

“十一五”国家科技支撑计划专栏

落叶松规格材加工利用技术研究

叶克林, 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: 介绍“十一五”国家科技支撑计划“高强度结构材加工利用技术”课题中, 对我国主要的商品林树种之一——落叶松, 在规格材的优化加工、分级、无损检测、强度性能测试及木构件连接等关键技术研究方面, 取得的重点创新成果。这些成果开创性地解决了我国利用国产资源加工结构用规格材的关键性和共性技术问题, 并且为我国落叶松资源的高效利用, 提供了新的技术途径。

关键词: 落叶松商品林; 规格材; 优化加工; 分级; 无损检测; 强度性能测试; 构件连接

中图分类号: S791.22; TS6 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2010)06-0001-03

Processing and Application Technology Development for Larch Dimensional Lumber

YE Ke-lin, 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: Larch is one of the most important commercial forestry species in China. Research development, processing and application technology for larch dimension lumber was introduced in this paper. Sponsored by the China National Program for Applied Research, this study focused on lumber sawing, drying, grading, non-destructive testing, static testing of mechanical performance and connection. This work initiated construction of the key and common technological platform for processing dimensional lumbers from domestic resources.

Key words: commercial larch forest; dimension lumber; processing optimization; grading; non-destructive testing; mechanical performance testing; connection

我国是全球木材进出口大国也是木材消费大国, 2009年我国主要林产品进口总额达到了250.7亿美元^[1]。随着我国国民经济持续的高速发展, 木材作为基础工业材料的市场需求越来越大, 但我国木材资源供需总量不足与低效利用并存。高效利用现有商品林资源, 是解决我国木材资源加工利用的重要战略方向, 有利于国民经济和社会可持续发展。

木结构建筑是人类智慧的结晶, 健康、抗震和环保。近十年来, 我国现代木结构建筑逐渐兴起, 北美、

欧洲、日本和新西兰等国的木材和木结构房屋生产企业, 利用技术优势和资源优势, 迅速进入我国市场。根据城乡建设部预计, 到2020年, 我国每年将建造约5万栋木结构住宅, 约需50万m³规格材。但目前国内主要的木结构用材和部件完全依靠进口。

落叶松是强度较高的针叶材树种, 且具有良好的耐久性。我国落叶松的分布面积已超过1 050万hm², 蓄积量达到9.2亿m³, 不仅是国内主要的用材林树种, 也是未来我国实施森林战略的重要资源^[2]。但落叶松木材存在纹理扭曲、易开裂、加工困难以及利用率不高等特点, 影响其高效加工利用^[3]。

本研究在“十一五”国家科技支撑计划支持下, 首次大规模、系统地开展了落叶松原木锯解和干燥、规

收稿日期: 2010-10-09

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD18B07)。

作者简介: 叶克林(1956—), 男, 中国林科院木材工业研究所所长, 研究员。

规格材优化加工与分级、规格材在线无损检测、规格材静态强度测试和木构件连接等关键技术的研究,开发了与我国木材加工企业技术水平相适应的高强度结构材加工利用技术,形成了成套的落叶松规格材产品制造技术,以及相应的性能评价体系和标准体系,为培育和发展新型建筑用材这一战略性新兴产业,提供了科技支撑。

1 规格材的优化加工

试验材料选自我国大兴安岭林区生产的兴安落叶松原木,按照落叶松木材的强度变异系数、置信度、规格种类和全尺寸力学性能测试要求计算,共计 454 m³。如此规模的木材全尺寸性能测试,开启了国内之先河。原木采集后陆运至本研究河北霸州试验基地,进行规格材的加工试验。

试验设计了 2 种原木锯解方案:1) 以 SDR(Saw-Dry-Rip, 锯-干-剖) 为核心的毛板下锯法,即将原木锯解成毛板,干燥后再进行纵剖、四面刨光成最终规格材;2) 四面下锯法,即先将原木在跑车带锯上加工成毛方,然后经再剖带锯加工成规格锯材,再经干燥及四面刨光成最终规格材。

通过试验分析了原木的主要参数(长度、宽度、厚度、缺陷)及上述 2 种加工工艺,对 3 种不同尺寸规格材(40 mm×65 mm×4 000 mm、40 mm×90 mm×4 000 mm 和 40 mm×140 mm×4 000 mm)出材率的影响,提出:在原木锯解阶段,宜采用四面下锯法进行初期的优化加工,以提高等内规格材的出材率。

