

“十一五”国家科技支撑计划专题

落叶松规格材抗弯强度与抗拉强度的关系

赵秀, 吕建雄, 江京辉

(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: 以兴安落叶松规格材的抗弯强度和抗拉强度测试数据为基础, 首先建立规格材强度性质的概率密度函数, 然后通过累积分布函数建立两种强度之间的关系。研究表明: 兴安落叶松规格材抗弯强度的概率密度与对数分布拟合较好, 抗拉强度的概率密度与威布尔分布拟合较好; 抗弯强度和抗拉强度之间存在幂函数关系。

关键词: 规格材; 抗弯强度; 抗拉强度; 概率密度函数; 拟合优度

中图分类号: S7; TS6; TU531.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2010)04-0001-04

Relationship between Modulus of Rupture and Ultimate Tension Strength of Dimensional Larch Lumber

ZHAO Xiu, LU Jian-xiong, JIANG Jing-hui

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

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

Abstract: The modulus of rupture (MOR) and ultimate tensile strength (UTS) of dimensional larch (*Larix gmelinii*) lumber were tested according to ASTM D 4761-1996. The probability density function was used to describe MOR and UTS data. The results indicated that logarithmic distribution had the best goodness of fit with MOR and Weibull distribution had the best goodness of fit with UTS. The relationship between MOR and UTS was established as a power function from the cumulative distributions of MOR and UTS.

Key words: dimensional lumber; modulus of rupture; ultimate tensile strength; probability density function; goodness of fit

规格材强度之间的关系, 最早应用于推导规格材的允许应力, 可以简化机械应力分等的质量控制过程, 降低破坏性强度测试中的材料消耗。美国规格材机械分等的基础即抗弯弹性模量与抗弯强度的关系^[1]。我国在规格材足尺测试方面的研究刚刚起步, 尚未建立完善的标准, 目前规格材强度测试及数据调整方法仍参照北美相关标准。

建立规格材强度性质间关系的方法主要有: 1) 采用非参数法提取不同强度性质的指定百分位值, 通

过相应的强度分位值建立强度性质间的关系。该方法对总体分布假定的条件很宽, 不致因为对总体分布的假定不当而导致重大错误, 但在某些情况下效率较低; 2) 在已知强度性质的概率密度函数类型的前提下, 建立相同分位数的强度性质间关系, 联立两者的累积分布方程, 建立性质间关系函数; 3) 当强度性质间的关系明显时, 利用回归分析方法, 建立性质间关系函数。

本研究以兴安落叶松规格材为例, 参照第二种方法, 利用规格材抗弯强度 (modulus of rupture, MOR) 和抗拉强度 (ultimate tensile strength, UTS) 的累积分布函数, 建立两者之间的关系, 为建立我国结构用规格材力学性能评价技术体系提供理论依据, 推动落叶松在建筑结构方面的应用。

收稿日期: 2010-04-22; 修改日期: 2010-05-10

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目 (2006BAD18B07)。

作者简介: 赵秀 (1980—), 女, 中国林科院木材工业研究所博士研究生。

通讯作者: 吕建雄, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员, 博士生导师。

1 试验材料及方法

1.1 原料

兴安落叶松(*Larix gmelinii*)原木,采自黑龙江省新林林业局,径级 18~30 cm,经锯截、干燥、刨光,制成截面尺寸为 40 mm×65 mm、40 mm×90 mm、40 mm×140 mm,长度均为 4 000 mm,含水率均为 10%~20%的试材。参照我国规格材的目测分级标准^[2],选取等内规格材进行试验。

1.2 方法

根据 ASTM D 4761-1996 (Standard test methods for mechanical properties of lumber and wood-base structural material),抗弯强度测试采用 18 : 1 的跨高比,试件破坏时间约为 1 min,随机选择试件拉伸边及测试区域。试件破坏后,在其破坏截面附近制取含水率片,用烘干法测量含水率;顺纹抗拉强度测试长度为 2.5 m,破坏时间约为 1 min,含水率测试方法同抗弯强度试件。

由于规格材强度受含水率的影响较大,按照 ASTM D 1990-2007 (Establishing allowable properties

for visually-graded dimension lumber from in-grade tests of full-size specimens),将强度测试值调整至特征含水率(15%)及特征尺寸(40 mm×184 mm×4 000 mm)条件进行统计。

