

城市连续钢箱梁桥面铺装设计研究

胡 苏¹,王雯珊¹,李旭升²

(1.成都市市政工程设计研究院有限公司,四川 成都 610000; 2.中交公路规划设计院有限公司,北京市 100000)

摘 要: 为了改善目前常用的钢箱梁铺装柔性铺装在使用过程中容易出现铺装层开裂、脱粘、车辙、坑槽等病害的问题,结合成都市东西城市轴线绕城高速节点钢箱梁桥工程,对常用的钢箱梁柔性铺装和刚性铺装(45 mm 超高韧性混凝土 +50 mm SMA 铺装和钢纤维混凝土 + 沥青混凝土铺装)进行分析,对比不同铺装形式下桥面板的刚度、主梁应力和单位面积造价。结果表明:采用钢纤维混凝土 + 沥青混凝土铺装方案,可以改善桥面板局部受力状况,降低钢桥面疲劳开裂及铺装层开裂、车辙等风险,降低工程造价。

关键词: 桥梁工程;钢箱梁;正交异性钢桥面板;桥面铺装;钢纤维混凝土

中图分类号: U416.22

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)11-0083-04

0 引 言

桥面铺装也称桥面保护层,是车轮直接作用的部分。桥面铺装的作用在于提供车轮足够的摩擦力、防止车辆轮胎或履带直接磨损行车道板,保护主梁免受雨水侵蚀,对车辆轮重的集中荷载起分布作用。因此,桥面铺装要求有足够的摩阻系数和强度,防止开裂并保证耐磨性^[1]。

钢桥面铺装设计影响因素较多,包括桥梁结构特点、交通荷载、环境气候、施工条件、恒载限制等,桥面设计也应吸取类似条件的桥面铺装工程经验^[2]。

目前主要应用的钢桥面铺装形式分为刚性铺装和柔性铺装。常用的柔性铺装包括浇筑式沥青混凝土、改性沥青 SMA、环氧树脂沥青混凝土等;常用的刚性铺装为钢-超高韧性混凝土轻型组合桥面。经调研,常规的柔性铺装在使用过程中多出现铺装层开裂、脱粘、车辙、坑槽等病害,正交异性桥面常出现疲劳开裂等病害^[3-6]。而钢-超高韧性混凝土组合桥面造价较高,用于常规钢箱梁桥经济性较差。

成都市东西城市轴线绕城高速节点钢箱梁桥钢纤维混凝土铺装,本文以其中的 43 m+65 m+43 m 钢箱梁桥为例,从桥面板刚度、主梁受力、经济性等几个方面分析几种常用铺装形式的优缺点。本文的研究对于城市钢桥的铺装形式选择有参考价值。

1 工程概况

东西城市轴线西起都江堰市青城路,东至简阳市三绕外市域边界,总长约 149.2 km,本节点为东西城市轴线东段,项目位于龙泉驿区。

绕城节点为 60 m 全断面上跨,在跨越现状绕城高速位置采用 43 m+65 m+43 m 钢箱梁桥,以方便施工、减小上部结构自重,有利于结构抗震。钢箱梁中支点梁高 3.2 m,边支点梁高 2.5 m,中跨跨中梁高 2.5 m。

钢箱梁分为 A、B、C 三幅,A、C 幅钢箱梁全宽 20.5 m,由 2.45 m 悬臂 +4.4 m 箱室 +6.8 m 横联 +4.4 m 箱室 +2.45 m 悬臂组成。B 幅钢箱梁全宽 19 m,由 2.45 m 悬臂 +4.4 m 箱室 +5.3 m 横联 +4.4 m 箱室 +2.45 m 悬臂组成。本文以 B 幅为例进行分析,如图 2 所示。

综合考虑钢箱梁加工等因素,主梁顶底板和腹板最小厚度为 16 mm。顶板在标准段厚度 16 mm,在中支点附近 20 mm;底板标准段 20 mm,中支点附近加厚至 30 mm;腹板标准段板厚 16 mm,中支点附近加厚至 22 mm。顶板采用 U 型加劲肋,U 肋厚 8 mm,U 间距 600 mm,顶板悬臂处采用 I 型加劲肋。箱梁横坡、纵坡与路线一致,各腹板高度一样,底板横坡与顶板一致,箱梁横隔板纵向间距 6 m 左右,间隔 3 m 设置横梁断面。钢箱梁顶板加劲肋大样如图 3 所示。

