

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.08.054

体外预应力碳纤维板加固技术研究

王振航¹, 徐响华², 周青松¹

(1.上海市建筑科学研究院有限公司,上海市 200032 2.义乌市公路与运输管理中心,浙江 义乌 322000)

摘要:以义乌市某典型三跨预应力混凝土连续箱梁桥为研究背景,根据桥梁病害情况提出了体外预应力碳纤维板加固方案并针对加固要点进行分析,从施工监控的角度评判了体外预应力碳纤维板加固的效果。结果表明,体外预应力碳纤维板加固可以较好地改善桥梁结构的线形和受力状况,提升桥梁的安全冗余度,能满足加固设计的要求。

关键词:预应力碳纤维板;旧桥加固;连续梁桥;施工监控

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)08-0217-04

0 引言

随着我国桥梁事业的快速发展,混凝土连续梁桥因其结构受力明确、施工方便及行车舒适度高优点在各类桥型中占据主要地位^[1]。随着服役年限的增加,桥梁逐渐受自身材料退化、外部环境侵蚀及交通运营荷载增加等内外部影响,不可避免的出现底板、腹板开裂等病害,以及大跨径连续梁桥跨中下挠的问题^[2]。

为保证桥梁的安全运营,通过对既有桥梁的维修加固来提高或维持原有桥梁的刚度和承载能力已格外重要。如何保证加固方案技术合理、经济性高及施工简便等是桥梁加固工作的关键,与传统加固技术相比,预应力碳纤维板加固具有加固效果好、预应力损失低、耐久性高及工程经济性好等特点,是一种新型且适用范围广泛的加固技术^[3]。

目前已有部分专家、学者对碳纤维加固的方式进行了相应的研究,金勇俊等^[4]通过研究将一座 T 梁结构应用预应力碳纤维板加固后,发现其抗弯刚度和承载能力有了显著提高。刘华、高宗余等^[5]通过张拉粘贴预应力碳纤维板的措施进行维修加固,并试验验证了加固后的桥梁承载能力得以恢复。万世成^[6]针对钢-混凝土组合梁桥承载能力不足和负弯矩区混凝土桥面板抗裂性不足的问题,进行了预应力 CFRP 板加固的试验与计算方法研究。但是目前国内鲜有从全过程施工监控角度对碳纤维板加固进

行评判,因此本文以义乌市某 3×30 m 预应力混凝土连续箱梁桥为例,针对桥梁现存病害状况提出碳纤维板加固方案,并对桥梁加固全过程进行施工监测,最终根据监控结果对预应力碳纤维板加固的效果进行验证和评估。

1 桥梁概况

义乌市某预应力混凝土连续梁桥为单箱双室等截面箱梁,跨径布置为 3×30 m。桥面全宽 17 m,横向布置为:0.5 m(护栏)+16 m(行车道)+0.5 m(护栏)。该桥为 B 类预应力混凝土构件,只设置了纵向预应力体系,采用 ASTM A416-92 标准中的 $\phi 15.24$ mm 的 270 级钢绞线。设计荷载为汽-超 20 级,挂-120 级,本桥结构布置如图 1 至图 2 所示。

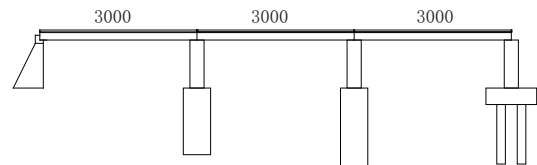


图 1 桥梁纵断面结构图(单位:cm)

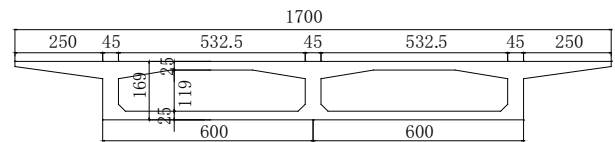


图 2 箱梁横断面图(单位:cm)

2 桥梁既有状况分析与加固方案概述

2.1 主梁既有病害分析

桥梁在 2017 年和 2018 年均进行了结构检测,主要病害在于:其一,底板横向裂缝,该裂缝分布在 $L/4 \sim 3L/4$ 范围内,裂缝大都已延伸至腹板,是典型的跨中受弯引起的裂缝,最大缝宽为 0.25 mm,已超过 B 类

收稿日期:2022-10-11

基金项目:科技创新行动计划(20XD1432400)

