

新型钢-混凝土组合梁桥面板设计与施工技术研究

刘雪峰, 李 东

(深圳市综合交通设计研究院有限公司, 广东 深圳 518003)

摘 要: 为解决钢-混凝土组合桥梁的桥面板传统浇筑方法施工带来的不足, 现依托深圳市东部过境高速公路翠宝路高架特大桥项目, 创新性地提出一种新型钢-混凝土组合箱梁桥面板, 并提出相应的新型施工工艺, 提高施工效率并减少对桥下空间的影响。经数值分析计算, 证明在实际工程中采用该新型桥面板的施工工期大幅减少, 对桥下交通的影响也大幅减少, 可产生较好的综合效益。新型钢-混凝土组合箱梁桥面板成功解决了传统现浇混凝土桥面板现场施工的技术难题, 为今后同类型桥面板施工带来新的选择及突破口, 具有巨大的潜力, 值得广泛推广应用。

关键词: 钢-混凝土组合; 桥面板; 施工工艺; 受力分析; 工期

中图分类号: U445.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)10-0091-04

0 引 言

随着我国城市化水平不断提高和基础设施建设的快速发展, 城市中桥梁建设如火如荼, 优点突出的钢-混凝土桥由于结合了钢和混凝土材料的力学特性应用越来越广泛^[1-4]。国内诸多学者对城市交通重要区域的桥梁建设进行了卓有成效的研究^[5-9]。刘新华^[10]以桥面连续钢-混组合梁为研究对象, 负弯矩区桥面板采用超高性能混凝土进行抗裂性能展开研究; 张鸿等^[11]以正在建设的某高速公路钢板组合连续梁桥为背景, 从提高结构体系性能和装配化效率的角度, 对该类型桥梁进行建造方案优化研究。

钢-混凝土桥的悬臂板上方混凝土浇筑常规架设模板的施工方法不但对桥下交通存在安全隐患, 而且增加桥梁建设的工期, 需对其施工方案进行改进, 提供施工效率并减少对桥下空间的影响。

为解决钢-混凝土组合桥梁的桥面板传统浇筑方法施工带来的不足, 现依托深圳市东部过境高速公路翠宝路高架特大桥项目, 提出一种具有新型桥面板结构的钢-混凝土组合桥梁桥面板, 并对施工方案进行了系统研究及阐述, 以期对今后同类工程提供新的选择, 提高桥梁综合效益。

1 工程概况

深圳市处于与香港陆路相连的特殊地理区位, 依托珠江三角洲经济区, 充分发挥了国内、国外两个市场的枢纽作用, 是连接内地和香港、国内和国际的区域综合交通枢纽, 这使深圳地区的交通形成了过境交通与城市区域交通两大体系相融合的综合交通体系。目前中部通道已基本形成, 西部通道即将完工, 东部通道(深圳市东部过境高速公路, 即本项目)尚未实施。

深圳市东部过境高速公路是以东部莲塘口岸为起点, 沿深圳东部发展轴向外辐射的快速通道。翠宝路高架桥左右幅桥等长, 该桥平面处于“S”形的平曲线段, 平曲线组合为: 缓和曲线($A=406.202\text{ m}$, $L=150\text{ m}$)+缓和曲线($A=271.109\text{ m}$, $L=175\text{ m}$)+圆曲线($R=420\text{ m}$, $L=199.848\text{ m}$)+缓和曲线($A=242.487\text{ m}$, $L=140\text{ m}$)+缓和曲线($A=259.23\text{ m}$, $L=140\text{ m}$)+圆曲线($R=480\text{ m}$, $L=115.695\text{ m}$)+缓和曲线($A=263.818\text{ m}$, $L=145\text{ m}$)。

该高速公路设计速度为 80 km/h , 主路双向 8 车道, 标准横断面布置为整体式主线桥标准宽度: 0.75 m (防撞护栏)+ 0.5 m (硬路肩)+ $4\times 3.75\text{ m}$ (行车道)+ 0.5 m (路缘带)+ 2 m (中央分隔带)+ 0.5 m (路缘带)+ $4\times 3.75\text{ m}$ (行车道)+ 0.5 m (硬路肩)+ 0.75 m (防撞护栏)= 35.5 m 。水平向地震动峰值加速度按 $0.1g$ 设计, 抗震设防烈度为 7 度。桥梁设防类别为 B 类。抗震设防措施等级为 8 级。设计安全等级: 一级; 结构的重要

