

doi:10.3969/j.issn.1001-3776.2017.04.018

建筑结构用重组竹材重要性能研究现状及发展趋势

范慧^{1,2}, 张建², 鲍建华³, 袁少飞², 王洪艳², 李琴²

(1. 浙江农林大学, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省林业科学研究院 浙江省竹类研究重点实验室, 浙江 杭州 310023;
3. 浙江天振竹木开发有限公司, 浙江 安吉 313300)

摘要: 重组竹是种不可多得的绿色建筑结构用材和替代木材的生物质材料。综述了建筑结构用重组竹材的研究进展, 详细阐述了重组竹材的力学、防腐防霉、耐老化、阻燃等性能及其主要检测方法, 分析了当前结构用重组竹材产业存在生产企业少、制造工艺、产品安全性能等缺乏系统研究等问题。提出对重组竹材进行基础研究、开发更多应用领域的产品、完善相关标准、加大推广力度等建议。

关键词: 重组竹材; 结构; 力学性能; 防腐防霉; 耐老化性能; 阻燃性能

中图分类号: S795.9; TS653 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776 (2017) 04-0100-07

Current Situation and Trend of Researches on Properties of Bamboo Scrimber for Architectural Structure

FAN Hui^{1,2}, ZHANG Jian², BAO Jian-hua³, YUAN Shao-fei², WANG Hong-yan², LI Qin²

(1. Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, China; 2. Key Lab of Bamboo Research of Zhejiang, Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China; 3. Zhejiang Tianzhen Bamboo and Wood Development Co., Ltd., Anji 313300, China)

Abstract: Bamboo scrimber is a kind of biologic material for replacing wood to be used as architecture structure. Reviews were made on research progress of bamboo scrimber in recent years. Description was given on its properties such as mechanical, anticorrosion and mildew proof, ageing resistant and fire-retardant and their test methods. Problems namely fewer producers, lack of systematic researches on manufacturing technology, safety performance of final product were analyzed. Suggestions for a healthy and sustainable development were put forwarded like fundamental study on bamboo scrimber, more products available, relative standards performed and more extension.

Key words: bamboo scrimber; structure; mechanical property; anticorrosion and mildew proof; aging resistant; fire-retardant

传统建筑大部分采用钢材、水泥等材料, 无法循环利用且难以降解, 易造成环境污染。《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006-2020年)》中已明确把绿色建筑、节能降耗和开发利用农林生物质资源列为重点领域和优先主题。竹材木材是典型的绿色低碳环保建筑材料, 易降解且可循环利用。竹结构在设计与建筑中有较好的灵活性、抗震性能, 其性能甚至超过木结构; 竹质工程材料不仅符合当代建筑工程需求, 还适宜规模化推广发展^[1-2]。重组竹材主要用于梁、柱、室内外墙板及屋面板^[3]。本文对我国建筑结构用重组竹材研究现状、重要性能及检测方法进行归纳分析, 旨在为结构用重组竹材产业发展以及相关检测方法的制定提供参考。

收稿日期: 2017-03-04; 修回日期: 2017-06-19

基金项目: 浙江省林业厅省院合作重大林业科技项目“重组竹材自动化连续生产线关键设备研制与应用”(2017SY11); 浙江省科技厅科研院所专项项目“竹质结构材安全性能研究及其在建筑工程中的应用”(2015F50051)

作者简介: 范慧, 在读硕士研究生, 从事竹木材加工研究; E-mail: 360526425@qq.com。通信作者: 张建, 研究员、博士, 从事竹木材加工研究; E-mail: zhjianzj@126.com。