2 结果与分析

试材 MOR 和 UTS 的统计结果见表 1。

表 1 强度数据的统计描述
Tab. 1 Statistical description of MOR and UTS

强度指标	截面尺寸/ mm×mm	试样数/ 根	平均值/ MPa	标准差/ MPa	变异系数/ %
MOR	40×65	89	62.27	23.98	38.50
	40×90	193	56.59	19.64	34.71
	40×140	88	53.40	21.01	39.36
UTS	40×65	90	24.26	9.80	40.40
	40×90	194	28.12	11.56	41.09
	40×140	89	30.07	12.86	42.78

2.1 试材 MOR 与 UTS 的概率密度函数

MOR 与 UTS 的频率分布直方图,如图 1 所示。

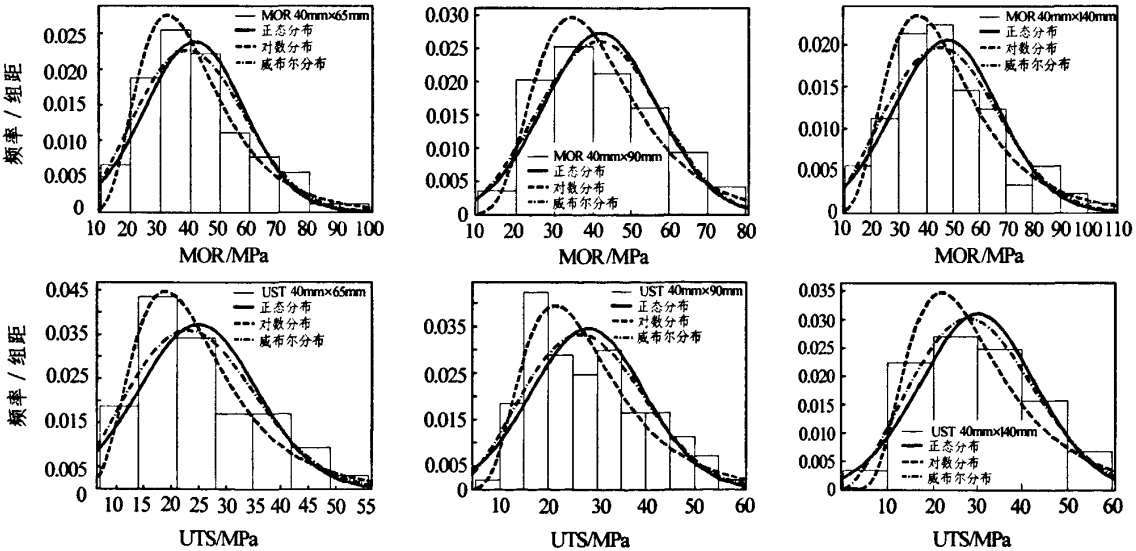


图 1 三种尺寸规格材 MOR、UTS 频率分布直方图与概率密度曲线拟合图
Fig. 1 Histogram and probability density curve of MOR and UTS values

试材 MOR 与 UTS 的频率呈偏态分布,与前人研究结果相同^[3]。近年来,对数分布和威布尔分布已被广泛应用于规格材强度变异规律的研究,这两种分布能够描述一定程度上的正偏态数据。威布尔分布还能描述有限的负偏态数据^[4-6],已被成功地应用于模拟脆性材料强度概率分布,及结构用木质材料的相

关研究领域。为此,笔者根据抗弯强度特征值的研究结果^[7],对试材 MOR 和 UTS 的概率分布函数做出假设,选取正态分布、对数分布及威布尔分布,作为其可能的概率分布函数。

利用极大似然法,得到三种分布函数的参数估计值,见表 2。

表 2 概率密度函数的参数估计

Tab. 2 Parameters of probability density distribution							
强度 指标	截面尺寸/ mm×mm	正态分布		对数分布		威布尔分布	
		μ	σ	M	S	m	k
MOR	40×65	40.85	15.73	3.63	0.40	45.95	2.81
	40×90	42.00	14.58	3.67	0.36	47.02	3.15
	40×140	47.18	18.57	3.77	0.42	53.12	2.75
UTS	40×65	24.26	9.80	3.11	0.41	27.37	2.69
	40×90	28.12	11.56	3.25	0.43	31.75	2.64
	40×140	30.07	12.86	3.30	0.47	33.96	2.55

注： μ ：强度平均值； σ ：强度值的标准差； M ：强度值对数的平均值； S ：强度值对数的标准差； m ：尺度参数； k ：形状参数。

采用柯尔莫哥洛夫(K-S)检验($D=\max|f_n(x_i)-f(x_i)|$)对三种分布的假设进行判断,比较三种分布的拟合优度。 $f_n(x_i)$ 和 $f(x_i)$ 分别为假设累积分布函数和由子样观测值估计得到的经验累积分布函

