

“十一五”国家科技支撑计划专栏

落叶松规格材机械应力分等方法的研究

王朝晖, 任海青, 骆秀琴, 周海宾

(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: 对东北人工林落叶松规格材机械分等方法及其特征值进行了研究。结果表明, 抗弯弹性模量与抗弯强度相关性较好, 纵向振动法可作为落叶松规格材机械分等的有效方法。按照我国 GB 50005-2003《木结构设计规范》的规定, 落叶松规格材可归类为 M14~M35 之间的等级; 通过机械分等, 大大提高了落叶松规格材的强度设计值。

关键词: 规格材; 落叶松; 机械应力分等

中图分类号: S791.22; TS6; TU531.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2009)03-0001-04

Mechanical Stress Grading of Larch Dimension Lumber from Northeastern China

WANG Zhao-hui, REN Hai-qing, LUO Xiu-qin, ZHOU Hai-bin

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

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

Abstract: In this research, the vibration method was used to evaluate the mechanical properties of dahurian larch (*Larix gmelini*), a major softwood species that grows in the Northeastern China. The results showed a good relationship between bending strength and modulus of elasticity(MOE). The good correlation of dynamic (from the vibration test) and static MOE indicated that vibration could be used as an effective mechanical stress grading tool for larch lumber. Lumber was sorted into four grades: M22, M26, M30, and M35 using mechanical stress grading. The grades were equivalent to the European machine grade of C22, C26, C30, and C35, respectively. It was found that through mechanical grading; the graded lumber had a higher design value than the existing general design value of domestic larch according to GB 50005-2003.

Key words: dimension lumber; dahurian larch; mechanical stress grading (MSG)

机械分等,是指采用机械分等设备,对规格材进行非破坏性测试,并按照测定结果,确定木材的机械强度等级。在国外,机械分等的规格材被广泛用于建筑工程中。

落叶松主要分布于俄罗斯东部、蒙古东北部、我国东北和北朝鲜,是世界上分布最北、耐寒的树种之一,也是针叶树种中强度较大、耐腐蚀性较强的树种。作为

我国东北地区主要的用材树种,落叶松经过长期自然选择的优势进化,广泛用于建筑结构、包装、土木、结构胶合板及家具生产等,是我国发展木结构建筑的重要资源树种。美国学者曾对落叶松规格材的分等进行了系列研究^[1],我国仅进行过规格材机械分等原理和方法的相关研究^[2],并于2003年进行了我国杉木规格材机械分等测试方法的初步研究^[3-4]。

本项目是杉木机械分等研究的延续,通过“十一五”国家科技支撑项目,系统评价我国东北落叶松的机械分等方法及其特征值(5%下限分位值),确定其强度等级,为今后落叶松材在木结构建筑中的合理、安全、高效应用,提供理论与技术支持。

收稿日期: 2009-03-02; 修改日期: 2009-04-07

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目“高强度结构材加工利用技术”(2006BAD18B07)。

作者简介: 王朝晖(1970—),男,中国林科院木材工业研究所副研究员,博士。

通讯作者: 任海青,女,中国林科院木材工业研究所研究员。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

落叶松(*Larix gmelini*):采自东北大兴安岭地区的2个采集点,以消除位置差异对材质的影响。本试验主要测定塔河县盘古采集点的试样。原木直径分布见表1,由河北霸州试验基地加工成毛坯,干燥后刨光,加工成标准尺寸的规格材。

表1 试验用原木的径级分布及材积

Tab. 1 Average diameter and volume of Larch logs for mechanical stress grading		直径/cm									
原木		16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
数量/根	1	58	58	43	35	30	21	17	2	4	
材积/m ³	0.106	7.656	9.28	8.213	7.875	7.86	6.342	5.848	0.778	1.748	

首先,经目测分等分为Ⅰ_c、Ⅱ_c、Ⅲ_c和Ⅳ_c4个等级,选取Ⅰ_c、Ⅱ_c、Ⅲ_c3个等级的规格材(截面尺寸40 mm×90 mm)进行强度测试,分析其机械应力分等方法及其特征值。

1.2 试验方法

1) 采用敲击规格材横断面,获得共振频率的方法,测量其密度,计算动态弹性模量(MOE_动)。

2) 依据GB 50329-2002《木结构试验方法标准》规定的跨/高比=18、窄边加载的测试方法,测试静态抗弯弹性模量(MOE_静)与抗弯强度(MOR)(*h*=90 mm)。最大目测降等缺陷与受拉面置于全跨度内的随机位置。

