

学生视角下的传统木结构竹粉胶合大创实践

苏杰 张洋 肖宗豪 李里 杨洁 周鹏飞 蘧伊冉 陈伟*

云南农业大学建筑工程学院, 云南昆明 650201

摘要:大学生创新创业训练计划是促进学生知行合一、锤炼创新与实践能力的重要平台。传统木结构常面临腐朽、虫蛀、力学性能衰减等难题,而竹粉作为绿色、低成本的生物质材料,在木结构胶合加固领域具备广阔应用前景。本项目以传统木结构竹粉胶合加固小型化试验为核心,通过文献梳理、试件制备、力学性能测试、专用施胶装置研制及专利申请,对比分析不同竹粉目数、连接形式与有无竹粉工况下的胶合效果。试验显示,竹粉能降低数据离散性、提升构件承载力与稳定性;同目数下角接性能优于平接,细目数竹粉可增强平接稳定性。自研装置解决施胶不均、数据波动问题,研究验证了该加固技术的有效性,为传统木结构低碳修缮提供参考,也为同类本科科创项目提供示范。

关键词:传统木结构;竹粉胶合;施胶装置;专利申请;离散性分析

DOI: 10.64649/yh.jydk.issn3080-2660.202605033

0 引言

传统木结构是我国传统建筑文化的重要物质载体^[1],具有低碳环保、抗震性能优良等突出优点。然而,长期服役的传统木结构极易发生腐朽、虫蛀、力学性能退化等问题,其安全性与耐久性常受到威胁^{[4][5][7]}。竹粉是一种来源广泛、成本低廉、可循环利用的生物质材料,且具有良好的胶合性能。因此,利用竹粉对传统木结构进行加固,既是对生物质资源的有效利用,也有利于改善结构受力性能,是绿色建筑与循环经济理念的有效结合。

本团队以大学生创新创业训练计划项目为平台,开展了“传统木结构竹粉胶合加固小型化试验”。研究针对小型构件试验中遇到的工艺参数优化、施胶工具适配等关键问题,自主设计并开发了一种专用竹粉胶合枪,并以此为基础完成发明专利的申报,达成项目结题目标。本文旨在对项目实践的全过程进行系统梳理与总结,以期为本科生的创新实践活动提供参考。

1 项目实施流程

项目遵循“文献调研—方案设计—试验验证—工具优化—成果转化”的技术路径,整体实施过程为以下四个主要阶段。

1.1 文献调研与课题确定

项目初期,团队成员利用学校图书馆的学术数据库(如CNKI等),对木结构加固技术及竹粉胶合材料的现有研究进行了系统梳理^[3]。通过文献综述,明确了两个关键问题:一是针对传统木结构的小型化竹粉胶合加固试验研究尚不充分,相关工艺参数缺乏优化数据;二是现有通用的施胶工具在应用于竹粉胶黏剂时,难以实现胶量的精确控制与涂布的均匀性。基

于此,本项目确定了“传统木结构竹粉胶合加固小型化试验”的课题名称,并明确将“竹粉胶合工艺参数优化”与“专用施胶工具研发”作为两大核心任务。

1.2 试验实施与工具开发

在初步试验中,团队发现使用市面上通用的胶枪或刮刀进行竹粉胶黏剂的涂布,存在出胶不均、用量难以精确控制的问题,导致试验数据离散性大,重复性差。为解决这一技术难题,团队决定自主设计一款专用竹粉胶合枪。

设计开发过程中,首要面临的是三维建模软件的学习与应用,团队成员均无SolidWorks软件使用经验^[6],面对其复杂的特征建模和装配体功能,初期进展缓慢。通过观看线上教程,并利用课余时间学习,逐步掌握软件的运用。在建模过程中,曾多次因尺寸约束冲突、特征生成失败而停滞,通过团队集体讨论和向指导老师请教,逐一解决了这些问题。

在结构设计上,综合考虑了机械原理等知识。最初的几版设计方案,在推杆省力机构、储胶腔密封性、出胶口尺寸等方面均存在不足。针对这些问题,查阅了机械设计手册,并参考了现有流体输送装置的设计,经过四轮主要迭代,最终确定了以螺旋推进为核心、配合可换式喷嘴和精密调节阀的设计方案。该方案能较好地实现竹粉胶黏剂的定量、匀速挤出,满足了试验对施胶工艺一致性的高要求。在完成设计后,团队成员系统梳理了该胶合枪在解决竹粉胶合施工难题方面的创新性与实用性,并以此为基础撰写了发明专利申请书,完成对知识产权的保护^[2]。

