m ³ 检测 1 组	$f_{cu,m} - 1.1S_{f_{cu}} \geq f_{cu,k}$ $f_{cu,min} \geq 0.95f_{cu,k}$
2	抗弯强度	100mm×100mm×400mm 棱柱体试件抗弯试验,每 40m ³ 检测 1 组	$f_{t,m} \geq 1.05f_{t,k}$ $f_{t,min} \geq 0.95f_{t,k}$
3	弹性模量	100mm×100mm×300mm 棱柱体试件轴压试验,每 40m ³ 检测 1 组	按设计要求
4	坍落度	水泥混凝土坍落度试验标准方法,每 40m ³ 检测 1 次	$\geq 180\text{mm}$ $\leq 280\text{mm}$

注: $f_{cu,m}$ 和 $f_{cu,min}$ 分别为 UHPC 立方体抗压强度的平均值和最小值, $f_{t,m}$ 和 $f_{t,min}$ 分别为 UHPC 的抗弯拉强度的平均值和最小值。

7.3.5 UHPC 摊铺施工应满足以下规定:

- 1 摊铺前,应进行试拌,确定水灰比及搅拌时间;
- 2 摊铺前,应对施工面进行杂物清理及洒水湿润,洒水时注意不能造成施工面有积水;
- 3 摊铺过程中,应按设计要求检验摊铺厚度,并应及时调整;
- 4 摊铺时,布料应均匀,振捣应充分,确保铺装密实,表面平整。

检验数量和检验方法:按表中规定检验。

表 7.3.5 UHPC 摊铺检验方法和允许偏差

项次	检验项目	允许偏差	检验方法和数量
1	混凝土总层厚	$\leq 3\text{mm}$	摊铺过程中,将直钢丝插入到 UHPC 的底部,以直尺测量钢丝的浸润深度,每 40m ² 检测 1 处
2	桥面纵、横坡	$\leq 0.2\%$	水准仪、皮尺测量,每 40m ² 检测 1 处
3	平整度	$\leq 3\text{mm}$	3m 铝合金直尺,每 40m ² 检测 1 处

7.3.6 UHPC 养护应满足以下规定：

1 UHPC 结构层浇筑完并抹面后,应对 UHPC 表面进行洒水并保湿养护；

2 保湿养护过程中,应由专人进行巡查,发现局部缺水时,及时补水养护,保湿养护时间根据不同养护方式制定；

3 保湿养护完成后 UHPC 结构层可进行自然养护、热养护或蒸汽养护；

4 养护完成后,结构层应均匀完好,且无收缩裂纹。

检验数量和检验方法:按表中规定检验。

表 7.3.6-1 UHPC 结构层高温蒸汽养护检验方法和允许偏差

项次	检验项目	规定值或允许偏差	检验方法和数量
1	养护膜内温度	+5℃	温度传感器,每小时检查 2 次
2	养护膜内湿度	+5%	湿度传感器,每小时检查 2 次
3	养护时间	+1h	计时器,每小时检查 2 次

表 7.3.6-2 UHPC 结构层热养护检验方法和允许偏差

项次	检验项目	规定值或允许偏差	检验方法和数量
1	UHPC 表面温度	+5℃	温度控制系统,每小时检查 2 次
2	UHPC 表面湿度	+5%	湿度传感器,每小时检查 2 次
3	养护时间	+1h	计时器,每小时检查 2 次

7.3.7 沥青铺装层施工应满足以下规定：

1 沥青混合料的矿料质量及矿料级配应符合设计要求和施工规范的规定；

2 严格控制各种矿料和沥青用量及各种材料和沥青混合料的加热温度,碾压温度应符合要求；

3 拌和后的沥青混合料应均匀一致,无花白、粗细料分离和结团成块现象；

4 沥青铺装前 UHPC 结构层表面应清洁,无杂物、油渍和

粉尘等物质；

5 沥青铺装前应检查摊铺机，确保摊铺范围、摊铺厚度应能满足设计要求；

6 沥青铺装层施工应符合现行国家标准《公路沥青路面施工技术规范》JTGF40的有关规定。

检验数量和检验方法：按表中规定检验。

表 7.3.7 沥青铺装层施工检验方法和允许偏差

项次	检查项目	允许偏差	检测方法和数量
1	压实度	符合设计要求	按碾压吨位与遍数检查
2	铺装层平整度	$\leq 1\text{mm}$	3m 铝合金直尺，每 200m ² 检测 1 处
3	平均厚度	$\leq 3\text{mm}$	按沥青混凝土实际用量推算每 200m ² 检测 1 处
4	铺装层抗滑性能	$\leq 5\%$	摆式仪法，每 200m ² 检测 1 处
5	桥面纵、横坡	$\leq 0.2\%$	水准仪、皮尺测量，每 200m ² 检测 1 处

