

预应力空心板梁桥加固前后试验对比分析

黄利

(长沙理工检测咨询有限责任公司, 湖南 长沙 410076)

摘要: 为准确评定碳纤维增强复合网格—聚合物水泥砂浆对预应力空心板桥的加固效果, 通过荷载试验对加固前后桥梁的承载能力进行评定并对比分析检测结果。结果表明, 相同荷载作用下, 加固后桥梁挠度减小 23.7%, 应变减小 9.6%, 碳纤维增强复合网格—聚合物水泥砂浆加固技术能显著提高预应力空心板桥主梁的强度和抗弯刚度, 有效改善桥梁的使用性能。

关键词: 桥梁; 预应力空心板桥; 碳纤维增强复合网格; 聚合物水泥砂浆; 荷载试验; 承载能力

中图分类号: U446.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)02-0106-03

碳纤维网格—聚合物水泥砂浆加固是将碳纤维网格预先安装在被加固构件表面, 然后喷射或手工抹聚合物修补砂浆^[1-2]。相较于外贴纤维增强复合材料加固, 碳纤维网格—聚合物水泥砂浆加固具有以下优点: 适用于各种恶劣环境, 如高温、高腐蚀、极低温环境; 施工方法简单; 施工质量好, 与原混凝土的黏结较好, 不易出现空鼓、剥离等, 网格搭接部位通过铆钉锚固作用保证其与混凝土协同工作; 受力性能好, 抗拉强度高, 抗拉弹性模量较低, 几何形状为垂直交叉的纵横向网格, 且网格及网格节点具有较高的强度, 可双向受力; 易加工成型。本文针对 20 m 预应力空心板梁桥, 采用碳纤维增强复合网格—聚合物水泥砂浆进行加固^[3-8], 通过加固前后静载试验结果对比, 验证该加固方法的加固效果。

1 工程概况

1.1 桥梁概况

某装配式空心板桥位于长沙宁乡市 S539 省道上, 加固前后设计荷载等级不变, 为公路—II 级, 设计桥长 517 m。上部结构有 3 种结构形式, 分别为 20 m 预应力混凝土空心板简支梁、30 m 预应力混凝土空心板简支梁、三跨等截面现浇连续箱梁。全桥左右半幅分开, 半幅宽度 8.5 m, 全宽 17 m, 全幅桥面横向布置为 0.5 m (护栏)+16.0 m (行车道)+0.5 m (护栏)。本文以 20 m 预应力混凝土空心板简支梁为例进行分析, 其跨中横断面(半幅)见图 1。

1.2 桥梁维修加固措施

维修加固方案见图 2, 碳纤维复合网格性能指标见表 1。施工步骤如下:

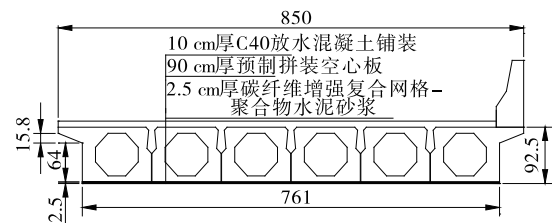


图 1 20 m 空心板跨中横断面(半幅)示意图(单位: cm)

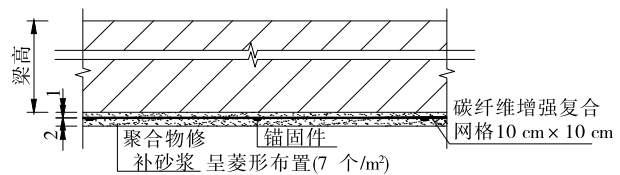


图 2 粘贴碳纤维增强复合网格—聚合物水泥砂浆加固方案示意图(单位: cm)

表 1 碳纤维复合网格的主要性能指标

性能指标	性能参数
网格宽度/mm	1 000
网格间距/mm	100×100
弹性模量/GPa	≥45
抗拉强度标准值/MPa	≥900
网格主受力方向(纵向)单肢截面名义面积/mm ²	≥13

