

落叶松规格材足尺弯曲性质研究

娄万里¹, 王朝晖¹, 骆秀琴¹, 郭伟², 任海青^{1*}

(1. 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;

2. 国家林业局北京林业机械研究所, 北京 100029)

摘要: 参照 GB 50329-2002《木结构试验方法标准》对经过目测分级的 2 种尺寸(截面尺寸为 40 mm×90 mm 和 40 mm×140 mm, 长度均为 4 000 mm)兴安落叶松规格材进行了静态弯曲试验, 测试了其抗弯弹性模量(MOE)和抗弯强度(MOR)。结果表明: 40 mm×90 mm 和 40 mm×140 mm 两种规格材 I c、II c 和 III c 等级的 MOE 平均值分别为 15.0、13.0、13.2 和 15.7、14.0、15.6 GPa; 40 mm×90 mm 规格材 I c、II c 和 III c 等级 MOR 的特征值(5%分位值)分别为 37.5、26.72 和 24.85 MPa, 40 mm×140 mm 规格材 I c、III c 等级 MOR 的特征值(5%分位值)为 27.95 和 24.2 MPa; I c 等级的力学强度特征值明显高于 II c 和 III c 等级; 落叶松规格材的 MOR、MOE 的相关性较好。落叶松规格材足尺弯曲力学性质研究可以为国产结构材的分级技术提供依据, 也为国产结构材的设计应用提供参数。

关键词: 规格材; 足尺测试; 弹性模量; 静曲强度

中图分类号: S781

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2011)02-0185-05

Full-size bending mechanical properties of Dahurian larch dimension lumber

LOU Wan-li¹, WANG Zhao-hui¹, LUO Xiu-qin¹, GUO Wei², REN Hai-qing¹

(1. Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091; 2. Beijing Forestry Machinery Research Institute, State Forestry Administration, Beijing 100029)

Abstract: Two groups of full-size Dahurian larch (*Larix gmelini*) dimension lumber, which were visually graded, with different dimensions of 40 mm×90 mm×4 000 mm and 40 mm×140 mm×4 000 mm, had been edge-wise bending tested to get the modulus of elasticity(MOE) and modulus of rupture(MOR) according to Chinese Standard GB 50329-2002. The results showed that: 1) the MOE average values of 40×90 and 40×140 dimension lumber I c, II c and III c were 15.0, 13.0, 13.2 and 15.7, 14.0, 15.6 GPa; the MOR characteristic values of 40×90 dimension lumber I c, II c and III c were 37.5, 26.72 and 24.85 MPa; the MOR characteristic values of 40×140 dimension lumber I c and III c were 27.95 and 24.2 MPa; 2) I c grade presented higher mechanical properties as compared with other grades; 3) The results showed a good relationship between MOR and MOE. The study of full-size larch dimension lumber bending mechanical properties provided a basis for the grading technology of domestic structural materials; it also provided parameters for structural material design applications.

Key words: dimension lumber; full-size test; modulus of elasticity; modulus of rupture

规格材是作为结构材料使用的一类锯材, 主要用在轻型木结构中。规格材必须经过等级划分, 才能用于木结构设计, 成为商品进入市场, 其中对接近于实际构件尺寸的材料进行足尺力学测试则是等级划分和评估规格材力学性质最直接、准确方法^[1]。

足尺测试主要包括弯曲、拉伸、压缩和剪切测试, 其中弯曲测试得到的抗弯弹性模量(MOE)与抗弯强度(MOR)是规格材分级与结构性能评估的重要指标。

规格材强度性质及相互关系是等级划分的依

收稿日期: 2010-08-04

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD18B07)和林业公益性行业专项(200704013)共同资助。

