

# 浙江速生杉木物理力学性质的研究\*

杨云芳 马灵飞 俞友明

(浙江林学院, 临安 311300)

王仁东 周迎春

(浙江省开化县林场) (浙江省庆元县林场)

**摘要** 速生杉木的材性逊于非速生杉木。气干密度 $0.345\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 体积干缩系数 $0.444\%$ , 顺纹抗压强度 $28.0\text{ MPa}$ , 静力弯曲强度 $57.0\text{ MPa}$ , 静力弯曲弹性模量 $8.5\text{ GPa}$ 。

**关键词** 杉木; 速生材; 木材物理性质; 木材力学性质; 浙江

**中图分类号** S718.2

70年代以来, 浙江省投入了大量的资金营造杉木(*Cunninghamia lanceolata*)速生丰产人工林, 增加木材产量。据1987年的统计, 杉木速生丰产人工林已占浙江省森林面积的20%以上<sup>[1]</sup>。如开化县杉木速生丰产林已占全县用材林面积的49.01%, 蓄积量占17.66%<sup>[2]</sup>。目前这些杉木速生丰产人工林已相继开始采伐, 缓解了木材供需矛盾。本研究对浙江省林业重点县——庆元、开化和临安的速生杉木的物理力学性质进行了测试和分析, 为速生杉木的有效合理利用提供科学理论依据。

## 1 试材和方法

### 1.1 试材采集

样木采集按GB 1927木材物理力学试材采集方法的规定进行。本试验选用浙江省庆元县隆官林区、开化县华埠二林场和临安县玲珑林场的速生杉木作为试验材料。采伐样木3地各5株。野外采集记录见表1, 样木各调查因子见表2。

### 1.2 试验方法

所采15株样木运回实验室后, 随即锯成5 cm厚的中心板和边板, 然后在板与板之间插入竹条, 以便气干。

试材气干后进行试件制作。试件制作及试验方法均按GB 1928~1943木材物理力学试验方法的有关规定进行。除顺纹抗拉强度在LJ-1000材料试验机上测试外, 其余各项力学性质测试均在济南材料试验机厂制造的4 t木材万能力学试验机上进行。15株试件共制得标准的

收稿日期: 1996-07-09

\*浙江省自然科学基金资助项目

表1 样木采集记录表

Table 1 Record of the collected sample trees

采 集 地 点	海 拔 /m	坡 度 /°	坡 向	土 壤 类 型	林 分 组 成	繁 殖 方 法	树 龄 /a
① 庆 元	780	25	东	黄 壤	人 工	实 生	21
② 开 化	190	20	东 北	红 壤	人 工	实 生	21
③ 临 安	76	28	东 北	红 壤	人 工	实 生	17

  

平均树高 /m	平均胸径 /cm	单位面积蓄积量 /m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>	年平均蓄积量 /m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>	郁 闭 度	采 集 株 数	主 要 病 虫 害
① 17.7	20.55	384.60	18.30	0.8	5	无
② 14.4	15.38	224.10	10.65	0.8	5	无
③ 14.6	17.73	300.45	17.70	0.9	5	少量炭疽病

