

团 体 标 准

T/SDHTS XXXXX-XXXX

公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计 与施工技术规范

Technical Specification for Design and Construction of Ultra-High
Performance Concrete Steel Bridge Deck Paving on Highway

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

山东公路学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 材料	4
5 结构及构造基本要求	9
6 结构设计计算	13
7 抗剪连接件	20
8 施工	21
9 质量控制、检验及验收	25
附录 A	28

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通规划设计院集团有限公司提出。

本文件由山东公路学会归口。

本文件起草单位：山东省交通规划设计院集团有限公司、南京工业大学、山东省路桥集团有限公司、山东高速股份有限公司。

本文件主要起草人：徐召、白光耀、张建东、臧洪敏、徐常泽、张光桥、林占胜、王洺鑫、贺攀、邓文琴、章清涛、赵洪蛟、马雪媛、高鹏飞、管锡琨、王溧。

公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了公路钢-超高性能混凝土钢桥面组合桥面铺装材料、结构及构造基本要求、结构设计计算、抗剪连接件、施工、质量控制检验及验收。

本文件适用于公路采用钢-超高性能混凝土组合桥面铺装体系的桥梁结构，包括新建、改扩建和维修桥梁。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文本中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件，不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修订单）适用于本文件。

GB 50917 钢-混凝土组合桥梁设计规范

GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢第1部分：热轧光圆钢筋

GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分： 热轧带肋钢筋

GB/T 13014 钢筋混凝土用余热处理钢筋

GB/T 31387 活性粉末混凝土

GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准

GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准

GB/T 714 桥梁用结构钢

GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角头螺母、垫圈技术条件

GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉

GB/T 8923 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定

GB/T 18838 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理用金属磨料的技术要求

JTJ/T283 自密实混凝土应用技术规程

JTG E41 公路工程岩石试验规程

JTG E42 公路工程集料试验规程

JTG/T D64-01 公路钢混组合桥梁设计与施工规范

T/SDHTS XXXX-XXXX

JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

JTG/T 3364-02 公路钢桥面铺装设计与施工技术规范

JTG D50 公路沥青路面设计规范

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范

JTG F40 公路沥青路面施工技术规范

T/CCES 27 超高性能混凝土梁式桥技术规程

T/CBMF 37 超高性能混凝土基本性能与试验方法

T/CECS 10107 超高性能混凝土（UHPC）技术要求

TB 10091 铁路桥梁钢结构设计规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

Eurocode 3: Design of steel structures—Part 1-9: Fatigue

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本规程。

3.1

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

UHPC 是指具有超高强度、超高韧性、超高耐久性的纤维增强水泥基复合材料。

3.2

高温蒸汽养护 standard steam treating

浇筑的 UHPC 在高温、蒸汽环境中持续养护一段时间后达到强度等级，这一养护过程称为高温蒸汽养护。

3.3

UHPC 钢桥面铺装体系 ultra high performance concrete steel deck pavement system

UHPC 钢桥面铺装体系由桥面结构层和柔性铺装面层组成，UHPC 钢桥面顶面可铺设面层（沥青混凝土铺装层），如图 1 所示。

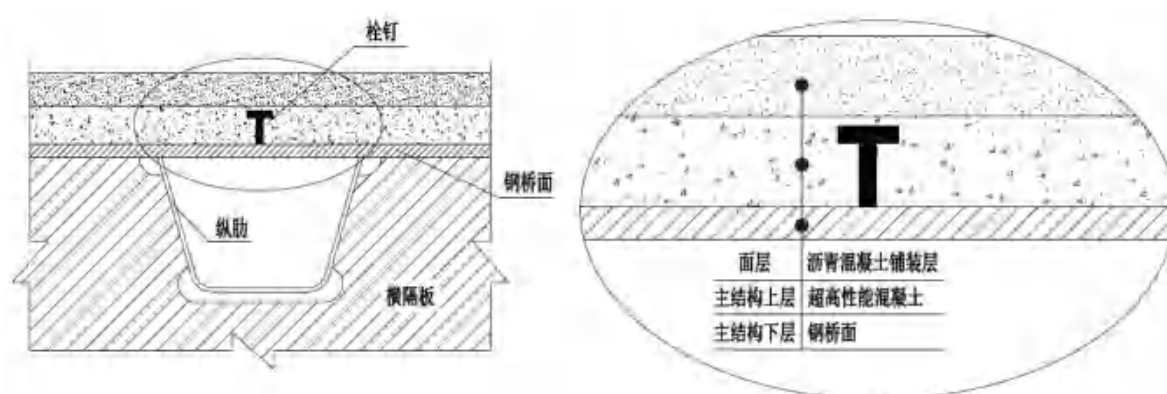


图 1 UHPC 钢桥面铺装结构示意图

3.4

桥面结构层 bridge deck structure course

桥面结构层由正交异性钢桥面板、超高性能混凝土层、栓钉和钢筋网组成，在 UHPC 钢桥面铺装体系起承重作用。

3.5

桥面结构下层 bridge deck structure lower course

桥面结构下层为正交异性钢桥面板层。

3.6

桥面结构上层 bridge deck structure upper course

桥面结构上层由超高性能混凝土层、栓钉和钢筋网组成。

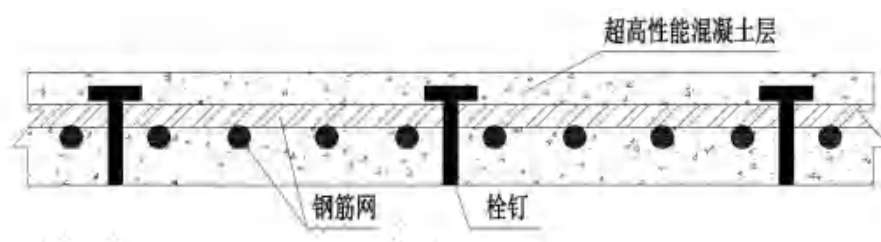


图 2 桥面结构上层示意图

3.7

面层 surface course

位于 UHPC 钢桥面铺装体系顶层的柔性铺装层，为钢桥面铺装体系的磨损层，简称面层。

3.8

防腐层 anti-corrosion coat

涂布在钢桥面顶板表面，防止钢板生锈腐蚀的界面薄层。

3.9

防水粘结层 waterproof-bonding layer

用于钢板与桥面结构上层之间，起界面联结作用，并能阻止水分对钢板侵蚀的层次。

3.10

缓冲层 cushioning layer

用于防水粘结层与保护层之间，具有一定厚度，起隔热、缓冲荷载、提供施工平台等作用的层次。

3.11

粘结层 tack coat

用于桥面结构上层与磨耗层之间，起粘结作用的层次。

4 材料

4.1 UHPC

4.1.1 UHPC 原材料应符合《活性粉末混凝土》GB/T 31387 的规定。

4.1.2 UHPC 的强度等级应按边长为 100mm 立方体试件的抗压强度标准值确定，立方体抗压强度标准值 f_{cu} 和轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 宜按《超高性能混凝土基本性能与试验方法》T/CBMF 37 试验方法进行测定。

4.1.3 UHPC 立方体抗压强度标准值 f_{cu} 、轴心抗压强度标准值 f_{ck} 和轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 应按表 1 采用。

表 1 UHPC 强度标准值

种类	UC100	UC120	UC140	UC160
f_{cu} (MPa)	100	120	140	160
f_{ck} (MPa)	70	84	98	112
f_{tk} (MPa)	4.8	5.8	6.7	7.7

4.1.4 UHPC 轴心抗压强度设计值 f_c 和轴心抗拉强度设计值 f_t 应按表 2 采用。

表 2 UHPC 强度设计值

种类	UC100	UC120	UC140	UC160
f_c (MPa)	48.2	57.5	67.5	77.2
f_t (MPa)	3.3	4.0	4.6	5.3

4.1.5 UHPC 受压或受拉时的弹性模量 E_c 宜按表 3 采用，当有可靠实验依据时， E_c 可按实测数据确定。

表 3 UHPC 弹性模量

强度等级	UC100	UC120	UC140	UC160
E_c ($\times 10^4$ MPa)	4.0	4.3	4.5	4.7

4.1.6 UHPC 的剪切模量 G_c 可按本规程表 3 数值的 0.4 倍采用；UHPC 的泊松比 ν 可采用 0.2；UHPC 线膨胀系数应按 $1.1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 采用。

4.1.7 UHPC 的轴拉性能可分为应变软化型、低应变硬化型和高应变硬化型。

4.1.8 纤维取向系数 K 宜通过《超高性能混凝土梁式桥技术规程》T/CCES 27 中的方法进行测定，若无实测数据，整体纤维取向系数 K_{global} 取 1.25，局部纤维取向系数 K_{local} 取 1.75。

4.1.9 UHPC 的工作性能，按照水泥净浆流动度试验，流动度不宜小于 180mm，且应符合《自密实混凝土应用技术规程》JTJ/T283 的规定。

4.1.10 UHPC 的收缩应变计算应符合下列规定：

- 采用高温蒸汽养护的 UHPC，养护结束后的 UHPC 收缩应变可取零；
- 采用标准常温养护（环境温度 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度大于 95%）的 UHPC，其收缩应变宜通过试验确定。

