

研究与开发

木材干燥应力连续监测方法的研究

高建民,余雁,刘志军

(北京林业大学材料科学与技术学院,北京 100083)

摘要: 本文在卡普法的基础上,提出了木材干燥应力连续监测方法,并设计了所需的配套装置。该方法采用涡流传感器对干燥过程中卡普片的矢高进行连续测试,同时通过计算机自动采集、存储数据。结果表明:矢高与干燥时间存在精密的相关性,它们之间的相关系数大部分达到0.99以上,从而实现了木材干燥应力的自动与连续监测。

关键词: 木材干燥应力;连续监测;卡普法;涡流传感器

中图分类号:TS652 文献标识码:A 文章编号:1001-8654(2004)03-0001-03

Method for Continuously Monitoring Wood Drying Stresses

GAO Jian-min, YU Yan, LIU Zhi-jun

(College of Material and Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The authors sought to determine a balance between drying quality of lumber and drying speed during the wood drying process. The criteria used was based on the cupping method, a new method presented in this paper, for continuously monitoring wood drying stresses. A stress detecting device was designed in which an eddy current sensor was used to continuously measure the critical drying stress deflection causing specimen cupping. The data were automatically collected and processed by a computer. Calibration and regression equations were used to evaluate different phases and deflection-drying time curves of cupped specimens under different drying conditions. A close relationship was developed between the deflection of cupped specimens and drying time resulting in a relative coefficient greater than 0.99. These results demonstrated that automatic and continuous detecting equipment could be used for monitoring wood drying stresses.

Key words: Wood drying stress; Consecutive detection; Cupping method; Eddy current sensor

以最少的时间和能耗干燥出质量优异的木材是木材干燥学研究的永久课题。在干燥研究和实践中,人们发现干燥速度越快,木材干燥质量越差,发生降等的可能性越大。因此,如何在干燥质量与干燥速度之间寻找最佳平衡点一直是木材干燥机理和干燥工艺研究的最终目的。目前常用的方法是通过百度试验法来确定木材干燥工艺,这种方法需要先在试验室对待定基准的树种进行大量试验,得到其粗略干燥基准,然后在干燥实践中进一步修正和完善。这样得出的干燥基准虽有其科学依据,但不一定是最优基准。有些相同树种的木材,由于其产地等条件的不同,其

干燥特性也不尽相同。为了保证干燥质量,不得不做大量的试验分别确定其干燥基准,并在干燥实践中逐步加以完善,这是一项繁重的工作。基于以上原因,人们期待一种能够简便、快速地确定任一树种最佳干燥工艺的方法。

大量的研究^[1~5]发现,在干燥过程中木材表层或芯层产生的拉应力超过了木材的横纹抗拉强度时,木材就会相应地出现表裂或内裂。虽然减慢干燥速度能减小木材的干燥应力,但这必然导致干燥时间延长,干燥效率降低。而用临界干燥应力作为控制干燥速度的参数,便可在保证质量的前提下,最大限度地提高干燥速度,从而获得最佳的干燥效益。为了实现这个目的,需要连续监测干燥过程中木材的干燥应力。

收稿时间:2003-11-24

作者简介:高建民(1956—),男,北京林业大学材料科学与技术学院副教授。

目前国内外对干燥应力连续监测方法的报道极少。笔者采用卡普片^[6]对其在干燥过程中的弯曲变形进行连续监测,探索连续监测木材干燥应力的方法。

1 试验材料与方法

1.1 试材

椴木(*Tilia* spp.)锯材,取自北京木材厂,规格为750 mm×202 mm×40 mm,纹理通直,无明显缺陷。试材经四面刨光后尺寸为748 mm×200 mm×39 mm,用塑料薄膜仔细包裹,贮存于冰柜待用。

1.2 试片

卡普试片的制作参照西尾茂^[7]所提出的制作方法,如图1所示。具体制作流程如下:

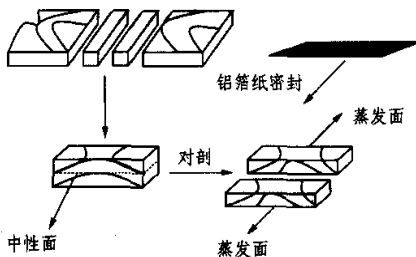


图1 卡普试片的制作过程

Fig. 1 Preparation of cupped specimens

(1)选择一块刨光的试材,从端头锯除10 cm,然后沿着木材纤维方向连续锯取宽为3 cm的长条形木块,直到距试材另一端约10 cm为止。

(2)沿木块厚度方向的中央,将其等分割为2片,尺寸为200 mm×30 mm×19 mm,为防止干燥,应立即将试片装入塑料薄膜袋并密封。

(3)将铝箔纸裁成所需的尺寸,涂布402胶,贴在除原板表面的5个面上。在制成的试片上标记号码,装入可封口的小塑料袋中,放入冰箱中待用。

干燥过程中卡普片的变形如图2所示。

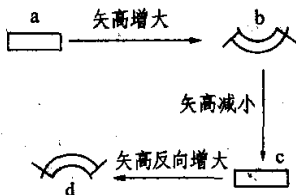


图2 卡普试片的变形过程

Fig. 2 Deformation process of a cupped specimen

1.3 测量装置(见图3)