采集日期：庆元1995年10月23日，开化1995年9月19日，临安1995年12月2日

表2 样木登记表

Table 2 Registration of the sample trees

样 木 编 号	胸高直径/cm		伐根处 年轮数	树 龄 /a	树 高 /m		试 材 编 号	截 取 高 度 /m	小头去皮直径/cm	
	最 大	最 小			全 高	枝下高			最 大	最 小
A 1	20.7	20.2	21	21	14.8	1.82	A11	1.3~3.3	17.6	16.8
							A12	5.3~7.3	12.9	12.9
							A13	9.3~11.3	7.6	7.1
							A21	1.3~3.3	17.8	16.8
A 2	21.4	19.0	21	21	17.8	10.5	A22	5.3~7.3	15.3	14.6
							A23	9.3~11.3	11.5	11.2
							A31	1.3~3.3	18.0	17.2
A 3	21.5	20.7	21	21	18.3	4.4	A32	5.3~7.3	15.7	15.2
							A33	9.3~11.3	11.6	11.4
							A41	1.3~3.3	18.3	17.5
A 4	20.5	20.5	21	21	19.3	11	A42	5.3~7.3	15.5	15.3
							A43	9.3~11.3	13.0	12.7
							A51	1.3~3.3	18.4	18.1
A 5	20.5	20.5	21	21	18.3	7.15	A52	5.3~7.3	16.3	15.5
							A53	9.3~11.3	11.4	11.1
							B11	1.3~3.3	15.1	14.8
B 1	16	16	21	21	14.1	5.3	B12	5.3~7.5	11.6	11.3
							B13	9.3~11.3	5.6	5.6
							B21	1.3~3.3	14.4	13.8
B 2	16.2	15.6	21	21	13.1	2.5	B22	5.3~7.3	10.8	9.9
							B23	9.3~11.3	3.0	3.0
							B31	1.3~3.3	14.4	13.8
B 3	16.3	15.0	21	21	17.4	6.7	B32	6.3~7.3	12.1	11.1
							B33	9.3~11.3	8.1	7.9
							B41	1.3~3.3	13.3	12.4
B 4	15.4	14.8	21	21	15.3	10.0	B42	5.3~7.3	10.5	10.4

续表

样 木 编 号	胸高直径/cm		伐根处 年轮数	树 龄 /a	树 高 /m		试 材 编 号	截 取 高 度 m/	小头去皮直径/cm	
	最 大	最 小			全 高	枝下高			最 大	最 小
B 5	14.5	14.0	21	21	12.1	6.1	B43	9.3~11.3	6.6	6.5
							B51	1.3~3.3	13.3	12.4
							B52	5.3~7.3	9.0	8.7
							B53	9.3~11.3	1.7	1.7
							C11	1.3~3.3	16.4	15.4
C 1	20.0	17.8	17	17	14.3	8.0	C12	5.3~7.3	13.7	12.7
							C13	9.3~11.3	8.7	8.4
							C21	1.3~3.3	15.2	14.9
							C22	5.3~7.3	12.3	11.6
							C23	9.3~11.3	8.2	7.6
C 2	16.0	15.5	17	17	14.5	8.3	C31	1.3~3.3	15.8	15.8
							C32	5.3~7.3	12.8	11.8
							C33	9.3~11.3	9.0	6.6
							C41	1.3~3.3	19.2	16.2
							C42	5.3~7.3	14.3	13.3
C 3	19.0	16.5	17	17	14.8	8.6	C43	9.3~11.3	9.5	7.5
							C51	1.3~3.3	17.3	16.8
							C52	5.3~7.3	12.3	11.3
							C53	9.3~11.3	8.1	7.0
							C53	9.3~11.3	8.1	7.0

样木编号：A<sub>i</sub>为庆元，B<sub>i</sub>为开化，C<sub>i</sub>为临安

试件1 201个，进行了2 491次各项物理力学性质试验。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 浙江速生杉木物理力学性质

实测数据按国家标准所规定的方法进行统计整理，除冲击韧性和抗劈力外，其余力学性质指标均换算成含水率15%时的数值。浙江速生杉木物理力学性质试验结果见表3。

### 2.2 浙江速生杉木物理力学性质指标及评价

**2.2.1 物理性质指标等级** 木材气干密度是衡量木材物理性质的最佳指标。根据木材密度的品质等级5级划分法<sup>[3]</sup>，浙江速生杉木的气干密度为0.345 g·cm<sup>-3</sup>，属“很小”一级。

根据木材体积干缩系数5级划分法<sup>[3]</sup>，浙江速生杉木的干缩系数为0.444%，属“小”一级，表明其尺寸和体积稳定性较好，木材干缩较均匀，不易发生翘曲和开裂。

**2.2.2 力学性质指标等级** 根据木材各种强度的品质等级划分标准<sup>[3]</sup>，浙江速生杉木的顺纹抗压强度、静力弯曲强度和顺纹抗剪强度都属“低”一级，静力弯曲弹性模量属“甚低”一级，冲击韧性属“中等”一级。

**2.2.3 顺纹抗压和静力弯曲强度** 浙江速生杉木的顺纹抗压强度与静力弯曲强度之和为85 MPa，小于108 MPa。根据木材的顺纹抗压强度与静力弯曲强度的总和将木材分为3类<sup>[3]</sup>，浙江速生杉木属“低强度”的树种这一类。如以顺纹抗压和静曲强度之和来划分木材品质系数等级<sup>[3]</sup>，则浙江速生杉木属“品质系数低”的树种。

