

木结构民居CFRP加固分析综述

赵云龙

西南林业大学 土木工程学院 云南昆明 650224

【摘要】木结构民居承载着丰富的历史文化价值，但因长期受自然环境、使用损耗等因素影响，常面临结构性能退化问题。碳纤维增强复合材料（CFRP）凭借高强轻质、耐腐蚀、施工便捷等优势，在木结构民居加固领域应用渐广。木结构民居的常见病害及加固需求，明确加固的重要意义，通过分析CFRP加固木结构民居的研究现状，包括不同加固方式及力学性能提升效果，进一步探讨加固效果长期评估的不足，为后续开展木结构民居CFRP加固的深入研究及工程应用提供理论参考，推动该领域技术发展。

【关键词】木结构；加固；CFRP

1 背景

近年国内木结构建筑不断发展，木结构展馆、别墅、体育馆、桥梁等公共建筑的数量与日俱增。但由于木材本身存在易开裂变形等缺点，且木材强度的不稳定性高于人造材料，当老旧的木构件性能逐渐下降无法达到标准要求的荷载，通常会采用增强措施来加强木构件。除常见的金属增强件外，纤维增强复合材料FRP（Fiber Reinforced Polymer/Plastic）是世界各国木构件加固及修复研究方向的热点。

我国传统建筑文化博大精深，木结构是其主要结构形式之一，目前，我国仍存有数量庞大的木结构民居、桥梁、寺庙等建筑，是重要的历史和建筑文化遗产，如驰名中外的北京故宫和山西应县木塔等，需要长期作好保护工作。

为进一步发挥木结构整体性的优势，一二层立柱往往采用通柱，来实现建筑竖向结构整合，为通柱式崩空民居（图1）。因此，框架式崩空民居实现了水平向和竖向结构

的全面整合，是建筑井干式结构和密梁平顶式结构共同承重向框架式结构的演变的结果。因此也需要对木结构进行相应的改造和补强。经CFRP布加固后，木梁、木柱和榫卯节点的承载力与强度刚度提高，变形能力增强，取得了较好的加固效果。

2 研究目的

木材具有鲜明的特点一方面木材具有质量较轻、顺纹强度较高、环境友好等优点；另一方面木材是生物材料受潮后变形增大还会受到本身天然缺陷、菌、虫、高温、高湿以及侵蚀介质的影响导致木结构需要进行定期维护和修复。传统加固方法可能会破坏历史建筑的原有风貌因施工时间过长影响正常使用不能广泛应用于木结构的维修加固中。FRP具有强度高、质量轻、耐久性能好、宜裁减、施工方便等优点在加固工程中得到广泛的应用。

3 国内外研究现状

3.1 国外研究现状



图1 木框架通柱式民居

1992年, Plevris^[1]等率先进行了对木梁和柱的张拉面粘贴了单向碳纤维布进行抗弯性能试验。Gilfil-lan • R^[2]等进行了FRP加固矩形木梁的抗弯性能试验, 试验表明, 能够显著改善原木梁的性能增强梁的极限抗弯承载力较原木梁有很大的提高。

Trian-tafillou^[3]采用张拉纤维布在持载情况下, 将木梁受拉面粘贴到纤维布上等到粘胶建立强度后再释放从而建立预应力FRP增强木梁的思想并在实验室得以实现。试验结果表明施加预应力后构件的强度比非预应力FRP梁约提高15%, 比普通木梁约提高30%。

在FRP加固木梁的长期性能方面由于木材的弹性模量低、徐变大造成建造历史较长的木结构变形较大而且会因长期徐变导致构件破坏。

Plevris^[4]等CFRP增强的木梁进行了恒温恒湿恒载试验, 结果数据表明FRP加固木梁的徐变明显小于未增强的木梁。另外Plevris采用粘弹性模型考虑温湿效应和徐变时效特性, 建立关于时间、温度和湿度的应变函数对FRP加固木梁的徐变进行分析。Taheri^[5]进行了CFRP加固长细比为16的胶合方木柱的试验研究, 结果表明, 加固后的放木柱的承载力提高在60%左右。

3.2 国内研究现状

张大照^[6]进行了CFRP加固圆形木梁的试验研究, 研究表明用CFRP布加固圆形木梁后其受弯承载力提高40%~50%, 同时刚度和延性也得到提高。进行了CFRP加固受拉区带有明显木节木梁受弯承载力的试验研究, 研究结果表明粘贴CFRP布加固试件均发生由木节引起的脆性破坏, 破坏没有明显的征兆, 粘贴CFRP加固带木节试件的受弯承载力显著提高。

杨会峰等^[7]对FRP增强胶合木梁受弯性能进行研究, 试验结果表明, FRP增强胶合木梁相对于未增强梁受弯极限承载力和刚度均得到显著提高并基于力学模型分析提出了粘结界面粘结剪应力、截面中性轴位置、FRP板拉力、受拉层面破坏荷载和极限荷载等的计算公式。

国内外学者对FRP加固木梁抗弯性能进行一定研究, 认为现有研究主要存在以下不足: 已有的大多数的研究成果基于试验得出定性结论, 对于考虑各因素影响的FRP加固木梁的承载力计算方法研究较少, 另外对于FRP加固木梁的理

