

## 大木竹竹材力学性质的研究\*

苏文会<sup>1,2</sup>, 顾小平<sup>1\*\*</sup>, 马灵飞<sup>3</sup>, 官凤英<sup>2</sup>, 岳晋军<sup>1</sup>(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 国际竹藤网络中心, 北京 100102;  
3. 浙江林学院工程学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:**在浙江平阳竹木混交林内,采集3年生大木竹,按标准制成试样,测定了丛生竹种大木竹竹材的各力学性质,并以材性优良的毛竹为参比进行分析。结果发现:大木竹竹材的顺纹抗拉、顺纹抗压、抗劈力和抗弯弹性模量分别为238.0 MPa、75.1 MPa、45.6 N·mm<sup>-1</sup>和12.6 GPa,比毛竹材的相应值大或与毛竹相当,顺纹抗剪和抗弯强度较毛竹材为低。大木竹的各力学性质间有较密切的相关性,顺拉强度:顺压强度:顺剪强度:抗劈力:抗弯强度为3.2:1.0:0.2:0.6:1.8。该研究结果可为大木竹的合理开发利用提供理论依据。

**关键词:**大木竹;力学性质;抗压;竹板材

中图分类号:S795.9

文献标识码:A

Study on Wood Mechanical Properties of *Bambusa wenchouensis*SU Wen-hui<sup>1,2</sup>, GU Xiao-ping<sup>1\*\*</sup>, MA Ling-fei<sup>3</sup>, GUAN Feng-ying<sup>2</sup>, YUE Jin-jun<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China;

3. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Compared with Moso bamboo, *Phyllostachys edulis*, the wood mechanical properties of *Bambusa wenchouensis*, a sympodial bamboo, were studied. The result showed that its tensile strength parallel to grain ( $\delta t$ ), compressive strength parallel to grain ( $\delta c$ ), cleavage strength (C) and modulus of elasticity in static bending (MOE) were 238.0 MPa, 75.1 MPa, 45.6 N·mm<sup>-1</sup> and 12.6 GPa respectively, which were larger than or almost equal to those of Moso bamboo. Its shearing strength parallel to grain ( $\delta s$ ) and bending strength (MOR) were smaller. The wood mechanical properties of *B. wenchouensis* had good relativity with each other, and the  $\delta t$ :  $\delta c$ :  $\delta s$ : C: MOR was equal to 3.2:1.0:0.2:0.6:1.8. This study could lay theoretical foundation for proper exploitation and utilization of *B. wenchouensis*.

**Key words:** *Bambusa wenchouensis*; mechanical property; compressive strength; bamboo board

大木竹(*Bambusa wenchouensis* (Wen) Q. H. Dai), 箬竹属, 单竹亚属, 自然分布于浙南、闽北和闽东地区。该竹秆形高大、竹壁厚、产材量高。据文献

[1,2]报道和本研究调查,大木竹一般竹株胸径7~11 cm,竹壁厚达10~17 mm,节间长30~65 cm,年产材量可为毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de

收稿日期:2005-11-08

基金项目:浙江省科技厅重点项目“区域优良竹种的开发”(011034)和农业科技成果转化项目“竹藤培育及营林技术示范”(2004670040400)的部分内容

作者简介:苏文会(1976—),女,河北石家庄人,硕士。

\* 本研究试样的采集由浙江省平阳县南湖乡林业站协助完成,特此致谢!

\*\* 通讯作者

Lehaie)等竹种的2倍多,是优良的大型丛生竹种。

近年来,随着竹产业的迅速发展,竹原料供需矛盾日趋突出,加上我国长期以来竹资源利用模式单一,尤其是竹板材加工几乎完全依赖毛竹,使得这一矛盾进一步加剧。本研究针对我国当前竹资源利用的现况,从大木竹生物量大、竹壁厚、秆形较好等特点和优势出发,对该竹竹材的抗拉、抗压、抗弯、抗剪和抗劈等力学强度进行了系统研究,并与材性优良的毛竹材的力学性能作比较,旨在评价大木竹作为板材原料的可能性。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试材采集

采样点设在浙江省平阳县南湖乡,竹林为以大木竹为主的竹木混交林。分散选取生长良好、无缺陷的大木竹及参比竹种毛竹各5株,齐地砍倒,去梢头,然后将竹秆5等分,每部分自下向上截取约1.5 m长的竹段,编号标记,作为从秆基到秆梢不同部位的测试材料,带回实验室。各试材情况见表1。