作者简介:王振航(1993—),男,硕士,工程师,从事桥梁检测与评估、桥梁施工监测与控制、桥梁结构仿真分析工作。

预应力混凝土构件底板横向裂缝容许值 0.15 mm;其二,腹板竖向裂缝均为底板横向裂缝的延伸,裂缝宽下宽上窄,缝宽分布在 0.10~0.14 mm 范围内,缝长分布在 0.6~1.5 m 范围内;其三,腹板斜向裂缝大多与底板横向裂缝贯通,缝宽分布在 0.1~0.12 mm 范围内,缝长分布在 0.4~0.6 m 范围内;其四,2017 年和 2018 年检测结果对比可以发现,底板横向裂缝、腹板竖向裂缝均存在一定程度的发展,裂缝宽度和数量均存在不同程度的增加。

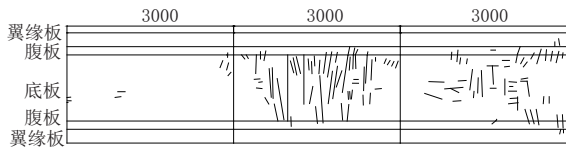


图3 桥梁裂缝分布图

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)相关规定,B类预应力混凝土结构在作用频遇组合并考虑长期作用影响下控制的正截面受拉边缘可出现拉应力和开裂,但裂缝宽度不得超过限值。根据本桥裂缝的形态和分布区域,箱梁跨中区域开裂主要以下两方面原因,一是由于混凝土收缩与徐变造成纵向预应力损失,二是桥面通行重载车较多,最终使得桥梁跨中受拉区域出现了超过混凝土本身抗拉强度的拉应力导致开裂。

2.2 加固方案概述

针对箱梁底板和腹板的开裂问题,并考虑到后期运营荷载的可能会逐步增加,因此本次加固设计按照 A 类预应力构件控制,具体维修加固措施及维修顺序如下:

(1)对缝宽小于 0.15 mm 的裂缝,采用树脂封闭胶进行封闭处理;缝宽大于等于 0.15 mm 的裂缝,采用裂缝灌注胶或专用环氧树脂浆液进行灌缝处理。

(2)考虑到该桥目前日常运营中交通流量大,且超载较多,因此选择在底板跨中横向开裂区段张拉预应力碳板的加固措施,来改善箱梁应力状态、防止裂缝扩展。碳板型号 CFP 3.0-50,张拉控制应力 1 008~1 277 MPa,其中两个边跨底板采用 20 块碳板进行加固,中跨底横向裂缝较多采用 38 块碳板进行加固,碳板位置如图 4 至图 6 所示。

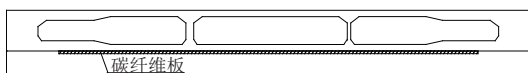


图4 箱梁立面加固布置图

3 碳纤维板加固要点分析

碳纤维板的锚固性能、与箱梁底板黏结性能是

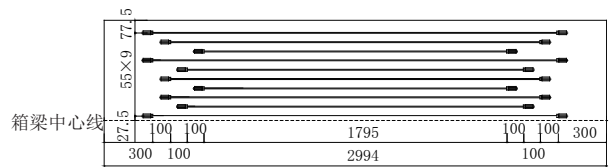


图5 边跨箱梁 1/2 平面加固布置图(单位:cm)

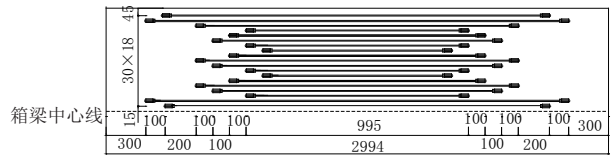


图6 中跨箱梁 1/2 平面加固布置图(单位:cm)

碳纤维板加固施工最为复杂的技术难点,直接影响着碳纤维板的加固效果,若锚固性能不好或者是碳纤维板与箱梁底板黏结不充分的话,将导致碳纤维板的松弛甚至是失效,起不到应有的加固效果。

本项目锚具形式采用的是楔形锚具,该锚具包括锚固端和张拉端。通过对张拉端施加张拉力、锚固端与张拉端协同作用,使得碳纤维板与箱梁底板贴紧,达到锚固效果。

为保证碳纤维板与箱梁底板充分黏结,采用胶粘剂把碳纤维板黏结在箱梁底板上,并采用限位卡板使之与混凝土基体合为一体,确保二者共同受力。

4 监测结果分析

本桥采用桥梁专业有限元软件 MIDAS CIVIL 进行施工过程模拟,箱梁结构采用 C50 混凝土,全桥均采用梁单元建立有限元模型进行分析,共计 188 个节点、177 个单元,有限元模型如图 7 所示。

