

建筑情报资料

第 8007 号

1980 年 5 月

木节对受弯构件承载能力影响的试验研究

四川省建筑科学研究所编印



木节对受弯构件承载能力影响的试验研究

目 录

一. 概 述	2
二. 木节影响试验的结果及分析	2
(一) 试验结果的回归分析	2
(二) 构件木节影响的近似计算	7
三. 受弯木构件天然缺陷影响系数的取值分析	7
小 结	12
参 考 资 料	12
附 录 (试验结果)	13

一. 概 述

当前,我国结构设计正以原来的“半概率法”向“近似概率法”过渡,按照近似概率法计算理论要求,计算结构安全指标的 β 值时,首先需要求构件的抗力特性(均值和变异系数),为此,对于制定规范的参数提出了新的要求。对于木构件而言,由于材料是天然的,产地广、树种多,所以影响构件强度的因素相当复杂,按照规范分类,影响构件的因素归纳为7种,其中以天然缺陷的影响最为重要,如按照原规范取值,受弯木构件的天然缺陷疵病影响系数为0.52,在各种因素中所占的比重最大。

木构件的天然缺陷包括木节, 斜纹节疵病,木节的影响是其中最为主要的因素。以往,国内外对于木节的类型,节径与构件强度的相关关系以及节边涵纹等影响,曾经作过不少试验研究,由于原规范的制订是采用定值法,通常按照允许的最大木节,位于最不利位置的试验结果,确定木节节径限值,对于实际构件中各种各种节径的木节出现频率,未曾加以考虑,显然,这对于确定构件承载能力的统计的参数,是有影响的。因此,确定构件承载能力的均值和变异系数时,必须考虑构件中缺陷分布的实际影响。

本市根据现有构件木节影响试验的结果,结合天然缺陷分布的调查实测资料,对于受弯木构件的天然缺陷影响系数取值,提出初步的计算依据。

二. 木节影响试验的结果及分析

(一) 试验结果的回归分析

受弯构件的木节影响试验结果，均列于本文末的附录录中。共有云南松大试件 247 个，试材产地为云南省投姑林区；湖南杉木共有 51 个试件，试材产地为湖南省地灵、江华、广坪等处。试件中木节的尺寸以节径比 α 表示， α 等于木节直径与木节所在面宽度的比值，节径度另方法参照木结构设计规范 GBJ5—73 有关条文执行。木节对于构件强度的影响，以木节影响系数 K 表示， $K = R/R_w$ ，式中 R 和 R_w 分别为试件和无节对比试件的抗弯强度，无节对比试件又称双生试件，通常由材质相同的相邻下位截取，尺寸和有节试件相同。这样试验确定的 K 值可以消除不同试件之间的材性差别影响，以及尺寸差别影响。但是，由于试材上的疵病是天然生长的，在相邻下位挑选无疵的双生试件，实际上是很困难的。

云南松的 247 个试件，共有 32 对双生试件，根据有节试件的节径比 α 以及强度比 K ，32 对双生试件的回归分析结果列于表 1，求得的回归方程为：

$$K = 0.915 - 0.409\alpha$$

相对系数 $Y = -0.635$ ，经检验其绝对值大于 0.05 倍度的临界值 $Y_{0.05} = 0.349$ ，即 K 与 α 在 0.05 显著性水平相关显著。

表 1 以 α 与 K 为变异的回归分析结果。

试 材	试件 数 n	相 关 系 数 r	回 归 系 数		剩 余 标 准 差 S_y	备 注
			a	b		
云 南 松	32	-0.635	0.915	-0.409	0.094	

由于双生试件的挑选比较困难，目前经常采用的另一种方法是截取同试材的标准小试件，作为对比试件，以便消除试材差别的影响，湖南杉木木节影响试验就是采用这种方法。根据试件

(尺寸为 $230 \times 8 \times 10$ 厘米) 的节径 α 以及比值, R/R_b , R_b 为标准小试件的抗弯强度, 湖南杉木试验的回归分析结果见表 2, 求得回归方程为:

