

团 体 标 准

T/SDHTS 00005-2024

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

(编制说明)

此文本仅供个人学习、研究之用，未经授权，禁止复制、发行、汇编、翻译或网络传播等，侵权必究

2024-11-20 发布

2025-01-01 实施

山东公路学会 发布

公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规范

编制说明

一、工作简况

（一）标准来源

根据山东公路学会《关于发布第一批山东公路学会标准立项计划的通知》（鲁公学会[2023]6号），《公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规范》为团体标准制定项目。

（二）任务分工

山东省交通规划设计院集团有限公司负责总体策划、协调，推进标准编制，制定规范框架，编制第1～3章及第5章。

南京工业大学负责协助制定框架，编制第4章及第6～7章。

山东省路桥集团有限公司及山东高速股份有限公司负责编制第8～9章。

（三）编制背景

在绿色公路建设、可持续发展及“双碳”环保的大背景下，一大批钢结构桥梁在山东落地建设。桥梁结构形式不断创新，建造工艺日趋先进，新材料研发层出不穷，桥梁建设不断向绿色、环保、可持续及全寿命周期理念方向转变。正交异性钢桥面具有结构自重轻、施工快捷方便、承载能力大等优点，在国内外桥梁工程中得到广泛应用。钢桥面系通常由正交异性钢桥面板与沥青混凝土铺装层组成，在运营中，钢桥面系容易出现以下两种典型的病害问题：①正交异性钢桥面板疲劳开裂；②沥青混凝土铺装层使用寿命偏短、易出现开裂、车辙、壅包等病害，需频繁维护。这些病害问题在国内桥梁中普遍存在，影响了桥梁结构的耐久性和行车舒适性，并增加了钢桥面的维护成本。为解决钢桥面疲劳开裂和铺装层易损问题，有学者开始尝试不同性能的水泥基混凝土材料铺装，来提高钢桥面的刚度，改善铺装层和钢结构的受力状态。从既有研究及相关实桥工程应用效果中可以发现，混凝土铺装提高了钢桥面的刚度，降低了钢桥面和铺装层的应力水平，可以在一定程度上降低钢桥面疲劳开裂和铺装层破损等病害出现的风险。超高性能混凝土（UHPC）依靠其优异的抗压、抗拉、抗弯性能及良好的耐久性等优势逐渐成为国内研究应用的热点材料，性能不断改进，组分也不断优化，价格逐步降低，应用日趋广泛，在大跨径复

杂桥梁工程中尤其是钢结构桥面铺装中应用尤为普遍。

与传统沥青铺装正交异性钢桥面铺装方案相比，采用 UHPC 作为铺装层形成钢-UHPC 轻型组合桥面结构具有以下优点：（1）短栓钉使钢面板和 UHPC 层紧密结合，形成了共同受力的整体，这种组合作用使钢桥面局部刚度提高 30 倍以上，大大降低局部车轮荷载作用下正交异性板中钢结构的应力变幅，进而降低钢桥面疲劳开裂风险，延长钢桥面的疲劳寿命；（2）局部刚度的提高降低了沥青铺装层的应力水平，有助于解决铺装层开裂、出现车辙等病害问题；（3）采用 UHPC 作为桥面板铺装层具有更好的耐久性和抗渗透性，可有效提升结构使用寿命。

但目前公路 UHPC 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，亟待规范性标准出台。

（四）起草过程

1. 立项及初稿阶段（2023 年 3 月～2023 年 12 月）

2023 年 3 月，立项山东公路学会标准后成立编制组，明确编写大纲及成员工作任务，制定了详细的工作计划。编制组通过调研，收集、整理了前期的课题研究的成果、相关施工工艺、工法以及国内外相关资料，与 UHPC 生产厂家、桥梁设计及施工技术人员探讨交流，掌握生产应用实际情况，起草形成标准初稿。

2. 初稿审查（2024 年 1 月 30 日）

2024 年 1 月 30 日，山东公路学会在济南组织召开了标准初稿审查会，与会专家结合行业特性、应用要求及实际情况，对标准进行了审查，提出了修改意见并将标准名称由《公路 UHPC 钢桥面铺装设计与施工技术规程》修改为《公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规程》。

3. 征求意见（2024 年 2 月～2024 年 7 月）

根据初稿审查专家意见，编制组对标准进行了修改，形成标准征求意见稿。2024 年 3 月 22 日～4 月 21 日进行公开征求意见，收到 10 家单位（其中建设管理单位 1 家，设计单位 3 家，施工单位 2 家，监理单位 1 家，科研单位 1 家及国内高校 2 家）共计 10 位专家的 160 条修改意见，其中 145 条采纳，15 条部分采纳或未采纳，修改后形成标准送审稿。

