

实用技术

木材密度力学性质及其换算关系

杨家驹 卢鸿俊

摘要 由于我国木材物理和力学强度试验标准与外国不同,很难互相比拟和直接应用,因此本文提供了换算系数。同时重点提出美国木材密度试验方法 ASTM D 52与我国国标的换算值,旧国标 GB 1933-80和新国标 GB 1933-91的换算系数。木材密度是木材物理力学性质的标志,可以通过它推算出多种力学强度数据。本文根据以往的试验数据统计分析得出换算系数。

关键词 木材密度;木材力学性质;换算系数

Wood Density, Mechanical Properties and Their Conversion

Yang Jiaju Lu Hongjun

(Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 100091)

Abstract Wood density is considered as the most simple indicator of wood mechanical properties. It is widely recognized that there exists correlation between wood density and wood mechanical properties. However, it is difficult to compare with the data of wood density and mechanical properties from different countries for the different test methods being used. In this paper, conversion coefficients are presented for comparison between the data derived from Chinese Standards and American ones (ASTM).

Keywords Wood density; Wood mechanical properties; Conversion coefficient

木材是一种重要的材料,用途广泛。正确掌握木材的物理、力学性质是林木培育和高效利用木材的重要环节。但由于我国与外国(如美国等)所用的标准不同,所测得的数据相差很大,不能比较,更不能直接应用。我国过去和现在测定木材性质的标准也有所不同。为此,笔者根据我国 GB 1927-1943-80^[1]和 GB 1927-1943-91^[2]与美国 ASTM D143-52^[3]之间测试条件的差别,提出了换算的方法^[4],并以《中国主要树种木材物理力学性质》^[5]所列数据为例进行换算,供木材研究和木材工程设计者等的参考。同时本文重点提出木材密度,它是木材物理、力学性质的标志,可以反映多种力学强度的大小。

1 木材密度

木材密度表示其单位容积的重量,一般用 g/cm^3 或 lb/ft^3 表示。就木材言,由于含水量改变而影响其重量和容积,为精确起见,必须说明测定重量和容积时木材的水分状况。因木材体积是由具有细胞腔的细胞及

其间的孔隙组成,而实际木材物质或细胞壁物质的比重是 1.54。木材密度还受细胞腔内含有的水分和细胞腔内含有物的变化以及随之而引起体积变化的影响。

木材比重是指试样的烘干重与试样在某一特定含水量(如生材、气干材或烘干材)时的容积相同的水重之比,分为气干比重、基本比重、生材比重和名义比重,这些名词与气干密度、基本密度等名词的意义在使用上基本相同,只是没有单位而已。

木材密度可分为基本密度、气干密度、全干密度和生材密度四种^[6]。基本密度 = 全干木材重量 / 生材体积,生材或浸水材是木材含水率超过纤维饱和点,而体积不收缩的木材。因全干重量和最大体积都是最稳定的数值,所以基本密度作为各种木材间的比较也是十分可靠的。气干密度通常指木材的含水率在 8% ~ 20% 之间的密度。我国及国际标准的气干密度 = 气干材重量 / 气干材体积。因为木材通常在气干状态下使用,所以气干密度是很重要的指标。我国 1980 年颁布执行的国家标准 GB 1933-80 规定标准气干密度的含水率为 15%, 1992 年颁布的国标 GB 1933-91 已同国际标准接轨,改为 12%。但旧的以 15% 含水率为标准的力学数据,已载入目前木材力学强度主要参考的《中国主要树