收稿日期: 2021-01-28

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2017YFD0800501)

作者简介: 刘雪峰(1978—), 男, 本科, 高级工程师, 从事桥梁设计研究工作。

性系数为 1.1,设计基准期:100 a,环境类别为 I 类 B 级,钢混组合梁桥横断面如图 1 所示。

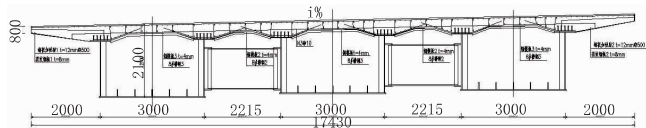


图 1 钢混组合梁桥横断面图(单位:mm)

2 新型钢-混凝土组合箱梁桥面板设计及施工工艺对比

2.1 新型钢 - 混凝土组合箱梁桥面板设计

新型桥面板结构的钢-混凝土组合桥梁与传统桥面板结构钢混组合梁桥主要区别在桥面翼缘板。桥面翼缘板主要由顶板钢筋、混凝土、L型翼缘钢板和其上面焊接的I型加劲肋组成。如图2至图4所示。

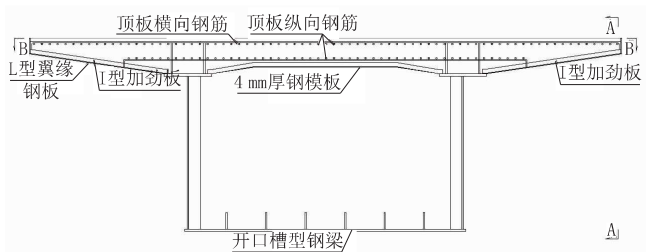


图 2 新型钢-混凝土组合桥梁纵向剖视示意图

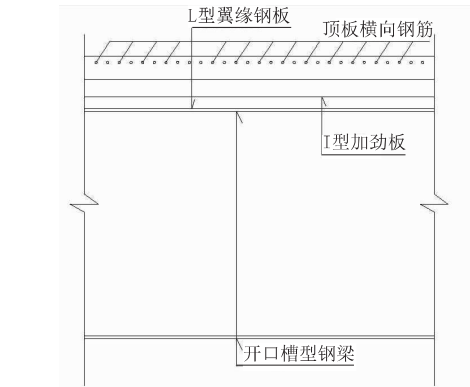
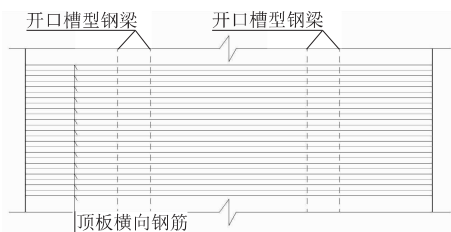


图 3 A-A 剖视示意图



I型加劲板

图 4 B-B 剖视示意图

2.2 钢混组合梁新型桥面板施工工艺

传统桥面板浇筑方法施工工期长且底部外观质量得不到保证。新型桥面板结构的钢-混凝土组合桥梁包括预制钢梁,以及新型的桥面板,桥面板固定

在预制钢梁的顶部；桥面板主要由开口槽型梁上方钢板、槽钢两侧 L 型翼缘钢板、翼缘钢板上方 I 型加劲肋，桥面顶部与两侧 L 型翼缘钢板焊接的横向钢筋组成。

预制钢梁两侧焊接的翼缘钢板均呈 L 型, 其优点除充当侧向模板外还提供了顶层横向钢筋焊接的位置, 使预制钢梁、翼缘钢板、顶层横向钢筋成为一个闭合的框架, 保证桥面板承载力的同时增加了整体稳定性。同时为保证桥面翼缘板的外观质量和提高桥面板混凝土与翼缘钢板的粘结力, 将翼缘钢板的顶面设置有花纹结构, 底面为光滑面。该新型桥面板结构与传统的钢混桥面板结构相比, 其优势非常突出。施工无需于现场装拆, 不会影响地面交通, 同时缩短了施工工期、节省了工程造价。