4. 送审稿审查（2024 年 8 月 7 日）

2024 年 8 月 7 日，山东公路学会在济南组织召开了标准送审稿审查会，与会专家逐章逐条审查了标准文本，提出修改意见，并将标准名称由《公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规程》修改为《公路超高性能混凝土钢桥面铺装设计与施工技术规范》。

5. 报批、发布（2024 年 8 月～2024 年 11 月）

编制组对标准修改完善后形成报批稿，报山东公路学会，学会审核通过后发布、出版。

二、主要技术内容及其确定依据

（一）主要技术内容

本文件规定了公路超高性能混凝土钢桥面铺装的材料、设计、结构及构造、施工、质量检验等技术要求。适用于公路新建、改扩建及维修养护的超高性能混凝土钢桥面铺装工程。

（二）指标确定依据及工程应用

1. 本文件在编写过程中除结合现行国标、行标及地标等规范、标准外，主要是总结了各编制单位在 UHPC 设计、施工及科研研究过程中的经验及成熟的施工工艺，并根据多座桥梁设计经验、工程施工实例，对整个施工工艺、UHPC 材料验收及质量验收标准等进行明确和细化。

2. 本文件的编制是在国家、我省关于 UHPC 的研究基础上，结合本技术在山东省的实际开展情况，以适用性和可操作性、适度引领性等为原则，既考虑技术的实用性和易操作性，同时充分听取各方意见的基础上形成的。

3. 编制组开展的《钢-超高性能混凝土（UHPC）组合梁斜拉桥设计与施工关键技术研究》——子课题《面向山东建设需求的超高性能混凝土研制》（山东省交通运输厅立项，立项编号 2020B64）已成功研发了满足设计需求的 UHPC，掌握了 UHPC 各项力学性能。课题成果成功应用于沾化至临淄高速公路黄河特大桥主桥（80+180+442+180+80=962 米钢-UHPC 组合梁斜拉桥）中，大桥于 2022 年 12 月 9 日通车运营，获得 2023 年中国公路学会桥梁创新工程（融合创新类）。截止目前，UHPC 材料已在山东省内 G104 京岚线济南黄河大桥扩建工程、济南绕城高速二环线北环段黄河大桥、京台改扩建黄河大桥、东营黄河大桥钢桥面铺装维修改造工程中得到了推广应用，取得了良好的经济和社会效益。

4. 编制组开展的《钢-UHPC 轻型组合钢桥面板结构关键技术》（山东高速集团立项）课题成果应用于济南绕城高速二环线北环段黄河大桥主桥中，通过优化各构造参数，得到了各设计参数对桥面体系应力变化影响规律及最优的 UHPC 铺装层厚度，在保证结构安全的同时，提高了桥面体系耐久性。

5. 参考的其它 UHPC 相关论文、标准、成果有：

- 1) 《钢-UHPC 轻型组合桥面结构力学性能及裂缝宽度计算理论研究》——罗军
- 2) 《钢-超高韧性混凝土轻型组合结构桥面技术规范》 DB43/T 1173-2016。
- 3) 《超高性能混凝土技术指标及检测验收标准》——沾化至临淄高速公路黄河大桥项目标准

4)《超高性能混凝土施工工艺标准化指南》——沾化至临淄高速公路黄河大桥项目标准

(三) 编制原则

1. 认真贯彻国家有关法律法规和方针政策。标准中的所有规定，均符合现行法律和法规。
2. 本文件按照 GB/T 1.1-2020 《标准化工作到则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。
3. 本文件的相关技术指标具有科学性、先进性、系统性和可行性，以及可操作性和规范性。

