

综 述

规格材强度性能测试方法的研究进展

龙 超, 吕建雄

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 规格材是现代轻型木结构建筑的主要用材。本文简要阐述了规格材的相关概念、北美分级测试系统的研究进展, 分析了不同测试条件对强度测试值的影响, 结合我国现状, 预测今后规格材强度测试的发展趋势并提出建议。

关键词: 规格材; 强度性能; 分级测试; 研究进展

中图分类号: TS61 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2007)05-0001-04

Progress on the Testing Methods for Mechanical Properties of Dimensional Lumber

LONG Chao, LU Jian-xiong

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry,

Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Dimensional lumber is an important building material in modern lightweight timber frame structure. As a newly introduced building material, research on its properties remain at a preliminary stage in China. The authors first describe the concept of dimensional lumber and the progress of in-grade testing for dimensional lumber in North America. They then analyze the effects of different testing conditions for mechanical properties and predict the trend of testing methods for mechanical properties of dimensional lumber. Finally, the authors make some suggestions for further research for testing methods.

Key words: dimensional lumber; mechanical property; in-grade test; progress

欧洲以及北美的木结构建筑具有悠久的历史, 经历了从传统的原木结构到梁柱木结构, 再到现代轻型木结构的演变, 在结构的可靠性、构件的合理性、使用的舒适性和耐久性以及建造的经济性等方面, 均获得了较大的提升, 从原料制作到建造技术, 整个体系已趋成熟。目前, 采用“平台式”方法建造的新型轻型木结构, 由于具有保温节能、设计布置灵活、健康环保、建造成本低廉、便于实现产业化等特点, 也正成为我国住宅市场的新亮点。对于现代轻型木结构用建材, 特别是规格材的相关研究日益增多, 其中规格材的强度性能最受关注。建立规格材强度测试的评估方法, 已成为优先需要研究解决的基础性问题。

1 规格材的概念

轻型木结构构件用材包括传统的规格材和方材, 以及利用胶黏剂胶接制成的复合工程木材, 其中规格材是木结构的主要用材。按照加拿大锯材分等(NLGA)规则, 规格材是特指名义厚度为 38~89 mm、名义宽度 ≥ 38 mm 的锯材^[1]。

规格材分级通常采用目测和机械应力分级 2 种方法。使用中, 需根据不同结构构件使用时的受力状况, 选用不同等级的规格材。如: 在 NLGA 中规定, 实际截面尺寸为 38 mm $\times$ 89 mm、38 mm $\times$ 140 mm、38 mm $\times$ 184 mm 的规格材被用作墙骨; 38 mm $\times$ (184~286) mm 的精选结构(SS)、No. 1、No. 2、No. 3 等级规格材, 用作搁栅、椽子、组合梁等。

根据森林资源情况不同, 各国对规格材尺寸的规定有所不同。以速生人工林为主要资源的新西兰, 通常对规格材的尺寸进行适当放大。在我国 GB

收稿日期: 2006-10-27; 修改稿: 2007-08-10

基金项目: 国家林业局“林业工程技术标准体系构建”课题(2004DEA70900-1)。

作者简介: 龙超(1978—), 女, 中国林科院木材工业研究所博士研究生。

50005-2003《木结构设计规范》中,根据规格材的14项缺陷指标,规格材被划分为I_c~Ⅶ_c7个等级,并与北美的规格材等级相对应。其中,I_c和Ⅱ_c均可用于对于强度、刚度、外观有较高要求的构件;Ⅲ_c用于对于强度、刚度要求较高、而对外观只有一般要求的构件;Ⅳ_c用于对于强度、刚度要求较高、对外观无要求的普通构件;Ⅴ_c用于墙立柱;Ⅵ_c和Ⅶ_c可作为除上述用途之外的构件。

2 北美分级测试系统的研究进展

目前,结构用规格材强度性能的评估,主要是对足尺构件进行力学测试。其中北美的分级测试系统是国际上普遍接受的先进方法,包括目测分级或机械分级、无损检测及静态足尺强度测试3个主要环节。与传统的无疵小试样测试相比,这种方法能够更好地反映规格材在终端使用环境中所体现的性能,从而改善了木结构设计。

自20世纪30年代以来,北美国家一直是利用无疵、纹理通直的生材小试样的测试数据,来确定木材性质的应力设计值,并计算出较低强度分布的5%拒绝值。然后根据树种组群、通常的载荷持续时间(全部设计载荷时间为10年)、安全性、尺寸、强度比(最小等级特征)、最终使用条件下的含水率、短期载荷持续时间等多种因素,对拒绝值作进一步调整,以达到相应的安全工作应力水平^[2]。