1 建筑结构用重组竹材研究现状

重组竹材是我国最先自主研发、拥有自主知识产权并形成了产业化的一个主要竹材产品^[4],其原料主要是资源丰富且生长周期短的竹材。重组竹材具有竹材利用率高、力学性能优良、价格低廉等优点,可满足公众休闲场所及高级住宅区等对户外建材及用品的需求^[5],是一种不可多得的绿色建筑用材和替代木材的生物质材料。和天然木材及传统人造板相比,重组竹材具有更优异的硬度、强度、耐水性和耐久性^[6-7]。传统重组竹材基本用于生产竹地板,但因其具有优异的力学性能,众多学者对其应用于建筑领域开展了研究,并逐渐用作建筑的柱、梁、桁架等结构部件。重组竹材向建筑结构和室外发展的最大受限因素是耐候性。耐候性是指材料在使用过程中抵抗干湿、冷热、霜冻、雨雪和紫外线辐射等外界自然条件的能力,所以有时又统称为耐老化性。近年来随着竹材防腐、防霉和热处理等技术的发展,突破了这些技术瓶颈,为重组竹材用于建筑结构夯实了基础^[8-10]。重组竹材用于建筑结构受力及抗震等性能,主要分为基础、框架柱、框架梁、结构板、结构墙等部分^[11]。张齐生^[12]指出重组竹材具有强度大、韧性好、耐磨损、纹理通直、色泽高雅等优点,适宜作为结构材料和装饰材料。于文吉等^[13]在竹材不去竹青竹黄的条件开发出高性能竹基纤维复合材料,将竹材利用率提高到90%以上。余养伦等^[14]制造出可用于建筑梁柱及建筑撑木用的竹基纤维复合材料。

2 建筑结构用重组竹材重要性能

建筑结构用材料在性能上有着特殊的要求。目前,建筑结构用竹木产品重要性能有力学、耐老化、防腐防霉、阻燃等性能^[15-16],具体指标主要有尺寸变化率、内结合强度、胶合强度、静曲强度、弹性模量、浸渍剥离、防腐等级、防霉效力等^[17]。影响竹木质材料用于结构的主要因素,一是材料所用胶粘剂耐水、耐热等性能;二是组成单元材料的化学组成、纤维形态;三是材料使用时所处的温度、湿度等环境条件^[18-19]。对于重组竹材来说,根据其用于建筑结构的部位,其重要性能主要有力学性能、防腐防霉性能、耐老化性能等。近年来,有关学者对重组竹材结构力学特性、防腐防霉、耐老化等性能开展了试验研究。

2.1 力学性能

魏洋等^[1]对竹帘胶合板、竹材层积材和重组竹3种竹质工程材料比较后发现重组竹力学性能稳定、离散性小、强度高,适宜制作承重构件结构柱。于文吉等^[20]试验发现重组竹材密度与静曲强度成线性关系,竹青对内结合强度影响很大,但对弹性模量影响不明显。肖忠平等^[21]检测碳化重组竹力学性能后发现其抗压强度、抗弯强度、抗拉强度等都高于一般的木质材料。李霞镇等^[22]研究发现以毛竹 *Phyllostachys heterocycla* 'Pubescens' 为原料的重组竹材的顺纹抗拉强度、顺纹抗压强度、顺纹剪切强度、横纹局部和横纹全部抗压强度等物理力学性能均一稳定且远高于普通木材,完全满足建筑结构用材的力学强度要求。吕清芳等^[23]对重组竹材制造的结构用柱构件进行了足尺试验,发现其具有优异的弹性恢复能力。于子绚等^[24]通过落锤冲击试验后证明高密度重组竹材的耐冲击性能优异。张俊珍等^[25]对以慈竹 *Neosinocalamus affinis* 为原料制作的重组竹材与落叶松 *Larix gmelinii* 等6种木材进行了力学性能对比研究,结果表明重组竹材各个方向的强度值均比6种木材高,且稳定性好,顺纹和横纹(弦向)的抗变形能力差别小,横纹抗压表现出较好的延性,是一种塑性破坏。马欣欣等^[26]对竹材和竹质工程材料通过Burger模型进行蠕变测试后发现,在不同时间段、不同竹质材料拟合效果都有所不同,对结构用重组竹材受力后的长期蠕变预测提供了技术支持。李霞镇等^[27]验证了电测法在重组竹弹性常数测定中的适用性,在对比重组竹和几种木材的弹性常数后,发现重组竹弹性常数比普通木材的弹性常数大,其弹性常数满足正交各向异性模型的限制条件。盛宝璐等^[28]试验后发现在重组竹材的承载范围内,应力-应变关系呈完全线性特征,达到比例极限后,表现出非线性特征;重组竹材顺纹抗拉和抗压弹性模量相差不大,但顺纹抗拉强度是横纹抗压强度的近2倍;顺纹抗剪强度大大低于横纹抗剪强度,但两者的剪切弹性模量相差不大。张苏俊等^[29]对重组竹材制作的方形柱进行受压试验,证明重组竹材弹性较好,其稳定承载力可采用材料力学基本

