

“十一五”国家科技支撑计划专栏

落叶松规格材抗弯性能特征值研究

赵秀, 吕建雄, 江京辉

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

摘要: 以国产兴安落叶松规格材为例, 根据美国标准 ASTM D4761-96 对规格材进行抗弯弹性模量和抗弯强度测试, 并参照 ASTM D1990-97, 利用非参数法和参数法估计, 初步得出兴安落叶松规格材抗弯弹性模量和抗弯强度特征值。为完善我国结构用规格材强度测试方法与强度特征值确定方法标准提供参考。

关键词: 结构用规格材; 兴安落叶松; 抗弯弹性模量; 抗弯强度; 特征值

中图分类号: S7; TS6; TU531.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2009)06-0001-04

Study on Characteristic Values of Chinese Larch Dimension Lumber Bending Properties

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 flexural properties of Chinese larch (*Larix gmelini*) dimension lumber (40 mm×65 mm×4 000 mm, 40 mm×90 mm×4 000 mm and 40 mm×140 mm×4 000 mm, I_c and III_c) were tested according to the American Society for Testing and Materials (ASTM) D4761-96 standard. The characteristic values for Modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) were evaluated using both nonparametric and parametric statistical analyses. The preliminary results provide a reference for improving the existing Chinese structural dimension lumber testing and characteristic value evaluation system. The goal of this study was to improve the existing Chinese testing and evaluation system of dimension lumber.

Key words: dimension lumber; larch lumber; modulus of elasticity; modulus of rupture; characteristic value

规格材强度特征值,是指标准状态下规格材强度的平均值、中值和75%置信度下5%分位值的下限值(标准状态:测试温度17~23℃、规格材含水率为15%,及规格材尺寸为38 mm×184 mm×3 658 mm)。因为规格材尺寸变化对抗弯弹性模量(MOE)的影响不显著,因此,通常采用各尺寸不同等级规格材的MOE的平均值和5%分位值,作其特征值;而抗

弯强度(MOR)、抗拉强度(UTS)和抗压强度(UCS)特征值,是指在75%置信度下5%分位值的下限值,可由非参数法和参数法估计得到^[1]。

为保证木结构的安全性、耐久性以及建造的经济性,美国、加拿大、澳大利亚、新西兰、英国等国家,通过科研实践和借鉴其他国家的经验,根据本国木材资源的特点,建立了各自结构用规格材强度性质的测试方法和评价标准。我国现代木结构房屋及其材料的基础研究刚刚起步,相关标准GB T50329-2002《木结构试验方法标准》和GB T50005-2003《木结构设计规范》尚待完善。规格材强度测试方法、规格材强度特征值确定方法,及结构用规格材目测分级方法等

收稿日期: 2009-07-21; 修改日期: 2009-09-14

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副所长,研究员,博士生导师。

相关标准,也在起草之中。

落叶松树干通直、尖削度小、耐腐朽,顺纹抗压强度和静曲强度在针叶材中位居前列,是建筑、车船制造、桥梁、枕木等结构用材的优质材料。因此,以兴安落叶松规格材为试材,参照北美的测试方法和强度特征值估计方法,开展落叶松规格材抗弯性能特征值的研究,可以为完善规格材强度性质的静态测试标准与强度特征值确定方法,提供理论依据,推动落叶松及其他树种木材作为结构用规格材在建筑结构上的应用。

1 材料与方法

1.1 材料

兴安落叶松(*Larix gmelini*),采自黑龙江省新林林业局,地处东经123°,北纬51°。原木径级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的规格材,含水率为10%~20%。

参照我国规格材的目测分级标准分级^[2],选取等内规格材进行抗弯性能试验(表1)。

表1 各等级规格材数量

等级	截面尺寸/(mm×mm)			数量/根
	40×65	40×90	40×140	
I _c	27	70	38	135
II _c	11	35	2	48
III _c	30	55	29	114

1.2 方法

参照ASTM D4761-96,测试规格材的MOE和MOR,采用跨高比18:1、破坏时间约1 min,随机选择试件拉伸边及测试区域。试件破坏后,在其破坏处附近制取含水率试片,测量含水率。

为便于对比分析,依据ASTM D1990-97^[3]的要求,需将原始数据调整至标准状态(测试温度17~23℃、含水率15%、基准尺寸38 mm×184 mm×3 658 mm)时的对应值。本试验的测试温度满足标准要求,故仅需对试件的含水率及尺寸进行调整。