4.1.11 UHPC 的徐变系数应符合以下规定：

- 采用高温蒸汽养护的 UHPC，养护结束后的 UHPC 徐变系数可取 0.2；
- 采用标准常温养护（环境温度 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度大于 95%）的 UHPC，其徐变系数可取 0.8。

4.1.12 不同环境类别和作用等级下，设计使用年限为 100 年的 UHPC 桥涵结构和构件，其耐久性设计指标应符合相应规范规定。

4.2 普通钢筋

4.2.1 普通钢筋应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢第1部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1、《钢筋混凝土用钢第2部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2、《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB/T 13014的规定。

4.3 钢材

4.3.1 采用UHPC钢桥面铺装体系的钢主梁钢材的技术条件应符合GB/T 714的规定。

4.3.2 钢主梁及连接件使用的高强螺栓应满足：

- a) 高强度螺栓、螺母、垫圈的技术条件应符合GB/T 1231的规定；
- b) 高强度螺栓的预拉力设计值 P_d 应按TB 10091的相关规定取用；
- c) 高强度螺栓连接的钢材摩擦面抗滑移系数应大于0.45。

4.3.3 构件中设置的栓钉应符合GB/T 10433中的圆柱头焊钉的相关规定。

4.4 粘结层

粘结层材料宜采用环氧树脂粘结剂、环氧沥青粘结剂、高粘高弹沥青粘结剂等。环氧树脂粘结剂、环氧沥青粘结剂材料的主要性能指标及要求除应符合现行行业标准《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》JTG/T 3364-02外，还应符合表4及表5的规定；高粘高弹沥青除应符合现行国家标准《高粘高弹道路沥青》GB/T 30516，还应符合表6的要求；

表4 环氧树脂粘结剂粘层材料技术指标

项目	单位	环氧树脂粘结剂	试验方法
粘结强度（与UHPC，23℃）	Mpa	≥ 3.0	GB 50728
粘结强度（与UHPC，60℃）	Mpa	≥ 1.5	
粘结强度（与保护层，25℃）	环氧沥青混合料	Mpa	≥ 1.5
	改性沥青混合料	Mpa	≥ 1.0

表5 环氧沥青粘结剂粘层材料技术指标

试验项目	单位	技术要求	试验方法
复合试件层间剪切强度	23±2℃	Mpa	≥ 1.20
	60℃	Mpa	≥ 0.50
粘结强度（与UHPC层）	23±2℃	Mpa	≥ 1.50
	60℃	Mpa	≥ 0.70

表 6 高粘高弹沥青粘结剂粘层材料技术指标

试验项目		单位	技术要求	试验方法
复合试件层间剪切强度	23±2℃	Mpa	≥0.80	JTG/T3364-02
	60℃	Mpa	≥0.35	
粘结强度（与 UHPC 层）	23±2℃	Mpa	≥0.6	
	60℃	Mpa	≥0.20	

4.5 集料及填料的技术要求

4.5.1 一般要求

- a) 集料和填料必须首先满足《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 中的相关规定。
- b) 集料必须选用坚硬、致密、洁净、耐磨、颗粒形状较好，并与高分子聚合物有较好黏结性能的硬质石料；石料表面应 100% 为破碎面，形状宜为立方体。

4.5.2 粗集料采用粒径大于 2.36mm 的硬质石料，硬质石料原材料破碎后颗粒形状近似立方体，不得采用颚式破碎机加工，并符合表 7 的要求。

表 7 粗集料技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
抗压强度	MPa	≥120	JTG E41 /T 0221
洛杉矶磨耗值	%	≤22.0	JTG E42 /T 0317
压碎值	%	≤12	JTG E42 /T 0316
视密度	g/cm ³	≥2.65	JTG E42 /T 0308
吸水率	%	≤1.0	JTG E42 /T 0308
针片状含量	%	≤5	JTG E42 /T 0312
软石含量	%	≤1	JTG E42 /T 0320
坚固性	%	≤5.0	JTG E42 /T 0314
小于 0.075mm 颗粒含量（水洗法）	%	≤0.8	JTG E42 /T 0310
磨光值	—	≥48	JTG E42 /T 0321

4.5.3 细集料采用粒径在 2.36mm 与 0.075mm 之间的硬质石料，其技术要求应符合表 8 的规定。

表 8 细集料技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
吸水率	%	≤1.0	JTG E42 /T0330
视密度	g/cm ³	≥2.80	JTG E42 /T0330
坚固性	%	≤5.0	JTG E42 /T0340
砂当量	%	≥65	JTG E42 /T0334
亚甲蓝值	g/kg	<25	JTG E42 /T0349
小于 0.075mm 颗粒含量（水洗法）	%	≤2.0	JTG E42 /T0333

4.5.4 填料宜采用经磨制的硬质石料矿粉，不得含泥土、杂质和团料，要求干燥、洁净，其质量应符合表 9 的技术要求。

表 9 填料（矿粉）技术要求

试验项目		单位	技术要求	试验方法
视密度		g/cm^3	≥ 2.50	JTG E42 /T0352
外观		—	无团粒结块	目测
亲水系数		—	< 1	JTG E42 /T0353
含水率		%	$\leq 1\%$	JTG E42 /T0343
加热安定性		—	不变质	JTG E42 /T0355
粒度范围	0.3mm	%	≥ 90	JTG E42 /T0351
	0.15mm			
	0.075mm		≥ 80	
塑性指数			< 4	JTG E42 /T0354

4.6 沥青混合料

4.6.1 改性沥青混合料应按现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）中规定的级配，采用马歇尔试验方法进行配合比设计，其性能应符合规范的要求。

4.6.2 SMA 中的纤维掺量以纤维占混合料质量百分率计算，木质素纤维掺量宜为 0.3%~0.4%，聚合物纤维掺量宜为 0.2%~0.3%。

4.6.3 构成铺装的各类材料除满足《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）所规定的性能要求外，作为铺装结构体系的组成部分，还必须满足交通荷载作用于铺装结构体系时对材料的协同变形性能要求，以及各种结构层的配伍性要求，以期适应铺装结构在交通荷载作用下铺装与钢板之间的有效连接，并确保铺装表面层不产生裂缝。

4.6.4 沥青混合料中掺加的纤维稳定剂可用除石棉纤维以外的木质素纤维、矿物纤维、化学合成纤维。其中木质素纤维、矿物纤维的性能应满足我国现行《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）规定。化学合成纤维应满足《路桥用材料标准九项》（JT/T534）中的相关技术要求。纤维掺加量以占混合料总质量的质量百分率计算，木质素纤维掺量宜为 0.3%~0.5%，矿物纤维掺量宜为 0.4%~0.6%，化学合成纤维掺量宜为 0.2%~0.3%。

4.6.5 采用外径 $\varnothing$ 10~12mm 的螺旋排水管，用以排除铺装边缘桥面板上的层间水。由不锈钢金属材料或其他不锈蚀材料制成，应具有一定的伸缩性及弹性。

5 结构及构造基本要求

5.1 一般规定

5.1.1 桥梁的安全等级应根据结构的重要性、结构破坏可能产生后果的严重性按表 10 采用。

表 10 设计安全等级

设计安全等级	破坏后果	适用对象
一级	很严重	(1) 各等级公路上的特大桥、大桥、中桥； (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	(1) 三、四级公路上的小桥 (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涵洞
三级	不严重	三、四级公路上的涵洞

a) 表中所列特大、大、中桥等系按现行规范《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。

b) 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。

5.1.2 UHPC 钢桥面结构应按持久状况承载能力极限状态，进行承载能力计算，其作用（或荷载）组合应采用基本组合，结构材料性能应采用其强度设计值。

5.1.3 UHPC 钢桥面结构应按持久状况正常使用极限状态进行计算，裂缝宽度验算的作用（或荷载）组合应符合现行《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，挠度和连接件滑移验算的作用（或荷载）组合应符合现行《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG/T D64-01) 的规定。

5.1.4 UHPC 钢桥面结构应进行疲劳计算，计算中仅考虑疲劳荷载。

5.1.5 UHPC 钢桥面结构的计算应按第一、第二和第三体系考虑，并对计算结果进行线性叠加。

a) 第一体系：UHPC 钢桥面结构作为钢主梁全截面的上翼缘，承受整体荷载，称为“主梁体系”；

b) 第二体系：UHPC 桥面结构上层与正交异性钢面板共同形成支撑在主梁腹板、横隔板上的桥面板，承受车辆局部荷载，称为“桥面体系”；

c) 第三体系：UHPC 桥面结构上层与钢面板共同形成支撑在桥面纵向加劲肋上的连续组合板，板体承受车轮的局部荷载，称为“面板体系”。

其中，第一体系按整体受力计算，第二和第三体系按局部受力计算。

5.1.6 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁的耐久性应符合 GB50917 的有关规定。

5.1.7 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁的抗倾覆稳定计算应按照 JTGD64 中相关条文进行。

5.1.8 UHPC 层厚度不宜小于 45mm，UHPC 中钢筋网的设置应符合：

- a) UHPC 保护层厚度不应小于 10mm；
- b) 钢筋直径不宜小于 10mm，钢筋中心间距可采用 100mm，受力复杂区可进行加密；
- c) 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。接头布置应符合 JTG 3362 的相关规定；
- d) 加密钢筋避免在加劲肋附近截断；
- e) 钢筋纵横双向布置，横桥向钢筋置于上层；
- f) UHPC 层中钢筋的最小配筋率应符合：1) 钢筋配筋率应按面积率计算；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%。