表3 浙江速生杉木的物理力学性质

Table 3 Phys-mechanical properties of fast-growing Chinese fir wood from Zhejiang

试 验 项 目	试样数 (n)	平均值 ( $\bar{x}$ )	标准差 (S)	标准误差 ( $S\bar{x}$ )	变异系数/% (V)	准确指数/% (P)	
气干密度/ $g \cdot cm^{-3}$	90	0.345	0.034	$3.58 \times 10^{-3}$	9.86	1.04	
基本密度/ $g \cdot cm^{-3}$	90	0.280	0.027	$4.93 \times 10^{-3}$	9.64	1.76	
含水率/%	90	18.3	0.771	0.081	4.21	0.44	
干 缩 率/%	径向	2.5	0.661	0.070	26.44	2.80	
	弦向	5.2	1.050	0.111	20.59	2.17	
	体积	8.2	1.61	0.170	19.63	2.07	
干缩系数/%	径向	0.136	4.12	0.434	30.52	3.23	
	弦向	0.279	6.38	0.672	22.62	2.38	
	体积	0.444	9.98	1.052	22.43	2.36	
湿 胀 性/%	径向	4.1	1.03	0.109	25.12	2.65	
	弦向	8.6	1.41	0.149	16.40	1.73	
	体积	14.6	2.44	0.257	16.83	1.77	
吸 水 性/%	90	238	28.93	3.049	12.16	1.28	
顺纹抗压强度/MPa	90	28.0	3.89	0.41	13.94	1.47	
静力弯曲强度/MPa	120	57.0	10.13	0.92	17.74	1.61	
静力弯曲弹性模量/GPa	120	8.5	1.42	0.15	16.71	1.76	
顺纹抗剪强度/MPa	径面	90	5.0	1.73	0.18	34.60	3.60
	弦面	89	5.4	1.70	0.18	32.08	3.40
横纹局部抗压强度/MPa	径向	87	3.1	0.81	0.087	26.13	2.81
	弦向	90	3.3	0.72	0.076	21.82	2.30
横纹全部抗压强度/MPa	径向	90	1.7	0.43	0.045	26.88	2.81
	弦向	89	1.8	0.49	0.051	25.79	2.86
顺纹抗拉强度/MPa	98	56.1	14.01	1.42	24.75	2.51	
冲击韧性/ $kJ \cdot m^{-2}$	90	45.4	19.60	2.10	46.56	4.99	
抗 劈 力/ $kN \cdot m^{-1}$	径面	89	4.8	0.84	0.09	17.87	1.91
	弦面	89	5.8	1.04	0.10	17.63	1.69

## 2.3 浙江速生杉木的各向异性

2.3.1 径向弦向差异 根据浙江速生杉木的径向弦向差异指标分析表明：横纹抗压强度弦向大于径向，顺纹抗剪强度弦面大于径面，抗劈力弦面大于径面。浙江速生杉木材性指标径向弦向差异统计见表4。

2.3.2 差异干缩 差异干缩是指弦向径向收缩的差异。二者的差别越大，木材发生干裂和翘曲的可能性也越大。浙江速生杉木的弦缩与径缩之比值2.04。根据木材不均匀干缩的等级5级划分法<sup>[3]</sup>，此值属“中”一级。

2.3.3 浙江速生杉木径向弦向差异显著性检验 对于浙江速生杉木径向弦向强度平均数进行差异显著性判别，使用t检验法，检验结果如表5。

表4 浙江速生杉木的径向弦向材性差异

Table 4 Difference between radial properties and tangential ones of fast-growing Chinese fir wood from Zhejiang

性 质 指 标	径向弦向差异/%
横 纹 全 压	18.47
横 纹 局 压	6.45
抗 劈 力	25.53
顺 纹 抗 剪 强 度	6.00

表 5 浙江速生杉木的径向弦向材性差异显著性检验

Table 5 Examination of significance of the difference between radial properties and tangential ones of fast-growing Chinese fir wood from Zhejiang