60年代中期,研究人员开始对分级测试进行深入研究,对7万件截面尺寸为38 mm×(89、184、235)mm,不同长度的铁杉-云杉、云杉-松-冷杉规格材试样(约合2.83万m³),进行了弯曲、顺纹拉伸、顺纹压缩性能的破坏性试验。通过建立各种数学模型,确定含水率、加荷速度、温度对于木材强度性能的影响,同时采用新的测试方法和设备,与美国的ASTM方法进行比对。通过大量的数据分析,获得了用于木结构设计中,木材容许应力的性能参数和修正方法。

随着获得足尺木材试样测试数据的增多,由小试样测定的某些木材允许性质,尤其是顺纹拉伸性质遭到质疑^[3]。1968年,ASTM D 245采纳了研究人员的建议,把目测分级木材的拉伸应力值,确定为弯曲应力值的55%。同时,将弯曲应力试件宽度的调整方法纳入其中。

1976年,美国国家森林产品协会(NFPA)的技术顾问委员会与标准主要撰写机构,共同审核了现行的顺纹拉伸数据,得出结论:拉伸应力值应根据木材尺

寸和等级进行适当的折减。但是由于业界一时无法接受因这种变化可能造成的市场冲击,加之与终端客户的交流不充分而未推行。

此后,Masen^[4-5]进行了一系列评估足尺商用结构材实际性能的研究。指出:对于试件应选择具有代表性的商用木材;同时指出:现行结构用锯材的弯曲应力值被高估了25%~35%,传统的含水率调整模型用于商用结构材也有误差。

根据对北美主要商用树种强度测试积累的大量数据,北美国家研制出了便携式现场测试设备,实现了工业化测试。美国和加拿大均采用验证性加荷测试方法,即仅对少量强度较低的试件进行破坏测试,其他未破坏的试件仍然可以继续使用。既提高了规格材的利用率,又改善了结构用规格材强度分布的下限特征,同时兼顾了强度和外观要求,是目前被广泛认可的先进质量控制技术^[6]。但缺点是需要大量的试样测试数据,才具有统计意义。

3 测试条件对强度测试值的影响

3.1 测试方法

王友海等^[7]综合对比ASTM、欧洲标准(EN)、澳大利亚/新西兰联合标准(AS/NZS)和国际标准(ISO)后发现,弯曲、拉伸、压缩性质测试方法的主要区别在于,测试试样的长度和测试区域不同,而二者对强度性能的测试结果影响很大。

Leicester^[8]以横截面尺寸35 mm×90 mm、MSR(机械应力分级,NZS)等级分别为F5、F8的辐射松规格材为对象,根据ASTM、EN、AS/NZS标准,测试静态下MOE、MOR。结果表明:在各种测试方法中,F8等级锯材的强度和刚度平均值以及5%分位值之间差异较小,约为20%左右;ASTM的测试结果介于EN和AS/NZS之间。对于F5等级,ASTM的数据比AS/NZS更接近于EN数据。

Lsaksson等^[9]选用133根挪威云杉规格材,根据其木节的大小以及2种不同类型机械分等的读数,沿木段长度方向,截取4~7个最为薄弱的截面,来确定其弯曲强度。结果表明:尽管各种标准在选择测试锯材截面的方法上不尽相同,但是从统计学角度看,强度测试结果的差异并不显著。

Cheung^[10]测试了截面尺寸为38 mm×(89、140、184、235)mm,共计924根No.1、No.2等级规格材的弯曲强度。结果表明:除38 mm×184 mm的No.1等级规格材以外,按ASTM测定的MOE和

MOR 数值均高于按 EN 测定的数值。

殷亚方^[11]等按照 ASTM D 198 和 ASTM D 4761, 分别测试了实际尺寸为 38 mm×89 mm×3 658 mm 的加拿大云杉-冷杉规格材的静态弯曲弹性模量 E_1 和 E_2 , 并通过横向振动无损检测方法, 检测动态弹性模量 E_w , 据此对静态测试结果进行预测。结果表明, 按两标准测得的 E_1 、 E_2 具有显著的相关性, 利用 E_w 可快速准确地预测 E_1 、 E_2 。

可见, 不同标准中, 弯曲、拉伸、压缩性能的测试方法, 除试样长度及测试区域不同外, 测试速度、变形量测量方法、数据处理方法也会影响性能的测试值。

3.2 尺寸效应

Palka 等^[12]通过采用 4 种不同的跨/高比(12、17、21、25), 对加拿大规格材(含水率为 10%)进行测试。结果表明: 跨/高比对于采用“U 型变形测量设备—yoke”(ASTM)测量方法得到的表观弹性模量的影响很大。在跨/高比小、而 E_b/G 比(E_b 为弯曲弹性模量, G 为剪切弹性模量)较大的情况下尤为明显。并运用剪切应变能方法, 得到在 4 点加荷条件下, 表观弹性模量和跨/高比之间的关系等式。即 E_b/G 的大小取决于木节的数目、尺寸、位置、纹理的倾斜角度以及测量变形的跨度。