3) 测试结束后,截取全尺寸试样测量含水率。

2 结果与讨论

2.1 机械应力分等的原理和方法

一般而言,木材强度随着弹性模量(MOE)的增加而增加,机械分等就是通过建立MOE_动、MOE_静、密度等非破坏性测试指标与强度之间的有效关系,预测规格材的强度特征值。常用弯曲机连续测定MOE和敲击木材横断面的纵向振动法二种测定法,但2种方法均需与目测分等并用。

机械应力分等规格材常用标记方法:

- 1) 以强度特征值为标记符号,以欧洲、中国为代表;
- 2) 以平均MOE为标记符号,以日本、澳大利亚等为代表;
- 3) 以容许应力值和平均MOE为标记符号,如北美。

机械分等规格材生产质量的控制方式:

1) 机器或前端控制(machine or input control):在树种或树种群的MOE与强度关系明确的前提下,可根据测试结果直接确定规格材的等级。通常以平

均模量为特征值,然后查阅标准,获得该等级的强度特征值。这种方法需要以长期而广泛的MOE与强度关系的试验结果为基础,并按照标准程序,进行严格的初始型式检验和定期检验。如检验不合格则降等。一般不允许调整生产现场分等设备的设置,不得改变等级区分的界限值,因为其界限值通常以标准的形式发布,必须严格遵守。该方法主要在欧洲、日本、大洋洲使用。

2) 终端控制(output control):在生产中随机抽取试样,进行弯曲破坏试验,根据试验结果,及时调整生产现场的机械等级区分界限值。该方法主要应用于北美和部分欧洲国家。

前端控制的界限值基本固定,容易执行,但灵活性差;终端控制可以根据实际情况调整界限值,但生产厂家需具有较高的诚信度。但2种控制方式都是为了尽可能提高规格材等级,同时将误判的风险减到最低。

2.2 落叶松规格材的强度测试

足尺试样,指试样尺寸与实际使用的木构件尺寸基本相当。足尺试样弯曲强度试验结果见表2,基本超过北美NLGA^[5]中1800Fb-1.6E应力等级锯材的弯曲强度特征值(26.10 MPa);目测分等结果见表3。

表2 足尺试样的弯曲试验结果

Tab. 2 Bending properties of larch lumber tested in full size

指标	最大荷载/kN	MOR/MPa	MOE _静 /GPa	MOE _动 /GPa	年轮宽度/mm	气干密度/(g·cm ⁻³)	含水率/%
平均值	12.73	62.30	13.76	15.10	1.51	0.63	12.06
标准差	4.29	21.21	2.53	2.62	0.75	0.07	0.92
cov/%	33.71	34.05	18.39	17.35	4.95	10.95	7.61
最小值	4.00	19.40	6.65	8.71	0.58	0.47	9.91
最大值	23.42	113.16	20.46	23.11	3.93	0.81	14.71
特征值 _{5th}		27.53	9.67			0.514	

注:样本数*n*=160,cov—变异系数,下同。

表3 目测分等的足尺试样弯曲试验结果

Tab. 3 Bending properties of larch lumber using visual grading method

目测等级	MOE			MOR			UTS _{5th} /MPa	UCS _{5th} /MPa
	平均/GPa	cov/%	MOE _{5th} /GPa	平均/MPa	cov/%	MOR _{5th} /MPa		
Ⅰ _c	14.8	17.1	9.8	69.5	29.9	37.5	22.4	31.4
Ⅱ _c	12.7	14.4	9.0	54.0	36.4	27.5	17.8	26.4
Ⅲ _c	13.1	18.9	9.3	58.7	34.0	26.9	14.4	27.1

注:MOE_{5th}—MOE的5%下限值,MOR_{5th}—MOR的5%下限值,UTS_{5th}—抗拉强度的5%下限值,UCS_{5th}—抗压强度的5%下限值,以下同。

图 1~3 显示,MOE 与 MOR 的相关性,明显高于密度与 MOR 的关系;而足尺窄边 MOE_静 与 MOR 的相关性,高于 MOE_动 与 MOR 相关性。

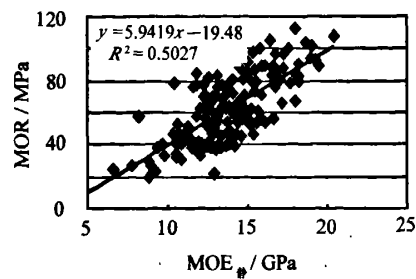


图 1 足尺窄边试件的 MOE_静 与 MOR 的关系
Fig. 1 Relationship between static edge-wise MOE and MOR