垫板 考虑到干燥箱的网垫柔性大,若把卡普片

直接放在上面,在受力弯曲时会使网垫变形,影响矢高测定值的准确性,因此需要在网垫上架一个垫板。垫板为10 mm×60 mm×365 mm的钢板。

横架杆 为直径约2 mm、长约220 mm的圆柱形长钢杆。

传动杆 为外径3.4 mm、壁厚约0.3 mm的空心铜管。传动杆与横架杆之间通过连接头垂直连接,并可灵活装卸。

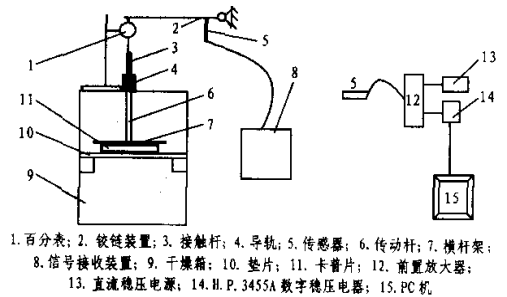


图3 干燥应力连续监测装置示意图

Fig. 3 Device for continuous determination of wood drying stresses

接触杆 为实心的铝制圆柱形长杆,其上端面与百分表的测量头点接触连接。接触杆与传动杆之间形成过渡配合。

导轨 导轨的作用是保持接触杆的垂直运动,其内径约比接触杆的直径大0.5 mm为好。导轨的内表面应光滑。

百分表 卡普片的矢高变化通过百分表读出,测量范围为0~30 mm,精确度为0.01 mm。

前置放大器 为涡流传感器提供高频电流,并把位移信号转换为电信号,放大输出。

直流稳压电源 为前置放大器提供24 V直流电压。

数字毫伏表 显示传感器的输出电压。

铰链装置 由于涡流位移传感器的测量范围为0~2 mm,而卡普片在干燥过程的最大矢高一般都大于6 mm,超出了传感器的测量范围,因此特设计了一个铰链装置,利用它把大位移转化为传感器量程范围内的小位移。与铰链相连的是一块长330 mm、宽21 mm、厚1.5 mm的不锈钢板条,相当于涡流传感器系统中的金属导体。

PC机 配有GPIB(General Purpose Interface Board)数据采集板,用于定时采集输入计算机的数据。

1.4 试验方法

待干燥介质稳定后,把一块卡普片置于装置上,

记下百分表和毫伏表的初始读数,快速确定电压值与百分表读数之间的标定曲线,整个过程不超过 5 min。然后启动数据采集程序,进入数据自动采集阶段,计算机每隔半小时自动采集一次数据。干燥结束后,把标定的数据输入计算机,回归出电压值与百分表读数之间的标定曲线方程,由此方程将得到的电压数据转化为百分表读数。卡普片在任何时刻的矢高等于对应于此时刻的计算值与百分表初始读数之差。

2 结果与分析

表 1 为各卡普片对应的标定方程。由表 1 可见,对应于各条矢高-干燥时间曲线的标定曲线方程的相关系数均达到 0.999 9,说明把位移信号转化为电子信号时具有很高的精确度,保证了结果的可靠性。

表 1 各卡普片对应的标定方程

Tab. 1 Calibration equations for the cupped specimens

试件编号	标定方程	相关系数	干燥条件
A	$y = -0.0398x^2 + 2.0692x - 5.2503$	$R^2 = 0.9999$	$T = 75\text{ }^{\circ}\text{C}, \Phi = 66\%$
B	$y = -0.0393x^2 + 2.1435x - 6.4849$	$R^2 = 0.9999$	$T = 83\text{ }^{\circ}\text{C}, \Phi = 45\%$
C	$y = -0.0373x^2 + 1.8766x - 5.4074$	$R^2 = 0.9999$	$T = 65\text{ }^{\circ}\text{C}, \Phi = 66\%$
D	$y = -0.0437x^2 + 1.977x - 5.9008$	$R^2 = 0.9999$	$T = 74\text{ }^{\circ}\text{C}, \Phi = 32\%$

图 4 为用卡普-电涡流位移传感器装置连续监测卡普片矢高变化而得到的一组矢高-干燥时间曲线。由图 4 可见,通过此方法,可连续、准确地监测到干燥过程中卡普片矢高增大、减小、又反向增大的整个过程,从而实现了对于干燥过程木材内应力的连续监测。

