

文章编号: 1000-5013(2012)03-0321-04

玻璃纤维布加固木柱抗压性能试验

郑涌林, 王全凤, 黄奕辉

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 通过对 12 根圆形截面木柱的轴心抗压试验,研究木柱的抗压极限承载力、破坏形态和荷载关系,并分析玻璃纤维布(GFRP)加固设置形式、用量对提高木柱的轴心抗压承载力的影响. 试验结果表明:设置横向加固可以约束柱身的纵向开裂,同时进行纵向加固设置可以约束木柱的偏压失稳;在不同方式的 GFRP 粘贴加固下,木柱的抗压极限承载力得到了明显的提高,提高幅度介于 21%~83%之间;采用 GFRP 包裹加固,能有效约束木柱的横向变形,显著提高木柱的延性.

关键词: 玻璃纤维布; 木柱; 加固; 轴心受压; 承载力

中图分类号: TU 366.102 **文献标志码:** A

木结构在房屋建筑、桥梁等方面都有广泛的应用. 我国木结构建筑历史悠久,许多古代大型木结构已历经百年甚至千年,被视为华夏文明的重要组成部分^[1]. 随着现代社会的不断发展和社会经济实力的增强,人们越来越重视木结构建筑的保护和研究^[2]. 纤维增强复合材料(FRP)具有自重轻、强度高、耐酸性、易操作、抗腐蚀、施工条件宽等优点,木结构的极限承载力、构件变形及构件材料的耐久性能等指标在 FRP 的包裹加固下得到极大的提高^[3-5]. 从木材、纤维材料的特点和性价比等因素综合考虑,玻璃纤维布(GFRP)用于加固木柱更有优越性. 基于此,本文主要研究 GFRP 加固木柱的轴心抗压性能.

1 试验部分

1.1 试件设计及制作

试验共选用 12 根木柱进行轴心抗压试验,其中 3 根未进行加固的原木试件作对比件,9 种玻璃纤维加固形式为加固试件. 试件截面为圆形,尺寸($D\times H$)为 100 mm \times 1 000 mm. 玻璃纤维布分为纵向粘贴和横向粘贴两种方式,均为全长粘贴,玻璃纤维的搭接长度为 50 mm. 对试件作如下编号规定:未加固的对比件编为 Z 组,加固试件中 A,B,C,D 组的 GFRP 横向加固量分别为 0,1,2,3 层,加固试件字母后的数字为 GFRP 纵向加固层数.

1.2 材料性能

试件木材采用福建水杉,其材性试验参照国家标准^[6],在福建农林大学木材试验室测定. 图 1 为抗拉试样. 试件木材的主要性能指标:顺纹抗拉强度为 81.61 MPa;顺纹抗压强度为 32.76 MPa;弹性模量为 9.488 GPa.

玻璃纤维布(GFRP)由江苏南京玻璃纤维研究设计院提供,粘结树脂选用日本产小西“E2500S”型双组分环氧类粘结剂,其体积混合比为 2:1. 两种加固材料的性能,如表 1 所示. 表 1 中: σ_t 为拉伸强度; σ_s 为压缩强度; E_c 为弹性模量; ϵ_1 为极限应变.

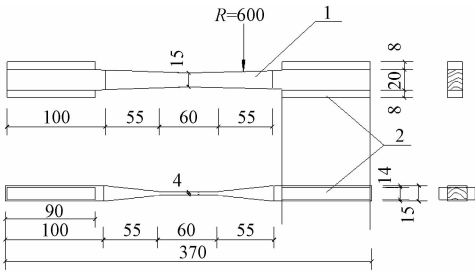


图 1 抗拉试样(单位:mm)

Fig. 1 Tensile specimen (unit:mm)

1.3 试验设备及加载制度

试验在华侨大学土木学院力学与结构实验中心的 2 MN 液压试验机上进行加载. 在试验机与试件底面接触的平台面上布置位移计, 测量试件的整体压缩变形量; 在试件 1/2 高度位置 90°角范围内, 每隔 45°各设置位移计测量试件的侧向位移量; 在试件 1/2 高度上, 每隔 90°位置贴纵向和横向应变片各一, 共 8 片, 用以量测柱中截面的轴向压应变和横向拉应变.

