

doi:10.3969/j.issn.1674-4764.2013.01.019

落叶松锯材抗弯强度尺寸效应

周海宾¹, 王学顺²

(1. 中国林业科学研究院 木材工业研究所, 北京 100091;

2. 北京林业大学 理学院, 北京 100083)

摘要:以兴安落叶松锯材为研究对象,研究了不同目测等级下锯材尺寸与其抗弯强度之间的关系。试验选取 1961 根 6.5、9.0 和 14.0 cm 3 种宽度尺寸的目测等级锯材,每个宽度尺寸分为高、低目测等级组,按照每组试件宽度 18 倍的测试跨度测试锯材的抗弯强度。利用斜率法和形状参数法确定高、低目测等级组抗弯强度 5%分位值的长度与宽度的组合尺寸效应。研究结果表明,斜率法获得高、低目测等级组试件抗弯强度 5%分位值的组合尺寸效应分别为 0.19 和 0.23。

关键词:落叶松;抗弯强度;尺寸效应;木梁

中图分类号:TU531.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)01-0117-04

Size Effect of Bending Strength of Chinese Larch Lumber

Zhou Haibin¹, Wang Xueshun²

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, P. R. China;

2. College of Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, P. R. China)

Abstract: The relationship between the bending strength and the size of Chinese larch visually-graded lumber was investigated. 1,961 pieces of lumber with three different widths were divided into two groups of high visual grades and low visual grades. The ultimate bending strength was tested under test spans of 18 times test depths. The combined length and width size effects of 5th percentile of bending strength were estimated by the slope method and the parametric method. Using the slope method, the estimated effect parameters of H and L were 0.19 and 0.23 for the 5th percentile.

Key words: Chinese larch; bending strength; size effect; wood beam

木材是四大建筑材料之一,也是最为环保且可持续发展的材料^[1]。木材在建筑结构中,常被用作梁、柱等构件。梁构件抗弯性能的设计指标早期主要来自于无缺陷小试件的测试结果,再考虑节子、斜纹理等缺陷的影响后调整而来^[2]。为获得更接近真实使用状态下木材的抗弯性能,近年来世界各国相继发展了足尺测试方法标准^[3-4]。但是,当实际应用尺寸与标准测试尺寸不同时,来自标准尺寸的强度指标需要进行尺寸调整^[5]。中国对木材足尺力学性能尺寸效应的研究刚刚开始,现有标准中还没有规定相应

的尺寸调整系数,木材设计指标的确定缺乏科学的理论依据。

Bohannon^[6]最早确定了木梁抗弯强度的高度与长度组合尺寸效应系数约为 0.06。鉴于无缺陷锯材与实际使用锯材有较大差别,Barrett 等^[7]对加拿大 SPF 锯材进行了足尺测试研究,提出了其抗弯强度的长度尺寸效应系数为 0.22,而 Madson^[8]对美国 SPF 足尺锯材的尺寸效应研究发现,其抗弯强度的长度尺寸效应系数为 0.20。由于试验锯材没有等级划分,上述研究结果偏高。为了确定目测等级

收稿日期:2012-03-09

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(201104064)

作者简介:周海宾(1977-),男,副研究员,博士,主要从事木结构研究,(E-mail)zhouhb@caf.ac.cn。

锯材的许用性能, ASTM D1990^[1] 标准明确给出了目测等级锯材力学性能的尺寸效应系数, 其中抗弯强度的长度尺寸效应为 0.14, 宽度尺寸效应为 0.29。该标准的规定值是否能应用于中国木材尚不能明确。周海宾等^[9] 对中国人工林杉木锯材研究表明, 其抗弯强度 5% 分位值的长度尺寸效应系数为 0.43, 远远高于国外标准。除了没有等级划分的原因外, 最主要原因还有中国杉木为人工林木材。中国杉木锯材^[10]、落叶松锯材^[11] 与北美 SPF 锯材^[12]、日本落叶松锯材^[13] 在顺纹抗拉强度尺寸效应方面的区别均证明了这一结论。

笔者在足尺测试不同目测等级兴安落叶松锯材抗弯强度的基础上, 通过斜率法和形状参数法确定用于其抗弯强度尺寸调整的效应系数。

1 尺寸效应理论

根据脆性断裂理论, 木材强度的尺寸效应可表示为^[14]:

$$\frac{f_0}{f} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^s = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{-s} \quad (1)$$

