

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.04.026

UHPC-钢组合桥面板结构设计分析

刘晓奎, 王青桥

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要:以某全互通立交为工程背景, 匝道曲线段采用钢-UHPC组合连续梁结构, 通过MIDAS有限元仿真计算分析了UHPC-钢组合桥面板在车辆荷载作用下的受力性能, 对比了不同加劲肋对组合桥面板第二体系应力的影响, 得到了一些有价值的结论, 可以为类似结构设计提供参考。

关键词:钢-UHPC组合连续梁; UHPC-钢组合桥面板; 加劲肋

中图分类号: U448.21+6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)04-0094-04

0 引言

超高性能混凝土(UHPC)是一种高性能结构材料, 与普通混凝土相比, 具有高强度、高韧性、高耐久性等优点。基于UHPC的优异性能, 国内已研发出多种钢-UHPC组合桥面板结构, 如钢-STC轻型组合桥面板、型钢-UHPC轻型组合桥面等结构等, 其典型结构体系由正交异性板、剪力钉、钢筋网、UHPC层和磨耗层组成, 如图1所示。

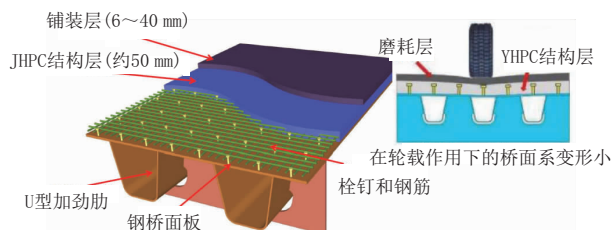


图1 轻型组合桥面板典型结构体系

轻型组合桥面板在重量上与正交异性钢桥面板接近, 可将传统钢桥面的局部刚度提高30倍以上, 钢桥面板在轮载作用下的平均应力幅降低50%以上, 从而显著提高钢桥面的抗疲劳寿命。同时, UHPC抗折刚度大, 韧性好, 可以适应桥面的受力状态, 改善了上层柔性铺装的工作条件, 解决了柔性铺装过早损坏的难题。

1 UHPC-钢组合桥面板结构设计

某市全互通立交, 匝道直线段采用预制小箱梁结构, 曲线段采用钢-UHPC组合连续梁结构。由于本立交匝道最小曲线半径仅75m, 最大纵坡达5%, 为避免大纵坡曲线钢箱梁的桥面铺装在运营过程中

不产生车辙、推移、壅包等损坏, 同时避免正交异性桥面板的疲劳开裂, 需要对钢桥面板设计进行重点关注。

设计通过钢面板上铺设薄层超高性能混凝土(UHPC)层, 将正交异性桥面板转变为UHPC-钢组合桥面板结构(见图2), 具体是将钢桥面板采用球扁钢加劲肋, 钢桥面板上焊剪力钉, 铺设钢筋网, 再浇筑60mm厚UHPC层, 最后其上摊铺40mm厚沥青混凝土磨耗层。

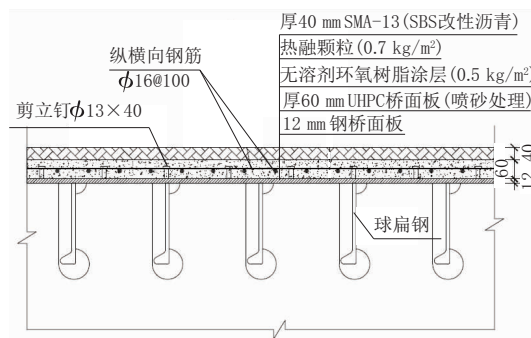


图2 UHPC-钢组合桥面板结构断面(单位:mm)

2 UHPC-钢组合桥面板结构计算

2.1 有限元模型

采用有限元程序MIDAS建立UHPC-钢组合桥面板节段模型, 模型取标准桥宽8.2m, 顺桥向3跨共长10.5m, 每2道横隔板中间增设一道横肋, 节段钢箱梁平面和断面如图3所示。