公式进行计算。张秀华等^[30-31]利用木结构设计计算方法进行楠木 *Phoebe zhennan* 重组竹材力学特性研究, 试验发现重组竹材抗压试件破坏需经过三个阶段, 得到抗拉和抗压强度计算方法, 为楠木材结构设计、试验研究提供了理论基础。刘方舟等^[32]对重组竹材和木材的顺纹抗拉强度试验后发现, 重组竹材的抗拉强度远远大于东北落叶松, 而且重组竹材材质均匀, 具有较好的稳定性, 其顺纹抗拉强度和弹性模量之间的离散性更小。陈国等^[33]对 5 m 和 6 m 大跨度房屋结构用竹质屋架进行了检验性试验和破坏性试验, 结果显示竹结构屋架比木结构屋架具有较大的强度储备和更高的承载力及刚度。

2.2 防腐防霉性能

竹材含有淀粉、糖类等营养物质, 在加工、运输和使用过程中易发生腐朽、霉变和虫蛀, 造成硬度、强度、可使用性等降低甚至消失^[7-34], 研究发现引起竹材霉变腐朽的真菌有 50 多种^[35-36], 因此重组竹材的防腐防霉性能也是其用于建筑结构的重要性能之一。科研人员通过借鉴木材防腐防霉处理方法, 对重组竹材防腐防霉性能做了众多研究。魏万妹等^[37]、侯瑞光等^[38]等研究发现竹材经高温炭化处理, 使用酚醛树脂压制的重组竹材具有较好的防腐效果。张宏等^[6]进行了同等浓度不同药剂及处理方式对重组竹材的霉腐防治效力试验, 结果表明重组竹材进行防腐处理的效果优于对其制造单元进行防腐处理, 筛选出 2 种适宜重组竹材的防霉剂。覃道春等^[39]选择 7 种常见防霉剂制备防霉重组竹材, 发现防腐处理后的重组竹材经水洗后, 防霉性能均有不同程度降低, 筛选出适用于户外重组竹材的防霉剂。张晓春等^[40]开展了重组竹材模拟室外霉变试验, 结果表明重组竹材吸药量随防霉剂浓度的增加而增大, 重组竹材浸渍水性防霉剂后, 再在其表面均匀涂刷油性防霉剂或保护剂, 防腐效果最好。张建等^[41]采用 5 种防腐防霉剂对炭化重组竹材进行抑菌效果试验, 发现 5 种防腐防霉剂均具有较好的抑菌效果, 不同防腐防霉剂抑菌效果有所差异, 同时发现未防腐防霉处理的炭化重组竹材也具有较好的耐腐能力, 达到 I 级强耐腐, 但其防霉性能差。赵鹤^[42]采用 5 种水溶性防腐剂压制重组竹材, 筛选出适合于户外重组竹材使用的防腐剂, 并通过碾压竹束防腐处理工艺和重组竹材生产工艺的优化研究, 开发出性能优异的户外家具用防腐重组竹材。

2.3 耐老化性能

建筑结构用重组竹材在使用过程中, 特别是用于户外时, 随着温度、湿度、光照等环境条件的变化以及时间的推移, 会使重组竹材性能不同程度受到影响, 严重的会造成重组竹材力学性能受损或降低, 影响其安全性和正常使用。耐老化性能(也称耐久性能)是衡量用于建筑和户外重组竹材的安全性的又一个重要指标, 但目前国内外还没有针对重组竹材的耐老化性能的检测方法。目前, 主要参照国内外一些常用的加速老化试验方法对重组竹材进行加速老化处理, 分析其处理前后的力学性能变化情况, 从而评价重组竹材的耐老化性能。黄小真^[43-44]采用 ASTM D1037, BS EN1087-1, European AFNOR V313 三种人工加速老化方法对户外重组竹材耐老化性能进行研究, 分析了加速老化前后的力学性能变化情况, 并进行了耐腐性能试验。