(1) 混凝土基层处理。施工前打磨梁底面混凝土, 清除表面风化薄弱层及其他污物, 直到露出坚实光鲜的混凝土, 确保新旧混凝土黏结牢靠。

(2) 安装高性能碳纤维增强复合网格。按搭接长度要求搭接碳纤维网格, 并用铆钉和锚固件固定在打磨清理后的混凝土表面。

(3) 配制聚合物修补砂浆。严格按照配合比及

配合步骤拌和砂浆,配置完成后及时喷射。

(4) 喷射聚合物修补砂浆。将聚合物砂浆喷射在固定好的碳纤维网格上,喷射到设计厚度后用镩刀抹平。

2 荷载试验方案

2.1 试验工况与加载方法

选择病害较多且较严重的右幅第 9 跨进行静载

试验,按照《公路桥涵设计通用规范》、该桥原设计及加固设计,采用 MIDAS/Civil 2021 进行计算,目标荷载采用公路Ⅱ级。试验跨跨中截面的设计弯矩、试验弯矩、效率系数及试验荷载见表 2。试验加载分为 4 级,每级加载 1 台车,车辆在桥上的布置位置见图 3。为减少外在因素对试验结果的影响,加固前后荷载试验的加载车辆车型、总重、轴重和加载分级、加载位置均保持一致。

表 2 右幅第 9 跨静载试验工况、效率系数及试验荷载

荷载工况	测试断面	设计弯矩/(kN·m)	试验弯矩/(kN·m)	效率系数	试验荷载(偏载)/kN
加固前	试验跨(9 [#])最大正弯矩断面	911.2	921.9	1.01	4×310
加固后	试验跨(9 [#])最大正弯矩断面	911.2	921.9	1.01	4×310

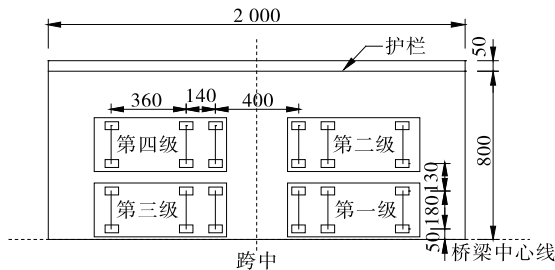


图 3 车辆在桥面上的加载位置(单位:cm)

2.2 测点布置

通过静载试验测试控制截面的挠度和应变,挠度和应变测点布置见图 4。

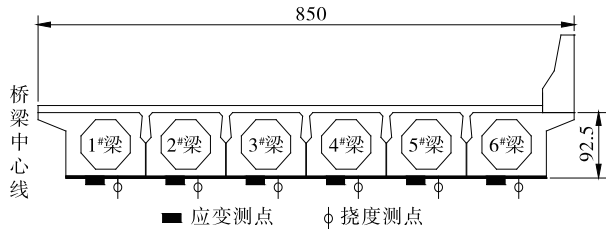


图 4 试验跨控制截面应变及挠度测点布置(单位:cm)

3 静载试验结果及分析

3.1 试验梁测试断面挠度分析

表 3 为试验跨控制截面的实测挠度、理论挠度及由此得到的校验系数、相对残余挠度。由表 3 可知:试验跨控制截面 1[#]~6[#] 空心板梁实测挠度均小于理论计算挠度,挠度校验系数为 0.48~0.69,相对残余挠度为 0.00~0.07,均小于 0.2,满足《公路桥梁荷载试验规程》的要求^[9]。

3.2 试验梁测试断面应变分析

表 4 为试验跨控制截面的实测应变、理论应变

表 3 试验跨挠度测试结果

荷载工况	梁号	实测挠度/mm	计算挠度/mm	残余挠度/mm	挠度校验系数	相对残余挠度
加固前	1	5.26	7.67	0.04	0.69	0.01
	2	5.03	7.37	0.03	0.68	0.01
	3	4.74	7.03	0.03	0.67	0.01
	4	4.39	6.61	0.00	0.66	0.00
	5	3.63	6.18	0.16	0.59	0.04
	6	3.20	5.81	0.14	0.55	0.04
加固后	1	4.21	7.67	0.28	0.55	0.07
	2	4.09	7.37	0.23	0.56	0.06
	3	3.66	7.03	0.13	0.52	0.04
	4	3.44	6.61	0.01	0.52	0.00
	5	3.03	6.18	0.05	0.49	0.02
	6	2.76	5.81	0.10	0.48	0.04

表 4 试验跨应变测试结果

荷载工况	梁号	实测应变/ $\mu\epsilon$	计算应变/ $\mu\epsilon$	残余应变/ $\mu\epsilon$	应变校验系数	相对残余应变
加固前	1	61	116	1	0.53	0.02
	2	57	104	1	0.55	0.02
	3	54	99	0	0.55	0.00
	4	52	94	1	0.55	0.02
	5	51	89	2	0.57	0.04
	6	48	92	0	0.52	0.00
加固后	1	56	116	3	0.48	0.05
	2	53	104	4	0.51	0.08
	3	50	99	5	0.50	0.10
	4	47	94	4	0.50	0.09
	5	45	89	5	0.50	0.11
	6	44	92	3	0.48	0.07