钢结构采用板单元模拟, 弹性模量取 2.06×10^5 MPa, 泊松比取0.3; UHPC层采用板单元模拟, 弹性模量取 4.26×10^4 MPa, 泊松比取0.2。计算中未考虑UHPC层中钢筋的影响, 未考虑UHPC层与钢板之间的剪切滑移。有限元模型如图4所示, 约束方式为在两端横隔板断面处, 对腹板底面的节点进行竖向平动自由

收稿日期: 2022-03-29

作者简介: 刘晓奎(1982—), 男, 博士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

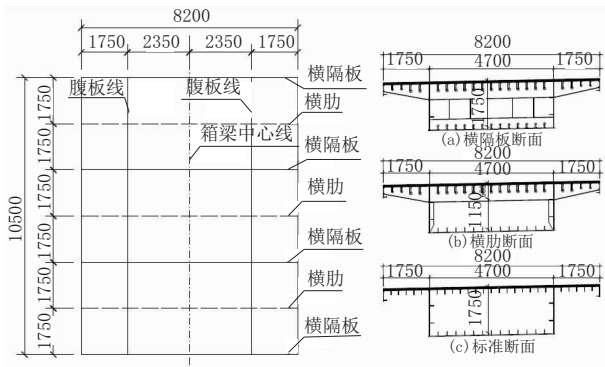


图3 钢箱梁节段平面和断面图(单位:mm)

度约束,消除结构的总体变形效应,以反映桥面板结构的局部受力状态。

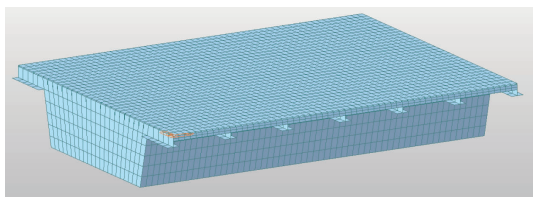


图4 组合桥面板有限元模型

2.2 活载加载工况

活载加载采用《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)规定的车辆荷载,每个车轮作用面积取 250 × 600 mm(纵桥向 × 横桥向),车轮轮载以面荷载施加到桥面板上,并考虑 0.3 的冲击系数。由于中、后轴纵向相距较大(7.2 m),可不考虑中、后轴之间的叠加效应。

荷载工况布置原则为:UHPC 层拉应力尽可能大,同时兼顾钢桥面板的应力分布取最不利位置加载。横桥向加载中心分别位于腹板跨中和骑跨腹板(加载工况 1、2),顺桥向加载中心分别位于横隔板跨中和骑跨横隔板(加载工况 3、4),综合考虑横桥向、顺桥向加载位置,结合单轴加载或双轴加载,共组合成 8 种加载工况,如图 5 所示。

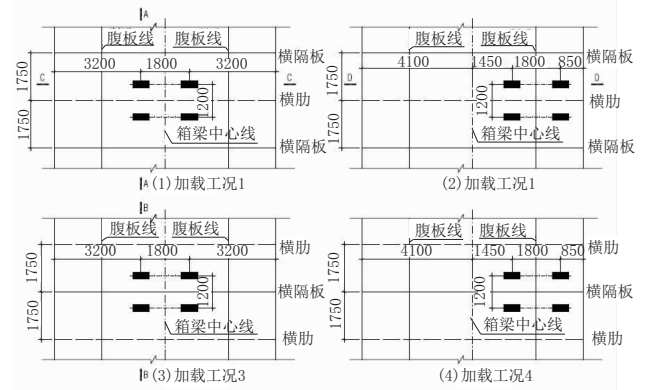
2.3 桥面板应力分析

通过有限元分析,在最不利加载工况 3 时,UHPC 层最大顺桥向拉应力为 7.7 MPa,出现在横隔板顶面位置;在最不利加载工况 2 时,UHPC 层最大横桥向拉应力为 7.9 MPa,出现在纵腹板顶面位置。组合桥面板变形图和应力云图如图 6 所示。