作者简介: 娄万里, 男, 硕士研究生。E-mail: louwanlifirst@126.com

* 通讯作者: 任海青, 女, 研究员, 博士生导师。E-mail: renhq@caf.ac.cn

据。20世纪70年代国外就开始了规格材强度性质及分级的研究,主要是对规格材强度性质的测试方法^[2]及强度性质的影响因素^[3-4]进行研究,制订了较为成熟的标准规范,建立了相对完善的分级体系;我国关于规格材的研究起步较晚,王永维等^[5]对规格材的机械分等原理和方法进行了相关的研究,中国林业科学研究所的学者已经对人工林杉木的规格材^[6-8]和落叶松规格材^[9-10]进行了全面系统的研究。近几年我国在木结构方面的研究已经呈现出飞跃式的发展,国内关于结构用规格材的研究报道越来越多,将会强有力地推动我国木质结构建筑材料产业的发展。

落叶松具有生长速度快、强度等级高、耐腐蚀性强等特点,广泛用于建筑结构、包装及结构胶合板等领域,是我国发展木结构建筑的重要资源树种。本文以兴安落叶松为研究对象,通过对实际中较常用的两种尺寸规格材的足尺弯曲力学测试,研究落叶松规格材的弯曲力学性能,比较两种尺寸规格材 MOE 与 MOR 分布情况及 MOE 与 MOR 的相关

性,为落叶松规格材的分级技术提供测试数据和可行性建议,同时为其在建筑中的安全、合理和高效应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

兴安落叶松(*Larix gmelinii*),采自黑龙江省塔河林业局,原木径级 16~34 cm,树龄 35 a 以上,从树干基部向上截取满足径级要求的原木试材,长度为 4.0m。采用四面下锯法,将原木加工成毛方,然后经再剖带锯,将毛方加工成齐边锯材。干燥后用四面刨将锯材加工成长度均为 4 000 mm,截面尺寸 40 mm×90 mm 和 40 mm×140 mm 的两种尺寸规格材。依据 GB 50005-2005《木结构设计规范》中的轻型木结构用规格材材质标准,根据木材的自然生长缺陷、干燥缺陷和加工缺陷,将规格材分为 I c、II c、III c、IV c 和等外材五个等级。选取其中的 I c、II c 和 III c 3 个等级规格材进行足尺弯曲强度测试。目测分级结果详见表 1。

表 1 两种尺寸规格材目测分级结果统计

Table 1 Visual grading statistical results of two types of dimension lumber

试样尺寸(mm×mm) Specimen size	等级 Grade			数量/根 Total
	I c	II c	III c	
40×90	273	106	134	513
40×140	146	10	62	218

1.2 方法

依据 GB 50329-2002《木结构试验方法标准》,采用三分点方式加载(四点弯曲),在距端部支点等距的两点处加载,跨距为试样标准高度的 18 倍,随机选择拉伸边。测试前确定每根规格材的最大强度降低缺陷(maximum strength reducing defect,简称 MSRD),MSRD 应随机位于整个测试跨距范围内。测试结束后,在试样破坏处附近截取含水率片,测量试样的含水率。

2 结果与分析

2.1 规格材弯曲性质测试结果

采用侧向加载的方式对 40×90 和 40×140 两种尺寸落叶松规格材进行了足尺弯曲测试,各目测等级弯曲性质的测试结果如表 2 所示。

表 2 中 MOE 和 MOR 的 5% 分位值是通过公式法^[11]计算得到的。由表 2 中 MOR 的变异系数为 34.4%~47.9% 和 MOE 的变异系数为 15.2%~23.0% 可知,MOR 的数据离散度较 MOE 大,数据较为分

散;在两种尺寸规格材中,I c 等级 MOR 的特征值明显高于 II c 和 III c 等级,而 MOE 的平均值则略有提高,测试结果表明经过目测分级得到的 I c 等级弯曲性质的特征值明显高于未分等前的状态,加上 I c 等级规格材的数量较多(两种尺寸规格材 I c 等级的比例均在 50% 以上),证明目测分级技术可以大大提高规格材的强度设计值。此外,本研究中两种尺寸落叶松规格材 MOR 的 5% 分位值的变化趋势与云杉-松木-杉木(SPF)的变化趋势^[12]相一致。

