

UHPC 在红河特大桥中的应用

张志强

中国水利水电第八工程局有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i2.12475

[摘要] 世界上大、中跨度的现代钢桥多数采用正交异性钢桥面,正交异性钢桥面板属于构造正交异性,它是由纵横相互垂直的加劲肋(纵肋和横肋)连同桥面板组成的共同承受车轮荷载的整体结构。本论文旨在探讨UHPC在红河特大桥中的应用情况,分析其施工技术和结构性能,总结出UHPC在桥梁结构中的应用经验,以期超高性能混凝土的应用提供参考和借鉴,为进一步提高桥梁建设技术水平和竞争力提供有力支持。

[关键词] UHPC; 悬索桥; 钢-UHPC桥面板; 应用

中图分类号: TU74 **文献标识码:** A

The application of UHPC in Red River Bridge

Zhiqiang Zhang

China Water Resources and Hydropower Eighth Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] Most of the world's large and medium span modern steel Bridges use orthotropic steel deck, and the orthotropic steel bridge panel belongs to the structure of orthotropic, which is composed of vertical and vertical stiffeners (longitudinal and transverse ribs) together with the bridge panel to bear the wheel load. This paper aims to discuss the application of UHPC in Honghe Super large bridge, analyze its construction technology and structural performance, and summarize the application experience of UHPC in bridge structure, in order to provide reference and reference for the application of ultra-high performance concrete, and provide strong support for further improving the technical level and competitiveness of bridge construction.

[Key words] UHPC; Suspension bridge; Steel-uhpc bridge panel; Apply

引言

我国正交异性钢桥面普遍采用柔性铺装材料,各类病害依然比较明显。钢桥在反复荷载作用下易于疲劳开裂,柔性铺装不能降低钢桥面板中的应力,不能防治和解决钢桥面板及沥青混凝土的疲劳开裂问题。

针对钢桥面存在的问题,世界各国都在寻找力学性能更加优良的混凝土材料,保证钢桥面铺装的使用寿命。

20世纪90年,法国在钢纤维混凝土研究基础上,研发出RPC,1994年首次提出超高性能混凝土(UHPC)的概念。此后美国、日本相继进行UHPC超高性能混凝土研究。

我国从20世纪90年代开始了UHPC的研究,取得了系列研究成果,国家标准《活性粉末混凝土》已于2015年2月出版。湖南大学最早开展UHPC材料和结构性能研究、桥梁设计与应用研究以及工程实践。武汉桥科院依托国重实验室在材料制备与性能提升、组合桥面结构研发、专用智能化设备开发与成果转化等研究。湖南大学与武汉桥科院UHPC桥面体系主要在养护方式、剪力钉钢筋等细部构造方面有区别,二者分别在湖南和湖北主

编了相应的技术标准。

超高性能混凝土(UHPC)是一种具有超高强度、超高耐久性和较低渗透性的新型混凝土。它是在传统混凝土的基础上,通过掺加高性能减水剂、矿物掺合料和纤维等组分,经过特殊工艺制备和养护而成。UHPC具有很好的抗压强度、抗折强度、抗拉强度和耐久性,可以大大减少建筑结构的自重,提高建筑物的使用寿命和安全性。

UHPC作为桥面铺装已较为常见,多数仍采用铺装思路,少数将UHPC薄层作为结构层。多采用“正交异性板+环氧防腐底漆+UHPC层+环氧粘结层+SMA沥青磨耗层”体系,该结构自2018年开始已在众多桥梁使用^[1]。

1 红河特大桥桥面系优化

红河特大桥为主跨700m的钢箱梁悬索桥,是建水至元阳高速公路的控制性工程,为跨越红河水库而建。桥梁结构形式采用地锚式单跨简支钢箱梁悬索桥,钢箱梁全宽29.5米,由顶板、底板、横隔板及纵腹板组成,中心线处梁高2.994m。共计59节段,总重约9468吨。钢梁节段间采用焊接连接,节段除顶板U肋采用