2 钢桥面铺装层技术方案

为解决常用钢箱梁铺装的典型病害,控制钢桥面

收稿日期:2023-11-27

作者简介:胡苏(1991—),女,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

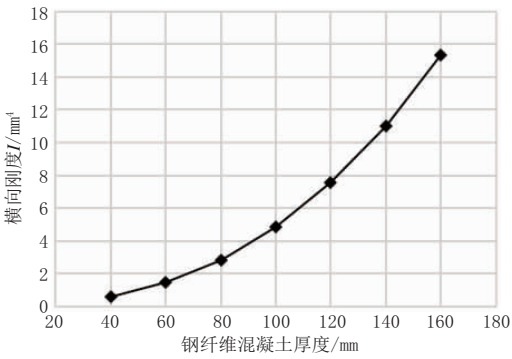


图 5 钢纤维不同厚度下桥面板横向抗弯刚度

3.2.2 不同铺装型式对抗弯刚度的影响

现以横桥向受力为例，常用的 45 mm 超高韧性混凝土铺装和本文提出的铺装型式进行对比。不同铺装型式下桥面板横向抗弯刚度详见表 1。

表 1 不同铺装型式抗弯刚度		单位: mm ⁴
铺装型式	I	
20 mm 钢桥面板	6.67×10^5	
20 mm 钢桥面板+45 mmSTC 薄层	8.74×10^6	
20 mm 钢桥面板+50 mm 钢纤维混凝土	9.84×10^6	
20 mm 钢桥面板+100 mm 钢纤维混凝土	4.84×10^7	

由表 1 数据可以看出,50 mm 钢纤维混凝土和 45 mm 超高韧性混凝土对横向刚度的提高作用相当,约为 20 mm 钢桥面板横向刚度的 13 倍。而本文提出的 20 mm 钢桥面板+100 mm 钢纤维混凝土横向刚度为 20 mm 钢桥面板横向刚度的 71.6 倍,采用刚性铺装可以大大提高桥面板的横向刚度。

4 对桥梁整体受力影响

4.1 对桥梁单位面积恒载影响

以东西城市轴线 65 m 主跨钢箱梁为例,钢箱梁重量约为 520 kg/m²,钢纤维混凝土厚度从 6 cm 加厚至 12 cm,二期恒载重量占桥梁恒载的 40%~50%。

针对 50 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土、100 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土、45 mmSTC+50 mmSMA 和 70 mmGA(35 mmGA+35 mm SMA),本文对比不同铺装型式下桥梁恒载的影响,见图 6。以常用的 70 mm GA (35 mmGA+35 mm SMA) 为基准,钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土的铺装型式,主梁恒载增加约 48%;45 mm 超高韧性混凝土+50 mmSMA 的铺装型式,主梁恒载增加约 10%。

4.2 主梁基本组合下应力对比

桥梁有限元模拟采用 MIDAS Civil 软件进行计算。模型中钢箱梁采用梁单元模拟,采用空间梁格杆

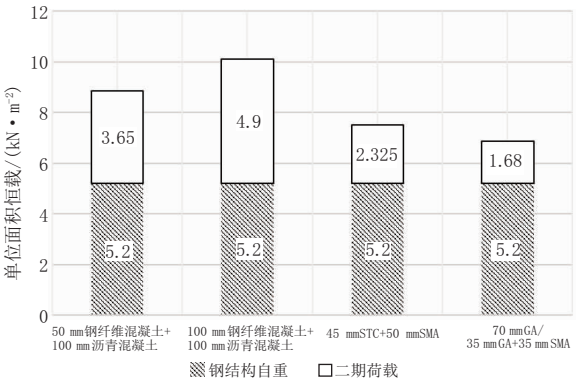


图 6 不同铺装型式下恒载

系结构,桥梁整体模型见图 7。

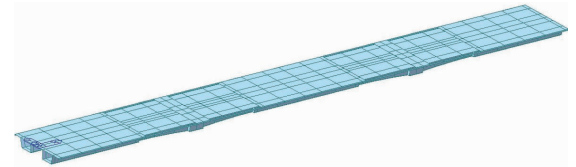


图 7 计算模型简图

模型中荷载有结构自重、二期荷载、活载。根据桥面布置,汽车按最不利情况进行影响下加载。主梁顶底板和腹板采用实际板厚。计算不考虑钢纤维混凝土铺装对主梁截面的增大作用,仅作为二期荷载施加在主梁上。

本文针对 50 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土、100 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土、45 mmSTC+50 mmSMA 和 70 mmGA(35 mmGA+35 mm SMA),对基本组合下主梁的应力进行对比。

4.2.1 100 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土铺装下主梁应力

在基本组合作用下,应力计算结果如图 8、图 9 所示,最大压应力出现在跨中顶缘,为 70.7 MPa;最大拉应力出现在跨中底缘,为 132.4 MPa。

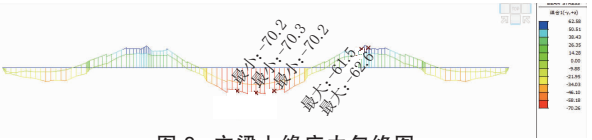


图 8 主梁上缘应力包络图

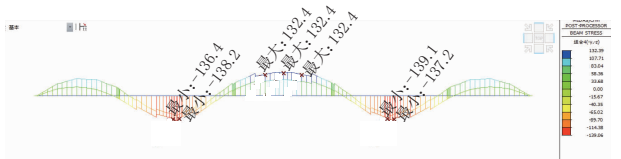


图 9 主梁下缘应力包络图

4.2.2 主梁应力对比

不同铺装型式下主梁应力见表 2。

由表 2 可见,钢纤维混凝土厚度对主梁基本组合下的应力有影响不大。以常用的 70 mm GA(35 mm GA+35 mm SMA)为基准,钢纤维混凝土+100 mm 沥