3 钢混组合梁新型桥面板实例分析

为了更好地突出新型桥面板结构在实际应用中的优势,现结合深圳市翠宝路高架桥进行说明。预制钢梁两侧的翼缘钢板采用 8 mm 厚花纹钢板、预制钢梁敞口顶部钢板采用 4 mm 常规钢板,与翼缘钢板焊接成整体的顶板上缘钢筋采用 $\Phi 16 \text{ mm} @ 100 \text{ mm}$,翼缘钢板 I 型变高加劲肋尺寸为 $100 \sim 300 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ (高 $\times$ 厚),其设置间距为 500 mm,两侧的翼缘板上方的桥面板底部纵横向钢筋均取消(见图 5)。

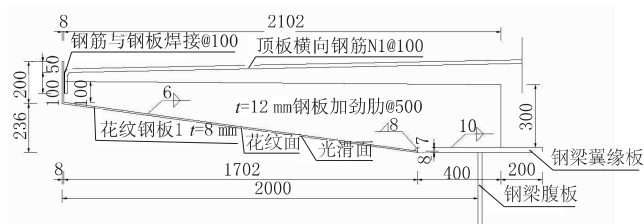


图 5 钢混组合梁桥新型桥面悬臂板大样图(单位:mm)

3.1 施工工序

新型桥面板施工工序如下:

(1) 依据钢梁运输路线、现场吊装场地、临时墩布置位置和吊装能力等限制因素分段焊接好开口钢梁且进行预拼装, 并将 4 mm 厚钢模板焊接在开口钢梁上, 使开口钢梁形成闭合框架, 再运输到施工现场, 利用汽车吊将闭合钢梁吊装至桥墩上。

(2)在现场将吊装就位的节段钢梁焊接成整体。

(3)在工厂将桥面板上缘横向钢筋、变高 I 型加劲肋与悬臂翼缘钢板焊接好,运至施工现场后利用汽车吊将其吊装至钢梁上,再通过现场焊接将桥面翼缘底钢板与钢梁翼缘顶板对接焊接,I 型加劲肋与

钢梁翼缘顶板搭接焊成整体、顶板横向钢筋与钢梁翼缘顶板通过剪力钉焊接成整体。

(4)先浇筑预制钢梁正上方混凝土,且其浇筑顺序是从跨中向两侧桥墩浇筑。

(5)从跨中沿着桥墩方向对称浇筑两侧翼缘板混凝土,桥面板浇筑成型。

(6)施工桥梁附属构造。

(7)成桥运营,考虑十年收缩徐变。

3.2 受力分析

该钢-混组合箱梁新型桥面板与传统钢-混组合箱梁桥面板主要差别在于翼缘钢板代替了传统桥面板的底模板且参与结构的受力,同时取消了翼缘板底部纵向、横向钢筋。其主桥纵向结构与传统钢混组合梁受力验算一致,仅桥面悬臂板构造发生改变,故仅对桥面悬臂板的施工过程和成桥运营后的桥面板受力分析,采用 MIDAS2019 进行验算。

依据钢-混组合箱梁新型桥面板施工过程和成桥阶段的受力分析,选取了施工过程桥面板最不利阶段-浇筑两侧翼缘板混凝土和成桥通车后的桥面悬臂板两个工况进行分析,采用迈达斯进行验算。

3.2.1 施工阶段应力分析

工况 1:浇筑完两侧翼缘板混凝土且混凝土未硬化工况。该工况的施工荷载有混凝土自重、施工人群荷载、施工机械荷载等,为了简化计算将悬臂板根部采用刚性固结。荷载类型包括桥面板混凝土自重(26 kN/m^3),施工人群荷载(4 kPa),施工机械竖向荷载(4 kPa),施工机械横向荷载(2 kPa)。

