

综 述

世界木结构房屋研究的最新进展

周海宾, 费本华, 任海青

(中国林业科学研究院, 北京 100091)

摘要: 分析了我国木结构建筑研究的现状;根据国外木结构研究内容,从六个方面详细介绍国外木结构房屋研究的最新进展,总结了木结构研究的发展趋势,提出了我国木结构房屋研究的发展思路。

关键词: 木结构房屋;剪力墙;声学性能;振动性能

中图分类号: TS63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8654(2006)04-0001-03

Evolutions of Research on Wood Frame Housing around the World

ZHOU Hai-bin, FEI Ben-hua, REN Hai-qing

(Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The authors reviewed the development of domestic wood structure research. Research in developed countries is presented in six aspects based on the research contents. Finally, the development and trends for wood structure research are summarized.

Key words: wood frame house; shear wall; sound performance; vibration performance

1 国内木结构房屋的研究现状

木结构建筑一直是我国的传统建筑^[1],但在 1958 年“大跃进”期间,各类项目盲目上马,大量工程和厂房的兴建,对森林资源造成了严重的破坏;到 70 年代后期,森林资源已基本枯竭。80 年代以后的 20 多年,木结构建筑的应用和研究处于停滞不前、一片空白的状况,百废待兴。我国从事木结构研究的院所只有重庆大学、哈尔滨工业大学和四川建筑科学研究院 3 家,有关木结构的研究断断续续,研究论文更是为之甚少。

随着近年来我国经济的快速发展,国外木结构房屋已悄然进入我国的主要消费城市。虽然为数不多,但其在中国建筑市场上展现的独特风格,已引起了消费者的关注。为了促进我国木结构建筑的发展,2004 年起,我国相继出台了《木结构工程施工质量验收规范》、《木结构试验方法标准》、《木结构设计规范》及《木结构设计手册》。在制订与当前木结构建筑发展

相适应的系列规范、标准的同时,木结构质量检测人员的培养也受到重视,一些院校添设了相关课程,一些科研单位也开办有关木结构建筑技术的培训班。

在吸收和消化国外先进的木结构房屋建造技术的基础上,我国也加快了木结构房屋国产化的步伐。在国家林业局 948 项目(木结构房屋结构材料应用关键技术引进)的资助下,中国林科院木材工业研究所分别与日本松美公司、加拿大悦庐公司合作,建造了两幢以研究为主要目的的示范性木结构房屋,2004 年正式启动。这是具有开发前景和政策引导的国际合作示范项目,也是中国第一个现代木结构建筑材料评价和建造技术比较的研究课题。目前,对示范房屋材料和木结构建筑性能的评价正在继续。

2 国外木结构房屋的研究现状

中国木结构建筑研究停顿的 20 年,也正是国际上木结构发展最快的时期。从实木、原木结构,到胶合木结构,再到复合木结构,木结构已不再是传统概念上的木结构,在建筑上已经达到可以替代钢材的程度。在欧美、日本等发达国家,木结构的大量研究与应用,也促进了森林资源采伐和利用的良性循环。

当前国外木结构的研究主要集中在以下六方面。

收稿日期:2005-05-23; 修改稿:2006-06-23

基金项目:国家林业局(948)项目“木结构房屋结构材料应用关键技术引进”(2003-4-28)和“木材机械应力分级技术引进”项目(2004-4-55)。

作者简介:周海宾(1977—),男,中国林业科学研究院木材工业研究所博士研究生。

2.1 木结构的设计和标准

木结构的设计和标准不仅在地区上有差异,在建筑的不同层数上也存在差异。ROSOWSKY D V等^[2]提出,载荷统计学的地区差异,对计算可靠性指标有很大的影响,而且每个结构部件之间的计算可靠性指标也有轻微差异。建议在使用 LRFD(Load and Resistance Factor Design)规定的同时,还应在未来的规范校准研究中,更新载荷模型及其统计;在研究新一代局部安全因素时,建立地区特定载荷模型。

KESSEL M H等^[2]认为,一个多层木结构建筑的三维承载模型非常适合确定结构部件的载荷,但如果每一层中的墙体数量较多,在确定载荷时,模型会显得烦琐冗长。为了确定这个载荷,结构部件和连接件的刚度不容忽视,而且垂直于水平结构部件的力和垂直部件的拉力也非常重要;除此之外,还有载荷的分布。在此基础上,他们推出了一个扩展的简单二维计算模型,并且通过举例,说明了垂直载荷对水平载荷分布的影响。

