

武汉至大悟高速公路钢箱梁桥面铺装结构方案

黄权锋

[林同棣国际工程咨询(中国)有限公司武汉分公司,湖北 武汉 430000]

摘 要:目前国内大多数钢箱梁结构的柔性铺装在使用过程中均出现了铺装层开裂、脱粘、车辙、坑槽等病害,且正交异性钢桥面出现了包括纵肋-面板连接处疲劳开裂、纵肋-横隔板连接处疲劳开裂、横隔板弧形切口处疲劳开裂、纵肋拼接焊缝处疲劳开裂等病害。为避免这些病害情况的产生,采用了钢-超高韧性混凝土(STC)轻型组合桥面铺装型式。

关键词:钢箱梁;正交异性钢桥面板;桥面铺装;病害;STC

中图分类号:U448.21

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)05-0102-02

1 工程概况

武汉至大悟高速公路是湖北省人民政府批复(鄂政函[2012]309号)的《湖北省省道规划纲要(2011~2030年)》“九纵五横三环”高速公路布局方案中武汉市14条放射线之一,是武汉市北向出口路、北部路网中的主要干线公路,是武汉市和中原城市群的快速通道。

该项目全线建设里程85.75 km,设计速度分段分别采用60、80、100、120(km/h),双向6车道标准^[1-2]。

主要控制点:汉口北大道、新十公路、万家咀转盘、西河、绕城高速、岱黄高速、黄陂前川城区、川龙大道、武麻铁路、祁水线、黄孝线、横花线、黄土公路、G346、麻竹高速。

沿线路网分布:高速公路有武汉市北四环线(在建)、绕城高速公路、岱黄高速公路、汉十高速公路、麻竹高速公路,地方道路有汉口北大道、新十公路、黄孝公路、横花公路、黄土公路、G346等。

全线与市政道路、快速路、高速相交较多,桥梁最大跨径70 m,最小跨径27 m。为不影响桥下正常交通,且避免互通路线纵向标高太高,相交位置均采用钢箱梁跨越,标准钢箱梁断面型式见图1所示。

2 方案设计

众所周知,正交异性钢桥面板在桥梁建设中应用广泛。但是,大量工程实践表明,正交异性钢桥面板容易产生两类典型病害问题:(1)在重载汽车高频

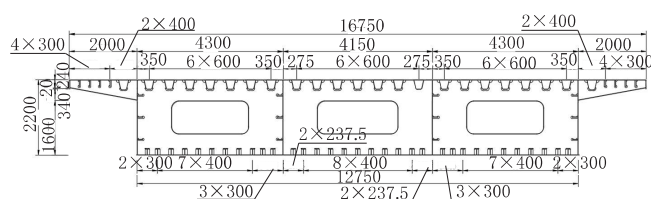


图1 标准钢箱梁断面型式示意图(单位:mm)

率作用下,钢桥面板的焊缝和构造容易产生疲劳裂缝,如广东的虎门大桥,因交通繁重,运营不到十年便出现了大量疲劳裂缝;(2)钢结构桥面的沥青铺装层使用期限较短,极易出现开裂、车辙、坑槽等病害,需频繁维修,如早些年在网上引起热议的“武汉第三长江大桥10年24修”等。这些病害严重影响到钢桥面的耐久性和使用性能,甚至可能给桥梁的安全性带来隐患。

上述两类病害问题是正交异性钢桥面所固有的。事实上,我国现有的“正交异性钢桥面+沥青铺装层”的桥面体系已难以承担重载交通量大、夏天桥面温度高达70℃的双重影响。理论和工程实践表明,无论采用何种性能优良的沥青混凝土材料,也只能解决钢桥面铺装的问题而不能起到有效降低正交异性钢桥面板中应力的作用,不能防止桥面钢结构的疲劳开裂,原因是沥青混凝土的弹性模量很低,只有约1200 MPa左右。

为综合解决上述典型病害问题,采用钢-超高韧性混凝土轻型组合桥面结构,见图2所示。其中的超高韧性混凝土(简称STC)是一种强度高、模量高、韧性高、耐久性高的“四高”新型混凝土材料,其开裂强度可达40 MPa,开裂拉应变可达1100 $\mu\epsilon$,在等效拉应力为0~21.3 MPa拉应幅作用下,抗疲劳寿命超过300多万次。

