

复杂环境下超高性能混凝土（UHPC）桥面铺装技术

张起铭

新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆乌鲁木齐，830000；

摘要：以南疆地区钢结构桥梁项目为例，简述在风沙、干旱、大温差等极端复杂环境条件下，实施超高性能混凝土（UHPC）桥面铺装技术，解决钢桥面板的疲劳开裂和铺装层易损难题，显著提升了结构刚度、可靠性与耐久性，实现桥面与主结构同寿命的目标。

关键词：复杂环境；超高性能混凝土；桥面铺装

DOI：10.69979/3029-2727.26.01.031

引言

超高性能混凝土（UHPC）作为一种新型水泥基复合材料，具有卓越的力学性能和耐久性能，为解决极端环境下的钢桥面铺装问题提供了新的技术路径。UHPC 的抗压强度可达 120MPa 以上，抗弯强度超过 20MPa，韧性远高于普通混凝土和纤维混凝土。其致密的微观结构使得 UHPC 具有极低的渗透性，抗冻融、抗氯离子渗透、抗化学腐蚀等耐久性指标显著优于传统混凝土材料。

1 工程简介

该钢桥横跨塔里木河，桥梁全长约 1418 米，其中主桥为钢箱梁结构，主桥长 480 米，桥面宽度 36.5 米，设计荷载公路-I 级。主桥钢桥面铺装采用超高性能混凝土铺装体系，从上到下依次为磨耗层（厚度 30mm）、粘结层（采用高粘高弹改性沥青材料）、超高性能混凝土层（厚度 50mm）、钢桥面板。其核心创新理念是“从铺装到结构”，将 UHPC 铺装层作为桥面结构的组成部分，而不仅仅是功能层。

2 复杂环境下 UHPC 桥面铺装关键技术

整个技术体系包括四个关键技术：钢桥面预处理技术，剪力钉焊接与钢筋网片铺设技术，UHPC 搅拌、运输与浇筑技术，智能养护技术，每个子技术都针对复杂环境的特点进行了专门优化。

钢桥面预处理技术采用无尘抛丸工艺确保了处理质量和工作环境，使清洁度、粗糙度各项指标符合规范要求；剪力钉焊接与钢筋网片铺设技术，通过严格的工艺控制和质量检验，实现该桥剪力连接系统质量完全达到设计要求；UHPC 搅拌、运输与浇筑技术，通过严格的工艺控制，该桥 UHPC 施工质量得到了有效保证；智

能养护技术针对大温差条件，开发了智能温控养护工艺。

3 钢桥面预处理技术

钢桥面预处理是 UHPC 铺装施工的基础工序，其质量直接影响到层间粘结效果。该桥采用无尘抛丸工艺进行钢桥面处理，确保了处理质量和工作环境。

施工工艺流程包括：表面清理、设备就位、抛丸处理、清洁度检测、表面防护五个主要步骤。首先对钢桥面进行彻底清扫，去除油污、灰尘等杂质；然后将移动式无尘抛丸机就位，连接好电源和除尘系统；接着进行抛丸处理，控制行走速度和抛丸量；处理后进行清洁度检测；最后在规定时间内进行后续施工，避免表面重新锈蚀。

关键工艺参数包括：抛丸粒度选用 S330 钢丸，丸料硬度 40-50HRC；抛丸机行走速度控制在 3-5m/min；抛头转速 1800-2200rpm；抛丸量根据表面状况调整，确保达到要求的清洁度和粗糙度。

质量检验标准严格执行 Sa2.5 级要求：表面应无可见油脂、污物、氧化皮、铁锈、油漆涂层等附着物，任何残留痕迹应仅为点状或条纹状的轻微色斑。粗糙度要求 50-100 μm ，采用粗糙度对比板或复制胶带法检测。

清洁度检测包括可溶性盐分含量和灰尘污染度检测。可溶性盐分含量要求 $\leq 50\text{mg}/\text{m}^2$ ，采用 Bresle 法测试；灰尘污染度要求 ≤ 2 级，采用胶带粘贴法评定。这些指标都进行现场快速检测，确保处理质量。

在风沙环境下，特别注意以下问题：一是加强设备密封性检查，防止丸料泄漏；二是增加除尘器清灰频率，保证除尘效果；三是加快工序衔接，处理完成后尽快进行后续施工，避免表面二次污染。

通过采用无尘抛丸工艺，该桥钢桥面处理质量得到

了有效保证。检测数据显示,清洁度合格率达到 100%,粗糙度合格率 98%以上,为 UHPC 铺装提供了良好的基层条件。这种工艺不仅质量可靠,而且环保性好,适合在环境敏感地区应用。

4 剪力钉焊接与钢筋网片铺设技术

剪力连接系统是保证 UHPC 铺装层与钢桥面板协同工作的关键。该桥项目采用栓钉焊接与钢筋网片复合的剪力连接系统,确保了界面的抗剪性能和整体性。

栓钉焊接施工要点:首先进行焊接工艺评定,确定最佳焊接参数;然后进行试焊,检验焊接质量;正式焊接时,严格控制焊接电流、时间和提升高度参数;焊接后及时清除陶瓷环和焊渣,进行外观检查和质量检验。

焊接质量检验包括:外观检查要求焊肉饱满、均匀,无咬边、气孔等缺陷;弯曲检验按 1%抽样进行 30° 弯曲试验,无裂纹为合格;锤击检验 100%进行,用小锤敲击栓钉头部,声音清脆为合格。建立焊接参数记录和质量追溯制度,每个栓钉都有可追溯的记录。