WINTER S等^[2]分析了德国多层建筑的发展和相关规定,根据实例认为,在欧洲应该发展 4~5 层的木结构建筑项目,而 3 层以上木结构建筑的主要问题是防火。GRANTHAM R 等^[2]在 TF 2000 项目(Timber Frame 2000 Project)中,研究了全英国范围内许多防火规定,包括 18 m 的最大建筑高度,以及结构稳定、差动运动和建筑容差方面的设计规范,提出了英国木结构建筑的设计规范。CHEUNG K C K^[2]等概括了美国多层木结构建筑的发展,回顾了美国版木结构设计规范系统,提出了美国设计规范中的 3 个基本设计方法,指出了多层混合木结构建筑的结构、防火和声音传递方面的特别设计事项。

BURDZIK W^[2]指出,在一个系统的建筑设计规范中,构件强度计算是第一步,而且是定量构件的极限强度,且独立于材料本身和设计规范。ABDUL RASHID A M 等^[2]叙述了马来西亚木材结构使用规范的修订,包括木质板材产品和胶合层积材产品部件,并且强调了新版设计规范的特点。

2.2 木材建造系统和生产方法

一些先进的理论和计算方法在木材建造和生产中使用。BJÖRNFOT A 等^[2]研究了大跨度的木结构系统框架,提出了模块(Modularization)的概念,认为在系统性和理论性的建筑框架研究中,应使用设计结构矩阵(DSM)中的系统工程、模块概念及神经网络理论。OSTERRIDER P 等^[3]在木结构设计和建造中提出了 DtH 产品模型,该模型是以对象为导向

的数据标准,目的是在一个木结构建造区域,共同享用工程数据,通过计算机辅助来实现设计建造。

SAKAMOTO 等^[3]五年来一直研究有效使用木构件、建造 4 层以上木结构建筑的可行性,目前他们正在研究木结构性能评价原则和木质复合结构的结构指导和防火设计。在木材结构新的设计方面,KERONEN A^[2]研究了复合梁柱木结构,该结构由空心复合混凝土板、复合梁和一个层高的层积材柱组成。对该结构分 3 阶段进行了载荷测试,结果发现,混凝土和木材的连接不理想,但是在实际载荷下,混凝土层和梁的刚度均高于设计值。

2.3 剪力墙的性能

剪力墙是木结构中的重要部分,其性能研究是木结构研究中必不可少的内容。LEONARD D 等^[2]在研究轴向和横向载荷下的高墙结构性能时发现,现有复合木结构套件有效边缘宽度的确定公式,不能提供与盖板中有缝隙 T 字梁的试验结果相近似的结果。在考虑部分复合行为后,引入了一个新的长度因子到现有公式中,从而得到了与测试结果相近的结果。NAKAJIMA S 等^[2]研究了干湿循环气候对剪力墙性能的影响,建立非线性模型,预测干湿循环气候对剪力墙强度降低的影响程度,并且以测试结果和预测结果来验证模型。SEADERS P^[2]根据单一和循环测试结果,对木材剪力墙的性能变异进行评价。研究表明,单一测试比循环测试的结果有更大的变异性。

KÄLLSNER B 等^[2]用塑性下界法(Plastic Lower Bound Method)模型来设计木框架剪力墙,是基于盖板和木构件连接的塑性性能而建立,仅包含绝对极限条件下的静载,可运用于不用类型的剪力墙。JUDD J P 等^[2]研究了高速钉钉对剪力墙强度的影响,认为不正确的钉钉方式会使剪力墙的强度降低;依据钉子钉入的深度,提出了一种根据钉钉深度确定剪力墙强度降低程度的评估方法。OKABE M 等^[4]按照不同框架锯材种材的密度范围,把剪力墙分为 3 类,并测试出了 3 类墙的强度和刚度结果及钉连接的剪力强度,最后得出:框架锯材的密度明显影响剪力墙的强度和连接刚度以及单一剪力强度。CHUN N 等^[4]开发了无障碍剪力墙、无下垂剪力墙以及两面盖板剪力墙的偏差公式,并比其结果,指出要进一步修正偏差,确保公式的精确性和在高墙中的适用性。

2.4 木结构的声学性能

木结构的声学性能研究,主要集中在结构载声音传递和侧向传递上。BOLMSVIK Åsa 等^[4]研究不同类型楼板支撑系统的结构载声音传递,给出了 2 种

系统的特征频率,精确了每种特征模式的形状,模式形状表示了不同频率下的能量分布。BOSMANS I 等^[5]运用等效连接长度的概念,建立了栓连接处的结构载声音传递模型。模型中包含了一个栓连接的周期性的边界条件,如果对紧固件指定一个有限的长度,模型可进一步优化。

QUIRT J D 等^[6]研究了木结构中的声音侧向传递,认为空载声源地板和屋顶交接处会产生严重的结构侧向传递,可通过改变地板和墙的套件加以控制。

2.5 木结构的防火性能

计算机模型、导热模型的利用,使得木结构防火性能的研究更加深入透彻。TAKEDA H^[3]通过计算机模型,分析了木结构墙体和地板的防火性能。其模型使用了二维导热等式和热物理性能数据,以研究套件间的热量传递;在此基础上,又研究了一种新的模型 HTwall,更精确地预测套件间的热量传递。新模型在包含 Crank 和 Nicolson 隐参数方法 (Implicit Method) 的程序基础上建立,解决了木材和石膏板的导热问题,且与实体测试结果有很高的一致性。