2.4 阻燃性能

重组竹材用于建筑结构时, 其阻燃性能也是要考量的重要指标之一。目前, 只开展了一些对其他竹质板材阻燃性能的研究, 而对于重组竹材阻燃性能的研究较少。周泉等^[45]对以竹胶合板为材料制造的装配式竹结构房屋进行了受火试验, 结果证明竹结构墙体具有较好的隔热阻燃功能, 装配式竹结构房屋比轻钢活动板房具有更好的安全性和抗火性。肖岩等^[46]对以竹胶合板为材料制造的竹结构轻型框架房屋安全性能进行了火灾模拟试验, 表明竹结构房屋具有良好的火灾安全性能, 耐火时间可达 1 h 以上。杜春贵等^[47]通过对竹束进行阻燃浸渍处理来制取阻燃重组竹材, 试验证明阻燃处理后, 重组竹材含水率、吸水厚度膨胀率、内结合强度和静曲强度等性能都有所降低。对建筑用炭化重组竹材进行阻燃性能检测, 结果显示炭化重组竹材阻燃性能可达难燃 B1 级。

3 建筑结构用重组竹材重要性能检测方法

重组竹材性能主要参照木质人造板相关检测方法进行检测。重组竹材由于其加工原料单元的特殊性, 使得其产品的力学性能与普通的竹材或木材人造板有很大差异, 特别是重组竹材在室外和建筑等应用领域的不断拓

展, 现有的检测方法已不能适应其性能检测。目前, 建筑结构用重组竹材重要性能主要参照 ISO、英国、美国和中国的一些标准对其力学、防腐防霉、耐老化能和阻燃等性能进行检测, 参照标准不同, 测试的具体指标和所用检测方法也有所不同。

3.1 力学性能检测方法

重组竹材力学性能最初主要参照 GB/T 17657 中有关方法测试, 主要检测静曲强度、弹性模量、胶合强度、胶层剪切强度、浸渍剥离、握螺钉力、冲击韧性等力学性能^[48]。林业行业标准 LY/T 1573-2000《竹地板》在 2006 年升级为国家标准 GB/T 20240-2006《竹地板》, 但该标准主要适用于以竹片为主要原料加工而成的竹地板, 主要测试静曲强度、浸渍剥离、表面抗冲击等性能^[49]。于文吉^[50]在对毛竹、淡竹 *Phyllostachys glauca*, 刚竹 *Ph. sulphurea* ‘Viridis’, 绿竹 *Dendrocalamopsis oldhami* 等多个竹种的重组竹材胶合进行系统试验后, 2008 年牵头制定重组竹地板国家标准, 2013 年 GB/T 30364-2013《重组竹地板》国家标准正式颁布, 为重组竹材的开发以及产品检测提供了依据。该标准将重组竹地板分为室内用和室外用两种, 并对室外用重组竹地板在吸水宽度(厚度)膨胀率、水平剪切强度、表面耐水蒸汽性能等方面提出了较高要求^[51]。建筑结构用重组竹材的力学安全性能尤为关键, 目前主要参照木结构的有关标准。GB 50206-2012《木结构工程施工质量验收规范》主要对方木、原木、胶合木及轻型木结构等用于建筑结构的施工质量中的木材强度、板材质量、钉弯曲试验、受弯木构件力学性能等进行了明确要求^[52]; GB/T 50329-2012《木结构试验方法标准》主要明确了梁弯曲、轴心压杆、偏心压杆、横纹承压比例极限、胶粘能力、胶合指形连接、桁架等试验测定方法^[53]。GB/T 21128-2007《结构用竹木复合板》明确了适宜制作承载构件的竹木复合板在弹性模量、静曲强度、水平剪切强度、浸渍剥离、集中静载与冲击荷载、均布荷载等力学性能指标要求及测试方法^[54]。林业行业标准 LY/T 1975-2011《木材和工程复合木材的持续负载和蠕变影响评定》主要规定了检验和评价持续负载和蠕变对木材和工程复合材料影响的方法^[55]。