式中: f 和 f_0 分别为木材试件在 V 和 V_0 尺寸下的强度; s 为尺寸效应系数。

对于各向异性的木材, 如果没有厚度尺寸效应的情况, 式(1)的尺寸效应表达式可变为:

$$\frac{f_0}{f} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^s = \left(\frac{b}{b_0} \cdot \frac{l}{l_0}\right)^{s_A} = \left(\frac{A}{A_0}\right)^{s_A} \quad (2)$$

式中: b 和 b_0 分别为试件在 V 和 V_0 尺寸下的宽度; l 和 l_0 分别为试件在 V 和 V_0 尺寸下的长度; A 和 A_0 分别为试件在 V 和 V_0 尺寸下的纵截面积; s_A 为试件宽度和长度的组合尺寸效应系数。

对于长度/宽度按照相同比例变化的试件, 式(2)可进一步简化为:

$$\frac{f_0}{f} = \left(\frac{b}{b_0}\right)^{2s_A} \text{ 或 } \frac{f_0}{f} = \left(\frac{l}{l_0}\right)^{2s_A} \quad (3)$$

对式(2)两端取对数, 经过变换对数强度和纵截面积形成一个线性关系:

$$\frac{\ln f - \ln f_0}{\ln A - \ln A_0} = -s_A \quad (4)$$

假定木材试件是无数个任意选取的脆性单元组成, 那么所有脆性单元总样本的强度分布函数可通过三参数威布尔分布表示。将位置参数假定为零, 三参数可转变为二参数的威布尔分布。形状参数法估计尺寸效应是基于拟合威布尔分布。木材抗弯强度分布的 5% 分位值按照 ASTM D 2915—2010^[15] 中的非参数方法确定。当木材强度分布遵循两参数的威布尔分布时, 在 5% 分位值下式(2)的宽度和长度的组合尺寸效应系数 s_A 等威布尔分布函数中形状参数的倒数。笔者采用回归法和极大似然法 2 种函数拟合木材抗弯强度分布。

2 试验材料与方法

2.1 试验材料

兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 来自黑龙江省大兴安岭地区盘古和翠岗林场。原木段均为 4 m 长, 小头直径范围控制在 20~35 cm。原木段经锯解、干燥工序后, 再刨切成 4.0 cm×6.5 cm×150 cm、4.0 cm×9.0 cm×200 cm、4.0 cm×14.0 cm×300 cm 的锯材。

试验仅选择 I_c、II_c 和 III_c 3 个目测等级的锯材, 等级划分按照 GB 50005—2003 中的目测分等规则进行。I_c 定为高等级组 (H 等级组), II_c 和 III_c 数量相对较少, 2 等级合并, 定为低等级组 (L 等级组)。高、低等级组自然形成 3 个尺寸系列, 即: H65、H90、H140 和 L65、L90、L140, 试件数量见表 1。锯材含水率平衡后测试其抗弯强度。

2.2 抗弯强度测试方法

抗弯强度测试采用侧弯三分点加载方式, 如图 1 所示。设定加载速度保证试件在 5 min 内发生破坏, 且加载保持均匀。锯材最大目测缺陷放置在测

表 1 试件的尺寸和物理力学性能

测试组	数量	宽度/cm	厚度/cm	长度/cm	年轮宽度 平均值/mm	气干密度 平均值/(g·cm ⁻³)	抗弯弹性模量 平均值/MPa
H65	212	6.5	4.0	150.0	1.27(59.38)	0.65(10.80)	16.19(17.58)
H90	458	9.0	4.0	200.0	1.51(50.23)	0.65(10.57)	15.12(19.04)
H140	257	14.0	4.0	300.0	1.37(53.54)	0.62(9.22)	15.45(17.27)
L65	370	6.5	4.0	150.0	1.45(56.47)	0.64(11.26)	13.91(21.24)
L90	496	9.0	4.0	200.0	1.47(48.86)	0.64(10.90)	13.19(21.51)
L140	168	14.0	4.0	300.0	1.31(50.42)	0.64(11.00)	14.75(20.14)

注: 括号内的值为变异系数, %。

试跨度内,测试跨度为锯材宽度的 18 倍。

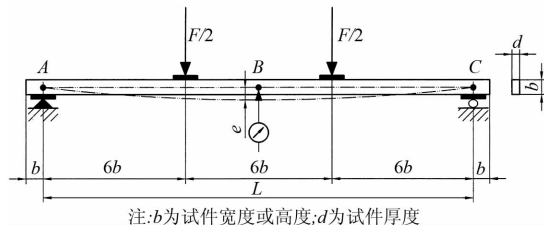


图 1 抗弯加载示意图

试件破坏后,在破坏处附近横向截取厚度约为 20 mm 的薄片,制成规定尺寸的试样,再分别按照 GB/T 1930—2009、GB/T 1931—2009 和 GB/T 1933—2009 测量年轮宽度、含水率和气干密度。