三、试验验证分析及关键技术条文说明、综述报告及效益分析

(一) 试验验证分析及关键技术条文说明

1. 山东省本地材料对 UHPC 配合比及力学性能的影响

编制组已开展的《面向山东建设需求的超高性能混凝土研制》课题研究，调研并验证了国内及山东省内材料的特性，包括水泥 2 种、硅灰 6 种、玻璃微珠 1 种、石英砂 3-4 档，山东本地材料 3 大类、钢纤维 4 种及减水剂 5-8 种。利用山东省本地市场既有原材料（90%以上），研发成功了满足设计需求的 UHPC，实现了原材料属地取材。完善了 UHPC 桥面板原材料水泥、矿物掺合料、骨料、钢纤维、减水剂等及成品检验的技术要求；实现了 UHPC 配合比动态设计，满足项目四季施工要求及各类型 UHPC 定制化需求；研究课题参考《超高性能混凝土基本性能与试验方法》及《混凝土物理力学性能试验方法标准》开展配合比验证，完成了包括抗压性能、直拉性能、抗折性能、弹性模量、抗压强度及弹性模量增长、工作性能、抗渗性及收缩性能在内的多项试验，充分掌握了 UHPC 各项力学性能。所研制的 UHPC 其抗压强度（沾临黄河大桥设计要求）不低于 150 MPa（标准蒸养、标准养护），抗拉强度不低于 8 MPa，抗折强度不低于 20 MPa；新拌混凝土的坍落扩展度可根据施工需要控制在 600 mm~800mm 之间；硬化混凝土基体的抗渗性可满足 UD02 等级要求；7d 总收缩可控制在 800 微应变以内。相关成果已在沾化至临淄高速公路黄河特大桥主桥中成功应用，为本文件第 5 章节（第 5.2 条 UHPC 材料各项力学性能指标的提出）提供了技术支撑，标准中提供的 UHPC 各力学参数均在试验室得到了验证。

(1) 抗压强度验证试验（以 UC140 为例）

试验室采用 100 mm×100 mm×100 mm 标准立方体试块进行抗压强度试验，每组 6 个试块，取与平均值偏差小于 15%的试件的平均值作为测定值。试验时与平均值偏差小于 15%的试件数量不低于 4 个。

如图 1 所示，在立方体试验加载过程中，荷载接近极限荷载时，试件不断发出声响，当荷载达到最大值时，试件表面脱落并伴随较大声响，但未发生类似普通混凝土的爆裂现象，仅在试件表面出现裂缝

以及脱皮现象，表明 UHPC 中的钢纤维发挥了阻裂效应，改善了 UHPC 的抗压性能。

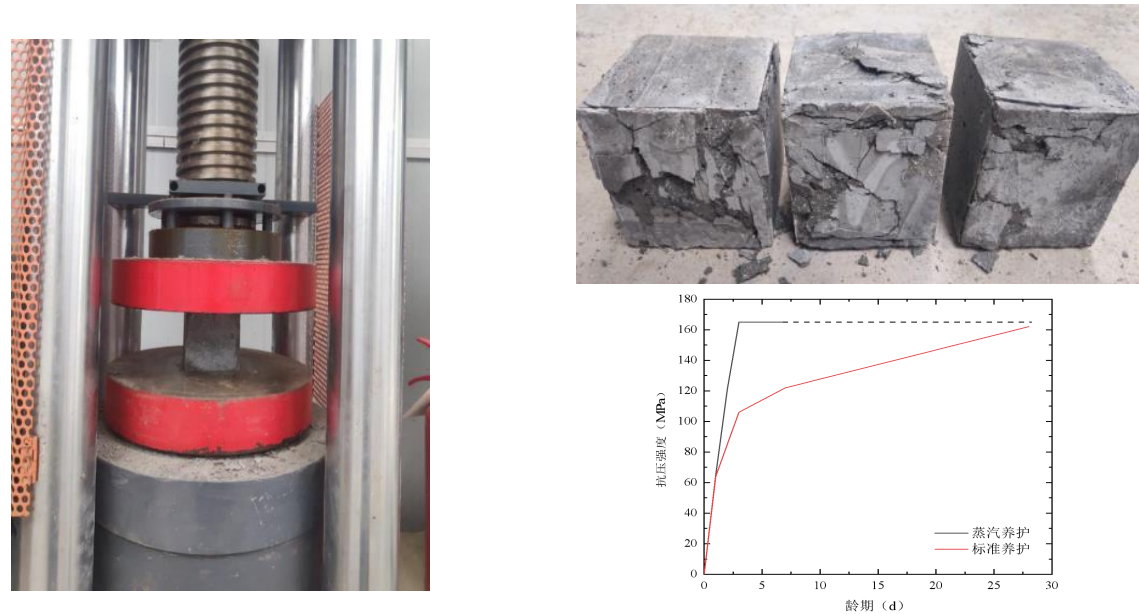


图 1 混凝土抗压强度试验

由表 1 可知：a) 蒸汽养护方式下强度增长速度明显快过标准养护；b) 虽然蒸养方式不同，但 28d 强度会趋于一致；c) 蒸汽养护方式下试件强度前期增长速度快，蒸养完成后强度基本再无变化。试验结论与本文件取值一致。