收稿日期 1996-01-20
杨家驹、卢鸿俊分别是:中国林科院木材工业研究所材性室研究员、工程师
北京 100091

种的物理力学性质》等著作中,另外,美国标准 ASTM D 143- 52(以下简称美国标准)中规定:气干密度=全干重量/气干体积,这里的气干通常规定为含水率12%。如木材全干重除以含水率为12%时体积,即称含水率12%时的气干密度;生材密度=生材重量/生材体积。这种密度也是比较稳定的,通常用在木材运输中计算重量,单位常为 kg/m³;全干密度=全干木材重量/

$$\text{基本密度} = \text{生材密度} \times \frac{1}{1 + 0.01 \text{生材含水率}}$$

(公定密度)

$$= \text{气干密度} \times \frac{(1 + 0.01 \text{木材体积干缩系数}) \times \text{气干含水率}}{(1 + 0.01 \text{气干材含水率})(1 + 0.3 \text{木材体积干缩系数})}$$

$$= \text{全干密度} \times \frac{1}{1 + 0.3 \text{木材体积干缩系数}} \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$\text{气干密度} = \text{基本密度} \times \frac{(1 + 0.01 \text{气干材含水率})(1 + 0.3 \text{木材体积干缩系数})}{(1 + 0.01 \text{木材体积干缩系数}) \times \text{气干材含水率} (1 + 0.01 \text{生材含水率})}$$

$$= \text{生材密度} \times \frac{(1 + 0.01 \text{木材干缩系数})(1 + 0.3 \text{木材体积干缩系数})}{(1 + 0.01 \text{木材体积干缩系数}) \times \text{气干材含水率} (1 + 0.01 \text{生材含水率})}$$

$$= \text{全干密度} \times \frac{1 + 0.01 \text{气干材含水率}}{1 + 0.01 \text{木材体积干缩系数} \times \text{气干材含水率}} \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$\text{生材密度} = \text{基本密度} (1 + 0.01 \text{生材含水率})$$

$$= \text{气干密度} \times \frac{(1 + 0.01 \text{木材体积干缩系数})(1 + 0.01 \text{生材含水率})}{(1 + 0.01 \text{气干材含水率})(1 + 0.3 \text{木材体积干缩系数})}$$

$$= \text{全干密度} \times \frac{1 + 0.01 \text{生材含水率}}{1 + 0.3 \text{木材体积干缩系数}} \quad (\text{g/cm}^3)$$

$$\text{全干密度} = \text{基本密度} (1 + 0.3 \text{木材体积干缩系数})$$

$$= \text{生材密度} (1 + 0.01 \text{木材体积干缩系数})(1 + 0.01 \text{生材含水率})$$

$$= \text{气干密度} \times \frac{1 + 0.01 \text{木材体积干缩系数} \times \text{气干含水率}}{1 + 0.01 \text{气干含水率}} \quad (\text{g/cm}^3)$$

式中气干含水率均指小于纤维饱和点的数值,木材体积干缩系数如没有数值,可用已经测定体积干缩系数的平均值代替(针叶树材为0.46,阔叶树材为0.50)^[1,2]。

上述换算以基本密度和生材密度较为准确,因为不涉及木材体积干缩系数,也便于比较。广泛应用的气干密度既涉及木材的含水率,也涉及试验方法,相互比较甚是困难。为了简单实用,笔者以《中国主要树种的木材物理力学性质》所列的基本密度和气干密度(含水率15%)作了统计,整篇的针叶树材(共86组数据):气干密度=0.007 32+1.197 03×基本密度(相关系数为0.98),阔叶树材(共254组数据):气干密度=0.209 803+1.160 099×基本密度(相关系数为0.93)。如果更简单的用系数计算则:针叶树材的气干密度=基本密度×1.22;基本密度=气干密度×0.82。阔叶树材的气干密度=基本密度×1.24;基本密度=气干密度×0.83。以上的气干密度均指木材含水率为15%。

美国标准中的气干密度和中国标准 GB 1933-80的气干密度不能进行比较,因为前者系木材全干重量

全干木材体积。这种密度虽然稳定,但日常中极少使用;如果单纯计算木材细胞的细胞壁(除去胞腔和水分等)称为实质密度。因为细胞壁中也有甚小的孔隙,各个树种干木材的实体胞壁物质在水中测定密度为1.5 g/cm³,在氦气中测定为1.46 g/cm³。

上述四种木材密度代表不同情况下的密度。四者之间的换算公式如下:

