

DOI: 10.11929/j.swfu.201812016

引文格式: 沈华杰, 邱坚, 杨玉山, 等. 6种木材的解剖特征与物理力学性能分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2020, 40(2): 149-154.

## 6种木材的解剖特征与物理力学性能分析

沈华杰 邱 坚 杨玉山 王 宪 王云龙

(西南林业大学材料科学与工程学院, 云南昆明 650233)

**摘要:** 为进一步研究榉木、西南桦、橡胶木、白蜡木、天然柚木和人工柚木6种木材的弯曲加工性能, 通过对不同树种导管比量、纤维长度、密度、干缩系数弦径比、最大载荷、抗弯强度、抗弯弹性模量以及最大压弯变形量进行测量对比。结果表明: 6种木材中榉木导管比量和木纤维长度与其他5种木材差异明显, 其导管比量大小排序为榉木>白蜡木>西南桦>人工柚木>天然柚木>橡胶木, 木纤维长度大小排序为榉木>白蜡木>橡胶木>天然柚木>人工柚木>西南桦; 西南桦密度与其他5种木材差异明显, 榉木、橡胶木、白蜡木、天然柚木和人工柚木间密度差异不明显, 且均属于中等密度; 在2种状态下, 6个树种的径向干缩湿胀率均小于弦向干缩率, 而榉木的弦径比最大, 天然柚木最小; 6种木材中西南桦的破坏载荷、抗弯强度和弹性模量均最大, 而白蜡木的压弯变形量最大, 天然柚木最小, 其压弯变形量大小排序为白蜡木>西南桦>人工柚木>榉木>橡胶木>天然柚木。

**关键词:** 树种; 解剖特征; 物理性质; 力学性质; 弯曲加工性能

中图分类号: S781

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2020)02-0149-06

## Analysis of Anatomical Character and Physical-mechanical Performance of 6 Wood Species

Shen Huajie, Qiu Jian, Yang Yushan, Wang Xian, Wang Yunlong

(College of Materials Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming Yunnan 650233, China)

**Abstract:** To further study of the bending processing performance of six wood species, such as *Zelkova schneideriana*, *Betula alnoides*, *Hevea brasiliensis*, *Fraxinus chinensis*, natural *Tectona grandis* and artificial *Tectona grandis*. The proportion of vessel tissues, fiber length, density, whrinkage and bulging, maximum load, MOR, MOE and maximum bending deformation were studied. The results indicated that study the proportion of vessel tissues and fiber length of *Z. schneideriana* were significantly different from those of other 5 wood species. The order of the proportion of vessel tissues size is as follows: *Z. schneideriana*> *F. chinensis* > *B. alnoides* > artificial *T. grandis* > natural *T. grandis* > *H. brasiliensis*. The order of fiber length size is as follows: *Z. schneideriana*> *F. chinensis* > *H. brasiliensis* > artificial *T. grandis* > natural *T. grandis* > *B. alnoides*. The density of *B. alnoides* was significantly different from that the other 5 species, and the density difference among *Z. schneideriana*, *H. brasiliensis*, *F. chinensis*, natural *T. grandis* and artificial *T. grandis* is not significantly, and they are all moderate density; The whrinkage and bulging of radial direction smaller than the tangential direction of 6 wood species in 2

收稿日期: 2018-12-08; 修回日期: 2019-09-03

基金项目: 云南省应用基础研究计划项目青年项目(2017FD102)资助。

第1作者: 沈华杰(1987—), 男, 博士研究生。研究方向: 木材弯曲。Email: shenhuajie@swfu.edu.cn。

通信作者: 邱坚(1965—), 男, 博士, 教授。研究方向: 生物质材料。Email: qiujianswfu@foxmail.com。

condition. While the chord ratio of the *Z. schneideriana* is the largest, and the natural *T. grandis* is the smallest; The maximum load, MOR, MOE of *B. alnoides* are the largest among the 6 wood species. The *F. chinensis* has the best bending performance, and the natural *T. grandis* has the worst bending performance. The order of bending deformation size is as follows: *F. chinensis* > *B. alnoides* > artificial *T. grandis* > *Z. schneideriana* > *H. brasiliensis* > natural *T. grandis*.

