

S768.1

杉 木 节

对受弯构件承载能力影响的研究

刘松龄 方文彬 李飞云

中南林学院

1980.5.

刘松龄
方文彬
李飞云
PDG

目

录

一、前 言

二、试材采集

三、试样制作

四、试验方法

五、试验结果

六、结 论

参考文献

图版说明



杉木木节对受弯构件承载能力影响的研究^{*}

刘松龄 方文彬 李飞云

一、前言

杉木(*Cunninghamia lanceolata* Hook.)系我国特产, 材质优良, 生长迅速, 分布广阔, 用途繁多, 是最主要的用材。唯以树木正常生长现象的木节所影响, 在木材利用上则为一大缺陷。兹为国家标准《木结构设计规范》提供木材强度取值的基本数据, 使之更好地为四个现代化服务, 我们根据国家建委设计局计划, 承担杉木木节对受弯构件承载能力影响的试验。此项研究国内外甚少进行, 参考资料, 仍多缺乏。幸承中国林业科学研究院木材工业研究所、四川省建筑科学研究所、湖南省林业局及济南材料试验机厂指导支援, 谨此致谢。

二、试材采集

全部试材系参照四川省工业建筑设计院木结构设计规范管理小组修订的《木节对受弯构件承载能力影响》专题试验大纲^[3]在湖南主要杉木产区先后三次采集。第一次1977年6月在江华麻源采集杉原木16根; 第二次于同年7月在会同广坪公社采集杉原木17根; 第三次1978年7月在会同地灵公社采集杉原木102根。三次所采试材均系在伐倒的杉原条或杉原木中选取。其中江华、广坪两地从杉原条中挑选, 并按木节直径大小及其位置, 截成3.2米和4米长的杉原木, 而地灵公社的则在4米长的杉原木中选取有节与无节试材。所采试材, 其小头直径最小的16厘米, 最大的39厘米, 多为22

^{*} 参加本试验工作的有李勋南、李加龄、吕天赦、骆琴娅等同志。

—24厘米。树龄最小的29年，最老的74年，多数在45年左右，均属实生苗，纯林或与马尾松混生。通常枝少干直，尖削度小（图版I，图1）。树皮纵裂（图版I，图2）。

试材序号以阿拉伯字编写，靠伐根的记作A段，其后顺编B段和C段。A、B、C右下角的阿拉伯字，表示在同一原木段所割开的试样数，其后标有江、地、广字样，为江华、地灵、广坪试材采集地的简称。木纹图、木节图上的黑箭头表示树木的生长方向。

试材运回学院后，放置空气流通又无阳光直射的室内气干三个月（图版I、图3）。

三、试样制作

试材达到一定气干后，在三次采集的135段试材中，再次挑选合格试材，锯成 9×11 厘米的枋材，按有无木节分成六组，置于设有防潮措施的室内气干（图版II，图1）四个月候含水率低于23%而尺寸较稳定时即开始制作试样。

大试样和标准试样，取自编号相同的枋材。有木节的试样，则以木节为中央向两旁115厘米处截取长230厘米，作为抗弯大试样枋材，并在其两端分别切取长40厘米的枋材两段，用作抗弯和顺纹抗压强度标准试样（图1）。

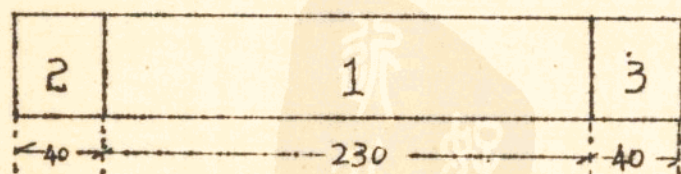


图1 试样分配法（厘米）

图1，试样分配法

1. 大试样抗弯强度和抗弯弹性模量；
- 2、3. 标准试样抗弯强度和抗弯弹性模量及顺纹抗压强度。

上述三段试样枋材，均标上树木生长方向，编写同一号码。试样力求同一时间制作和试验，以减少含水率变化所引起的误差。

(一)、抗弯大试样

试样尺寸：宽×高×长=8×10×230厘米。依据木节直径尺寸，试样分成六组，第Ⅰ组为无节的，第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ组为有节的，组内木节直径变动范围0.6厘米，组间差为1厘米（表1）。