5.2 结构设计要求

5.2.1 UHPC 钢桥面铺装设计应综合考虑桥梁结构特点、交通荷载、环境气候、施工条件、恒载限制等因素，参考类似条件的桥面铺装工程经验进行。

5.2.2 常用的组合桥面铺装有 2 种方案，方案 1 为面层为 30mm 厚 SMA10，下层为 45mm 厚 UHPC，钢板厚度为 14~20mm。方案 2 为面层为 30mm 厚 SMA10，下层为 55mm 厚 UHPC，钢板厚度为 12~16mm。2 种铺装方案横断面布置如图 3 所示。

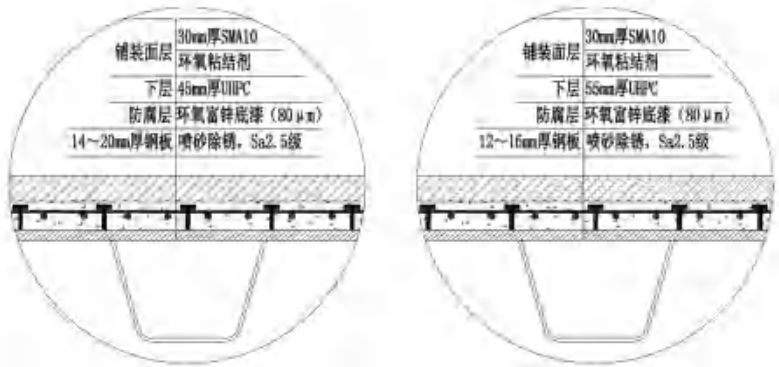


图 3 铺装方案横断面布置示意图

5.2.3 交通荷载分级标准应符合《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）等有关规范的规定。

5.2.4 铺装结构设计应按图 4 中顺序进行：

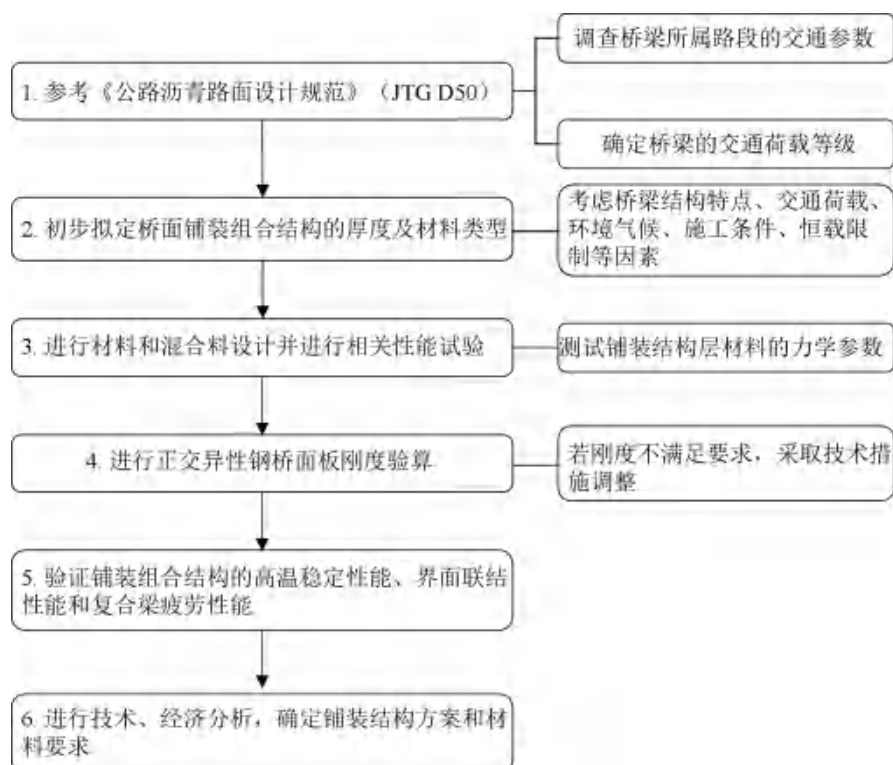


图 4 铺装结构设计流程

5.2.5 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁的钢梁指含有正交异性钢桥面板的钢主梁，钢主梁的形式有钢箱梁、钢桁梁。

5.2.6 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁应对其构件及连接件进行下列验算：

- a) 按承载能力极限状态的要求进行持久状况及偶然状况的承载力、整体稳定计算；
- b) 按正常使用极限状态的要求进行持久状况的抗裂性、应力、挠度验算，以及耐久性设计；
- c) 按短暂状况结构受力状态的要求进行施工等工况的验算。

5.2.7 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁中，组合桥面板的有效宽度应按照 JTG/TD64-01 的相关规定进行计算。

5.2.8 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁的温度作用应按下列规定计算：

a) 计算 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁由于均匀温度作用引起的外加变形或约束变形时，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可按 JTG D60 取值，材料线膨胀系数按照 4.1.6 条的规定取值；

b) 计算 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁由于梯度温度引起的效应时，应采用图 5 所示的竖向温度梯度分布形式。温度梯度取值按照公式（1）及（2）进行。

升温时， T_2 按照式（1）计算：

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

式中：

h_c ——UHPC 桥面上层的厚度（mm）。

降温时， T_2 按照式（2）计算：

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

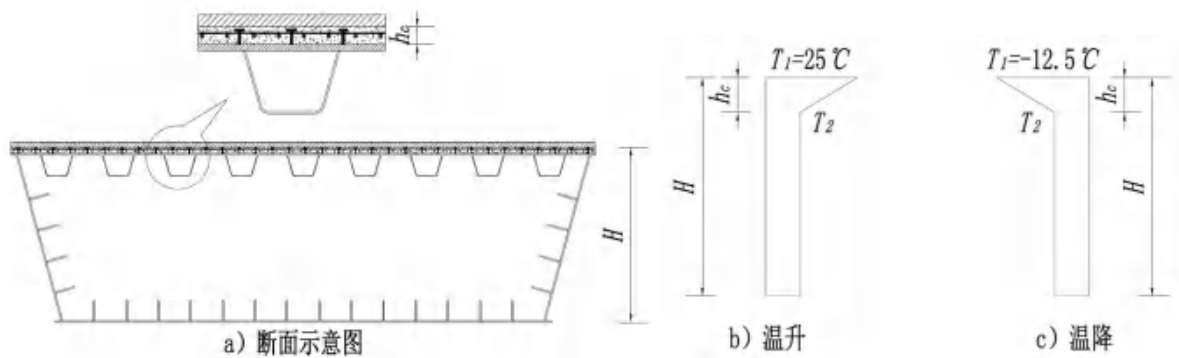


图 5 温度梯度计算图示

5.2.9 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁的设计计算除应符合本文件的规定外，还应符合 JTGD60、JTG/TD64-01、JTG 3362 中的相关规定。

5.2.10 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁的 UHPC 收缩徐变的计算应符合下列规定：

- a) UHPC 收缩效应按本规程 4.1.10 及 JTG 3362 中的相关规定执行；
- b) UHPC 徐变效应按本规程 4.1.11 执行，在进行整体计算时，可采用调整钢材与 UHPC 弹性模量比的方法考虑其徐变的影响，超静定结构 UHPC 收缩徐变所引起的效应，可采用有限元方法计算。

5.2.11 接缝形式可采用燕尾榫式，内部钢筋网接头宜错开布置。UHPC 分段浇筑时，接缝宜设置在受压区或拉应力较小的区域，且应满足：

- a) 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；
- b) 对于纵向接缝，结合车道、腹板（或纵向加劲肋）位置进行布置。

5.2.12 其它构造要求

- a) 钢梁结合面在浇筑（或安装）混凝土桥面板前应清除铁锈、焊渣、冰层、积雪、泥土和其他杂物；
- b) 钢梁结合面边缘 30mm 范围内应进行防腐涂装；
- c) UHPC 表面应做糙化处理，可采用抛丸法；
- d) 面层类型应根据桥梁实际情况设置，且应满足 JTGD50 的要求。UHPC 层与面层之间应设置防水粘结层，并通过结构分析和试验确定防水粘结层方案。

6 结构设计计算

6.1 持久状况承载能力极限状态设计

6.1.1 一般规定

6.1.1.1 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，按分项系数的表达式进行设计。

6.1.1.2 UHPC 钢桥面铺装体系的承载能力极限状态计算应采用下式（3）计算：

$$\gamma_0 S_{ud} \leq R \quad (3)$$

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 UHPC 钢桥面铺装体系桥梁应分别取不小于 1.1、1.0；

S_{ud} ——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。

6.1.1.3 持久状况下，UHPC 钢桥面结构的应力验算应符合下列规定：

- a) UHPC 桥面上层正截面的最大压应力不宜大于 $0.5f_{ck}$ 。
- b) 钢结构应力不应大于 75% 的强度设计值，且应满足稳定的要求。

6.1.1.4 组合桥面结构的作用效应计算应按弹性方法进行计算。

6.1.2 强度计算

6.1.2.1 强度计算中，整体和局部受力计算荷载均应按现行《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定取值。

