

测试方法对毛竹顺纹抗剪强度的影响

高黎¹, 王正¹, 蔺焱¹, 程海涛²

(1. 中国林科院木材工业研究所; 北京 100091; 2. 国际竹藤网络中心, 北京 100102)

摘要: 以4年生毛竹为对象, 分别按照国家标准、行业标准和国际标准的方法, 进行顺纹抗剪强度的测试。结果表明: 测试方法、试件形状以及加载速度对抗剪强度均有显著影响; 行业标准的试件形状能较准确地测出竹材的纯抗剪强度, 综合测试时间, 加载速度以0.8~1.5 mm/min为宜。

关键词: 毛竹; 顺纹抗剪强度; 标准; 测试方法; 试件形状; 加载速度

中图分类号: S795.9; TU531.3

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654(2012)03-0048-03

Influence of Test Methods on Moso Bamboo Shear Strength Parallel to Grain

GAO Li¹, WANG Zheng¹, LIN Tao¹, CHENG Hai-tao²

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

2. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

Abstract: In this study, three test methods from different standards, including Chinese National Standard GB/T, Construction Industry Standard JG/T, and ISO Standard, were used to evaluate shear strength parallel to grain of 4-year Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) samples. Shear strength related to specimen shape and loading speed was also evaluated. The results showed that: 1) there were significant differences among three test methods and specimen shapes; 2) loading speed had considerable influence on shear strengths. It was found that the test configuration specified in the Construction Industry Standard was more suitable for testing shear strength, and the loading speed was suggested from 0.8 to 1.5 mm/min.

Key words: *Phyllostachys pubescens*; shear strength parallel to grain; standard; test method; specimen shape; loading speed

在亚洲、非洲和南美洲盛产竹子的地域, 竹材是常用的、经济的建筑材料, 对原竹建筑而言, 竹材的顺纹抗剪强度是设计的重要考核指标之一^[1-2]。国内外存在大量关于竹材抗剪强度研究的参考文献, 其中测试方法的研究出现于20世纪中期, 主要包括含水率、竹龄、方法和取样位置等^[3-6], 但国内外制订的竹材物理力学性能测试方法的标准则非常少见, 目前仅有印

度标准 IS 6874-1973《Method of tests for round bamboos》和 IS 8242-1976《Method of tests for split bamboos》。其中前者经过修改, 已上升为 ISO 标准 (即 ISO 22157-2004 Bamboo — Determination of physical and mechanical properties)。我国制订竹材标准 GB/T 15780-1995《竹材物理力学性质试验方法》时, 部分参考采用后者。

本研究以我国常用毛竹为对象, 按照国内及国际3种标准测试方法, 进行毛竹顺纹抗剪强度的测试, 分析试件形状、加载速度对抗剪强度的影响, 为我国制订新的建筑用竹材性能测试方法标准提供参考。

收稿日期: 2011-11-07; 修改日期: 2012-03-30

基金项目: 公益性行业科研专项经费项目(2009040434), “十一五”国家科技支撑计划专题(2008BADA9B0203)。

作者简介: 高黎(1979—), 女, 中国林科院木材工业研究所助理研究员, 博士。

1 材料与方法

1.1 材料

毛竹(*Phyllostachys pubescens*): 采自浙江新昌县, 胸径 9~11 cm, 竹龄 4 年, 齐地砍伐, 自下向上取约 5 m 长的竹段, 编号标记。阴凉干燥通风处自然干燥, 试样制作时任意选取其中 5 根, 按标准规定方法进行试件的制备。

1.2 设备

恒温恒湿箱、万能力学试验机。

1.3 测试方法

1.3.1 我国国标的检测方法

GB/T 15780-1995《竹材物理力学性质试验方法》对试件尺寸和加载方式要求如图 1 所示。该标准规定以竹壁为测试材料, 要求试件破坏时间为 0.5~1.5 min。

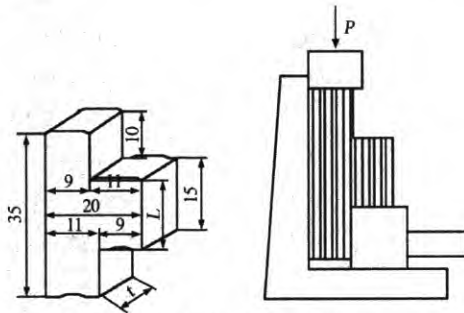


图 1 我国国标测试方法的试件示意图(单位:mm, 下同)