三个采集地 51 个试件:

$$\frac{R}{R_b} = 0.914 - 0.43\alpha$$

地灵 29 个试件:

$$\frac{R}{R_b} = 0.958 - 0.558\alpha$$

相应的相关系数分别为: -0.498 和 -0.519 , 经检验均满足在 0.05 信度相关显著。

表 2 杉木以 α 和 $\frac{R}{R_b}$ 为变量的回归分析结果。

试 材	试 材 数 量 n	相 关 系 数 γ	回 归 系 数		剩 余 标 准 差 S_y
			a	b	
湖南地灵、江华、 广坪采集的松木	51	-0.498	0.914	-0.43	0.1025
湖南地灵采集的杉木	29	-0.519	0.958	-0.558	0.116

为了比较云南杉和杉木试验的节径影响, 应将以比值 R/R_b 表达的回归方程变换成以 K 值表达的形式。分析构件尺寸系数的含义, 存在下列关系:

$$R_w = R_b \times \text{尺寸系数}$$

因此:
$$K = \frac{R}{R_w} = \frac{R}{R_b \times \text{尺寸系数}}$$

即 K 值和比值 R/R_b 仅相差一个尺寸系数。为了求得试件的尺寸系数, 分析表 2 中的回归系数 a , 它实际上是无节试件尺寸系数的最小二乘估计值。如果尺寸系数采用这个估计值计标, 比值 R/R_b 就能转换成 K 值。为了区别起见, 令 $K' = R/(R_b \times a)$, 以 K' 与 α 为变数, 相应回归分析的结果相当于无回归方程 $\frac{R}{R_b} = a + b\alpha$ 的二边同除系数 a , 变为 $K' = 1 + \frac{b}{a}\alpha$, 并且相关系数不变, 只是剩余标准差缩小 a 倍, 由此得到的回归方程为:

三个采集地 51 个试件: $K' = 1 - 0.47\alpha$; $S_y' = 0.1121$ 。

地灵 29 个试件: $K' = 1 - 0.582\alpha$; $S_y' = 0.1211$ 。

由于云南杉和杉木试验的无节对比试件不够齐全, 为了充分利用全部数据, 仿照上节采用的方法, 即利用无节试件强度的最小二乘估计值, 计标各个试件的 K 值, 从而求得这种计标前提下的 K 与 α 的回归方程。首先, 以 α 与 R 为变数, 根据云南杉和杉木的全部数据, 求得回归分析的结果见表 3。表中的回归系数 a 就是无节试件强度的最小二乘估计值, 令 $K'' = R/a$, 相应以 K'' 表达的回归方程为:

云南杉: $K'' = 1 - 0.533\alpha$; $S_y'' = 0.158$

杉木: $K'' = 1 - 0.552\alpha$; $S_y'' = 0.147$

上述方程的相关系数 r 经检验均满足在 0.05 信度相关显著。

表 3 以 α 与 R 为变数的回归分析结果

试 材	试件数 n	相关系数 r	回归系数		剩 余 标 准 差 S_y
			a	b	
云 南 杉	247	-0.593	465	-248	73.5
杉 木	51	-0.427	681	-376	100.2

为了比较不同树种、不同试验方法下的构件木节影响，上节分析了以 K 、 K' 、 K'' 表达的三种回归方程，显然，在检验不同树种构件木节影响时应该有所区别。对于 K 和 K' 的回归结果，由于采用了对比试种，不同试件的材性差异基本消除了，可以相互比较。对于 K'' 的分析结果，由于采用估计值代替无节试件强度，试件之间材性差异并未得到消除，相应的剩余标准差较大，应该与 K 、 K' 相区别。

表4根据回归方程差异显著性检验的步骤，检验了云南杉和杉木相应回归方程的系数，结果表明：云南杉和杉木构件的木节影响，在 0.05 信度无显著差别。

表4 云南杉和杉木的回归方程比较

比 较 项 目	剩 余 标 准 差	回 归 系 数 b
$K=0.9152-0.4092$ 与 $K'=1-0.5822$	$F=1.67$ $<F_{0.05}=1.86$	$t=0.895$ $<t_{0.05}=2$
$K''=1-0.5332$ 与 $K'''=1-0.5522$	$F=1.156$ $<F_{0.05}=1.47$	$t=0.259$ $<t_{0.05}=1.97$

