

文章编号: 1005—0523(2007)04—0001—04

复合材料碳纤维布加固含裂纹钢梁实验研究

童谷生, 张 予, 林春阳

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 采用 15 根模型钢梁的试验研究, 结果表明: 利用不同长度, 不同厚度补片加固后的梁静强度的变化是不一样的; 全长补片短补片长度加固效果好, 随补片厚度的增加其静强度也有所增加, 与未加固对比梁相比较最大静承载力提高 55%; 梁加固前后的刚度变化不太明显; 加固后梁的延性有所降低.

关键词: 碳纤维布; 加固; 裂纹钢梁; 静强度

中图分类号: TM392.3

文献标识码: A

0 引言

由于碳纤维布(板)具有高的比强度和比刚度, 卓越的耐疲劳和耐腐蚀性能, 作为结构加固/修补材料早期主要用于航空与航天结构^[1]. 随着这种材料生产成本的降低, 目前已经将它广泛应用于土木工程中混凝土结构的加固^[2-4]. 但将它用于钢结构的加固是国内外都最近几年才开始的, 研究表明, FRP 加固钢结构也显示出很好的效果^[5-6]. 由于国内外都处于初步研究阶段, 相应的试验研究也不多, 对损伤钢梁的试验研究主要集中在国外少量的报道^[7-8], 而国内有关报道更少^[9], 关于裂纹梁的有关研究面前未见有关报道.

为研究含裂纹梁用 CFRP 加固抗弯性能的改善情况, 利用自行设计的模型梁, 进行了静力和疲劳性能试验研究, 这里只给出静力部分的试验结果, 疲劳性能方面的研究将另文发表.

1 试件形状、分组情况和试验材料

模型钢裂纹梁试件的尺寸为: 240 mm×10 mm×40 mm. 试件按三点弯曲尺寸参考 YB947—74 制

作, 在钢梁试件跨中截面采用线切割的方法可以达到裂纹宽度为 0.3 mm 深度为 16 mm 的预制裂纹, 以模拟工程实际中由于腐蚀环境或疲劳荷载引起的开裂. 加固用碳纤维布为上海同砼碳纤维布有限公司提供的 CFS2—3.55—220—017 型碳纤维布(用于梁底)及 CFS—3.55—220—012 型碳纤维布(用作 U 形箍). 加固前将碳纤维布制作成厚度为 0.75 mm(三层)及厚度为 1.5 mm(六层厚)的板材, 并切割成矩形补片. GT101 结构专用胶, 该种结构胶通过先进配方和工艺, 配以增韧剂、补强剂、稳定剂、等合成的双组份(A、B)反应型, 配合比按质量 4:1 配合比进行配胶, 常温下凝固, 凝固前的操作时间为 30~40 分钟. 试验所用结构胶的性能数据见表 2(也由江西省应用化学研究所提供). 单层碳纤维布的力学性能数据由厂家提供, 其力学性能数据见表 3.

表 1 试验所用的补片尺寸及数量

试件数量	预制裂纹长度/mm	补片长度/mm	补片厚度/mm
3	16	100	0.75
3	16	100	1.50
3	16	200	0.75
3	16	200	1.50
3	16	0	0

收稿日期: 2007—04—18

基金项目: 国家自然科学基金项目“FRP 加固含损伤钢梁、板的静力与疲劳特性研究”(06ZKTM11)

作者简介: 童谷生(1962—), 男, 江西石城人, 工学博士(博士后), 教授, 主要从事结构强度与建筑结构加固技术研究.