3.2 防腐防霉性能检测方法

重组竹材防腐防霉性能检测主要参考木材的防腐防霉检测方法^[6]。《重组竹地板》中对室外用重组竹地板防腐防变色性能以及防腐性能进行了明确的要求, 其中防腐菌性能被害值至少为 1, 防变色菌能力至少为 2, 防腐性能要达到 1 级^[51]。2009 年修订的 GB/T 13942.1《木材耐久性能 第 1 部分: 天然耐腐性实验室试验方法》是在实验室条件下测试木材抵抗木腐菌浸染能力, 根据质量损失情况分为不耐腐、稍耐腐、耐腐和强耐腐 4 个等级^[56]。GB/T 13942.2-2009《木材耐久性能 第 2 部分: 天然耐久性野外试验方法》主要是对木材在野外暴露条件下抗微生物破坏或白蚁蛀蚀的性能, 并分为不耐久、稍耐久、耐久和强耐久共 4 个等级^[57]。LY/T 1283-2011《木材防腐剂对腐朽菌毒性实验室试验方法》是对 1998 年版本的修订, 规定了褐腐菌和白腐菌的具体菌种, 是在最适宜的实验室条件下测试防腐处理后的木材受腐朽菌浸染情况, 也是以质量损失作为测试指标^[58]。GB/T 18261-2013《防腐剂对木材霉菌及变色菌防治效力的试验方法》采用实验室及户外试验方法来评价防腐剂对木材霉菌和变色菌的防治效力, 将试样受霉菌和变色菌表面感染值、试样受变色菌浸染后变色程度均分为 5 个等级^[59]。

3.3 耐老化性能检测方法

国外对于木质材料耐老化性能的检测方法标准制定起步较早, 主要有国际标准 (ISO)、英国标准 (BS)、美国标准等。近几年我国在新制定或修订标准时, 在借鉴国内外标准的基础上, 也相继提出了耐老化性能的检测方法。耐老化性能的检测主要是借助仪器设备, 模拟重组竹材使用环境, 设置条件对重组竹材进行加速老化处理, 测试其相关性能并分析变化情况。目前常用的加速老化试验方法主要有循环试验法、煮沸试验法等。BS EN 321: 2002 和 ISO 16987: 003 (E) 是三循环试验法, 主要是将试件恒重处理后, 以水浸、冷冻和干燥作为一个处理, 循环处理 3 次, 最后测试相关性能^[60-61]。GB/T 17657-2013 中 4.26 和 ASTM D 1037-06a 是六循环试验法, 将试件先后进行热水浸泡、喷蒸、冷冻、干燥、喷蒸、干燥等加速老化处理, 按此条件进行 6 个循环, 最后测定试件静曲强度、握螺钉力等性能, 来评价材料的耐老化能力^[48,62]。GB/T 17657-2013 中 4.10 是将试件

进行水煮(浸)-冷冻-干燥处理后测试静曲强度,试件厚度不同水煮和干燥时间分为3h和6h。BS EN 1087-1:1995, ISO 16998:2003(E), GB/T 17657-2013和GB/T 11718-2009等标准中明确了沸腾试验法。BS EN 1087-1:1995标准是先将试件处理至恒重后置于水中,100℃沸水煮120min,然后取出放入20℃的水中浸泡1~2h,试件表面擦干后立即进行性能测试^[63]。GB/T 17657-2013中4.9是将试件在沸水中煮2h,冷却1h后测试静曲强度^[48]。ISO 16998:2003(E)和GB/T 11718-2009中6.11的沸腾试验方法是将试件处理至恒重后沸水煮120min,20℃水中浸泡60min后取出试件擦干表面,平放在70℃干燥箱中干燥960min,冷却至室温后测试性能^[64-65]。BS EN 1087-1:1995和GB/T 17657-2013中4.9两种沸腾试验法是试件在湿状态下进行测试,而ISO 16998:2003(E)和GB/T 11718-2009中6.11的沸腾试验方法是试件在干燥状态下进行测试。

3.4 阻燃性能检测方法

建筑结构用重组竹材的阻燃性能检测主要参照建筑材料或木质材料的相关燃烧性能检测方法。我国阻燃性能标准中部分试验方法和燃烧性能分级标准参照了欧盟、德国等标准。我国现行的建筑材料和木质材料燃烧性能方面的标准主要有GB/T 8625-2005《建筑材料难燃性试验方法》、GB/T 20284-2006《建筑材料或制品的单体燃烧试验》、GB/T 20285-2006《材料产烟毒性危险分级》、GB/T 8626-2007《建筑材料可燃性试验方法》、GB/T 8627-2007《建筑材料燃烧或分解的烟密度试验方法》、GB 8624-2012《建筑材料及制品燃烧性能分级》、GB/T 14523-2007《对火反应试验建筑制品在辐射热源下的着火性试验方法》、GB/T 16172-2007《建筑材料热释放速率试验方法》、GB/T 17658-1999《阻燃木材燃烧性能试验火传播试验方法》、GA/T42.1-92《阻燃木材燃烧性能试验方法木垛法》等^[66-75]。