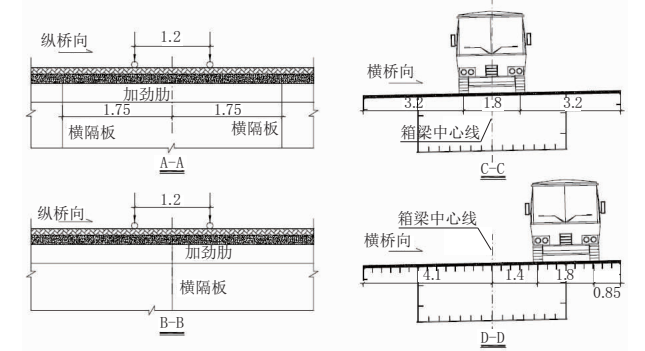
3 不同纵向加劲肋对组合桥面板应力影响

3.1 纵向加劲肋

钢桥面板的纵向加劲肋,常用的有球扁钢加劲肋、I 字加劲肋、倒 T 加劲肋和矮 U 形加劲肋。其中 I 字加劲肋结构最为简单,但板厚较大;倒 T 加劲肋的



(a)加载工况平面布置图(单位:mm)



(b)加载工况立面和断面布置图(单位:m)

图5 车辆荷载加载工况

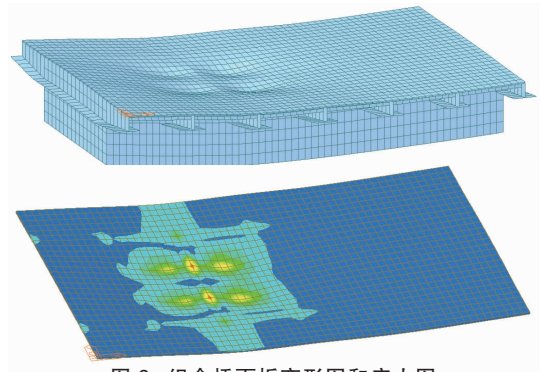


图6 组合桥面板变形图和应力图

工厂焊接工程量较大,现场连接也较困难;U 型加劲肋在正交异性桥面板中应用最多,直线桥梁加工方便,在曲线桥梁中常采用以直代曲法加工。

为对比不同加劲肋形式下 UHPC- 钢组合桥面板的受力性能和经济性能,建立 4 种纵向加劲肋形式的组合桥面板模型,加劲肋布置如图 7 所示。4 种加劲肋规格分别为,球扁钢 12 × 260 mm;I 字肋 14 × 180 mm;倒 T 肋 10 × 200+10 × 120 mm;矮 U 肋 8 × 160 mm。其中,球扁钢、I 字肋和倒 T 肋的间距取 300 mm,矮 U 肋的间距取 500 mm。

3.2 主要计算结果

计算结果:(1)UHPC 层拉应力,包括顺桥向拉应力和横桥向拉应力;(2)钢桥面板应力,包括顺桥向应力和横桥向应力,以及加劲肋顺桥向应力;(3)组合桥面板用钢指标。计算结果如图 8 所示。