表 1 不同养护条件下混凝土抗压强度试验值

	1d 静置+2d 蒸养	3d 标养	7d 标养	28d 标养
抗压强度最高	162	115	128	149
抗压强度最低	140	76	112	138
抗压强度平均值	149	93	116	145

同时，对不同养护条件下试块强度进行统计，各养护条件下试块样本各取 30 个，蒸养条件下，抗压强度主要集中于 150 MPa~160 MPa 之间，占样本数量的 50%；标养 3d 时，抗压强度离散型较大，试块强度主要分布在 90 MPa~100 MPa 之间，占样本数量的 47%；标养 7d 时，抗压强度主要分布在 110 MPa~120 MPa 之间，占样本数量的 53%；标养 28d 时，所有试件强度均大于 130 MPa，其中 47%在 140 MPa 以上。

(2) 直拉验证试验（以 UC140 为例）

参照 TCBMF 37-2018《超高性能混凝土基本性能与试验方法》中附录 B 抗拉性能试验方法进行试件制作，试验预加载至 1 kN 后，按照应力控制速率 0.01 MPa/s 进行加载，如图 2。



图 2 直拉试验模具及试件破坏情况

由表 2 可知：蒸汽养护方式下强度增长速度明显快过标准养护，并且抗拉强度较高，考虑到本文件中 UHPC 主要用于钢桥面铺装，现场可能不具备高温蒸汽养护的条件，抗拉强度取值采用标准养护下试验测定值。

表 2 不同养护条件下混凝土抗拉强度试验值

	1d 静置+2d 蒸养	3d 标养	7d 标养
抗拉强度最高	11.9	6.5	6.9
抗拉强度最低	9	5.7	6.5
抗拉强度平均值	10	6.1	6.7

由图 3～图 4 可知：在初始拉伸阶段，呈弹性直线上升，达到弹性极限后，曲线表现出明显波动，原因是试件初裂后，参与受力的钢纤维数量会随裂缝的扩展而变化，导致纤维所承担的荷载也发生变；随着应变逐渐变大，应力趋于平缓。当应变进一步增大后，钢纤维被陆续拔出，构件所能承受的最大荷载下降，应变则持续增大直至试件完全断裂。

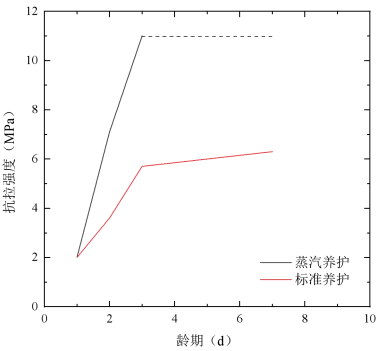


图 3 抗拉强度变化曲线

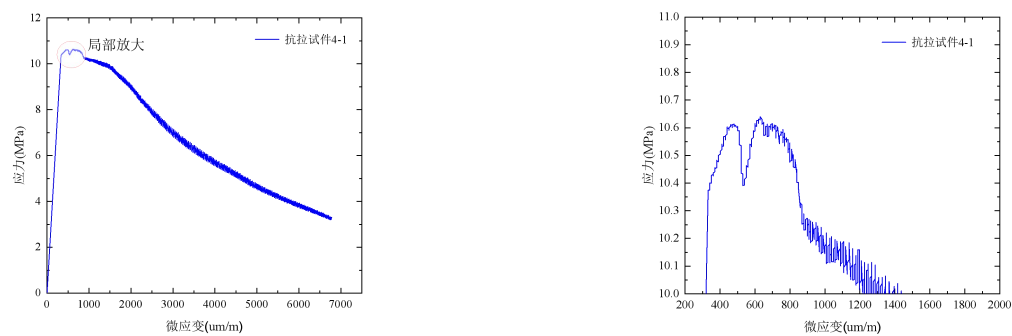


图 4 试件应力-应变曲线及局部放大图

(3) 弹性模量验证试验（以 UC140 为例）

如图 5 所示，参照 GB/T 50081-2019 《混凝土物理力学性能试验方法标准》开展弹性模量试验，加载速率 1.2 MPa/s。蒸养后，UHPC 的抗压弹性模量均大于 46.0 GPa；标养 28d 时，UHPC 抗压弹性模量均大于 44.0 GPa。