LAPLANCHE K 等^[3]采用火测试结果和导热模型,研究火中暗销连接件的行为。通过描述材料和连接件的特性,给出了连接件阻燃测试和分析的结果;在热模拟过程中,分析木材和钢的热物理性能,最后给出了详细的计算。

TAKEDA H^[3]通过计算机模型,分析了木结构外墙的防火性能。外墙由墙骨、墙里石膏板、墙外 OSB、隔热泡沫、空气腔和 12 mm 或 15 mm 的非燃性外表组成,计算出的从外到里的热量传递,与实测结果极为吻合。

BREGULLA J 等^[3]研究了结构防火板 (SIPs) 的防火行为;认为 SIPs 的防火性能很大程度上取决于板层之间结构的结合力;在受火的情况下,该结合力的恢复,受材料本身、连接和石膏板的保护等一系列因素的影响;提出了一种新的 3 个等级防火性能的测试方法,以系统地研究影响 SIPs 防火性能的各种因素,还可以获知 SIPs 板疲劳损坏时的关键阶段。

2.6 木结构的振动性能

木结构的振动性能主要是指楼板系统的振动性能。HU L J 等^[4]通过增加辅助底板的厚度来改善木楼板振动适用性,研究包含有主观评价和静载挠度实测。研究发现,增加辅助底板的厚度,可降低楼板的挠度,轻微地改变基本自振频率,略提高主观评分水平,但是在动力响应方面没有明显的变化。

KHOKHAR A M^[4]在研究工字梁之间支撑部
万方数据

件对木楼板静载挠度和频率响应的影响时,分析了不同刚度特征的侧向支撑部件,在集中载荷和自振频率下对静载挠度的影响。研究表明,高刚度的支撑部件对减少楼板挠度非常有效;与以往研究不同的结果是,支撑部件提高了楼板的基本自振频率。

WOO J 等^[4]研究了浮筑楼板的静态和动态行为,采用 TSM (Transform-Sectioned Methods) 方法分析楼板的横截面。分析模型假设了单个支撑梁的控制方程能表征所有地板行为,通过考虑底板的影响,大致可以预测楼板静载挠度和基本自振频率。

HU L J 等^[3]研究了一种计算楼板振动控制设计标准以及参数的方法。设计标准是,若无人站立的楼板,其基本自振频率与静载挠度的 0.44 次方之比大于 18.7,则认为该楼板非常适合居住。但这个标准如在其他国家使用,还需进行额外的计算。

3 木结构研究的发展趋势及我国今后研究的重点

1) 研究细化,具体到木结构房屋中,钉子类小零件的受力行为^[3,4,7];

2) 技术手段先进化,计算机辅助、数学模型的引入,大大加快了木结构的设计和建造^[4,8];

3) 更注重学科间的合作,形成新的研究领域^[2-4,8];

4) 结合人的主观感受进行研究,在设计和建造上更加人性化、科学化^[9]。

针对我国木结构研究的现状及面临的紧迫任务,建议我国木结构的研究采取“分步走”的方针:

1) 建立木结构方面相关标准。如结构材料的性能测试标准和产品质量标准;重点开展锯材的分级研究^[10],建立我国的锯材分级体系和认证体系。

2) 完善木结构设计和验收规范。完善细节,解决木结构设计和验收规范与我国建筑总设计和验收规范之间的矛盾和差异;增加木结构建筑性能验收标准,适时补充与新型结构产品、结构形式相关的设计和验收内容。

3) 开展木结构建筑宣传教育培训。集中力量编写出版木结构领域的技术用书;开展木结构工程和建造的研究教育,建立专门的培训学校。

4) 加快木结构建筑的本土化、国产化。在建筑材料、设计及建造领域,重点解决以国产材料制造各种结构材料的工艺技术^[11];开发多功能结构胶粘剂、专用的各种类型连接件;开发适合我国的建筑设计等相关软件;研究各种木结构的建造系统和生产方法。

(下转第 40 页)

形棒施加端压后再粘贴无纺布(纸)进行,其接长工艺参数为:压力 0.5~0.7 MPa,温度 110~120 ℃,加压时间 1.5 s,喷湿时间 5 s,冷却时间 0.5 s,进给速度 90~100 m/min。

薄竹与无纺布(纸)的粘贴,可用脲醛树脂和聚酯酸乙烯乳液按 1:1 的比例混合配制的胶黏剂,涂胶量 30~45 g/m²,热压温度 100 ℃,热压时间 90 s,热压压力 1.0 MPa^[5-6]。