Fig. 1 Sketch of the shear test method in the Chinese National Standard

1.3.2 我国行标的检测方法

JG/T 199-2007《建筑用竹材物理力学性能试验方法》中, 同样以竹壁为材料, 要求以 10 MPa/min 的速度加载。试件尺寸和加载方式如图 2 所示。

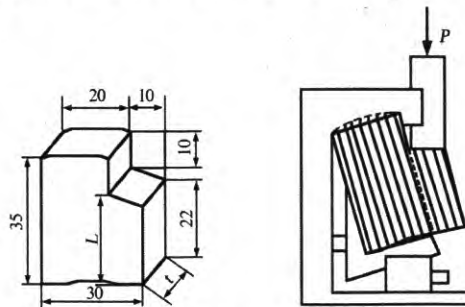


图 2 我国行标测试方法的试件示意图

Fig. 2 Sketch of the shear test method in the Construction Industry Standard in China

1.3.3 国际标准检测方法

ISO 22157-2004《Bamboo — Determination of physical and mechanical properties》规定, 采用原竹的短竹筒为基本测试材料, 上下夹具固定的压头为交错的 2 个 1/4 圆, 受剪共 4 个面, 间隙约 2~3 mm, 试件的尺寸和加载方式如图 3 所示。该标准对竹筒高度无具体要求, 为方便测试, 本研究试件高度定为 30 mm, 加载速度 0.6 mm/min。

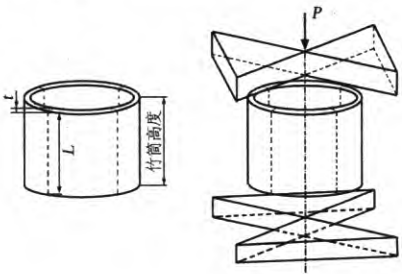


图 3 国际标准的测试方法中试件示意图

Fig. 3 Sketch of the shear test method in the ISO Standard

上述 3 种方法制备的试件放入(20±2)℃、相对湿度(65±5)%的恒温恒湿箱中至质量基本稳定, 最终含水率约 12%。3 种方法采用的试件样本量均满足标准中最小样本量的需求。

2 结果与讨论

2.1 标准测试方法的影响

3 种标准方法的测试结果, 列于表 1。

表 1 3 种标准方法测试毛竹抗剪强度的结果

Tab. 1 Shear strengths tested using three different methods

参照标准	样本数	平均值/ MPa	标准差/ MPa	变异系数/ %
GB/T 15780-1995	73	19.47	2.54	13.03
JG/T 199-2007	56	23.28	3.15	13.53
ISO 22157-2004	29	17.85	1.24	6.95

从表 1 可以发现, 3 种标准的测试结果依次为: JG/T 值>GB/T 值>ISO 值。主要是由于在 GB/T 15780-1995 和 ISO 22157-2004 标准中, 竹材试件的下端破坏点不仅受到垂直向上的剪切力, 还受该力与试件底部接触面形成的弯矩对试件的撕裂作用, 该力矩的力与力臂垂直, 所以更易导致试件的最大受力点发生剪切力和弯曲力共同作用的集中破坏, 但不排除加载速度的影响。ISO 标准的测试值相对 GB/T 的

测试结果较低,与其未考虑取样的对称性有关,因为竹材生长有向阳和背阴面,破坏易发生在竹筒性能较薄弱的部位。

测试结果的差异性分析列于表 2。由此可知,选择任一方法,对毛竹抗剪强度的测试都有显著影响。同时在中操作中发现,ISO 标准试件测试时间平均为 3 min,JG/T 标准(加载速度约 0.2 mm/min)每个试件测试时间约 10 min。为了提高测试工作效率,应考虑修改加载速度单位或提高加载速度。