Palka^[12]等进行足尺规格材测试时还发现, 在试件几何形状、载荷条件相似的情况下, 强度的对数和尺寸的对数之间不存在线性关系, 与经典的脆性断裂理论正相反。原因在于, 分等规则虽分别限制了规格材窄面和宽面上的木节尺寸, 并在宽度面上限制了最大木节尺寸, 但未考虑厚度面上。而实际上, 在厚度较大的试件中, 无疵木材的面积相对较小。

研究还发现, 试件宽度对于弯曲和拉伸强度的影响程度不同。可能原因: 1) 分等规则的影响。假设弯曲时的破坏仅仅发生在拉伸区域, 则最大降等缺陷(MSRD)位于此破坏区域的概率, 比相应的拉伸试件小, 从而使 MOR 变大; 2) 某些缺陷的限制。如: 限制木节尺寸占全宽的百分比。

Frank^[13]研究了测试长度对于 38 mm×89 mm 规格材的顺纹拉伸强度的影响。通过将控制等级的缺陷放置在测试跨距以内, 来消除不同等级的影响。结果表明: 当测试长度从 2 350 mm 增加到 4 700 mm 时, 在顺纹拉伸强度的 5% 分位点水平, 长度效应因子从 0.877 增大到 0.925; 对于顺纹拉伸强度的平均值, 长度效应因子从 0.934 增大到 0.936。这种长度效应变化在 No. 2 等级中略大于 SS 等级。

在北美的分级测试中, 根据 Weibull 的“最弱连接”理论^[12], 研究了经过目测分等规格材的尺寸和强度性能之间的关系, 在此基础上进一步修正模型, 分析尺寸效应的各向异性, 获得适用于所有等级、树种的北美规格材的尺寸修正因子, 从而建立起各种尺寸的锯材与强度性能之间的联系。

综上所述, 试样的尺寸对于拉伸强度和弯曲强度影响很大, 一般情况下, 随着试样长度、宽度的增加, 拉伸强度和弯曲强度的测试值下降。

3.3 数据分析和对等性

目前, 在进行分级测试数据处理时, 通常采用参数以及非参数 2 种分析方法。其中, 参数方法是对已知的基本种群分布进行假设, 假设的正确与否将直接影响结果的精确性, 因而实际中应用较少; 而非参数方法所需假设数量较少, 可以减少所需的试样数, 同时降低取样工作的难度, 应用相对广泛。但与参数方法相比, 其安全系数偏大。

为有效减少足尺测试的数量, BS EN 384 建议: 如获得了相关性能的非结构尺寸测试数据, 就可以通过 MOR 的特征值、MOE 的平均值以及密度的特征值, 来获得其它强度指标的特征值。其中, 强度特征值基于 75% 置信水平下的 5% 分位点容许估计值; MOE 的特征值基于平均估计值。

由于各个国家标准中所采用的测试方法不同, 测试数据缺乏可比性, 给规格材的生产、使用和设计造成了极大的不便, 并严重影响了规格材的进出口贸易。为了促进各个国家的标准交流互通, ISO 13910 还就某些基本性质建立了与其他标准的对等性关系。

4 研究趋势及建议

目前, 世界上许多国家根据本国木材资源的分布类型和特点, 建立了各自的以足尺构件取代传统无疵小试样的测试方法和标准, 以适应本国对规格材应用技术的要求。如澳大利亚、新西兰、英国, 已制定了与分级测试相配套的目测分级规则和规格材力学性质测试评估标准。

我国规格材强度测试的研究刚刚起步, 虽然制定了 GB/T 50329-2002《木结构试验方法标准》, 但仅仅包括弯曲、短柱压缩条件下的测试方法, 而没有其他性质的测试方法。要制定出既符合我国实际情况, 并可与其他国家直接对比的结构用规格材强度性能的测试方法标准, 今后研究的重点:

1) 探讨目测分等规则。尤其是探讨木节、钝棱、

斜纹理、腐朽等天然缺陷,对于规格材强度性能的影响规律,以及与强度测试方法之间的联系,以指导森林的定向培育。

2) 开展规格材足尺测试方法及应力等级与国际标准对等性的研究,如我国与日本木材强度等级测试方法的对等性研究,可为规格材的进出口贸易消除技术障碍。

3) 探索将机械应力分级与静态强度测试相结合的测试方式。可先通过机械应力分级,快速地测量规格材的动态弯曲弹性模量,以此初步划分规格材的强度等级,然后通过静态压缩、拉伸测试,精确评估其他性能指标,从而实现规格材强度的工业化测试。