由于落叶松木材的残余生长应力较大,毛板下锯法的锯材尺寸较大,干燥过程中容易发生缺陷,虽然在再剖时能将缺陷去除,但影响出材率;在四面下锯法加工锯材的过程中,木材中的残余生长应力释放较多,在进行干燥时发生的缺陷相对较少。

1 072 个试验数据的统计结果显示,四面下锯法获得等内规格材的出材率,比毛板下锯法等内规格材的出材率提高 3.86%。但在生产实践中,还需严格制定加工工艺,并规范操作^[3]。

本研究依据大量的试验数据,否定了以往国外普遍认为“采用 SDR 技术加工,因锯材的变形小,故规格材的等级率和出材率高”的观点^[4,6],避免了我国在落叶松规格材高效加工利用方面走弯路。本研究所提出的落叶松规格材的优化加工方法,具有较高的创新性和实用性,实现了以低成本创造高价值的木材利用途径。

2 规格材的目测和机械分级

对规格材进行科学、合理的等级划分,不仅可以使木材物尽其用,而且是结构材后期安全使用的重要保障。

国外以往主要采用目测分等,依据分等规则,通过肉眼观测木材的缺陷状况,从而确定规格材的材质等级。目测分等技术在北美地区已成为一种比较成熟和重要的锯材分等体系^[7],但属于“主观性”评估手段,其结果的准确度与从业人员的经验直接相关,机械自动化难度大。

机械应力分级是分等技术的一次革新,更是传统目测分等技术的有益补充。机械应力分级通过建立动态 MOE、静态 MOE 等非破坏性测试指标与强度之间的有效关系,来预测规格材强度特征值^[8],是“客观性”评估手段,一般采取弯曲强度试验机连续测定 MOE,或采取纵向基频振动法获得分等参数。

本研究对经优化加工的约 8 000 根落叶松规格材进行了目测分级、机械分级及后续的强度测试。通过对测试结果的比较分析,确定了落叶松规格材分等的常见缺陷类型,发现节子的影响程度远远高于其他缺陷。依据静态弯曲性能(MOE)测试结果,将落叶松规格材划分为 3 个机械等级,设定了边界条件:M14: $MOE_{静} < 11 \text{ GPa}$, M30: $11 \text{ GPa} \leq MOE_{静} < 17 \text{ GPa}$, M40: $MOE_{静} \geq 17 \text{ GPa}$;其对应的动态弹性模量边界条件为: M14: $MOE_{动} < 13 \text{ GPa}$, M30: $13 \text{ GPa} \leq MOE_{动} < 20 \text{ GPa}$, M40: $MOE_{动} \geq 20 \text{ GPa}$;同时,分析确定了各机械等级规格材对应的抗拉和抗压强度特征值。通过机械分级, M30 和 M40 等级的规格材占 80% 以上。

机械应力分级较目测分级能显著降低规格材强度变异性,并且带来的增值效益更大。以 40 mm×90 mm×4 000 mm 规格材为例,每 m³ 机械应力分级规格材,比目测分级规格材的市场价值高 200 元。

3 规格材的强度性能无损检测

采用无损检测技术快速预测规格材的强度性能,是实现规格材高效利用和可靠分等的重要途径。

本研究采用纵向基频振动、应力波及超声波技术^[9],对分级后的落叶松规格材进行了无损检测,获得了大量数据,对不同等级和尺寸的落叶松规格材建立了动态弹性模量和静态强度性能的关系模型。并且,通过数据系统分析,确定了纵向基频振动、应力波及超声波无损检测技术,评估落叶松规格材强度性能

具有可行性和可靠性。研究表明,采用纵向基频振动方法,预测规格材的静态抗弯弹性模量时的相关性紧密。

在前期开展工作的基础上,本研究还开发了具有自主知识产权的木材无损检测设备——纵向振动检测分析仪。该设备以数字信号处理技术为核心,优化了对频谱信号的分析模式,实现了规格材强度和缺陷的快速检测,并通过能量传递衰减计算功能,为规格材强度评估提供校准;同时嵌入了主动式噪音抑止与波段过滤技术,有效减少了生产环境噪音对检测过程的干扰;并易与不同规格材生产线兼容,实现在线快速检测。该设备通过了中国计量科学研究院的检测认证,其主要技术性能优于同类进口无损检测设备,为无损评价技术的应用提供了软、硬件支持,打破了发达国家在规格材强度性能无损检测技术领域的垄断地位。