表 2 标准测试方法对毛竹抗剪强度值的影响

Tab. 2 Effect of standard methods on bamboo shear strength

方差来源	自由度	偏差平方和	平均偏差平方和	F 值	显著性
标准方法	2	714.51	357.25	52.59	<0.0001

2.2 试件形状的影响

3 种标准中规定的试件形状、加载速度均有较大的差异,其差异性的主要影响因素仍未确定。为此,笔者固定试件破坏时间,分析试件形状对毛竹抗剪强度的影响。

JG/T 试件形状与 GB/T 1937-2009《木材顺纹抗剪强度试验方法》试件形状相似,受力方式相同,试件受剪面与加载方向夹角约 17°,试件受剪方向分量约占总载荷的 96%。因此,本研究中将 JG/T 的方法按照 GB/T 进行修订,在计算公式前乘以系数 0.96,

其抗剪强度计算公式为: $\tau_w = \frac{0.96P_{max}}{Lt}$ 。

考虑节约测试时间,按照从试件受力开始,在 1~1.5 min 内,试件发生破坏为准,进行加载速度的控制。经过调试,3 种方法的速度取 1 mm/min,试件均可在规定时间内发生破坏。

表 3 为 3 种形状的试件进行抗剪测试的结果。结果发现,即使破坏时间相同,不同形状试件的竹材抗剪强度仍具有较大的差异性,测试值依次为:JG/T 值>GB/T 值>ISO 值。

表 3 不同形状毛竹试件抗剪强度的测试结果

Tab. 3 Shear strengths from three different specimen shapes

参照标准	样本数	平均值/ MPa	标准差/ MPa	变异系数/ %
GB/T 15780-1995	73	19.47	2.54	13.03
JG/T 199-2007	60	25.17	2.73	10.40
ISO 22157-2004	24	18.06	1.70	9.39

表 4 分析结果显示,在测试时间一致的前提下,试件形状对抗剪强度的测试影响显著。JG/T 试件的测试值最高,是由于按其标准要求,试件在破坏位置剪切力与支撑力方向形成锐角,对试件造成撕裂的弯曲力矩分量减少,因而能较准确测出纯抗剪强度。

表 4 试件形状对毛竹抗剪强度的影响

Tab. 4 Effect of bamboo specimen shapes on shear strength

方差来源	自由度	偏差平方和	平均偏差平方和	F 值	显著性
试件形状	2	1 392.36	696.18	114.65	<0.0001

2.3 加载速度的影响

根据上述测试结果,选用 JG/T 标准规定的试件形状,采用 0.2、0.5、0.8、1.0、1.5、2.0 mm/min 进行加载试验,计算公式采用 $\tau_w = \frac{0.96P_{max}}{Lt}$ 。加载速度对毛竹抗剪强度的影响如表 5 所示。

表 5 不同加载速度下毛竹抗剪强度的测试结果

Tab. 5 Shear strength from different loading speeds

加载速度/ (mm·min ⁻¹)	样本数	抗剪强度/ MPa	标准差/ MPa	变异系数/ %
0.2	26	21.46	2.48	10.96
0.5	31	21.19	2.76	12.56
0.8	14	24.33	2.15	8.14
1.0	24	24.92	3.03	12.12
1.5	28	25.43	3.32	13.04
2.0	15	28.01	2.62	8.98

分析结果表明,加载速度对毛竹抗剪强度有显著的影响($F<0.0001$)。这是由于竹材是弹塑性体,当受外力从弹性变形发展到塑性变形时,可吸收的能量减少。低速加载时,竹材细胞受力发生较多的塑性变形,最终以较小的力发生破坏。而加载速度提高时,材料发生的弹性变形增多,可吸收部分外力的能量,因此表现出较高的承受力。

将 6 个加载速度水平进行差异性分析,其中水平间差异性不显著的有四组,包括 0.2 对 0.5、0.8 对 1.0、0.8 对 1.5 以及 1.0 对 1.5 mm/min。

图 4 中,加载速度为 0.2 和 0.5 mm/min 时,试件的抗剪强度差异不大;而速度提升到 0.8 mm/min 时,抗剪强度提高了近 15%;加载速度为 0.8、1.0 和 1.5 mm/min 时,抗剪强度的差异又变小;当速度提高到 2 mm/min 时的抗剪强度测试值,比 0.2 mm/min 时的测试值提高近 30%。(下转第 54 页)

2) 干燥周期

40~60 mm 厚的杨木,从初含水率 130%以上,干燥到含水率 10%,系统改造之前需要 14 d,改造后只需 10 d,干燥时间缩短 29%;若先气干再进行二次干燥,则只需 4.5 d。