图 5 抗压弹性模量试验

由表 3 可知：蒸汽养护方式下抗压弹性模量增长速度明显快过标准养护，考虑到本文件中 UHPC 主要用于钢桥面铺装，现场可能不具备高温蒸汽养护的条件，抗压弹性模量取值采用标准养护下试验测定值。

表 3 不同养护条件下混凝土抗压强度试验值

	1d 静置+2d 蒸养	3d 标养	7d 标养	28d 标养
抗压弹性模量最高	46.8	32.2	39.9	44.5
抗压弹性模量最低	45.8	27.9	35.5	43.4
抗压弹性模量平均值	46.3	30.0	37.7	44.0

2. 本文件第 5.2.6 条中剪切模量、泊松比及 UHPC 线膨胀系数的取值来源于 T/CCES 27-2021 《超高性能混凝土梁式桥技术规程》；由于 UHPC 采用密配筋的设计理念，并掺入钢纤维，加之混凝土各组分中材料大部分为粉末状，实际配筋后的混凝土容重接近 28 kN/m^3 ，该数值在沾临高速黄河大桥设计中得到了验证；此外，当 UHPC 用于桥面铺装结构时，钢纤维的掺量会相对较小，容重降低，因此本文件建议配筋 UHPC 的容重取 $26 \text{ kN/m}^3 \sim 28 \text{ kN/m}^3$ 。

3. 本文件第 5.2.8 条针对 UHPC 收缩应变的取值，通过试验得到。当采用高温蒸汽养护时，UHPC 收缩应变值基本为 0，与规范一致；当采用标准常温养护（环境温度 $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度大于 95%，28 d）时，28 d 龄期收缩应变测定均值基本保持在 410×10^{-6} 左右，采用规范给出的公式计算值为 399.8×10^{-6} ，也验证了试验数值的正确性。

4. 本文件第 5.3 条中粘结剂材料各技术指标的取值，是通过调研国内多个有相关 UHPC 防水粘结层施工业绩的厂家得出。编制组在实桥设计中发现，UHPC 桥面板自身力学性能介于钢桥面板和普通混凝土桥面板之间，常用的水性环氧防水粘结层材料的组分主要为水（50%）、环氧材料（15%）和沥青（35%），含有较大比例的水分，粘结材料自身强度、抗变形能力及与 UHPC 的粘结强度也相对较低，防水粘结层与 UHPC 和 SMA 容易出现脱层问题。此外，抛丸铣刨后的 UHPC 表面裸露钢纤维，水性环氧防水粘结层材料组分中的水容易导致其生锈。因此，本文件中未推荐采用水性环氧粘结剂作为 UHPC 钢桥面铺装的粘结层材料，仅对适用于 UHPC 铺装的其他三种粘结层材料性能指标进行了规定。

5. 本文件第 6.3.1 条中关于 UHPC 钢桥面铺装层裂缝宽度的计算参考了论文《钢-UHPC 轻型组合桥面结构力学性能及裂缝宽度计算理论研究》中的成果；第 6.3.3 条关于 UHPC 铺装层局部挠度的计算参考了湖南省地方标准 DB43/T 1173-2016 《钢-超高韧性混凝土轻型组合结构桥面技术规范》。

6. UHPC 钢桥面铺装结构关键参数确定

编制组依托济南绕城高速公路二环线北环段黄河特大桥主桥开展的《钢-UHPC 轻型组合钢桥面板结构关键技术》课题，研究了钢桥面厚度、UHPC 铺装层厚度、焊钉密度等不同设计参数和构造条件下钢-UHPC 轻型组合钢桥面板及沥青铺装层的受力状态，本文件规定的各设计参数得到了有限元验证，相关成果已在课题依托项目中得到应用。本文件第 7 章主要根据课题成果进行编制。

7. 本文件第 8 章 UHPC 钢桥面铺装施工中，主要以 UHPC 铺装层施工最为关键，其余各工序施工应注意的问题参照现行相关规范执行即可。编制组通过调研济南绕城高速二环线北环段黄河大桥 UHPC 钢桥面施工工艺（如图 6），对 UHPC 桥面铺装施工中应注意的关键问题进行了规定。