螺栓连接外,其余部位均采用焊接。



图1 红河特大桥全景图

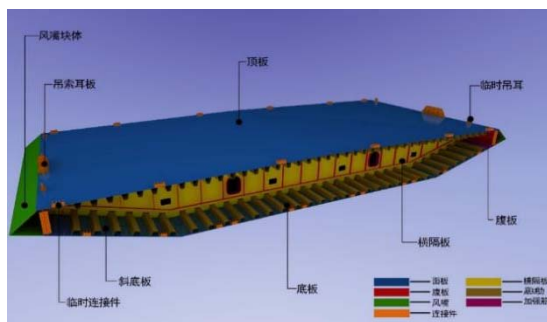


图2 钢箱梁结构示意图

初步设计阶段红河特大桥桥面系拟采用正交异性钢桥面,它是由纵横相互垂直的加劲肋(纵肋和横肋)连同桥面板组成的共同承受车轮荷载的整体结构。

考虑到正交异性钢桥面存在的各类问题,在本工程中拟提出采用钢-UHPC组合桥面系、组合梁板桥面体系(超薄UHPC层或普通混凝土层)进行优化。在正交异性钢面板上密配钢筋网、设置薄型超高性能混凝土(UHPC)层,其上铺筑沥青磨耗层的超薄沥青混凝土与UHPC组合钢桥面铺装——钢-UHPC轻型组合桥面结构。为了进一步节省桥面钢材用量,降低桥面建设成本,采用组合梁板桥面体系(板为超薄UHPC层或普通混凝土层)。

2 性能分析

针对正交异性钢桥面、钢-UHPC组合桥面系、组合梁板桥面体系(超薄UHPC层或普通混凝土层)4种模型方案进行结构的整体和局部的性能分析,综合分析不同桥面结构形式的影响。

2.1 整体性能

整体指标对比采用MidasCivil2017建立空间杆系有限元模型计算分析,得出原方案与拟优化方案整体性能指标,根据指标对比,初步分析结论如下:(1)加劲梁刚度随着桥面板厚增加而增加;(2)桥面系自重对主缆缆力影响较大;(3)不同桥面系方案对于活载下主缆的应力水平影响很小;(4)整体竖向刚度主要由缆索决定;(5)主塔应力变化与桥面系自重变化趋势一致。

根据方案对比,得出钢-UHPC铺装桥面、组合UHPC板梁板和组合普通混凝土板梁板的优缺点。钢-UHPC铺装桥面优点是自重减少,加劲梁刚度增加,主缆应力减少,主塔应力减少;缺点是自重减少缆力下降,整体刚度略降。组合UHPC板梁板优点是索力与

加劲梁刚度增加,整体刚度提升明显;缺点是自重增加,主缆和主塔应力增加。组合普通混凝土板梁板优点是索力与加劲梁刚度增加,整体刚度提升明显;缺点是自重增加,主缆和主塔应力增加。

2.2 局部性能分析

正交异性钢桥面的破坏和病害主要是在局部轮载工况下产生,通过精细有限元建立局部节段的办法对正交异性钢桥面和钢-UHPC组合桥面进行局部受力工况下受力分析^[2]。

从两类桥面系在活载下的整体变形云图分析,采用正交异性钢桥面最大等效应力出现在跨中,为24.2MPa,而采用UHPC层后,UHPC层分担了跨中钢板的绝大多数压应力,从而应力集中区域转移到加劲梁与吊杆的连接附近,但最大应力也仅10.9MPa,降低50%以上,而仅就跨中区域的应力水平来说,其应力水平仅7.45MPa,极大的降低了钢顶板的应力水平,可以减小钢顶板的厚度,进一步节省更多的材料。根据结构的变形云图来看,采用UHPC层组合后,桥面系的横向刚度也有一定的增加,活载下横向的最大挠度从43.4mm降低到34.8mm。

2.3 经济分析

根据初步设计审查意见,结合重载车道的受力分析、优化钢桥面板设计,解决常见钢桥面疲劳病害。对钢-UHPC组合桥面和正交异性钢桥面的经济比选,见表4。钢箱梁铺装易发生正交异性钢桥面的疲劳开裂,使用寿命内需反复维修铺装层,影响桥上交通,维护费用高。采用UHPC铺装后,疲劳性能得到大大改善。

经清华大学、湖南大学、武汉桥科院和苏交科集团设计院研究,通过钢-UHPC铺装桥面、梁板组合(UHPC板)和梁板组合(普通混凝土板)方案综合对比分析,认为钢-UHPC铺装桥面为红河特大桥钢箱梁桥面结构。

3 施工技术

红河特大桥桥面板UHPC抗压、抗拉、抗渗应不低于《超高性能混凝土技术标准:基本性能与试验方法》(T/CBMF37-2018T/CCPA7-2018)规定的UC150、UT07级、UD20的要求UHPC。UHPC有预混料、砂子、水、混合减水剂和钢纤维组成。经多方比选,与华新水泥联合引进国际知名品牌拉法基的配方和材料。实施前在试验室试拌送国家建筑材料测试中心检测,相关指标满足要求。

红河特大桥桥面长700m,单幅宽11.5m,共16060m²,分为18个单元,上下游单元对称,单幅对称浇筑。各单元接缝处作为施工缝,施工缝必须间距钢箱梁节段连接缝距离5m以上,在施工缝处增加S型异型钢板进行局部加强。