除以含水率12%的木材体积,后者系含水率15%的木材重量除以同一含水率的木材体积。如果互相比其换算方法如下。首先把前者换算为含水率12%的木材重除以同一含水率体积的气干密度。再换算为15%含水率的木材重量除以同一含水率体积的气干密度。如根据美国标准所得气干含水率为12%的气干密度为0.95 g/cm³,根据气干密度=木材气干重量/相同含水率的木材体积的公式,即0.95 g/cm³×(1+12/100)=1.064 g/cm³,即美国标准含水率12%的气干密度换算成中国标准含水率12%的气干密度为1.064 g/cm³。继之,再把中国标准含水率12%的气干密度换算成15%的气干密度,其公式是:木材气干密度(含水率15%)=任一接近含水率15%的密度值〔1+0.01(1-木材体积干缩系数)(15-任一接近15%气干密度的含水率)〕。式中的木材体积干缩系数,如无测定数据,可采用国产树种木材体积干缩系数的统计数据:针叶树材为0.46,阔叶树材为0.5。这样12%含水率的针叶树材气干密度换算为15%含水率的气干密度即为含水率12%的气干密度×〔1+0.01×(1-木材体积干缩系数)(15-

12)〕,即为 1.064 g/cm³×〔1+ 0.04× (1- 0.5)(15- 12)〕= 1.079 96 g/cm³,比美国标准的气干密度 0.95 g/cm³增大 0.136 8倍

2 木材强度与密度

木材的强度与木材胞壁物质的数量、构造及胞腔内抽提物的含量有关,因而胞壁物质是木材力学强度最好的预测指标。就各个树种的木材言,其密度与强度之间的关系,可以 $S=K(G)^n$ 来表示。式中 S 表示任何一种强度的性质, K 表示比例常数(因各种强度而

异), G 表示密度(比重), n 为指数(确定木材强度与比重关系曲线的形状)。顺纹抗压强度与密度呈直线关系。抗弯强度与密度的关系约为 1.25次方,当密度加倍时,抗弯强度约增加 1.5倍。横纹抗压强度与密度的关系,当密度的指数为 2.25时,横纹抗压强度将增加 3倍多。这种关系是根据国外的木材试验方法而得到的,胡慕任根据国标 GB 1927~ 1947- 80试验方法(以下简称中国老标准)在《中国主要树种的木材物理力学性质》中所列的 264个树种木材强度数据平均值与气干密度(含水率为 15%)平均值关系的研究结果为表 1

表 1 264种木材强度与气干密度(含水率 15%)的关系

Tab. 1 Correlation between mechanical properties and air-dry density (M. C. 15%) of 264 wood species

力学性质	单位	针叶树材		阔叶树材	
		相关系数	回归方程	相关系数	回归方程
顺纹抗压强度	kgf/cm ²	0.765	$e_{15}=655d_{15}+80$	0.898	$e_{15}=710d_{15}+15$
抗弯强度	kgf/cm ²	0.850	$e_{15}=1550d_{15}+35$	0.909	$e_{15}=1510d_{15}+10$
抗弯弹性模量	1000kgf/cm ²	0.645	$E_{15}=145d_{15}+35$	0.864	$E_{15}=160d_{15}+15$
顺纹抗剪强度	kgf/cm ²	0.723	$f_{15}=135d_{15}+5$	0.854	$f_{15}=190d_{15}+10$
顺纹抗拉强度	kgf/cm ²	0.741	$e_{15}=1980d_{15}+15$	0.765	$e_{15}=1450d_{15}+210$
横纹抗压强度	局部	0.728	$e_{15}=125d_{15}$	0.891	$e_{15}=160d_{15}^{1.68}$
	全部	0.736	$e_{15}=95d_{15}^{1.45}$	0.897	$e_{15}=115d_{15}^{1.65}$
硬度	端面	0.709	$H_{15}=720d_{15}^{1.65}$	0.916	$H_{15}=1180d_{15}^{1.61}$
	侧面	0.861	$H_{15}=802d_{15}^{1.65}$	0.952	$H_{15}=1160d_{15}^{2.03}$