一般项目

7.3.8 钢桥面除锈后表面应光亮、清洁和干燥，不符合要求时必须进行处理；且钢桥面应无损伤和坑洞，但近距离应能观察到经喷砂除锈后形成的局部压痕。

检验数量：全部。

检验方法：观察。

7.3.9 剪力钉应位置准确、整齐，无明显错位；剪力钉保持竖直，无明显倾角；焊缝外形应饱满，无气孔、夹渣、裂纹等明显缺陷。

检验数量：每 50m² 检测 1 处。

检验方法：观察。

7.3.10 钢筋网铺设应符合以下规定：

1 垫块应布置合理，密度均匀，且应与下层钢筋绑扎在

一起；

2 钢筋网纵、横桥向间距均匀，上层钢筋顶面与剪力钉钉帽顶面的高度差基本均匀；

3 钢筋接缝布置合理，位置错开，接缝长度满足要求，接缝焊接或绑扎应牢固；

4 钢筋网间应洁净、无积水和杂物。

检验数量：每 100m^2 检测 1 处。

检验方法：观察。

7.3.11 UHPC 拌合物应没有钢纤维结团现象，且流动性较好，不偏粘稠也不较稀。

检验数量：每 40m^3 检测 1 组。

检验方法：观察。

7.3.12 UHPC 摊铺应符合以下规定：

1 UHPC 摊铺过程中，UHPC 应色泽正常，无发干或发亮现象；

2 UHPC 流动性好，倾倒至桥面板时，应能自然流动至钢筋网间。经摊铺振捣后，应能完全覆盖钢筋网和剪力钉，且表面厚度应均匀一致，无坑洼；

3 混凝土层的边角处、不同浇筑时期接缝处等位置应衔接良好，无脱空、台阶现象；

4 接缝区域先浇段 UHPC 侧面凿毛处理后，表面粗糙，断面上有大量钢纤维裸露在外。

检验数量：每 40m^3 检测 1 处。

检验方法：观察。

7.3.13 UHPC 养护应符合以下规定：

1 保湿养护后，UHPC 结构层应均匀完好，且不应有龟裂现象；

2 养护完成后，UHPC 结构层应均匀完好，且应无收缩裂纹；

检验数量：全部。

检验方法：观察。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

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

引用标准名录

- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164
- 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690
- 《建设用砂》GB/T 14684
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 《水泥用硅质原料化学分析方法》JC/T 874
- 《钢纤维混凝土》JG/T 3064
- 《活性粉末混凝土》GB/T 31387
- 《混凝土外加剂》GB 8076
- 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB 1499.2
- 《电弧螺柱焊用柱头焊钉》GB/T 10433
- 《改性乳化沥青技术标准》JTJ 052
- 《干混砂浆散装移动筒仓》SB/T 10461
- 《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40
- 《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64 01
- 《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》JTG/T 3364 02
- 《桥梁用结构钢》GB/T 714
- 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 《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

《钢 混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917
《公路沥青路面设计规范》JTG D50
《公路工程技术标准》JTG B01
《重庆市城市桥梁工程施工质量验收规范》DBJ50/T 086
《公路工程质量检验评定标准》JTG F80
《AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (SI unit)》AASH
TO
《Eurocode 1: Actions on structures Part 2: Traffic loads on
bridges》ECS
《Eurocode 3: Design of steel structures Part 1.9: Fatigue》ECS
《Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Struc
tures, Part 2 General Rules and Rules for Bridges》ECS
《Design Guide for Precast UHPC Waffle Deck Panel Sys
tem, including Connections》FHWA
《Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete: Rec
ommendations 》AFGC