收稿日期:2020-11-02

作者简介:黄权锋(1983—),男,学士,工程师,从事桥梁工程设计工作。

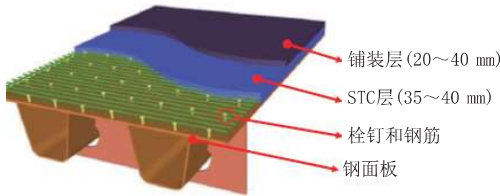


图2 超高性能轻型组合桥面结构构造示意图
该项目钢箱梁桥面铺装方案具体如图3所示。

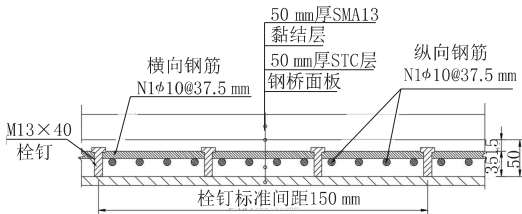


图3 钢箱梁桥面铺装构造示意图(单位:mm)

STC混凝土采用STC22,栓钉尺寸为 $\Phi 13 \times 40$ mm,纵横桥向布置间距 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 。STC层内配置间距 37.5 mm 的HRB400级钢筋网片,其中横桥向钢筋位于纵桥向钢筋的上层。

STC层主要材料采用石英砂+水泥+钢纤维+STC干混料+水按一定比例配制而成。

3 方案优势

3.1 抗弯刚度

STC层可以提高桥面局部抗弯刚度 $30 \sim 40$ 倍,甚至更多。现以横桥向受力为例,进行桥面刚度的对比。

情形一:对于单位宽度的 12 mm 厚的钢面板,其抗弯刚度为 $I_1=1/12 \times 1 \times 0.012^3=1.44 \times 10^{-7} \text{ m}^4$;

情形二:对于单位宽度 12 mm 的钢面板+ 45 mm 厚STC薄层,钢与STC层的模量比为 $200 \text{ GPa}/40 \text{ GPa}=5$,将STC层换算成钢,则STC层的宽度缩小为 0.2 m ,组合板的抗弯刚度为 $I_2=5.84 \times 10^{-7} \text{ m}^4$ 。

上述两种情形的桥面板抗弯刚度比为 $I_2/I_1=40.6$ 倍。

3.2 疲劳

能比较明显地降低钢桥面在汽车车轮荷载作用下的应力幅数值,达到延长钢桥面的疲劳寿命周期。根据北京铁科检测中心对广东肇庆马房大桥第11跨钢桥面的检测结果,铺设STC层后,纵肋底面的纵向拉应变和钢面板底面的横向拉应变降幅分别达到了 80% 和 92% ,降幅十分显著。因此,STC层可以降低甚至消除钢桥面的疲劳开裂病害,从而有望显著提高钢桥面的抗疲劳寿命周期。

3.3 经济性

STC层为永久性结构层,将钢桥面铺装转化为

混凝土桥面铺装,在运营中无需更换,仅需对铺装层定期翻修,而STC层上的铺装层为普通沥青材料,价格低廉、施工便利,其运营维护成本远低于钢桥面上的其他铺装材料。

以环氧沥青铺装为例,其单价约为 $1400 \text{ 元}/\text{m}^2$,一般平均每 8 年更换一次,全寿命期内需铺筑 12 次,则每平米钢桥面铺装全寿命成本为: $C_1=0.14 \text{ 万元}/\text{m}^2 \cdot \text{次} \times 12 \text{ 次}=1.68 \text{ 万元}/\text{m}^2$ 。

对于钢-STC轻型组合桥面结构,其价格约为 $1500 \text{ 元}/\text{m}^2$,由于STC层为永久性结构层,大桥全寿命期内无需更换,而仅需对其顶面的沥青铺装进行翻修,其单价为 $80 \text{ 元}/\text{m}^2$,全寿命期内同样需铺筑 12 次,则每 1 m^2 钢桥面铺装全寿命成本每 m^2 为: $C_2=0.15 \text{ 万元}/\text{次} \times 1 \text{ 次}+0.008 \text{ 万元}/\text{次} \times 12 \text{ 次}=0.246 \text{ 万元}/\text{m}^2$ 。