2 结果与分析

2.1 样本容量

基于可靠度分析建立规格材特征值,首先需考察样本容量能否满足75%的置信度要求。本试验规格材MOR和MOE的统计描述见表2。

表2 调整后规格材MOR和MOE的统计描述

Tab. 2 Statistic description of adjusted testing results of MOR and MOE for samples					
性能指标	等级	样本数	平均值/ MPa	标准差/ MPa	变异系数/ %
MOR	I _c	135	48.93	17.05	34.84
	II _c	48	35.29	13.21	37.43
	III _c	114	41.76	15.01	35.96
MOE	I _c	135	14 588.20	2 822.40	19.35
	II _c	48	12 303.30	1 944.30	15.80
	III _c	114	13 122.20	2 569.90	19.58

由表2中变异系数可知,数据离散度较大。根据置信度75%,查t检验表^[4]对应的t值,结合变异系数,得到3个等级的规格材的MOE所需样本数分别为20、14、和21;MOR分别为65、77和70。而II_c等MOR的实际样本数仅为48,低于75%置信度下要求的样本数77。因此,本研究只对3个等级规格材的MOE及I_c、III_c等材的MOR进行分析。

表2显示,II_c等规格材的MOR、MOE低于III_c等,与目测分等方法有关。目测分等是依据多种降等缺陷,如节子、斜纹理、裂纹及顿棱等进行,这些缺陷对强度性质的影响不尽相同。

此次分等结果,II_c等有90%是节子导致降等;III_c等分别有20%是节子,20%是顿棱,30%是裂纹导致降等。钝棱系表观缺陷,对强度影响很小;节子对强度的影响则非常显著,尤其是抗弯测试时,位于拉伸边的边节会显著降低强度。II_c等规格材的大部分降等缺陷是节子,故对强度降低影响显著;III_c等材大部分是钝棱、裂纹和漏刨等降等缺陷,对强度降低影响小。因此,II_c等规格材的强度低于III_c等。

这种现象不仅出现在兴安落叶松规格材中,加拿大的主要商品材树种北美铁杉(*Tsuga canadensis*)规格材也存在类似情况。

2.2 非参数法估计特征值

2.2.1 MOE非参数法估计特征值

规格材MOE的特征值,是指不同等级规格材的MOE的平均值和5%分位值。在北美标准中,通常以非参数估计得到的平均值和5%分位值,作为MOE特征值^[3],结果见表3。

表3 规格材MOE非参数估计特征值

Tab. 3 Nonparametric estimated characteristic value of MOE for dimension lumber		
等级	平均值/MPa	5%分位值/MPa
I _c	14 588.22	9 946.80
II _c	12 303.31	9 032.76
III _c	13 122.17	9 765.81

表 3 中,落叶松规格材 MOE 的特征值明显高于北美主要商品林树种规格材^[1],表现出优良的刚度。

2.2.2 MOR 非参数法估计特征值

在北美标准中,通常以非参数估计得到的 75% 置信度下,5% 分位值的下限值,作为 MOR 特征值^[3]。采用次序统计法^[5],落叶松规格材估计 MOR 特征值见表 4。

表 4 规格材 MOR 非参数估计特征值

Tab. 4 Nonparametric estimated characteristic value of MOR for dimension lumber

等级	5%分位值/MPa	5%分位值的下限值/MPa
I _c	25.34	20.89
III _c	21.95	20.62

表 4 中,I_c 等规格材的 5% 分位值与其下限值差异较大,即预测区间较大。根据次序统计法,I_c 等规格材 5% 分位值,为规格材数据从小到大依次排序序号为 8 的数据;5% 分位值的下限值,是序号为 5 的数据。序号 1~8 的数据的变异系数为 46.77%,离散度较大,因而导致预测区间较大。通过继续补充此强度水平的数据,可以进一步修正 I_c 等规格材抗弯强度特征值。

2.3 参数法^[4]估计特征值

目前,北美用于描述规格材强度概率密度分布函数主要有:正态分布、对数分布以及威布尔分布。ASTM D1990-97 规定,如果采用参数方法估计强度特征值,需说明所用概率密度分布函数的适用性。