试件安装好后, 首先进行几何对中, 确保荷载作用线和试验试件的几何中心对齐, 以保证轴压; 然后进行预加载, 根据水平方向位移计读数, 调整试件位置. 预加载 15% 以校正试件和其他仪表设备, 待正常后卸载, 隔 5 min 后开始正式加载. 加载制度为 0.3~0.5 kN·s⁻¹, 连续匀速加载直至试件破坏, 当荷载降至 85% 后卸载. 采用 DH3816 数据采集系统进行数据采集.

2 试验结果及分析

表 2 为试件测试结果. 表 2 中: N_h 和 N_v 分别为横向加固量和纵向加固量; P_u 为极限荷载; ϵ_h, ϵ_v 分别为试件达到极限荷载时的柱中截面横向应变值和纵向应变值. 部分试件的破坏形态, 如图 2 所示.

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

试件编号	N_h	N_v	P_u/kN	ϵ_h	ϵ_v	试件编号	N_h	N_v	P_u/kN	ϵ_h	ϵ_v
Z1	0	0	221	1 028	-2 955	B1	1	1	250	1 390	-3 750
Z2	0	0	195	990	-3 244	B2	1	2	237	797	-3 641
Z3	0	0	187	947	-2 778	C0	2	0	239	1940	-6 217
A1	0	1	177	743	-2 163	C1	2	1	340	1 074	-6 908
A2	0	2	207	1 085	-3 099	C2	2	2	295	2 222	-6 460
B0	1	0	176	719	-2 526	D1	3	1	368	1 000	-7 122

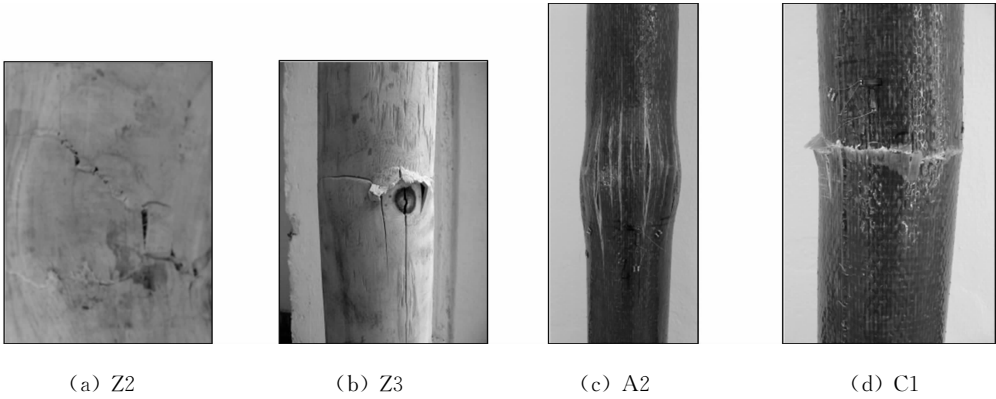


图 2 试件的破坏形态
Fig.2 Failure modes of specimens

2.1 试件的破坏情况

对比试件未进行加固, Z1 在试验中荷载达到 205 kN 的时候, 发出较小的“霹, 霹”声; 在达到极限荷载 221 kN 时, 产生较大“啪”的爆裂声音, 发生较突然, 呈典型脆性破坏特征, 破坏处有一木节, 能明显看到几条纵向裂缝. Z 组 3 个试件破坏后, 柱身均呈弯折状, Z1 和 Z3 破坏处有明显的压褶痕迹和裂缝, 呈偏压破坏形态; Z2 试件破坏处出现与水平面约成 45°的剪切面错动, 呈剪压破坏形态.

A2 试件在荷载加到 180 kN 时发出劈裂声音, 达到 207 kN 时, 木柱中部位置突然开裂破坏, 发出“咆~”的爆裂声响, 呈纵向开裂破坏; 破坏位置处有多条裂缝, 加固纤维层向外鼓出, 呈典型受压破坏形态. 如果设置横向加固, 该破坏状态应该能得到有效的约束, 从而提高承载力. B1 试件在加载的前阶段, 荷载和应变呈线性增长; 当荷载加到 228 kN 时, 达到极限承载力之前出现塑性变形, 同时出现间断的木材挤压破裂声, 最终试件在荷载为 250 kN 时, 柱身中部产生弯折破坏; 受压侧的加固纤维层被压

坏并有褶皱出现,受拉侧加固纤维层无明显变化,呈偏压破坏形态. C1 试件在荷载增加到 280 kN 时,发出“啵~吱~”交互的声音,荷载大约为 330 kN 时,明显听到木柱不断被压坏的破裂声;极限荷载达到 340 kN 时,柱身因局部受压而弯折破坏,呈偏压破坏形态. D1 试件在加载过程中无明显声响,达到极限荷载 368 kN 时,发出比较沉闷的“砰”响声,试件端部溃缩破坏,该位置的加固纤维层也被撑爆开裂.