重庆市工程建设标准

超高性能混凝土-钢组合桥面结构技术标准

DBJ50/T-423-2022

条文说明

2022 重 庆

重庆工程建设

目 次

1	总则	57
3	基本规定	58
3.1	设计	58
3.2	施工	58
4	材料	59
4.1	超高性能混凝土	59
4.3	粘结层及面层材料	62
5	设计	63
5.1	作用效应计算	63
5.2	强度计算	63
5.4	抗裂计算	64
5.5	变形计算	64
5.6	疲劳计算	64
5.7	连接件计算	65
5.8	构造要求	66
6	施工	68
6.1	一般规定	68
6.2	施工准备	68
6.3	剪力钉施工	68
6.4	钢筋网施工	68
6.5	UHPC 结构层浇筑施工	68
6.6	接缝区及边界施工	69
6.7	UHPC 结构层养护施工	69
6.8	面层施工	69

6.9 桥面维修施工	69
7 质量验收	70
7.1 一般规定	70
7.2 材料及设备入场检查	70
7.3 施工质量检验	70

1 总 则

1.0.1 超高性能混凝土 钢组合桥面结构可大幅提高钢桥面板的局部刚度,降低钢桥面板的应力水平和沥青铺装的受力条件,从而解决传统正交异性钢桥面板结构疲劳开裂和铺装易损两大工程难题,本标准对规范日后重庆地区的超高性能混凝土 钢组合桥面结构的设计和施工具有重要意义。

1.0.4 在超高性能混凝土 钢组合桥面结构中,UHPC 结构层是主结构层,耐久性优异,设计时按照使用年限内不更换进行设计,因此 UHPC 结构层的设计基准期与桥梁主体结构一致。

3 基本规定

3.1 设计

3.1.2 超高性能混凝土钢组合桥面结构中钢桥面板与 UHPC 结构层界面间剪力作用方向不明确,按照《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64-01 中有关规定,宜选用剪力钉作为抗剪连接件。

3.1.3 面层宜优先选择改性沥青混合料(SMA)。

3.1.4 本条规定的验算内容对应的荷载组合和设计方法应符合《钢-混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 中的第 4.1.1 条的规定。

3.1.6 本条是关于超高性能混凝土钢组合桥面结构桥梁安全等级的选用。表 3.1.6 中的安全等级划分与现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 保持一致。

3.1.10 在计算第一体系受力时,可不考虑钢主梁与 UHPC 结构层间的滑移效应,但在计算第二、三体系受力时,应考虑层间滑移效应。在第一体系计算时面层应以二期恒载的方式施加在主梁上,在计算第二、三体系受力时可不考虑面层对组合桥面板受力的影响。

3.1.11 根据常规做法,超高性能混凝土钢组合桥面结构设计流程如图 3.1.11 所示。

3.2 施工

3.2.6 本节规定了超高性能混凝土钢组合桥面结构的施工要点。

4 材 料

4.1 超高性能混凝土

4.1.1 水胶过大,硬化水泥石中的毛细孔可能形成连通孔,对UHPC的耐久性不利,水胶比过小则会影响UHPC的流动性。

4.1.2 硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥胶砂强度较高并且掺加混合材较少,适合配制UHPC,便于掺用较多的矿物掺合料来改善混凝土的性能。

4.1.3 UHPC的胶凝材料需进行颗粒调配,优质的掺合料有利于掺合料的颗粒调配,以保证UHPC的性能。本条规定了UHPC中掺入粉煤灰、硅灰等矿物掺合料的要求。

4.1.4 本条规定了细骨料的质量要求。当用于厚度要求较大的斜拉桥正交异性板时,可考虑选用粗骨料,粗骨料应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685)的规定,其中含泥量、泥块含量、针片状颗粒含量、有害物质含量、坚固性、强度、吸水率应达到I类的要求,最大粒径不应大于10mm,且需通过试验验证,满足粗骨料超高性能混凝土的设计和施工性能要求后方可使用。

4.1.5 国家现行标准《混凝土外加剂》GB8076是我国关于外加剂产品的主要标准。国家现行标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119规定了不同品种外加剂的应用技术要求。为保证UHPC的性能,宜用高性能减水剂,且减水率大于30%。