**Key words:** wood species; anatomical character; physical properties; mechanical properties; bending processing performance

曲线家具具有独特的美感且符合人体工程学要求,它不仅附加值高,而且通过弯曲工艺能有效利用木材<sup>[1]</sup>。实木弯曲家具通常可通过实木锯解和实木弯曲工艺生产获得,由于锯解弯曲是通过锯截的方式获得弯曲产品,不仅使木材纤维被截断,减小了木材强度,还大大降低了木材的利用率,所以工业生产中实木弯曲产品主要来源于实木弯曲工艺<sup>[2-3]</sup>。

木材是有弹性的,在常态下可塑性很小,直接进行弯曲加工形成凸面受拉伸凹面受压缩,当拉伸应变达到1%左右时,拉伸面纤维被拉断破坏,压缩面会产生皱折,因而难以获得要求的弯曲曲率半径<sup>[4-5]</sup>。采用蒸煮等软化处理方法,可使木材的塑性增大,使受拉一侧的允许拉伸应变增加到1.5%~2.0%,且受压面的允许压缩应变获得很大的提高,达到30%~35%<sup>[6-9]</sup>。虽压缩面具有较大的允许应变,但因受拉面允许应变最大不能超过1.5%~2.0%,使弯曲曲率半径仍受到很大的限制<sup>[5]</sup>。近年来,人们在木材弯曲性能和树种、木材软化技术和干燥定型方法等方面做了许多研究,并使用软化剂进一步增大了木材纤维间的滑移,增强了木材的弯曲性能<sup>[10-15]</sup>,但目前关于软化剂在木材微观层面的作用机理的研究仍然缺乏,因此,对弯曲木材进行微观解剖构造的基础性研究具有重要意义。

榉木(*Zelkova schneideriana*)、西南桦(*Betula alnoides*)、橡胶木(*Hevea brasiliensis*)、白蜡木(*Fraxinus chinensis*)、天然柚木(*Tectona grandis*)和人工柚木是目前较为常用的曲线家具原料,本研究以这6种木材为研究对象,对其微观解剖特征和物理力学性能进行研究,以期为后期的实木弯曲实验研究提供基础数据参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

榉木,环孔材、纹理直、强度高,是纺织、

造船及家具工业上的优等材料<sup>[16-17]</sup>。西南桦,散孔材、纹理直、密度中、强度高、不翘不裂、不易变形,除了制作高档家具外还可以制作飞机和船舶用的高强度胶合板<sup>[16-17]</sup>。橡胶木,散孔材、斜纹理、密度低、尺寸稳定不开裂,切削容易,很适合制作家具<sup>[16-17]</sup>。白蜡木,环孔材、纹理直、强度中,人工栽培者生长迅速<sup>[16-17]</sup>。天然柚木和人工柚木,环孔材至半环孔材、纹理直、强度中,用途广泛,是为我国热带地区最值得大面积栽培种植的优良用材树种<sup>[16-17]</sup>。榉木、橡胶木和西南桦木材购自云南省昆明市西南木材市场,白蜡木木材购自江苏省苏州市张家港中南木材交易市场,人工柚木和天然柚木木材购自云南省德宏州瑞丽木材市场。为减小木材变异性影响,所有木材均为成熟材,锯解试件为无瑕疵的心材且横切面纹理角度不大于10°。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 解剖特征

每个树种各取约10 mm×10 mm×10 mm的新鲜木块进行水煮软化(水煮时间依试材软硬而定)。待软化适当后冷水充分冲洗3~5次,并用Leica SM 200R滑走切片机制备横切面、径切面和弦切面厚度为12~20 μm的切片;把得到的合格切片放入50%翻红染液中染色24 h,然后依次用各级浓度的乙醇水溶液脱水、二甲苯透明干净处理;中性树胶封片,贴标签,干燥后依据IAWA阔叶材分类标准<sup>[14]</sup>,在尼康生物数码显微镜图像分析仪(CELIPSE 80i, Nikon, Japan)进行观察测定。