4 存在问题与建议

我国在重组竹材生产和利用已经取得了众多的研究成果,处于国际领先水平,但重组竹材用于建筑领域尚处于探索和起步发展阶段,专业生产建筑结构用重组竹材的龙头企业仍偏少,在对建筑结构用重组竹材制造工艺、安全性能、产品开发、标准制定等方面仍缺乏系统研究,还需要进一步深入系统地开展工作。

4.1 加强建筑结构用重组竹材基础研究

由于竹材在材质和材性上与木材有很大差异,重组竹材用作工程结构材料时,其相关基础研究还需做更深入研究。除了系统开展重组竹材用于建筑结构不同部位的基本强度要求和科学合理生产工艺的研究,还需加快开展重组竹材尺寸稳定性、耐久性、防虫防霉性、蠕变性、抗冲击性及耐火性等关系到建筑结构安全的重要性研究。这样既能更好的提升建筑结构用重组竹材生产技术,又能为拓展重组竹材用途和产业化推广提供有力的可靠的技术支持。

4.2 加快建筑结构用重组竹材产品开发

充分利用竹材韧性好、耐磨、强度大的特点,根据市场需求,从提高原料利用率 and 产品安全性能出发,加强建筑结构用重组竹材产品的研发,不断拓展重组竹材应用领域,使产品向多元化、功能化、系列化发展。加快开发具有环保、防腐、防霉、耐水、阻燃、保温、隔音等功能的建筑用梁、柱、桁架、覆面板、墙板等重组竹材产品,特别是大跨度的梁、柱和桁架等工程用结构构件连接方式研究和产品开发,实现产品标准化和模块化生产。

4.3 完善建筑结构用重组竹材相关标准

目前,国内外还没有专门的关于建筑用重组竹材及其产品的相关标准。重组竹材用在建筑不同部位,导致其最终产品在性能和用途上也有所不同。因此,在借鉴国内外先进测试方法的基础上,制订适宜建筑结构用重组竹材及其产品的生产技术规程和产品标准,以及重组竹材建筑结构用构件的产品设计、安全性能评价、施工质量验收等技术标准和规范,建立一套健全的建筑用重组竹材标准体系。

4.4 加大产品推广和扶持力度

在工业4.0的时代大背景下,建筑行业也面临全新的挑战和机遇,特别是新兴的装配式结构建筑发展迅速,

已经成为当今建筑工业化的发展趋势之一。非常适用于建筑预制技术的重组竹材有着广泛的发展前景和潜力。但是由于竹木质建筑构造造价较高,市场份额小,社会认知度不高等原因,使得重组竹材在建筑上还没有得到广泛应用。因此,需加强宣传,提高重组竹材影响力和市场份额;同时政府和行业部门制定出台一些专门针对建筑用重组竹材和木质建筑的扶持政策,以便更好地推动建筑结构用重组竹材的产品开发和市场推广。

参考文献:

