

文章编号: 1000-5013(2010)06 0688-04

BFRP 加固木梁抗弯性能的初始试验

李飞¹, 王全凤¹, 陈浩军², 黄奕辉¹

(1. 华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021;
2. 中国华侨大学建筑土木(澳门) 协会, 澳门 999078)

摘要: 通过对 6 根矩形截面木梁的静力试验, 研究玄武岩纤维布(BFRP) 加固木梁的破坏特征、截面应变、极限承载力等抗弯性能. 结果表明, BFRP 加固木梁能够有效提高木梁的承载力; 在加载过程中, BFRP 加固木梁的刚度有很大程度的提高. 同时, 受木节的影响, 纤维布加固木梁存在很大的离散性.
关键词: 木梁; 玄武岩纤维布; 加固; 抗弯性能; 极限承载力
中图分类号: TU 366. 202 **文献标识码:** A

在我国现存的古建筑中, 木结构占有相当的比例, 如杭州的六和塔和山西应县木塔等都已为数百年的历史. 木结构建筑具有重量轻、温暖舒适、健康环保等优点, 比现代钢结构和混凝土结构更具有自然亲和与民族特征. 随着社会生活品质的提高和对传统建筑认识的价值回归, 人们越来越重视传统木结构建筑的保护工作^[1-3]. 木结构中的梁、枋、檩是整个木构架中的主要构件. 从力学的角度分析, 这些构件都属于受弯构件^[4]. 木材在空气中易老化, 受台风、地震、雨水、废气等影响易被破坏. 因此, 对这些古建筑进行维修加固是一件迫在眉睫的事情^[5]. 目前, 在结构加固中用得比较多的纤维增强复合材料(FRP), 主要是碳纤维(CFRP)、玻璃纤维(GFRP) 和芳纶纤维(AFRP)^[6-8]. 玄武岩纤维(BFRP) 的耐高温性、化学稳定性、耐腐蚀性、导热性、绝缘性等许多技术指标优于其他纤维, 且性价比高. 基于此, 本文对 BFRP 加固木梁的抗弯性能进行了初步试验研究和分析.

1 试验部分

1.1 试件设计

制作 6 根木梁, 其中 3 根为对比梁, 3 根为加固梁, 均为矩形截面($b \times h = 80 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$), 跨度为 2 400 mm, 净跨为 2 200 mm. 考虑木材的离散较大, D-1, D-2, D-3 均未加固, 作为对比梁; B-1, B-2, B-3 在梁底粘贴 1 层玄武岩纤维布, 作为加固梁, 延伸至距支座 10 mm 处.

1.2 材料性能

试验梁所用的木材为福建水杉, 其顺纹抗拉强度为 77. 36 MPa, 顺纹抗压强度为 36. 03 MPa, 弹性模量为 10. 820 GPa; 而粘接树脂选用日本产的小西“E2500S 型”树脂, 体积混合比为 2: 1. 加固材料性能, 如表 1 所示. 表 1 中: σ_t 为拉伸强度; σ_c 为压缩强度; E_c 为弹性模量; ε_t 为极限应变.

1.3 加载方案及测量方案

试验在华侨大学力学实验室的 200 kN 微机

表 1 加固材料的性能指标

Tab. 1 Mechanical properties of BFRP

材料	σ_t / MPa	σ_c / MPa	E_c / GPa	ε_t / %
BFRP	1 859. 1	—	97. 8	1. 9
E2500S	49. 4	93. 3	2. 7	1. 8

控制电子万能试验机上进行. 加载方式为通过分配梁两点集中加载, 在正式加载之前对试件进行预加载, 然后, 按 $3\text{ kN} \cdot \text{min}^{-1}$ 缓慢加载直至破坏.

试验测量内容包括木梁跨中位移、支座沉降, 跨中截面木纤维的应变. 在梁跨中截面沿高度均匀设置 5 个应变片, 所有测量数据均由 DH3816 型静态应变测量系统同步采集. 加载装置及测点布置, 如图 1 所示.

2 试验结果及分析

2.1 破坏形态及极限荷载

对比梁和加固梁在加载前期, 材料基本处于弹性状态. 随着荷载的增加, 跨中挠度增大. 加载过程中未出现裂缝, 支座沉降很小, 可忽略, 在木梁达到极限荷载之前, 可以听到明显的木纤维断裂声, 但表面观察不到任何开裂, 之后伴随着“啪”的一声脆响, 木梁突然断裂(同时加固梁的玄武岩纤维布受应力集中作用被分条拉断).