表 2 GT101 胶的物理力学参数

固化温度 /℃	密度 /kg·m ⁻³	拉伸剪切 强度/MPa	剪切冲击 强度/MPa
25	1.2×10 ⁻³	22	15

表 3 CFS2-3.55-220-017 型碳纤维力学性质

主方向拉伸 强度/MPa	主方向拉伸 模量/GPa	延伸率/%
3 000	210	14.7

为了对加固前后钢梁试件的力学性能进行分析和计算,对所采用的钢材进行了力学性能测试,测得试件的弹性模量为 $E=205\text{ GPa}$ 、屈服强度为 $\sigma_s=232.5\text{ MPa}$ 和抗拉强度为 $\sigma_b=352\text{ MPa}$ 。

2 加固方法和加固工艺过程

为了对预制好裂纹的试件进行加固,加固前要进行表面处理,表面处理的目的是:1)除去妨碍胶结表面的锈迹和污染物;2)增加被修补构件粘接表面积,提高胶结力;3)改变被粘物表面化学结构,提高表面粘接能力,以便于胶粘剂的浸透发挥功效。选定补片和胶粘剂材料之后,就可以进行裂纹钢梁的粘结加固。梁试件表明处理方法为:

- 1) 先用粗砂纸把钢板的胶接修补区域内的杂质打磨掉(如果锈蚀较重就要用手提砂轮和角磨机除锈)。
- 2) 用清洁的棉纱蘸丙酮溶液清洗打磨过的表面。
- 3) 用细砂纸轻轻打磨补片的胶接面,使其表面粗化,增加粘接力。
- 4) 用清洁的棉纱蘸丙酮溶液清洗刚刚打磨过的补片表面,去油污,晾干。
- 5) 按 A 组、B 组 3:1 比例混合均匀后 3 分钟后开始(室温下该胶的初凝时间为 30 至 40 分钟,12 小时达到最大强度)给试件涂胶。
- 6) 粘贴,压紧,赶走气泡,有条件的话施加稍微的压力效果更好。
- 7) 粘胶剂的控制:30 分钟左右初凝,24 小时后达到最高强度。充分固化 24 小时后,在 -60℃ 至 70℃ 范围内使用。

试件表面处理好之后,将准备好的碳纤维布片材粘贴到梁的底面,同时覆盖住裂纹尖端超过裂纹一半的长度。为了使加固后试件不产生过早的剥离破坏,梁的网两端同时用碳纤维布作 U 型箍加固。试件加固后的形状如图 1 所示。

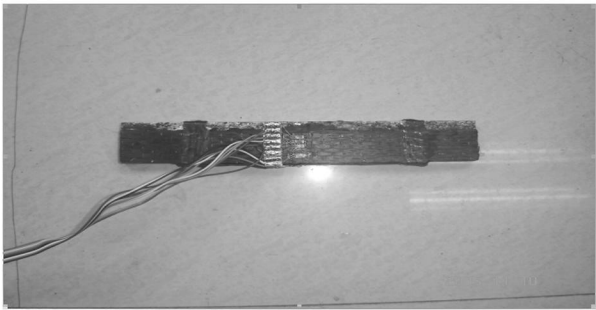


图 1 修补以后得到的试件

3 静强度实验结果

全部试件在多功能机上进行,在室温条件下进行三点弯曲试验。把试件安装到试验机上逐级(单调加载)加载,直到试件达到一定的挠度并最终压到裂纹梁屈服失去承载能力。试验中纪录下加载的载荷与测试的挠度,并根据实测数据整理后所得对比梁(未加固裂纹梁)载荷—挠度曲线见图 2。为了比较直观地给出加固前后载荷—挠度的对应关系,比较不同厚度、不同长度加固补片对加固效果的影响,将同组试件在相同载荷级下的挠度求平均值,所得到的各种补片的载荷挠度对比见图 3—4,这里只给出两组情况,因为其他情况下所得到的载荷挠度曲线类似,这里不一一给出。不同长度与不同厚度补片加固后极限承载能力见表 4。