表1 大试样按木节直径分组

组 序	I	II	III	IV	V	VI
木节直径 (厘米)	无节	0.7—1.3	1.7—2.3	2.7—3.3	3.7—4.3	4.7—5.3
试样数	9	6	11	14	10	4

上表所列木节直径尺寸，系指试样跨距中央（180厘米）两旁20厘米范围内，直径大于0.7厘米的活节而言。为确保木节在影响强度最不利的情况，制作试样时，严格控制木节位于试样高度方向的下缘（图版Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ、Ⅹ、Ⅺ、Ⅻ、Ⅼ）。第Ⅵ组木节直径变动范围较大，试样数亦少，而仍单独成组，目的在于反映杉木木节生长的真实性。

木节直径，按垂直试样长度方向测量^[10]（图2），其平均直径为3.11厘米（表4）。

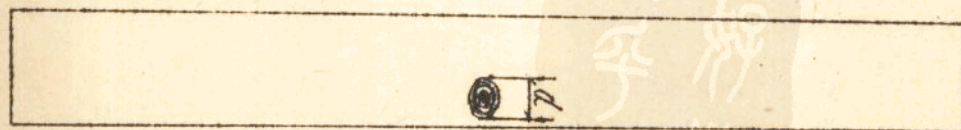


图2 木节直径测量法

试样制作后，必须置于设有防潮措施的室内，分组堆放（图版Ⅱ，图2）加盖塑料布，防止变形、开裂，并尽早进行试验。

（二）、标准试样

标准试样指抗弯强度和抗弯弹性模量及顺纹抗压强度的试样。均在预留的40厘米长的两段材上切取。试样数每号分别取4—8个。

抗弯强度和抗弯弹性模量试样尺寸：宽×高×长=2×2×30厘米。

顺纹抗压强度试样尺寸：宽×高×长=2×2×3厘米。

四、试验方法

（一）、大试样抗弯强度和抗弯弹性模量为适应本试验要求，我们参照美国A·S·T·M标准D198—67和海南基建局材料试验室的试验机上的装置原理，将我院WE—30型材料试验机加以调整，主要是将工作行程300毫米改为650毫米，承济南材料试验机厂的大力支援，新加工两根拉杆改换，同时荷载梁等附件亦作相应改装，并经计量局检验校正，完全符合试验精度。（图版XXIX图I—1，图版XXVIII图1和2）。

破坏荷载的估算：

大试样抗弯强度和抗弯弹性模量试验前，分别在六组试样中抽出1—2个抗弯标准试样，按国家标准《木材物理力学试验方法》（报批草案）^[1]，在5吨机械传动全能力学试验机上测定：抗弯强度的平均值 $\sigma_w = 610$ 公斤/厘米²，抗弯弹性模量 $E_w = 90$ 千公斤/厘米²。然后依据《木节对受弯构件承载能力影响》专题试验大纲^[3]的分组荷载估算表（表2），定出大试样分组抗弯破坏最大荷载 P_{max} 和抗弯弹性模量试验中的上、下限值， 下限调

整为60、80、100公斤，上限为300、400、500公斤。
当荷载估算值与试验值偏离过大时，则按 $P_1 = 0.05 P_{\max}$ ， $P_2 = 0.25 P_{\max}$ 作相应的调整。

表2 大试样分组抗弯荷载估算

$$P_{\max} = K_0 \bar{\sigma}_w \quad P_1 = K_1 \bar{\sigma}_w \quad P_2 = K_2 \bar{\sigma}_w \quad \bar{\sigma}_w = 610 \text{ 公斤/厘米}$$

组 序	I	II	III	IV	V	VI
K_0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
K_1	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07
K_2	0.88	0.77	0.66	0.55	0.44	0.33
荷载估算值 (公斤)	2135	1830	1525	1220	915	610
荷载试验值 (公斤)	2320	2082	2057	1989	1813	1565

破坏荷载与变形的测定:

试验时，先用千分卡尺测量大试样的宽度和高度，准确至0.01厘米(表4)。

抗弯强度和抗弯弹性模量在同一试样上进行。先测定抗弯弹性模量，跨距180厘米，两点加荷，两压头中心线的距离为60厘米，支座上放置有 R_{14} 圆弧形的支承垫板，压头与试样之间放有钢垫片，俾能自由转动，使受力位置与方向保持不变(图版II，图3)。加荷速度，均匀进行，从下限加荷至上限，依荷载分级记录变形(挠度)。在试样下面装置百分表读变形(图版III，图1)，试样的背面则用磁

