

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2020.12.024

采用 UHPC 对钢结构人行桥加固分析与应用

张培君¹, 刘大山²

(1.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092; 2.上海市政工程检测中心有限公司,上海市 201114)

摘要:一种基于超高性能混凝土 UHPC 应用于钢结构人行桥的加固设计方法,将老桥多跨连续刚性固结墩的支承方式调整为刚性墩+固定支座+滑动支座的支撑方式,同时采用 UHPC 作为桥面铺装体系,优化下部结构支承体系,从而提高了钢主梁的整体抗弯能力和局部稳定性能,全面改善老桥的运营状态。

关键词:人行天桥;钢结构;UHPC;维修加固

中图分类号: U445.7*2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)12-0084-03

0 引言

我国目前城市中有大量人行天桥是 20 世纪 80 年代或 90 年代设计建造的。其中,大部分天桥均采用钢箱梁,更不乏很多采用了 U 型或者环形结构形式^[1]。其设计荷载较低,且当时受计算机有限元分析技术不成熟的限制,对结构内力分析存在缺陷。随着城市的迅速发展与扩张,人流量急剧增加,天桥出现了局部老化、开裂等病害,严重影响其正常使用功能。对旧的人行天桥进行维修加固是目前和今后城市桥梁养护与管理面临的重要任务。

现通过对某钢结构人行天桥的病害进行分析,提出基于新材料的维修思路并采用新技术,对天桥进行维修加固,从而取得了良好的加固效果。

1 工程概况

天桥的主桥为 4 跨连续钢箱梁,梁高 1.25 m。在人行道上共设置 4 处坡道和 4 处梯道,坡道和梯道与主桥通过搭板连接,搭板钢梁两侧设橡胶板支撑于坡道及主桥钢梁上。主桥 4 跨跨径为:41.5 m+26.4 m+34.9 m+41.3 m=144.1 m。天桥边墩采用板式橡胶支座,中间 3 个墩柱墩顶均采用刚结方式与主梁底板焊接。原设计人群荷载为 4.0 kN/m²。桥梁平面图、主桥立面图分别如图 1 和图 2 所示。

2 主要病害分析

第三方检测机构对该人行天桥进行全面检测,检测发现该桥主要存在以下病害:

收稿日期:2020-06-01

作者简介:张培君(1980—),男,工学硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

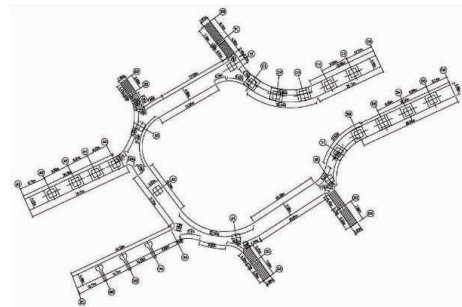


图 1 人行天桥总体平面图

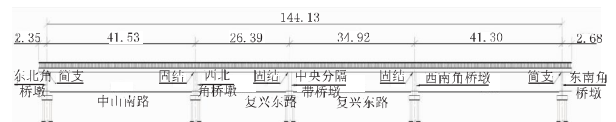


图 2 主桥立面布置图

- (1)全桥钢结构表面存在大量油漆起皮、剥落和锈蚀现象。
- (2)主梁翼缘板侧面加劲板变形,如图 3 所示。



图 3 主梁翼缘侧面加劲板变形之实景

- (3)个别立柱顶部主梁近 3/4 焊缝开裂。对未开裂的墩顶焊缝专项检测结果为:抽检 41 条焊缝,其中 9 条焊缝评定等级为 IV 级,不合格,如图 4 所示。
- (4)主梁存在下挠趋势。
- (5)主梁端部伸缩缝的横向错缝达到 100 mm 左右,远超过结构容许横向变形。



图4 墩顶焊缝开裂之实景

(6)原桥面铺装磨损较为严重。

3 原因分析

现结合有限元分析,针对以上病害中为结构受力引起的病害进行原因分析。

3.1 钢板的局部稳定病害分析

原箱梁断面宽度 5.0 m,翼缘板纵向加劲肋间距 745 mm,横隔板间距 1.0 m:

根据《公路钢结构桥梁设计规范》第 8.3 条,纵向加劲间距应小于 40 倍厚度(即 640 mm)的要求,现状不满足压板稳定的构造要求。为准确地评估现状断面的稳定性能,再采用 midas civil 建立主梁局部区段的板壳单元有限元计算模型(如图 5 所示),进行轴向受压稳定分析。计算结果显示主梁在 100 MPa 压应力作用下,桥面首先出现局部失稳模态,对应稳定系数为 1.55,即主梁在 155 MPa 应力作用下将出现桥面局部失稳现象。连续钢梁在跨中区域,顶板处于受压状态,为保证顶板的稳定性需要对主梁桥面进行加固。