4.1.6 本条规定了UHPC用钢纤维的性能指标:

1 当钢纤维体积掺量小于1.0%时,单轴受压疲劳荷载作用下,UHPC棱柱体一般表现出没有明显预兆的劈裂破坏,而当钢纤维体积掺量大于1.0%时,则为有一定预兆的剪切破坏;

2 当钢纤维体积掺量小于 1.5% 时, UHPC 一般表现出拉伸软化, 而当钢纤维体积掺量不小于 1.5% 时, 则表现出期望的拉伸硬化;

3 当钢纤维体积掺量大于 4.0% 时, UHPC 难以搅拌均匀, 施工不便且可收集到的钢纤维体积掺量大于 4.0% 的研究样本数据亦较少。

因此, 本标准推荐钢纤维的体积掺量为 1.0%~4.0%, 适用于强度等级在 UC100~UC200 之间的 UHPC。随着钢纤维掺量的提高, UHPC 抗压强度线性增加, 抗弯拉性能呈指数增加。

4.1.7 混凝土用水包括拌合用水和养护用水。现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ63 包括了对各种水用于混凝土的规定。

4.1.8 本条对 UHPC 各强度等级技术指标进行规定以保障其性能, 具体的材料力学性能、长期性能及耐久性能试验方法应符合现行行业标准《超高性能混凝土试验方法标准》T/CECS 864 的规定。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 f_{ck} , 其与立方体抗压强度标准值的关系为 $f_{ck} = 0.88 \alpha f_{cu,k}$, 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。湖南大学统计国内外总计 142 组强度范围在 77 MPa~189 MPa 范围内的 UHPC 立方体抗压强度和棱柱体抗压强度试验结果, 结果表明 UHPC 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, 因此本标准取 $\alpha = 0.80$ 。 $f_{td} = f_{tk}/1.45$, $f_{cd} = f_{ck}/1.45$, $f_{ed} = f_{ek}/1.45$, 其中 1.45 为 UHPC 的材料性能分项系数。

4.1.9 根据本标准第 5.4.1 条规定, 配筋 UHPC 结构层最大裂缝宽度限制为 0.05mm。根据最大裂缝宽度限值和超高性能混凝土-钢组合桥面结构设计参数、材料性能, 基于组合桥面结构 UHPC 结构层表面裂缝宽度计算理论, 计算得到了表 4.1.9-1 中超高性

能混凝土 钢组合桥面结构中 UHPC 结构层沿纵横桥向的名义抗裂强度容许值。

根据超高性能混凝土 钢组合桥面结构抗弯极限承载能力计算理论,可计算得到超高性能混凝土 钢组合桥面结构的抗弯承载力。根据计算得到的抗弯承载力,基于材料力学基本理论,计算得到了表 4.1.9 2 中超高性能混凝土 钢组合桥面结构中 UHPC 结构层沿纵横桥向的名义抗拉极限强度容许值。

4.1.10 相关试验研究结果表明:当湿接缝界面处理良好,局部钢筋加密处理后,先浇 后浇连接处湿接缝名义抗裂强度不低于连续浇筑 UHPC 名义抗裂强度的 70%,因此,保守地按 0.7 倍取值。

4.1.11 本条文 UHPC 抗剪强度的计算公式参考了文献《混凝土的抗剪强度、剪切模量和弹性模量》(施土异;1999)。

4.1.12 本条文 UHPC 剪切模量的取值参考了《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 2018。

4.1.13 对比各国 UHPC 指南(规范),对于泊松比各国规定较为统一,均为 0.2;对于温度线膨胀系数,各国规定值介于 $1.0 \sim 1.35 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$,一般认为,UHPC 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($1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$),且低于钢材($1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$),并结合国内相关试验研究,本规范 UHPC 线膨胀系数取 $1.1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 。

4.1.14 本条文中 UHPC 收缩应变和徐变系数参考文献《Recommendations of UltraHigh Performance Fiber reinforced Concretes》(Association Française de Génie Civil; 2013)。高温蒸汽养护或热养护基本消除了 UHPC 的后期收缩,自然养护 UHPC 采用低收缩配方,收缩应变及徐变系数较小。