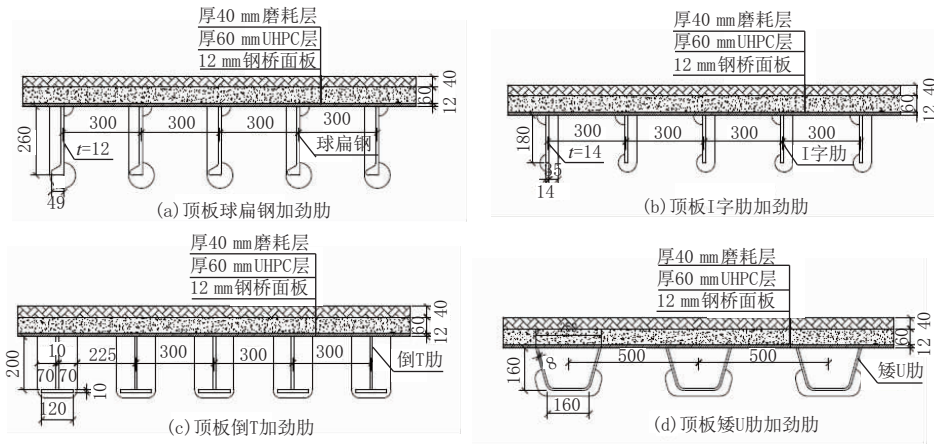


图7 组合桥面板4种纵向加劲肋(单位:mm)