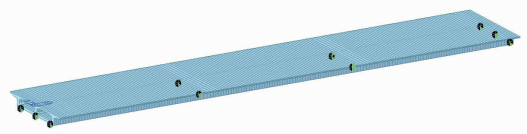


图7 有限元模型图

体外碳纤维板张拉施工是一个动态过程,随着碳纤维板张拉的向前推进,主梁的高程、应力等会发生较大变化。因此,张拉过程中将在结构内部产生次内力,若次内力与恒载内力之和超过了构件材料的设计强度,必将对结构的安全造成危害。因此在施工过程中对桥梁结构的变形和关键部位的内力进行监控是非常必要的,其目的就是为了保证施工过程的安全,及桥梁结构线形、受力在施工过程中和施工结束后能满足设计的要求。通过对施工过程的模拟分析,可以反映出主梁每个施工阶段及最终状态的线形和应力,并结合施工过程中监测得到的线形和应力数据来综合评估桥梁结构施加体外预应力碳纤维

板的加固效果。

4.1 位移监测结果分析

根据连续梁桥的结构受力特点,选取了墩顶、跨中等关键断面作为测试断面;同时为保证测量结果的准确性,在每个断面横桥向位置设置两个高程测点,纵桥向测点布置如图8所示。

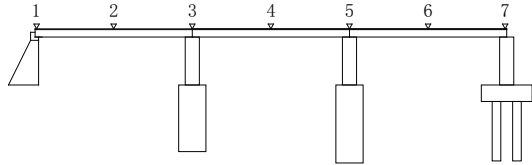


图8 桥面高程纵桥向测点布置图

高程测点编号规则为桥梁为南北走向,桥面西侧即西测线,测点从南到北编号为W1至W7,桥面东侧即东测线,测点从南到北编号为E1至E7。现场测量时尽量在一天温度相对稳定、基本一致的情况下进行测试,避免温度效应对超静定结构的体系影响,以保证测试结果的准确性。

全桥碳纤维板张拉结束后各测点的高程变化实测位移值和理论位移值对比如图9所示,其中向上为正,向下为负。

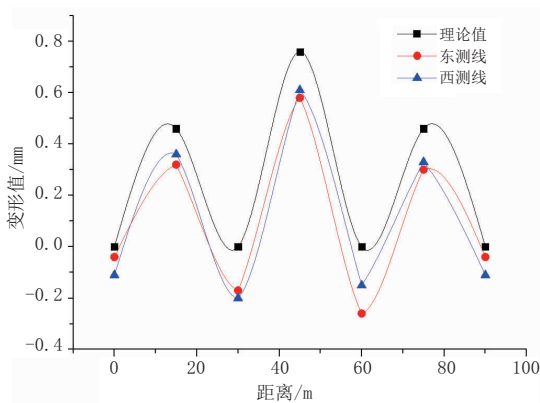


图9 加固后各断面测点实测位移值和理论计算位移值对比

结果表明:加固后中跨及边跨跨中断面的高程均呈现一定程度的上拱趋势,加固完成后中跨跨中高程上升0.58~0.61 mm,边跨跨中高程上升0.30~0.36 mm,且位于支点处的测点均存在轻微的下挠,说明碳纤维板加固能够较好地改善桥梁结构的线形和受力状况。同时各跨跨中测点实测位移增大值与理论计算值基本一致,进一步说明实际加固效果达到了加固设计的相关要求,验证了碳纤维板加固连续箱梁结构的有效性。

