

南方阔叶树材干燥初期应变特点的研究

郭焰明 执笔

(中国林科院木材工业研究所 北京 100041)

摘要 在不同温度和平衡含水率条件下研究南方阔叶树材干燥初期应变特点。试验结果表明,干燥初期表层呈现伸张弹性应变和塑性应变,内层为压缩应变。伸张弹性应变的最大值是产生表裂的主要原因,塑性应变而引起的表层固定变形是产生内裂的原因。弹性和塑性应变受平衡含水率的影响较大,并且与含水率梯度存在相关关系,干燥初期阶段的延续时间,可由表层达到最大伸张应变时的含水率与初含水率的比值来确定。

关键词 木材干燥; 干燥应力; 干燥应变

1 前言

南方阔叶树材是我国的一大类重要木材资源,其开发利用日益受到重视。但这类木材难以干燥,锯材在干燥过程中容易产生较严重的干燥缺陷,特别是表裂和内裂,干燥周期也长。由于这两方面的原因,直接影响此类木材的利用价值和经济性。因此,制定合理的工艺,保证干燥质量,控制适当的干燥周期是高效利用南方阔叶树材的关键。

根据木材干燥理论和以前的研究结果可知,造成开裂的主要原因是木材内部干燥应力。其中干燥初期应力的发展变化,尤其是木材表层应力的发展变化对整个干燥过程的影响较大。为此,本研究在何定华等对“24种南方阔叶树材干燥特性及窑干基准”^[1]系统研究的基础上,针对典型南方阔叶树材,选择不同的温度和平衡含水率条件,着重探索干燥初期阶段干燥应变的特点,并根据应变发展的特征,分析影响其发展变化的主要外部因素,建立一种估计干燥初期延续时间的方法。为在保证干燥质量,控制干燥周期的基础上制定工艺条件提供依据。

2 试材与试验方法

2.1 试材

收稿日期 1995-04-24

注:本研究为林业部资助项目。课题组成员:滕通濂(负责人)、何定华、郭焰明、李娜、周冰凝、赵亮、陈首兰、孟京明、何清慧等参加试验工作。

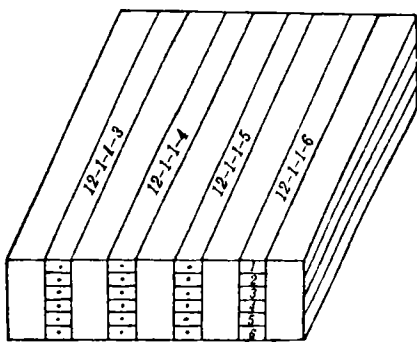
选择荷木(*Schima superba*)、甜槠(*Castanopsis eyrei*)、润楠(*Machilus pingii*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)等四个树种作为试验材料。试材的密度在 $0.46\sim 0.57\text{g/cm}^3$ 之间;试材取自福建省顺昌贮木场。

2.2 试验方法

用小型干燥试验机,干燥条件选取了三个水平,见表1。试验板的尺寸为 $580\text{mm}\times(100\sim 150)\text{mm}\times 25\text{mm}$ 。采用切片法^[2]测量并计算干燥过程中木材厚度上各层的弹性应变和塑性应变以及与之相关的木材收缩率和含水率梯度。试验板的编号、测点标定见图1,然后测量各层试片的初始长度(L_1),干燥过程中定时将试验板取出,锯下小试样,测量各层试片的长度(L_2),再将小试样沿厚度方向劈为一层或6层(荷木、甜槠为5层,每层厚5mm;润楠、栲树为6层,表层3mm,中间各层为5mm左右),立即用铝箔纸包好,称重并测量试片长度(L_3)。测量结束后,将小试片放在室内气干,至含水率稳定后,再次测量各层的试片长度(L_4)。然后在 103C 的条件下烘至绝干,用以测定分层含水率的数值。长度数值用自制的百分表台架测量,试片用压紧装置夹直。每次锯下试样后,试样板的端头都用703胶和铝箔纸密封,立刻放回试验机内。