性支座装上15厘米长的不锈钢尺，测量各级荷载下的挠度（图版Ⅲ，图2），直至试样破坏时的最大挠度（表5）。

试验开始，先加荷至下限，读百分表上的变形，准确至0.01毫米，然后均匀加荷至上限依荷载分级记录变形（挠度），读出上限变形后，随即卸荷至稍低于下限。如此反复四次，第四次加荷至上限时，以同一速度继续加荷，直至试样破坏，读出破坏最大荷载（公斤）。

含水率的测定：

试样破坏后，立即拍摄破坏实况（图版XXIV、XXV），然后每根试样，分别在压头中心线内侧切取1.5厘米的木样两块和每组选两根试样在破坏区内切取1.5厘米木样1块，沿试样高度方向分5层，按国家标准《木材含水率测定方法》（报批草案）^[11]测定试样的含水率和分层含水率（表5）用作大试样抗弯强度和抗弯弹性模量的含水率。

结果的计算：

试样含水率W%时的抗弯强度（ σ_w ），按下式计算，准确至1公斤/厘米²（表5）。

$$\sigma_w = \frac{PL}{bh^2}$$

式中：P——破坏最大荷载，公斤；

L——支座间跨距，180厘米；

b——试样宽度，厘米；

h——试样高度，厘米。

抗弯强度（ σ_w ），按下式换算为含水率15%时的强度（ σ_{15} ），准确至1公斤/厘米²（表5）

$$\sigma_{15} = \sigma_w [1 + 0.04 (W - 15)]$$

试样含水率 $W\%$ 时的弹性模量 (E_w)，按下式计算，准确至千公斤/厘米² (表 5)。

$$E_w = \frac{23PL^3}{108bh^3f}$$

式中：P——上下限荷载的差数，公斤；

f——上下限荷载间的变形值；厘米；

L、b、h——与抗弯强度同

抗弯弹性模量 (E_w)，按下式换算为含水率 15% 时的弹性模量 (E_{15})，准确至千公斤/厘米² (表 5)。

$$E_{15} = E_w [1 + 0.015 (W - 15)]$$

(二)、标准试样

1. 抗弯强度和抗弯弹性模量

抗弯强度和抗弯弹性模量，在同一试样进行，组序号、试样号和大试样一致。试验方法按国家标准《木材抗弯强度及弹性模量试验方法》(报批草案)^[11]进行。抗弯强度 (σ_w, σ_{15}) 和抗弯弹性模量 (E_w, E_{15}) 的平均值见表 5。

2. 顺纹抗压强度

顺纹抗压强度，组序号和试样号同大试样，试验方法按国家标准《木材顺纹抗压强度试验方法》(报批草案)^[11]规定进行。其结果见表 5。

五. 试验结果

年轮宽度和晚材率:

试样破坏后, 分别测定大试样中央截面的年轮数, 以无节的第 I 组年轮最宽, 第 III 组最窄, 总平均宽度为 4. 2 毫米 (表 4)。在测定年轮宽度的同一径向长度上, 选出 5 个生长适中的年轮, 用读数显微镜测定晚材率, 最大值见第 IV 组, 最小值见第 I 和第 V 组, 总平均为 22% (表 4)。

木节剖面深度:

木节剖面深度, 指大试样破坏后, 于跨距中央沿木节中线割开所测量木节的长度 (图版 XV、XVI、XVII、XVIII、XIX、XX、XXI、XXII、XXIII), 其六组的平均深度为 5. 5 厘米 (表 4)。木节深度, 明显地随木节直径的增大而加长 (表 4)。

抗弯强度:

大试样抗弯强度 (σ_w), 以无木节的第 I 组强度最高, 有木节的各组则随木节直径的增大而强度递减 (表 3 和表 5)。

表 3 木节对抗弯强度的影响

组 木节直径 (厘米)	序	抗弯强度降低%		木节直径增大 1 厘米 抗弯强度降低%	
		σ_w	σ_{15}	σ_w	σ_{15}
II (0. 7—1. 3)		10	16	1	0
III (1. 7—2. 3)		11	16	4	7
IV (2. 7—3. 3)		15	23	6	2
V (3. 7—4. 3)		21	25		
VI (4. 7—7. 5)		32	37	11	12
平 均		18	23	6	5