6.1.2.2 组合桥面结构抗弯承载力验算应符合下列规定：

- a) 整体受力状态下的正应力应采用线弹性方法，按式（4）计算：

$$\sigma_{\text{global}} = \sum_{i=1}^{\text{II}} \frac{M_{d,i}}{W_{\text{eff},i}} \quad (4)$$

式中：

σ_{global} ——整体受力状态下的正应力（MPa）；

i ——变量，表示不同的应力计算阶段，其中， $i=1$ 表示未形成组合桥面结构的应力计算阶段， $i=2$ 表示形成组合桥面结构之后的应力计算阶段；

$M_{d,i}$ ——对应不同应力计算阶段，作用于钢梁或组合梁的弯矩设计值（N·mm）；

$W_{\text{eff},i}$ ——对应不同应力计算阶段，钢梁或组合梁的抗弯模量（ mm^2 ）；

b) 局部受力状态下的正应力 σ_{local} 应采用线弹性方法，进行有限元计算。

c) 应按式（5）计算考虑整体和局部叠加后的正应力。

$$\sigma = \sigma_{\text{global}} + \sigma_{\text{local}} \tag{5}$$

式中：

σ ——组合桥面结构相应计算方向上考虑整体和局部叠加效应后的正应力（MPa）。

d) 应按式（6）验算抗弯承载力：

$$\gamma_0 \sigma \leq f \tag{6}$$

式中：

σ ——组合桥面结构考虑整体和局部叠加后的应力（MPa）；

f ——钢筋、钢梁及 UHPC 的强度设计值（MPa），其中 UHPC 轴心抗压强度设计值按表 2 采用，钢筋和钢梁的强度设计值分别按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362、《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 的规定取值；

γ_0 ——桥涵结构重要性系数，应按现行《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 规定的结构设计安全等级采用，对应于设计安全等级为一级、二级、三级的桥涵结构，分别取 1.1、1.0、0.9。

6.1.3 稳定性计算

6.1.3.1 在 UHPC 钢桥面结构中，当钢桥面板的纵向加劲肋采用闭口肋时，无须进行整体稳定计算；当加劲肋为开口肋时（如倒 T 型钢、角钢等形式），若开口纵向加劲肋受压翼缘的自由长度 l_1 与其总宽度 b_1 的比值超过了表 11 规定的数值时，应进行整体稳定计算。

表 11 开口纵向加劲肋不需要计算稳定的最大 l_1/b_1 值

钢种	跨中无侧向支承点的梁	跨中有侧向支承点的梁
Q235q、Q235	13.0	16.0
Q345q、Q355	10.5	13.0
Q370q、Q390	10.0	12.5
Q420q、Q420	9.5	12.0
注 1： l_1 为受压翼缘侧向支点间的距离，即两道相邻横隔板的间距；		
注 2： b_1 为开口纵向加劲肋受压翼板的宽度。		

6.1.3.2 施工阶段的 UHPC 钢桥面结构，在 UHPC 桥面上层未硬化前，应对钢主梁进行整体稳定计算。

6.1.3.3 钢主梁与 UHPC 层结合后，当受负弯矩作用的 UHPC 钢桥面结构需要进行整体稳定计算时，其整体稳定可按下列公式（7）～（11）进行计算：

$$\gamma_0 M_d \leq \chi_{LT} M_{Rd} \quad (7)$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ 且 } \chi_{LT} \leq 1 \quad (8)$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT}^2 - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (9)$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} \quad (10)$$

$$M_{Rk} = W_n f_y \quad (11)$$

式中：

M_d ——UHPC 钢桥面结构中弯矩设计值（N·mm）；

M_{Rd} ——UHPC 钢桥面结构截面抗弯承载力（N·mm）；

χ_{LT} ——超高性能轻型组合桥面结构侧扭屈曲的折减系数；

ϕ_{LT} ——计算过程中简写符号；

λ_{LT} ——换算长细比；

α_{LT} ——缺陷系数，可按表 12 取值；

M_{Rk} ——采用材料强度标准值计算的组合梁截面抗弯承载力（N·mm）；

M_{cr} ——超高性能轻型组合桥面结构侧扭屈曲弹性临界弯矩（N·mm）；

f_y ——钢材的屈服强度（MPa）；

W_n ——组合截面的净截面模量（mm³）。

表 12 缺陷系数 α_{LT}

屈曲曲线类型	a	b	c	d
缺陷系数 α_{LT}	0.21	0.34	0.49	0.76

6.1.4 疲劳计算

6.1.4.1 UHPC 钢桥面结构桥梁的疲劳验算尚应符合国家相关行业标准的有关规定，本节未包含的疲劳验算细则可参考《Eurocode 3: Design of steel structures—Part 1-9: Fatigue》的有关规定。

6.1.4.2 UHPC 钢桥面结构的疲劳计算应符合下列规定：

- a) 正交异性钢桥面板、连接件、UHPC 层应进行疲劳验算。
- b) 组合桥面结构疲劳验算应采用弹性分析方法计算。

6.1.4.3 UHPC 钢桥面结构疲劳可按名义应力法计算。

6.1.4.4 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) 的规定。

6.1.4.5 正交异性钢桥面板、焊钉以及焊接钢筋网连接件的疲劳强度应按现行《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64) 的规定取用。

6.1.4.6 疲劳验算主要采用交通荷载，必要时还应考虑恒载、温度、风等其他荷载的共同作用。

6.2 正常使用极限状态验算

6.2.1 一般规定

6.2.1.1 UHPC 钢桥面铺装体系的正常使用极限状态验算应采用公式 (12)：

$$S_{sd} \leq C \tag{12}$$

式中：

S_{sd} ——正常使用极限状态作用（或荷载）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。

6.2.1.2 正常使用极限状态应符合下列规定：

a) 对短期挠度验算及混凝土结构抗裂验算，作用（或荷载）应采用现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60) 中短期效应组合；对长期挠度验算，作用（或荷载）应采用现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60) 中长期效应组合；计算值不得超过本规范规定的各相应限值。

b) 应力验算的作用（或荷载）应采用标准组合。其中，汽车荷载应计入冲击系数。

c) 对连续梁等超静定结构，尚应计入由预加力、混凝土收缩徐变、基础不均匀沉降以及温度

变化等引起的次效应。

6.2.1.3 UHPC 钢桥面铺装体系的正常使用极限状态应符合下列规定：

- a) 对 UHPC 层抗裂验算及挠度验算，作用（或荷载）应采用《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）中短期效应组合，汽车荷载效应可不计冲击系数；
- b) 挠度及应力计算应考虑施工顺序的影响；
- c) 对连续梁等超静定结构，尚应计入由超高性能混凝土层收缩、徐变、基础不均匀沉降以及温度变化等引起的次效应。

6.2.1.4 UHPC 钢桥面铺装体系弹性阶段的计算可采用下列基本假定：

- a) 钢与 UHPC 层均为理想线弹性体；
- b) 铺装体系弯曲时，超高性能混凝土层与钢主梁形成的组合截面符合平截面假定，材料服从虎克定律。

6.2.1.5 为了便于分析，UHPC 钢桥面铺装体系的设计计算可分成三个基本结构体系进行计算：

- a) 第一体系：由超高性能混凝土层、顶板和纵肋组成的结构体系看成是主梁（桥梁主要承载构件）的一个组成部分，参与主梁共同受力，称为主梁体系；
- b) 第二体系：由纵肋、横肋、顶板和 UHPC 层组成的结构体系，将 UHPC 层和顶板作为纵肋、横肋上翼缘的一部分。第二结构体系起到了桥面系结构的作用，把桥面上的荷载传递到主梁和刚度较大的横梁，称为桥面体系；
- c) 第三体系：把设置在肋上的顶板和 UHPC 层看成各向同性的连续板，这个板直接承受作用在肋间的轮载，同时把轮载传递到肋上，称为盖板体系。

6.2.1.6 在本节中未涉及的内容应符合 JTGD60、JTG 3362、JTG/T D64-01、GB50917 中桥梁设计计算相关条文的规定。

6.2.2 UHPC 桥面上层抗裂验算

6.2.2.1 超高性能混凝土组合桥面结构中 UHPC 层顶面的最大裂缝宽度限定为 0.05mm，设计中应对 UHPC 层进行抗裂验算。

6.2.2.2 当施工中需要对 UHPC 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。

6.2.2.3 在正常使用极限状态下，组合桥面结构负弯矩区 UHPC 层表面的最大裂缝宽度按式（12）～式（14）计算：

$$\omega_{s\max} = \alpha_{cr} \varphi \frac{\sigma_{ss}}{E_r} (1.06c_s + 0.152 \frac{d_s}{\rho_{te}}) \frac{y_0 - h_{td}}{y_0 - h_{td} - h_r} \quad (12)$$

$$\varphi = 1.1 - 0.12 \frac{f_{td}}{\rho_{te} \sigma_{ss}} \tag{13}$$

$$\rho_{te} = \frac{A_r}{A_{te}} \tag{14}$$

式中：

- ω_{smax} ——UHPC 表面的最大裂缝宽度（mm）；
- α_{cr} ——构件受力特征系数，按表 13 采用；
- φ ——裂缝间受拉钢筋应变不均匀系数，当 $\varphi < 0.2$ 时,取 $\varphi = 0.2$;当 $\varphi > 1.0$ 时,取 $\varphi = 1.0$;
- σ_{ss} ——按作用（或荷载）频遇组合计算的 UHPC 层中钢筋拉应力（MPa）；
- E_r ——钢筋的弹性模量（MPa）；
- c_s ——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）；
- ρ_{te} ——按有效受拉 UHPC 截面面积计算的受拉钢筋配筋率；
- A_r ——受拉区钢筋截面面积（mm²）；
- A_{te} ——有效受拉 UHPC 截面面积（mm²）；
- d_s ——验算方向上（纵桥向或横桥向）受拉区钢筋直径（mm）；
- f_{td} ——不配筋 UHPC 的轴拉强度设计值（MPa）；
- 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）,即拉应力在 $0 \sim f_{td}$ 之间的高度；
- h_r ——受拉钢筋重心位置至受拉 UHPC 上表面的距离（mm）。