总结上述回归分析结果可以明确：① 构件抗弯强度与节径比的相关关系是密切的；② 在木节情况基本相似条件下，云南杉和杉木两个不同树种的木节影响无显著差别（0.05 信度）；③ 相关系数 r 的绝对值与 1 相差较大，说明除节径影响外，其它随机因素对于试验数据的离散影响不小，这些情况在计算构件的统计参数时，必须加以适当考虑。

(二) 构件木节影响的近似计标

根据试验结果分析, 受弯构件中的木节, 可以看作形状相同的锥形孔洞, 按照截面抵抗矩的相对削弱计标系数 K , 其计标结果与试验值较为符合。试验值和计标值的平均比值为1.03, 计标结果见表5。采用这种近似方法计标, 当木节位置在受拉下边缘时的计标 K 值列于附录中表4-1。计标结果表明: 木节影响与 α , 木节在构件截面内的长度等因素有关, 而且, 节径越大, K 值的变化越大, 这些特性与试验结果的规律是一致的。

表5 木节影响系数的试验值 K_s 和计标值 K_j 的比较

树 种		试 件 数 量	$\frac{K_s}{K_j}$ 的 平 均 值	标 准 差 S	变 异 系 数 V
云南 杉	单 节	18	1.10	0.089	0.082
	有节群影响	13	1.01	0.105	0.104
杉	$\alpha=0.1\sim0.29$	7	1.09	0.072	0.066
	$\alpha=0.3\sim0.45$	14	0.93	0.131	0.134
木	$\alpha=0.1\sim0.45$	21	0.98	0.138	0.141

三. 受弯木构件天然缺陷影响系数的取值分析

为了准确求得构件的天然缺陷影响系数(均值和变异系数), 计标采用的数据应符合下述要求: ①构件中的缺陷分布应该按照

随机取样的原则测定，能够代表构件天然缺陷的实际分布。

② 疵病影响试验的样本容量应满足统计的基本要求，以便反映构件强度的真实变异规律。

然而，由于木材树种多，分布广，不可能一一加以研究，只能引用少数有代表性树种的试验结果作为取值的基本依据。为此，在上节中以天然缺陷较为普遍的云南松和最常用的杉木的试验数据作了统计比较，分析表明，两者的疵病影响无显著差异，而且云南松的试验数据比较齐全，具有一定的代表[试件总数 247 个，并且按照节径比分组，各组的试件数量代表性比较充分，（参见表 6）；试件中木节位于截面的受拉底面共 91 个试件，位于侧面上受拉下边沿的试件 76 个，无节试件 34 个，其它情况 46 个]，由这样比较充分的数据确定构件承载能力的统计参数，显然是比较可靠和能够满足上述要求的。另一方面，根据有关资料分析[2]，云南松的天然缺陷分布（包括木节、斜纹等），在各个树种中是比较有代表性的（见表 7），在 5 个调查树种中，它的平均值居中，变异系数是最大的。

按照表 6 的缺陷分布和云南杉的试验结果计算，构件抗弯强度和疵病系数的统计特征以及按照缺陷分布加权的回归分析结果，均列于表 8 中。统计特征的计标公式为：

$$\text{均值: } \bar{R} = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{n_i} f_{ij} / \sum_{i=1}^{10} f_i n_i \quad (1)$$

$$\text{方差: } D_R = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{n_i} f_i (R_{ij} - \bar{R})^2 / \sum_{i=1}^{10} f_i n_i \quad (2)$$

式中：

i —— 节径比 α 的分组序号，组距 $\Delta \alpha = 0.1$ ；

n_i —— i 组内的试件数量；

j —— 同一组内的各个试件序号;