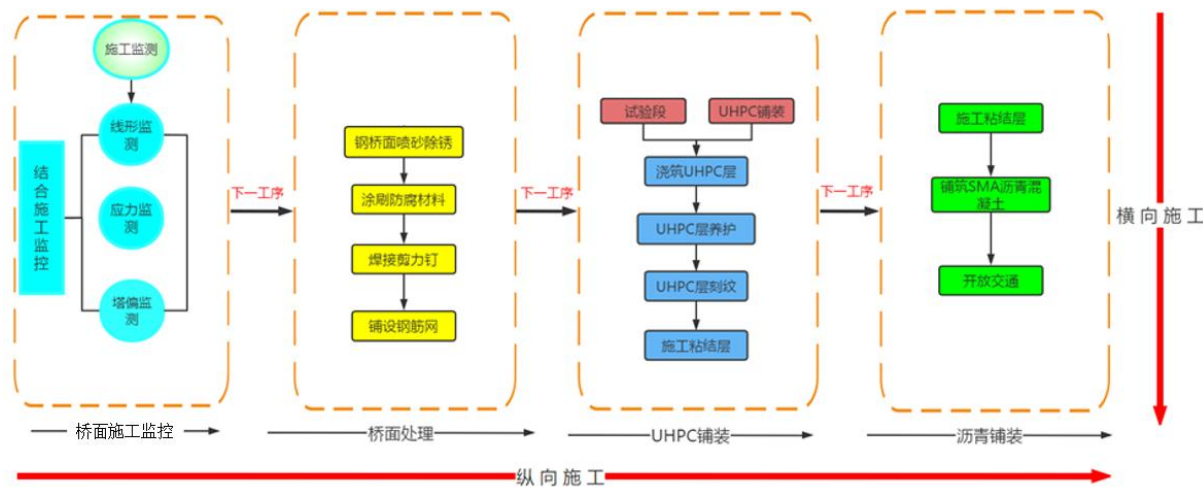


图 6 UHPC 钢桥面铺装总体施工流程图

针对施工中可能遇到的重难点问题及解决方案在本文件第 8.2.3~8.2.5 条中进行了针对性说明，规范了施工标准，现场施工图片见图 7~图 10。重难点问题主要有：

(1) 摊铺顺序的确定

合理的摊铺顺序关乎桥梁施工工期、施工质量以及结构受力。UHPC 摊铺过程中施工顺序不合理会造成桥梁偏心受载，受力不均，影响桥梁结构安全，因此，UHPC 摊铺顺序应从低到高，均匀密实，减少对整体结构的负荷偏差。

(2) 纵横坡度大，保坡困难

一般地，大跨径钢结构桥梁都有较大横向坡度。而 UHPC 具有自流平工作性能，保坡能力差，往往会导致 UHPC 摊铺厚度不均，同时铺装层钢筋网片往往只有一层，且保护层厚度较大，更不利于控制摊铺坡度。因此，施工过程中可以采取以下措施进行控制：首先控制 UHPC 材料扩展度，尽量减少 UHPC 施工时流动度；同时，每台搅拌站配置一名技术人员，对 UHPC 搅拌状态进行实时调整，保证施工过程中 UHPC 工作性能的稳定性；其次在两侧及端部布设钢丝密目网，防止浆体外流；最后，严格控制摊铺厚度，尽量采用 UHPC 铺装专用整平机，可以准确设定坡度和标高。

(3) 搭界面处理困难

传统的 UHPC 布料机采用间接出料口，不同的 UHPC 料堆流动摊铺开后布满工作面，均会形成 UHPC 流动搭界面，虽然混凝土表面融合，但是内部的钢纤维却无法有效形成交叉搭接，因此在 UHPC 薄层中形成薄弱搭界面，混凝土硬化后受外界因素影响在薄弱搭界面处易产生裂缝，严重影响强度。针对该问题，施工时可以通过提高 UHPC 布料的连续性，减少 UHPC 搭界面以及使用整平机进行高频振捣实现整体推料，避免薄弱搭界面的出现。

(4) UHPC 表层失水收缩开裂

由于 UHPC 水胶比低，活性粉末掺量大，在施工过程中，表面很快失水干燥、硬化，在凝结硬化及硬化后服役过程中伴随着较大自收缩，易形成微裂纹。针对该问题，可通过及时覆膜、洒水保湿等手段解决。

(5) UHPC 黏性大、气泡不易排出

UHPC 混凝土中的气泡主要是搅拌过程中混入的空气，而摊铺、整平过程中未能排出的、残留在 UHPC 基体内的。这种气泡一般相互独立，对 UHPC 的渗透性影响不大，但会降低 UHPC 的强度，且在后续养护后可能会产生“鼓包”现象。含有大量钢纤维的 UHPC 比较粘滞，内部孔隙率小，气泡不容易排出。施工中，通过增大整平机与覆膜机的间距（5m），利用整平机高频振捣刮板对混凝土进行深层振动，及时将深层气泡排除，再进行二次收面覆膜，可较少气泡现象发生。