2.2 规格材弯曲性质目测等级间差异

图 1~4 是两种尺寸落叶松规格材的 MOR 和 MOE 累积分布统计情况。

从图 1 和图 3 可看出,40×90 规格材 I c 等级的 MOE、MOR 明显高于 II c、III c 两个等级,而 II c 和 III c 两个等级弯曲性质的累积分布相似;在图 2 和图 4 中,40×140 规格材 I c 等级和 III c 等级的 MOE、MOR 的累积分布相近,I c 等级的弯曲性质略高于 III c 等级,而 II c 等级弯曲性质的累积分布变化较大的原因是弯曲测试时该等级的试样数较少,

导致数据的代表性不强, 不能作为分析的依据, 在今后的研究中需要考虑增加试样的数量, 以保证数据的可靠性。

表 2 落叶松规格材足尺弯曲测试结果统计
Table 2 Statistical results of larch dimension lumber full-size bending test

试样尺寸 (mm×mm) Specimen size	等级 Grade	MOE/GPa				MOR/MPa			
		平均值 Mean	5%分位值 5th	标准差 SD	变异系数/% CV	平均值 Mean	5%分位值 5th	标准差 SD	变异系数 /% CV
40×90	I c	15.0	9.92	3.02	20.1	75.1	37.50	25.85	34.4
	II c	13.0	8.96	2.57	19.7	53.6	26.72	21.60	40.3
	IIIc	13.2	9.35	3.04	23.0	55.6	24.85	21.40	38.5
	总体 Total	14.2	9.17	3.08	21.8	65.5	28.95	25.95	39.6
40×140	I c	15.7	11.41	2.38	15.2	60.4	27.95	21.80	36.1
	II c	14.0	11.27	2.92	20.9	45.1	—	21.61	47.9
	IIIc	15.6	11.29	3.02	19.4	54.6	24.20	23.37	42.8
	总体 Total	15.6	11.30	2.61	16.8	58.0	27.67	22.48	38.7

