

文章编号:1671-2021(2007)04-0529-04

利用 CFRP 加固钢吊车梁弯曲疲劳性能试验研究

阎石¹, 韩杨¹, 綦宝晖², 张曰果¹, 孙威¹

(1. 沈阳建筑大学土木工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2 鞍山钢铁集团建筑科学研究所, 辽宁 鞍山 114001)

摘要:目的 对利用碳纤维增强塑料(CFRP)加固钢吊车梁的弯曲疲劳性能进行试验研究,以考察贴有 CFRP 钢吊车梁疲劳寿命的提高情况. 方法 采用简支梁模型疲劳试验方法,在吊车梁模型的下翼缘外侧分别粘贴一层和两层碳纤维布加固,并进行弯曲疲劳试验. 在不同 CFRP 层数和循环荷载等情况下,观察其疲劳性能的变化,通过回归分析方法,确定了 N-S 曲线中的系数. 结果 在一定的条件下,利用 CFRP 加固钢吊车梁后可以明显提高钢吊车梁的疲劳寿命. 当粘贴一层时,吊车梁的疲劳寿命大约提高 9%-17%;当粘贴二层时,吊车梁的疲劳寿命大约提高 20%-30%. 结论 利用 CFRP 加固的方法可以提高吊车钢梁的抗疲劳性能. 同时利用试验确定 S-N 曲线的系数,并可以利用该曲线估算吊车梁的疲劳寿命.

关键词:碳纤维增强塑料(CFRP);疲劳试验;钢吊车梁;S-N 曲线;疲劳寿命

中图分类号: TU986.2

文献标识码: A

我国拥有 20 亿 m^2 以上的钢结构建筑,其中使用期超过 30 年以上的钢结构工业建筑约 7.1 亿 m^2 ,部分吊车梁未达到设计使用年限就发生破坏,其中 80%-90% 的破坏是疲劳破坏引起的^[1]. 因此,对服役期内疲劳构件进行加固补强和在保证安全的情况下尽可能地延长构件使用寿命,是需要解决地重要课题之一. 传统的加固补强钢吊车梁的方法是加焊型钢和钢板,但这种方法会在一定程度上增加构件的截面尺寸和质量,且高温作用会使焊接部位成为新的断裂源^[2-6]. 另外,由于高温状态下钢材的强度较低,因此在补强的过程中往往需要临时支撑,从而影响正常生产. 自 20 世纪 80 年代中期以来,碳纤维作为一种新型材料由于其具有轻质高强、抗疲劳、耐老化和物理性能稳定等诸多优点,在土木工程中的应用越来越多. 粘贴碳纤维复合材料加固钢筋混凝土结构和砌体结构技术已经得到广泛研究和应用,但用其加固钢结构的研究和应用较少^[7-10]. 笔者对利用 CFRP 加固钢吊车梁的弯曲疲劳性能进行试

验研究,并对试验结果进行系统分析.

1 试验概况

1.1 试件设计

本次模型试验的钢吊车梁材料为 Q345 钢,并按照实际吊车梁尺寸 1/6 设计的. 为防止局部破坏,翼缘和腹板尺寸有所加大,满足设计要求. 翼缘和腹板厚度为 6 mm,上下翼缘宽度分别为 120 mm 和 100 mm,横向加劲肋间隔 360 mm. 支座处加劲肋直接通到梁的下翼缘,中间加劲肋与下翼缘断开. 吊车梁的有效跨度为 1 800 mm,高为 300 mm. 试验采用六个试件,每两个为一组,每组分别为普通吊车钢梁试件、贴单层 CFRP 布试件或贴双层 CFRP 布试件. 对试件施加频率为 1 Hz 的简谐周期荷载,荷载上限和下限分别为 200 kN 和 20 kN.

由标准拉伸试验得到钢材的屈服强度,极限强度和弹性模量等指标,见表 1. 试验采用德国 EPO 公司生产的 UDO 碳纤维布,采用辽宁省建

收稿日期:2007-01-05

基金项目:辽宁省自然科学基金项目(20052005).

作者简介:阎石(1962-),男,教授,主要从事结构工程试验与数值分析研究.

设科学研究院生产的 JGN - C 型碳纤维粘贴专用

表 1 钢材物理性能标实测值 MPa

屈服强度	极限强度	弹性模量
345	439	206000

粘合剂,底胶采用 JGN - P 建筑结构粘合剂,CFRP 的材料性能指标见表 2.