3.1 施工布置

在红河特大桥元阳侧引桥上布置2台立轴行星式搅拌机(0.87m³/台机)用于UHPC拌和。拌和用的预混料、钢纤维、细砂、外加剂放置在搅拌机附近,采用叉车和25t吊车入仓。

桥面采用木板铺设UHPC运输通道,由叉车装运料斗将UHPC运送至施工仓面处,利用25t吊车将料斗吊至摊铺设备进料口下料,采用超声波UHPC布料摊铺整平一体机摊铺布料整平。

3.2 施工工艺

UHPC(超高性能混凝土的简称)桥面板施工工艺为: 施工准备→标高控制→设备调试→UHPC试拌(通过试拌和流动性试验确定拌合时间和配合比)→UHPC生产拌和→UHPC浇筑→UHPC养护^[3]。

3.3 施工准备

钢板清理后, 首先采用钢尺和划针按设计位置及间距划出剪力钉的位置打上样冲眼, 用角磨机和钢丝刷将剪力钉焊接位置涂层打磨干净, 用植钉枪逐个焊接, 对剪力钉和钢板进行防腐。然后按照分仓施工缝和图纸尺寸进行S型异型钢板定位焊接。最后根据设计图纸要求进行钢筋绑扎施工。

3.4 现场试拌试验

正式浇筑前先进行试拌, 保证机械设备性能满足UHPC拌制要求。通过现场试拌, 预混料和砂子上料用时12min, 搅拌3min; 加水 and 外加剂用时3min, 搅拌3min; 待粉料全部转换成胶体后, 加入钢纤维用时2min, 搅拌3min; 材料搅拌均匀后, 卸料时间4min, 一机用时30min, 了解到UHPC现场检测扩展度为560~610mm, 具有自流平的特性, 拌和时间和扩展度满足设计要求。

3.5 UHPC拌和生产

UHPC所用原材料中的核心组份为袋装, 其重量按0.87m³配制, 用叉车和吊车将预混料投入料仓, 然后通过自动上料系统输送到搅拌仓; 钢纤维25kg/包, 按配比人工投入搅拌仓; 外加剂和水按照配合比预先投入水桶中, 混合均匀用水泵抽入搅拌机的水箱中, 搅拌机自带水计量系统。

3.6 浇筑施工

由叉车装运料斗将UHPC运送至施工仓面处, 利用25t吊车将料斗吊至摊铺设备进料口下料。UHPC摊铺施工采用摊铺、养护一体机施工, 做到一次摊铺成型。通过自带的振动板, 在行走过程中将铺设好的材料振平收光, 再通过自带的前压脚板, 确保UHPC材料不会从设备行进前端溢出, 保证均匀布料, 见图3。两侧配备超声波高程控制器, 在设备行走过程中实时跟踪探测基准标高, 自动控制铺装厚度。



图3 UHPC入仓浇筑

3.7 收面及养护

UHPC表面褶皱部位及一体机两端设专人采用平板振捣器进行振捣振平收面作业, UHPC混凝土浇筑后在喷雾保湿的条件下进行收面作业。

UHPC每摊铺完成1m, 及时喷雾采用养生薄膜进行保湿养护, 养生薄膜搭接铺设宽度大于20cm, 并采用土工布覆盖; UHPC养护时间为7天, 第一天采用塑料膜覆盖, 养护温度不小于10℃。常温养护1天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。

4 实施成果

实施过程中原材料和试块送国家建筑材料测试中心检测, 所有指标均满足要求。采用摊铺养护一体机施工后, 经参建各方通过厚度检测装置和公路连续式平整度仪检测, 其厚度和平整度均满足规范要求, 表面未发现裂缝。

红河特大桥采用钢-UHPC组合桥面, 优化了钢箱梁顶板厚度, 节约了投资成本, 同时降低了后期运营维修的难度和费用。

5 结束语

通过实际工程应用, 发现UHPC在提高桥梁结构性能、减小桥梁自重、降低维护成本等方面具有显著优势。同时, 我们对红河特大桥的结构性能进行了检测与评估, 结果表明, 采用UHPC的桥梁结构性能良好, 满足设计要求。

[参考文献]

- [1]刘传阳. 跨营业线门式墩钢横梁封锁点内吊装关键施工技术[J]. 市政技术, 2021, 39(12): 35-38.
- [2]张康银, 左君, 杨大利. 钢横梁吊装施工技术要点研究——以凉州2号特大桥为例[J]. 工程技术研究, 2021, 6(21): 26-28.
- [3]杨丰双. 小角度上跨既有有线大跨度钢横梁门式墩施工技术[J]. 中国住宅设施, 2021, (01): 119-120.

作者简介:

张志强(1982--), 男, 汉族, 河北省衡水市阜城县人, 高级职称, 本科, 主要从事公路桥梁和铁路桥梁研究。