1.3 竹粉胶合工艺优化实验

本阶段是项目的核心验证环节,旨在系统探索竹粉胶合加固的最佳工艺参数。试验以竹

片为对象，设计平接与角接两种标准化连接形式，对比不同目数竹粉对胶合抗拉性能的影响。胶黏剂采用不同目数（160目、200目、240目）的竹粉与 α -氰基丙烯酸乙酯（502胶）按等量比例混合配制，控制竹粉与胶液总质量一致，保证试验变量仅为竹粉目数与连接形式。

试验过程中，竹粉的吸湿性对施胶均匀性与胶层稳定性影响显著^[3]。针对平接与角接分别制定统一施胶手法与用量标准，保证胶层均匀、密实、连续。为准确评价胶合性能，对各组试件进行抗拉强度测试，每组设置3个平行试件，控制固化时间等条件一致。各组试件抗拉强度测试结果如下所示。

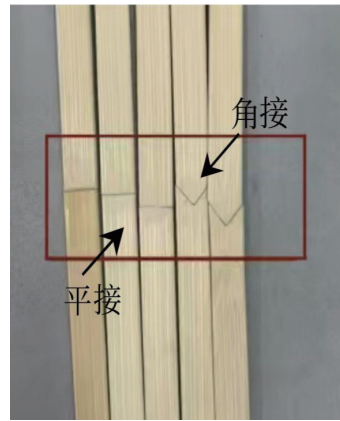


图1平接与角接



图2拉伸试验

表1测试结果 (单位: GPa)

组别	工况说明	测试1	测试2	测试3	平均值	极差	标准差	变异系数
1	无竹粉平接	0.900	0.526	1.050	0.825	0.524	0.2699	0.3271
2	无竹粉角接	1.157	0.927	0.941	1.008	0.230	0.1289	0.1279
3	160目竹粉平接	0.822	1.526	1.100	1.149	0.704	0.3546	0.3086
4	160目竹粉角接	1.550	1.559	1.546	1.552	0.013	0.0054	0.0035
5	200目竹粉平接	0.911	0.993	1.094	1.000	0.183	0.0917	0.0917
6	200目竹粉角接	1.282	1.170	1.399	1.284	0.229	0.1145	0.0892
7	240目竹粉平接	1.026	1.000	1.098	1.041	0.098	0.0508	0.0488
8	240目竹粉角接	1.632	1.310	1.512	1.485	0.322	0.1627	0.1096

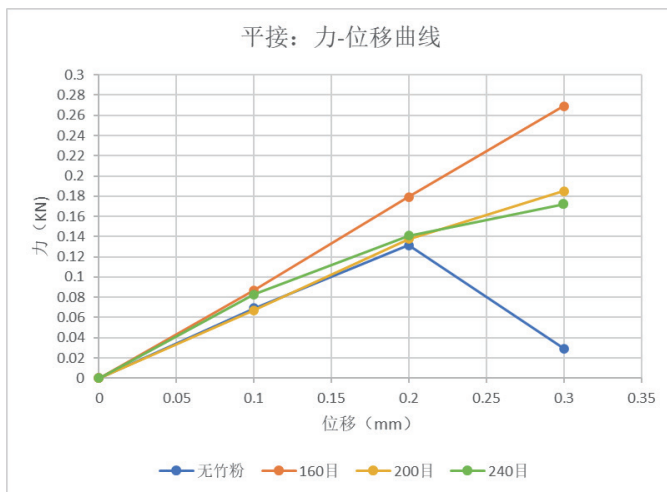


图3平接: 力-位移曲线

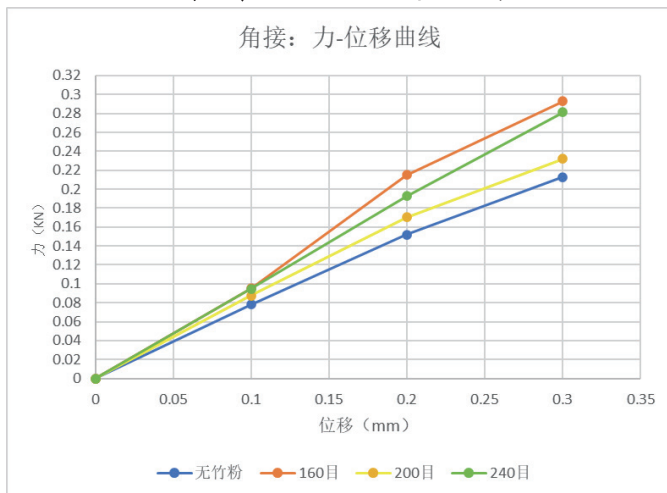


图4角接: 力-位移曲线

通过表1离散性分析、力-位移曲线研究

及有无竹粉组对比，得出以下结论：

(1) 固定平接形式，随竹粉目数增大（160目→200目→240目），试件离散性逐步降低（160目变异系数0.3086，240目降至0.0488），力-位移曲线更平稳，细竹粉可有效改善试件内部均一性；与无竹粉平接（变异系数0.3271）相比，掺竹粉后平接离散性显著改善、承载力提升，曲线失稳现象明显缓解。