大试样抗弯强度当换算为 σ_{15} 时，除第Ⅲ组比相邻的第Ⅱ组大 1 公斤外，同样显示木节直径大，强度低的规律（表 5）。标准试样抗弯强度 σ_w 和大试样相对应的无节的第Ⅰ组强度最高，木节最大的第Ⅵ组强度最低（表 5）。

抗弯弹性模量：

大试样和标准试样，均以无节的及其相对应的第Ⅰ组最大，除第Ⅳ组大试样抗弯弹性模量略有波动外，其余各组则随木节直径增大而递减（表 5）。

抗弯强度的比值：

大试样与标准试样抗弯强度的比值均小于 1，且与木节直径成反比。即随着木节直径的增大而比值下降（表 6）。

抗弯弹性模量的比值：

大试样与标准试样抗弯弹性模量的比值以无木节的第Ⅰ组的比值最大，木节直径最大的第Ⅵ组为最低，其余各组系波动的（表 6）。

有节与无节抗弯强度的比值：

不论抗弯强度在 σ_w 或 σ_{15} 时，其比值都小于 1，与木节直径大小成反比。即木节直径增大，比值下降（表 6）。

有节与无节抗弯弹性模量的比值：

除第Ⅳ组的比值略高于各组外，其余各组均按木节直径的增大而递减（表 6）。

大试样与标准试样以及大试样中有节与无节的抗弯弹性模量的比值，第Ⅳ组均较相邻的组稍高，可能与第Ⅳ组有较大的晚材率和最接近平均宽度的年轮有关。木节之所以降低抗弯强度，主要是由于木节所形成的斜纹理。其次，由于木节的存在，促使木材密度不均匀，因而应力分布就很不规则，所以在内应力远远小于极限应力时，就产生

部分裂隙。这是木节降低抗弯强度的另一原因。

比例极限：

大试样的比例极限，除第VI组外，所有五组的荷载与变形，开始直线上升，直至荷载1400公斤时，始成曲线或折线（图版XXVI、XXVII）。

破坏前的声响数：

大试样抗弯强度试验时，木节直径愈大，破坏前的声响次数就愈多，且后者声响大于前者。无木节的试样，则甚少有破坏前的预响声。此外，弯断的位置多在木节的左下侧或右下侧（图版XXIV、XXV和表4）。

顺纹抗压强度：

标准试样的顺纹抗压强度，以相应于大试样无节的第I组最大，有节的第VI组最低（表5）。

大试样抗弯强度、抗弯弹性模量试验记录表

組

$$\frac{1}{1}$$

表 4-3

大试样抗弯强度和抗弯弹性模量试验记录表

三组

试样号	木段小头直径 cm	木段大头年轮数	试样		试样中央断面			木节		有无髓心	施力方向	破坏声响次数	试样弯断位置	弯断时间 (分)
			宽度 b cm	高度 h cm	年轮宽度 mm	晚材率 %	施力方向 和木节的交角	木节深度 cm	直径 cm	与受拉区下缘 的距离 cm				
37B地	20	61	7.98	10.00	2.7	14.1	85°	5.10	1.70	1.60	径向	2	节左方	12
98B地	18	51	7.98	9.97	3.9	25.3	72°	2.15	1.70	0.20	径向	5	节右侧	16
28B地	26	48	8.02	9.98	4.2	26.9	130°	1.95	1.75	0.55	径向	4	节左侧	13
18B地	22	54	7.99	9.96	3.4	24.6	62°	5.10	1.90	0.10	弦向	4	节右侧	19
50B ₃ 地	22	39	8.03	9.97	3.8	26.0	72°	8.40	1.90	0	弦向	5	节右下	15
85B地	22	49	8.03	9.97	3.6	20.4	73°	4.00	1.90	0	弦向	5	节右下	15
2B江	22	31	8.00	10.00	4.2	14.9	78°	7.30	1.95	0	弦向	3	节右下	10
75B地	20	48	8.01	10.00	5.5	18.3	60°	2.25	1.95	0.50	弦向	2	节左侧	14
93B地	18	51	7.94	9.96	2.2	25.2	49°	4.20	2.10	1.70	弦向	3	节下层裂	25
26B地	22	49	8.00	9.98	3.5	21.2	65°	5.20	2.30	0	弦向	4	节右下	13
44B地	20	59	7.97	10.00	2.9	21.4	54°	3.20	2.45	0.25	弦向	4	节左下	18
平均	21	49	8.00	9.98	3.6	21.7	73°	4.44	1.96	0.45		4		15