单元数量共 230 个,其中悬臂 L 型钢板采用板单元(板厚 8 mm),共计 120 个;顶板直径 16 mm 钢筋采用梁单元,共计 110 个,节点数量共 253 个。边界条件数量均采用刚接,计算模型如图 6 所示。设计荷载中温度荷载考虑系统 $30.0 \text{ }^\circ\text{C}$, $-30.0 \text{ }^\circ\text{C}$, 支座沉降按 1 cm 考虑,桥面人群荷载按 4.0 kN/m^2 考虑。

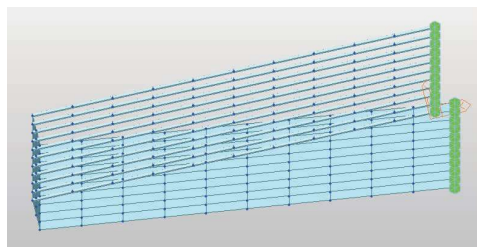


图 6 计算模型

将不同阶段和工况的应力计算结果汇总于图 7~图 9,可见对于工况 1,通过 MIDAS2019 分析钢混组合梁桥面翼缘悬臂板,最大拉应力出现在 I 形变高

加劲肋的端部,拉应力为 142 MPa ,桥面底钢板最大应力为 140.4 MPa 。

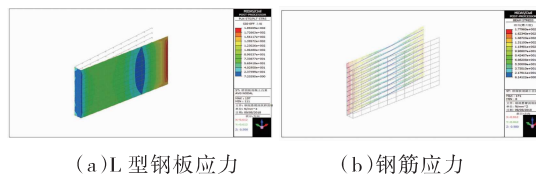


图 7 桥面板自重下受力分析图示

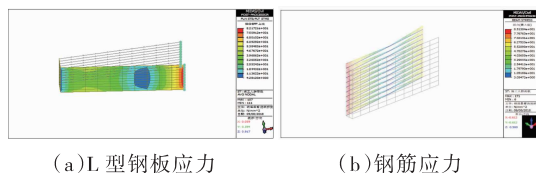


图 8 桥面板在施工附加荷载作用下应力分析图示

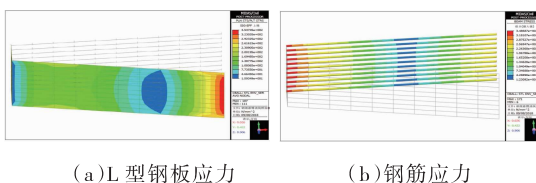


图 9 桥面板在施工完成应力分析图示

3.2.2 运营阶段应力计算结果

工况 2:完成桥面板浇筑及其他附属设施的安装。该工况的荷载有桥面板自重、桥面二期铺装荷载、防撞墙荷载、声屏障荷载、车辆荷载等,为了简化计算将桥面翼缘板根部采用刚性固结。荷载类型包括桥面板混凝土自重(26 kN/m^3),桥面二期铺装荷载(2.6 kPa),防撞墙自重(27.4 kPa),声屏障(4 kPa),车辆荷载(46 kPa)(见图 10)。

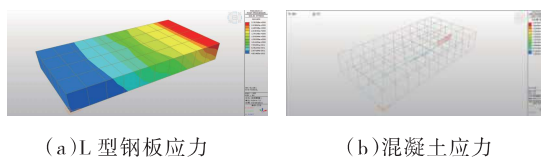


图 10 桥面板在运营阶段应力分析图示

对于工况 2,通过 MIDAS2019 分析钢混组合梁桥面翼缘悬臂板,桥面翼缘悬臂板底钢板最大应力为 46 MPa ,混凝土应力为 2.8 MPa 。

3.3 用料与施工工期影响

钢-混组合箱梁新型桥面板与传统钢-混组合箱梁桥面板主要差别在于翼缘钢板代替了传统桥面板的底模板且参与结构的受力,同时取消了翼缘板底部纵向、横向钢筋,除桥面板翼缘悬臂设置不一致外其余与传统钢-混组合箱梁桥面板设置一致,故该小节仅对 50 m 钢混组合梁桥面板翼缘悬臂用料与工期对比。其中采用新型钢混组合桥面板翼缘板钢材需要 $22\,950 \text{ kg}$,施工工期为 2 d ,而采用传统钢