R_{ij} —— 试件抗弯强度;

f_i —— 按照缺陷分布频率所确定的 i 组内各个试件的加权系数。同一组内的各个试件的数据按照等权考虑, 即 $\frac{f_i}{\sum f_i n_i} = \frac{p_i}{n_i}$, p_i 为 i 组的缺陷频率, 为便于计标, f_i 取整数。

按照同样方法, 将各个试件的强度按照缺陷分布 (加权系数 f_i) 加权, 进行回归分析。

如表 8 所示计标结果, 考虑天然缺陷的分布, 云南杉的构件抗弯强度平均值 $\bar{R} = 413.9$ 公斤/厘米², 变异系数 $V_R = 0.222$, 取 $\alpha = 0$ 时的回归值 $R'_0 = a = 515.5$ 公斤/厘米² 作为无疵构件强度, 令 $K_{ij} = R_{ij}/a$, 相应求得疵病系数的均值 $\bar{K} = \frac{413.9}{515.5} = 0.803$, 变异系数的数值不变。但是, 采用回归值 a

作为无疵构件强度的估计值, 相应 K_{ij} 中包含试件材性变异的影响, 在计标疵病系数的统计特征时应将材性变异分离出来, 根据统计代数, 疵病系数的变异系数可以近似地按照 $V_K = \sqrt{V_R^2 - V_C^2}$ 求得。根据附录表 1-1 中 34 个无节试件的强度计标, 试件材性的变异系数 $V_C = 0.154$, 相应求得 $V_K = 0.16$, 即云南杉抗弯构件的天然疵病系数的变异系数为 0.16。

应该指出, 构件中天然缺陷的分布规律与材料质量检验的控制水平有关。上述云南杉的样本缺陷分布, 是在目前二等材目测分等情况下的测定结果, 根据此样本分布计标, 不同节径比限值的疵病系数统计特征见表 9。

湖南杉木的缺陷样本分布和分组试件数据见表 10, 由此计标求得的疵病系数见表 11, 由于试验数据较少, 只有 $\alpha \leq 0.5$ 的计标数据。

表6 云南杉的试件数量和实测缺陷分布($n=247$)

节径比又 组 中 值	0.05	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95
各 组 试件数量	37	15	51	56	38	25	12	3	4	6
实测天然缺 陷分布频率	0.113	0.033	0.24	0.151	0.071	0.043	0.033	0.009	0.009	0

表7 各树种的缺陷分布特征

树 种		湖南杉木	四川冷杉	云南杉	三峽云杉	广西杉木
实 测	$\bar{x}$	0.268	0.278	0.260	0.232	0.214
天然缺陷 分布特征	V_x	0.552	0.585	0.631	0.600	0.578

表8 云南杉受弯构件天然疵病系数的计算结果

实测天然缺陷分布特征		构件强度特征		天然缺陷疵病系数		按照缺陷分布加权的回归分析结果				
$\bar{x}$ 计 标 值	V_x 计 标 值	$\bar{R}$ 公斤/厘米 ²	V_R	$\bar{K}$	V_K	r 相 关 系 数	a 回 归 系 数	b 回 归 系 数	$S_{\text{残}}$ 剩 余 标 准 差	b/a
0.272	0.603	414	0.222	0.803	0.16	-0.667	515.5	-374	68.4	-0.726

表9 雲南杉不同缺陷限值下的疵病系数

节径比限值 ($\alpha \leq$)		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0
天然缺陷 疵病系数	$\bar{K}$	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81	0.81	0.803
	V_K	0.099	0.111	0.118	0.124	0.147	0.151	0.16

表10 湖南杉木的试件数量及缺陷分布

节径比 α 组中值	0.05	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95
各组试件数量	9	9	10	18	4	1				
天然缺陷分布频率	0.062	0.321	0.285	0.176	0.078	0.031	0.031	0.016	0	0

表11 杉木受弯构件天然疵病系数的计算结果

统计特性 节径比限值	天然缺陷分布特征		天然缺陷疵病系数	
	α	$V\alpha$	$\bar{K}$	V_K
$\alpha \leq 0.3$	0.189	0.35	0.932	0.083
$\alpha \leq 0.4$	0.22	0.40	0.902	0.116
$\alpha \leq 0.5$	0.24	0.438	0.895	0.125