对比梁和加固梁均是由于受拉区缺陷处受拉木纤维达到极限拉应变而破坏, 破坏点为跨中或加载点处, 均属受弯破坏(图 2). 这是因为木材抗拉强度对缺陷处产生的应力集中比较敏感. 由于 BFRP 布的锚固长度较长, 没有出现端部剥离破坏. 所有梁的试验结果, 如表 2 所示. 表 2 中: P_1 为极限荷载. 从表 2 中可以看出, 加固梁的承载力比未加固梁均有很大程度提高. 由于选材不当, 试件 D-3, B-2 跨中含有较大木节, 材质等级很低, 实验数据相对较差, 将不再进行讨论.

表 2 试件的测试结果
Tab.2 Test results of specimens

试件	加固方式	P_1/kN	$\Delta P_1/\%$	材质等级
D-1	未加固	22.45	—	I a
D-2		22.84	—	I a
D-3		11.96	—	IVa
B-1	梁底 粘贴一层 BFRP	28.08	23.99	I a
B-2		24.48	8.09	IIIa
B-3		30.24	33.53	I a

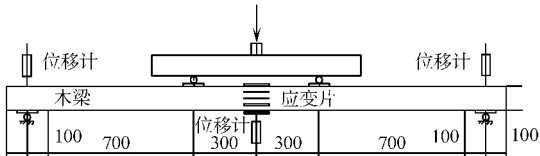


图 1 加载装置及测点布置(单位: mm)
Fig. 1 Loading setup and distribution
of measuring points(unit: mm)

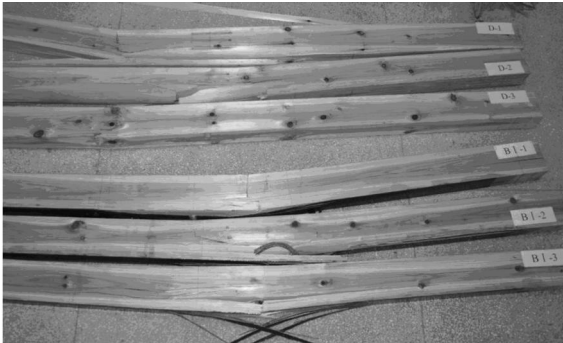


图 2 试件的破坏形态
Fig. 2 Failure modes of specimens

2.2 荷载-挠度曲线

木梁在整个加载过程中, 其荷载(P)-挠度(Δ)曲线分为线性、屈服两部分, 如图 3 所示. 加载初期, 木梁处于弹性阶段, 荷载-挠度曲线为线性; 然后, 木梁进入塑性阶段, 刚度减小, 挠度增加较快. 破坏前变形很大, 属延性破坏, 加固梁的延性要比未加固的梁好一些. 从图 3 中可明显看出, 加固梁的刚度也有很大的提高.

2.3 荷载-应变曲线

木梁跨中截面各测点的应变(ε)随荷载(P)的变化曲线, 如图 4 所示. 从图 4 中可以看出, 在整个加载过程中, 各测点的应变-荷载关系基本上是线性的; 当受压区应变达到屈服极限时, 木梁中性轴下移, 各测点的应变增长较快, 说明受压区进入塑性阶段.

2.4 平截面假定的验证

试件的跨中截面应变分布, 如图 5 所示. 从图 5 中可以看出, 在弹性阶段, 加固梁和未加固梁的应变沿高度(h)方向的分布基本符合平截面假定. 因此, 在计算和分析时可以把平截面假定作为一个基本假定. 在塑性阶段, 中性轴的位置随着荷载的增大下移, 这是因为木材的抗压屈服极限较抗拉屈服极限低很多(文中木材抗拉屈服强度是抗压屈服强度的 2 倍). 随