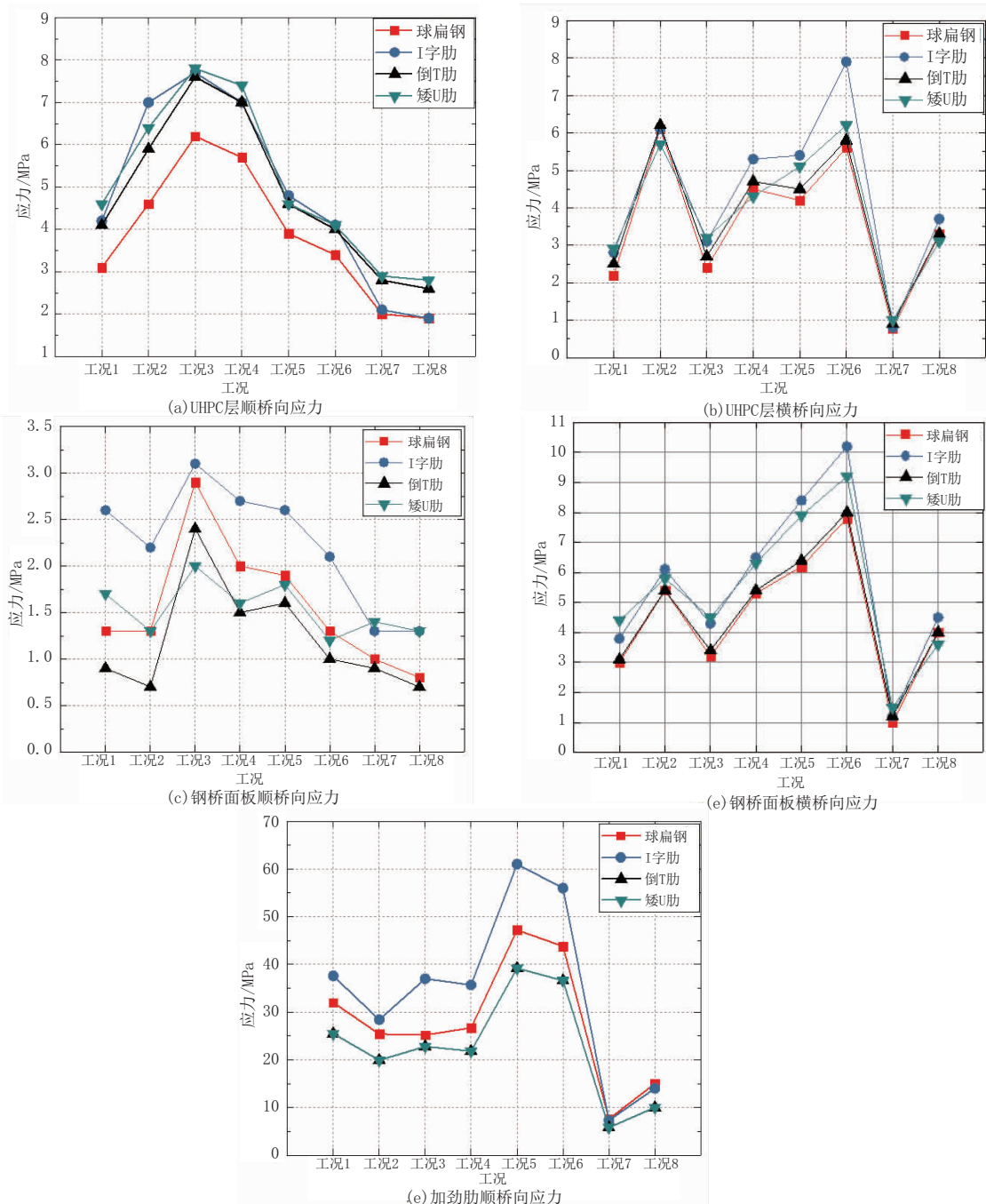


图8 UHPC层顺桥向应力

计算结果表明(见表1):

(1)在不同加劲肋形式下,组合桥面板主要关注应力值随荷载工况变化趋势基本一致。

(2)UHPC层的最大顺桥向应力为6.2~7.8 MPa,出现在工况3钢箱梁的横隔板顶面位置;UHPC层的最大横桥向应力6.1~7.9 MPa,出现在工况2/6钢箱梁的腹板顶面位置。

(3)钢桥面板顺桥向和横桥向的拉应力值2.4~10.2 MPa,应力水平很低。

(4)在各种加劲肋形式中,I字肋惯性矩最小($2.7 \times 10^7 \text{ mm}^4$),对钢桥面板局部刚度提高最小,I字肋的顺桥向应力最大(61.0 MPa);倒T肋和矮U肋的顺桥向应力值分别为32.9 MPa和39.2 MPa;球扁钢的截面惯性矩最大($13.1 \times 10^7 \text{ mm}^4$),加劲肋应力值较低(47.2 MPa)。

(5)本工程钢-UHPC组合连续梁最后选用球扁钢加劲肋,组合桥面板刚度较大,应力水平较低,能基本消除钢桥面板的疲劳开裂问题。

表1 各加劲肋受力参数表

加劲肋	球扁钢	I字肋	倒T肋	矮U肋
截面面积/mm ²	4132	2520	3200	3824
惯性矩/10 ⁷ mm ⁴	13.1	2.7	7.7	4.8
用钢量/(kg·m ⁻²)	108.1	65.9	83.7	60.0
加劲肋应力值/MPa	47.2	61.0	32.9	39.2

4 结 论

本文以某市全互通立交的钢-UHPC连续叠合梁为背景,分析了UHPC-钢组合桥面板在车辆荷载作用下的应力水平,对比了不同加劲肋形式对其受力性能的影响,得到了一些有价值的结论:

(1)UHPC层最大顺桥向应力出现在钢箱梁横隔板顶面位置,最大横桥向应力出现在腹板顶面位置。

(2)UHPC层能显著降低桥面板和加劲肋在车辆荷载作用下的应力,两者应力水平均较低。

(3)不同加劲形式对组合桥面板应力水平影响不同,需要根据应力、经济性和工厂加工方便性选择合适的加劲形式。

(4)超高性能混凝土组合桥面板结构能基本消除正交异性钢桥面板的疲劳开裂问题。

参考文献:

- [1] JTG/T D64-01—2015,公路钢混组合梁实际与施工规范[S].
- [2] 邵旭东,胡建华著.钢-超高性能混凝土轻型组合桥梁结构[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [3] 赵秋,陈平,陈宝春,等.装配式钢-UHPC组合桥面板试设计及性能研究[J].桥梁建设,2018(1):94-99.
- [4] 韦勇克.西江二桥钢-超高性能混凝土轻型组合梁设计研究[J].中外公路,2020(5):158-164.
- [5] 张清华,张鹏,刘益铭,等.新型大纵肋正交异性组合桥面板力学性能研究[J].桥梁建设,2017(3):30-35.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com