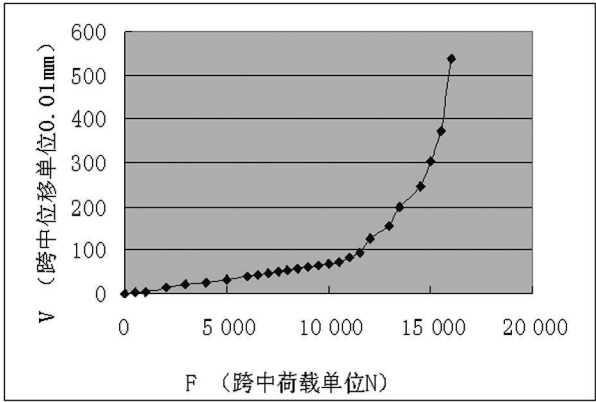


图 2 未加固试件荷载—挠度曲线

表 4 不同长度不同厚度补片加固后极限承载能力试验值及提高值对比

试件 组号	加固方式	碳纤维 长度/mm	补片厚度 /mm	最大抗弯 荷载/kN	承载力 提高/%
1	3 层 全长加固	200	0.75	15.15	37.72
2	6 层 全长加固	100	1.50	17.15	55.90
3	3 层 长度 100 mm	200	0.75	12.83	16.64
4	6 层 长度 100 mm	100	1.50	16.50	50.00
5	未加固 对比试件	0	0	11.00	—

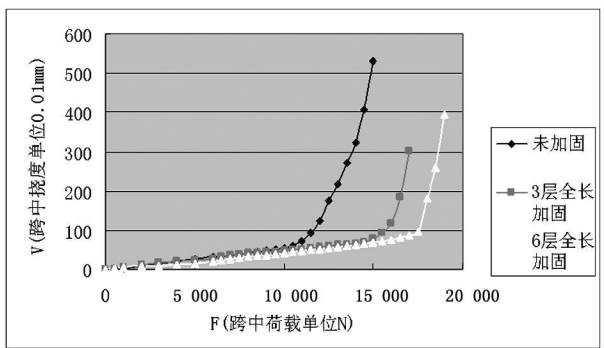


图 3 3、6 层全长加固不同荷载挠度曲线

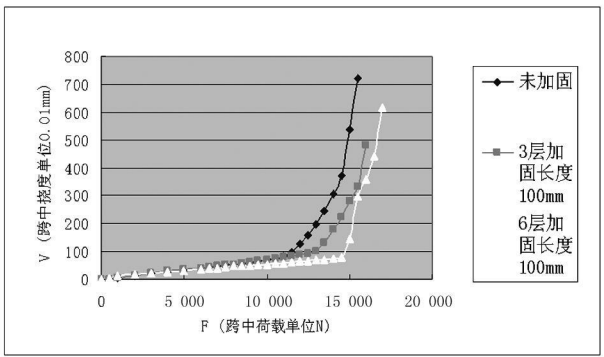


图 4 3、6 层 100 mm 加固长度不同荷载下挠度对比图

4 试验结果与分析

从试验结果可见含裂纹梁加固前后静力的强度变化情况如下:1)三层和六层的加固长度为全长的构件破坏强度分别提高 37%和 55%;2)三层和六层的加固长度为 100 mm 的构件破坏强度分别提高 16%和 50%;3)补片长度为 100 的裂纹钢梁静强度提高效果没有全长加固好.另外,由试验测试发现:加固后最大屈服载荷比加固前要提高,加固以后的试件失效形式更具有脆性性质,即延性降低了,从屈服特征出现到试件脱胶破坏最后至试件裂纹扩展破坏相对时间很短.

从载荷—挠度曲线可反映加固前后梁刚度的变化.试验所测的载荷—挠度曲线可见:几种加固梁试件和对比梁试件在跨中荷载小于 10 kN 时荷载挠度曲线几乎是重合,刚度方面提高不显著,这说明在这一阶段碳纤维并没有发挥其作用.但是当对比梁试件在跨中荷载约 11 kN 时,跨中挠度剧增,这时试件由于裂纹的扩展及裂纹尖端材料的屈服区扩大,这时梁不能再承受荷载;而加固试件在此后的一段荷载段当中仍然有一定的承载能力,在荷载挠度曲线上仍然是直线,分别到各自的加固前极限荷载时还表现出跨中挠度增加随荷载线性增加的趋势,随后

在更大的荷载作用下才出现大范围屈服及挠度剧烈增加现象;另外破坏时发出劈劈啪啪的胶层剥离的声音,纤维基本未发现断裂,破坏主要是胶层的剥离破坏,然后裂缝扩展.由此可见,与对比梁比较,裂纹尖端有较大屈服前,刚度变化不明显,但随后刚度有所提高.