4.1.15 本条文中钢筋在 UHPC 内锚固长度的取值参考了文献《Design Guide for Precast UHPC Waffle Deck Panel System, in

cluding Connections》(FHWA; 2013)的研究。

4.1.16 本条文 UHPC 的抗渗级别定义参考了《混凝土质量控制标准》GB 50164 第 4.2.2 条,测试方法应采用逐级加压法。考虑到 UHPC 良好的致密性,本条规定其渗透压压强为 2.0MPa。UHPC 的耐久性好,大部分普通混凝土和高性能混凝土的耐久性指标(如抗冻性、碳化性、抗硫酸盐腐蚀性)和试验方法已不适用于对 UHPC 耐久性的评价,由于影响水泥基材料耐久性的关键因素是材料的渗透性,考虑桥梁的特点,采用抗氯离子渗透性作为 UHPC 的耐久性指标,指标参考了《活性粉末混凝土》GB/T 31387 的有关规定。

4.3 粘结层及面层材料

4.3.1 由于 UHPC 与钢桥面通过钢筋网和剪力钉组成了一个共同受力体系,桥面铺装的刚度和耐久性得到保证,因此在设计磨损层时可将其当做混凝土桥面进行设计,面层材料采用普通沥青铺装即可。

5 设计

5.1 作用效应计算

5.1.2 根据《钢 混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 中的第 4.1.8 条相关内容可知,由于普通混凝土板较厚,组合桥梁的温度按照多折线考虑,其中折线的第一段(从混凝土顶面开始)的范围为 100mm。考虑到超高性能混凝土 钢组合桥面结构中 UHPC 结构层较薄,其厚度一般小于 100mm。因此,对于超高性能混凝土 钢组合桥面结构,UHPC 结构层始终落在第一段折线内。简化起见,本条文根据 UHPC 结构层的设计厚度计算出 UHPC 底面的温度,并假设从 UHPC 底面至钢主梁底面,截面的温度保持恒定。2003 年中南大学对青藏铁路组合梁试件进行了降温试验而得到的梯度温度分布形式和 2004 年广东省建筑设计研究院对观音沙大桥混凝土箱梁断面测试的竖向梯度温度也接近此分布形式,说明梯度温度的分布形式主要受材料的热传导性能控制,受区域温度的分布情况影响不大,重庆地区虽然温度较高,但对于影响梯度温度分布形式的日温差并不算大,因此,该梯度温度计算模型适用于重庆地区。

5.2 强度计算

5.2.2 计算采用超高性能混凝土 钢组合桥面结构的主梁整体强度时,应将 UHPC 结构层作为主梁上翼缘的一部分,并按照相关规定进行抗弯承载力和抗剪承载力计算。

5.4 抗裂计算

5.4.1 根据参考文献《Computer modeling and investigation on the steel corrosion in cracked ultra high performance concrete》(Rafiee A;2012)的研究,当裂缝宽度不超过 0.05mm 时,可认为裂缝对于 UHPC 的耐久性没有影响。

5.5 变形计算

5.5.2 本条规定了超高性能混凝土钢组合桥面结构局部挠度的加载模式和限值,目的是确保桥面系的局部挠度不会过大,以减小在车载作用下,铺装层因局部变形过大而出现脱层等病害问题,同时也能确保行车的舒适性。

5.6 疲劳计算

5.6.2 《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 参照欧洲规范给出了正交异性钢桥面板典型构造细节及其对应的疲劳开裂模式的名义应力疲劳强度,并对正交异性钢桥面板疲劳应力计算和疲劳验算作了详细规定。正交异性钢桥面板典型疲劳易损构造细节的应力影响线范围较小,故其抗疲劳验算时只需考虑第二、三体系受力。各典型疲劳易损构造细节对应疲劳开裂模式的应力历程宜建立节段有限元模型并采用《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 中疲劳荷载模型Ⅲ进行计算。

UHPC 结构层与正交异性钢桥面板通过剪力连接件形成共同受力的组合桥面结构将大幅提高正交异性钢桥系刚度,从而显著改善正交异性钢桥面板的疲劳性能,因此,超高性能混凝土钢组合桥面结构中正交异性钢桥面板疲劳验算应考虑钢 UHPC 组