小 结

1. 根据受弯构件木节影响试验的回归分析结果比较, 云南松和杉木构件的木节疵病影响, 无显著差别 (信度为 0.05)。

2. 根据天然疵病分布较有代表性, 试验数据比较充分的云南松数据计算, 目前按照自测方法析验的云南松二等材, 其受弯构件的天然疵病系数, 平均值为 0.830。变异系数约为 0.16。如果构件中的疵病均符合现行材质标准要求, 平均值可取 0.84, 变异系数相应为 0.111。湖南松木的计算结果 (二等材 $\alpha \leq 0.4$) 平均值为 0.902, 变异系数为 0.116。

3. 采用锥形孔洞削弱, 假设近似计称方木受弯构件的木节形, 其试验值与计称比较符合, 平均的比值为 1.03。

参 考 资 料

[1]。木结构设计规范 GBJ 5—73。

[2]。受弯木件构件天然缺陷分布实测的统计分析。

建筑结构安全度课题木结构分组。

[3]。规范统计参数确定方法的研究, 建筑结构安全度课题木结构研究分组, K1—79, 1979.1。

[4]《木结构构件与结节的承载能力》B.M. 高基诺夫著

[5]。实测断面尺寸偏差对木检条承载能力的影响分析, 建筑结构安全度课题木结构研究分组 K—78。

附录

(试验结果)

表 1—1 云南松木吊形响试验结果

(湿材, 试件平均含水率大于 44%)

序 号	试件 编号	吊经比 α	构件 抗弯强度 $R_{\text{公斤/厘米}^2}$	备 注	序 号	试件 编号	吊经比 α	构件 抗弯强度 $R_{\text{公斤/厘米}^2}$	备 注
1	1-3	0	589		21	51-1	0	399	
2	3-3	0	534		22	53-1	0	458	
3	4-1	0	500		23	73-3	0	371	
4	5-1	0	483		24	81-3	0	450	
5	6-1	0	483		25	94-1	0	306	
6	9-1	0	424		26	82-2	0	400	
7	10-1	0	334		27	84-1	0	500	
8	10-3	0	425		28	21-3	0	595	
9	12-1	0	440		29	59-1	0	612	
10	14-3	0	461		30	86-2	0	417	
11	15-2	0	430		31	57-3	0	412	
12	17-3	0	436		32	65-2	0	448	
13	23-1	0	445		33	71-2	0	426	
14	31-2	0	495		34	76-2	0	361	
15	33-2	0	367						
16	35-2	0	511		35	6-3	0.152	510	
17	41-2	0	414		36	9-2	0.09	470	
18	44-1	0	462		37	10-2	0.273	348	
19	46-1	0	531		38	24-3	0.2	452	
20	50-2	0	454		39	39-3	0.338	550	

续表 1-1

序 号	试件 编号	吊经比 α	构件 抗弯强度 R 公斤/厘米 ²	备 注	序 号	试件 编号	吊经比 α	构件 抗弯强度 R 公斤/厘米 ²	备 注
40	68-4	0.12	439		66	13-2	0.28	431	
41	62-1	0.04	487		67	48-2	0.28	477	
42	63-1	0.2	487						
43	38-1	0.2	461		68	9-3	0.21	379	
44	5-3	0.384	483		69	15-3	0.23	400	
45	13-3	0.272	526		70	36-3	0.228	478	
46	38-3	0.343	476		71	59-2	0.238	539	
47	44-3	0.346	485		72	86-1	0.228	348	
48	55-2	0.276	450		73	4-2	0.252	351	
49	22-2	0.366	438		74	7-1	0.29	333	
50	42-3	0.415	438		75	32-2	0.266	425	
51	20-2	0.278	491		76	40-1	0.264	435	
52	81-1	0.09	432		77	46-3	0.255	462	
					78	67-3	0.3	412	
53	19-2	0.15	488		79	68-1	0.254	464	
54	36-1	0.2	392		80	68-3	0.3	362	
55	7-2	0.2	339		81	53-2	0.232	400	
56	20-3	0.164	326		82	70-2	0.282	379	
57	31-1	0.2	318		83	70-3	0.254	376	
58	41-2	0.2	394		84	71-1	0.29	352	
59	68-2	0.18	404		85	73-1	0.29	350	
60	90-1	0.19	306		86	73-2	0.264	338	
61	22-1	0.136	539		87	74-1	0.282	344	
62	13-1	0.2	503		88	75-1	0.29	318	
63	39-1	0.27	508		89	76-3	0.29	288	
64	56-3	0.25	454		90	77-1	0.29	386	
65	2-3	0.24	428		91	77-2	0.28	375	