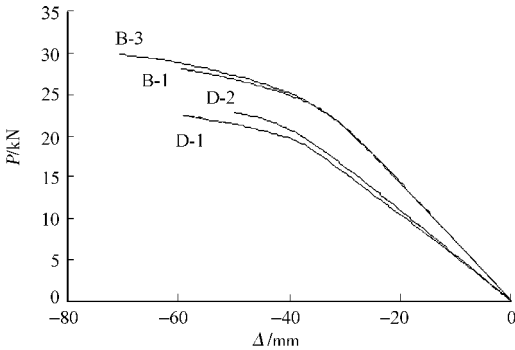


图 3 试件的荷载-挠度曲线
Fig. 3 Load-deflection curve of specimens

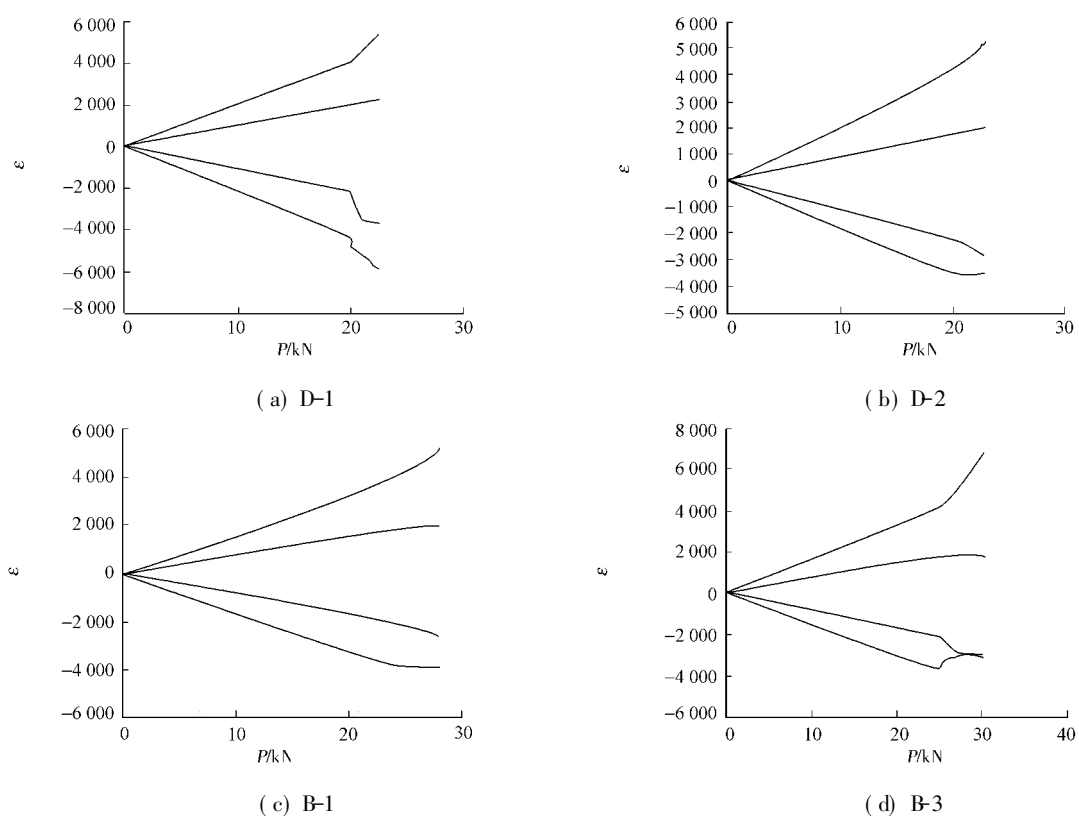


图 4 试件的荷载-应变曲线

Fig. 4 Load-strain curve of specimens

着荷载的增大, 受压区的木纤维首先进入塑性状态; 而由于截面上的总应力为 0 ($N = 0$), 随着荷载的增加, 玄武岩纤维布的贡献也越来越大, 截面拉应力总和也在增大, 为达到新的平衡, 中性轴下移.