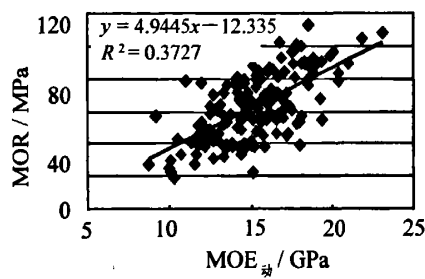


图 2 试件的 MOE_动 与 MOR 的关系
Fig. 2 Relationship between dynamic MOE and MOR

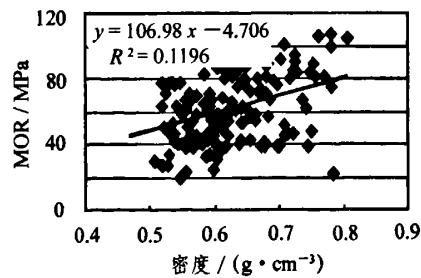


图 3 试件气干密度与 MOR 的关系
Fig. 3 Relationship between density and MOR

图 4 显示,MOE_动 与足尺窄边 MOE_静 具有良好的相关性,MOE_动 比 MOE_静 略高,理论上可利用 MOE_动 作为落叶松规格材机械应力分等的测试指标。

2.3 落叶松规格材的机械分等强度

现行的 GB 50005-2003《木材结构设计规范》(2005 版)中,已列有我国与其他国家机械分等等级的对应表,并给出我国机械分等的设计值,但未发布机械分等特征值。北美机械分等等级与各国等级特征值的对应关系见表 4^[6],需要指出,在测量 MOE 和 MOR 时,欧洲标准要求最大目测等缺陷,尽可能置于 2 个加载

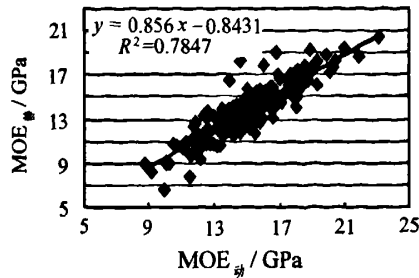


图 4 试件的 MOE_动 与足尺窄边 MOE_静 关系
Fig. 4 Relationship between dynamic MOE and static edge-wise MOE

表 4 结构材机械应力等级对应

Tab. 4 Different machine grades and their specifications used by China and other countries

北美 NLGA	欧洲 CEN	中国 GB	抗弯强度 特征值/MPa	平均模量/ GPa
		M10	10	8
1200f-1.2E	C14	M14	14	8.8
1450f-1.3E	C18	M18	18	9.6
1650f-1.5E	C22	M22	22	10
1950f-1.7E	C26	M26	26	11
2400f-1.7E	C30	M30	30	12
2700f-2.2E	C35	M35	35	13
2850f-2.3E	C40	M40	40	14

头之间;而北美标准则要求,最大缺陷在跨距内随机放置。不能简单地欧洲与北美标准的数据直接对应。

采用纵向振动法,以 MOE_动 为测试指标,将落叶松规格材划分为 4 个等级(见表 5),其中 M26、M35 和 M40 占 80% 以上。

划分等级的原则是,尽可能增加高等级规格材的比例,但这样会造成等级区间内的不连续。本研究按照非参数法确定 MOR 特征值^[7],以最低序列强度实测值,作为强度特征值。

试验结果表明,本次试验所用试材的材质较好,随着等级的提高,MOR 的变异性降低,不同等级间密度差异不大;但是 M40 的密度明显高于其他等级,说明密度也是影响机械应力等级的重要因素之一。

由表 5 还可看出,该分等法可将 M26、M35 和 M40 等级规格材窄边 MOE 的变异系数控制在 10% 左右。说明纵向振动法是一种有效的机械分等方法。

由于窄边试件 MOE 的测试有跨/高比的要求,仅适用于试验室中,在工业化生产中很难应用。在本研究中,根据窄边 MOE 的实测值,MOE 区分边界条件和表 5 相似,将落叶松规格材区分为 M18、M30、M40 等级(表 6),尽可能增加 M40 等级的比率。

表 5 以 MOE_中 为区分等级指标的落叶松规格材机械应力分等及其特征值
Tab. 5 Different grades, and their characteristic values, of larch lumber based on dynamic MOE values