表 13 构件受力特征系数

UHPC 桥面上层受力方向	α_{cr}
横桥向	1.6
纵桥向	1.8

6.2.2.4 由于接缝处 UHPC 层的抗裂能力相对较弱，宜将接缝设置在低拉应力的位置，横向接缝应设置在两横隔板之间，如图 6 所示，纵向接缝应设置在两纵肋之间。

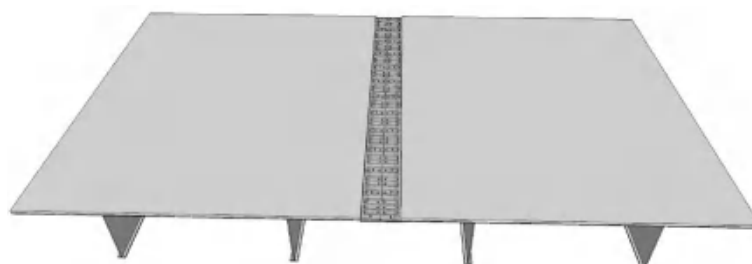


图 6 UHPC 桥面铺装接缝应设置在低应力区

6.2.3 挠度验算

6.2.3.1 UHPC 钢桥面铺装结构桥梁的整体挠度应按照《钢-混凝土组合桥梁设计规范》（GB50917-2013）中第 6.3 节计算。

6.2.3.2 UHPC 钢桥面铺装结构的局部挠度应按照图 7 的加载模式计算，且计算结果应满足以下要求：

- a) UHPC 钢桥面铺装结构在纵肋间的相对挠度不应超过 0.2mm；
- b) UHPC 钢桥面铺装结构的变形曲率半径不小于 40m。

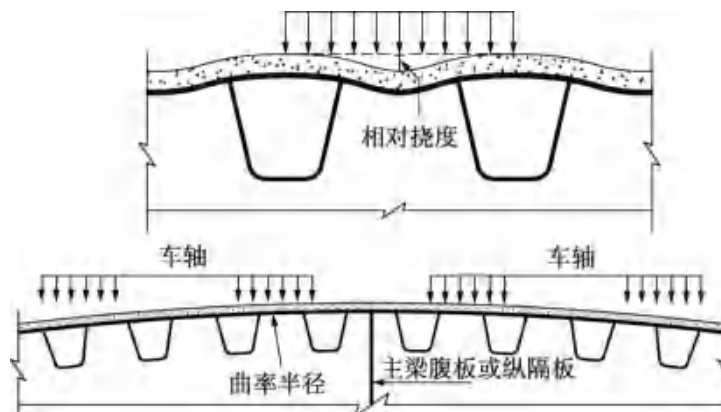


图 7 局部挠度验算加载示意图

6.3 持久状况及短暂状况应力验算

6.3.1 进行持久状况构件应力计算时，作用（或荷载）取其标准值，车辆荷载应考虑冲击系数。构件应力计算应计入施工顺序的影响。对于连续梁等超静定结构，应计入温度作用、支座沉降等引起的次效应。

6.3.2 对短暂状况的设计，应计算构件在制作、运输及安装等施工阶段由自重、施工荷载等引起的应力，并不应超过本节规定的限值。施工荷载除有特别规定外，均采用标准组合；温度作用效应可按施工时实际温度场取值；动力安装设备产生的效应需乘以相应的动力系数。

6.3.3 持久状况下，钢-混凝土组合结构的应力验算应符合下列规定：

- a) 混凝土构件正截面的最大压应力不宜大于 $0.50f_{ck}$ 。
- b) 钢结构应力不应大于 75% 的强度设计值，且应满足稳定的要求。

6.3.4 短暂状况下，钢-混凝土组合结构的应力验算应符合下列规定：

- a) 混凝土构件正截面的最大压应力不宜大于 $0.70f_{ck}$ 。
- b) 钢结构应力不应大于 80% 的强度设计值，且应满足稳定的要求。

7 抗剪连接件

7.1 一般规定

7.1.1 UHPC 抗剪连接件的选用应保证钢梁和 UHPC 层有效组合并共同承担作用。

7.1.2 UHPC 的抗剪连接件宜采用栓钉，也可采用开孔板、槽钢连接件，或有可靠依据的其他类型连接件。

7.1.3 钢-混凝土组合梁正常使用极限状态下，单个抗剪连接件承担的剪力设计值不应超过 75% 的抗剪承载力设计值。

7.1.4 抗剪连接件应能抵抗 UHPC 层和钢主梁之间的水平剪力和掀起作用，并对结合面上的纵横向水平剪力进行验算。

7.2 抗剪承载力计算

7.2.1 单个栓钉连接件的抗剪承载及疲劳计算参照《钢-混凝土组合桥梁设计规范》(GB50917-2013) 进行。

7.2.2 为确保 UHPC 层与钢桥面板形成牢固的组合作用，确保在车轮荷载下的局部正弯矩区域 UHPC 层底面的最大拉应力不得超过其轴拉强度（不考虑配筋），当不能满足要求时，应对剪力连接件进行加密，重新计算直至满足要求，计算的作用（或荷载）的效应组合应采用现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60) 中的基本组合。

7.3 构造要求

桥梁的钢桥面板厚度不宜小于 12mm，当厚度低于 12mm 时应进行专题研究。钢桥面板应作防腐处

理。栓钉的设置应符合：

- a) 栓钉的钉柱直径不宜小于 13mm，一般情况采用 19mm；
- b) 栓钉的布置形式可为矩阵式布置；
- c) 栓钉间距应满足抗剪承载力及疲劳要求，并结合加劲肋几何尺寸布置，一般情况下纵横向布设间距为 300mm；尽量避免栓钉布设在横隔板、腹板及加劲肋的顶面，最小距离不小于 20mm。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 桥面铺装施工应进行施工组织设计，并保证合理的施工工期。

8.1.2 桥面铺装施工前应建立质量保证体系和质量管理体系。

8.1.3 施工安全应符合下列规定：

- a) 施工前应制定安全生产管理制度和突发事件应急预案，建立安全生产管理体系；
- b) 沥青拌和站和施工现场应按相关规定设置消防设施，防腐层和防水粘结层施工时严禁烟火；
- c) 施工人员应得到必要的劳动保护，有高空坠落危险的地段应设置防护网，桥面铺装施工期间当其他工序施工存在坠落物危险时，应在该部位设置警示标志，必要时应暂停施工。

8.1.4 施工前应建立健全环保管理体系，制定保护环境、节能减排和文明施工的实施方案，减少工程施工过程中对环境的污染。

8.1.5 桥面铺装施工宜避开雨季，严禁在下雨、下雪、结露等不利气候条件下施工。

8.1.6 喷砂除锈、防腐层和防水粘结层施工环境温度应不低于 10℃且钢板表面温度应高于空气露点 3℃以上，露点应依据相对湿度和环境温度对照附录 A 确定，空气相对湿度应不高于 85%。

8.1.7 施工前应对机械设备、试验仪器等进行全面的检查、调试、校核、标定、维修和保养。主要施工机械的易损零部件应有适量储备。施工过程中应对所用的各种机具、设备定期进行检查，确保其处于完好状态。

8.1.8 桥面铺装施工宜全桥封闭，应避免与可能污染铺装界面的其他工序交叉施工。各工序施工时应保持基面清洁干燥，不得有水分或油污残留。已施工完毕的区域应进行保护，严禁油脂和杂物等污染。

8.1.9 每道工序完工后应按规定进行质量检查，合格后才能进入下道施工工序。经检查不合格时应返工。

8.1.10 铺装结构层施工应避免设置施工缝。当无法避免时，横向施工缝应距横肋或横梁位置 1m 以上，且磨耗层和保护层的横缝应错开 1m 以上；纵向接缝应距纵腹板位置 30cm 以上，且上下层的纵缝应错开 30cm 以上。

8.2 表面除锈及防腐层施工

8.2.1 对于新建和较大面积翻修的钢桥面铺装工程，其钢桥面板应进行喷砂除锈处理。小面积维修和无法进行机械喷砂除锈的桥梁，其钢桥面板可采用打磨等其他工艺进行除锈处理。