2.3.1 MOE 参数法估计特征值

对数分布和威布尔分布,已愈来愈多地应用于模拟规格材强度分布,但就规格材的刚度性质而言,MOE 与正态分布拟合更好。因此,只将 3 个等级规格材的 MOE 的概率密度直方

图^[4],与正态分布拟合(图 1);MOE 正态分布的 5% 分位值,如表 5 所示。

由图 1 可看出,3 个等级规格材的 MOE 的抽样分布服从正态分布,与北美等国家相关的研究结果一致。

表 5 规格材 MOE 正态分布特征值

Tab. 5 Characteristic values of MOE using normal distribution

等级	平均值/MPa	5%分位值/MPa
I _c	14 588.22	9 945.85
II _c	12 303.31	9 105.20
III _c	13 122.17	8 895.00

对比表 5 与表 3 可知,2 种方法估计的 MOE,其 5% 分位值存在一定差异。非参数估计与参数估计的 MOE 平均值相比,I_c 等和 III_c 等的较大,II_c 较小。

2.3.2 MOR 参数法估计特征值

以调整后的 I_c、III_c 等规格材强度数据为样本,描绘调整后 MOR 的概率密度直方图。I_c 等规格材组数为 10,组距为 10;III_c 等规格材组数为 9,组距为 10。将直方图与标准正态分布、对数分布、威布尔分布进行拟合(图 2)。

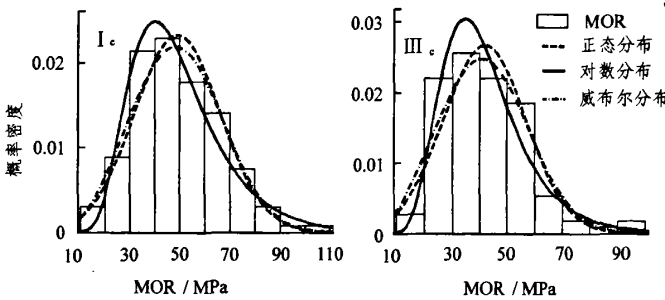


图 2 试材(I_c、III_c)MOR 概率密度曲线

Fig. 2 Probability density distribution of MOR Values

由图 2 可知,I_c、III_c 等规格材的 MOR 概率密度与 3 种分布相近,需对 3 种分布进行拟合度分析^[6]。采用

似然比检验对比 3 种分布的拟合优度,结果见表 6。

由表 6 可知,I_c 等规格材与正态和威布尔分布拟合较

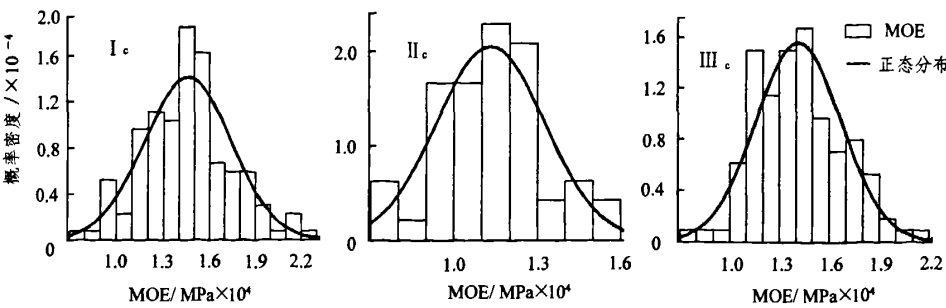


图 1 试材(I_c、II_c、III_c)MOE 概率密度曲线

Fig. 1 Probability density distribution of MOE values

表 6 MOR 数据拟合度分析

Tab. 6 Goodness of fit test of MOR values using different types of distributions

等级	lnL		
	正态分布	对数分布	威布尔分布
I _c	-573. 907	-574. 310	-572. 859
Ⅲ _c	-470. 089	-462. 288	-468. 621

好,Ⅲ_c。等规格材与对数分布拟合优度较高。

威布尔分布,在理论上能够很好的描述规格材强度的概率密度分布,但其计算下限值和置信区间的等式,是在假设其极大似然估计方程为渐近正态的前提下得到的,只有在大样本(≥200),且形状参数>2时,渐近正态才有效。反之,则无法得到准确的下限值和置信区间。