- [1] 魏洋,张齐生,蒋身学,等.现代竹质工程材料的基本性能及其在建筑结构中的应用前景[J].建筑技术,2011,42(5):390-393.
- [2] 肖岩,李佳.现代竹结构的研究现状和展望[J].工业建筑,2015,45(4):1-6.
- [3] 王戈,江泽慧,陈复明,等.我国大规格竹质工程材料加工现状与存在问题分析[J].林产工业,2014,41(1):48-52.
- [4] 于文吉.我国重组竹产业发展现状与趋势分析[J].木材工业,2012,26(1):11-14.
- [5] 张建辉.户外用重组竹模块化工厂设计[J].林产工业,2015,42(3):49-51,55.
- [6] 张宏,胡迪,张晓春,等.户外用竹材重组材防腐性能研究[J].浙江林业科技,2015,35(3):1-5.
- [7] 秦莉,于文吉,余养伦.重组竹材防腐性能的研究[J].木材工业,2010,24(4):9-11.
- [8] 张叶田,岳慧.竹材人造板—一种理想的工程结构材料[J].建筑知识,2004(3):17-18.
- [9] 戴靓,陈华山,肖余红.重组竹材结构连接性能的研究进展[J].浙江林业科技,2016,36(4):81-84.
- [10] 周军文,高逸.竹结构建筑应用前景分析[J].四川建筑,2016,36(4):64-66.
- [11] 张忠良.柔性抗震的重竹结构建筑研究分析[J].四川水泥,2016,36(8):244.
- [12] 张齐生.当前发展我国竹材工业的几点思考[J].竹子研究汇刊,2000,19(3):16-19,35.
- [13] 于文吉,余养伦.结构用竹基复合材料制造关键技术与应用[J].建设科技,2012(3):55-57.
- [14] 余养伦,于文吉.高性能竹基纤维复合材料制造技术[J].世界竹藤通讯,2013,11(3):6-10.
- [15] 许莹,宋立民,崔娟.室外自然老化对人造板物理力学性能的影响[J].林业机械与木工设备,1996(4):20-21.
- [16] 龙玲,陈士英.刨花板耐老化性能研究的进展[J].木材工业,1995,9(6):28-31,6.
- [17] 周晓燕.国外结构人造板尺寸稳定性的研究技术[J].林产工业,2000,27(6):6-10.
- [18] 范毡仔,余德新.木质人造板的耐候性研究[J].福建林学院学报,1995,15(1):53-56.
- [19] Häglund M. Moisture content penetration in wood elements under varying boundary conditions[J]. Wood Sci Technol, 2007(41):477-490.
- [20] 于文吉,余养伦,周月,等.小径竹重组结构材性能影响因子的研究[J].林产工业,2006,33(6):24-28.
- [21] 肖忠平,张苏俊,束必清.碳化重组竹在竹结构建筑中的应用[J].林产工业,2013,40(6):44-45,53.
- [22] 李霞镇,钟永,任海青,等.毛竹基重组竹力学性能研究[J].木材加工机械,2016,27(4):28-32.
- [23] 吕清芳,魏洋,张齐生,等.新型竹质工程材料抗震房屋基本构件力学性能试验研究[J].建材技术与应用,2008(11):1-5.
- [24] 于子绚,江泽慧,王戈,等.重组竹的耐冲击性能[J].东北林业大学学报,2012,40(4):46-48.
- [25] 张俊珍,任海青,钟永,等.重组竹抗压与抗拉力学性能的分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2012,36(4):107-111.
- [26] 马欣欣,王戈,江泽慧.竹质工程材料的蠕变性能研究现状[J].林产工业,2015,42(4):3-6,17.
- [27] 李霞镇,徐明,蔡芸,等.电测法测试结构用重组竹弹性常数的研究[J].安徽农业大学学报,2015,42(5):756-760.
- [28] 盛宝璐,周爱萍,黄东升.重组竹的单轴与纯剪应力应变关系[J].土木建筑与环境工程,2015,37(6):24-31.
- [29] 张苏俊,赵志高,张文娟,等.重组竹柱轴心受压试验研究[J].施工技术,2015,44(24):120-123.
- [30] 张秀华,吴培增,李玉顺,等.竹楠木顺纹力学性能试验研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2015,31(2):236-243.
- [31] 张秀华,鄂婧,李玉顺,等.重组竹抗压和抗弯力学性能试验研究[J].工业建筑,2016,46(1):7-12.
- [32] 刘方舟,左宏亮,陈冠华.结构用重组竹材顺纹抗拉力学性能试验研究[J].山西建筑,2016,42(7):27-29.
- [33] 陈国,肖岩.竹结构屋架试验研究与工程应用[J].工业建筑,2013,43(8):69-74.
- [34] 孙芳利,段新芳.竹材防腐研究概况及其展望[J].世界竹藤通讯,2004,2(4):1-4.
- [35] 王文久,辉朝茂,陈玉惠,等.竹材霉菌真菌研究[J].竹子研究汇刊,2000,19(4):26-34.
- [36] 马星霞,蒋明亮,覃道春,等.我国竹材变色菌和霉菌的分离与鉴定[J].竹子研究汇刊,2009,28(4):35-39.
- [37] 魏万妹,覃道春.不同竹龄慈竹重组竹材强度和天然耐久性比较[J].南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(6):111-115.
- [38] 侯瑞光,刘元,李贤军,等.高温热处理对重组竹材物理力学性能的影响[J].中南林业科技大学学报,2013,33(2):101-104.
- [39] 覃道春,魏万妹,靳肖贝,等.水洗对防腐重组竹防腐性能的影响[J].木材工业,2015,29(5):43-47.
- [40] 张晓春,徐君庭,蒋身学,等.重组竹材模拟室外防腐性能的研究[J].竹子研究汇刊,2016,35(1):8-12.
- [41] 张建,袁少飞,范慧,等.5种防腐防霉剂对重组竹材抑菌效果影响的研究[J].浙江林业科技,2016,36(5):8-12.