表1 大木竹与参比竹种毛竹力学性质的试材情况

竹种	年龄/ a	株数/ 株	平均秆高/ m	平均胸径/ cm
大木竹	3	5	13.81	7.77
毛竹	6	5	13.60	7.83

### 1.2 试件制作及实验方法

为了保证各试件取自竹秆上相对一致的位置,将各段竹筒剖开,对称截取各力学性质的测试试材,保留试材两个弦面竹青与竹黄的原状,将各试材编

号标记。

按照国家标准<sup>[3]</sup>要求制作各力学强度试件,规格如下:顺纹抗压强度为20 mm(纵向尺寸)×20 mm(弦向尺寸)×t mm(竹壁厚),下同;抗弯强度和抗弯弹性模量为160 mm×10 mm×t mm;顺纹抗剪和顺纹抗拉强度试件的制作规格详见“竹材物理力学性质试验方法”<sup>[3]</sup>;抗劈力的测试,因目前国家标准中对竹材尚无规定,所以本研究参考了木材抗劈力的试件制作及测试方法<sup>[3]</sup>。

各力学强度指标在微机控制电子式木材万能力学试验机(山东 济南 MWD/50)上进行,测试方法参照“竹材物理力学性质试验方法”与“木材抗劈力试验方法”<sup>[3]</sup>。

因为竹材含水率对其力学性质有较大影响,按照国家标准的要求,将力学强度的测试试件放入温度20℃±2℃、相对湿度65%±5%条件下的恒温恒湿箱中,调整试件含水率至9%~15%时进行测定,记为“试验时”强度值,同时按标准规定,对部分指标推算出试件含水率为12%时的强度值,以便相互间的比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 大木竹竹材的力学强度

竹材的力学强度反映了其抵抗外界机械力作用的能力,对竹材的生产应用有极重要的影响,主要包括抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗劈力等指标。大木竹与参比竹种毛竹在竹秆纵向部位的各个力学强度见表2。

表2 大木竹与参比竹种毛竹竹材的力学性能

竹种	年龄/ a	部位	顺纹抗拉强度/MPa		顺纹抗压强度/MPa		顺纹抗剪强度/ MPa		抗劈力/ (N·mm <sup>-1</sup> )		抗弯弹性模量/GPa		抗弯强度/ MPa	
			试验时	含水率 12%时	试验时	含水率 12%时	试验时	含水率 12%时	试验时	试验时	试验时	含水率 12%时		
大木竹	3	-1	191.9	63.8	66.2	9.2	9.1	31.5	9.6	116.2	118.6			
		-2	214.9	74.4	74.3	11.5	11.4	43.8	12.0	133.1	132.6			
		-3	249.3	73.2	72.6	12.2	12.1	45.1	12.4	131.1	130.3			
		-4	264.2	80.1	78.4	13.3	13.2	51.4	14.3	153.2	152.7			
		-5	269.8	83.7	81.2	13.4	13.3	56.0	15.0	161.1	160.6			
		均	238.0	75.1	74.5	11.9	11.8	45.6	12.6	139.0	139.0			
毛竹	6	-1	216.6	75.5	74.9	15.7	15.7	17.2	10.4	162.5	168.9			
		-2	226.3	76.2	76.2	16.4	17.1	30.0	11.5	168.6	175.0			
		-3	229.1	80.0	79.6	16.8	16.7	30.5	11.9	170.1	176.2			
		-4	241.6	78.8	78.1	17.2	16.7	32.7	12.2	170.8	176.8			
		-5	246.6	78.9	78.2	17.1	16.9	33.0	12.4	173.7	179.7			
		均	232.1	77.8	77.4	16.6	16.6	28.7	11.7	169.1	175.3			

注:“-1、-2、-3、-4、-5”表示从基到梢的竹秆各部位,其对应数值是此部位各样竹的平均值。

2.1.1 大木竹竹材的顺纹抗拉强度 从表2中的数据可知,大木竹竹材在纵向各部位顺纹抗拉强度的均值为238.0 MPa,略大于参比竹种毛竹的相应值232.1 MPa。俞友明<sup>[4]</sup>、於琼花<sup>[5]</sup>等学者研究了红壳竹(*Phyllostachys iridescens* C. Y. Yao et S. Y. Che)和雷竹(*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao)的各力学性能,其中5年生雷竹和红壳竹的顺纹抗拉强度值分别为178.7、231.9 MPa,大木竹较该2种竹的强度亦为大,并远大于黄山松(*Pinus taiwanensis* Hayata)<sup>[6]</sup>和福建含笑(*Michelia fujianensis* Q. F. Zheng)<sup>[7]</sup>等木本植物的相应强度值。竹材抗拉强度愈大,则以此为原料制成的竹板抗拉性愈强。一般来说,抗拉强度与竹材密度及竹纤维强度有较密切的关系,竹材密度、纤维强度越大,则抗拉能力也就越强。