8.2.2 喷砂除锈前应先用工具打磨平整钢桥面板表面锐边、飞溅、不光滑焊缝等缺陷。

8.2.3 喷砂除锈前应全面调查记录全桥锈蚀、污染状况，被油脂污染的钢板表面除锈前应采用溶剂法或碱洗法去除油污。在钢桥面板锈蚀较严重的地方，应按 GB/T 8923 标准以铁氰化钾试纸测试，以无蓝点视为合格。

8.2.4 行车道喷砂除锈应采用全自动无尘喷砂设备，桥面边角部位、吊索区等特殊部位可采用手持压缩空气喷砂设备施工。

8.2.5 喷砂除锈用金属磨料应符合《涂覆涂料前钢材表面处理》(GB/T 18838) 的有关规定，应采用颗粒形状为丸粒和砂粒的金属磨料配合使用，其比例应视粗糙度要求、钢桥面板表面状况在施工前通过试验段确定。

8.2.6 喷砂除锈后的钢桥面板，其清洁度应达到 Sa2.5 级，粗糙度应达到 $60\sim 140\mu\text{m}$ ；人工小范围打磨工艺除锈的清洁度应达到 St3.0 级。

8.2.7 应在除锈后 4h 内完成钢桥面板上第一层涂层施工。

8.2.8 防腐层施工前应将防腐层材料充分搅拌均匀。

8.2.9 防腐层涂布应均匀，对于漏涂、龟裂、流坠、针眼和气泡等缺陷应及时修补。

8.2.10 防腐层表干前，严禁接触；实干前应采取措施防止受损，且应避免淋雨、浸水及其他介质污染。

8.3 栓钉焊接

8.3.1 对于新建钢桥，应对钢桥面板每个栓钉位置进行局部打磨，确保焊接处钢桥面板表面平整、光滑。

8.3.2 在焊接栓钉时，应符合：

- a) 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；

b) 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不小于 20mm，不应将栓钉直接焊接在拼接焊缝的顶面；

c) 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；

d) 焊接完成后，应清除杂物，保持桥面清洁；

e) 焊接完成后应按 GB10433 的要求对栓钉进行弯曲试验，防止焊接不牢固。

8.3.3 对于旧钢桥桥面铺装翻修施工，应在焊接栓钉前，清除原桥面铺装层，并应对钢桥面进行清洗与喷砂除锈。

8.3.4 应在焊接工作完成后，及时对钢桥面板进行涂装，涂装须均匀，涂装厚度和附着力应满足设计要求；当在工厂完成栓钉或剪力钉焊接与钢桥面板涂装时，应在混凝土浇筑前检查钢桥面板表面是否存在涂装脱落、漏涂之处，并及时加以补涂或重涂处理。

8.4 钢筋铺设

8.4.1 钢筋网搭接方式应符合设计要求，钢筋网安装过程中其它施工应满足 JTG 3362、JTGT50、JTG/TD64-01 的相关要求。

8.4.2 应在钢桥面上设置垫层钢筋或垫块等，采用相同强度超高性能混凝土材料制作垫块，保证钢筋网高度及保护层厚度满足设计要求。钢筋铺设完成后，应对钢筋网高度、间距等进行检查，避免施工中钢筋网的塌陷，同时保持钢筋网的清洁。

8.5 UHPC 面层施工

8.5.1 模板安装应做到连续且密封，模板接缝处应采取封堵措施。浇筑混凝土前，应对钢筋网与模板进行检查，验收合格后方可浇筑。

8.5.2 UHPC 应采用强制式搅拌机搅拌，搅拌机的转速不宜低于 40r/min，搅拌步骤应符合 GB/T 31387 的规定。

8.5.3 UHPC 的运输宜采用混凝土搅拌运输车或泵送方式输送，运输过程中应保证拌合物均匀，不产生分层、离析。

8.5.4 振捣梁长度应根据一次浇筑宽度选择，当一次浇筑宽度小于或等于 6m 时，可设置 2 根轨道，当一次浇筑宽度大于 6m 时，应设置不少于三根轨道，且相邻轨道间距宜大于 3m。

8.5.5 现场 UHPC 浇筑除应符合本标准 8.4 节的相关要求外，还应均匀连续。

8.5.6 布料摊铺时，应符合下列规定：

- a) 应按照自下往上、先低后高顺序浇筑；
- b) 布料机应匀速前进，混凝土材料应从泵车或料斗均匀转移至布料机。

8.5.7 UHPC 分块浇筑接缝施工应符合下列规定：

- a) 接缝宜采用企口缝，交界面应进行粗糙化处理；
- b) 接缝浇筑前，需清除接缝内杂物，并对交界面湿润处理；
- c) 接缝位置处应采用小型振平尺进行振捣及表面整平。

8.5.8 当 UHPC 需要进行振捣时，宜采用辅助振捣设备振动密实，既可采用小型振动棒，又可采用振平机，一般不宜采用插捣方式。当采用振平机时，应匀速紧跟布料，振捣操作应高频、低幅。

8.5.9 在摊铺之后，应紧跟进行第一次人工收光，在初凝前再进行第二次收光。

8.5.10 UHPC 养护主要分为常温养护和高温养护两种方式，若对 UHPC 有早强的要求，可考虑采用高温对其进行养护，养护过程中温度控制宜采用自动控制系统，蒸汽养护应符合现行国家标准 T 31387 的规定。

8.5.11 当采用钢-UHPC-沥青混凝土类组合铺装体系时，应在沥青铺装前对钢-UHPC 组合结构表面进行抛丸处理，粗糙度应符合设计要求。

8.6 粘结层施工

8.6.1 施工前应对工作面进行清洁处理，清除油污、水分及其他污染物。

8.6.2 粘结层材料在涂布前应采用动力搅拌器充分搅拌均匀。

8.6.3 如采用喷涂方式，喷涂前应对桥梁栏杆和其他易受喷涂飞溅影响的桥梁部位进行防护；喷涂作业时，当风速较大导致出现洒布斑痕，应采取有效的防风遮挡措施，风速大于 10m/s 时不得施工。

8.6.4 涂布应均匀，对于漏涂、龟裂、流坠、针眼和气泡等缺陷应及时修补。

8.6.5 当粘结层材料采用环氧树脂时，环氧树脂混合后应在要求的容留时间内完成涂布，超过容留时间，环氧树脂材料不能使用；在坡度较大的地段施工时，如因环氧树脂沿桥面流淌而导致胶膜厚度不均时，应对不均匀区域进行补涂处理。

8.6.6 当粘结层材料采用环氧沥青时，洒布作业开始前，应按要求对环氧沥青粘结剂材料进行预处理；洒布 48h 内应完成其上的保护层施工，如不能按时完成或受天气影响遭遇雨淋，应在摊铺面层之前按产品说明书中的规定进行补涂。

8.6.7 当前工序完成后，经现场检测各项指标满足要求后方可进行下道工序施工。

8.7 面层摊铺

8.7.1 面层摊铺施工应符合 JTGF40 的相关规定。

8.7.2 改性沥青 SMA、AC 施工应符合 JTGF40 的有关规定。当压实度达不到设计标准时，可采取提高施工温度 5~10℃或掺加降低改性沥青高温粘度的改性剂等措施。

8.7.3 改性沥青 SMA、AC 使用钢轮压路机碾压时，宜采用质量 10 吨以上的水平震荡压路机。SMA 用于磨耗层时不宜使用轮胎压路机碾压，当 SMA 用于保护层时，可采用轮胎压路机碾压。用于边角部位碾压时，宜采用质量约 2 吨的小型压路机。

9 质量控制、检验及验收

9.1 施工前应明确质量方针、质量目标和质量责任，实行严格的目标管理、工序管理与岗位责任制度。

9.2 质量控制和质量保证应贯穿整个施工过程，应对每个施工环节严格控制把关，出现问题时应及时纠正，严重时应停工整顿。

9.3 施工的原始记录、试验检测及计算数据、汇总表格、影像资料等应如实保存。对于返工的项目，返工前后的所有原始数据应如实记录，不得丢弃。

9.4 超高性能混凝土组合桥面结构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《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。

9.5 UHPC 检验

9.5.1 UHPC 进场前应进行进场检验，UHPC 正式施工时应进行现场检验。并应符合下列规定：

a) 预混料进场检验项目：是否受潮、是否漏料、保质期、合格证、包装规格，每 100t 相同配比的预混料检验不应少于 5 次；

b) 钢纤维不预混时，钢纤维的质量检验应符合国家现行标准 T31387 的相关规定，每 100t 钢纤维检验不应少于 1 次，钢纤维的取样应随机抽取。

c) UHPC 的现场检验时，应在施工现场随机采取。

9.5.2 UHPC 进场前应检测表 14 中所列的项目，各项指标应符合设计要求。

表 14 UHPC 进场检验项目

序号	材料性能 (28d 标准养护)	测试依据
1	抗压强度/MPa	GB/T31387 试件尺寸 100*100*100 (mm)

2	3d 抗压强度/MPa	GB/T31387
3	弹性段抗拉强度/MPa	T/CECS 10107
4	极限抗拉强度/MPa	T/CECS 10107
5	极限抗拉强度/弹性段抗拉强度	T/CECS 10107
6	极限拉伸应变/%	T/CECS 10107
7	弹性模量/GPa	GB/T31387
8	28 天收缩率	GB/T50082
9	初始坍落扩展度/mm	GB/T50080
10	1h 坍落扩展度/mm	GB/T50080