数;K-S 检验即检验两个累积分布函数之间的距离,结果列于表 3。

由表 3 可知,除了截面尺寸为 40 mm×90 mm 的试材 UTS 正态分布假设不成立外,其他假设均成立。对比三种分布函数与试材 MOR 和 UTS 的拟合优度(表 3 中的 P 值)可知,在描述试材 MOR 概率密度函数时,对数分布表现出绝对的优势,其次是威布尔分布,正态分布拟合效果最差;在描述试材 UTS 概率密度时,截面尺寸为 40 mm×90 mm 和 40 mm×140 mm 试材的 UTS 与威布尔分布拟合效果最佳,40 mm×65 mm 试材的 UTS 与对数分布拟合度较高。可见,在本试验条件下,无论在不同强度指标间还是不同截面尺寸间,对数分布与威布尔分布描述试材强度的累积分布表现出明显的优势。

表 3 K-S 检验结果

Tab. 3 Results of K-S test													
强度 指标	截面尺寸/ mm×mm	正态分布				对数分布				威布尔分布			
		H	P	D	$D_{0.05}$	H	P	D	$D_{0.05}$	H	P	D	$D_{0.05}$
MOR	40×65	0	0.4489	0.0900	0.1420	0	0.8906	0.0605	0.1420	0	0.7040	0.0736	0.1420
	40×90	0	0.3144	0.0685	0.0969	0	0.7348	0.0489	0.0969	0	0.0969	0.0576	0.0969
	40×140	0	0.6010	0.0805	0.1427	0	0.9399	0.0559	0.1427	0	0.8692	0.0627	0.1427
UTS	40×65	0	0.1382	0.1202	0.1412	0	0.5232	0.0845	0.1412	0	0.2652	0.1044	0.1412
	40×90	1	0.0377	0.1002	0.0966	0	0.0453	0.0611	0.0966	0	0.1365	0.0824	0.0966
	40×140	0	0.3402	0.0982	0.1420	0	0.7345	0.0717	0.1420	0	0.9435	0.0552	0.1420

注： D 为K-S统计量， $D_{0.05}$ 是0.05水平的临界值；当 $D<D_{0.05}$ 时， H ：0则接受原假设；当 $D>D_{0.05}$ 时， H ：1则拒绝原假设。 P 为原假设成立的概率，当原假设成立时， P 值较大的拟合优度较高。

2.2 试材 MOR 与 UTS 之间的关系

对于同一个试件,破坏试验不可能同时获得三项强度指标(抗拉、抗压、抗弯),因此,无法直接建立两种强度性质之间的关系。性质间关系实质是建立具有相同累积频率的强度值之间的关系^[8]。所以,可根据两种强度性质的累积分布函数,建立强度性质间的关系。由前文分析可知,对数分布与威布尔分布均能较好地描述 MOR 与 UTS 的概率密度,可以用来建立强度性质之间的关系,威布尔分布的累积分布函数具有能够得到封闭解的优势。所以,利用二者的威布尔累积分布建立两者之间的关系。联立 MOR 与 UTS 的累积分布方程(公式 1);MOR 与 UTS 的关系方程,即可表示为幂函数形式(公式 2)。

$$(x_{\text{MOR}}/m_1)^{k_1}=(x_{\text{UTS}}/m_2)^{k_2}$$
 (1)

$$x_{\text{UTS}}=a \cdot x_{\text{MOR}}^b$$
 (2)

式中： m_1 、 k_1 —MOR 的尺度参数和形状参数； m_2 、 k_2 —UTS 的尺度参数和形状参数； $a=m_2 \cdot m_1^{-k_1/k_2}$ ， $b=k_1/k_2$ 。

根据表 2 中威布尔分布的参数估计值,计算得到 MOR 与 UTS 关系方程的参数,结果如表 4。

表 4 MOR 与 UTS 关系方程参数估计值

Tab. 4 Parameters of relation equations between MOR and UTS		
截面尺寸/mm×mm	a	b
40×65	0.50	1.04
40×90	0.32	1.19
40×140	0.47	1.08

MOR 与 UTS 的关系曲线如图 2 所示。在 MOR<20 MPa 时,三种宽度试材的 MOR 与 UTS 的关系几乎一致;随着 MOR 逐渐增大,不同宽度试材 MOR 与 UTS 关系的差异逐渐明显。UTS/MOR 的比值随着试材宽度增加,呈先增后减的趋势。UTS 随试材宽度增加而增大的速度比 MOR 慢。有研究者指出,这种现象是由于抗拉强度测试过程中夹紧装置与试材之间产生滑动导致的,非材料性质的真实体现^[9],有待进一步验证。