混组合桥面板钢材需要 14 665 kg,施工工期为 5 d,可知在增加不多费用的情况下工期大幅减少,对桥下交通的影响也大幅减少,可产生较好的综合效益。

4 结论与建议

钢-混凝土组合桥梁中的传统现浇混凝土桥面板是桥梁上部结构的重要组成部分,同时也是桥梁上部结构施工中非常重要的工序。为解决钢-混凝土组合桥梁的桥面板传统浇筑方法施工带来的不足,本文依托深圳市东部过境高速公路翠宝路高架特大桥项目,创新性地提出一种新型钢-混凝土组合箱梁桥面板,并提出相应的新型施工工艺,提高施工效率并减少对桥下空间的影响。经数值分析计算,证明在实际工程中采用该新型桥面板的施工工期大幅减少,对桥下交通的影响也大幅减少,可产生较好的综合效益。目前,深圳市东部过境高速公路翠宝路高架特大桥已经顺利实施完成,上述措施成功解决了传统现浇混凝土桥面板现场施工的技术难题,为今后同类型桥面板施工带来新的选择及突破口,具有巨大的潜力。

参考文献:

- [1] 陈军刚,郭绍成,陈孔令,张皓.钢-混凝土组合桥梁在云南山区常规模大跨梁桥中的应用[J].中外公路,2019,39(2):193-197.
- [2] 张永康.大跨径简支钢-混凝土组合梁桥设计研究[J].城市道桥与防洪,2019(2):81-84+12.
- [3] 聂建国,陶慕轩,吴丽丽,等.钢-混凝土组合结构桥梁研究新进展[J].土木工程学报,2012,45(6):110-122.
- [4] 陈继.钢-混凝土组合结构在桥梁工程中的应用[J].中国公路,2018(1):118-119.
- [5] 蔡文平.基于钢管连接件的钢-UHPC组合桥面板抗剪性能研究[J].公路工程,2020,45(2):14-20.
- [6] 张万里.钢混组合连续刚构桥混凝土桥面板安装[J].公路,2019,64(10):152-156.
- [7] 成张佳宁.纤维品种和掺量对桥面板高性能混凝土耐久性能及微观结构的影响[J].公路工程,2019,44(6):183-190+233.
- [8] 蔡鑫.浇注式沥青混凝土在钢桥面铺装中的应用[J].城市道桥与防洪,2019(10):123-126+17.
- [9] 史占崇,苏庆田,戴昌源.钢-钢纤维混凝土组合桥面板轴拉性能试验研究[J].建筑结构学报,2019,40(S1):47-53.
- [10] 刘新华,周聪,张建仁,李立峰,石雄伟.钢-UHPC组合梁负弯矩区受力性能试验[J].中国公路学报,2020,33(5):110-121.
- [11] 张鸿,张永涛,王敏,夏昊,田飞.装配式组合梁桥一体化架设方法及装备[J].中外公路,2018,38(6):140-143.

~~~~~  
(上接第 90 页)

#### 参考文献:

- [1] 何奇钦,王碧波.柳州白沙大桥主桥设计[J].桥梁建设,2018,48(4):96-101.
- [2] 严国敏.现代斜拉桥[M].四川成都:西南交通大学出版社,2000.
- [3] 吴巨军,郑江敏,刘山林.钢管混凝土斜塔斜拉桥设计[J].世界桥梁,2020,48(2):6-9.
- [4] 杨征宇,宋桂峰,楼庄鸿.我国独塔斜拉桥[J].预应力技术,2007,62(3):7-17.
- [5] JTG/T 3365-01—2020,公路斜拉桥设计规范[S].
- [6] 赖亚平,王科,李锦.泸州沱江四桥主桥扭转、剪力滞效应及关键构造研究[J].桥梁建设,2016,46(4):17-22.
- [7] 丁磊,唐彪,华新,等.浦仪公路上坝大桥分离式钢箱梁设计[J].上海公路,2018(4):33-38.
- [8] 陈亚强.福州鼓山大桥钢箱梁顶推设计与施工[J].建筑技术,2010,41(7):670-672.
- [9] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].