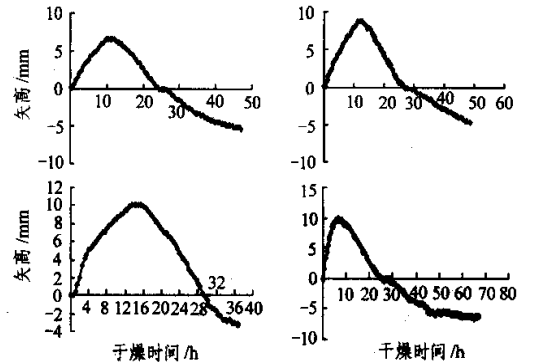


图 4 不同干燥条件下的卡普片矢高-干燥时间曲线
Fig. 4 Deflection-drying time curves for cupped specimens under different drying conditions

表 2、3 分别为矢高递增、递减及反向递增阶段的回归方程。

表 2、3 表明,干燥过程中卡普片矢高的递增阶段可用二次方程式 $y = ax^2 + bx + c$ 表示,其中 $a < 0, b > 0, c < 0$;矢高递减及反向递增阶段也可用该二次方程

表 2 卡普片矢高递增阶段的回归方程

Tab. 2 Regression equations for deflection-gaining phase

试件编号	矢高增大阶段的回归方程	相关系数
A	$y = -0.0307x^2 + 1.1248x - 0.1828$	$R^2 = 0.9979$
B	$y = -0.0302x^2 + 0.9647x - 0.2359$	$R^2 = 0.9981$
C	$y = -0.0421x^2 + 1.309x - 0.1482$	$R^2 = 0.9888$
D	$y = -0.236x^2 + 2.9501x + 0.3291$	$R^2 = 0.9952$

表 3 卡普片矢高递减及反向递增阶段的回归方程

Tab. 3 Regression equations for deflection-descending and opposite gaining phase

试件编号	矢高递减及反向递增阶段的回归方程	相关系数
A	$y = 0.0094x^2 - 0.9377x + 19.237$	$R^2 = 0.9907$
B	$y = 0.0074x^2 - 0.7839x + 15.204$	$R^2 = 0.995$
C	$y = 0.006x^2 - 1.0177x + 25.226$	$R^2 = 0.9873$
D	$y = 0.0058x^2 - 0.7003x + 14.765$	$R^2 = 0.9943$

式 $y = ax^2 + bx + c$ 表示,其中 $a > 0, b < 0, c > 0$,它们的相关系数大部分达到了 0.99 以上。说明在干燥过程中,卡普片矢高变化具有明显的规律性:不论在矢高的增大阶段,还是减小及反向增大阶段,矢高的变化速度都呈单调递减趋势。由于干燥过程中卡普片矢高的变化与木材内应力变化存在明显的相关性,矢高的变化规律在一定程度上也说明了木材干燥应力的变化规律。由此可推论:干燥过程木材表层呈现出拉应力减速递增、减速递减,以及应力转换以后压应力减速递增三个阶段。

从干燥过程中木材含水率的变化速度亦可对此推论进行解释:在干燥初期,木材表层含水率很快降至纤维饱和点以下而开始收缩,表层收缩得越快,其拉应力增大越快,反之则越慢。而表层的收缩速度由其吸着水的排除速度决定,吸着水的排除速度随表层含水率的降低而减小。因此,在干燥初期木材表层拉应力的增长速度随着表层含水率的降低而减小,从而表现出减速递增的趋势。当拉伸应力达到峰值以后,与表层相邻的内层含水率也降到了纤维饱和点以下而收缩,其收缩的速度随内层含水率的降低而减小,因此表层拉应力降低以及干燥后期压应力增大的速度也都呈现出单调递减的趋势。同理可推测,在干燥过程中芯层应力的变化具有与表层类似的规律,可分为三个阶段:即干燥初期芯层压应力减速递增阶段、芯层压应力减速递减阶段、以及干燥后期芯层拉应力减速递增阶段。

3 结论

1)在干燥过程中,卡普片的矢高变化具有明显的规律性,且可分为三个阶段:①卡普片向上弯曲的矢

(下转第 13 页)

