

编者按: 中国林科院木材工业研究所承担了“十二五”国家科技支撑计划“木质复合材料制造关键技术与示范”课题“结构用木质复合材料构件制造技术研究”任务, 开展了轻型木结构木质复合材料制造技术、性能评价技术及安全设计技术等研究, 目前已获得国产规格材的强度设计指标、国产木桁架和结构用木质保温板的优化工艺等多项成果。

本刊自本期起开辟专栏, 系列报道此项研究科技成果, 旨为我国木质复合材料的研究应用提供参考, 为木质复合材料构件在我国轻型木结构建筑设计建造中的应用提供技术支撑。

轻型木结构用材料和构件制造技术研究进展

武国芳, 任海青, 周海宾, 钟 永, 邢新婷, 赵荣军

(中国林科院木材工业研究所; 中国林科院林业新技术研究所, 北京 100091)

摘要: 围绕“结构用木质复合材料和构件制造技术”任务的研究目标和内容、技术路线, 总结分析国产规格材和定向刨花板设计方法、轻型木桁架制造技术和设计方法、结构用木质保温板制造与性能评价技术的研究现状, 概要介绍了围绕国产材料应用研究课题的总体框架, 旨在提升国产结构用木质材料及构件的制造水平, 促进国产材料和构件的结构应用, 推动轻型木结构建筑材料的本土化发展。

关键词: 轻型木结构; 规格材; 定向刨花板; 轻型木桁架; 结构用木质保温板

中图分类号: TU531.1; TS6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654 (2017) 01-0005-04

Review of Manufacturing Technology of Materials and Members for Light Wood Frame Construction

WU Guo-fang, REN Hai-qing, ZHOU Hai-bin, ZHONG Yong, XING Xin-ting, ZHAO Rong-jun

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry (CAF);

Research Institute of Forestry New Technology, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: Background, objectives and technical processes of the Research Project “Manufacturing and Evaluation of Structural Wood-based Composite Material and Members” were introduced. Design method for domestic dimension lumber and oriented strand board, manufacturing technology and the evaluation method for domestic light wood frame trusses and structural insulated panels were reviewed. The project aims to enhance manufacturing ability of domestic wood materials and members, to provide guidelines and technical support for utilizing domestic wood materials in structural applications and to promote localization of light wood frame construction in China.

Key words: light wood frame construction; dimension lumber; oriented strand board; light wood truss; structural insulated panel

收稿日期: 2016-11-20; 修改日期: 2016-12-23

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划“结构用木质复合材料构件制造技术研究”(2015BAD14B0502)。

作者简介: 武国芳(1986—), 男, 中国林科院木材工业研究所/林业新技术研究所助理研究员, 博士。

轻型木结构建筑发源于北美, 与重型木结构建筑相比, 得益于其完善的规格材加工、认证体系和成熟的预制构件制造技术^[1], 具有建设周期短、成本低等优势, 适合在低层建筑中应用^[2], 是北美住宅的

主要结构形式。

轻型木结构建筑引入我国后,亦得到了一定程度的应用^[3],而建筑用工程材料仍主要依赖进口^[4]。目前国产工程木质复合材料构件,如定向刨花板^[5]、轻型木桁架^[6]等尚缺乏性能、设计方法的系统研究,国产规格材生产、评价体系尚不完善^[7]。开展国产材料和构件制造关键技术研究,是促进国产木质材料和构件在现代木结构中应用,提高国产材利用率的必要前提。

笔者针对国产木材和木质复合材料及木构件缺乏工业化制造和评价技术体系的突出问题,重点研究国产规格材、定向刨花板等材料和构件的强度设计值确定方法;创新齿板连接和压制技术,优化木桁架设计参数;研究结构用木质保温板制备工艺,评价结构用木质保温板产品应用性能,提出结构用木质保温板结构体系。相关研究内容及成果将在专栏陆续报道。

1 轻型木结构用材料和构件制造技术、设计规范及评价技术现状

轻型木结构是一种板壁式结构体系,由剪力墙、楼盖和屋盖组成。剪力墙通常由规格材骨架和木基结构板制作,也可采用保温-结构一体化的木质保温板作为剪力墙。楼屋盖通常由木桁架和木基结构板制作,部分建筑采用规格材搁栅作为楼盖骨架。因此,规格材和木基结构板是轻型木结构的主要材料,木桁架和木质保温板是轻型木结构的常用构件。