4 规格材的强度性能测试与评估

规格材的强度性能评估,直接关系到木结构建筑的安全性和可靠性。本研究借鉴发达国家的经验,结合我国落叶松资源的特点及生产企业的技术水平,通过研究样本数、含水率调整方法、测试装置要求和强度测试过程参数,研建合理的抽样方法和测试方法,确定落叶松规格材的强度特征值评估方法。

强度特征值是指标准状态下,各尺寸不同等级规格材强度的平均值、中位值或75%置信度下5%分位值的下限值。强度特征值是整个强度性能评估的核心,也是木结构设计采用规格材的基础参数。本研究采用平均值表征规格材抗弯弹性模量的特征值,以非参数统计的75%置信度下5%分位值的下限值,来表征抗弯强度、顺纹抗拉强度和顺纹抗压强度的特征值^[10]。同时,本研究首次利用非参数法评估大尺寸落叶松规格材强度特征值,可望取替现行国家标准由无疵小试样推导强度特征值的方法,为今后建立其他树种规格材强度特征值提供了科学方法。通过研究,形成了《结构用规格材强度特征值计算方法指南》和《结构用锯材力学性能试验方法》2项国家标准的报批稿,建立了一套结构用规格材力学强度测试与特征值评价技术体系。

本研究确立的国产落叶松规格材各项强度特征值,均高于同等级进口SPF规格材。因此,随着落叶松规格材生产规模的扩大,有望大幅度减少或部分替代进口材。

5 木结构构件的连接技术

木结构构件通常采用齿板连接。齿板由镀锌薄钢板制成,主要用于轻型木桁架节点连接与木构件的接长。齿板有4种连接构型,即载荷平行木材纹理-齿板长度平行载荷(AA构型)、载荷平行木材纹理-齿板长度垂直载荷(EA构型)、载荷垂直木材纹理-齿板长度平行载荷(AE构型)、载荷垂直木材纹理-齿板长度垂直载荷(EE构型)。

本研究测试了4种构型的齿板节点连接性能构型效应,研究结果显示,AA构型承受拉伸载荷的能力最强;在分析齿板长度、宽度对节点拉伸载荷的影响时发现,齿板宽度增加较长度增加,对提高节点拉伸载荷效果更有效,并提出:对于38 mm×89 mm截面尺寸规格材,75 mm×100 mm和75 mm×125 mm的齿板是比较理想的齿板规格。此外,木材-齿板间隙对齿板节点连接性能有影响,齿板节点极限拉伸载荷和刚度均随着木材-齿板间隙的增大而降低,其中极限拉伸载荷呈二次多项式下降趋势,刚度呈线性下降趋势^[11]。

本研究还根据GB 50005-2003《木结构设计规范》,对不同构造方式的接合节点进行拉伸试验,通过对齿板连接节点基本连接性能的研究,提出了3种进口齿板的改进方案,并使用国产镀锌齿板制作了3种国产齿板。目前,国产齿板的生产速度和生产质量基本上达到了批量生产的要求,且生产成本远低于进口齿板,具有一定的推广潜力。

通过确立国产落叶松规格材之间、规格材与覆板之间的连接方式和技术,开发了适合我国落叶松木材特性的木结构专用金属连接件,形成具有我国特色的木结构建筑连接产品生产和性能评价体系,为木结构建筑特别是木构件连接技术的国产化,提供了重要的技术支持。

6 结语

通过大规模试验,开展了落叶松规格材加工与利用技术研究,建立了一整套结构用规格材产品制造技术以及相应的性能评价与技术标准体系,突破了商品林落叶松木材资源高效利用技术,拓展了商品林木材资源加工产业链,推进了新型建筑用材这一战略性新兴产业的发展。

本研究科学翔实的数据证明,应用上述技术开发我国的落叶松规格材强度性能,完全超过北美进口的

(下转第11页)

这种真空作用大量、快速浸入单板。

常压浸渍时,试件的极限体积膨胀率约10.6%。依据试验经验,当树脂稀释到固体含量为35%时,常压浸渍难以将树脂浸入单板内。当树脂的固体含量为35%~45%时,固体含量每提高5%,试件的极限体积膨胀率减小约1%。但是树脂的固体含量并非越高越好,因为木材细胞腔及细胞间隙吸收树脂的量有限^[7],多余的胶液造成浪费,使生产成本增加。