STC层相较于环氧沥青铺装的成本节约 $(C_1-C_2)/C_1=85.4\%$,全寿命成本节约十分显著。

4 施工要点

(1) STC层的施工专业性要求较高,需做过类似工程的技术人员和具备专业施工资质的施工单位来实施,并要求有相关施工设备。

(2) 在正式施工之前,应先进行一段试验段施工,保证施工设备可以正常有效运转,并确认各工序流程控制的关键点,以保证可控。

(3) 钢桥面不需要喷砂除锈(若已完成喷砂除锈可保留),完成钢桥面浮锈清理后,在钢桥面板四周涂刷 50 cm 宽环氧富锌防锈漆,然后施工栓钉和钢筋网片。

(4) 因桥梁跨径和宽度较大,STC层需分段进行浇筑,设置纵横向强化接缝即施工缝。之后施工时,需对前一阶段的STC层进行凿毛处理。

(5) 因STC层的特殊性,摊铺完成后,需进行高温蒸养,应根据现场条件和养护要求制定详细的养护方案和操作流程。

(6) 全桥STC层施工完成后,应对其表面进行抛丸或者刻槽,抛丸方向和槽口的朝向应沿着桥梁的横桥向。

5 结 语

STC层比较明显地提高了钢结构桥面板的刚度,降低了正交异性钢桥面构造节点处的荷载应力,从而降低甚至是基本消除了钢桥面板的疲劳开裂病

5 结 论

为研究环向钢筋湿接缝连接形式的合理构造和受力特点,本文对带显示托板的湿接缝桥面板试件进行疲劳试验,得到如下结论:

(1)在幅值为 1.5~2.6 t,频率为 8 Hz 的循环疲劳荷载作用下,环向钢筋互插湿接缝的抗弯刚度基本不会降低,且无明显的裂缝。

(2)在 200 万次疲劳荷载作用后,构件的破坏形式未发生变化,仍在湿接缝与预制板交界面处发生破坏,其极限承载力未发生大的变化。

(3)在疲劳荷载作用下,托板未出现脱落的现象,说明钢筋网可以有效防止托板脱落。

参考文献:

- [1] 卢汝生,成彤,王荣辉. 桥梁结构疲劳特性分析发展历程与评定设计方法综述[J]. 公路交通技术, 2004(3):49-52.
- [2] De Pannemaecker A, Fouvry S, Brochu M, et al. Identification of the fatigue stress intensity factor threshold for different load ratios

- R: From fretting fatigue to C (T) fatigue experiments[J]. International Journal of Fatigue, 2015:S0142112315002248.
- [3] 樊素. 公路钢筋混凝土疲劳试验及耐久性研究[J]. 公路工程, 2016, 41(4):274-278.
- [4] Schlfi M, Eugen B. Fatigue of existing reinforced concrete bridge deck slabs[J]. 1998, 20(11):991-998.
- [5] Cheng L. Flexural fatigue analysis of a CFRP form reinforced concrete bridge deck[J]. Composite Structures, 2011, 93(11):2895-2902.
- [6] 杨勇,刘玉擎,范海丰.FRP-混凝土组合桥面板疲劳性能试验研究[J].工程力学, 2011, 28(6):66-73.
- [7] 杨勇,周丕健,聂建国,等. 钢板-混凝土组合桥面板静力与疲劳性能试验[J].中国公路学报, 2009(4):78-83.
- [8] 杨勇,霍旭东,薛建阳,等. 钢板-混凝土组合桥面板疲劳性能试验研究[J]. 工程力学, 2011, 28(8):37-44.
- [9] 黄侨,郑华凯,宋晓东. GFRP-混凝土组合桥面板的疲劳性能试验研究[J]. 公路交通科技, 2019, 36(5):57-63.
- [10] 冯仲仁,黄隆洋,郭蒙蒙,等. 不同钢纤维掺入率的混凝土疲劳试验研究[J]. 中外公路, 2018, 38(2):269-272.
- [11] 唐先习,孙焕重,朱彦鹏,等. 疲劳荷载作用下铰接板桥挠度试验[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2014(2):65-70.
- [12] 田启贤,高立强,周尚猛,等. 超高性能混凝土-钢正交异性板组合桥面试验研究[J]. 桥梁建设, 2019(S1):13-19.

(上接第 103 页)

害问题。STC 层为永久性结构层,在运营中无需更换,仅需对铺装层定期翻修,而 STC 上的铺装层为普通沥青材料,价格低廉、施工便利,其运营维护成本远低于钢桥面上的铺装材料。另外,由于 STC 层厚度薄、自重轻,能适用于各种跨径的钢桥。

因此,为防患于未然,避免武汉至大悟高速公路中钢桥段的桥面系在运营中出现病害问题,并降低

桥面系的全寿命维护成本,采用钢-STC 轻型组合桥面结构,可为类似钢桥建设提供借鉴。

参考文献:

- [1] DB43/T 1173—2016,钢-超高韧性混凝土轻型组合结构桥面技术规范[S].
- [2] DJTGT/A 01—2015,超高性能轻型组合桥面结构技术规程[S].