续下

续表 1-1

序 号	试件 编号	吊钩比 α	构件 抗弯强度 R 公斤/厘米 ²	备 注	序 号	试件 编号	吊钩比 α	构件 抗弯强度 R 公斤/厘米 ²	备 注
92	87-1	0.28	366		113	25-1	0.33	390	
93	78-2	0.29	363		114	26-2	0.35	393	
94	79-1	0.28	426		115	30-1	0.32	305	
95	89-2	0.3	363		116	38-1	0.36	484	
96	90-2	0.283	347		117	43-1	0.37	424	
97	90-3	0.254	357		118	46-2	0.35	492	
98	33-1	0.276	244		119	46-2	0.35	353	
99	95-2	0.3	127		120	53-3	0.38	465	
100	80-1	0.3	306		121	60-3	0.4	372	
101	78-1	0.29	288		122	62-2	0.37	447	
102	69-1	0.282	282		123	62-3	0.37	436	
103	11-2	0.25	373		124	64-1	0.34	471	
104	61-2	0.256	408		125	1-1	0.346	344	
105	45-1	0.288	352		126	9-4	0.31	282	
106	38-2	0.288	406		127	27-2	0.302	420	
107	34-2	0.274	351		128	32-1	0.346	505	
108	21-1	0.273	466		129	32-3	0.35	418	
109	11-1	0.29	378		130	51-2	0.312	315	
110	12-2	0.4	415		131	72-1	0.34	266	
111	19-1	0.33	437		132	72-2	0.342	288	
112	24-2	0.33	437		133	74-2	0.32	332	
					134	79-2	0.324	404	

续表 1-1

序号	试件编号	吊钩比 α	构件 抗弯强度 $R_{\text{公斤/厘米}^2}$	备注	序号	试件编号	吊钩比 α	构件 抗弯强度 $R_{\text{公斤/厘米}^2}$	备注
135	81-2	0.35	368		158	56-2	0.382	478	
136	89-1	0.346	372		159	61-3	0.328	377	
137	94-3	0.35	276		160	94-2	0.364	258	
138	98-1	0.31	247		161	14-2	0.48	362	
139	18-1	0.363	455		162	18-2	0.45	400	
140	18-3	0.364	401		163	25-2	0.43	373	
141	28-1	0.382	332		164	36-2	0.45	308	
142	28-2	0.366	328		165	47-2	0.43	408	
143	39-2	0.382	476		166	49-2	0.45	417	
144	60-1	0.358	473		167	50-3	0.41	406	
145	67-1	0.36	374		168	54-1	0.41	377	
146	69-2	0.39	340		169	60-2	0.44	411	
141	83-2	0.35	261		170	61-1	0.42	376	
148	84-2	0.32	302		171	64-3	0.43	371	
149	84-3	0.38	344		172	3-1	0.49	432	
150	88-1	0.37	306		173	5-2	0.5	393	
151	86-3	0.386	345		174	6-4	0.47	458	
152	71-3	0.36	290		175	20-1	0.49	321	
153	16-1	0.336	427		176	27-3	0.48	338	
154	34-1	0.31	399		177	30-2	0.47	388	
155	34-3	0.38	277		178	35-1	0.46	452	
156	64-2	0.4	469		179	35-3	0.48	426	
157	41-3	0.318	425						