1.1 规格材和木基结构板的性能评价和设计方法

欧美及日本等国家对锯材和木质复合材产品的测试方法、特征值和设计值的确定等,已进行了系统的研究^[8],建立了生产、分级、抽检认证等完整体系,如北美的规格材制造和评价体系^[9]。

我国规格材和木质复合材的加工制造、评价、认证体系尚在发展阶段。GBJ 168-84《建筑结构设计统一标准》的颁布,标志着我国建筑结构的设计方法从安全系数设计法,逐渐过渡到以概率论为基础的可靠度设计法。

GBJ 5-88《木结构设计规范》将方木、原木原容许应力指标,通过可靠度校准的方法,转换成了基于可靠度的设计值。

为促进进口木材在中国建筑市场的应用,1999年,应原建设部要求,主编单位会同国内外多家单位及协会对GBJ-88进行了修订,并将规范代号更改为GB 50005-2003^[10]。

GB 50005-2003《木结构设计规范》将轻型木结构体系及进口规格材设计值纳入了规范,但由于当时国产树种规格材的研究几乎处于空白,故规范中尚无国产规格材设计值的规定,制约了国产规格材的生产和应用。

依托于“十一五”国家科技支撑计划项目(2006-BAD18B07),中国林科院木材工业研究所对国产落叶松规格材的力学性能和测试方法等开展了系统地研究^[11-15],但国产规格材力学性能设计值的可靠度研究,有待深入探索。此外,轻型木结构中常用的各种木基结构板,其力学性能的安全设计研究,也基本处于空白。

1.2 轻型木桁架的制造技术和设计方法

轻型木桁架是用规格材作为杆件,采用齿板连接,形成的一种结构。在20世纪50年代于美国发明后,现已成为轻型木结构楼盖和屋盖桁架的主要形式^[16]。

目前,北美地区超过60%的住宅屋顶采用轻型木桁架^[17],楼盖桁架也越来越多地用于住宅和公共建筑中。北美木桁架工业发达,很多企业有专用的设计软件及生产设备,可完成轻型木桁架的设计、加工、安装等工作,还开发了各种新型齿板,形成了较为完整的产业链。

我国学者对轻型木桁架及其节点连接性能进行了研究^[18-21],在吸收国外相关技术和标准的基础上,于2012年出台了JGJ/T 265-2012《轻型木桁架技术规范》,规定了齿板节点性能的测试方法。

然而,采用国产材、国产齿板用于轻型木桁架的制造工艺及力学性能研究较少,其连接性能评价尚缺乏基本数据,且国产材料制造轻型木桁架的工艺、检测方法等相关标准尚待完善。我国大部分企业目前依然按照国外标准,采用进口规格材和进口齿板为主要材料制造轻型木桁架。由于我国建筑结构构件的可靠度指标与美国和加拿大有较大差异^[22],不宜照搬国外制造、设计方法,否则易导致安全隐患。

1.3 结构用木质保温板的制造与性能评价

将保温材料与面板集成的结构用木质保温板,其原型于20世纪30年代提出^[23],由于其可预制和可模块化制造等特点,在住宅产业化、建筑工业化进程中应用前景广泛。国外研究了连接方式、面材、开洞等因素对木质保温板墙体性能的影响^[24-25],美国已出台了国标 ANSI/APA PRS-610.1 “Standard for performance rated SIPs in wall applications”。

国内对结构用木质保温板的研究与应用尚处于起步阶段,已有学者对木质保温墙体的力学性能进行了研究^[26-27],但目前尚无相关标准出台,且国产木质保温板生产工艺尚不规范,需要从木质保温板的制造技术、基本力学性能及设计方法等方面,开展系统的研究。

2 轻型木结构用材料构件制造技术项目研究概况

为突破我国木质材料和构件制造、性能评价和结构应用的技术瓶颈,提高我国结构用材的自给率,笔者对规格材、木基结构板、轻型木桁架和结构用木质保温板进行系统研究。

2.1 国产规格材和定向刨花板设计方法研究

2.1.1 规格材安全设计方法

国产规格材设计值确定方法及可靠度评价体系的研究,是国产规格材标准化、产品化的重要基础。针对国产规格材强度设计指标缺失、制造评价体系不完善等问题,课题组通过试验与理论分析结合的方法,对轻型木桁架用国产规格材开展系统研究。