合效应。

5.6.3 超高性能混凝土 钢组合桥面结构中剪力钉受力复杂,剪力钉的疲劳验算宜建立节段有限元模型进行计算,剪力钉宜采用纵桥向和横桥向两个抗剪弹簧单元和一个竖向抗拔弹簧单元进行模拟,并应采用《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 中疲劳荷载模型Ⅲ进行加载。

在车辆轮载的作用下,超高性能混凝土 钢组合桥面板中的剪力钉受力方向随轮载的作用位置变化而变化,因此,疲劳验算时可先分别计算纵横桥向剪应力幅,再计算纵横桥向剪应力幅的叠加效应。

5.6.4 配筋 UHPC 受拉疲劳性能由 UHPC 和钢筋共同控制,UHPC 在疲劳荷载下的最大应力水平将决定配筋 UHPC 的裂缝宽度,钢筋在疲劳荷载下的应力幅和应力比将决定配筋 UHPC 的疲劳断裂寿命。

在以最大裂缝宽度达到 0.05mm 为疲劳失效标准的条件下开展的超高性能混凝土 钢组合桥面板结构纵横桥向负弯矩疲劳试验结果表明,配筋 UHPC 结构层横桥向的疲劳截止限为 0.7 倍名义抗裂强度容许值,配筋 UHPC 结构层纵桥向的疲劳截止限与平均应力水平相关,且大于 0.7 名义抗裂强度容许值。因此,此处为便于应用,偏安全地将配筋 UHPC 结构层纵横桥向的疲劳截止限均取为 0.7 倍名义抗裂强度容许值。

普通钢筋的疲劳应力幅限值参考了《混凝土结构设计规范》GB50010。

5.7 连接件计算

5.7.1 计算剪力钉剪力设计值时,应考虑第一体系整体荷载效应和第二、三体系局部荷载效应的叠加。有限元模型中剪力钉宜以弹簧单元的方式进行模拟。

钢桥面板与 UHPC 组合后,连接件主要通过剪力传递结构自重、汽车荷载、收缩、徐变以及钢与 UHPC 的升、降温差等作用,但各种作用在连接件上产生的剪力方向并不一致,故按照不同的剪力方向分别进行作用组合。

车辆轮载荷载图示应符合本标准第 5.5.2 条规定。

5.7.2 UHPC 中剪力钉抗剪刚度的研究成果较少,且试验数据比较离散,本条参考了《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64 01 有关规定。

5.7.3 本条文的结合面滑移验算仅限于正常使用极限状态,滑移限值的选定可考虑环境类别给出,出于耐久性考虑,并参考现行《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64 01 的取值方法,本标准建议取 0.05mm。

5.7.4 因为现行规范中剪力钉连接件的抗剪承载力设计值计算公式主要是基于普通混凝土中剪力钉连接件的推出试验结果给出的,现有大量 UHPC 中剪力钉连接件的推出试验结果和相关文献均表明现行美国 AASHTO 规范、欧洲规范、我国《钢 混凝土组合桥梁设计规范》GB 50917 和《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》JTG/T D64 01 等设计标准中剪力钉连接件的抗剪承载力设计值计算公式将显著低估 UHPC 中剪力钉连接件的抗剪承载能力。因此,通过统计国内外 45 个 UHPC 中剪力钉连接件推出试验结果,并对比分析现有文献中提出的 UHPC 中剪力钉连接件抗剪承载力设计值改进计算公式,最终参考文献《Push out behavior of headed shear studs welded on thin plates and embedded in UHPC》(Kruszewski D;2018)给出该计算公式。

5.8 构造要求

5.8.1 为保证钢桥面板具有足够的局部刚度,《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 规定正交异性钢桥面板行车道部分的钢梁顶

板厚度不应小于 14mm,对于超高性能混凝土 钢组合桥面结构, UHPC 结构层显著提高了桥面系局部刚度,故规定钢桥面板厚度不小于 10mm。

5.8.2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构中 UHPC 结构层需配置抗裂钢筋网,且钢筋直径不应小于 10mm,剪力钉和钢筋的保护层厚度不应低于 15mm,基于此确定 UHPC 结构层的厚度不应小于 45mm。