#### 1.2.2 物理力学性能

木材力学性能的测量依据《木材物理力学试验方法总则》(GB/T 1928—2009)<sup>[18]</sup>、《木材物理力学试材锯解及试样截取方法》(GB/T 1929—2009)<sup>[19]</sup>、《木材含水率测定方法》(GB/T 1931—2009)<sup>[20]</sup>、《木材干缩性测定方法》(GB/T 1932—2009)<sup>[21]</sup>、《木材密度测定方法》(GB/T 1933—2009)<sup>[22]</sup>、《木材吸水性测定方法》(GB/T 1934.1—

2009) [23]、《木材湿胀性测定方法》(GB/T 1934.2—2009) [24]、《木材抗弯强度试验方法》(GB/T 1936.1—2009) [25]、《木材抗弯弹性模量测定方法》(GB/T 1936.2—2009) [26] 进行，分别测定各树种木材的密度、干缩系数、最大载荷、最大变形量、抗弯强度、抗弯弹性模量等物理力学性能指标。所有指标测试样本数均为 30 份，结果取平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 导管比量和木纤维长度

木纤维和导管是阔叶材的重要组成单元，其结构特征直接影响阔叶材的利用价值。6 种木材为样本，制作木材切片，观测其导管比量、木纤维长度，每种木材样本数为 30 份，结果见表 1。

表 1 6 种木材的导管比量和纤维长度

Table 1 The proportion of vessel tissues and fiber length of 6 wood species

树种	导管比量					纤维长度				
	平均值	标准误差	变异系数/%	方差	显著性	平均值/ $\mu\text{m}$	标准误差	变异系数/%	方差	显著性
榉木	16±1.18	0.394	7.795	0.736	0.605	1 609±208.46	69.489	13.649	1.667	0.292
西南桦	8±1.16	0.389	14.991	0.312	0.859	981±96.56	32.188	10.367	1.121	0.280
橡胶木	3±0.48	0.163	15.188	0.122	0.736	1 189±170.20	56.735	15.079	1.183	0.235
白蜡木	9±1.04	0.348	15.500	0.433	0.737	1 294±131.48	43.828	10.711	1.639	0.298
天然柚木	5±0.81	0.268	15.451	0.950	0.474	1 164±109.34	36.447	9.896	1.969	0.238
人工柚木	6±0.87	0.291	14.821	0.122	0.794	1 144±134.51	44.836	12.382	1.274	0.365

由表 1 可知，6 种木材中榉木导管比量与其他 5 种木材差异明显，5 种木材中橡胶木导管最少；6 种木材导管比量大小排序为榉木>白蜡木>西南桦>人工柚木>天然柚木>橡胶木，以橡胶木为基准，其他 5 种木材的导管比量分别高出其 433%、200%、166%、100%、66%。6 种木材的纤维长度中榉木的木纤维最长，约 1 609  $\mu\text{m}$ ，白蜡木次之，西南桦最短，且榉木纤维长度与其他 5 种木材差异明显；6 种木材木纤维长度大小排序为榉木>白蜡木>橡胶木>天然柚木>人工柚木>西

南桦，以西南桦纤维长度为基准，其他 5 种木材分别比其长 64%、32%、21%、18%、17%。根据 IAWA 阔叶材分类标准，6 种木材纤维长度均为短至中等水平。