3 结论

1) 各因子对卫浴用树脂浸渍单板重组材尺寸稳定性影响的主次顺序为:MF树脂浸渍方法、树脂固体含量、热压压力。

2) 当MF树脂固体含量为45%,采用压榨率50%~70%的辊压浸渍,热压压力为1.0 MPa时,单板重组材的极限体积膨胀率为6.2%,比水曲柳实木、栎木实木、白桦胶合板件降低7.1%、6.0%、4.6%。

3) 改性单板重组材的制造工艺参数,可根据板材的最终用途来选择和调整。用作一般室内装修用

材时,可以选择常压浸渍、较低的固体含量(>35%)、热压压力(1.0~1.5 MPa);作为卫浴用材,则宜选择辊压浸渍(压榨率30%~70%)、较高的固体含量(>45%)、热压压力(1.0~1.5 MPa)。

参考文献:

- [1] 郭洪武,李春生,王金陵.染色木材光变色与防止的研究进展[J].木材工业,2007,21(1):12-14.
- [2] 李春生,王金陵,王志同,等.木材染色用计算机配色技术[J].木材工业,2006,20(6):5-7.
- [3] 郭洪武.涂饰染色单板光变色的规律及抑制研究[D].北京:中国林业科学研究院,2006.
- [4] 李春生,王金陵,王志同,等.木材染色用计算机配色技术[J].木材工业,2006,20(6):5-7.
- [5] 陈勇平,王金陵,李春生.杨(桦)木板树脂浸渍调控系统的开发设计[J].林业机械与木工设备,2009,37(10):43-46.
- [6] 陈勇平.树脂浸渍单板重组材的制备与性能研究[D].北京:中国林业科学研究院博士论文,2008.
- [7] 方桂珍,刘一星,崔永志,等.低分子量MF树脂固定杨木压缩木回弹技术的初步研究[J].木材工业,1996,10(4):18-21.

(责任编辑 向琴)

(上接第3页)

SPF结构用规格材,可改变我国木结构建筑用材完全依赖进口的现状;自主研发的木材强度纵向振动检测仪和齿钉齿板,技术指标超过国外同类产品水平;同时,提出了我国结构用规格材强度与弹性模量的特征值,为木结构建筑设计提供了计算依据和更加安全可靠的建筑结构设计值,改写了现有国家标准国产结构用规格材的特征值由无疵小试样力学强度推导而来的历史。

本研究取得的一系列突破性成果,将为我国商品林落叶松及其他商品林资源木材的高效利用开辟一个新的领域,其推广应用可提升我国森林定向培育和木材资源合理、高效利用的水平,产生显著的经济和社会效益。

我国高强度结构用规格材的加工和利用技术的研究还处于起步阶段,建议继续加强对我国其他应用较广树种的研究,扩大和完善结构用规格材加工利用技术的应用范围,加大木质工程结构材料应用技术研究,努力促进我国木结构产业快速发展。

志谢:本文作者对所有参与“十一五”国家科技支撑计划“高强度结构材加工利用技术”课题(2006BAD18B07)的科研人员和研究生付出的辛勤工作表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] 2009年全国主要林产品进出口数据[N/OL].中国绿色时报.(2010-05-12). <http://sjj.forestry.gov.cn/>.
- [2] 雷加富.中国森林资源[M].北京:中国林业出版社,2005.
- [3] 周永东,叶克林.下锯法对落叶松规格材出材率及质量的影响[J].木材工业,2009,23(2):1-3.
- [4] Boone R S, Maeglin R R. High temperature drying of 7/4 yellow-poplar flitches for S-D-R studs[R]. Madison: Forest Prod Lab, 1980.
- [5] Maeglin R R. Could S-D-R be an answer to the aspen oversupply problem? [J]. North Log er and Timber Process, 1979, 27(8): 24-25.
- [6] Daniel C. Live-sawing low-grade red oak logs [J]. Forest Products Journal, 1987, 37(10): 49-52.
- [7] 郭伟,任海青,殷亚方,等.北美规格材目测分等概述[J].世界林业研究,2007,20(5): 57-62.
- [8] 任海青,郭伟,殷亚方.北美规格材机械分等综述[J].世界林业研究,2006,19(3): 66-70.
- [9] 张训亚,殷亚方,罗彬,等.超声波预测落叶松规格材的抗弯性能[J].木材工业,2010,24(3):1-3.
- [10] 赵秀,吕建雄,江京辉.落叶松规格材抗弯性能特征值研究[J].木材工业,2009,23(6):1-4.
- [11] 郭伟,费本华,赵荣军,等.木桁架齿板接合节点连接性能的影响因子[J].木材工业,2010,24(5):1-4.

(责任编辑 向琴)