注:1kgf/cm²=0.9806N/mm²

顺纹抗压强度=(美国标准法所得的力学强度÷0.92)×〔1+ 0.05× (试材含水率- 15)〕

顺纹抗剪强度=(美国标准法所得的力学强度÷0.88)×〔1+ 0.03× (试材含水率- 15)〕

抗弯弹性模量:试材气干密度<0.55 g/cm³时=(美国标准所得的力学强度÷1.11)×〔1+ 0.015× (试材的含水率- 15)〕

抗弯强度=(美国标准法所得的力学强度÷0.88)×〔1+ 0.04× (试件含水率- 15)〕

美国标准的试验方法所得的木材力学强度数据与中国老标准的试验方法所得的力学强度数据,亦不能比较。为此作者提出在一根试材上进行两种不同的力学试验方法的比较而得到换算系数,以解决两者不能比较的问题。关于试验方法及计算公式已详细刊载于《中国木材》1993年 2期中,但是没有举例。现以黄梁木(*Anthocephalus chinensis*)为例,具体计算和说明如表 2

表 2 美国标准所得数据

Tab. 2 Data from tests according to ASTM D143- 52

产地	气干密度 (g/cm ³)	木材力学强度(MPa)			
		顺纹抗压	抗弯强度	抗弯弹性模量	顺纹抗剪
菲律宾	0.35 [*]	24.5	53.6	5860	6.24
马来西亚	0.45 ^{**}	27.9	50.0	7700	6.40

注:* 含水率 12%;* * 含水率 17.8%

表 3 中国老标准所得数据(含水率 15%)

Tab. 3 Data from tests according to GB 1927- 1949- 80

产地	气干密度 (g /cm ³)	木材力学强度 (M Pa)					
		顺纹 抗压	抗弯 强度	抗弯弹 性模量	顺纹抗剪		
					径面	弦面	平均
广西	0. 499	340	750	73 000	103	117	110
云南	0. 372	259	510	66 000	61	82	71. 5

关于气干密度的比较,首先把菲律宾产木材气干密度(全干重量除以含水率 12%)换算为含水率 12%的重量和同体积木材的气干密度=0.35 g/cm³×(1+ $\frac{12}{100}$)=0.392 g/cm³。然后再换算为含水率 15%的重量和同体积木材的气干密度=0.392 g/cm³×〔1+ 0.01× (1- 0.5)(15- 12)〕=0.398 g/cm³。用同样方法把马来西亚产黄梁木换算为含水率 15%时的重量和同体积木材的气干密度为 0.523 g/cm³。

关于木材力学强度的比较,虽然气干密度能一般说明力学强度的大小,但也不尽然,还需进行具体的换算。首先举例换算菲律宾产黄梁木的各种力学强度。

顺纹抗压强度=(24.5÷0.92)×〔1+ 0.05× (12- 15)〕=22.6 MPa

抗弯强度=(53.6÷0.88)×〔1+ 0.04× (12- 15)〕=53.6 MPa

抗弯弹性模量 = $(5860 \div 1.11) \times [1 + 0.015 \times (12 - 15)] = 5042 \text{ MPa}$

顺纹抗剪强度 = $(6.24 \div 0.88) \times [1 + 0.03 \times (12 - 15)] = 6.45 \text{ MPa}$

同样方法换算马来西亚产者的各种力学强度 得:

顺纹抗压强度 = 34.6 MPa

抗弯强度 = 63.2 MPa

抗弯弹性模量 = 7228 MPa

顺纹抗剪强度 = 7.9 MPa

关于中国标准所得的数据因其单位为 CGS制,必须换算为 SI制才能和上述菲律宾及马来西亚产黄梁木材的力学强度比较(当然如果把上述菲律宾和马来西亚产木材的力学强度单位换算为 CGS制的强度单位亦可)。中国广西产黄梁木的各种力学数据如下:

顺纹抗压强度 = $346 \div 10.197 = 33.3 \text{ MPa}$

抗弯强度 = $754 \div 10.197 = 73.9 \text{ MPa}$

抗弯弹性模量 = $73000 \div 10.197 = 7159 \text{ MPa}$

顺纹抗剪强度 = $(103 \div 117) \div 2 \div 10.197 = 10.79 \text{ MPa}$

关于中国云南产黄梁木依上述方法换算的结果是:顺纹抗压强度为 25.3 MPa ,抗弯强度为 50.0 MPa ,抗弯弹性模量为 6472 MPa ,顺纹抗剪强度为