表2 不同铺装型式下主梁应力 单位:MPa		
铺装型式	基本组合下跨中顶缘压应力	基本组合下跨中底缘拉应力
50 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土	68.6	125.3
100 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土	70.7	132.4
45 mmSTC+50 mmSMA	64	116.4
70 mmGA/35 mmGA+35 mmSMA	61.8	112.9

青混凝土的铺装型式,主梁恒载增加约 14%~17%。

本项目主梁顶底板厚度均采用常用厚度 16~20 mm,基本组合下,主梁顶底板最大应力仅 132.4 MPa<f=270 MPa,满足规范要求。

5 工程造价

本文针对 100 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土、35 mmGA+35 mmSMA、35 mmSMA+35 mm SMA、45 mm 超高韧性混凝土+50 mmSMA,对不同铺装型的综合造价进行对比,见表 3。

从表 3 中可以看出,35 mmSMA+35 mmGA 铺装材料价格最高,为 1 039 元/m²,100 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土铺装材料价格最低,为 279 元/m²,仅占 35 mmSMA+35 mmGA 铺装材料的 26.85%。

6 结 论

本文分析和介绍了国内外常见的钢箱梁桥面铺装结构优缺点,可为同类工程的设计提供参考。

(1)在常规市政钢箱梁桥的板厚、跨径下,采用 100 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土的铺装型式,主梁恒载增加约 14%~17%,主梁应力增加不到 20 MPa(以常用的 70 mm GA 为基准)。

(2)通过类比分析总结得出,钢纤维铺装可以大大提高主梁的抗弯刚度,20 mm 钢桥面板+100 mm 钢纤维混凝土横向刚度为 20 mm 钢桥面板横向刚度的 71.6 倍。

(3)对比几种常用钢箱梁铺装材料的综合造价得出,钢纤维铺装造价较低,仅占 35 mmSMA+35 mm GA 铺装材料价格的 26.85%。

表3 不同铺装型式下总造价 单位:元/m ²			
方案	结构层次	综合单价(不含税)	总造价
100 mm 钢纤维混凝土+100 mm 沥青混凝土	40 mm 厚改性沥青玛蹄脂碎石 SMA-13	63	279
	改性乳化沥青黏层	3	
	60 mm 厚中粒式 SBS 改性沥青混凝土 AC-20C	31	
	柔性防水涂层(PBII 型)	85	
	10 cm 钢纤维混凝土	97	
35 mmSMA+35 mmGA	3.5 cm 厚高弹改性沥青 SMA-10	75	1 039
	改性乳化沥青,用量 0.3~0.5 L/m ²	3	
	3.5 cm 厚 GA-10,表面撒布 4.75~9.5 mm 碎石	540	
	防水黏结体系	421	
	3.5 cm 厚高弹改性沥青 SMA-10	75	
35 mmSMA+35 mmSMA	改性乳化沥青,用量 0.3~0.5L/ m ²	3	574
	3.5 cm 厚高弹改性沥青 SMA-10	75	
	防水黏结体系	421	
	50 mm 细粒式 SBS 改性沥青玛蹄脂碎石混合料 SMA-13	63	
	改性乳化沥青黏结层	3	
45 mmSTC+50 mmSMA	45 mm 超高韧性混凝土 STC 结构层	733	799

参考文献:

[1] 吴冲. 现代钢桥(上册)[M].北京:人民交通出版社,2006.

[2] JTG/T 3364-02—2019,公路钢桥面铺装设计与施工技术规范[S].

[3] 许颖.钢桥面铺装使用情况调查及病害分析[D].重庆:重庆交通大学,2014.

[4] 徐伟,李智,张肖宁.正交异性钢桥面铺装研究及设计要点分析[J].中外公路,2006(8):175-179.

[5] 徐伟,李智,张肖宁.几种典型钢桥面铺装类型的对比[J].科学技术与工程,2009(9):5234-5251.

[6] 史佳晨,朱天同,丛林.大跨径钢桥桥面铺装材料应用现状与新进展[J].材料与试验,2018(3):76-80.

[7] 张怀志,何志成,高维,等.钢纤维混凝土铺装对正交异性钢桥面板疲劳性能影响分析[J]沈阳建筑大学学报(自然科学版),2020(11):1027-1036.

[8] 李嘉,冯啸天,邵旭东,等.STC 钢桥面铺装新体系的力学计算与实桥试验对比分析[J]中国公路学报,2014(3):39-50.