

木材物理力学试验试样数的研究

卢 莹

(中国林科院木材工业研究所)

摘要 木材是变异性很强的各向异性材料。适当地确定试样的数量才能既保证试验的精确度,又避免枉费人力、物力。为了修订国家标准《木材物理力学试验方法》中的取样方法,本文分析、比较了国际标准与中国现行标准之不同,得到了比较符合我国实际情况并向国际标准靠拢的取样方法。

关键词 木材物理力学试验方法; 取样方法

前 言

木材的变异性很大。当测定木材的物理力学性质时,需要足够多的试样以保证试验的精确度并求出其可靠的代表性。但是,过多的试样又将耗费大量的人力物力。适当地确定试样的数量是十分必要的。

澳大利亚的Pearson^[3]和Williams^[6,7]早在五十年代初期就做了大量的工作,将近代统计理论引入木材标准试验的取样方法及数据分析,为此项工作奠定了基础。他们认为,对于木材物理力学试验,所取试样的数目取决于该项试验的变异程度和试验所要求的精确度。而提高试验精确度的最好方法,是增大样木株数,而不是在株数较少的情况下,增大每株取的试样数。

世界各国现行的木材试验标准的取样方法是不同的,美国ASTM D143-52^[10]规定,试验每一树种时,要选择能代表该树种的样木最少5株,然后分别在不同的高度上截取木段,以十字法截取试条。印度标准^[8]规定要选十株样木,然后以十字法截取试条。以上两个标准对每株样木取的试样数,均未作具体规定。德国标准^[9]对试样数没有明确规定,视所测性质的重要性和试材结构是否均匀而定。

我国现行的国家标准GB 1928-80《木材物理力学试验方法总则》^[1]中规定,“每树种每项试验的有效试样数,必须在30个以上。”此规定与现行ISO国际标准^[11]的规定有较大距离。因此,在

此次国家标准的修订过程中,对ISO标准中的关于试样数的规定作分析,并与我国标准对照,以求得既符合我国实际情况,又获得向国际标准靠拢的取样方法。

一、现行国际标准取样公式的分析

现行的国际标准ISO 3129《木材—物理力学试验的取样方法和一般要求》^[11]中规定的取样方法如下:

1.在选择性取样(即目的取样)时,试样的最少数量 n_{min} 按下式求得:

$$n_{min} = mn = \frac{v^2 \cdot t^2}{P^2} \left[\frac{(n\sigma_b^2/\sigma_t^2) + 1}{(\sigma_b^2/\sigma_t^2) + 1} \right] \quad (1)$$

式中: m —选用材料(原木、锯材、板材等)的数量,如样木的株数;

n —每件选用材料上截取试样的平均数量,如每株取的试样数;

v —待测定性质的变异系数百分数;

t —结果可靠性指标(标准差置信区间的一半长度);

P —试验精确度百分率指标(算术平均值的标准差与算术平均值之间的关系);

σ_b^2 —选用材料中性质的期望方差,如株间方差;

σ_t^2 —一件材料内性质的期望方差,如株内方差。

2.在机械取样(即随机取样)中,试样的最少数量 n_{min} ,按下式求得:

收稿日期, 1990.1.

$$n_{min} = v^2 \cdot t^2 / P^2 \dots \dots \dots (2)$$

现首先推导机械取样公式:

一般视木材物理力学性质为正态变量 $D(\mu, \sigma^2)$ 。根据中心极限定理,即使总体非正态分布,随着样本含量的增加,样本平均数 $\bar{X}$ 的分布也趋于正态。因此,当样本含量较大时,以样本平均数估计 μ ,近似地有概率:

$$P^* \left\{ \left| \frac{\mu - \bar{X}}{\bar{X}} \right| \leq t_{0.05} S_{\bar{X}} \right\} = \\ = P^* \left\{ \left| \frac{\mu - \bar{X}}{\bar{X}} \right| \leq \frac{t_{0.05} S_{\bar{X}}}{\bar{X}} \right\} = 0.95 \dots \dots \dots (3)$$

其中: $P^* - |\mu - \bar{X}| \leq t_{0.05} S_{\bar{X}}$ 的概率;

μ —总体平均值;

$S_{\bar{X}}$ 为样本标准误差。

$$\text{令 } \left| \frac{\mu - \bar{X}}{\bar{X}} \right| = \Sigma$$

$$\text{则由 } \Sigma \leq \frac{t_{0.05} S_{\bar{X}}}{\bar{X}} = \frac{t_{0.05} S / \sqrt{n_{min}}}{\bar{X}}$$

其中: S —样本标准差。

导出计算样本含量的公式:

$$n_{min} \geq \frac{t_{0.05}^2 S^2}{\Sigma^2 \bar{X}^2} = \frac{t^2 v^2}{\Sigma^2} \dots \dots \dots (4)$$