木材收缩率、弹性应变、塑性应变和含水率梯度数值的计算式如下:

试验条件	$T(^{\circ}\text{C})$	ΔT	$EMC(\%)$
A	60	6	11.4
B	60	3	15.3
C	45	6	11.4


$$\text{收缩率: } S = [(L_0 - L_1) / L_0] \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

弹性应变: $E_r = [(L_1 - L_2) / L_1] \times 100$
 (2)

(正值为伸张应变,负值为压缩应变)

$$(L_0 - L_4)/L_0 \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

(负值为伸张应变, 正值为压缩应变)

含水率梯度: $\Delta W = (W_1 - W_2) / H \cdots (4)$

式中: L_0 为分别取各测点的初始长;

L_4 为标准收缩长度,系干燥前,在同一试验板中制取的分层试片经缓慢气干后的长度,设这些试片无塑性变形;

W_1 为 30%, W_2 为表层含水率(%), H 系含水率为 30% 处到表层的距离。

3 结果与分析

3.1 弹性应变特点

图 2、表 2 的结果表明:

3.1.1 不同树种、不同干燥条件下,木材内部弹性应变的发展规律相同。在这一阶段木材表层处于拉伸状态,呈现伸张的弹性应变,其数值逐渐增大,达到最大值后逐渐减小。木材内部各层处于受压状态,表现出压缩弹性应变。

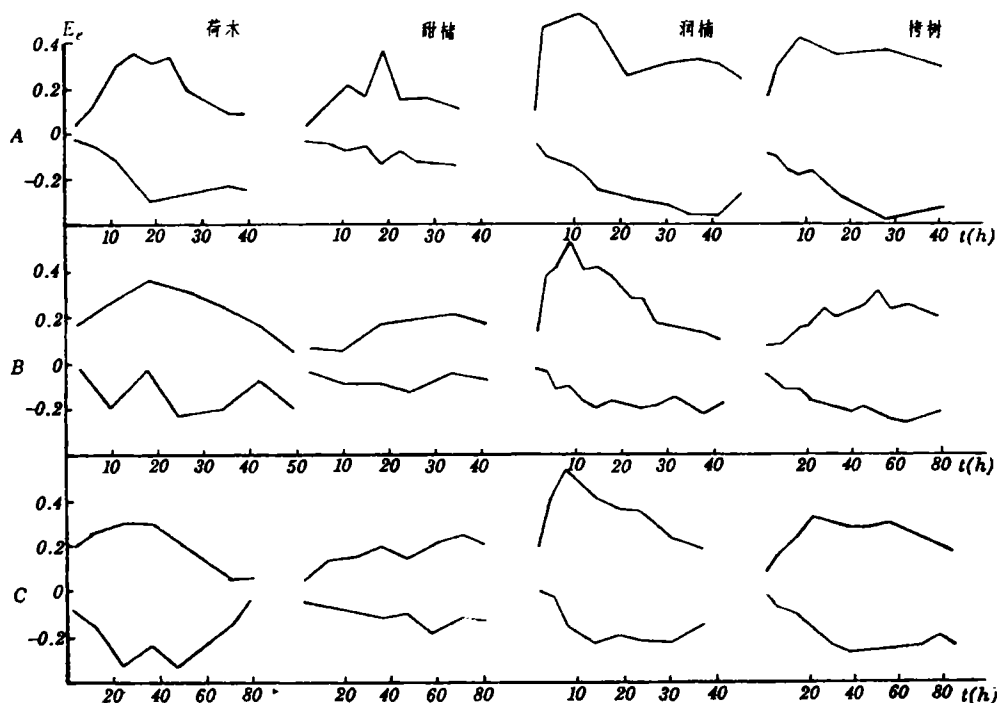


图 2 干燥初期木材内部弹性应变曲线

表 2 木材表层弹性应变最大值及达到时间

树种	A		B		C	
	$E_e(\%)$	$t(h)$	$E_e(\%)$	$t(h)$	$E_e(\%)$	$t(h)$
荷木	0.36	15	0.32	18	0.30	24
甜槠	0.38	19	0.21	34	0.28	36
润楠	0.60	6	0.51	9	0.54	14
栲树	0.42	9	0.32	52	0.32	22
平均值	0.44	12.3	0.34	28.3	0.36	24.0