2.1.2 大木竹竹材的顺纹抗压强度 在生产中,竹材的受压荷载应用最广泛,所以抗压强度是竹材力学性质中最重要的特征之一。由表2可知,大木竹竹材的顺纹抗压强度为75.1 MPa,略小于参比竹种毛竹的相应值77.8 MPa,而比前人研究的云南龙竹(*Dendrocalamus giganteus* Munro)<sup>[8]</sup>73.3 MPa、麻竹(*Dendrocalamus latiflorus* Munro)<sup>[9]</sup>27.0 MPa、红壳竹<sup>[4]</sup>60.0 MPa、雷竹<sup>[5]</sup>45.4 MPa等竹种的顺纹抗压强度值均大。同抗拉强度相似,大木竹的顺纹抗压强度亦远大于福建柏(*Fokienia hod ginsii* (Dunn) Henry et Thoma)<sup>[10]</sup>、杨树<sup>[11]</sup>、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)<sup>[12]</sup>和黄山松<sup>[6]</sup>等木材的

相应强度。

2.1.3 大木竹竹材的顺纹抗剪强度 由表2可知,大木竹竹材的顺纹抗剪强度为11.9 MPa,比参比竹种毛竹的强度16.6 MPa低,但大于麻竹<sup>[9]</sup>等竹种及福建柏<sup>[10]</sup>、福建含笑<sup>[7]</sup>和黄山松<sup>[6]</sup>等木材的抗剪强度。

2.1.4 大木竹竹材的抗劈力 大木竹竹材的抗劈力为45.6 N·mm<sup>-1</sup>,明显大于毛竹材28.7 N·mm<sup>-1</sup>(表2),同福建含笑<sup>[7]</sup>等木本植物相比,大木竹竹材的抗劈力亦表现为大。

2.1.5 大木竹竹材的抗弯强度和抗弯弹性模量 大木竹竹材的抗弯强度为139.0 MPa,比毛竹材169.1 MPa要低,但大于麻竹<sup>[9]</sup>、雷竹<sup>[5]</sup>等竹种及杨树<sup>[11]</sup>、杉木<sup>[12]</sup>等木本植物的抗弯强度;从抗弯弹性模量上看,大木竹竹材的抗弯弹性模量为12.6 GPa,大于毛竹材11.7 GPa,比上述木本植物的相应模量值亦大。

## 2.2 大木竹竹材基本密度、竹秆纵向部位及各力学强度间的相关性分析

竹材密度与力学性能有密切关系,又因为在竹秆的不同部位,竹材密度及纤维形态有一定变异,因此力学强度也随竹秆部位呈现出相应的变异规律。表3是大木竹竹材基本密度、纵向部位及各力学强度间的相关性分析。从表3中的相关系数可看出,竹材基本密度、竹秆纵向部位与各力学强度间均有较好的正相关关系,即竹秆部位增高、竹材密度增大,各力学强度也随之增大。

表3 大木竹竹材基本密度、纵向部位及各力学强度间的相关性<sup>①</sup>

项目	基本密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	纵向部位	顺纹抗拉 强度/MPa	顺纹抗压 强度/MPa	顺纹抗剪 强度/MPa	抗劈力/ (N·mm <sup>-1</sup> )	抗弯弹性 模量/GPa	抗弯 强度/MPa
基本密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.000							
纵向部位 <sup>②</sup>	0.994	1.000						
顺纹抗拉强度/MPa	0.979	0.969	1.000					
顺纹抗压强度/MPa	0.963	0.947	0.905	1.000				
顺纹抗剪强度/MPa	0.970	0.941	0.965	0.963	1.000			
抗劈力/(N·mm <sup>-1</sup> )	0.979	0.965	0.941	0.994	0.981	1.000		
抗弯弹性模量/GPa	0.990	0.976	0.952	0.990	0.979	0.994	1.000	
抗弯强度/MPa	0.966	0.961	0.898	0.979	0.925	0.967	0.982	1.000