1) 对国产落叶松规格材,分别进行拉、压和弯等力学性能测试,得到各性能的概率分布。通过数理检验方法,优选分布模型。

2) 采用一次二阶矩法(JC法)和蒙特-卡罗法(MC法)^[28]等可靠度分析方法,结合荷载模型以及抗力模型,分析可靠度指标与荷载比率、抗力分项系数等的相关关系,结合我国可靠度指标要求,确定落叶松规格材的强度设计值。

3) 将规格材强度设计值确定过程标准化,提出国产规格材由测试值向设计值转化的方法和可靠度评价体系。国产规格材的设计值确定方法和可靠度评价体系的建立,为国产规格材的分级、加工、检验等,提供了理论基础及实现方法。

2.1.2 定向刨花板安全设计方法

针对定向刨花板安全设计方法空白的问题,开展木骨架组合墙体和木质结构保温板用国产定向刨花板握钉性能研究及承载性能研究。

1) 对国产定向刨花板的抗侧和抗拔握钉力等主要性能进行系统研究,得到握钉力与钉直径、钉种类及板材厚度等的相关关系。

2) 对定向刨花板进行集中荷载作用下的承载性能测试,得到性能统计特征,进行可靠度分析,得到定向刨花板的强度设计值。

3) 将定向刨花板强度设计值确定过程标准化,提出国产板设计值确定方法和可靠度评价体系。

对定向刨花板安全设计技术的研究,是我国首次基于可靠度理论,对国产板的力学性能进行研究评价,是建立与国外类似的刨花板分级体系的有益探索,将推动国产刨花板在结构材领域中的应用。

2.2 轻型木桁架制造技术和设计方法研究

针对目前缺乏国产规格材和国产齿板轻型木桁架的相关研究,制造、检测方法标准急待修订的现状,课题组对国产齿板连接和国产轻型木桁架性能进行研究,提出国产轻型木桁架的制造工艺及力学性能的评价方法。

1) 选取不同的辊压速度、压力、木材密度、纹理等参数,制造国产齿板节点,并进行齿板节点拉伸试验和抗剪试验,研究上述因素对齿板连接性能的影响,提出优化的齿板节点制造工艺,并根据相关规范,确定齿板连接的强度设计指标。

2) 制作轻型木桁架,通过足尺构件试验,研究桁架类型、齿板尺寸、布置形式等因素,对桁架承载性能的影响。

3) 考虑齿板钢材性能、构件间隙、齿板主轴方向、木材纹理方向、齿密度等参数,基于齿板连接单齿的连接性能,建立齿板节点及轻型木桁架精细化有限元模型,对轻型木桁架受力性能进行参数研究。

4) 在试验研究和有限元分析的基础上,提出适用于国产规格材和国产齿板的轻型木桁架优化设计参数。

从桁架制造工艺、节点性能、构件形式等多方面,对轻型木桁架的性能进行系统研究,提出国产轻型木桁架的制造关键技术和设计方法,并为进一

步研究桁架的系统效应等结构性能奠定了基础,有助于推进轻型木桁架用材的国产化。

2.3 结构用木质保温板制造与性能评价

我国对结构用木质保温板产品的研究处于起步阶段,产品尚未定型,对木质保温板的体系尚缺乏深入研究。鉴于此,课题组对木质保温板的制造工艺、构件性能及连接方式等进行了研究。

1) 选取木基结构板为面材,聚氨酯保温板和酚醛保温板为芯材,分析面材和芯材的力学性能,建立面材和芯材的力学性能评价方法。

2) 采用冷压技术制造高强度结构用木质保温板,并对制造的木质保温板产品的基本性能进行测试,分析工艺参数与结构用木质保温板产品抗弯性能、抗压性能、粘结性能的相关关系,优化结构用木质保温板的制备工艺。

3) 按照优化工艺,制备面层和芯材不同的结构用木质保温板产品,研究不同材料组成、不同截面结构的结构用木质保温板产品的抗弯承载性能、抗冲击或撞击性能、保温性能,建立结构用木质保温板的产品性能表。

4) 研究不同边界和载荷条件时,结构用木质保温板作为剪力墙构件的静、动力学性能,确定结构用木质保温板结构体系的最佳连接方式。

从生产工艺到构件性能、结构体系,对结构用木质保温板进行全面系统地研究,有助于推动国产木质保温板产品的标准化,促进国产结构用木质保温板产品的制造技术及结构应用。

3 结语

进行国产轻型木结构用材料的制造及性能评价技术研究,有利于提高国产木材的附加值,促进国产材料在木结构建筑中的应用,促进建筑工业化发展,对促进木结构新兴产业发展,推进我国城镇化建设具有重要的意义。