3 试验结果与讨论

3.1 试件特征和抗弯强度分布

表 1 列出了各个测试组的试件尺寸和物理力学性能。试验材料的 3 种规格类别已确定,但为保证最大出材率,每根不同径级的原木产生锯材的规格类别组成和数量均不同;此外,按照统计学上试件变异系数和样本数的关系,各个测试组的试件数量可以认为覆盖了该水平上锯材抗弯强度的分布范围。每组试件含水率分布在 10%~12%,平均值 11.74%,变异系数 10.31%。在高或低目测等级组中,3 个尺寸系列的年轮宽度和气干密度差异甚小,表明高或低等级组内不同尺寸系列之间试件具有高度相似性,也说明后续分析比较具有科学性。

表 2 给出了试件抗弯强度的统计结果。不管是高目测等级组还是低目测等级组,随着试件纵截面积的加大,试件的抗弯强度有下降趋势。这表明落叶松锯材的抗弯强度有明显的尺寸效应现象。图 2 中高目测等级组与低目测等级组在概率累积分布上差异明显,且高目测等级组试件的抗弯强度高于低目测等级组。

表 2 试件抗弯强度的统计结果

测试组	平均值/MPa	标准差/MPa	偏斜度
H65	83.48	28.66	0.31
H90	73.11	23.82	0.38
H140	61.97	21.83	0.39
L65	65.21	25.54	0.63
L90	54.89	21.20	0.67
L140	51.95	22.96	0.87

3.2 斜率法估计尺寸效应

由于厚度尺寸对试件抗弯强度无影响^[1],因此

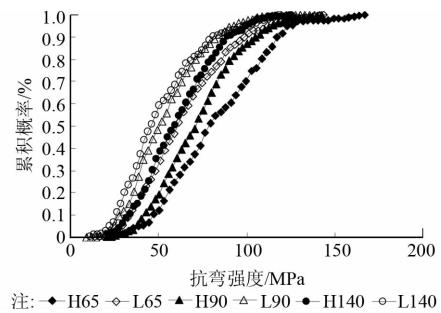


图 2 抗弯强度累计概率分布

抗弯强度的 5%分位值直接与试件纵截面积建立函数关系,见图 3。高、低目测等级组试件抗弯强度 5%分位值的组合尺寸效应分别为 0.19(1/5.26)和 0.23(1/4.35)。

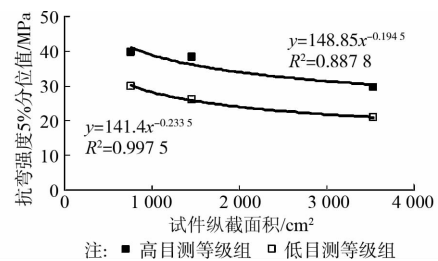


图 3 试件纵截面积和抗弯强度之间的关系

当长度/宽度按照相同比例变化的试件,高目测等级试件抗弯强度 5%分位值的组合尺寸效应系数的 2 倍小于 ASTM D 1900—2007 中抗弯强度的宽度和长度尺寸效应总和(0.43),而低目测等级抗弯强度 5%分位值的组合尺寸效应系数的 2 倍大于该推荐值。对于中国东北兴安落叶松,如果不分等级的话,可统一将抗弯强度的组合尺寸效应系数定为 0.25。该数值可在实际应用中将落叶松实木矩形梁抗弯强度值调整到某一纵截面积。

3.3 形状参数法估计尺寸效应

利用线性回归方法和极大似然法拟合二参数威布尔分布函数估计其形状参数 k 和尺度参数 m , 结果见表 3。表中:2PW-R 为回归法,2PW-L 为极大似然法。可以看出,高目测等级组的 k 和 m 值均高于低目测等级组,这种差异与斜率法获得的结果一致。与国产人工林杉木锯材抗弯强度一样,落叶松抗弯强度也得到同样的情况,即线性回归法估计的 k 值基本上高于极大似然法。

统计高、低目测等级组 k 值的平均值,并与非参数方法获得的尺寸效应系数的倒数相比较,见图 4。高、低目测等级组斜率法确定的抗弯强度组合尺寸效应系数的倒数与形状参数法确定的 k 值有一定差距。这说明通过二参数威布尔函数的形状参数 k 值