(2) 固定角接形式，160目角接离散性最低（变异系数0.0035），力-位移曲线线性度最优；200目、240目角接离散性略有上升但可控，整体稳定性优异；相较于无竹粉角接（变异系数0.1279），掺竹粉后角接离散性降低、承载性能更优。

(3) 固定竹粉目数，同一目数下角接的离散性与受力稳定性普遍优于平接，竹粉目数越粗，二者差距越大，240目细竹粉可大幅缩小该差距；有无竹粉对比可见，无论平接还是角接，掺入竹粉均能降低离散性、提升试件均匀性与承载力，竹粉掺入具有显著可取性。

(4) 无竹粉平接离散性最大（变异系数0.3271），力-位移曲线失稳最明显，竹粉的掺入具有可行性。

综上，竹粉掺量与连接形式显著影响试件性能，角接优于平接，细竹粉可改善平接稳定性；竹粉能优化试件性能、实用性强，160目竹粉角接最优，性能佳、数据可靠。

1.4 数据整理与项目结题

试验完成后,团队整理分析全部数据,图表对比加固效果,验证了胶合枪提升试验一致性与数据可靠性的作用;依据报告、设计文档及专利受理通知撰写结题报告,项目顺利通过校级验收,完成全部预设目标。

2 项目实施中的困难及其成因

2.1 技术层面: SolidWorks 建模操作障碍

在 SolidWorks 三维建模阶段,由于零基础起步,团队成员在面对复杂的装配体约束和特征生成时遇到了巨大障碍,导致建模工作一度进展缓慢。在试验阶段,初期对竹粉胶黏剂的流变特性认识不足,以及手动施胶的不稳定性,导致试验数据波动大,难以得出有效结论。

参考文献:

- [1] 刘玥彤.传统古建筑木结构修缮加固设计研究——以嘉祥寺为例[J].文物鉴定与鉴赏,2026,(01):27-30.DOI:10.20005/j.cnki.issn.1674-8697.2026.01.007.
- [2] 周颖,苏文涛.专利申请日后补充实验数据采集标准研究[J].中阿科技论坛(中英文),2026,(02):87-92.
- [3] 肖嘉豪,潘健强,初明霏,等.竹粉/木质素改性环氧树脂复合材料制备及性能[J].热固性树脂,2025,40(05):50-54.DOI:10.13650/j.cnki.rgxs.2025.05.010.
- [4] 王海丹,张凯.传统木结构古建筑修复中的技术难题及创新[J].环球人文地理,2025,(18):147-149.
- [5] 唐蕾涵.两层传统木结构房屋抗震性能分析及性能修复措施研究[D].重庆大学,2024.
- [6] 北京兆迪科技有限公司.SolidWorks 高级应用教程[M].机械工业出版社:202107:317.
- [7] 传统木结构榫卯节点耗能加固技术.江苏省,南京工业大学,2018-01-01.

作者简介: 苏杰(2003.01—),男,汉族,云南巍山人,本科在读,研究方向:结构工程。

通讯作者: 陈伟(1988.01—),男,汉族,云南昆明人,博士,高工,研究方向:防灾减灾与防护工程。

项目信息: 云南农业大学2024年大学生创新创业训练计划项目—校级立项(项目编号: XJ2024043);云南农业大学2024年大学生创新创业训练计划项目—省级立项(项目编号: S202410676034)。

2.2 主观层面: 知识储备不足与钻研意识薄弱

胶合枪的设计需要综合运用机械原理、力学等专业知识,而团队成员在这方面的知识储备相对薄弱。在遇到设计困难时,出现畏难情绪,主动查阅资料、深入钻研和向导师求教的意识不够强烈。成因分析:本科阶段的知识体系尚在构建中,面对跨学科的综合设计任务时,未能及时将多门课程知识进行有效联合应用。

3 结论与展望

综上,竹粉掺配可优化木结构胶合性能,160目竹粉角接为最优工况。项目从文献调研、软件自学、装置研制到试验落地,完整走完科研实践全流程,有效锤炼了学生跨学科融合、攻坚克难与协作创新的综合素养;该大创实践模式为本科实践教学改革提供了可复制范本,助力构建“理论筑基—实践赋能—创新落地”的育人路径,着力培养高质量复合型本科人才。