3.1.2 A 条件下木材表层弹性应变数值最大,C 条件下次之,B 条件下最小。A、B、C 的平均值分别为 0.44、0.34 和 0.36。从这一结果可以看出,随着平衡含水率降低,木材表层弹性应变的最大值增大;在相同的平衡含水率条件下,温度升高,最大值偏高。

3.1.3 在 A 试验条件下达到最大值所需时间较短;B 和 C 条件下的数值相近。A、B、C 的平均值分别为 12.3、28.3 和 24.0 h。

3.1.4 由于本试验采用的干燥条件是根据文献[1]系统研究结果制定的,因此,在这样的温度和平衡含水率范围内,干燥初期木材表层伸张弹性应变的最大值低于木材横纹抗拉极限强度,故不会造成表面开裂。由此可推论,对于这四种南方阔叶树材,干燥初期木材表层的伸张弹性应变的数值不应超过表 2 中所列的最大数值,否则将有产生干燥缺陷的危险。

3.2 塑性应变特点

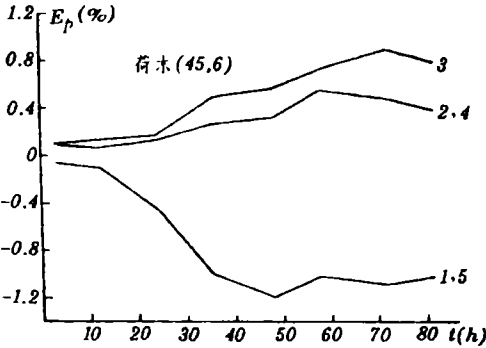


图 3 干燥初期木材内部塑性应变曲线

图 3 与表 3 的结果表明:

3.2.1 在这一阶段,木材表层呈现伸张塑性应变,其数值开始较快地增大,当达到最大值后略有减小。木材内部各层呈现压缩塑性应变。从所需时间来看,木材表层呈现最大伸张

表 3 木材表层塑性应变最大值及达到时间

树种	A		B		C	
	$E_p(\%)$	$t(h)$	$E_p(\%)$	$t(h)$	$E_p(\%)$	$t(h)$
荷木	1.94	30	0.38	42	1.20	48
甜槠	0.85	36	0.68	50	0.96	82
润楠	1.22	54	1.10	42	1.82	48
栲树	1.31	59	1.18	41	1.19	78
平均值	1.33	44.8	0.84	43.8	1.29	64.0

塑性应变的时间要比呈现最大伸张弹性应变的时间滞后。

3.2.2 统计结果表明,空气介质的温度对表层塑性应变影响不大,而平衡含水率对其有较明显的影响。根据表 3 所列的数据,将每个试验条件下的数据计算平均值,得到 A、B、C 分别为 1.33、0.84、1.29。A 与 C 的数值相似,B 条件下的数值明显偏小。

3.2.3 根据文献[3]的研究结果,在整个干燥过程中,木材表层始终呈现伸张塑性应变,其数值达到最大值后缓慢减小,但总的降低幅度不大。从这一结论和本次试验的结果都反映出,干燥初期阶段木材表层的伸张塑性应变的数值大小尽管不会造成表裂,但由于它达到最大值后趋于稳定,产生了塑化固定,这就会对干燥后期木材内层的正常收缩造成阻碍而有可能产生内裂。伸张塑性应变的数值越大,内裂的危险性也越大。因此,表层塑性应变的最大值可作为工艺上进行高温、高湿中间处理的依据。