5.8.3 超高性能混凝土 钢组合桥面结构中面层材料可选用改性沥青混合料(SMA/AC)或环氧沥青混合料。当采用改性沥青混合料时,厚度宜为 30~40mm;当采用环氧沥青混合料时,厚度宜为 25~30mm。

5.8.4 UHPC 结构层上表面的处理以及粘结层的材料和用量可根据需求和施工条件进行灵活选用。

5.8.5 本节规定了 UHPC 层及内部钢筋的布设标准和原则。根据已有研究可知,超高性能混凝土 钢组合桥面结构纵桥向的截面抵抗矩塑性影响系数大于横桥向,因此为提高横桥向的名义抗裂强度容许值,应将横桥向钢筋布置于纵桥向钢筋上层。UHPC 层中配置钢筋能够显著提高其抗裂性能,试验结果表明,钢筋中心间距不宜大于 75mm。

5.8.6 在车辆轮载作用下,纵肋腹板和横隔板正上方 UHPC 层顶面、相邻纵肋腹板跨中 UHPC 层底面易出现较大的拉应力,为避免剪力钉引起的应力集中效应对 UHPC 材料连续性的影响,以确保该类截面的抗裂性能,不宜将剪力钉布置于纵肋腹板和横隔板的正上方以及相邻纵肋腹板跨中。

5.8.7 矩形企口施工接缝尺寸与剪力钉间距布置成比例主要目的为避免接缝边界与栓钉位置重合,从而便于施工模板制作;异型加强钢板尺寸为推荐值,可根据实际情况调整。

6 施 工

6.1 一般规定

6.1.1 本条示意的两种施工方法,无优先级,可按设计、工期及现场条件自主选用。

6.2 施工准备

6.2.7 本节规定了超高性能混凝土-钢组合桥面结构的施工前注意事项,应予以重视。

6.3 剪力钉施工

6.3.4 本节规定了剪力钉的施工要点,应确保剪力钉的定位、焊接的精度。

6.4 钢筋网施工

6.4.1 本节规定了钢筋网的施工要点。

6.5 UHPC 结构层浇筑施工

6.5.7 UHPC 的浇筑施工应确定各工序及设备正常工作的基础之上进行。

6.6 接缝区及边界施工

6.6.2 遇接缝及边界施工时按本条执行。

6.7 UHPC 结构层养护施工

6.7.1 UHPC 养护方式综合考虑施工能力和材料性能进行选择。具体的养护流程包括：摊铺完成、覆膜保湿、自然养护/热养护/高温蒸汽养护、养护完成。

6.7.6 本节规定了 UHPC 三种养护方式的注意事项。

6.8 面层施工

6.8.1 UHPC 结构层表面糙化在养护完成后进行,通过糙化可加强 UHPC 结构层与面层的粘结效果。

6.8.2 本节规定了粘结层及面层施工时的注意事项。

6.9 桥面维修施工

6.9.2 由于 UHPC 结构层厚度较小,且对施工要求较高,在现场施工时难以避免出现差错,同时其内部的气泡、车辆严重超重及地震等情况也可能造成 UHPC 结构层的局部损坏。对局部损坏的 UHPC 进行切割时应尽量避开与切割方向平行的内部钢筋和剪力钉,并控制好切割深度以防止刮伤钢桥面板。

6.9.5 采用抛丸的方法对 UHPC 的损伤较小。

7 质量验收

7.1 一般规定

7.1.2 超高性能混凝土 钢组合桥面结构工程的分项工程按主要施工工序进行划分；粘结层和面层的验收应符合现行行业标准《重庆市城市桥梁工程施工质量验收规范》DBJ50/T 086 的有关规定。

7.2 材料及设备入场检查

7.2.2 水泥、外加剂及矿物掺合料、骨料和拌合用水的质量验收应符合现行地方标准《重庆市城市桥梁工程施工质量验收规范》DBJ50/T 086 有关规定；钢纤维的质量验收及检验方法应符合现行国家标准《活性粉末混凝土》GB/T 31387 附录 A 的有关规定。

7.2.6 各材料、设备等检查过程及结果应记录在册，供后期使用。

7.3 施工质量检验

7.3.13 本节规定了超高性能混凝土 钢组合桥面结构各施工工序的质量检验内容及要求，每完成一道工序后应及时对其进行检验，确保质量后再进行下一道工序。