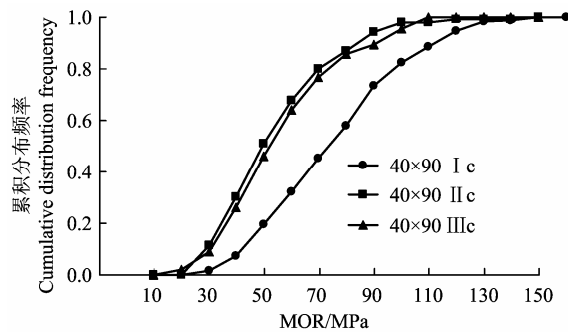


图 1 40×90 各目测等级 MOR 的累积分布

Figure 1 MOR cumulative distributions of 40×90 various visual grades

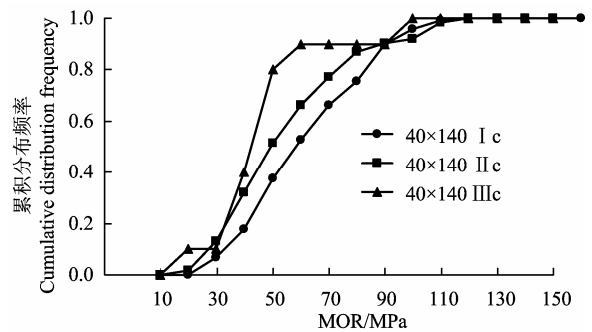


图 2 40×140 各目测等级 MOR 的累积分布

Figure 2 MOR cumulative distributions of 40×140 various visual grades

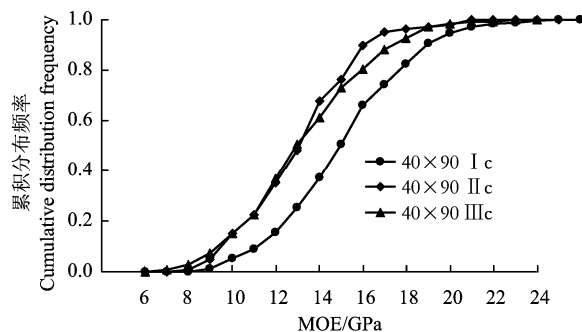


图 3 40×90 各目测等级 MOE 的累积分布

Figure 3 MOE cumulative distributions of 40×90 various visual grades

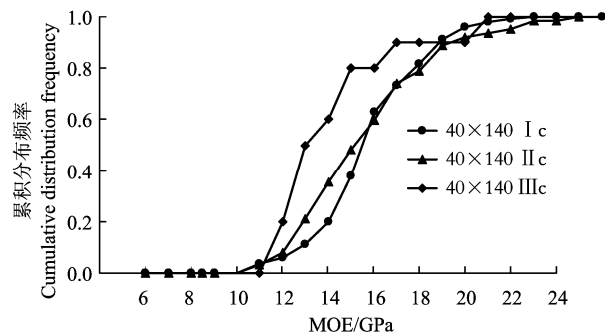


图 4 40×140 各目测等级 MOE 的累积分布

Figure 4 MOE cumulative distributions of 40×140 various visual grades

由图 1~4 还可以看出, 在弯曲性质的一些区间内, IIIc 等级的 MOR 和 MOE 略高于 IIc 等级, 此现象与依据分级规则 IIc 等级的力学性能值要高于 IIIc 等级的设定不一致, 但与一些关于加拿大的花

旗松和铁杉弯曲性质的研究结果^[13]相类似。分析上述现象, 认为与前期的目测分级中各目测等级的最主要降等缺陷有关。参考落叶松规格材的目测分级结果^[14], 在 40×90 和 40×140 两种尺寸规格材中,

II c 等级的最主要降等缺陷均是节子，比例分别 95.27%和 76.40%；IIIc 等级中，40×90 规格材的主要降等缺陷是轮裂/干裂(34.69%)和节子(26.67%)，漏刨(31.47%)和轮裂/干裂(31.22%)是 40×140 规格材的主要降等缺陷。文献表明，节子对强度的影响

非常显著，尤其是位于拉伸边的节子会明显降低强度，影响程度高于漏刨和裂纹，本研究中IIIc 等级的 MOR 和 MOE 略高于II c 等级，原因也是如此。

对两种尺寸规格材各目测等级的弯曲性质进行了单因素方差分析，结果如表 3 所示。

表 3 两种尺寸规格材弯曲性质的方差分析

Table 3 Analysis of variance of bending properties of two types dimension lumber

尺寸规格 Sample size	性质 Property	差异源 Source	SS	df	MS	F	P-value	显著性 Significance
40×90 (mm×mm)	MOR	I c 与 II c	35 093.05	1	35 093.05	57.339 5	2.85E-13	*
		I c 与 IIIc	34 189.67	1	34 189.67	57.069 47	2.83E-13	*
	MOE	II c 与 IIIc	221.629 2	1	221.629 2	0.479 967	0.489113	
		I c 与 II c	305.0126	1	305.012 6	36.124 4	4.37E-09	*
40×140 (mm×mm)	MOR	I c 与 IIIc	289.819	1	289.819	31.547 45	3.62E-08	*
		II c 与 IIIc	2.439 199	1	2.439 199	0.301 008	0.583765	
	MOE	I c 与 IIIc	1 483.588	1	1 483.588	2.990 659	0.085244	
		I c 与 IIIc	0.647 359	1	0.647 359	0.096 927	0.755863	

注：*表示在 0.05 水平差异显著。Note: * means significant difference at 0.05 level.