切强度相差甚小(绝对值低于 3%)。因此,在试材尺寸不足以制作成标准试样测定木材的顺纹剪切性质时,可以考虑采用改进试样替代标准试样。

表 2 标准试样与改进试样抗剪强度差异的方差分析

Tab. 2 Variation analysis of shear strength in both size samples from two kinds

树种	取样部位	离差来源	自由度	离差平方和	均方	F 值	P*
杉木	J-R	组间	1	0.0416	0.0416	0.02	0.9024
		组内	38	103.6648	2.7280		
		总计	39	103.7064			
	J-T	组间	1	0.0062	0.0062	0.00	0.9579
		组内	50	110.7625	2.2152		
		总计	51	110.7687			
	G-R	组间	1	0.4408	0.4408	0.31	0.5798
		组内	46	65.2004	1.4174		
		总计	47	65.6412			
	G-T	组间	1	0.1442	0.1442	0.11	0.7406
		组内	74	96.6157	1.3056		
		总计	75	96.7598			
杨	M-R	组间	1	0.0856	0.0856	0.05	0.8262
		组内	74	130.4004	1.7622		
		总计	75	130.4859			
	M-T	组间	1	0.0054	0.0054	0.03	0.8560
		组内	34	5.4695	0.1609		
		总计	35	5.4749			
	J-R	组间	1	0.0498	0.0498	0.10	0.7515
		组内	66	32.4892	0.4923		
		总计	67	32.5389			
	J-T	组间	1	0.0003	0.0003	0.00	0.9799
		组内	60	29.5825	0.4930		
		总计	61	29.5828			
I-214	G-R	组间	1	0.3757	0.3757	1.04	0.3118
		组内	50	17.9917	0.3598		
		总计	51	18.3674			
	G-T	组间	1	0.0187	0.01867	0.05	0.8275
		组内	64	24.9668	0.3901		
		总计	65	24.9855			
	M-R	组间	1	0.0004	0.0004	0.00	0.9499
		组内	22	2.2737	0.1034		
		总计	23	2.2741			
	M-T	组间	1	0.1134	0.1134	0.12	0.7306
		组内	54	51.1220	0.9467		
		总计	55	51.2354			

*注:P 为显著性概率,当 $P < 0.05$ 时组间差异显著(0.05 水平)。

参考文献:

- [1] 成俊卿. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社, 1985, 687-709.
- [2] Kollmann F. Technology of Wood and Wood Base Materials[M]. Berlin, Springer-Verlag, 1951, 887-909.

- [3] Logemann M, Schelling M. The Fracture Toughness of Spruce and the Main Parameters Affecting it; Investigations in Mode II [J]. Holz als Roh und Werkstoff, 1992, 50(3): 117-121.
- [4] Bendtsen B. Comparison of Results from Standard 2-inch with 1-1/2-inch Shear Block Tests[J]. Forest Products Journal, 1978, 28(7): 54-56.
- [5] Kretschmann D. Feasibility Study of a Modified ASTM D 143 Block Shear Specimen for Thin Material [J]. Forest Products Journal, 1991, 41(3): 37-39.
- [6] 葛秀琴, 管宁. 天然林和人工林杉木幼龄材与成熟材力学性质的差异[J]. 世界林业研究, 国家“八五”科技攻关专集, 1995, 8(12): 172-179.

(上接第 3 页)

高递增阶段;②卡普片向上弯曲的矢高递减阶段;③卡普片反向弯曲的矢高递增阶段。在第①阶段大致对应表层拉伸应力的递增阶段,②阶段对应表层拉伸应力的递减阶段,③阶段对应芯层拉应力的递增阶段。干燥过程的矢高变化过程可用二次方程式 $y = ax^2 + bx + c$ 表示,在矢高上升阶段, $a < 0, b > 0, c < 0$;在矢高递减及反向递增阶段, $a > 0, b < 0, c > 0$ 。

2)用卡普片-电涡流位移传感器装置连续监测卡普片的失高变化,结果表明,在失高增大、减小或反向增大的整个过程中,矢高均与干燥时间有紧密的相关性,其间的相关系数大部分达到 0.99 以上,从而实现了干燥应力的自动、连续监测,为进一步控制木材干燥速度、指导木材干燥加工、获得最佳干燥效益奠定基础。

参考文献:

- [1] McMillen J M. Drying Stress in Red Oak[J]. Forest Products Journal, 1955, 5(1): 71.
- [2] McMillen J M. Drying Stress in Red Oak; Effect of Temperature [J]. Forest Products Journal, 1955, 5(4): 230.
- [3] Chen G, Keey R B, Walker J C F. The Drying Stress and Check Development on High Temperature Kiln Seasoning of Sapwood Radial Boards [J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 1997, 55: 59-64.
- [4] 郭焰明. 南方阔叶材干燥初期应变特点的研究[J]. 木材工业, 1995, 9(4): 6-11.
- [5] 刁习明, 何玲芝. 阔叶材干燥应力的研究-温度对干燥应力的影响[J]. 林业科技, 1994, 19(2): 37-41.
- [6] 常建民, 胡松涛. 非接触式测试木材干燥应力的方法的研究[C]. 第六届全国木材干燥学术研讨会论文, 1997.
- [7] 西尾茂. 卡普法干燥应力推定[J]. (日)木材工业, 1972, 27(12).