表 2 CFRP 物理性能指标

拉伸强度/MPa	弹性模量/GPa	厚度/mm
4900	230	0.167

本试验研究钢吊车梁加固后正截面疲劳抗弯性能,所以在钢梁底部受拉区粘贴 CFRP,目的是通过试验验证钢吊车梁粘贴 CFRP 后,在动力荷载作用下的疲劳性能,并将其与未贴 CFRP 的疲劳试件进行对比,确定粘贴 CFRP 对构件疲劳性能改善的程度.另外,通过对应力幅值的大小和循环次数裂缝出现部位等进行研究,得到 CFRP 加固钢梁的基本规律.

1.2 试验过程

试验在沈阳建筑大学结构试验室的美国 MTS 公司生产的电液伺服加载试验机上进行,吊车梁的具体尺寸见图 1.

图 1 CFRP 加固钢吊车梁简图

采用英国输力强公司 IMP 数据采集系统采集数据.试验梁为工字型截面简支梁,通过分配梁实现二点对称加载.试验加载程序包括静载试验、疲劳试验两个阶段.

静载试验阶段:在预载后,先做两次加载、卸载循环的静载试验,以消除加载系统各部分的间隙,并检验加载系统及数据采集系统是否正常.每级荷载值取上限荷载的 20%,分五级加载.

疲劳试验阶段:首先将荷载加至荷载下限,调解加载频率,施加荷载上限,然后以频率 1Hz 的正弦波进行疲劳试验.采用荷载控制方法,当疲劳

循环次数 N 达到预定次数时,停止疲劳荷载,先卸载至零,量测钢梁、碳纤维布的残余应变,残余挠度等,再分级加载到疲劳荷载下限和上限,测量钢梁的应变,碳纤维的应变,梁的挠度等.

2 试验现象

在试验中发现,试件的破坏主要与应力幅值有关,如果粘贴碳纤维层数相同,应力幅值大则疲劳寿命低.碳纤维加固试件和未加固试件的破坏形式都表现为金属的疲劳,图 2 为钢吊车梁的下翼缘与加载点对应部位附近首先出现应力疲劳源.随着应力循环次数的增加,下翼缘与腹板间的焊缝疲劳裂纹开始萌生,当裂纹发展至截面不能再承受相应的应力时,试件在焊缝处对应于疲劳源出现位置出现裂缝,并迅速向加劲肋端部以及下翼缘的边缘扩展,此时可以明显看到裂缝,其宽度约 5 mm,说明试件中部已经发生疲劳破坏.当试件下翼缘断裂时,试件破坏处的碳纤维布已经剥离,端部粘贴完好.

图 2 试件典型破坏形态

3 试验结果及分析

试验在预定疲劳次数后,静载测得各级荷载下钢吊车梁应变和碳纤维应变,以及梁的挠度.试验发现,钢吊车梁下翼缘受拉区应变在疲劳荷载作用后呈线性分布,经过相同疲劳次数荷载后,未加固的钢吊车梁残余应变最大,粘贴一层碳纤维的钢梁次之,粘贴两层碳纤维的钢梁最小.

在上限荷载作用下,粘贴一层碳纤维的钢梁比未粘贴碳纤维的钢梁应变减少 7.27% ~ 9.10%,粘贴两层碳纤维的钢梁比未粘贴碳纤维的钢梁应变减少 11.99% ~ 13.76%.两层碳纤维布的应变比一层碳纤维布的应变减少 25.74% ~ 26.67%.可以看出在等幅荷载条件下,粘贴有

CFRP 的试件较原样试件抗疲劳性能有大幅度改善. 在相同的荷载条件下,随着荷载循环次数的增加,试验钢梁的应变稍有增加. 表 3 为试验结果及疲劳寿命提高的程度.

表 3 试验结果及疲劳寿命提高幅度

试件编号	最大应变	最大位移/ mm	应力幅值/ MPa	减小幅度/ %	疲劳寿命/ 10 ⁴ 次	提高幅度/ %
1 - 1	1 251	3.98	22.1.85	-	80.23	-
1 - 2	1 264	4.00	224.16	-	77.17	-
2 - 1	1 160	3.61	214.40	3.36 ~ 4.35	88.24	9.98 ~ 13.9
2 - 2	1 149	3.59	211.67	4.56 ~ 5.57	90.85	13.24 ~ 17.27
3 - 1	1 090	3.31	204.08	8.01 ~ 8.96	100.78	25.61 ~ 30.09
3 - 2	1 101	3.30	206.17	7.07 ~ 8.03	97.25	21.21 ~ 25.53

根据试验数据,通过数值分析的方法,建立试件的应力幅值与循环次数回归曲线,如图 3 所示,待定系数分别为 2.393×10^{12} 和 2.76.