9.5.3 施工现场抽检：同一标段、同一配合比、同一生产批号材料情况下，每标段每浇筑 100m³ 且前后施工不超过一个月为一批进行抽检。每批取样检验不得少于 1 次，检验项目按表 14 的要求进行。

9.5.4 浇筑完成和保湿养护后的超高性能混凝土应均匀完好，不应有龟裂和收缩裂纹现象；预制拼装构件连接部位应衔接密实，无脱空、台阶现象。

9.5.5 UHPC 质量验收应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB50204）和《混凝土质量控制标准》（GB50164）的相关规定。

9.6 焊接栓钉检验

9.6.1 焊接栓钉的规格、技术性能应符合国家现行标准规定和设计要求。

9.6.2 焊接栓钉检测应符合表 15 中所列的项目。

表 15 焊接栓钉检验项目

项次	检查项目	允许偏差	检测方法和频率	要求
1	栓钉高度	≤3mm	钢尺测量，每 50m ² 检测 1 处	参照设计图纸
2	栓钉倾角	≤10°	钢尺及量角器测量，每 50m ² 检测 1 处	90°
3	栓钉间距	≤10mm	钢尺测量，每 50m ² 检测 1 处	参照设计图纸
4	焊缝可靠性	≤5%	重锤平击钉帽，每 50m ² 检测 1 处	97.5%

9.6.3 焊接栓钉外观应保证位置准确整齐，无错位；栓钉竖直无倾角；焊缝外形饱满，无气孔、夹渣、裂纹等缺陷。

9.7 钢筋网铺设检验

9.7.1 钢筋、焊条等品种、规格和技术性能需符合国家标准和设计要求，钢筋的冷拉调直、加工、弯制等操作应符合国家标准要求。

9.7.2 钢筋网铺设检测应符合表 16 中所列的项目。

表 16 钢筋网铺设检验项目

项次	检查项目	允许偏差 (mm)	检验方法和频率
1	钢筋搭接长度	≤ 10	钢尺测量，每 100m ² 检测 1 处
2	钢筋网高度	≤ 3	钢尺测量，每 100m ² 检测 1 处
3	钢筋网间距	≤ 10	钢尺或游标卡尺测量，每 100m ² 检测 1 处

9.7.3 钢筋网纵、横桥向间距均匀，钢筋搭接布置合理且位置错开，搭接长度满足要求，绑扎牢固，垫块布置合理且密度均匀。

9.8 质量面层施工检验

9.8.1 面层的外观鉴定要求：

- a) 面层厚度应均匀，压实紧密，无松散料，且不应出现泛油、裂缝、粗细料集中等现象，表面应无明显碾压轮迹；
- b) 边角位置的铺装层铺装应良好，且无脱空现象；
- c) 搭接处应紧密、平顺，不得有积水现象；
- d) 桥面应整体整洁干净，且应达到通车要求。

9.8.2 面层其余指标应满足 JTG F80/1、JTGD50、JTGF40 相关要求。

附录 A
(规范性)
露点温度查对表

表 A.1 露点温度查对表

环境温度 (℃)	相对湿度							
	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
5	—	—	—	—	—	—	1.8	3.5
6	—	—	—	—	—	—	2.8	4.5
7	—	—	—	—	—	1.9	3.8	5.5
8	—	—	—	—	—	2.9	4.8	6.5
9	—	—	—	—	1.6	3.8	5.7	7.4
10	—	—	—	—	2.6	4.8	6.7	8.4
11	—	—	—	—	3.5	5.7	7.7	9.4
12	—	—	—	1.9	4.5	6.7	8.7	10.4
13	—	—	—	2.8	5.4	7.7	9.6	11.4
14	—	—	—	3.7	6.4	8.6	10.6	12.4
15	—	—	1.5	4.7	7.3	9.6	11.6	13.4
16	—	—	2.4	5.6	8.2	10.5	12.6	14.4
17	—	—	3.3	6.5	9.2	11.5	13.5	15.3
18	—	—	4.2	7.4	10.1	12.4	14.5	16.3
19	—	1.0	5.1	8.4	11.1	13.4	16.4	18.3
20	—	1.9	6.0	9.3	12.0	14.4	16.4	18.3
21	—	2.8	6.9	10.2	12.9	15.3	17.4	19.3
22	—	3.6	7.8	11.0	13.9	16.3	18.4	20.3
23	—	4.6	8.7	12.0	14.8	17.2	19.4	21.3
24	—	5.4	9.6	12.9	15.8	18.2	20.3	22.3
25	0.5	6.2	10.5	13.9	16.7	19.2	21.3	23.2
26	1.3	7.1	11.4	14.8	17.6	20.2	22.3	24.2

表 A.1 露点温度查对表（续）

环境温度 (℃)	相对湿度							
	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
27	2.1	8.0	12.3	15.7	18.6	21.2	23.3	25.2
28	3.0	8.8	13.2	16.6	19.5	22.0	24.2	26.2
29	3.8	9.7	14.0	17.5	20.4	23.0	25.2	27.2

公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规程

编制说明

一、制定本标准的目的和意义

目前超高性能混凝土钢桥面铺装尚未达到规模化应用，相关理论研究、技术规范及施工标准还不完善，存在以下问题：

（一）基础研究相对薄弱，缺少系统研究成果

组成材料—设计理论—结构体系—施工工艺—检测验收—管理养护体系一体化、系统性的研究成果较少，UHPC 结构体系不同于普通混凝土，不同配合比的 UHPC，其材料力学性能和施工和易性差异巨大，设计结构体系时需要充分考虑材料的力学性能和施工工艺，施工时因地制宜的提出合理的施工工艺方法。

（二）规范滞后于工程实践

规范不健全、缺少设计、施工、检测、管养等完整体系规范，目前国标只有材料规范《活性粉末混凝土》（GB/T 31387-2015），随着近年来 UHPC 在工程中的应用，相应的技术规范或标准已逐步被制定或正在制定，有相当一部分规范或标准尚处于编制中，反映出目前 UHPC 应用尚处于初始阶段，行业内亟待统一的规范或标准出台。

（三）施工技术水平有待提高

UHPC 不同于普通混凝土，其工程质量受施工工艺影响很大，必须高度重视 UHPC 桥梁的施工工艺。超高性能混凝土需要配备专门的施工设备，目前行业内施工人员素质参差不齐，必须有一套标准化的施工流程及统一的质量控制标准进行规范。

因此有必要推动《公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规程》编制工作，总结国内外已完成钢-UHPC 组合桥面结构工程经验，对 UHPC 原材料及性能等级，组合桥面结构计算、施工、检验与验收等作出明确的规定，形成组合桥面结构设计与施工规程，同时为相关人员提供一个统一和规范的超高性能混凝土钢桥面铺装技术准则，使得超高性能混凝土材料选择、配合比设计、钢-UHPC 桥面铺装设计、施工、验收等具有一致性，从根源上解决正交异性钢桥面板疲劳开裂、沥青铺装破损等病害，满足当前行业的实际需求，促进超高性能混凝土的推广应用以及产业的良性发展。

二、本标准编制原则

（一）一致性原则

以《公路桥涵设计通用规范》《公路桥涵施工技术规范》《活性粉末混凝土》《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》《公路沥青路面施工技术规范》等为规范性引用文件。这几份文件有效指导了公路UHPC钢桥面铺装设计与施工的具体实施。

《公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规范》（初稿）的编制符合与行业标准、国家标准等其他有关标准的一致性。

（二）操作性原则

本标准的编制一定程度上考虑了在我国现行法律、政策环境下对《公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规范》（初稿）施行的可操作性，同时对国内外相关方面的现行标准给予了应有的关注，以确保本标准与有关法律法规、其他标准的兼容性和一致性。

（三）实用性与易操作性原则

本标准在编制过程中，对有关概念、定义和论证等内容的叙述尽可能清楚、确切，文字表达严谨、通俗易懂，使得本标准执行起来尽可能易实现和可操作，充分满足使用要求。

（四）规范性原则

本标准编制过程中，认真按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定进行。

三、本标准主要技术内容和依据

（一）规范性引用文件

1. GB 50917 钢-混凝土组合桥梁设计规范
2. GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢第1部分：热轧光圆钢筋
3. GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢第2部分：热轧带肋钢筋
4. GB/T 13014 钢筋混凝土用余热处理钢筋
5. GB/T 31387 活性粉末混凝土

6. GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
7. GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
8. GB/T 714 桥梁用结构钢
9. GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角头螺母、垫圈技术条件
10. GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
11. GB/T 8923 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定
12. GB/T 18838 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理用金属磨料的技术要求
13. JTJ/T283 自密实混凝土应用技术规程
14. JTG E41 公路工程岩石试验规程
15. JTG E42 公路工程集料试验规程
16. JTG/T D64-01 公路钢混组合桥梁设计与施工规范
17. JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
18. JTG/T 3364-02 公路钢桥面铺装设计与施工技术规范
19. JTG D50 公路沥青路面设计规范
20. JTG D60 公路桥涵设计通用规范
21. JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范
22. JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
23. T/CCES 27 超高性能混凝土梁式桥技术规程
24. T/CBMF 37 超高性能混凝土基本性能与试验方法
25. T/CECS 10107 超高性能混凝土（UHPC）技术要求
26. TB 10091 铁路桥梁钢结构设计规范
27. JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
28. Eurocode 3: Design of steel structures—Part 1-9: Fatigue