由于本试验的试样数不满足威布尔分布的精度要求,其适用性仍需进一步考证。

根据其分布形式计算下限值^[1],落叶松 MOR 参数估计特征值,列于表 7。

表 7 规格材 MOR 参数统计特征值

Tab. 7 Characteristic values of MOR using different distributions

分布类型	等级	5%分位值/ MPa	5%分位值的下限值/ MPa
标准正态分布	I _c	20. 89	19. 15
	Ⅲ _c	17. 09	15. 36
威布尔分布	I _c	24. 85	16. 02
	Ⅲ _c	21. 79	14. 67
对数分布	I _c	20. 89	18. 62
	Ⅲ _c	17. 02	14. 55

由威布尔分布得到的 5%分位值,与非参数估计的结果相近,但下限值差异较大;正态分布与对数分布得到的结果与非参数估计的结果相比,差异均较大,未来将增加试样数,进一步修正特征值,寻求拟合优度较高的分布函数。

2. 4 与北美主要商品林树种对比

将落叶松规格材非参数法估计强度特征值,与北美主要商品林树种:云杉-松-冷杉、北美铁杉、花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)的规格材特征值^[1]比较,结果列于表 8。

由表 8 可知,兴安落叶松 I_c。等规格材的 MOR,低于北美主要商品林树种对应等级规格材的 MOR;Ⅲ_c。等规格材高于北美树种对应等级规格材的 MOR,但 I_c。等规格材的置信区间较宽,继续增加试样,以减小 5%分位值的置信区间,可提高兴安落叶松规格材 I_c。等 MOR 的估计精度。

表 8 兴安落叶松与北美树种规格材 MOR 特征值对比

Tab. 8 Comparison of the characteristic value of dimension lumber between Chinese larch and Commercial forest in North America

树种	5%分位值/MPa		5%分位值下限值/MPa	
	I _c	Ⅲ _c	I _c	Ⅲ _c
云杉-松-冷杉	22. 72	17. 24	22. 28	16. 69
北美铁杉	24. 51	18. 64	23. 57	17. 88
花旗松	25. 53	15. 75	24. 68	15. 33
兴安落叶松	25. 34	21. 95	20. 89	20. 62

3 结论

1) 兴安落叶松规格材的 MOE 特征值:I_c 等均值为 14 588. 22 MPa,5%分位值为 9 946. 80 MPa;Ⅱ_c 等均值为 12 303. 31 MPa,5%分位值为 9 032. 76 MPa;Ⅲ_c。等均值为 13 122. 17 MPa,5%分位值为 9 765. 81 MPa。

MOR 特征值:非参数法估计得到的落叶松 I_c。等规格材为 20. 89 MPa,Ⅲ_c。等为 20. 62 MPa;标准正态分布估计得出 I_c。等和Ⅲ_c。等分别为 19. 15 MPa, 15. 36 MPa,对数分布估计得出 I_c。等和Ⅲ_c。等分别为 16. 02 MPa,14. 67 MPa。

2) 本研究范围内,利用参数法估计的规格材 MOE 与正态分布拟合较好;I_c。等规格材的 MOR 与威布尔分布拟合较好,Ⅲ_c。等与对数分布拟合较好。与北美主要商品林树种的规格材相比,兴安落叶松规格材具有较高的弹性模量。

3) 目前数据仅满足 75%置信度,未来将增加试样数,完善其他等级规格材的强度特征值,得到更高置信水平下的 5%下限值,以及进一步提高其估计精确度,选取最佳抽样方案,减少抽样误差。进一步修正兴安落叶松规格材的强度特征值。

参考文献:

[1] J D Barrett, W Lau. Canadian Lumber Properties [M]. Ottawa: Canadian Wood Council, 1994: 275, 279, 41-46, 309-323.
[2] 《木结构设计手册》编辑委员会. 木结构设计手册(第三版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2005: 29-32.
[3] ASTM D1990-97, Standard practice for establishing allowable properties for visually-graded dimension lumber from in-grade tests of full-size specimens[S].
[4] 贾俊平. 统计学[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2003: 104-112, 122-123, 270.
[5] ASTM D2915-03. Standard practice for evaluating allowable properties for grades of structural lumber [S].
[6] J E de Melo, P J Pellicane, M R de Souza. Goodness-of-fit analysis on wood properties data from six Brazilian tropical hardwoods[J]. Wood Science and Technology, 2000, 34(2): 83-97.

(责任编辑 姜 征、张一萍)