注:①表中数据为相关系数;②从秆基到秆梢5等分,分别用“1、2、3、4、5”表示各纵向部位,以此求得与各指标的相关系数。

## 2.3 大木竹竹材各力学强度间的关系

竹材的各力学性质间也存在一定的相关性。从表3中的分析数据可看出,大木竹各力学强度间关系紧密,均呈较好的正相关。据此,探寻某力学强度

和其它力学强度间的回归模型,则可以通过实测该强度值来估算竹材的其它力学性能,并为非破坏性测试提供理论依据。

对本研究的测定数据进行回归分析,大木竹的

主要力学强度间有以下比例关系:顺拉:顺压:顺剪:抗劈力:抗弯 = 3.2:1.0:0.2:0.6:1.8。

为较准确地估计大木竹竹材的各力学性能,本

研究选择易于测定、变异较小的顺纹抗压强度<sup>[13]</sup>为自变量,其它力学性质对其拟合方程并进行显著性检验,结果见表4。

表4 大木竹竹材各力学性质对顺纹抗压强度的回归模型

力学性质	回归模型	F 检验(F)	显著水平(P)	相关系数(R)
顺纹抗拉/MPa	$y = -61.2255 + 3.9878x$	13.5	0.035	0.9046
顺纹抗剪/MPa	$y = -4.3823 + 0.217248x$	38.1	0.009	0.9628
抗劈力/(N·mm <sup>-1</sup> )	$y = -45.4928 + 1.2134x$	232.6	0.001	0.9936
抗弯/MPa	$y = -35.9736 + 2.3309x$	70.3	0.004	0.9793
抗弯弹性模量/GPa	$y = -8.1083 + 0.276763x$	147.9	0.001	0.9900

### 3 结论与讨论

以材性优良的毛竹为参比,大木竹竹材顺纹抗剪和抗弯强度偏小,但顺纹抗拉、顺纹抗压、抗劈力和抗弯弹性模量比毛竹材的相应值大或与毛竹相当。同麻竹、红壳竹等竹种及福建柏、黄山松、杨树、杉木等木本植物的各力学性能相比较,大木竹材的力学强度均较大,因此,从力学性能上看,可考虑将大木竹用作竹板材原料。

如前言所述,随着竹加工技术的发展和“以竹代木”步伐的加大,竹原料供需矛盾日益突出。从我国竹类资源的开发利用现状看,由于长期过度地依赖毛竹等少数竹种,造成毛竹材价格居高不下,加工企业成本上升,同时这种单一化的利用模式也会给竹材加工业带来潜在危机。因此选择产量高、材性好的优良竹种进行开发和推广,对解决现实问题具有重要意义。本项目的研究对象大木竹秆形高大,竹壁厚<sup>[14]</sup>,力学强度、纤维形态<sup>[15]</sup>和化学性能<sup>[16]</sup>较好,并具有一般竹种难以达到的产量优势,所以推荐种植大木竹。

#### 参考文献:

- [1] 潘孝政. 大木竹及其栽培[J]. 竹子研究汇刊,1993,12(3):70~74  
 [2] 林景献. 大木竹的生长与营林技术调查[J]. 竹子研究汇刊,

1984,3(2):92~100

- [3] 中国标准出版社第一编辑室. 木材工业标准汇编[M]. 北京:中国标准出版社,2002:207~228  
 [4] 俞友明,杨云芳,方伟,等. 红壳竹人工林竹材物理力学性质的研究[J]. 竹子研究汇刊,2001,20(4):42~46  
 [5] 於琼花,俞友明,金永明,等. 雷竹人工林竹材物理力学性质[J]. 浙江林学院学报,2004,21(2):130~133  
 [6] 王传贵,柯曙华,杨强. 黄山松木材物理力学性质研究[J]. 安徽农业大学学报,1997,24(4):388~390  
 [7] 林金国,郑郁善,张金洋. 福建含笑木材物理力学性质的研究[J]. 西北林学院学报,1999,14(2):33~36  
 [8] 张宏健,杜凡,张福兴. 云南4种材用丛生竹的主要物理力学性质[J]. 西南林学院学报,1998,18(3):189~193  
 [9] 林金国,何水东,林顺德,等. 麻竹材基本密度与力学性质变异规律的研究[J]. 竹子研究汇刊,1999,18(1):58~62  
 [10] 陈祖松. 福建柏人工林木材物理力学性质的试验研究[J]. 福建林学院学报,1999,19(3):223~226  
 [11] 王桂岩,王彦,李善文,等. 13种杨树木材物理力学性质的研究[J]. 山东林业科技,2001(2):1~11  
 [12] 骆秀琴,管宁,张寿槐,等. 32个杉木无性系木材密度和力学性质的变异[J]. 林业科学研究,1994,7(3):259~262  
 [13] 尹思慈. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,2001:171  
 [14] 苏文会,顾小平,岳晋军,等. 大木竹秆形结构的研究[J]. 林业科学研究,2006,19(1):98~101  
 [15] 苏文会,顾小平,马灵飞,等. 大木竹纤维形态与组织比量的研究[J]. 林业科学研究,2005,18(3):250~254  
 [16] 苏文会,顾小平,马灵飞,等. 大木竹化学成分的研究[J]. 浙江林学院学报,2005,22(2):180~184