可以减少 7.07 % ~ 8.96 %.

参考文献:

[1] 张家启,林志昆.工业建筑鉴定标准修编的原则依据与总结方案[C]//第五届全国建筑物鉴定加固改造学术讨论会论文集,昆明:云南科技出版社,2000.

[2] Halliwells. In - service performance of glass reinforced plastic composites in building[J]. Proc. The Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings, 2004,157(1):99 - 104.

[3] Toutanji H A. Durability characteristics of concrete columns confined with advanced composite material [J]. Composite Structure,1999,44(2):155 - 161.

[4] Teng J G, Yao J. Self - weight bulking of FRP tubes filled with wet concrete [J]. Thin - Walled Structures,2000(4):337 - 353.

[5] Hall J E,Mottram J T. Combined FRP reinforcement and permanent formwork for concrete members[J]. Journal of Composite for Construction,1998(2):78 - 86.

[6] De Lorenzi ,Nnni A. Bond between NSM Fiber - Reinforced polymer rods and concrete in structure strengthening[J]. ACI Structural Journal,2002,99(2):123 - 132.

[7] 张宁,岳清瑞.碳纤维布加固钢结构疲劳试验研究[J].工业建筑,2004,34(4):19 - 21.

[8] 幸坤涛,岳清瑞.在役钢吊车梁上部区域破损原因分析及其疲劳可靠度研究[J].工业建筑,2003(6):71 - 74.

[9] 唐继舜,钱冬生.关于钢结构疲劳问题当代水平的简述[J].桥梁建设,1999(2):11 - 14.

[10] 张宁.碳纤维布加固修复钢结构粘结界面受力性能试验研究[J].工业建筑,2003(5):71 - 73.

图 3 S - N 曲线图

4 结 论

(1)粘贴 CFRP 可以提高钢吊车梁的疲劳寿命. 粘贴一层,吊车梁的高疲劳寿命提高 9.98 % ~ 17.27 %;粘贴两层,吊车梁的疲劳寿命可以提高 21.21 % ~ 30.09 %.

(2)在相同次数的疲劳荷载作用下,经过 CFRP 加固的钢吊车梁的挠度与未经加固时相比明显减小. 粘贴一层,吊车梁的挠度减小 9.30 % ~ 10.25 %. 粘贴两层,挠度减小 16.83 % ~ 17.50 %. 这说明粘贴 CFRP 提高了钢吊车梁的抵抗变形能力,提高钢吊车梁的抗疲劳性能.

(3)钢吊车梁的疲劳寿命与所受实际应力幅值有关,在荷载幅相同情况下,粘贴一层 CFRP 可减小应力幅值 3.36 % ~ 5.57 %,粘贴两层 CFRP

Experimental Research on Fatigue Performance of Flexural Steel Crane Beam Reinforced with CFRP

YAN Shi¹, HAN Yang¹, QI Baohui², ZHANG Yueguo¹, SUN Wei¹

(1. School of Civil Eng., Shenyang Jianzhu Univ., Shenyang 110168, China; 2. Building Research Institute, Angang Construction Group, Anshan 114001, China)

Abstract: the experimental research on fatigue performance of steel crane beam reinforced with carbon fiber reinforced polymer (CFRP) is made in the paper by using a model of simply supported beam under a repeat loading in the lab. The CFRP for one or two layers is adhered respectively on the external surface of the flange of the beam. The flexural fatigue test is carried out to explore the influences of both the number of the CFRP layer and repeat loading, to observe the change of the fatigue performance, and to determine the S - N curve by the method of data - fitting. The results of the research show that the fatigue performance of the beam can be increased by using the CFRP on some conditions and the life of the beam can therefore be prolonged. The result also show that the stress amplitude can greatly influence the fatigue life of the beam when the same amount of CFRP is used. The efficiency of the reinforcing method is experimentally proved in increasing the fatigue performance of the steel crane beam. When reinforced by one layer of CFRP, its fatigue life was enhanced 9 % - 7 %, and 20 % - 30 % two layers. Also the experimentally determined S - N curve can be used to evaluate the fatigue life of the beam.

Key words: carbon fiber reinforced polymer (CFRP); fatigue experiment; steel crane beam; S - N curve; fatigue life

本刊声明

为适应信息化建设需要,扩大作者学术交流范围,拓宽刊物对外交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和《万方数据库—数字期刊群》,本刊所刊论文均被全文收录,论文著作权使用费随本刊刊酬一次性给付。如作者不同意论文被收录,请在来稿时特别注明。

沈阳建筑大学学报编辑部