钢筋网片铺设要求:网片采用 CRB600H 级冷轧带肋钢筋,直径 10mm,间距 100×100mm;网片铺设前按设计位置放线,确保位置准确;网片与栓钉接触处采用点焊连接,焊点均匀牢固;网片搭接长度不少于 300mm,搭接处绑扎牢固。

保护层控制:采用专用塑料垫块控制钢筋网保护层厚度,确保 UHPC 覆盖厚度均匀;保护层厚度控制在 20±5mm 范围内,定期抽查确保符合要求。

在风沙环境下特别注意:焊接前彻底清洁焊接部位,防止沙尘影响焊接质量;焊接后及时清理焊渣,避免残留影响粘结;钢筋网片铺设后尽快进行混凝土浇筑,防止表面锈蚀。

通过严格的工艺控制和质量检验,该桥剪力连接系统质量完全达到设计要求。拉拔试验表明,栓钉抗剪强度不低于 80kN,界面粘结强度大于 2.5MPa,为 UHPC 铺装层与钢桥面板的长期协同工作提供了可靠保障。

5 UHPC 搅拌、运输与浇筑技术

UHPC 的搅拌、运输和浇筑是施工过程中的关键环节,其质量直接影响到最终铺装层的性能。该桥针对复杂环境条件,制定了严格的工艺控制标准。

搅拌工艺采用集中拌合方式,使用双卧轴强制式搅拌机。投料顺序严格执行:先投入干料(水泥、硅灰、

石英粉、石英砂)搅拌 30 秒;然后加入含减水剂的水溶液搅拌 120 秒;最后加入钢纤维再搅拌 60 秒。搅拌时间根据实际情况微调,确保钢纤维分散均匀。

搅拌过程进行全程监控,记录每个盘的搅拌参数。出机前检测拌合物工作性,流动度控制在 650±50mm 范围。如超出范围,及时调整配合比参数。搅拌站配备温控系统,夏季对骨料和水进行冷却,冬季进行加热,确保出机温度在 10-30℃ 范围内。

运输采用专用混凝土运输车,运输时间不超过 90 分钟。运输过程中罐体保持慢速转动,防止离析。现场泵送采用大口径泵管,减少堵塞风险。泵送前用同配比砂浆润滑管道,泵送过程中保持连续作业。

浇筑工艺要求:浇筑前对基层进行洒水湿润,但不得有明水;浇筑采用分条浇筑方式,条宽 3-4 米;浇筑厚度通过导轨和刮板控制,确保厚度均匀;浇筑后及时进行初步整平,避免表面缺陷。

在极端环境条件下特别注意:夏季施工避开高温时段,选择早晚温度较低时浇筑;冬季施工采取保温措施,确保浇筑温度不低于 5℃;风沙天气加强防护,浇筑后立即覆盖,防止表面失水。

通过严格的工艺控制,该桥 UHPC 施工质量得到了有效保证。现场检测表明,拌合物工作性合格率 98%以上,浇筑厚度合格率 100%,表面平整度达到 3mm/2m 的标准,为后续养护和沥青铺装奠定了良好基础。

6 智能养护技术

UHPC 铺装层完成后,需要在其上施工改性沥青磨耗层,以提高行车舒适性和安全性。两层之间的衔接质量直接影响到桥面铺装体系的整体性能。该桥项目针对 UHPC 基层的特点,制定了专门的沥青磨耗层施工技术。

首先进行界面处理:UHPC 表面采用抛丸处理,露出骨料纹理,增加界面粗糙度;处理后的表面清洁度达到要求,无浮灰、油污等杂质;然后在表面喷洒改性乳化沥青粘结层,用量 0.3-0.5kg/m²,确保粘结效果。

改性沥青混合料采用 SMA-13 级配,改性沥青用量 6.0-6.5%,纤维稳定剂用量 0.3%。混合料拌合温度控制在 170-185℃,出料温度不低于 165℃。运输过程中做好保温措施,到场温度不低于 160℃。

摊铺作业要求:摊铺温度不低于 155℃,采用履带式摊铺机作业,摊铺速度 2-3m/min;摊铺厚度 30mm,通过声纳找平系统控制平整度;摊铺后及时进行初步压

实，避免温度损失过多。

压实工艺采用组合压路机：初压采用双钢轮压路机静压 2 遍，温度不低于 150℃；复压采用轮胎压路机揉压 6-8 遍，温度 130-145℃；终压采用双钢轮压路机静压 2-3 遍，消除轮迹，温度不低于 90℃。

质量控制重点：界面粘结强度采用拉拔试验检测，要求不低于 0.8MPa；压实度要求 98%以上，采用核子密度仪检测；平整度要求 3mm/2m，采用连续平整度仪检测；厚度偏差控制在±3mm 以内。

通过严格的工艺控制和质量检验，该桥沥青磨耗层施工质量完全达到设计要求。行车试验表明，桥面平整舒适，噪音低，抗滑性能好，为大桥提供了安全舒适的行车表面。这种 UHPC 与沥青磨耗层的复合铺装体系，充分发挥了两种材料的优势，实现了功能与结构的完美结合。

7 结语

综上所述，通过对该桥 UHPC 桥面铺装技术的应用和实践，可以得出，UHPC 材料具有卓越的力学性能和耐久性能，特别适合在风沙、干旱、大温差等极端环境下用作桥面铺装材料，具有广阔的应用前景。通过持续的技术创新和工程实践，必将为我国桥梁工程建设做出更大贡献。

参考文献

- [1] 《活性粉末混凝土》GB/T 31387-2015.
- [2] 《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》JTG/3364-2023.
- [3] 《超高性能轻型组合桥面结构技术规范》DB44/T2210-2019.
- [4] 《超高性能混凝土桥面铺装技术规范》DB32/T4287-2022.