### 2.2 物理力学性能

#### 2.2.1 木材密度

木材密度是木材物理力学性能的重要指标之一，直接影响到木材的加工工艺以及物理力学性能。6 种木材的基本密度、气干密度、绝干密度结果见表 2。

表 2 6 种木材的密度

Table 2 The density of 6 wood species

树种	基本密度					气干密度					绝干密度				
	平均值/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	标准 误差	变异系 数/%	方差	显著 性	平均值/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	标准 误差	变异系 数/%	方差	显著 性	平均值/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	标准 误差	变异系 数/%	方差	显著 性
榉木	0.61±0.019	0.006	3.96	2.457	0.175	0.70±0.018	0.005	2.68	0.602	0.707	0.64±0.018	0.006	3.02	3.100	0.148
西南桦	0.67±0.004	0.012	6.10	2.601	0.161	0.86±0.052	0.017	6.33	0.100	0.987	0.72±0.057	0.019	7.34	6.460	0.141
橡胶木	0.56±0.019	0.006	3.72	0.618	0.629	0.68±0.026	0.008	4.06	0.510	0.733	0.62±0.025	0.008	4.20	1.833	0.260
白蜡木	0.57±0.016	0.005	2.99	0.838	0.556	0.73±0.019	0.006	2.75	1.138	0.373	0.69±0.021	0.007	3.16	1.526	0.301
天然柚木	0.59±0.028	0.009	4.97	0.795	0.630	0.69±0.028	0.009	4.33	3.079	0.192	0.65±0.035	0.011	5.71	5.415	0.097
人工柚木	0.58±0.028	0.009	5.07	1.632	0.328	0.60±0.047	0.016	9.99	0.120	0.985	0.51±0.021	0.007	4.08	1.827	0.332

由表2可知, 榉木、西南桦、橡胶木、白蜡木、天然柚木和人工柚木的基本密度分别为 0.61、0.67、0.56、0.57、0.59、0.58 g/cm<sup>3</sup>, 气干密度分别为 0.70、0.86、0.68、0.73、0.69、0.60 g/cm<sup>3</sup>。其中, 西南桦与其他 5 种木材差异明显, 榉木、橡胶木、白蜡木、天然柚木和人工柚木间密度差

异不明显。根据我国木材气干密度的分级可知, 6 种木材均属于中等密度。

### 2.2.2 尺寸稳定性

木材干缩系数是衡量木材质量优劣和尺寸稳定性的重要指标之一, 6 种木材的径向、弦向和体积的干缩湿胀系数见表 3。

表 3 6 种木材气干干缩和绝干干缩特性  
Table 3 The dry-shrinkage property of 6 wood species

树种	方向	气干干缩湿胀系数				绝干干缩湿胀系数			
		平均值	标准误差	变异系数/%	弦径比	平均值	标准误差	变异系数/%	弦径比
榉木	径向	1.77±0.20	0.07	15.53	1.98	2.05±0.85	0.28	11.54	2.11
	弦向	3.51±0.24	0.08	9.99		4.34±0.27	0.09	6.59	
	体积	5.92±0.85	0.28	15.15		7.78±1.27	0.43	17.28	
西南桦	径向	3.05±0.91	0.30	15.79	1.70	3.37±1.02	0.34	14.63	1.73
	弦向	5.21±1.45	0.48	16.67		5.83±1.61	0.53	13.29	
	体积	14.52±2.09	0.69	15.18		8.31±1.98	0.99	17.17	
橡胶木	径向	2.31±0.28	0.09	12.82	1.92	3.64±0.64	0.22	14.48	1.57
	弦向	4.45±0.61	0.20	14.38		5.74±0.93	0.31	13.25	
	体积	7.59±0.42	0.14	5.84		11.12±1.57	0.53	14.94	
白蜡木	径向	3.76±1.07	0.36	16.69	1.44	6.48±1.19	0.39	14.83	1.26
	弦向	5.42±1.15	0.28	14.41		8.14±1.27	0.43	12.65	
	体积	14.27±1.25	0.41	9.29		17.63±1.12	0.37	6.70	
天然柚木	径向	2.49±0.31	0.10	16.16	1.37	4.30±0.67	0.22	16.65	1.24
	弦向	3.43±0.26	0.08	8.00		5.33±0.74	0.24	14.68	
	体积	5.76±0.89	0.29	16.38		9.91±1.55	0.51	16.56	
人工柚木	径向	2.67±0.41	0.14	16.34	1.38	4.47±0.56	0.18	13.29	1.63
	弦向	3.68±0.50	0.17	15.46		5.14±0.26	0.09	4.95	
	体积	5.22±0.76	0.26	15.46		8.39±1.38	0.46	17.29	

由表 3 可知, 在 2 种状态下, 6 种木材无论是绝干干缩还是气干干缩, 径向干缩率<弦向干缩率。其中, 白蜡木径向气干干缩率、绝干干缩率均为最大, 而天然柚木均为最小。气干状态下, 榉木径向、弦向差异干缩最大, 为 1.98, 天然柚木最小, 为 1.37; 绝干状态下, 榉木径向、弦向差异干缩为 2.11, 天然柚木为 1.24。以上结