等级	MOE			MOR			密度 _{5th} / (g·cm ⁻³)	IP (MOE _中)	数量/ 根	比率/ %
	均值/ GPa	cov/ %	MOE _{5th} / GPa	均值/ MPa	cov/ %	MOR _{5th} / MPa				
M18	10.10	16.4	7.2	41.1	40.0	19.4	0.490	<12	19	11.9
M26	12.40	10.5	10.2	56.0	31.4	31.8	0.510	{12,14.5}	47	29.4
M35	13.67	9.4	11.6	59.7	29.9	38.3	0.519	{14.5,16}	39	24.4
M40	16.26	10.0	13.5	76.9	23.7	46.2	0.553	≥16	55	34.4

注:IP—界限指标(Indicating Property),密度_{5th}—密度的5%下限值,下同。

表 6 以窄边 MOE 为区分等级指标的落叶松规格材机械应力分等及其特征值
Tab. 6 Different grades, and their characteristic values, of larch lumber based on edge-wise MOE values

等级	MOE			MOR			密度 _{5th} / (g·cm ⁻³)	IP (MOE _窄)	数量/ 根	比率/ %
	均值/ GPa	cov/ %	MOE _{5th} / GPa	均值/ MPa	cov/ %	MOR _{5th} / MPa				
M18	10.5	12.3	8.3	43.8	36.2	19.4	0.497	<12	35	21.9
M30	13.2	5.3	12.1	58.4	28.6	37.1	0.510	{12,14.5}	67	41.9
M40	16.4	8.8	14.2	78.0	22.2	52.3	0.559	≥14.5	58	36.3

表 6 显示,机械分等降低了规格材 MOR 的变异性,高等级规格材,如 M40 的 MOR 的变异性减至 20%左右。而目测分等中,同一等级的 MOR 变异系数通常为 30%左右。机械分等可提高高等级规格材的强度特征值和强度安全系数。

GB 50005-2003(2005 版)规定,轻型木结构用进口花旗松-落叶松类(南部)目测分等规格材 I。等级,其 MOR 设计值为 16 MPa,换算为 40 mm×90 mm 的规格,为 24 MPa;普通木结构用落叶松 MOR 设计值为 17 MPa。通过本研究的机械应力等级分等方法,大大提高了落叶松规格材的强度设计值,参考 GB 50005-2003(2005 版)规定 M26、M30、M35、M40 的设计值,分别达到了 21、25、29、33 MPa;通过有效的测试手段和分等方法,将变异性较大的规格材剔除,使其余的规格材强度变异性下降和特征值上升。

本试验仅针对 40 mm×90 mm 的落叶松规格材,更大尺寸的规格材,其强度会有所降低,通常须将试验结果换算为宽度为 150 mm 规格材的强度值。

鉴于本试验的样本尚不够大,还需要附加强度值的降低系数;规格材边节缺陷对于机械等级的影响,还有待评估;不同尺寸落叶松规格材机械分等强度和测试指标的模型,也有待于进一步研究建立。

考虑分等边界的富余度,将落叶松规格材归为 M14~M35 中的 3~4 个等级较为合理。

3 结论

1) MOE 与强度相关性较好,其中以窄边 MOE_窄 与 MOR 的相关系数最高,而 MOE_中 与窄边 MOE_窄 也具有相当高的相关性。

2) 纵向振动法可作为落叶松规格材机械分等的有效方法。

3) 密度也是影响落叶松规格材强度的重要指标,高等级规格材如 M40,通常其密度也较高。

4) 本研究范围内,通过机械分等方法可生产出 M22,M26,M30,M35,M40 等较高等级的规格材,M40 占 30%以上。

参考文献:

[1] Rakesh Gupta, Robert L Ethington. General physical characteristics of dahurian larch (Larix dahurica) from the Russian far east [J]. Forest Products Journal, 1996, 46(4): 90-93.
[2] 王永维,龙卫国,杨学兵.规格材机械分级方法的研究[J].四川建筑科学研究,2005,31(6):3-8.
[3] 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.
[4] WANG Zhaohui, REN Haiqing, LUO Xiuqin, et al. Mechanically grading of lumber of Chinese Fir[C]//International Symposium on Wood Science and Technology, Harbin, China, 2008: 211-212.
[5] SPS 2-2003-NLGA, Special products standard for machine graded lumber[S].
[6] John C F Walker. Primary wood processing - principles and practice [M]. Gremar: Springer, 2006: 339-390.
[7] ASTM D2915-98, Standard practice for evaluating allowable properties for grades of structural lumber[S].

(责任编辑 姜 征、张一萍)