参考文献:

- [1] Madsen B. Structural behavior of timber[M]. British Columbia: Timber Engineering Ltd, 1992.
- [2] Rainer H. Performance of wood-frame building construction in earthquakes[J]. Australasian Journal of Construction Economics & Building, 2010, 10 (3): 80-81.
- [3] 何敏娟, Frank Lam. 北美“轻型木结构”住宅建筑的特点[J]. 结构工程师, 2004 (1): 1-5.
- [4] 何敏娟, 杨少白. 进口 OSB 及国产胶合板覆面木剪力墙单向加载试验研究[J]. 特种结构, 2011 (1): 22-25.
- [5] 李薇, 姜征, Dominique J. 定向结构刨花板产品市场现状与展望[J]. 木材工业, 2006, 20 (1): 8-11.
- [6] 王滋, 王丽, 张赛男, 等. 轻型木桁架的研究现状与发展趋势[J]. 林产工业, 2016, 43 (2): 3-7.
- [7] 郭伟, 费本华, 陈恩灵, 等. 木材规格材研究现状与展望[J]. 世界林业研究, 2008, 21 (3): 38-42.
- [8] Folz B, Foschi R O. Reliability-based design of wood structural systems[J]. Journal of Structural Engineering, 1989, 115(7): 1666-1680.
- [9] Barrett J D, Lau W. Canadian lumber properties[M]. Canada: Canadian Wood Council, 1994.
- [10] 杨学兵. 国家标准《木结构设计规范》发展历程简介[J]. 工程建设标准化, 2015 (7): 54-60.
- [11] Zhou H, Ren H, Lu J, et al. Length effect on the tension strength between mechanically graded high and low-grade Chinese fir lumber[J]. Forest Products Journal, 2010, 60 (2): 144-149.
- [12] 任海青, 郭伟, 费本华, 等. 轻型木结构房屋用杉木规格材机械应力分等研究[J]. 建筑材料学报, 2010, 13 (3): 363-366.
- [13] 姜万里, 任海青, 王朝晖, 等. 落叶松结构用规格材分级研究[J]. 建筑材料学报, 2013, 16 (4): 734-738.
- [14] 周海滨, 任海青, 殷亚方, 等. 横向振动评估木结构建筑用规格材弹性性质[J]. 建筑材料学报, 2007, 10 (3): 271-275.
- [15] 江京辉, 吕建雄, 任海青. 兴安落叶松结构用规格材强度特征值的研究[J]. 建筑材料学报, 2012, 15 (3): 361-365.
- [16] Madsen B. Behaviour of timber connections[M]. British Columbia: Timber Engineering Ltd, 2000.
- [17] 颜铭. 轻型木结构齿板连接的结构性能研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- [18] 席佳. 兴安落叶松规格材与齿板接合节点拉伸性能研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [19] 梁乾乾. 齿板滑移对轻型木桁架力学性能影响的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [20] 许晓梁. 轻型木桁架承载能力研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [21] 况宜. 轻型木桁架齿板连接节点受力性能的试验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [22] 李天娥. 基于可靠度要求的木材强度设计值确定[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [23] Moely M. Building with structural insulated panels: strength & energy efficiency through structural panel construction[M]. Connecticut: The Taunton Press, Inc, 2000.
- [24] Terentiuk S, Memari A. In-plane monotonic and cyclic racking load testing of structural insulated panels[J]. Journal of Architectural Engineering, 2012, 18 (4): 261-275..
- [25] Smakosz L, Wawrzynowicz A, Krzaczek M, et al. Experimental and numerical evaluation of composite structural insulated wall panels[C]. Proc. 15th European Conference on Composite Materials, 2012, 15: 24-28.
- [26] 严帅. SIP 板式木结构体系抗震性能研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2010.
- [27] 王雪花, 方露, 吴智慧, 等. 不同加载方式 SIP 墙体的抗剪性能[J]. 土木建筑与环境工程, 2016, 38 (3): 41-46.
- [28] 李国强, 黄宏伟, 吴迅, 等. 工程结构荷载与可靠度设计原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

(责任编辑 向琴)