图 7 UHPC 现场摊铺整平



图 8 UHPC 人工收面

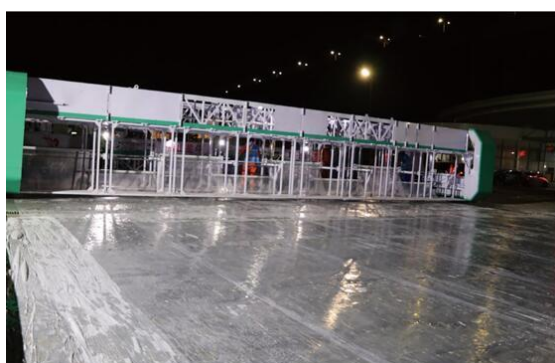


图 9 UHPC 现场覆膜



图 10 UHPC 覆盖土工布养护

8. 编制组依托沾临黄河特大桥成功完成了从 UHPC 选材、配比、试验到大规模应用生产等全过程技术开发，提出了 UHPC 配合比的动态调控制备技术，建立了基于力学性能可精准调控的 UHPC 材料制备技术，创建了 UHPC 原材料检验、宏观性能检测及现场施工效果的全套质量评价体系，有效解决了新型钢-UHPC 组合桥面板施工过程中的质量控制问题。结合济南绕城高速二环线北环段黄河大桥施工中遇到的

问题以及已有的项目标准，完成了本文件第 9.2.1~9.2.5 条的编制工作。

（二）综述报告

1. UHPC 编号及材料强度等级选用

通过大量试验数据并参考 GB/T 31387-2015 《活性粉末混凝土》，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。

2. 粘结层材料的选用

通过对目前 UHPC 铺装桥面粘结层材料使用情况的调研，结合 UHPC 钢桥面铺装结构体系，提供了几种可应用于 UHPC 钢桥面铺装结构粘结层材料。同时结合沾临高速黄河特大桥、G104 黄河大桥、京台改扩建黄河大桥等实际工程中设计文件、施工情况等，对环氧树脂粘结剂、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。

3. UHPC 钢桥面铺装相关构造的确定

根据设计经验、设计所考虑到的问题，提供了 UHPC 钢桥面铺装结构设计流程以及常用 UHPC 层厚度对应的钢板厚度取值方案，可涵盖绝大部分 UHPC 钢桥面铺装结构。同时，采用有限元分析，优化了钢桥面板厚度、栓钉间距和钢筋间距，为设计人员提供了参考。UHPC 虽然能与钢桥面可以共同受力，但实际桥梁设计时，不同区域铺装层的受力状态也不尽相同，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，保证结构安全。

4. UHPC 现浇层施工工艺确定

结合济南绕城北环线黄河大桥现场 UHPC 铺装层浇筑工艺以及遇到问题，对浇筑过程中布料方式、接缝型式、振捣方案及养护方式等进行了总结，使得标准更具有可操作性。

5. UHPC 材料检验及抽检标准的确定

编制组依托沾化至临淄公路黄河大桥主桥设计与建造经验，总结形成了《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》项目标准，现场质量控制效果良好。结合已有成功案例，在本文件第 9.2.1~9.2.3 条中对 UHPC 层施工前预混料抽检的方法和抽检频次进行了规定，可以指导现场进行施工过程中的质量控制。

（三）技术经济论证

1. 经济效益分析

传统正交异性钢桥面板因自重轻、强度高、工期短等优点获得了广泛的应用。但随着服役时间的增长，钢桥面板通常会出现疲劳开裂和铺装层损坏的病害问题，严重影响桥梁安全运营。UHPC 钢桥面铺装体系能够有效解决正交异性钢桥面板疲劳开裂、沥青铺装破损等病害，钢-UHPC 面板能够与主梁共同工作，能够优化荷载传递路径，减少局部应力集中，提高了桥梁的耐久性，能够节约钢结构桥梁全寿命周期养护成本；同时 UHPC 铺装层可以作为结构层参与受力，能够有效提高结构的刚度和稳定性，增加主梁截面抗弯惯性矩，从而增加桥梁整体刚度。在济南绕城高速公路北环段黄河大桥设计中，对比了普通钢桥面铺装及 UHPC 钢桥面铺装方案后，考虑 UHPC 桥面板的有效作用，主梁挠跨比同比减小 9.28%，悬索桥整体刚度提高了 9.28%。