3.3 木材收缩特点

3.3.1 从理论上讲,木材的收缩应从含水率降低到纤维饱和点以下时才发生。但实际上,即使初含水率远远高于纤维饱和点,当含水率开始下降时,木材便开始收缩。本试验的结果与以前诸多研究的结果相一致,即当木材干燥过程开始后,木材各层就发生收缩,收缩量随含水率的降低而增大。图 4 为不同干燥试验条件下的木材表层收缩率曲线。

3.3.2 对收缩率曲线进行回归得出,干燥初期收缩率与干燥时间呈线性相关关系。

$$S = a + bt$$

回归分析的结果见表 4。

3.3.3 式中 b 为曲线的斜率反映了曲线的

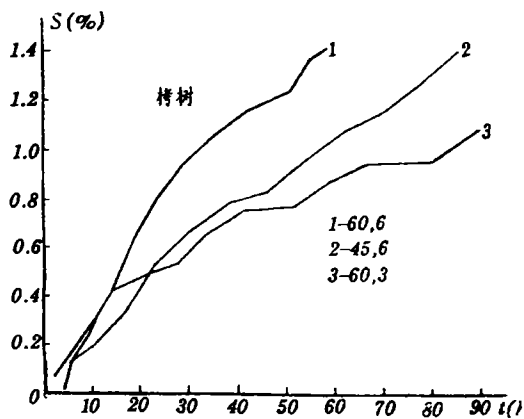


图4 干燥初期木材表层收缩率曲线

陡峭程度。试验条件下 b 值的物理意义说明在一定过程中收缩率变化的大小。由表4中这一数值的平均值可以看出,干燥初期阶段影响收缩率变化大小的主要原因是平衡含水率。

3.4 含水率梯度

含水率梯度的数值是在测定木材厚度方向含水率分布的基础上,根据前述公式得出的。由于荷木和甜槠表层的分层含水率试片较厚,当表层弹性应变达到最大值后,表层含水率仍在30%以上,无法用该公式计算含水率梯度。因此,仅以润楠和栲树的试验结果进行分析。

3.4.1 对含水率梯度的最大值及所处位置进行统计,结果表明,含水率梯度的最大值均发生在木材表层厚度之内(距木材表面1.5mm范围之内)。从位置上看,含水率梯度最大值与伸张弹性应变最大值存在相关点。含水率梯度最大值的数值随树种不同而不同,变化范围在13.0~5.21之间,平均值为8.51。

3.4.2 干燥初期含水率梯度随时间变化的曲线(见图5)与表层伸张弹性应变随时间变化的曲线相似。根据二者最大值达到时间的比较发现,除个别数据相差较大外,其它数据都相同或相近。

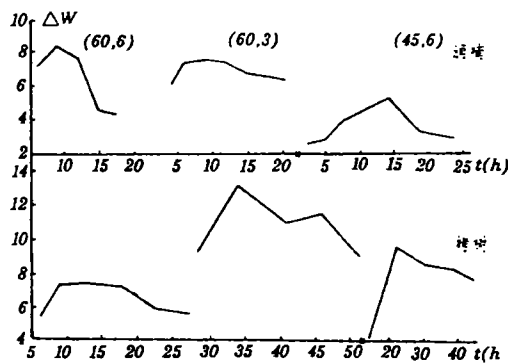


图5 干燥初期含水率梯度变化曲线

4 讨论

干燥初期延续时间的估计。

干燥初期阶段除应制定适当的温、湿度条件外,还应当考虑适宜的延续时间。如果这一阶段过短,基准提前调整到下一阶段,增大了干燥的强度,就有可能产生干燥缺陷;而过长,则会使整个周期延长,降低生产率,增加能耗。目前对干燥初期延续时间有不同的估计方法^[1]。