25 mm 的柞木地板毛坯从初含水率 51.9%,干燥到含水率 10.8%,系统改造之前需要 12 d,改造后只需 8 d,干燥时间缩短 33.3%。

3) 能耗与干燥成本

利用木废料作为锅炉燃料,干燥每 m³ 木材可节省煤 150 kg,按照每月三个干燥周期计算,每窑(100 m³)每年(11 个月计)可节省煤约 500 t;如果煤的价格以 520 元/t 计,则每个窑每年可节约干燥成本约 26 万元,30 个窑即可节省成本 840 万元。由于干燥周期的缩短,电耗量和人工成本明显降低,平均节约综合成本 20%左右。

(上接第 50 页)

图 4 还显示,加载速度低,则测试时间过。考虑到竹材材性测试的工作量较大,而 0.8~1.5 mm/min 的水平间差异不明显,因此,建议选择 0.8~1.5 mm/min 的加载速度,以控制测试时间。

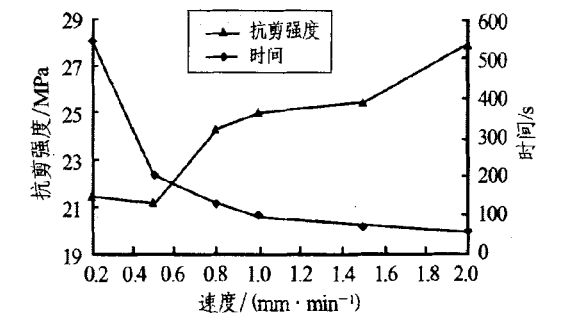


图 4 加载速度对毛竹抗剪强度的影响

Fig. 4 Loading speed influence on bamboo shear strength specimens

3 结论

1) 不同标准的测试方法对毛竹顺纹抗剪强度的测量结果有显著影响,测试值依次为行标值>国标值>国际标准值。ISO 方法和 JG/T 方法的测试时间较长。

4 结论

经实践证明,以上措施可有效提高木材的干燥质量,缩短干燥周期,实现综合节能的目的。在生产性试验中还发现,企业干燥窑数量多,锅炉功率配置稍显不足,锅炉没有采用自动进料系统,供热连续性不强,对干燥时间造成一定影响;而且,手工进料会造成木废料不能完全燃烧,偶尔会有黑烟出现。因此,锅炉的供热系统有待进一步优化。

参考文献:

[1] 张壁光,伊松林,周永东.我国木材干燥设备制造业概况与存在的问题[J].干燥技术与设备,2011,9(4):176-178.

[2] 顾炼百,庄寿增.我国木材工业现状与科技需求[J].木材工业,2009,23(3):24-27.

[3] 周永东,张壁光.木材常规蒸汽干燥室散热器面积的配置[J].木材工业,2010,24(3):25-27.

(责任编辑 向 琴)

2) 采用相同的测试时间时,试件形状对毛竹的顺纹抗剪强度有显著影响。JG/T 标准试件形状相对较真实反映出竹材的纯抗剪强度,可运用公式 $\tau_w = \frac{0.96P_{max}}{Lt}$ 进行修正。

3) 加载速度对毛竹的顺纹抗剪强度亦有显著影响,0.8~1.5 mm/min 的速度较适宜。

参考文献:

[1] 李正,顾正.竹材及其在建筑工程中的应用[M].上海:科学技术出版社,1957.

[2] Jules J. A. Janssen. Designing and building with bamboo[R]. INBAR technical report, No. 20, 2000.

[3] Motoi Ota. Studies on the properties of bamboo stem (part 12)-On the form of stair type specimen for the shearing test parallel to the grain[R]//Kyushu University Technical Report, 1955: 73-84.

[4] 樊承谋.竹材的力学和弹性性能试验的试件选择[J].哈尔滨工业大学学报(竹材利用论文专号),1957(8):128-142.

[5] Atrops J L. Elastizitaet und festigkeit von Bambusroehren[J]. Der Bauingenieur, 1969, 44(6): 220-225.

[6] Sekhar A C, B S Rawat, R K Bhartari. Strength of bamboos: Bambusa Nuttans[J]. Indian Forester, 1962(1): 67-73.

(责任编辑 向 琴、孟凡丹)