2 经济分析

目前,大幅面刨切薄竹生产技术已经成熟,已推广到多家企业,形成了工业化生产。按每 m³ 竹方至少可刨得 0.6 mm 厚的薄竹 1 200 m² 以上,其市场售价 22~25 元/m² 计,销售收入约 26 400 元/m³。除去刨切薄竹生产成本 20 000 元/m³,利税为 6 400 元/m³。若投资年产量 1 200 m³ 的薄竹生产线,利税为 768 万元/年。

3 结论

1) 刨切薄竹大幅面工业化生产切实可行,克服了薄竹脆性大、易破损、幅面小等缺陷,拓展了竹材资源精深加工的新途径。刨切薄竹可部分代替珍贵木

材单板,广泛用作家具、人造板等的装饰装修材料,具有很好的市场竞争力和推广应用前景。

2) 刨切薄竹大幅面化生产工艺参数为:拼宽时压力 0.4~0.5 MPa,温度 120~130 ℃,进给速度 35 m/min;接长时压力 0.5~0.7 MPa,温度 110~120 ℃,加压时间 1.5 s,喷湿时间 5 s,冷却时间 0.5 s,进给速度 90~100 m/min。

3) 每 m³ 竹方至少可刨得 0.6 mm 厚的侧拼薄竹 1 200 m² 以上,薄竹的得率较高。

参考文献:

- [1] 张齐生,蒋身学.中国竹材工业面临的机遇与挑战[J].世界竹藤通讯,2003,1(2):1-5.
- [2] 张齐生.中国竹材的工业化利用[M].北京:中国林业出版社,1995.
- [3] 李延军,杜春贵,刘志坤,等.刨切薄竹的发展前景与生产技术[J].林产工业,2003,30(3):36-38.
- [4] 刘志坤,李延军,杜春贵,等.刨切薄竹生产工艺研究[J].浙江林学院学报,2003,20(3):227-231.
- [5] 程瑞香,张齐生.无纺布强化刨切微薄竹生产中应注意的几个问题[J].林产工业,2004,31(6):40-42.
- [6] 杜春贵,刘志坤,李延军,等.刨切薄竹的大幅面化[J].东北林业大学学报,2003,31(6):16-17.

(责任编辑 鲍加芬)

(上接第 3 页)

5) 提高结构材料和木结构建筑的性能。主要是结构材料的加工连接性能和蠕变行为。重点研究木结构建筑节能、耐久性、声和振动、防火和抗震等性能^[12];研究木结构建筑剪力墙和载荷可靠性的问题;建立木结构建造的认证体系和木结构住宅的性能评估体系。

参考文献:

- [1] 任海青,江泽慧,费本华,等.中国现代木结构住宅未来发展之路[J].木材工业,2006,20(2):45-47.
- [2] Proceedings of the 8th world conference on timber engineering V (1)[C].Finland: Finnish Association of Civil Engineers RIL, 2004.
- [3] Proceedings of the 8th world conference on timber engineering V (2)[C].Finland: Finnish Association of Civil Engineers RIL, 2004.
- [4] Proceedings of the 8th world conference on timber engineering V (3)[C].Finland: Finnish Association of Civil Engineers RIL, 2004.
- [5] BOSMANS I, NIGHTINGALE T R T. Modeling structure-borne sound transmission at bolted joints [J]. Canadian Acoustics,

2000,28(3): 98-99.

- [6] QUIRT J D, NIGHTINGALE T R T, HALLIWELL R E. Dealing with flanking transmission in wood framed construction [J]. Canadian Acoustics, 2003,31(3): 52-53.
- [7] FOLIENTE G C. Hysteresis modeling of wood joints and structural system[J]. Journal of Structural Engineering, 1999 the hysteretic response of mechanical connections for structures. Proceeding 1995,121(6):1013-1022.
- [8] CHUI Y H. Application of ribbed-plate theory to predict vibration serviceability of timber floor system[C]. Proceedings of 7th World Conference on Timber Engineering, Malaysia, 2002, Vol 4: 87-93.
- [9] HU L J. Serviceability design criteria for commercial and multi-family floors [C]. Report No. 5 to Canadian Forest Service, Canada: 2002.
- [10] 殷亚方,吕建雄,倪春,等.横向振动方法评估大尺寸规格材静态抗弯弹性性质[J].北京林业大学学报,2005,27(5): 107-110.
- [11] 王戈,费本华,林利民,等.轻型木结构建筑覆板的集中静载性能[J].木材工业,2005,19(4): 9-11.
- [12] 王毅红,蒋建飞,石坚,等.木结构房屋的抗震性能及保护措施[J].工程抗震与加固改造,2004,(5):47-51.

(责任编辑 姜 征)