7.01 MPa 兹将上述 4 个不同地区的黄梁木的数据列为表 4,强度的大小就可以一目了然

表 4 黄梁木气干密度及力学强度比较表(含水率 15%)

Tab 4 Comparison between mechanical properties and air-dry density (M. C. 15%) of anthocephalus

产地	气干密度 g/cm ³	木材力学强度 (MPa)			
		顺纹抗压	抗弯强度	抗弯弹性模量	顺纹抗剪
菲律宾	0.398	22.6	53.6	5042	6.45
马来西亚	0.523	34.6	63.2	7228	7.9
中国广西	0.499	33.3	73.9	7159	10.79
中国云南	0.372	25.4	50.0	6472	7.01

5 参考文献

- 1 国家标准总局发布.中华人民共和国国家标准 GB 1927~ 1947- 80.木材物理力学性质试验方法.北京:中国标准出版社,1980
- 2 国家技术监督局发布.中华人民共和国国家标准 GB 1927~ 1947- 91.木材物理力学性质试验方法.北京:中国标准出版社,1991
- 3 American Society for Testing and Materials. Standard Methods of Testing Small Clear specimens of Timber. ASTM Standard D 143 - 52(72) Philad Elphia, Pa 1980
- 4 张寿槐,杨家驹.中国与美国标准的木材力学强度数据换算法的比较研究.中国木材,1993(21): 25~ 28
- 5 中国林业科学研究院木材工业研究所主编.《中国主要树种的木材物理力学性质》.北京:中国林业出版社,1982
- 6 成俊卿主编.《木材学》.北京:中国林业出版社,1985

(上接第 34 页)

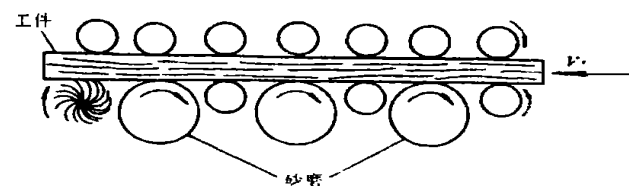


图 3 砂辊磨削

磨刷是将成排的刷毛和砂带条一端间隔地紧固于磨刷转鼓上,靠刷毛束的弹性将砂带条压紧在工作表面上进行磨削。主要用于磨光不规则曲面。

弹性砂辊是将磨料颗粒用粘结剂粘结在弹性的辊筒上构成的,主要磨削或抛光弯曲的零件表面。

滚辗磨削是将球形磨料和诸如椅子腿、背、沙发扶手等弯曲木质零件,一起放入一个可转动的大圆筒内(转速 20~ 30r/min),靠圆筒转动使球形磨料与工件碰

撞、摩擦而磨光工件。

喷砂磨削是利用压缩空气将磨粒以一定压力高速喷射在工作表面上达到磨削目的,主要用于雕花或模压成型的工作表面磨削。

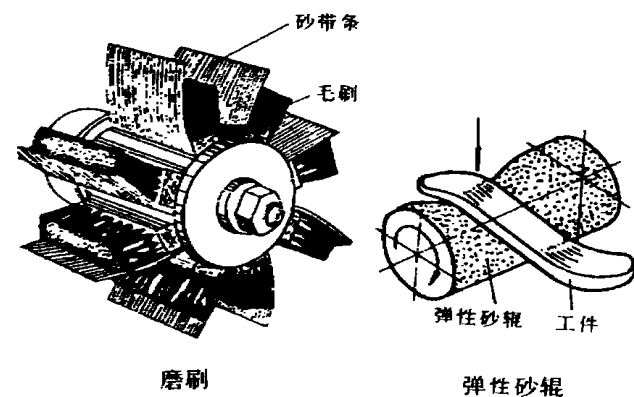


图 4 磨刷和弹性砂辊

欢迎订阅 欢迎赐稿 欢迎刊登广告