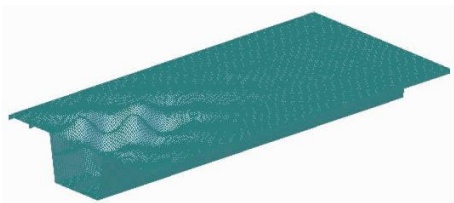


图5 主梁屈曲分析结果图示

3.2 主梁及墩柱病害分析

主要采用空间计算的方法对全桥进行结构模拟(见图 6),计算采用结构计算软件 MADIS/Civil 2018(以下简称 MADIS)进行。荷载组合:恒载+活载+梯度温度+整体升降温+基础匀沉降。

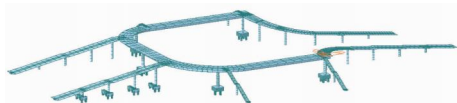


图6 全桥有限元模型

计算结果表明:

(1)主桥应力计算结果如表 1 所列,表明墩顶

主梁底板应力较大,达到 245 MPa。

表 1 主梁应力计算结果表

编号	类型	跨中顶板 /MPa	跨中底板 /MPa	主梁支点 顶板 /MPa	主梁支点 底板 /MPa
1	恒载	-24	52	33	-59
2	活载	-38	72	55	-107
3	温度梯度	-5	20	26	-42
4	整体温度	10	0	24	-12
5	沉降	-2	5	10	-25
6	合计	-59	149	148	-245

(2)主梁活载作用下挠度计算结果如图 7 所示,主梁活载最大挠度 0.072 m,大于 $L/600 = 0.069$ m,不满足规范要求。

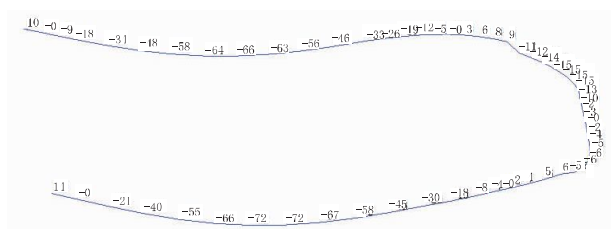


图7 活载作用下桥梁挠度计算结果图示(单位:mm)

(3)主桥 2# 墩在构造上采用了内部灌注混凝土的钢结构桥墩,在墩柱内灌注混凝土提高了桥墩刚度,墩顶与钢梁底板焊接,墩梁连接的可靠性有赖于钢梁底板与钢立柱顶面之间的焊缝质量。墩顶应力计算结果如表 2 所列,计算结果表明墩柱顶部钢管最大应力为 378 MPa,不满足规范要求。该墩墩顶处焊缝检测结果为 IV 级,不合格。大刚度桥墩采用小焊缝与主梁直接连接的方式存在较为严重的可靠性问题,实际开裂也验证了理论分析中的存在的问题。

表 2 墩顶应力计算结果一览表

编号	类型	墩顶应力 /MPa
1	恒载	-109
2	活载	-164
3	温度梯度	-64
4	整体温度	-28
5	沉降	-13
6	合计	-378

由于该桥为独柱墩结构,当墩顶焊缝失效后,桥梁将丧失水平方向约束(出现过大的横向变形,实际已经出现)。如病害进一步发展,将出现落梁事故,因此,需对大桥进行结构性大修。

4 加固方案

根据以上病害分析,提出以下加固措施。

4.1 UHPC 加固顶板

由于天桥主梁顶板厚度偏薄,存在局部失稳的风险,且桥梁至今已经服役 20 a,结构受环境侵蚀,顶部铺装层破损严重,有锈水从裂缝中溢出。为提高人行天桥主梁承载能力和耐久性,首先清除结构原有的 40 mm 铺装层,再在主梁顶板焊接剪力钉,并浇 50 mm UHPC 超高性能混凝土^[2],最后铺设 30 mm 防滑铺装薄层。

该加固方案具备以下优点:

(1)增大主梁受压区高度,提高顶板的抗压承载力,增大主梁的抗弯承载力。

(2)解决翼缘板加劲肋间距过大可能导致局部失稳的风险。

(3)施工过程中,在铺装 UHPC 前对主梁进行反顶,待 UHPC 达到设计强度后可以参与结构受力,改善主梁下挠状况。

4.2 优化结构体系与墩柱加固方案

常见的焊缝加固措施为局部焊缝修补或者增加局部加劲。如采用简单的补强方式进行加固,则需要补强墩梁连接,进一步补强桥墩,再补强结构桩基,这些对老桥维修来说,难以实现。需从根源上解决过大温度应力产生的基础,解除过多的墩梁刚性连接。

目前人行天桥墩柱顶端和主梁底板连接处存在多处焊缝开裂的病害。考虑到主梁底板厚度为 16 mm,墩柱采用钢管混凝土结构,墩柱顶端和主梁主要依靠钢管外壁连接,人行天桥在荷载(尤其是活载和温度荷载)作用下,极易导致局部应力较大,不利于结构受力。为提高墩柱周边主梁底板的承载能力,对墩柱采取以下方法进行加固:

(1)对主桥边墩更换为单向活动抗拉支座,并在墩柱附近主梁底板浇筑 200 mm 厚 UHPC。从而解决了边跨单侧偏载出现倾覆的风险。

(2)对主桥 2# 和 4# 墩更换为拉索减震球型固定支座,并在墩柱附近主梁底板浇筑 200 mm 厚 UHPC。从而释放了墩顶的过多抗弯约束,提高了水平约束能力,降低了桥墩的墩顶弯矩。

(3)保持主桥 3# 墩柱与主梁的连接方式,对连接处进行加固,并在墩柱附近主梁底板浇筑 200 mm 厚 UHPC。从而确保刚性连接节点可靠。

4.3 结构体系调整

通过对主桥的 2# 和 4# 墩顶加装支座,将主桥由多跨连续刚性固结墩的支承方式调整为刚性墩+固定支座+滑动支座的支撑方式,释放 2# 和 4# 墩的不利荷载,减小主梁传递至墩顶的弯矩。图 8 为结构体系示意图。

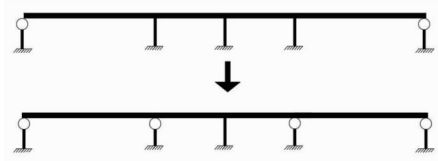


图 8 结构体系示意图

5 加固效果

根据以上加固方案,进一步分析加固方案的效果。主梁应力、墩柱应力和主梁挠度计算结果分别如表 3、表 4 所列和图 9 所示。

表 3 主梁支点截面底板应力结果对比表

编号	类型	加固前 /MPa	加固后 /MPa
1	恒载	-59	-75
2	活载	-107	-69
3	温度梯度	-42	7
4	整体温度	-12	-6
5	沉降	-25	31
6	合计	-245	-112

表 4 墩顶应力结果对比表

编号	类型	加固前 /MPa	加固后 /MPa
1	恒载	-109	-51
2	活载	-164	-20
3	温度梯度	-64	-95
4	整体温度	-28	-14
5	沉降	-13	-33
6	合计	-378	-213

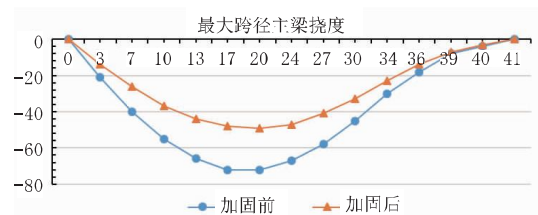


图 9 最大跨径主梁挠度计算结果曲线图(单位:mm)

以上结果表明,通过结构体系调整,提高主梁刚度,减小墩顶约束,释放过大的温度力。主梁和桥墩的应力情况,以及结构变形均得到了改善。

(1)加固后支点主梁底板应力,在标准荷载组合作用下,应力由 245 MPa 降低到 112 MPa,可以明显降低支点处主梁底板应力。

(2)在标准荷载组合作用下,加固后墩柱墩顶应力由 531 MPa 降低到 213 MPa,可以明显降低墩顶处应力。

(3)在标准荷载组合作用下,主桥最大跨径主

(下转第 115 页)