4) 研究规格材强度性能的理论预测法。仅根据以往数据趋势和相关理论,不经过任何破坏性测试,预测规格材构件的破坏强度及模式。此外,还可采用外推法,预测其长期力学行为,如蠕变。通过测试规格材吸收功的大小,预测在长期承载条件下规格材的强度,同时综合考虑规格材的短期强度和长期强度。

5) 利用无损检测技术,如激光、应力波、超声波、振动等方法,优选出最适合于评估规格材强度的检测技术;开发便携式无损测试设备,降低检测成本。

6) 建立载荷和强度的标准模型,用于规格材的安全性评估。尤其加大在耐久性和多种破坏形式下,规格材安全性数学建模方面的研究力度。

参考文献:

- [1] Canadian Lumber Standards Accreditation Board, American Lumber Standard Board of Review. Standard grading rules for Canadian lumber [M]. British Columbia, Canada: National Lumber Grades Authority, 2002; 20.
- [2] Doyle D V, Markwardt L J. Properties of Southern Pine in relation to strength grading of dimension lumber [C]. Research Paper FPL 64, Madison, Wisconsin: Forest Product Laboratory, 1966; 11-13.
- [3] Johnson H W, Kunesch R H. Tensile strength of special Douglas-fir and Hem-fir 2-inch dimension lumber [J]. Wood and Fiber, 1975, 6(4): 305-318.
- [4] Masen B. Moisture content-strength relationship for lumber subjected to bending [R]. Structural Res Ser Rept No 11. Vancouver: University of British Columbia, 1975; 24-27.
- [5] Masen B. In-grade Testing; Size investigation on lumber subjected to bending [R]. Structural Res Ser Rept No 15. Vancouver: University of British Columbia, 1976; 57-59.
- [6] Masen B. In-grade testing; problem analysis [J]. Forest Pro J, 1978, 28(4): 42-50.
- [7] Wang Y H, Frank L, Barrett J D, et al. Comparisons of different

test methods on the bending properties of dimension lumber [J]. Forest Pro J, 2005, 55(12): 66-70.

- [8] Leicester R H, Breiting H F, Fordham. Equivalence of in-grade testing standards [D]. Proceedings of CIB-W18-Timber Structure Meeting 29, Ordeaux, France, 1996.
- [9] Isaksson, Thelandersson T S. Effect of standard, length and load configuration on bending strength of structural timber [D]. Proceedings of CIB-W18-Timber Structure Meeting 28, Copenhagen, Denmark, 1995.
- [10] Cheung K. European CEN/US In-grade comparison study [R]. Portland, OR: Res Rept Western Wood Products Association, 1991; 55-59.
- [11] 殷亚方, 吕建雄, 倪春. 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.
- [12] Palka L C, Barrett J D. Effect of span-depth ratio on apparent stiffness of dimension lumber [M] // Canadian Wood Council, Canadian Lumber Properties, 1985; 105-113.
- [13] Frank L, Erol V. Effect of length on the tensile strength of lumber [J]. Forest Pro J, 1990, 40(5): 37-42.

(责任编辑 姜征、赖威)

欢迎订阅 2008 年《林业科学》

《林业科学》是中国林学会主办的林业综合性学术期刊,创刊于 1955 年。在“国家期刊奖”三次评比中,两次荣获“国家期刊奖”,一次获得“国家期刊奖提名奖”。主要刊登林业及相关领域的最新科研成果,反映国家林业建设重点和热点,评述学术动向,开展学术讨论、促进国内外学术交流。

内容包括:森林培育、森林生态、林木遗传育种、森林保护、森林经理、森林与生态环境、生物多样性保护、野生动植物保护与利用、园林植物与观赏园艺、经济林、水土保持与荒漠化治理、林业可持续发展、森林工程、木材科学与技术、林产化工工程、林业经济及林业宏观决策研究等。以学术论文、研究报告、综述为主,还设有学术讨论、研究简报、科技动态、新书评介等栏目。

主要刊登中文论文,同时接受英文稿件(附中文摘要),读者对象为国内外从事林业各个领域研究的科技人员、林业管理干部以及高等院校师生。

月刊,每月 25 日出版,大 16 开,128 页,单价:25 元,全年 300 元。国内外公开发行,刊号:CN 11-1908/S。邮发代号 82-6,也可向编辑部订阅。

地址:北京万寿山后中国林学会《林业科学》编辑部
邮编:100091

电话:010-62889820; 62888579

Email:linyhx@forestry. ac. cn

期刊主页: <http://lyke.chinajournal.net.cn>