确定落叶松目测等级试件的抗弯强度组合尺寸效应系数有一定误差。

表 3 两参数威布尔分布的形状和尺寸参数

测试组	2PW-R		2PW-L	
	k	m	k	m
H65	3.34	92.75	3.18	93.30
H90	3.68	80.71	3.33	81.51
H140	3.38	68.68	3.09	69.41
L65	3.09	72.45	2.73	73.40
L90	3.19	60.95	2.76	61.75
L140	2.80	57.73	2.42	58.75

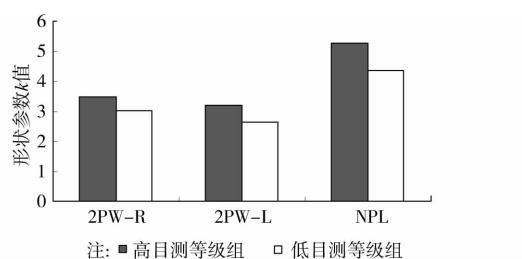


图 4 两参数威布尔分布的形状参数与非参数方法获得的尺寸效应系数的倒数的比较

4 结 论

1) 随着落叶松锯材纵截面积的增加,其抗弯强度降低。

2) 高、低目测等级组落叶松锯材抗弯强度 5% 分位值的组合尺寸效应系数分别为 0.19(1/5.26) 和 0.23(1/4.35)。若长度/宽度按照相同比例变化时,那么高、低目测等级落叶松锯材尺寸调整前后的抗弯强度比应为长度或宽度变化前后之比的一 0.38 和 -0.46 次方。

3) 利用二参数威布尔函数的形状参数 k 值确定目测等级落叶松锯材抗弯强度的组合尺寸效应系数有一定误差。

参考文献:

- [1] Falk B H. Wood as a sustainable building material [J]. Forest Products Journal, 2009, 59(9): 6-12.
- [2] Jiang J H, Lu J X, Ren H Q, et al. Effect of growth ring width, pith and visual grade on bending properties of Chinese fir plantation dimension lumber [J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2011, 70:119-123.
- [3] Chen Y, Barrett J D, Lam F. Mechanical properties of Canadian coastal douglas-fir and hem-fir [J]. Forest Products Journal, 2009, 59(6): 44-54.
- [4] Tong Q J, Fleming R L, Tanguay F, et al. Wood and

lumber properties from unthinned and precommercially thinned black spruce plantations [J]. Wood and Fiber Science, 2009, 41(2):168-179.

- [5] ASTM D 1990-2007, Standard practice for establishing allowable properties for visually-graded dimension lumber from in-grade tests of full-size specimens [S]. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, 2007.
- [6] Bohannon B. Effect of size on bending strength of wood members (Research paper FPL-56) [R]. Madison: Forest Products Laboratory, Forest Service, Department of Agriculture, US, 1966.
- [7] Barrett J D, Griffin H. Size effects for Canadian dimension lumber [C]//Proceedings of the CIB-W18A Meeting on Timber Structures. Berlin: International Council for Building, 1989: 22-6-1.
- [8] Madsen B. Length effects in 38mm spruce-pine-fir dimension lumber [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 1990, 17(2):226-237.
- [9] 周海宾,任海青,吕建雄,等. 木结构用杉木规格材抗弯强度的长度尺寸效应[J]. 建筑材料学报, 2009, 12(4):146-150.
- Zhou H B, Ren H Q, Lyu J X, et al. Size effect of length on flexural strength of Chinese fir dimension lumber used in wood structure [J]. Building Materials Journal, 2009, 12(4):146-150.
- [10] Zhou H B, Ren H Q, Lyu J X, et al. Length effect on the tension strength between mechanically graded high- and low-grade Chinese fir lumber [J]. Forest Products Journal, 2010, 60(2):144-149.
- [11] 周海宾,江京辉,王学顺,等. 兴安落叶松目测等级锯材抗拉强度的宽度尺寸效应[J]. 北京林业大学学报, 2011, 34(1): 127-130.
- Zhou H B, Jiang J H, Wang X S, et al. Size effect of width on the tension strength of visually-graded Chinese Larch dimension lumber [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2011, 34(1): 127-130.
- [12] Lam F, Varoglu E. Effect of length on the tensile strength of lumber [J]. Forest Product Journal, 1990, 40(5):37-42.
- [13] Takeda T. Differences of tensile strength distribution between mechanically high-grade and low-grade Japanese larch lumber I: Effect of length on the strength of lumber [J]. Journal of Wood Science, 1999, 45(3):200-206.
- [14] Madsen B. Structural behaviour of timber [M]. Vancouver: Timber Engineering Ltd, 1992.
- [15] ASTM D 2915-2010, Standard practice for evaluating allowable properties for grades of structural lumber[S]. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, 2010.