干燥过程中木材内部产生的干燥应力是影响干燥质量的主要因素,也是制订干燥基准的主要依据。在干燥过程的不同阶段,干燥应力表现出不同的特征。干燥初期木材表层水分迅速散失,含水率很快降至纤维饱和点以下,表层木材收缩并产生伸张应力。内部各

表4 木材表层收缩率变化的回归分析结果

树 种	A			B			C		
	a	b	r	a	b	r	a	b	r
荷 木	-0.306	0.061	0.992	-0.209	0.039	0.958	-0.189	0.045	0.989
甜 槠	0.034	0.011	0.957	-5.714	0.008	0.987	0.035	0.007	0.975
润 楠	0.110	0.023	0.959	-0.154	0.020	0.988	0.016	0.028	0.980
栲 树	0.029	0.026	0.975	0.155	0.011	0.943	0.142	0.015	0.991
平均值		0.030			0.020			0.024	

表 5 干燥期延续时间估计值的分析结果

树 种	A			B			C			总平均
	W_a	W_b	W_b/W_a	W_a	W_b	W_b/W_a	W_a	W_b	W_b/W_a	
荷 木	63.2	36.4	0.58	43.4	40.3	0.93	40.2	36.0	0.90	
甜 楠	119.9	99.8	0.83	110.0	92.5	0.84	106.7	88.3	0.83	
润 楠	76.0	47.8	0.63	45.1	28.5	0.63	31.7	24.6	0.78	
栲 树	62.8	49.6	0.79	84.6	61.9	0.73	71.5	56.7	0.79	
荷木径板	40.6	34.8	0.86	86.9	42.7	0.49	42.9	30.7	0.72	
润楠径板	76.8	43.9	0.57	49.6	33.6	0.68	70.5	46.9	0.67	
平均值			0.71			0.72			0.77	0.73

注： W_a —初含水率； W_b —木材表层伸张弹性应变达到最大值时板的含水率。

层含水率仍高于纤维饱和点，相应地产生压缩应力。随着木材含水率逐渐降低，表层伸张应力的数值也随伸张应力区域的扩大而变小。当中心层含水率降至纤维饱和点后，木材内层的应力状态开始反向。内层产生伸张应力，而外层转变为压缩应力，直至干燥过程结束^[4]。因此，干燥初期以表层伸张应力达到最大值为止是适宜的。此后，木材表裂的危险将随着外层伸张应力的减小而减小。干燥基准可调到下一阶段，加大干燥强度，加速干燥。为此，根据试验结果将木材表层达到最大伸张应变时刻的木材平均含水率及木材初含水率分别进行统计，通过计算二者的比值来估计干燥初期阶段的延续时间。统计结果见表 5，干燥初期阶段的终含水率约为初含水率的 0.73 时，这一阶段结束。

为了进一步证实试验条件对延续时间估计值有无显著的影响，对估计值的统计结果进行了方差分析，结果见表 6，由于 $F_{0.10}(2, 15) = 2.70 > F$ ，所以在显著性水平 $\alpha = 0.1$ 的条件下，所选试验条件对延续时间的影响不显著。

表 6 干燥试验条件对延续时间影响的方差分析

方差分析	平方和 s	自由度 f	均方 S	F 值	显著性
因素	$S_A = 0.0126$	2	$S_A = 0.0063$	$F = 0.39$	不显著
误差	$S_E = 0.2421$	15	$S_E = 0.0161$		
总和	$S_T = 0.2547$	17			

从应用的角度看，这种确定干燥初期延续时间的方法具有实用性和可操作性。在制定基准时，只需测定木材的初含水率并计算

出占初含水率 3/4 的含水率数值，即可确定干燥初期的延续时间。对于其它树种，采用不同的干燥基准，也只需测定木材表层 3mm 左右层次的干燥应变和板的含水率，就可得到延续时间的估计值。而且对于材性相近的树种，在一定的温度和平衡含水率条件下，木材表层含水率的变化、应变发展过程差异不大，具有参考性。