即机械取样中计算最小试样数的公式(2)。式中的 Σ 即为公式(2)中的 P 。根据标准中列出的各不同性质的变异系数 v 值及规定的试验精确度指标 P 值,可算出所需的最小试样数 n_{min} 值。在此条件下,有95%机率 $\left| \frac{\mu - \bar{X}}{\bar{X}} \right| \leq P$,即总体平均数之差有95%的可能不超过 $P\bar{X}$ 。

由公式(4)可知,对试验要求的精确度和该项试验的变异程度决定样本含量的大小。当对精确度要求高并且试验的变异大时,样本的含量就大,反之则小。

而选择取样的公式:

$$\frac{v^2 t^2}{P^2} \left[\frac{(n\sigma_b^2/\sigma_1^2) + 1}{(\sigma_b^2/\sigma_1^2) + 1} \right] \text{ 是从两}$$

阶段取样的估计样本方差的公式推导出的,由基本

$$\text{公式 } \frac{v^2 \cdot t^2}{P^2} \text{ 与调整系数公式 } \left[\frac{(n\sigma_b^2/\sigma_1^2) + 1}{(\sigma_b^2/\sigma_1^2) + 1} \right]$$

两部分相乘组成的。当株间方差愈小于株内方差时,调整系数愈接近于1,此时,取的总试样数愈少;反之,则系数愈大,所需试样数也愈多。但该

系数不会超过每株取的试样数 n 。图1表示当每株取的试样数分别为2、3、4、5时,调整系数随株间方差与株内方差之比的变化而变化的情况。

ISO标准中规定了选择取样和机械取样两种方法。可以说,机械取样是在一定的精确度要求和变异条件下对取样的最低要求。而选择取样则是当取样条件好时,如已知样本的株内方差和株间方差的情况下较高的取样要求。

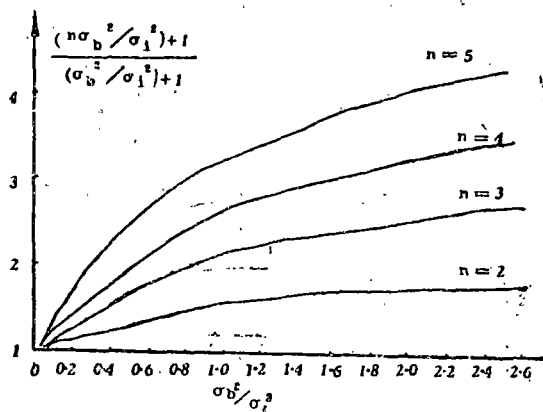


图1 调整系数与方差比的关系

二、分析和讨论

ISO标准中的选择取样公式包括机械取样公式和调整系数公式。系数公式中又有每株取的试样数 n 和株间方差与株内方差之比这两个待决定的量。

关于每株取的试样数 n , Pearson和Williams在对十个澳大利亚树种的五项强度性质进行试验后,得出平均的株内方差与株间方差之比为1.5,这说明株内的变异是很大的。但尔后在1952年和1958年仍强调株间变异,认为估计样本的精确度取决于所取的株数而不是总的试样数。因此,最有效的和最经济的方法是从每株中只取一个试样,只要增加株数,精确度就可以迅速提高。他们也以

$$P = \frac{t_{0.05} S_{\bar{X}}}{\bar{X}} \text{ 表达精确度指标。但这里 } S_{\bar{X}}$$

是以 $S/\sqrt{m}$ 计算的,其中 m 为试验的株数。因此,当株数越多时, $S_{\bar{X}}$ 越小, P 也相应地变小,精确度提高。这种处理完全忽略了株内变异对结果的影响,与株内变异大于株间变异的结论是矛盾的。