校验系数、相对残余应变。由表4可知:试验跨控制截面1[#]~6[#]空心板梁实测应变均小于理论计算应变,应变校验系数为0.48~0.57,相对残余应变为0.00~0.11,均小于0.2,满足规范要求。

3.3 加固效果分析

加固前后试验跨跨中截面空心板挠度对比见表5、图5,横向分布系数对比见图6。由表5和图5可知:加固后跨中截面各空心板的挠度均减小,减小幅度为14%~23%,且2片中梁的降幅大于两侧边梁的降幅。由图6可知:加固前后横向分布基本吻合,原桥空心板铰缝没有发生明显破坏,加固后未改变荷载沿桥的横向传递,桥梁横向整体受力较好。

表5 加固前后试验跨挠度测试结果对比

梁号	挠度/mm		两者差值/mm	加固后减小幅度/%
	加固前	加固后		
1	5.26	4.21	1.05	20
2	5.03	4.09	0.94	19
3	4.74	3.66	1.08	23
4	4.39	3.44	0.95	21
5	3.63	3.03	0.60	17
6	3.20	2.76	0.44	14

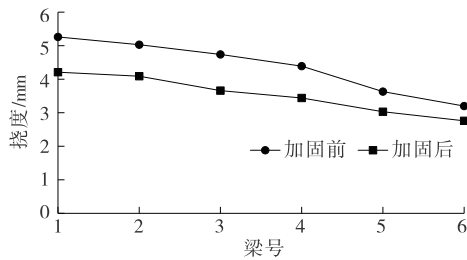


图5 试验跨加固前后挠度对比

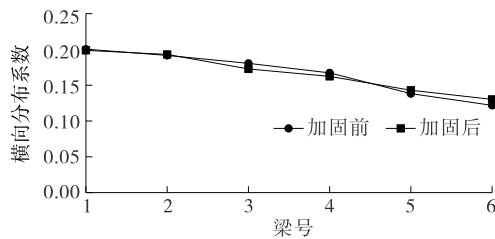


图6 试验跨加固前后横向分布系数对比

加固前后试验跨跨中截面空心板底缘应变对比见表6、图7。由表6和图7可知:加固后跨中截面各空心板的应变均减小,减小幅度为7%~12%。

图8为试验跨加固后挠度和应变降幅关系图。由图8可知:试验跨加固后应变的减小幅度明显小于挠度的减小幅度,说明碳纤维增强复合网格一聚

表6 加固前后试验跨应变测试结果对比

梁号	应变/ $\mu\epsilon$		两者差值/ $\mu\epsilon$	加固后减小幅度/%
	加固前	加固后		
1	61	56	5	8
2	57	53	4	7
3	54	50	4	7
4	52	47	5	10
5	51	45	6	12
6	48	44	4	8

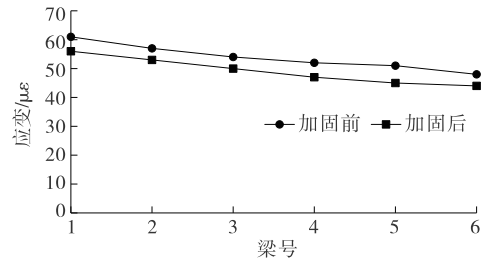


图7 试验跨加固前后应变对比

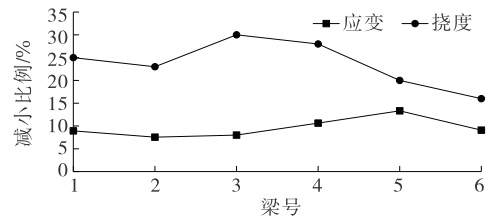


图8 试验跨加固后挠度和应变变化对比

合物水泥砂浆加固方法对桥梁刚度的提高效果优于强度。

4 结论

(1) 采用碳纤维增强复合网格一聚合物水泥砂浆法加固后,桥梁挠度和应变均减小,挠度减小14%~23%且中梁减小幅度大于边梁减小幅度,应变减小7%~12%,挠度减小幅度比应变减小幅度大,桥梁刚度的提升效果优于强度。

(2) 加固后,梁板在汽车荷载作用下,荷载沿每片梁的传递分配即横向分布和加固前基本一致,加固后不影响荷载在桥跨上的横向传递。

(3) 加固后空心板的强度、刚度增大,承载能力提高,对类似于预应力简支梁的结构可借鉴该加固方法进行维修加固。

参考文献:

- [1] 李艳红,徐立志.30 m 预应力箱梁加固前后承载力试验对比分析[J].山西建筑,2011,37(13):49-50.