2.2 抗压承载力分析

试验结果表明:Z,A,B,C,D 各组试件的平均抗压承载力分别为 201,192,244,291,368 kN;B,C,D 各组试件分别提高 21.39%,44.94%,83.08%. 当纵向加固同为 1 层时,试件抗压极限承载力大小为 D1>C1>B1>A1;当纵向加固同为 2 层时,试件抗压极限承载力大小为 C2>B2>A2. 根据以上分析比较,在 GFRP 纵向加固量相同的情况下,试件的抗压极限承载力随着横向加固层数的增加而提高;A 组试件承载力低于未加固的对比件,应该是由于该组试件未设置横向加固及木材的离散性引起的;B 组和 C 组试件中,横向加固量相同,设置纵向加固的试件抗压承载力均高于未设置纵向加固的试件.

2.3 荷载-应变关系分析

图 3 为各组试件的荷载-应变关系曲线. 从图 3(a)可知:Z 组试件在轴心受压状态下的荷载与应变基本成线性关系,并无明显的塑性阶段,与试验中的突然脆性破坏现象相一致.

从图 3(b)可知:A 组试件的荷载与应变关系曲线和 Z

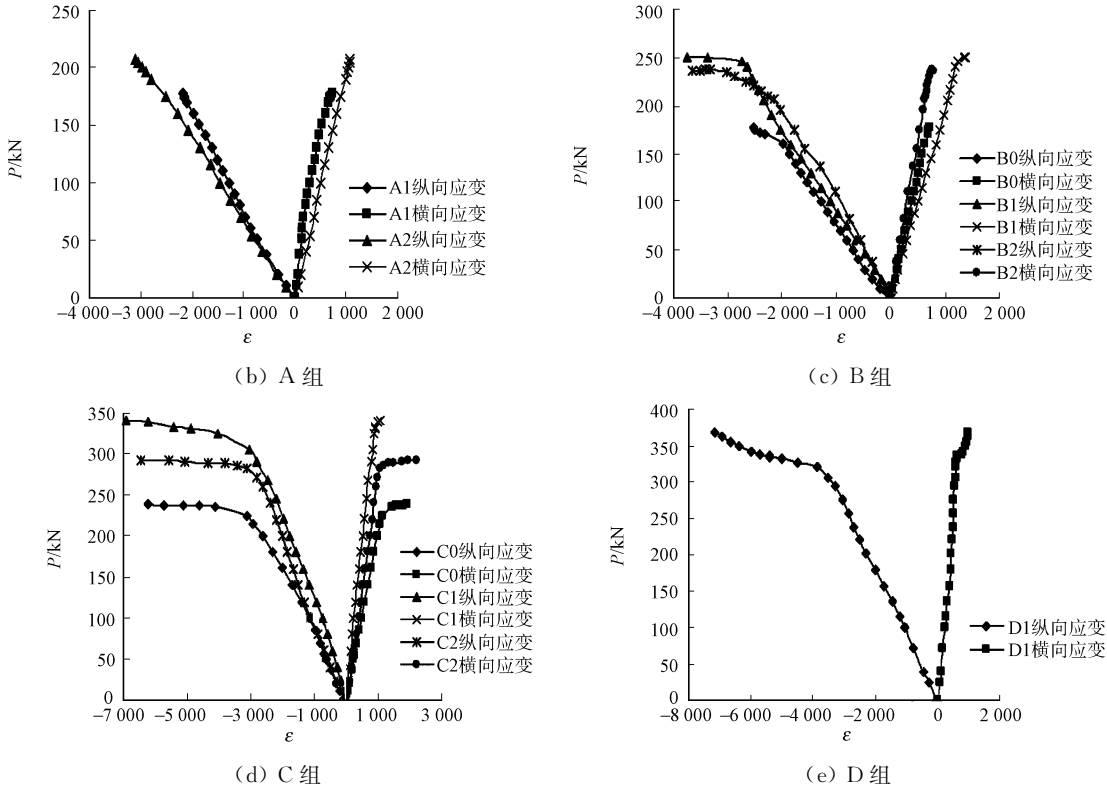


图 3 各组试件的荷载-应变曲线
Fig. 3 Load-strain curve

组试件相似,无明显的塑性阶段. 说明了该组两个试件的 FRP 加固效果收效甚微,这与其承载力与未加固对比件相比无提高的结果对应.