（二）编制依据

《公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规范》规定了公路钢-超高性能混凝土钢桥面组合桥面铺装材料、结构及构造基本要求、结构设计计算、抗剪连接件、施工、质量控制检验及验收。具体技术内容和确定依据见下表。

章次	名称	技术内容	依据来源
1	范围	本部分规定了标准的适用范围。本标准适用于公路采用超高性能混凝土钢桥面铺装体系的桥梁结构,包括新建、改建和维修桥梁。	依据《山东公路学会标准制修订立项申请书-公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规范》编写。
2	规范性引用文件	本部分列出来对于本标准的应用必不可少的 28 部标准规范。	依据《山东公路学会标准制修订立项申请书-公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规范》及前期对于 UHPC 钢桥面铺装调研结果。
3	术语与定义	本部分列出了组合桥面结构相关的专业性术语,以达到概念解释与表达统一的目的。	参考《活性粉末混凝土》(GB/T 31387)及 UHPC 桥面铺装设计经验总结。
4	材料	本部分规定了 UHPC、普通钢筋、钢材、粘结层、集料及填料、沥青混合料的性能和技术要求。	4.1.3 条,结合通过大量试验数据并参考《活性粉末混凝土》(GB/T 31387),对 UHPC 力学性能指标进行了规定。标号的规定沿用了现有规范中的常规符号,以方便工程技术人员使用。结合工程实际,本编制组认为钢桥面铺装所使用的 UHPC 混凝土不宜过分追求其更高的强度,标号 UC100、UC120 即可满足要求,也最为常用,为了扩大使用范围,在此基础上,增加了 UC140、UC160。 4.1.6 条,本条规定 UHPC 的剪切模量可按弹性模量的 0.4 倍采用,经实测,泊松比为 0.2。

			4.1.1、4.1.2、4.1.4、4.1.5、4.1.7~4.1.12 等主要参考《活性粉末混凝土》(GB/T 31387)、《超高性能混凝土基本性能与试验方法》(T/CBMF 37)及《超高性能混凝土梁式桥技术规程》(T/CCES 27)总结得到。 4.3 节主要参考《桥梁用结构钢》(GB/T 714)、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角头螺母、垫圈技术条件》(GB/T 1231)、《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》(GB/T 10433)中的规定。 4.4 节通过对目前 UHPC 铺装桥面粘结层材料使用情况的调研,同时结合具体工程中设计文件、施工情况等对采用的粘结层材料如环氧树脂粘结剂、环氧沥青粘结剂、高粘高弹沥青粘结剂的技术指标进行了细化,其他指标还应满足现行行业标准《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02)及国家标准《高粘高弹道路沥青》(GB/T30516)中的要求。 4.5 及 4.6 节中内容参考《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40)总结得到。
5	结构及构造基本要求	本部分规定了超高性能混凝土钢桥面铺装的一般规定、设计及桥面施工构造要求。	5.1.1~5.1.7 节主要参考《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)、

			《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG/T D64-01)、《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)的规定总结得出。 5.1.8 根据设计经验、施工可操作性并结合相关规范确定。 5.2.1~5.2.4 条,主要根据设计经验、设计所考虑到的问题进行编写,同时提供了两种可行的组合桥面铺装方案。 5.2.5 条,提供了超高性能混凝土钢桥面铺装的应用场景。 5.2.7~5.2.10 条,结合《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60),规定了组合桥面设计时温度等参数取值。 5.2.11、5.2.12 条,主要是依照设计经验及施工经验总结得到,提高设计质量及施工标准化程度。
6	结构设计计算	本部分规定了 UHPC 钢桥面铺装体系的设计要求,明确了持久状况承载能力极限状态设计方法,并对正常使用极限状态和持久状况及短暂状况应力的验算进行规定。	6.1.1~6.1.2 节中除 6.1.1.3 (1) 引用 TCCES27-2021 高性能混凝土梁式桥技术规程外,其余参考 JTG D64-2015 公路钢结构桥梁设计规范; 6.1.3 稳定性计算引用规范 GB 50917 钢-混凝土组合桥梁设计规范; 6.1.4 参考 JTG D64-2015 公路钢结构桥梁设计规范中抗疲劳计算; 6.2.1 中 6.2.1.1~6.2.1.3 引

			用 JTG D60 中规定, 6.2.1.4 ~ 6.2.1.6 引用 JTG D64-2015 规范, 并结合 UHPC 与钢桥面板定义对 UHPC 钢桥面铺装体系进行分类; 6.2.2 节抗裂计算引用参考文献《钢-UHPC 轻型组合桥面结构试验及裂缝宽度计算研究》; 6.2.3 结合 GB50917 和 JTG/T 3364 规定进行编写; 6.3 节结合钢-混凝土组合桥梁设计规范 GB50917 进行编写; 6.3.1 ~ 6.3.3 条, 应力限值的取值源于工程实践经验, 并与现行的有关规范基本一致。
7	抗剪连接件	本部分规定了抗剪连接件类型、承载力设计及相关构造要求。	7.1 ~ 7.2 节, 本节主要参考《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG/TD64-01) 编写, 阐述了抗剪连接件的作用及验算内容。 7.3 节, 超高性能混凝土与钢桥面可以共同受力, 但实际中, 将 UHPC 层全部厚度计入结构层进行计算往往是偏不安全的, 根据多座桥梁设计经验, 对钢桥面板最小厚度及栓钉的布置方式做出了相应的规定。
8	施工	本部分包括 UHPC 钢桥面铺装时的准备工作、钢桥面喷砂除锈、栓钉焊接、钢筋铺设、UHPC 浇筑施工、粘结层施工	第 8 章主要参考了《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》(JTG/T 3364-02) 中的相关规定进行编制。 其中:

		及沥青混凝土铺装施工等要求。	8.1.10 条根据实际工程经验得出。 8.5 节内容主要由《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650) 中第 23.5.2 条及《纤维混凝土结构设计规程》(CECS 38) 第 12.5 节中的相关规定并总结了现场施工经验得出。 8.6.5 ~ 8.6.6 条结合相关规范, 针对不同的粘层材料做出了具体规定。
9	质量控制及验收	本部分包括 UHPC 钢桥面铺装施工前后的材料检验、UHPC 现浇层及面层施工后的控制及验收要求。	编制组依托实际工程形成了《超高性能混凝土技术指标及检测验收标准》及《超高性能混凝土施工工艺标准化指南》, 9.5.1 ~ 9.5.3 条中 UHPC 面层施工前预混料抽检依照项目实践总结得到。 其余内容参考《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)、JTG F40 公路沥青路面施工技术规范得到。

四、与国内外相关标准关系

本标准编写规则符合《公路工程标准编写导则》(JTGA04-2013)、《山东公路学会团体标准管理办法(试行)》的要求; 非工程建设标准编写规则应符合《标准化工作导则 第 1 部分: 标准化文件的结构和起草规则》(GB/T 1.1-2020) 的要求。

与现行标准《活性粉末混凝土》(GB/T31387-2015)、《超高性能混凝土基本性能与试验方法》(T/CBMF37-2018/T/CCPA7-2018)、《超高性能混凝土预混料》(T/CBMF96-2020/T/CCPA20-2020), 在用词统一性、试验方法等技术内容相协调。

现行国标《活性粉末混凝土》(GB/T31387-2015) 主要规定了构成 UHPC 的活性粉末

的性能要求，交通运输行业标准《公路桥涵超高性能混凝土应用规范》（湖南大学主编）目前尚在编写阶段，各地方标准或团体标准有涉及超高性能混凝土技术条件、施工与评价方法等，但针对桥面铺装方面 UHPC 应用的相关标准规范尚未空白，本标准的编制将进一步提升高性能桥面铺装的结构和耐久性能，推进 UHPC 材料的多元化应用推广。

UHPC 首先由法国人提出并开展了相关工程应用，本标准拟参考法国土木工程师学会《超高性能纤维混凝土 UHPC 指南》（2002 年）、日本混凝土工程协会《超高性能混凝土设计施工指南》（2006 年）等发达国家相关标准在力学性能指标和施工方法方面的要求，同时，由于我国 UHPC 材料的配合成分及应用场景和国外有所区别，本标准将突出我国 UHPC 材料特点以及在桥面铺装应用方面的施工技术要求。

五、本标准预期的经济效益和社会效益

本标准的制定将规范钢-UHPC 组合梁桥复合桥面设计、施工及质量验收评定，形成完善的设计理论及标准可控的施工方案，为工程各工序验收时提供有效可靠的理论依据、检验标准、方法及要点，预期经济和社会效益显著。

六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准符合现有的法律、法规。

七、重大分歧意见的处理经过和依据。

本标准无重大分歧。

八、涉及专利的有关说明。

本标准不涉及专利。

九、其他应当说明的事项

无。