4.2 应变监测结果分析

结构应力控制不像高程一样易于控制,若应力控制不当,会对结构造成严重的危害。根据结构的对称性和结构特点,本桥选取边跨跨中、墩顶及中跨跨

中断面作为测试关键断面如图10所示,每个断面布置了5个测点如图11所示。

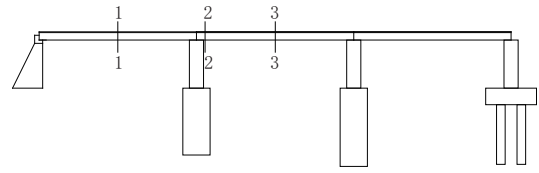


图10 应变测试断面图

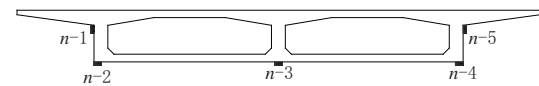


图11 应变测点布置图

应变测点编号规则为:测点编号由西向东、由高至低为n-1至-5,n为测试断面编号,如1-2指南边跨跨中断面底板西侧测点。

由于碳纤维板施工过程中采集的数据量较大,因此详细的应变数据不再给出。实测结果表明:一是在0#台至1#墩跨即南边跨张拉过程中,边跨跨中控制截面关键测点应变变化量最大为-4.3 με;中跨跨中控制截面关键测点应变变化量合计最大为-5.3 με;墩顶控制截面关键测点应变变化量合计最大为3.5 με。二是在1#墩至2#墩跨即中跨张拉过程中,边跨跨中控制截面关键测点应变变化量最大为-3.2 με;中跨跨中控制截面关键测点应变变化量合计最大为-8.6 με;墩顶控制截面关键测点应变变化量合计最大为2.4 με。三是在2#墩至3#墩跨即北边跨张拉过程中,边跨跨中控制截面关键测点应变变化量最大为-1.4 με;中跨跨中控制截面关键测点应变变化量合计最大为-8.9 με;墩顶控制截面关键测点应变变化量合计最大为1.0 με。应变变化值正为受拉,负为受压。

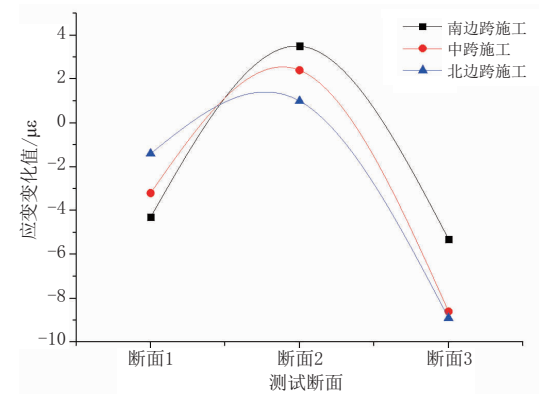


图12 加固过程各测试断面应变变化图

根据以上测试结果可以发现,在张拉底板碳纤维板时,边跨和中跨跨中断面的应变均呈现出受压状态,墩顶断面的应变呈现出受拉状态;从理论上来说连续梁桥跨中区域底板为受拉区,因此表明张拉

碳纤维板后箱梁跨中区域上拱、墩顶区域下挠,与桥面高程表现出同样的趋势。说明本桥在碳纤维板加固后在一定程度上增大了结构的应力储备,提升了结构的安全冗余度。

5 结 论

对一座典型三跨连续箱梁桥实施体外预应力碳纤维板加固,通过对有限元模拟及施工监测结果的分析,可以得出以下结论:

(1)位移监测结果表明:实测位移增大值与理论计算值基本一致,验证了碳纤维板加固连续箱梁结构的有效性,碳纤维板加固能够较好地改善桥梁结构的线形和受力状况。

(2)应变监测结果表明:碳纤维板加固后,箱梁跨中断面的应变均呈现出受压状态,墩顶断面的应变呈现出受拉状态,在一定程度上增大了结构的应

力储备,提升了结构的安全冗余度。

(3)从施工监控的角度评定了体外预应力碳纤维板加固连续箱梁桥的加固效果,本桥在加固后承载能力明显提高,真正实现了加固设计的目的。

参考文献:

- [1] 李卫青.公路预应力混凝土连续箱梁桥裂缝分析及加固设计[J].北方交通,2014(9):28-31,35.
- [2] 王振航.连续刚构桥锚下混凝土局部应力分析及合龙顺序研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2019.
- [3] 徐磊.预应力碳纤维板在旧桥加固中的应用[J].交通世界,2017(30):102-103.
- [4] 金勇俊,尚守平,彭晖,等.碳纤维板施加预应力技术在桥梁加固中的应用[J].公路与汽运,2007(5):157-160.
- [5] 刘华,高宗余,刘其伟,等.某预应力混凝土连续梁桥火损评估与加固[J].桥梁建设,2015,45(4):81-87.
- [6] 万世成.预应力 CFRP 板加固钢-混凝土组合梁桥试验与计算方法研究[D].南京:东南大学,2019.技,2017,34(5):95-101.

《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