- [42] 赵鹤. 户外家具用重组竹材防腐工艺研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- [43] 黄小真. 户外竹材重组材耐老化试验方法及性能进行研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [44] 黄小真, 蒋身学, 张齐生. 竹材重组材人工加速老化方法的比较研究[J]. 中国人造板, 2010(6): 25-27.
- [45] 周泉, 余立永, 肖岩, 等. 装配式竹结构房屋受火试验研究与模拟分析[J]. 建筑结构学报, 2011, 32(7): 60-65, 100.
- [46] 肖岩, 马健, 单波, 等. 竹结构轻型框架房屋火灾安全性能试验研究[J]. 建筑结构, 2012, 42(2): 165-169.
- [47] 杜春贵, 魏金光, 金春德. 重组竹阻燃处理工艺[J]. 林业工程学报, 2016, 1(1): 51-54.
- [48] GB/T 17657-2013, 人造板及饰面人造板理化性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [49] GB/T 20240-2006, 竹地板[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [50] 于文吉. 我国高性能竹基纤维复合材料的研发进展[J]. 木材工业, 2011, 25(1): 6-8, 29.
- [51] GB/T 30364-2013, 重组竹地板[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [52] GB 50206-2012, 木结构工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [53] GB/T 50329-2012, 木结构试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [54] GB/T 21128-2007, 结构用竹木复合板[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [55] LY/T 1975-2011, 木材和工程复合木材的持续负载和蠕变影响评定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [56] GB/T 13942.1-2009, 木材耐久性能 第1部分: 天然耐腐蚀性实验室试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [57] GB/T 13942.2-2009, 木材耐久性能 第2部分: 天然耐久性野外试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [58] LY/T 1283-2011, 木材防腐剂对腐朽菌毒性实验室试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [59] GB/T 18261-2013, 防霉剂对木材霉菌及变色菌防治效力的试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [60] BS EN 321: 2002, Wood-based panels-Determination of moisture resistance under cyclic test conditions[S]. European Committee for Standardization, 2002.
- [61] ISO 16987: 2003(E), Wood-based panels-Determination of moisture resistance under cyclic test conditions[S]. International Organization for Standardization, 2003.
- [62] ASTM D 1037-06a, Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Based Fiber and Particle Panel Materials[S]. ASTM International, 2006.
- [63] BS EN 1087-1: 1995, Particleboards-determination of moisture resistance-Part 1. Boil test[S]. European Committee for Standardization, 1995.
- [64] ISO 16998: 2003(E), Wood-based panels-Determination of moisture resistance-Boil test[S]. International Organization for Standardization, 2003.
- [65] GB/T 11718-2009, 中密度纤维板[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [66] GB/T 8625-2005, 建筑材料难燃性试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [67] GB/T 20284-2006, 建筑材料或制品的单体燃烧试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [68] GB/T 20285-2006, 材料产烟毒性危险分级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [69] GB/T 8626-2007, 建筑材料可燃性试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [70] GB/T 8627-2007, 建筑材料燃烧或分解的烟密度试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [71] GB 8624-2012, 建筑材料及制品燃烧性能分级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [72] GB/T 14523-2007, 对火反应试验 建筑制品在辐射热源下的着火性试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [73] GB/T 16172-2007, 建筑材料热释放速率试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [74] GB/T 17658-1999, 阻燃木材燃烧性能试验火传播试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [75] GA/T 42.1-92, 阻燃木材燃烧性能试验方法木垛法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.