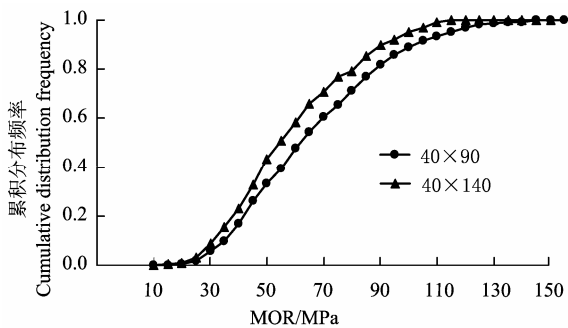


图 5 40×90 和 40×140 MOR 的累积分布

Figure 5 MOR cumulative distributions of 40×90 and 40×140

通过表 3 可以得知，40×90 规格材 I c 等级的 MOR、MOE 与 II c、IIIc 两个等级弯曲性质间的差异极显著，而 II c 和 IIIc 两个等级之间弯曲性质的差异不显著；在 40×140 规格材中，I c 等级与 IIIc 等级之间弯曲性质的差异不显著。

2.3 规格材弯曲性质的尺寸效应

规格材的强度性质会随着试样尺寸的变化而发生改变。本文分析比较了两种尺寸规格材的弯曲性质，以期得到规格材弯曲性质与尺寸的变化规律。图 5~6 反映的是 40×90 和 40×140 两种尺寸规格材总体的 MOR 和 MOE 的累积分布统计情况。

从图 5 可以看出，40×90 规格材的 MOR 要高于 40×140 规格材，分析原因认为随着规格材宽度的增加，缺陷的类型和比例均会有所增加，无疵材

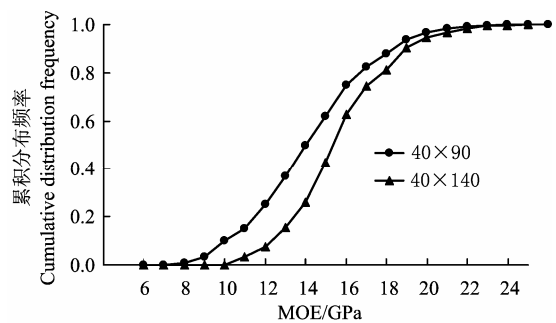


图 6 40×90 和 40×140 MOE 的累积分布

Figure 6 MOE cumulative distributions of 40×90 and 40×140

的比例相对减少，而缺陷会不同程度的降低规格材强度，故 40×140 规格材的 MOR 值要低于 40×90 规格材；而在图 6 中，40×140 规格材的 MOE 要高于 40×90 规格材。一般来讲，随着规格材宽度的增加，其 MOE 值则下降，因本试验所用的落叶松径级较小，对同一径级原木而言，随着规格材宽度的增加，较宽尺寸的试样包含更多的靠近树皮的成熟材，导致宽度大的试样的 MOE 值略大于宽度小的。不同宽度规格材 MOE 的具体差异及影响因素有待于进一步验证。

2.4 规格材弯曲性质的相关性分析

规格材强度性质间关系是构建强度性能评价体系的基础。静态弯曲测试得到的抗弯弹性模量和抗弯强度是一一对应的，为实现无损检测的目的，通

常利用规格材的抗弯弹性模量来预测规格材的抗弯强度, 根据非破坏性试验得到的数据和相关理论, 预测规格材构件的破坏强度和模式, 从而提高结构用材质的利用效率, 节约成本。抗弯弹性模量与抗弯强度间的关系是设定机械分级锯材力学性质的基础。两种尺寸落叶松规格材的 MOR 与 MOE 的相关性如图 7 所示。