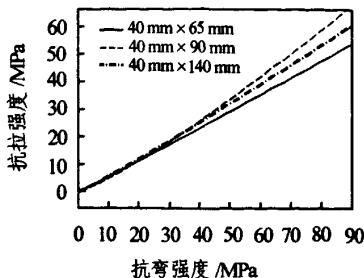


图2 三种尺寸规格材 MOR 与 UTS 的关系曲线

Fig. 2 Relationship between MOR and UTS values of three kinds of dimensional lumber

3 结论

1) 落叶松规格材的 MOR 与 UTS 的概率分布呈偏态分布,对数分布与威布尔分布在描述 MOR 与 UTS 的累积分布时的拟合优度较高;

2) 根据落叶松规格材的 MOR 与 UTS 的威布尔分布函数,建立了 MOR 与 UTS 的关系方程,表明两者之间存在幂函数关系;

3) 本研究得到的落叶松规格材 MOR 与 UTS 幂函数的系数,可以通过补充规格材足尺强度测试数据加以修正。

参考文献:

- [1] Galligan W L, Johnson R A, Taylor J R. Examination of the concomitant properties of lumber[C]// Proceedings of the Metal Plate Wood Truss Conference. Madison; Forest Product Research Society, 1981; 65-70.
- [2] 木结构设计手册[M]. 3 版. 北京:中国建筑工业出版社, 2005; 29-32.
- [3] Warren W G. Comparison of exclusion values for lumber strength[J]. Wood and Fiber, 1974, 6(3):237-241.
- [4] Pellicane P J. A sampling strategy useful in full-distribution simulation[J]. Wood Science and Technology, 1983, 17(4): 279-286.
- [5] David W Green, Research General Engineer, David E Kretschmann, et al. Lumber property relationships for engineering design standard[J]. Wood and Fibre Science, 1991, 23(3): 436-456.
- [6] Green D W, Kretschmann D E. A discussion of lumber property relationships in Eurocode 5[C]// Proceedings of CIB W18A. Berlin; German Democratic Republic, 1989.
- [7] 赵秀,吕建雄,江京辉. 落叶松规格材弯曲性质特征值的研究[J]. 木材工业, 2009, 23(6):1-4.
- [8] Barrett J D, Lau W. Canadian Lumber Properties [M]. Ottawa; Canadian Wood Council, 1994; 309-323.
- [9] Green D W, Evans J W. Mechanical properties of visually graded lumber [R]. Springfield; National Technical Information Service, 1988.

(责任编辑 向琴)

行业简讯

第十五届大连国际木工机械、家具展圆满闭幕

6月13日,第十五届中国国际木工机械、家具、家具配件及原辅材料(大连)展览会在大连世界博览广场落下帷幕。

本届大连木工机械展的面积达1万m²,共有120家国内外知名企业参展,吸引逾1.47万名观众参观,其中海外观众2300人。家具及配件与原辅材料展共有国内外企业300余家参展,其中外资企业70余家,展出面积2万m²,共有2.75万人次到会参观,其中海外买家近3000人次。

大连木工机械展立足大连,辐射东北,着力环渤海,深受各参展商的好评。大连是良好的实木家具基地,不仅木业集中,而且市场明确,有大量以贸易为主的专业客户,具有良好的市场和客户基础。同时,大连合资企业多,对降低人工、提高效率、减少能源消耗有较高的要求,顺应了当今时代发展的要求和行业发展的需要。大连木工机械展,凭借其丰厚的市场底蕴和优秀的客户积累,充分发挥了区域性展会的优势,展会作用日益突出。

本届家具展呈现特点:1) 家具品牌展会,助力行业回暖。展会吸引了华丰、光明、玛尼路等国内外知名品牌参展,良好的参展效果充分展现了大连家具展的品牌魅力。光明家具推出的针对国际市场的高档实木家具,得到了国际客户的青睐,现场达成4宗交易,后续效果乐观。

2) 日本精品家具展区,掀开行业合作新章。设立的“日本精品家具展区”备受关注。来自日本的白川、飞弹、森繁、柏木、日进、刈木社、富士、梦布尔、丸星九家代表了日本一流家具企业集体出展,促进了中日家具的交流。

3) 家具媒体同盟成立,宣传推广再度创新。国内首家家具行业媒体联盟——中国国际家具(大连)系列展媒体同盟,于6月9日正式成立,33家行业权威媒体成为首批会员。媒体同盟的成立,标志着大连家具系列展的宣传推广进入了全新阶段,也标志着中国家具产业的宣传进入了新的模式。

本刊讯