果表明: 在 6 种木材中, 榉木的尺寸稳定性最差, 天然柚木的尺寸稳定性最好。

### 2.2.3 力学性能

木材的力学性能是分析木材性能的重要指标。6 种木材的破坏载荷、弹性模量、抗弯强度和最大变形量测试结果见表 4。

表4 6种木材力学性能

Table 4 The physical-mechanical performance of 6 wood species

树种	破坏载荷					弹性模量				
	平均值/MPa	标准误差	变异系数/%	方差	显著性	平均值/MPa	标准误差	变异系数/%	方差	显著性
榉木	2.86±0.20	0.06	11.51	0.049	0.997	9 523±940.48	313.49	10.41	1.914	0.388
西南桦	2.98±0.24	0.08	8.49	2.801	0.075	11 671±848.41	282.81	7.66	2.158	0.356
橡胶木	1.94±0.22	0.07	12.05	4.440	0.080	8 335±560.25	186.75	7.08	1.050	0.094
白蜡木	2.57±0.20	0.07	8.19	4.643	0.052	10 618±886.40	295.46	8.79	2.264	0.197
天然柚木	2.54±0.36	0.12	15.11	2.623	0.145	10 557±1 301.06	433.68	11.66	2.193	0.206
人工柚木	2.22±0.20	0.07	10.54	3.330	0.105	9 175±969.19	323.06	11.13	7.335	0.020

  

树种	抗弯强度					最大变形量				
	平均值/MPa	标准误差	变异系数/%	方差	显著性	平均值/mm	标准误差	变异系数/%	方差	显著性
榉木	90.72±12.42	4.14	14.43	0.533	0.719	9.21±1.26	0.42	14.39	3.75	0.363
西南桦	134.02±10.80	3.60	8.49	0.580	0.691	9.62±1.29	0.43	14.21	4.55	0.539
橡胶木	88.41±8.48	2.82	10.12	2.647	0.153	8.59±1.17	0.39	14.40	2.65	0.247
白蜡木	115.82±9.01	3.00	8.19	2.905	0.123	11.35±1.36	0.45	12.66	9.04	0.832
天然柚木	116.47±12.48	4.16	11.29	1.250	0.389	7.85±0.85	0.28	11.39	1.64	0.171
人工柚木	95.85±9.08	3.03	10.53	0.371	0.777	9.22±0.96	0.32	11.07	4.01	0.557

由表4可知, 6种木材中, 西南桦破坏载荷、抗弯强度和弹性模量均为最大, 分别为2.98、134.02、11 671 MPa, 而橡胶木最小, 分别为1.94、88.41、8 335 MPa; 以橡胶木为基准, 榉木、西南桦、白蜡木、天然柚木、人工柚木的破坏载荷分别比橡胶木高出47%、54%、32%、31%、14%, 弹性模量分别比橡胶木高出14%、40%、28%、27%、11%, 抗弯强度分别比橡胶木高出13%、52%、31%、32%、8%。白蜡木压弯变形量最大, 均值为11 mm, 天然柚木为最小, 为7 mm。以天然柚木为基准, 榉木、西南桦、橡胶木、白蜡木、人工柚木的压弯变形量分别比天然柚木高出17%、12%、9%、45%、17%。

### 3 结论

6种木材中榉木导管比量和木纤维长度与其他5种木材差异明显, 其导管比量大小排序为榉木>白蜡木>西南桦>人工柚木>天然柚木>橡胶木, 以橡胶木为基准, 其他5种木材的导管比量分别高出其433%、200%、166%、100%、66%; 榉木纤维长度最长且与其他5种木材差异明显, 木纤维长度大小排序为榉木>白蜡木>橡胶木>天然柚木>人工柚木>西南桦, 南桦纤维长度为基准, 其他5种木材分别比其长64%、32%、21%、18%、17%; 根据IAWA阔叶材分类标准木纤维