通过对不同铺装方案进行造价分析（见表 4）：根据受力分析，60mm 厚度 UHPC 层可使桥面钢板减薄 10mm，则每平面桥面用钢指标降低 1100 元/m²，与纯钢箱梁相比，考虑自重增加，综合测算后，实际可节约造价 460 元/m²，经济效益十分可观（本桥与青岛胶州湾大桥大沽河航道桥同为独塔自锚式悬索桥，大沽河航道桥钢桥面板平均采用 25mm 厚钢板，而本桥钢桥面板采用 14mm 厚钢板）。

表 4 济南绕城高速二环线北环段黄河大桥主桥桥面铺装方案比选

比选内容	环氧沥青铺装	浇注式沥青铺装	UHPC 铺装
优点	1. 抗疲劳性能稍好； 2. 含有高品质抗磨骨料，具有优越的抗滑性能； 3. 具有较强的渗透性，可以修复微缺陷，提高防水防渗效果。	1. 抵抗低温开裂的能力强，与防水粘结层粘结效果好。 2. 施工中流动成型，无需碾压，摊铺整平即可。	1. 耐久性好，适合于高磨损和高腐蚀环境； 2. 桥面刚度大，大幅减少桥面钢板厚度，降低桥梁活载挠度，提高钢桥面的抗疲劳寿命； 3. 后期运营维护费用低。
缺点	1. 配制工艺复杂； 2. 温度和材料用量要求十分严格； 3. 对桥梁整体刚度无提高作用。	1. 温度敏感性高，高温稳定性较差； 2. 对桥梁整体刚度无提高作用。	1. 施工工艺较复杂； 2. 施工周期稍长。
指标 (桥面钢板厚度相同)	600 元/m ²	510 元/m ²	830 元/m ²

根据受力分析，60mm 厚度 UHPC 层可使桥面钢板减薄 10mm，则每平面桥面用钢指标降低 1100 元/m²。与纯钢箱梁相比，考虑自重增加，综合测算后，实际可节约造价 480 元/m²，经济效益十分可观。（本桥与青岛胶州湾大桥大沽河航道桥同为独塔自锚式悬索桥，大沽河航道桥钢桥面板平均采用 25mm 厚钢板，

而本桥钢桥面板采用 14mm 厚钢板)

2. 社会效益

本文件的制定将规范公路 UHPC 钢桥面铺装设计、施工及质量验收评定标准，形成完善的设计理论及标准可控的施工方，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。UHPC 钢桥面铺装体系能够有效解决正交易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，为促进 UHPC 的推广应用以及产业的良性发展提供了技术保障，桥梁工程的可持续发展提供了新的思路，有望引领未来桥梁工程材料应用的新趋势。

四、与国家标准、行业标准、地方标准同类标准技术内容的对比情况

与 GB/T31387-2015 《活性粉末混凝土》、T/CCPA7-2018 《超高性能混凝土基本性能与试验方法》、T/CCPA20-2020 《超高性能混凝土预混料》，在用词统一性、试验方法等方面相协调。

GB/T31387-2015 《活性粉末混凝土》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，尚未发布)，各地方标准或团体标准有涉及 UHPC 技术条件、施工与评价方法等，但针对桥面铺装方面 UHPC 应用的相关标准较少。

行业规范 JTG/T 3364-02-2019 《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》中主要含有“沥青混凝土钢桥面铺装”有关条目，本文件在编写过程中也参考了部分内容，但其涉及面较广，针对性不强，缺乏 UHPC 铺装的相关规定。

行业规范 JTG/T D64-01-2015 《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》、JTG D64-2015 《公路钢结构桥梁设计规范》主要涉及普通钢箱梁、钢混组合梁设计计算等方面的内容，缺乏对 UHPC 材料、施工及质量验收等方面的规定。

与其他地标相比，本文件主要侧重 UHPC 力学性能，不对材料各组分指标进行详细规定；同时增加了粘结层材料技术指标、施工工艺要求及 UHPC 预混料施工前质量检测方法及抽检频率，相关规定更加详细、全面。

五、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本文件与国家、行业、地方标准的相关规定无冲突，是对于国标、行标、地标的补充细化及提升完善。

六、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况

无。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本文件在编制过程中无重大分歧。

八、涉及专利的有关说明

本文件未涉及专利。

九、其他应当说明的事项

无。