(下转第114页)

- [7] 丁涛,丁浩,朱世根.加权距离判别分析及其在模式识别中的应用[J].组合机床与自动化加工技术,2013(8):51—54.
- [8] YANG J N, LEI Y, LIN S, et al. Hilbert-Huang based approach for structural damage detection[J]. Journal of Engineering Mechanics, 2004, 130(1): 85—95.
- [9] AMARNATH M, KRISHNA I R P. Empirical mode decomposition of acoustic signals for diagnosis of faults in gears and rolling element bearings[J]. IET Science, Measurement & Technology, 2012, 6(4): 279—287.
- [10] AMARNATH M, KRISHNA I R P. Local fault detection in helical gears via vibration and acoustic signals using EMD based statistical parameter analysis[J]. Measurement, 2014, 58: 154—164.
- [11] 陈闯,俞鹏,王银辉.基于马氏距离累积量和 EMD 的结构损伤识别两步法[J].振动与冲击,2019,38(13): 142—150.
- [12] CHEN C, WANG Y, WANG T, et al. A mahalanobis distance cumulant-based structural damage identification method with IMFs and fitting residual of SHM measurements[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2020(21): 1—17.
- [13] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998, 454(1971): 903—995.
- [14] MAHALANOBIS P C. On the generalised distance in statistics[J]. Proceedings of the National Institute of Sciences of India, 1936(2): 49—55.
- [15] 王晓龙,王晓浩,邢宗义.基于 EMD 广义能量的列车车轮故障诊断技术[J].铁道标准设计,2017,61(1): 133—138.
- [16] 陈闯.基于监测数据的大跨径 PC 连续梁桥状态评估[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- [17] 韩亚娟.基于马氏田口的多元系统稳健性优化与诊断分析研究[D].天津:天津大学,2007.

收稿日期:2022—02—12

(上接第 105 页)

参考文献:

- [1] 任涵.山区悬索桥缆索吊装关键技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.
- [2] 刘邦,刘建,柯红军.大跨度悬索桥钢箱梁吊装施工技术分析[J].公路与汽运,2021(6):127—130+136.
- [3] 李春贤.移动主索缆索吊机架设拱桥施工技术[J].铁道建筑技术,2005(6):28—30.
- [4] 王晓璐.斜靠式钢管混凝土拱桥拱肋吊装分析及施工稳定性研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
- [5] 邓雪涛,曾德荣,周燕其.大跨度拱桥缆索吊装系统的稳定性有限元分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2007,26(增刊):3—7.
- [6] 陈富强.大跨径悬索桥缆索吊装系统的设计与施工研究[D].西安:长安大学,2007.
- [7] 张朝阳.钢管混凝土拱桥施工过程仿真分析及控制研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [8] 张晨星,田仲初.悬索桥钢箱梁吊装阶段主缆索力计算方法[J].交通科学与工程,2021,37(3):91—97.
- [9] 郭吉平.北盘江大桥缆吊系统及桁架梁安装关键技术[J].世界桥梁,2011(6):22—25.

收稿日期:2022—05—25

(上接第 108 页)

- [2] 陈业丰,陈得良.碳纤维布加固具多裂纹 RC 梁振动分析[J].公路与汽运,2022(1):124—127.
- [3] 冯海龙.在役预应力混凝土空心板梁桥病害处置对策及加固效果试验研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2015.
- [4] 吕哲.既有空心板桥健康评价及钢板加固研究[D].长沙:长沙理工大学,2017.
- [5] 高勇.某预应力混凝土筒支空心板桥加固性能试验研究[J].佛山科学技术学院学报(自然科学版),2020,38(1):48—54.
- [6] 宋泽冈,邓旭东,殷继华.空心板梁桥加固前后受力性能对比试验研究[J].公路,2020,65(9):84—89.
- [7] 项贻强,邢聘,邵林海,等.横向加固空心板梁桥荷载横向分布计算方法与试验研究[J].中国公路学报,2013,26(2):63—68+76.
- [8] 叶李斌,张滨锋.加固后现浇钢筋混凝土楼板静载试验分析[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2021,18(3):32—37.
- [9] 长安大学.公路桥梁荷载试验规程:JTG/T J21—01—2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.

收稿日期:2022—01—20