径向弦向强度种类	<i>t</i>	$ t $	$ t $	$<t_{0.05}$	差异显著性
横纹局压	175	0.660	$ t $	$<t_{0.05}$	△
横纹全压	177	1.664	$ t $	$<t_{0.05}$	△
顺纹抗剪	177	0.444	$ t $	$<t_{0.05}$	△
抗劈力	176	3.211	$ t $	$<t_{0.05}$	**

注：△表示差异不显著，\*\*表示差异极显著

结果表明：浙江速生杉木横纹局压强度、横纹全压强度和顺纹抗剪强度径向弦向差异不显著，抗劈力径向弦向差异极显著。

## 2.4 浙江速生杉木材性比较

2.4.1 不同地区速生杉木材性比较 庆元、开化和临安 3 地各 5 株速生杉木物理力学性质试验结果见表 6。

表 6 浙江不同地区速生杉木的物理力学性质

Table 6 Phys-mechanical properties of fast-growing Chinese fir wood from the different places of Zhejiang

试 验 项 目	庆 元	开 化	临 安	
密 度/ $g \cdot cm^{-3}$	基 本	0.282	0.292	0.265
	气 干	0.347	0.360	0.327
含 水 率/%		18.2	18.1	18.6
干 缩 率/%	径 向	2.4	2.9	2.2
	弦 向	5.1	5.8	4.6
	体 积	8.1	9.3	7.3
干 缩 系 数/%	径 向	0.131	0.157	0.119
	弦 向	0.275	0.310	0.251
	体 积	0.441	0.513	0.378
湿 胀 性/%	径 向	3.9	4.6	3.9
	弦 向	8.5	9.1	8.3
	体 积	13.9	15.7	14.1
顺纹抗压强度/MPa		29.8	29.1	25.0
静力弯曲强度/MPa		62.5	59.5	49.1
静力弯曲弹性模量/GPa		9.2	8.8	7.5
顺纹抗剪强度/MPa	径 面	5.2	4.8	4.9
	弦 面	5.3	5.5	5.4
横纹局部抗压强度/MPa	径 向	3.3	3.3	2.7
	弦 向	3.5	3.6	2.9
横纹全部抗压强度/MPa	径 向	1.7	1.7	1.6
	弦 向	2.0	1.9	1.6
顺纹抗拉强度/MPa		57.2	60.2	52.0
冲击韧性/ $kJ \cdot m^{-2}$		48.0	46.1	42.1
抗 劈 力/ $kN \cdot m^{-1}$	径 面	4.6	4.8	4.9
	弦 面	6.1	5.5	5.8

从表6可看出,不同地区速生杉木的物理力学性质存在差异。3地速生杉木物理性质主要指标气干密度、干缩系数和湿胀性均为开化大于庆元,庆元大于临安。力学性质除抗劈力一项外,其余各项都以临安最低。顺纹抗压强度、静力弯曲强度和静力弯曲弹性模量均以庆元最高,开化的介中,其余各项力学性质指标庆元和开化相近。分析表明:庆元和开化产地不同树龄相同的速生杉木物理力学性质差异不大,而庆元和开化21年生的速生杉木材性明显优于临安17年生的速生杉木。

2.4.2 与非速生杉木的材性比较 速生与非速生杉木的物理力学性质<sup>[4]</sup>见表7。为了便于比较,现将非速生杉木的各项材性指标定为100%,分别计算出速生杉木的各项材性指标的百分比加以评价。

表7 速生与非速生杉木的材性比较

Table 7 Comparison of wood properties between fast-growing Chinese fir and common Chinese fir

树 种	产 地	密 度		干缩不均匀性和干缩系数				顺 纹 抗 压 强 度 /MPa	静力弯曲		
		气干密度 /g·cm <sup>-3</sup>	等 级	干缩系数/%		干缩不 均匀性 等 级	体 积 干 缩 系 数 /%		干 缩 等 级	强 度 /MPa	弹 性 模 量 /GPa
				径 向	弦 向						
①速生杉木	浙 江	0.345	很小	0.135	0.279	中	0.444	小	28.0	57.0	8.5
②非速生杉木	安徽歙县	0.394	小	0.115	0.257	中	0.391	小	37.5	72.2	9.2

  