5 结论

通过利用厚钢板设计和制作的带裂纹模型梁,采用结构胶和碳纤维对预制的损伤梁进行了加固,对加固和未加固(对比梁)进行了三点弯曲试验研究.通过 15 个试件(其中 3 个为对比试件)的载荷—挠度对应关系的实测以及最后的极限荷载的测试,得出了如下结论:

- 1) 粘贴碳纤维可以提高损伤梁的静强度,且提高幅度与粘贴层的厚度、长度有关;
- 2) 经过加固后的梁整体上直到破坏仍具有弹塑性性质,但加固后的两大范围屈服后碳纤维仍能发挥一定的作用,刚度有所提高.
- 3) 在补片端部采用 U 型箍能较好地阻止补片的剥离破坏.

参考文献:

[1] 童谷生,孙良新,刘英卫.飞机结构损伤的复合材料胶接修补技术研究进展[J],宇航材料工艺,2002,32(5):20—24.

[2] 藤锦光,陈建飞,S,T,史密斯,等.FRP 加固混凝土结构[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.

[3] 叶列平,冯 鹏.FRP 在工程结构中的应用与发展[J],土木工程学报,2006,39(3):24—36.

[4] 童谷生,李志虎,朱成九,等.预应力碳纤维布材加固混凝土梁的受弯性研究[J],华东交通大学学报,2005,22(2):1—5.

[5] Trent C Miller, Michael J Chajes, Dennis R Mertz, et al. Strengthening of Steel Bridge Girder Using CFRP Plates. Journal of Bridge Engineering, 2001, 6(6): 514—522.

[6] 郑 云,叶列平,岳清瑞. FRP 加固钢结构的研究进展[J].工业建筑,2005,35(8),20—26.

[7] Al-Saidy Abdullah H, Klaiber F W, Wipf T J. Repair of Steel Composite Beams with Carbon Fiber — Reinforced Polymer Plates. Journal of Composites for Construction, 2004, 8(2): 163—172.

[8] Tavakkolizadeh M, Saadatmanesh H. Repair of Damaged Steel — Concret Composite Girders Using Carbon Fiber — Reinforced Polymer Sheets. Journal of Composites for Construction, 2003, 7

(4);311—322.

受拉承载力试验研究. 工业建筑, 2003, 33(2):1—4.

[9] 马建勋, 宋松林, 赖志生, 等. 粘贴碳纤维布加固钢构件

The Experimental Study of Strengthening Damaged Steel Beam with Carbon Fiber—Reinforced Polymer Sheets

TONG Gu-sheng, ZHANG Yu, LIN Chun-yang

(School of Civil Eng. And Arc., East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013, China)

Abstract: Fifteen pre-cracked steel beams are tested through three point bending experiment. The difference between the repaired steel beams with carbon fiber polymer sheets and control beams is studied in details. The experiments shows improvement of pre-cracked steel beams strengthened with CFRPs have an average raise more than 37% in strength, maximum is 55%. Whereas the flexural stiffness is no more than control beam's.

Key words: pre-cracked; beam; FRP strengthen; strength; repair.

简讯一

雷晓燕教授获国家科技部 973 项目立项

近日接到国家科技部来文, 华东交通大学雷晓燕教授的《昌九城际铁路环境振动与控制研究》获得科技部 973 项目立项, 资助经费 80 万元. 这是校史上第一个由我校教师主持且有经费资助的科技部项目. 973 项目属国家重点基础研究项目, 它与国家重大科技攻关项目、国家高新技术 863 项目同属国家重点支持发展项目.

科研处 张霖

2007 年 6 月 28 日