表 4-4

大试样抗弯强度和抗弯弹性模量试验记录表

四组

试样号	木段小头直径 Cm	木段大头年轮数	试样		试样中央断面			木节		有髓心	施力方向	破坏前声响次数	试样断置	弯曲时间 (分)
			宽度 b Cm	高度 h Cm	年轮宽度 mm	晚年轮 率 %	晚材向节角	木节深度 Cm	直径 Cm	与受拉区下缘 的距离 Cm				
3C江	22	27	8.00	10.00	7.6	9.8	66°	3.90	2.55	0.20	弦向	1	节下	12
12A地	38	68	7.99	9.92	5.4	23.7	137°	2.90	2.75	0.70	弦向	3	节左侧	
4B地	24	34	8.03	10.00	3.0	30.8	71°	3.50	2.80	0.20	弦向	3	节右上	14
106B地	18	45	7.98	9.99	2.5	46.1	70°	5.35	2.80	0.50	弦向	3	节下	10
95B地	22	57	8.25	9.98	3.5	43.9	80°	8.00	2.95	0.10	弦向	4	节左下	14
1B ₂ 广	28	61	8.03	10.00	2.7	39.2	80°	7.00	3.00	0.70	弦向	3	节左侧	14
2B广	30	63	7.98	9.92	3.4	42.7	79°	6.40	3.10	0	弦向	4	节下	14
43B地	20	43	8.00	9.99	3.5	26.8	60°	3.40	3.10	0.45	弦向	无	节左下	
59B地	18	47	8.20	10.25	4.3	40.0	57°	9.50	3.10	0	弦向	5	节右下	18
5A江	28	34	8.02	9.97	7.0	11.0	62°	8.95	3.30	0.05	弦向	3	节右下	12
49B地	18	43	8.00	10.00	3.8	13.1	51°	3.30	3.35	1.15	弦向	2	节左方	10
89A ₆ 地	28	61	7.98	9.96	3.4	21.6	25°	6.10	3.35	0	弦向	3	节右下	16
48B地	18	45	8.00	9.95	3.7	24.0	54°	6.70	3.40	0.30	弦向	1	节右下	10
99B地	18	52	8.03	10.00	2.9	26.4	63°	8.80	3.40	0	弦向	4	节左下	16
平均	24	49	8.04	10.00	4.1	28.5	68°	5.99	3.07	0.31				13

五组

表 4-5 大试样抗弯强度和抗弯弹性模量试验记录表

试样号	木头直径 cm	木头数	试样		试样中央断面			木节		有无髓心	施力方向	破坏前响声数	试样位置 断面	弯曲时间 分
			宽度 b cm	高度 h cm	年轮宽度 mm	晚材率 %	施放 向和木 节的交 角	木节 深度 cm	直径 cm					
62B地	18	40	8.00	9.96	3.4	27.0	50°	8.70	0	有	径向	2	节左下	10
2A ₂ 地	32	37	8.02	10.00	6.5	9.0	55°	6.40	0	无	弦向	2	节右下	
64B地	24	49	7.99	9.99	4.0	16.1	66°	6.00	0	无	近弦向	3	节左下	15
90B地	16	45	8.00	9.95	2.6	25.6	70°	2.40	0.80	有	近弦向	2	节左下	10
3B ₂ 江	24	30	8.00	9.97	7.5	5.1	77°	5.60	0.45	无	弦向	3	节右下	12
22B地	26		7.99	10.03	3.4	15.2	66°	8.50	0	无	弦向	3	节左侧	17
12A ₃ 地	38	68	7.97	9.95	5.5	17.2	46°	7.40	1.00	无	近弦向	3	节左侧	15
63A地	22	44	7.94	9.93	3.7	21.8	52°	5.35	0.75	有	径向	3	节右下	
14B地	26	48	7.99	9.96	3.4	14.1	52°	4.00	2.10	有	径向	2	节下层聚	10
8B ₂ 江	28	39	7.93	9.97	4.9	11.5	39°	8.15	0.70	有	径向	2	节右下	12
平均	25	44	7.98	9.97	4.5	16.3	57°	6.25	0.58			3		13