树 种	产 地	顺 纹 抗 压 强 度 和 静 力 弯 曲 强 度 等 级	顺纹抗剪强度/MPa		横纹抗压强度/MPa				顺纹抗 冲 击 拉 强 度 /MPa	抗 劈 力/ kN·m <sup>-1</sup>		
			径 面	弦 面	局 部		全 部					
					径 向	弦 向	径 向	弦 向				
①速生杉木	浙 江	不高	5.0	5.4	3.1	3.3	1.7	1.8	56.1	45.4	4.8	5.8
②非速生杉木	安徽歙县	高	5.9	6.1	3.7	4.2	2.7	3.1	77.5	24.3	5.8	6.5

从表7可知:浙江速生杉木的气干密度为非速生杉木的88%,径向弦向和体积干缩系数分别为117%,109%和114%。气干密度和干缩不均匀性等级,速生杉木均比非速生杉木低一级,体积干缩等级同属“小”一级。速生杉木的顺纹抗压强度、静力弯曲强度和静力弯曲弹性模量分别为非速生杉木的75%,79%和92%。顺纹抗压强度和静力弯曲强度之和速生杉木为85 MPa,属强度不高一类,非速生杉木为109.7 MPa,属高强度一类。径面和弦面的顺纹抗剪强度分别为非速生杉木的85%和89%。径向和弦向横纹局部抗压强度分别为非速生杉木的84%和79%。径向和弦向横纹全部抗压强度分别为非速生杉木的63%和58%。顺纹抗拉强度和冲击韧性分别为非速生杉木的72%和187%。径面和弦面的抗劈力分别为非速生杉木的83%和89%。

### 3 结语

浙江速生杉木物理力学性质均值为气干密度0.345 g·cm<sup>-3</sup>,体积干缩系数0.444%,顺纹抗压强度28.0 MPa,静力弯曲强度57.0 MPa,静力弯曲弹性模量8.5 GPa,径向和弦面顺纹抗剪强度5.0 MPa和5.4 MPa,径向和弦向横纹局部抗压强度3.1 MPa和3.3 MPa,径向和

弦向横纹全部抗压强度1.7 MPa 和1.8 MPa, 冲击韧性 45.4 kJ/m<sup>3</sup>, 径面和弦面抗劈力 4.8 N·m<sup>-1</sup> 和5.8 N·m<sup>-1</sup>。浙江速生杉木径向弦向差异不显著。相同树龄不同产地速生杉木的材性指标差异不大。

浙江速生杉木的物理力学性质逊于非速生杉木的物理力学性质, 尤其是各种强度指标明显地低于非速生杉木。浙江速生杉木不宜用作强度要求较高的承重结构的构件。但它也具有非速生杉木的优点, 材质轻, 韧性较好, 木材纹理通直, 结构均匀, 抗虫耐腐, 干缩小, 翘曲开裂程度较轻, 仍具有广泛的用途。

**致谢** 本文承田荆祥教授(本基金项目主持人)审阅。徐英武、赵永红参加了部分试验工作。在此深表谢意。

### 参 考 文 献

- 1 孙源和. 浙江省森林资源概况与动态浅析. 浙江林业科技, 1987, 7(3): 2~16
- 2 王仁东, 周国模, 林生明. 开化县杉木基地林经济效益分析. 浙江林学院学报, 1991, 8(3): 271~280
- 3 尹思慈. 木材品质和缺陷. 北京: 中国林业出版社, 1990. 19~60
- 4 成俊卿. 木材学. 北京: 中国林业出版社, 1985. 1258

Yang Yunfang (Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, PRC), Ma Lingfei, Yu Youming, Wang Rendong, and Zhou Yingchun. Wood Properties of Fast-growing Chinese Fir from Zhejiang. *J Zhejiang For Coll*, 1996, 13(4): 371~377

**Abstract:** The wood properties of fast-growing Chinese fir were worse than the ones of common Chinese fir. For the former, air-drying density was 0.345g·cm<sup>-3</sup>, volumetric shrinkage coefficient was 0.444%, compressive strength parallel to the grain, rupture strength in static bending and elastic modulus in static bending was 28.0 MPa, 57.0 MPa and 8.5 GPa respectively.

**Key words:** *Cunninghamia lanceolata* (Chinese fir); fast growing wood; physical properties of wood; mechanical property of wood; Zhejiang