5 结论

5.1 干燥初期木材表层呈现伸张弹性应变和塑性应变，内层表现为压缩应变。表层伸张弹性应变达到最大值后逐渐减小，而伸张塑性应变达到最大值后略有减小，趋于稳定。这两个特点分别说明，伸张弹性应变的最大值是木材产生表裂的主要因素，这一时刻是干燥过程中的一个危险点；伸张塑性应变达到最大值后，会产生塑化固定，对干燥后期木材内层的正常收缩造成阻碍，有可能产生内裂。

5.2 平衡含水率对表层的弹、塑性应变影响较大。因此，在制定干燥初期阶段的基准时，应着重考虑选择适当的平衡含水率条件。

5.3 干燥初期阶段木材表层的收缩率与干燥时间之间呈线性关系，平衡含水率对收缩率有较大的影响。

5.4 含水率梯度的变化与表层弹性应变的变化相似，且二者最大值达到时刻存在对应关系，说明前者对后者有直接的内在影响。

5.5 干燥初期阶段的延续时间以表层伸张弹性应变达到最大值为止具有理论依据。估计的方法可由表层达到最大伸张弹性应变时

刻的木材含水率与初含水率之比来确定。在应用上,此方法简便,易于掌握。

6 参考文献

1 何定华等. 24 种南方阔叶树材的干燥特性及窑干基准. 木材工业,1990(4):12~18

2 McMillen J M. Drying stress in red oak. Forest Products Journal,1955,5(1):71~76
3 何定华. 红松薄板高温干燥的研究. 林业科学,1988,24(3):307~312
4 满久崇磨编著,马寿康译. 木材的干燥. 轻工业出版社,1983

Study on Features of the Strains in Some Southern Hardwoods during the First Drying Stage

Guo Yanming et al.

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

Abstract Features of the strains in some southern hardwoods during the first drying stage were studied under various temperature and equilibrium moisture content. The results shown that surface layer represented tensile elastic strain and plastic strain, while internal layer represented compress strain. The maximum tensile elastic strain was the main factor which resulted in surface-checking, and the set caused by plastic strain was the reason of inner-checking. The elastic and plastic strain were greatly influenced by the equilibrium moisture content and interrelated with the MC gradient. Drying time during the first drying stage be determined by the ratio of the MC when the surface reached the maximum tensile strain and the initial MC.

Keywords Wood drying; Drying stress; Drying strain

会 讯

“全国刨花板技术交流会”将于 95 年 9 月 18—22 日在京隆重召开

会议宗旨:探讨刨花板发展前景,研究、解决和推广有关技术、工艺,扩大应用领域,改进产品结构等问题,指导拟上项目方向。

主办单位:国家人造板质量监督检验中心;北京东方木材工业新技术开发公司信息咨询部。

赞助单位:德国雷通(饰面)公司北京办事处

拟定内容:

1. 专家讲座

①国内外刨花板发展状况;②各类刨花板(阻燃、水泥、石膏、定向、华夫、轻质、非木质等)、刨花模压制品生产技术;③刨花板二次加工技术及其它刨花板相关技术;④刨花板贴面增值生产讲座

(主讲人:瓦尔特·贝纳姆);⑤刨花板质量问题剖析及质量检验讲座。

2. 提高刨花板产品质量问题讨论

①降低甲醛释放量;②降低吸水厚度膨胀;③提高刨花板内结合强度与静曲强度;④提高生产效率;⑤解决刨花板生产过程中的疑难问题。

3. 刨花板系列产品展示

4. 新上中密度纤维板项目事宜及生产技术讲座

5. 技术交易

联系地址:北京市颐和园后中国林科院 70 信箱

“全国刨花板技术交流会”会务组

电 话:(010)2582211—428,458

联系人:吕 斌 唐召群 郭东升 王 超