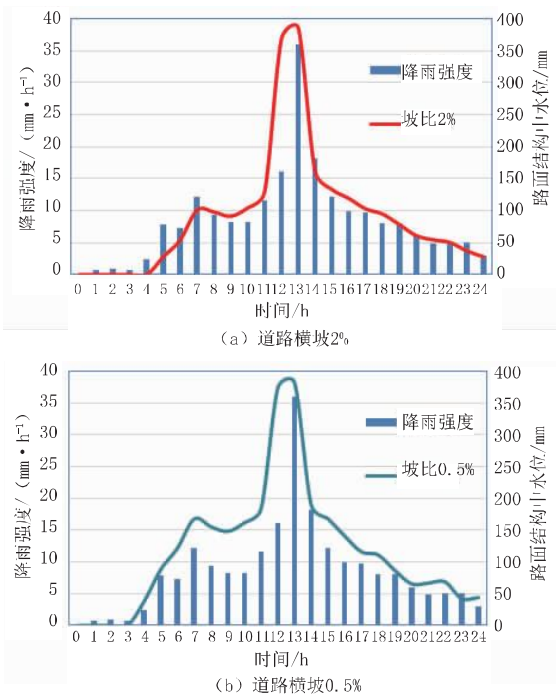


图7 63雨型半幅路面结构水位示意图

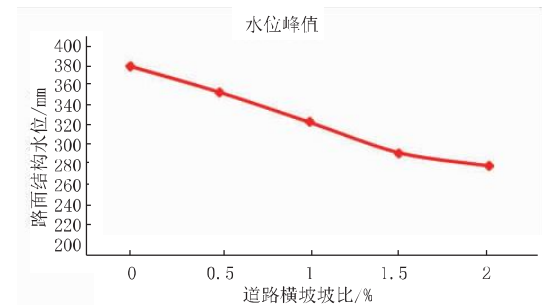


图8 63雨型下不同横坡水位峰值图

4 结 语

本文基于上海地区典型长历时63雨型的24h

降雨强度,采用非饱和渗流理论,对排水性沥青路面常规道路断面进行降雨入渗数值模拟。计算分为稳态流、降雨瞬态流和排水瞬态流三个阶段,模拟道路断面结构降雨入渗情况,分析了降雨强度、道路宽度、道路横坡三个因素对道路排水性能的影响,结论如下:

(1)雨水降落在道路表面,首先以竖直流速快速渗入面层,遇到隔水封层的阻隔后,变为沿横坡方向。随着时间的延续,路面面层存储雨水达到饱和和状态,雨水以漫流的形式沿着横坡排出。

(2)路面结构排水性能在不同降雨强度下随道路宽度的变化规律相同:路面越宽,路面结构水位峰值越高,说明路面排水难度随着路面宽度增加而增加。

(3)路面结构排水性能在不同降雨强度下随道路横坡的变化规律相同:路面横坡越大,路面结构水位峰值越低,说明路面排水难度随着路面横坡坡比增加而减少。

参考文献:

[1] CJJ/T 190—2012, 透水沥青路面技术规程[S].
 [2] DG/TJ 08—2074—2016, 道路排水性沥青路面技术规程[S].
 [3] 董祥,沈正.我国城市道路透水路面建设的工程选址与类型选择分析[J].甘肃农业大学学报,2010,45(3):145-150,160.
 [4] 诸永宁.排水性沥青路面排水性能研究与排水设施的设计[D].南京:东南大学,2004.
 [5] 刘明.路面结构排水特性的非饱和渗流数值模拟与分析[D].长沙:湖南大学,2007.
 [6] 蒋玮,沙爱民,肖晶晶,等.透水沥青路面的储水渗透模型与效能[J].同济大学学报(自然科学版),2013,41(1):72-77.

(上接第86页)

梁挠度由72mm降低到49mm,可以明显降低主梁的挠度情况。

6 结 语

本文针对存在主梁抗弯能力不足、墩梁刚结不合理等问题的人行天桥,提出一种采用UHPC和改善结构体系的方法,结论如下:

(1)老桥多跨连续刚性固结墩的支承方式,不利于结构受力,会引起刚结墩顶开裂。

(2)将老桥多跨连续刚性固结墩的支承方式调整为刚性墩+固定支座+滑动支座的支撑方式,能有效改善结构内力状态。

(3)采用UHPC对钢结构人行天桥铺装层进行

改造,可以在减轻结构自重的同时,明显改善主梁抗弯承载能力,改善主梁下挠状况。

(4)UHPC对钢结构人行天桥的维修加固技术的发展有一定的促进作用。

至于钢结构人行桥常出现的人桥振动问题,无法通过本文所述方式得到改善。如需减少人桥振动,需要采取专项的减振措施,提高体系阻尼,此方面内容将在后续相关论文中进一步展开。

参考文献:

[1] 余凤翔.城市人行天桥设计上几个问题的探讨[J].城市道桥与防洪,2004(2):29-32.
 [2] 陈宝春,季韬,黄卿维,吴怀中,丁庆军,詹颖雯.超高性能混凝土研究综述[J].建筑科学与工程学报,2014,03(3):78-81.