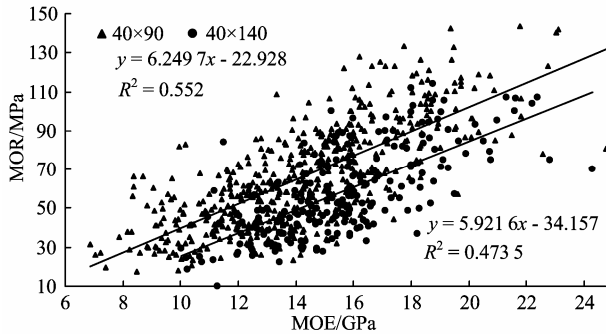


图 7 40×90 和 40×140 的 MOR-MOE 相关关系

Figure 7 Relationships between MOR and MOE for 40×90 and 40×140

两种尺寸落叶松规格材的 MOR 与 MOE 相关性分析表明: 落叶松规格材的 MOR 与 MOE 具有很好的相关性, 在 0.05 水平显著相关, 这与其他学者^[9,15]对落叶松的研究结果相类似, 且 40×90 规格材的决定系数(0.552)要略高于 40×140 规格材的决定系数(0.473 5)。利用图 7 得到的回归方程, 可以通过 MOE 预测 MOR, 进而达到利用非破坏性试验数据来预测构件破坏强度的目的。MOR 与 MOE 的相关性还可以提高机械分级系统的可靠性, 为机械分级等级界限的设定提供参考依据。

3 结论

(1) 目测分级技术可以提高规格材的强度设计值;

(2) 40×90 规格材 I c 等级的 MOE、MOR 明显高于 II c、III c 两个等级, 差异显著, 而 II c 和 III c 两个等级弯曲性质的累积分布相似, 差异不显著; 40×140 规格材 I c 等级和 III c 等级的 MOE、MOR 分布相近, 差异不显著;

(3) 40×90 规格材的 MOR 要高于 40×140 规格材, 而 MOE 则低于 40×140 规格材;

(4) 落叶松规格材的 MOR 与 MOE 的相关性较好, 40×90 规格材的决定系数($R^2=0.552$)略高于 40×140 规格材的决定系数($R^2=0.473 5$)。

今后应进一步开展以落叶松规格材足尺弯曲力学性质为基础的其它力学性质的相关研究, 为进一步加强落叶松规格材在建筑结构中的可靠应用提供理论依据, 为国产结构材的分级技术提供数据支持。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Green D W, Gorman T M, Evans W, et al. Improved grading system for structural logs for log homes [J]. Forest Prod J, 2004, 54(9): 52-62.
- [3] Mitsuhashi K, Poussa M, Puttonen J. Method for predicting tension capacity of sawn timber considering slope of grain around knots [J]. Journal of Wood Science, 2008, 54: 189-195.
- [4] Arnold M. Effect of moisture on the bending strength of thermally modified beech and spruce [J]. Journal of Material Science, 2010, 45: 669-680.
- [5] 王永维, 龙卫国, 杨学兵. 规格材机械分级方法的研究[J]. 四川建筑科学研究院, 2005, 31(6): 3-8.
- [6] 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.
- [7] 郭伟. 北美规格材目测分等方法应用于人工林杉木规格材适应性研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2007.
- [8] 龙超, 吕建雄, 任海青, 等. 杉木人工林规格材的足尺弯曲、压缩分级测试[J]. 林业科学, 2008, 44(8): 95-99.
- [9] 王朝晖, 任海青, 骆秀琴, 等. 落叶松规格材机械应力分等方法的研究[J]. 木材工业, 2009, 23(3): 1-4.
- [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] 王星. 非参数统计[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2005.
- [12] Wang Y H, Lam F, Barrett J D, et al. Comparisons of different test methods on bending properties of dimension lumber [J]. Forest Prod J, 2005, 55(12): 66-70.
- [13] Lam F, Barrett J D, Nakajima S. Influence of knot area ratio on the bending strength of Canadian Douglas fir timber used in Japanese post and beam housing [J]. Journal of Wood Science, 2005, 51(1): 18-25.
- [14] 娄万里, 任海青, 江京辉, 等. 落叶松规格材目测分等的研究[J]. 木材工业, 2010, 24(2): 1-4.
- [15] Gupta R, Thingon R L, Green D W. Mechanical stress grading of Dahurian larch structural lumber [J]. Forest Prod J, 1996, 46(7/8): 79-86.