从图 3(c)可知:B1 和 B2 试件的曲线有明显的转折点,并具有明显的塑性流幅,尤其是纵向应变曲线更为突出;B0 试件的极限承载力较低,为 176 kN,试件经历较小的应变后就发生破坏,说明该试件的 GFRP 加固设置未充分发挥作用.

从图 3(d)可知:C 组 3 个试件的应变曲线明显分为两个部分,第 1 部分荷载和应变类似未加固试件的曲线,基本呈线性变化,然后出现明显的拐点. 进入第 2 部分,曲线趋于平缓;在荷载增幅较小的情况下,应变增幅变大.

从图 3(e)可知:曲线表现出试件的塑性变形,但该阶段的荷载仍呈较大的上升趋势. 曲线未趋于平缓即发生破坏,其原因是该试件的破坏位置出现在端部,而采集应变的柱中位置变形尚未充分发展.

通过分析可知:大多数的加固试件曲线发展可分为两个阶段,第 1 个阶段呈线性关系发展,第 2 个阶段大约从 90%极限荷载位置开始斜率下降,趋于平缓. 说明 GFRP 对木柱的约束起作用,产生塑性变形,试件的变形历程相应变长,因此应变曲线和应变轴的包围面积变大,证明了 GFRP 布加固木柱的变形能力提高了. 即 GFRP 布对核心木柱的有效约束作用,也与极限承载力提高的试验结果相一致.

3 结 论

1) 由于木材为天然材料,材质变异性较大,有缺陷处往往先发生局部压溃破坏,因薄弱位置的不确定性,GFRP 的加固应该沿柱身全长包裹.

2) GFRP 加固木柱设置横向加固可以约束柱身的纵向开裂,同时进行纵向加固设置可以约束木柱的偏压失稳.

3) 不同方式的 GFRP 粘贴加固下,木柱的抗压极限承载力得到了明显的提高,提高幅度在 21%~83%之间,GFRP 的粘贴方式和加固量是抗压承载力提高幅度的主要影响因素.

4) 未加固木柱在轴心受压状态下的荷载与应变大致成线性关系,破坏表现为脆性;而采用 GFRP 包裹加固,能有效约束木柱的横向变形,显著提高木柱的延性.

参考文献:

[1] 周海宾,费本华,任海青. 中国木结构建筑的发展历程[J]. 山西建筑,2005,31(21):10-11.
[2] 陈祖建,何晓琴. 浅谈中国传统木结构建筑的保护[J]. 福建建筑,2001(3):21-23.
[3] 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.
[4] 王鲲鹏. 碳纤维增强材料(CFRP)加固古建筑木结构试验[D]. 西安:西安建筑科技大学,2007.
[5] 李飞,王全凤,陈浩军,等. BFRP 加固木梁抗弯性能的初始试验[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2010,31(6):688-691.
[6] 国家质量技术监督局. GB 1927—1991 木材物理力学性质试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,1991.

Experimental Study on Axial Compressive Behaviors of Timber Column Strengthened with GFRP

ZHENG Yong-lin, WANG Quan-feng, HUANG Yi-hui

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Based on the axial compressive experiments of 12 circular timber columns, the bearing capacity, failure mode and load-strain relationship were study. The influence of glass fiber reinforced polymer (GFRP) strengthening modes and quantity on the bearing capacity was investigated. The experimental result indicates that transverse strengthening can confine the vertical split in timber columns, and longitudinal strengthening can confine the eccentric compression instability; in different ways of strengthening with GFRP, the ultimate bearing capacity of the timber columns are evidently enhanced by 21%~83%; GFRP wrap can evidently confine transverse deformation in timber columns, improve its ductility.

Keywords: glass fiber reinforced polymer; timber column; strengthening; axial compression; bearing capacity