论分析与数值模拟方面有待于进一步的加强。

王鲲^[8]对CFRP加固轴心受压木柱进行了试验研究, 结果表明, CFRP可以有效的改善构件的受力状态, 提高了构件的延性和承载力。试验表明木材天然缺陷对构件的承载力影响巨大在加固修复古建筑的过程中应引起重视。周钟宏^[9]进行了CFRP加固圆木柱的试验研究加固后木柱的承载力和延性有显著提高提高幅度与CFRP的规格、层数以及方向有关并提出了木柱抗压强度的计算公式。

马建勋、周钟宏, 贾卉琳等^[10-12]对CFRP布加固木柱梁进行了试验研究, 试验结果显示采取碳纤维布加固木梁柱其承载力得到大幅度的提高变形性能得到显著的改善取得了良好的加固效果。

4 研究成果

20世纪70年代初英国皇家研究中心(RAE)用CFRP加固木材^[13], 使其极限承载力增加了267%, 这种加固技术带来的良好效果被迅速应用到高级礼堂和体育馆的屋顶改造和修复之中; 1992年瑞士研究机构对位于德国sins的一座木结构桥梁进行加固, 以提高其车辆通过能力。通过在木梁的上、下表面粘贴宽200~300mm、厚1mm的CFRP片材, 该桥梁得到了有效的加固, 使用至今效果良好

日本Hokkaido的35m跨木结构桥梁采用胶合木建成, 使用CFRP板加固后性能得到了极大的改善; 美国威期康星州的Racine是建造于1938年的一座木结构房屋, 在雪荷载作用下产生了较大的变形, 1994年采用粘贴12mm编织CFRP木构件的受拉侧, 收到了良好的效果。

国内采用FRP加固木结构的应用较少, 同济大学预应力研究所和上海同吉预应力工程有限公司于2000年采用CFRP片材加固上海财经大学24m跨的木结构, 加固后的木结构保留其原有风格, 并达到符合要求的承载力、刚度等性能指标; 南通天宁寺采用CFRP缠绕进行腐朽木柱加固; 北京天安门城楼及应县木塔的加固改造中也采用了FRP材料, 减少了拆除原来构件所需费用, 施工方便, 同样取得了较好的效果^[14]。

5 总结

国内外的学者已经对FRP加固木结构进行了一定的实践和探索, 已经取得一定的成果。但FRP加固木结构的研究仍处于起步阶段, FRP加固木结构的研究仍有很多方面需要进

一步的研究具体有以下几个方面:

(1) FRP加固木结构技术规程和规范的制定,FRP加固木结构计算软件的研制与开发。

(2) 对FRP加固木结构构件(梁、柱、节点)进行进一步的试验研究以其为规范制定提供有益的参考。

(3) 加强FRP加固木结构体系整体抗震性能的研究以及在大气环境及腐蚀环境下的耐久性能的研究。

(4) 对FRP加固混凝土结构的长期性能(疲劳和徐变等)以及耐火性能进行研究。

参考文献:

[1] Plevris N, Triantafillou T. CFRP-reinforced wood as structural material [J]. Journal of Material in Civil Engineering, 1992, 4(3): 300-317.

[2] Gilfillan R, Gilbert S, Patrick G. The improved performance of home-grown timber glulam beams using fiber reinforcement [J]. Journal of the Institute of Wood Science, 2001, 15(6): 307-317.

[3] Triantafillou T C, Deskovic N. Innovative prestressing with FRP sheets [J]. Journal of Materials, 1991, 117(7): 1652-1672.

[4] Plevris N, Triantafillou T C. Creep behavior of FRP-reinforced wood members [J]. Journal of Structural Engineering, 1995, 121(2): 174-186.

[5] Taheri F, Nagaraj M, Cheraghi N. FRP-reinforced glulam columns [J]. FRP International, 2005, 2(3): 10-12.

[6] 张大照. CFRP布加固修复木柱梁性能研究[D]. 上海: 同济大学, 2003.

[7] 杨会峰, 刘伟庆. FRP增强胶合木梁的受弯性能研究[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(1): 64-71.

[8] 王鲲. 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.

[9] 周钟宏, 刘伟庆. 碳纤维布加固木柱的轴心受压试验研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2006, 28(3): 44-48.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 贾卉琳, 张敏, 吴刚, 等. FRP片材加固木圆柱的试验研究[C]//中国土木工程学会混凝土与预应力混凝土分会FRP及工程应用专业委员会. FRP与结构补强——'05全国FRP与结构加固学术会议论文精选. 东南大学土木工程学院; 北京特希达科技集团南京研发中心; 东南大学土木工程学院; 东南大学土木工程学院; , 2005: 6.

[13] 王茂章, 贺福. 碳纤维的制造、性质及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 250-270.

[14] 王增春, 何艳丽, 王薄. FRP加固木结构的应用和研究[J]. 建筑技术开发, 2004, 31(3): 13-14.

作者简介:

赵云龙(2000.8-), 男, 汉族, 云南曲靖人, 西南林业大学土木工程学院, 2023级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 木结构加固分析。