从图2(5)可以看出,当 n 从1增加到5时,精确度有所提高,但超过5时,精确度就提高极慢了。因此, n 定为5左右比较合适。

株间方差与株内方差之比 σ_b^2/σ_1^2 的确定。

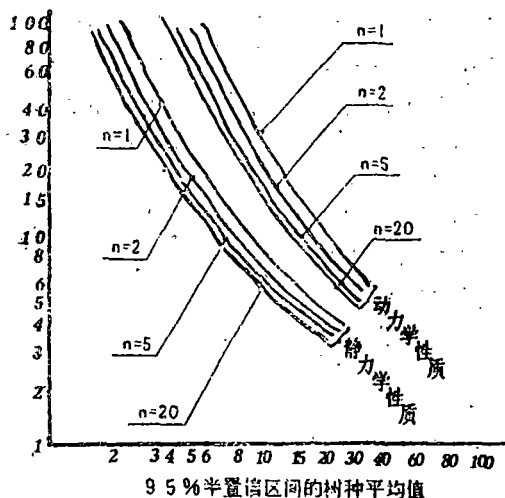


图2 n 不同时, 样本含量对估计树种平均值精度的影响

ISO标准中第1、2条规定应用范围时指出: 选择该取样方法应在某树种的株内变异及株间变异为已知、并可以从大量株数、原木和锯材中选出样品材料时才能用此方法。但我们对某一树种试验前, 肯定尚不知该树种各性质的方差。能否利用以前的试验结果, 象变异系数 v 那样, 对各性质定一个统一的数值? 为此, 根据中国林科院木材工业研究所材性室以往的试验结果, 对79个树种的16项物理力学性质的7万余个数据进行了统计分析, 以求得其株间变异与株内变异值, 所用公式见表1^[4]:

表1 方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方	估计的参数
株间	S_1	$m-1$	$\bar{S}_1 = \frac{S_1}{m-1}$	$n_0 \sigma_b^2 + \sigma_i^2$
株内	S_2	$\sum_{i=1}^m n_i - m$	$\bar{S}_2 = \frac{S_2}{\sum_{i=1}^m n_i - m}$	σ_i^2
总和	S_3	$\sum_{i=1}^m n_i - 1$		

其中:

$$n_0 = \frac{1}{m-1} \left[\sum_{i=1}^m n_i - \frac{\sum_{i=1}^m n_i^2}{\sum_{i=1}^m n_i} \right],$$

表示当各株取的试样数不相等时, 每株试样数的加权平均值。

所得结果见表2第4~7栏, 表明同性质不同树种的 σ_b^2/σ_i^2 变异极大, 其准确指数之大表明不能以一个平均值代表整个性质的 σ_b^2/σ_i^2 。因此, 此公式很难应用。

机械取样公式。在此公式中, 变异系数 v 已经被规定。问题是如何确定结果可靠性指标 t 值和准确指数 P 值。在这个标准中规定, 应以0.95的置信水平, 5%的试验精确度指标来确定木材主要物理力学性质的数值。我国现行的国家标准规定准确指数的公式为 $P = S_{\bar{x}}/\bar{x}$, 即取的 $t_{0.32} = 1$, 亦即置信水平只有68%, 显然偏低。目前的国际标准为 $P = 2 S_{\bar{x}}/\bar{x}$, 即取的 $t_{0.05} = 1.96 \approx 2$, 有95%的置信水平。因此, 置信水平应统一取为95%。Pearson和Williams主张对重要树种的主要性质 P 取值5%, 其余的取10~15%。在 P 分别等于5%和10%的情况下, 以规定的 v 值和 $t_{0.05}$ 计算所得的最小试样数见表2的第9和11栏。在 $P = 5\%$ 的情况下, 只有顺纹抗压强度和密度的试样数少于30个, 与我国现行标准规定每种试验的试样数最少取30个相一致。而其它项目都大于30个, 尤其是冲击弯曲强度和线性干缩系数远远大于30个。因此, 如何确定我国标准的最少试样数? 如仍规定为30, 有可能使试验精确度达不到规定的精度要求 ($t_{0.05} = 1.96$, $P = 5\%$, 其中 P 即式(2)中的精确度百分率指标)。若重新确定一个较大的最小试样数(如60个), 则绝大部分性质的试验能满足上述精确度要求, 但在今天试材采集日益困难的情况下是否可行? 另外, 如何处理、比较过去多年所做的试验结果? 如果将精确度指标取为7%, 则绝大多数性质取30个试样能满足精度要求。这可以从过去多年所做的试验结果得到验证。因此, 应用机械取样公式, 将精确度指标定为5~7%, 既对精确度的影响不大, 又比较切实可行, 也便于与过去的试验结果相比较。

三、结论

(一) 由于不能得到统一的各性质的株间方差之比, 所以现行国际标准中的选择取样公式难以实施。

(二) 可以采用现行国际标准中的机械取样公式:

$$n_{min} = v^2 \cdot t^2 / P^2$$

式中参数的确定为: v 应用国际标准中所列数值, 以95%的置信水平取 t 值为1.96, P 取5~7%。这

表2-79种树种16项物理力学性质试验数据分析

性 质	树 种 数		σ_b/σ_1				按规定 v 值 (%)	计 算 试 样 数		
			平均值	准确指数	最小值	最大值		P=5%	P=7%	P=10%
弹 性 模 量	针 阔 总	21	0.532	37.2	0.056	1.93	20	61	31	15
		52	0.920	28.2	0.019	4.14				
		73	0.808	24.2						
密 度	针 阔 总	24	0.861	39.3	0.064	3.67	10	16	8	4
		55	1.621	36.3	0.022	13.2				
		79	1.390	30.4						
顺 纹 抗 压	针 阔 总	24	0.819	39.5	0.045	3.69	13	26	13	6
		54	1.106	29.7	0.021	7.24				
		78	1.108	24.3						
晚材率		19	0.320	42.2	0.0043	1.29	28	120	61	30
静 曲 强 度	针 阔 总	21	0.650	34.0	0.021	1.79	15	35	18	9
		52	1.226	61.0	0.0094	19.9				
		73	1.061	50.9						
顺 纹 抗 剪	针 阔 总	19	0.450	41.5	0.024	1.40	20	61	31	15
		59	0.599	23.4	0.0044	2.46				
		69	0.558	20.3						
干 缩 (T)	针 阔 总	18	0.280	33.5	0.0055	0.77	28	120	61	30
		48	0.975	32.5	0.032	4.79				
		66	0.786	30.8						
干 缩 (R)	针 阔 总	17	0.422	56.2	0.027	1.74	28	120	61	30
		46	1.049	35.9	0.0072	4.87				
		63	0.880	32.7						
干 缩 (V)	针 阔 总	18	0.2273	48.8	0.026	0.85	16	39	20	10
		47	0.8135	35.0	0.0045	4.97				
		65	0.6511	33.2						
硬 度 (O)	针 阔 总	17	141.9	68.8	0.038	4.16	17	44	23	10
		44	101.1	30.5	0.026	5.49				
		61	109.6	28.1						
硬 度 (R)	针 阔 总	18	0.5918	48.2	0.046	2.29	17	44	23	10
		45	1.453	38.8	0.049	9.03				
		63	1.207	34.6						
冲 击 韧 性	针 阔 总	17	0.4589	59.4	0.018	2.20	32	157	80	39
		41	0.5913	37.5	0.010	3.14				
		58	0.5525	31.5						
劈 开	针 阔 总	15	0.9945	68.6	0.097	4.78	20	61	31	15
		46	0.5439	35.9	0.017	3.60				
		61	0.6547	34.1						
顺 纹 抗 拉	针 阔 总	13	0.8350	67.2	0.089	3.92	20	61	31	15
		13	0.6054	49.7	0.072	1.72				
		26	0.7202	42.9						
横 纹 抗 压 (R)	针 阔 总	18	0.4900	46.6	0.076	2.16	20	61	31	15
		45	0.6585	31.7	0.010	3.59				
		63	0.6104	26.5						
横 纹 抗 压 (T)	针 阔 总	18	0.5878	44.1	0.095	2.02	20	61	31	15
		45	0.6873	26.5	0.023	2.99				
		63	0.6589	22.5						

种取法是符合我国的实际情况的。

(责任编辑 袁东岩)

参 考 文 献

- (1) 国家标准GB1928—80《木材物理学试验方法总则》。
- (2) 蔡则谟, 1982, 木材物理力学试验的取样方法, 东北林学院学报, (2)。
- (3) 中国林科院木材所等, 1982, 中国主要树种的木材物理力学性质, 中国林业出版社。
- (4) G.W.斯奈迪格等著, 杨纪珂、汪守琦译, 1964, 应用于农学和生物学实验的数理统计方法, 科学出版社。
- (5) Pearson, R.G., 1952, The sampling of timber for standard mechanical test, Aust.J. Sci., 3: 25.
- (6) Williams, E.J., 1952, Application of component analysis to the study of properties of timber, Aust.J.Appl. Sci., 3: 101.
- (7) Pearson, R.G. and E.J.Williams, 1958, A review of methods for the sampling of timber, Forest Products J. 8 (9) .
- (8) Indian Standard, 1963, Methods of sampling and presentation of data for timber tester.
- (9) DIN 52180, Testing of wood, sampling and cutting, principles, 1977.
- (10) ASTM Designation, D 143-52, Standard methods of testing small clear specimens of timber, 1980.
- (11) International Standard, ISO-3129 Wood-sampling methods and general requirements for physical and mechanical test, 1977.

A study on the number of specimens for physical and mechanical test of wood

Lu Ying

(Inst. of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry)

Abstract Wood is a kind of anisotropic material which has strong variability. Determining the number of test specimens suitably can reach the target of not only getting the requisite accuracy but also avoiding big waste. For revising the Chinese standard of "Methods of Testing Physical and Mechanical Properties of Wood", the difference sampling methods between ISO international standard and Chinese standard has been analysed and compared. A sampling methods that is suitable to china's actual condition and close the ISO international standard has been found.

Keywords Methods of testing physical and mechanical properties of wood; Sampling method