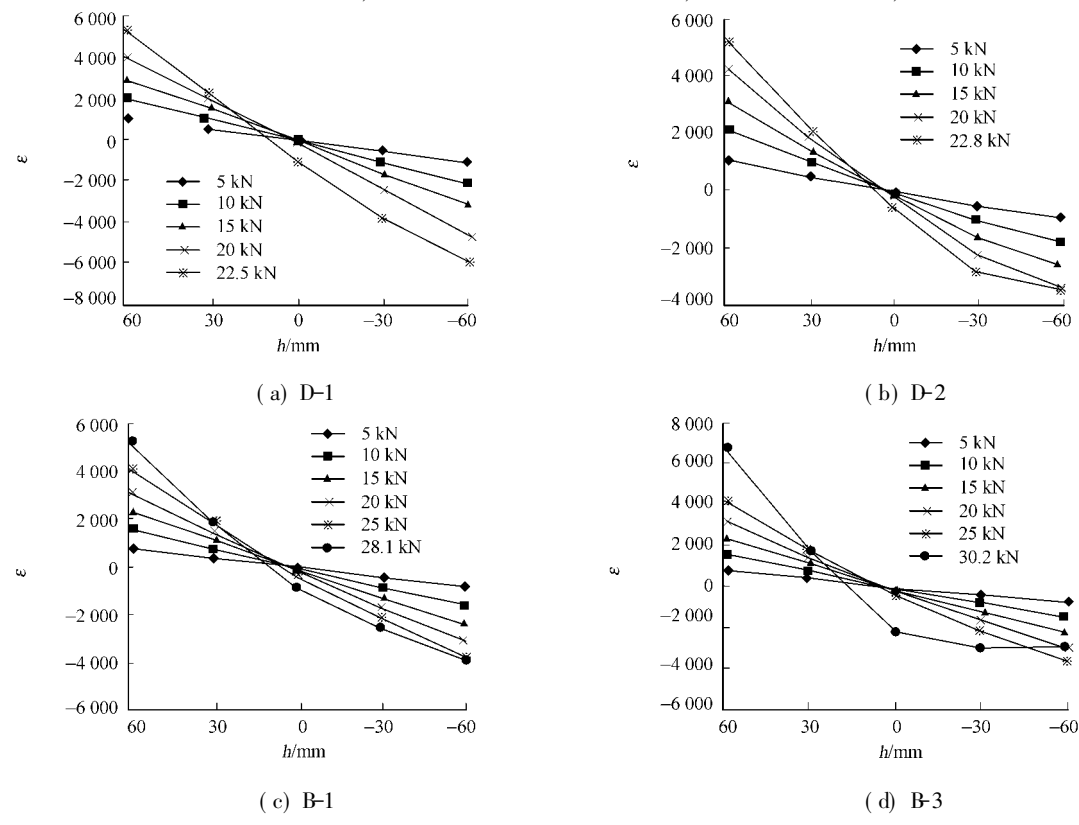


图 5 试件的跨中截面应变分布

Fig. 5 Cross section strain distribution of specimens

3 结论

通过 6 根木梁(其中 3 根为对比梁,3 根为加固梁)的破坏试验,得到如下一些 4 点结论.

(1) 梁底粘贴一层玄武岩纤维布能有效地提高木梁的极限承载能力,在文中平均提高幅度大约在 28% 左右.

(2) 由荷载-挠度曲线的斜率可以看出,粘贴玄武岩纤维布能提高木梁的刚度.通过对曲线弹性区的拟合,由曲线斜率可计算出刚度提高幅度大约在 34% 左右,效果比较明显;同时,木梁的延性也有很大提高.

(3) 加固梁和未加固梁的应变沿高度方向的分布基本符合平截面假定,因此在计算和分析时,可以把平截面假定作为一个基本假定.

(4) 梁底粘贴玄武岩纤维布同样能起到很好的抗弯加固的效果,且较梁底粘贴碳纤维布经济实惠.

参考文献:

[1] 蒋湘闽, 胡平. 碳纤维布加固木梁抗弯性能的试验研究[J]. 工业建筑, 2005, 35(8): 35-39.
[2] 许清风, 朱雷. FRP 加固木结构的研究进展 [J]. 工业建筑, 2007, 37(9): 104-108
[3] 张大照. CFRP 加固修复木柱梁性能研究[D]. 上海: 同济大学, 1998.
[4] 王增春, 何艳丽, 王溥, 等. FRP 加固木结构的应用和研究[J]. 建筑技术开发, 2004, 31(3): 13-14.
[5] 谢启芳, 赵鸿铁. 碳纤维布加固木梁抗弯性能的试验研究[J]. 工业建筑, 2007, 37(7): 104-107.
[6] 吴照华. 碳纤维布加固古建筑木梁的性能研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007
[7] 马建勋, 蒋湘闽, 胡平, 等. 碳纤维布加固木梁抗弯性能的试验研究[J]. 工业建筑, 2005, 35(8): 35-39
[8] 周钟宏. 碳纤维布加固木结构构件的性能研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2005

Experimental Investigation on Bending Behavior of Timber Beams Strengthened with BFRP Sheets

LI Fei¹, WANG Quan-feng¹,
CHEN Hao-jun², HUANG Yi-hui¹

(1. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;
2. Association of Architecture and Civil Engineering of Huaqiao University, Macao 999078, China)

Abstract: According to the static Experiments of 6 rectangular timber beams strengthened with basalt fiber reinforced polymer (BFRP) sheets, the bending Behavior is investigated, including the failure characteristic, strain on section and ultimate load carrying capacity. The experimental result indicates that BFRP strengthening increases efficiently the load carrying capacity, ductility and rigidity of timber beam. A large discreteness of result exists due to knag.

Keywords: timber beam; basalt fiber reinforced sheet; strengthening; bending behavior; ultimate load carrying capacity

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)