长度均为短至中等水平。西南桦密度与其他5种木材差异明显, 榉木、橡胶木、白蜡木、天然柚木和人工柚木间密度差异不明显, 根据我国木材气干密度的分级均属于中等密度。在2种状态下, 6个树种的径向干缩湿胀率均小于弦向干缩率; 而榉木的弦径比最大, 天然柚木最小, 所以榉木的尺寸稳定性最差, 天然柚木的尺寸稳定性最好。6种木材的物理力学性能大小排序为西南桦>榉木>白蜡木>天然柚木>人工柚木>橡胶木, 而压弯变形量大小排序为白蜡木>西南桦>人工柚木>榉木>橡胶木>天然柚木。综上可得白蜡木的弯曲加工性能最好, 天然柚木的弯曲加工性能最差。

### [参 考 文 献]

- [1] 董晓英, 王逢瑚, 李永峰, 等. 浅谈实木弯曲家具生产中的实木弯曲成型技术 [J]. 林业科技, 2008, 33(1): 52-54.
- [2] 赵辉, 陆怀民. 矩形截面对称板材弯曲成型和铣削成型的强度分析 [J]. 林业科学, 2005, 41(6): 195-197.
- [3] 马岩, 赵辉. 矩形截面对称板材弯曲成型和铣削成型出材率的解析分析 [J]. 林业科学, 2006, 42(11): 106-109.
- [4] 宋魁彦. 木材顺纹压缩与多维弯曲技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.

- [5] 赵钟声. 木材薄板横纹压缩强化的微观结构变化与拉伸弯曲性能 [J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(12): 77-79, 111.
- [6] de Peres M L, de Ávila Delucis R, Gatto D A, et al. Mechanical behavior of wood species softened by microwave heating prior to bending [J]. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2016, 74(2): 143-149.
- [7] de Cademartori P H G, Missio A L, Mattos B D, et al. Physical and mechanical properties and colour changes of fast-growing Gympie messmate wood subjected to two-step steam-heat treatments [J]. *Wood Material Science & Engineering*, 2014, 9(1): 40-48.
- [8] Davidson R W, Baumgardt W G. Plasticizing wood with ammonia: a progress report [J]. *Forest Products Journal*, 1970, 20(3): 19-25.
- [9] 曹上秋, 解林坤. 木材的软化处理与弯曲技术 [J]. 家具, 2005, 26(2): 15-18.
- [10] 张力平, 张求慧, 姚春丽. 木材软化技术的初步研究 [J]. 木材工业, 1994, 8(2): 21-23.
- [11] 赵有科, 冯上环, 黄荣凤. 木材弯曲工艺研究综述 [J]. 世界林业研究, 2010, 23(6): 40-44.
- [12] 宋魁彦, 李坚. 国内外木材弯曲后热定型研究现状 [J]. 林业机械与木工设备, 2007, 35(12): 7-9.
- [13] Norimoto M, Gril J. Wood bending using microwave heating [J]. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 1989, 24(4): 203-212.
- [14] 李大纲, 刘一星. 木材微波加热弯曲工艺学原理 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2004.
- [15] 张燕, 宋魁彦, 佟达. 木材顺纹压缩率与 PDR 的影响机制研究 [J]. 林业机械与木工设备, 2012, 40(11): 35-37.
- [16] 刘一星, 赵广杰. 木材学: 第2版 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [17] 成俊卿. 中国木材志 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [18] 全国木材标准化技术委员会. 木材物理力学试验方法总则: GB/T 1928—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [19] 全国木材标准化技术委员会. 木材物理力学试材锯解及试样截取方法: GB/T 1929—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [20] 全国木材标准化技术委员会. 木材含水率测定方法: GB/T 1931—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [21] 全国木材标准化技术委员会. 木材干缩性测定方法: GB/T 1932—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [22] 全国木材标准化技术委员会. 木材密度测定方法: GB/T 1933—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [23] 全国木材标准化技术委员会. 木材吸水性测定方法: GB/T 1934.1—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [24] 全国木材标准化技术委员会. 木材湿胀性测定方法: GB/T 1934.2—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [25] 全国木材标准化技术委员会. 木材抗弯强度试验方法: GB/T 1936.1—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [26] 全国木材标准化技术委员会. 木材抗弯弹性模量测定方法: GB/T 1936.2—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

(责任编辑 陆 驰)

