

八种短周期工业材干燥特性的研究

高瑞清 滕通濂 谷红梅

摘要 通过对8种短周期工业材的百度试验,并对其干燥特性进行了分析和研究。结果表明,影响木材干燥工艺的特性因子不仅有初期开裂、内部开裂和截面变形,还有干燥速度及干缩性质等,对于初含水率低于45%及具有特殊干燥性能的树种,这一点显得尤为重要。

关键词 木材干燥; 百度试验; 干燥特性

Research on Drying Characteristics of 8 Fast-growing Plantation Industrial Wood Species

Gao Ruiqing Teng Tonglian Gu Hongmei

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

Abstract Drying characteristics of 8 fast-growing plantation industrial wood species after 100 °C drying testing were presented. The results showed that main parameters of drying characteristics included initial checks, inner checks, cross-section deformation, drying speed and shrinkage etc. It was critical to the wood species with moisture content lower than 45 % and unusual drying properties.

Keywords Wood drying; 100 °C drying test; Drying characteristics

木材干燥是木材加工的重要环节,合理的干燥工艺,是保证木材干燥质量的前提。面对日益增加的短周期工业用材市场份额,必须了解其各种干燥特性,并以此为依据,制订出适用于短周期工业用材干燥的试验基准,从而得到合理的干燥工艺。

1 试验方法

1.1 试验材料

本次试验的8个短周期树种,分别是长白落叶松(*Larix olgensis*),日本落叶松(*Larix kaempferi*),杉木(*Cunninghamia lanceolata*),马尾松(*Pinus massoniana*),湿地松(*Pinus elliotii*),火炬松(*Pinus taeda*),毛白杨(*Populus tomentosa*)和刺槐(*Robinia pseudoacacia*)。

1.2 试验过程

制作标准试件。试件刨光后尺寸为200 mm×100 mm×20 mm,用塑料袋包装密封存放于冰箱内备用。试验时,将试件竖直放于鼓风干燥箱内,温度设

置在100 °C恒定不变。试验前,首先观察和测量试件的初始状态,包括重量、可见表面缺陷。试验开始后,定时观察试样的初期开裂(端裂、端表裂和表裂)的发生和发展情况。对应不同的时间,用不同颜色的彩笔在试样上划出各种开裂的状况,称重并作记录。当含水率降至1%以下时试验结束,统计各种可见干燥缺陷。然后将试件从中部锯开,截取含水率试片计算终含水率,并检查内裂,测量截面变形值。

为便于分析和比较,对试样的初期开裂,包括端裂、端表裂和表裂的开裂程度进行了分级,以定量地统计出不同等级程度的各种开裂的数量^[1]。具体分级标准为:

长细表裂、端表裂:长度≥50 mm,宽度<2 mm

短细表裂、端表裂:长度<50 mm,宽度<2 mm

宽表裂、宽端表裂:宽度≥2 mm

因试件的初含水率不同,干燥时间的差异很大。为了使不同树种之间的干燥速度具有可比性,取试件从含水率30%干燥至5%的干燥延续时间作为考察指标^[1,2]。本试验的干燥特性分级标准见表1。

收稿日期 1998-01-16

本文作者分别为:中国林科院木材工业研究所助理研究员,研究员,研究实习员;北京 100091

表 1 百度干燥试验干燥特性分级标准

Tab. 1 Classification of drying characteristics of 100 °C drying test

等级	初期开裂	内 裂	截面变形 (mm)	干燥时间 (h)
1 无或仅有端裂	无	无	≤0.4	≤10
2 短端表裂、短细表裂	细裂≤4或宽裂1条	0.5~0.9	11~15	
3 长端表裂、长细表裂≤2 或短细表裂≤15条	宽裂2~4或细裂5~9条 或宽裂1~2且细裂3~4条	1.0~1.9	16~20	
4 短细表裂>15条或长细 表裂、宽表裂≤5条	宽裂5~8或细裂10~15条 或宽裂2~4且细裂5~9条	2.0~3.4	21~30	
5 长细表裂>5条 或宽表裂>5条	宽裂>8条或细裂>15条 或宽裂5~8且细裂≥10条	≥3.5	≥31	

2 结果分析

2.1 初期开裂

在百度试验过程中,由于试件初含水率较高,在干球温度为 100 °C 相对湿度很低的情况下,干燥初期的水分蒸发很快,含水率分布差异大,因而特别容易产生表面开裂。在第一次观察中(入炉后 0.5 小时),所有的试件几乎都产生了轻微的端裂,其主要原因是木材端面水分蒸发过快。随着干燥过程的延续,端裂程度明显加大,其中部分端裂发展延伸至木材表面,形成端表裂。同时,表裂也有所产生。当含水率降至 30 % 左右时,所有的初期开裂不再发展,并开始愈合,开始愈合的时间以端裂为最早。干燥结束后,统计出不同等级程度的各种初期开裂的数量,裂纹的长度及宽度均以愈合前的最大值计算。参照干燥特性分级标准,综合考虑所有试样后,确定每个树种的初期开裂程度特性等级。结果长白落叶松和日本落叶松的初期开裂为 3 级,杉木、毛白杨仅有端裂,为 1 级,其它 4 种试材介于它们之间,为 2 级(表 2)。

表 2 8 种树种木材的初期开裂统计

树 种	试件 数量 *	表裂			端表裂			端裂		特性 等级
		长细	短细	宽	长细	短细	宽	大	小	
长白落叶松	12(4)	1	4~5	0	1~2	11~12	0	0	多	3
日本落叶松	12(4)	0~1	1~2	0	1~2	7~8	0	0	多	3
杉木	10(2)	0	0	0	0	0	0	0	多	1
马尾松	6(2)	0	0~1	0	0	2~3	0	0	多	2
湿地松	6(2)	0	3~4	0	0	7~8	0	0	多	2
火炬松	8(2)	0	2~3	0	0	4~5	0	0	多	2
毛白杨	8(2)	0	0	0	0	0	0	0	多	1
刺槐	8(2)	0	0	0	0	5~6	0	0	多	2

* 括号中的数字表示径板的数量。

百度试验中,试件均取弦切板。作为对照,每种试材放入 2~4 块径切板同时进行试验。结果径板的初期开裂程度明显低于弦板,所有 8 个树种的径板均未产生表裂。这可能是由于径板的木射线与其纹理方向垂直,从而加强了径板木材的横纹抗拉强度。

2.2 内部开裂

在木材干燥试验中,当初含水率远高于纤维饱和点时,由于表面水分首先蒸发,所以在干燥前期,必然存在表层含水率低于纤维饱和点而内部含水率仍较高的过程。这时,木材表层已开始收缩,并因受到尚未开始收缩的内层的限制而产生干燥应力,应力的分布为表层受拉,内层受压。因木材的横纹拉伸极限强度比横纹压缩极限强度小得多,所以当干燥应力超过木材本身的横纹拉伸极限强度时时,就会产生表面开裂,这也正是木材在百度试验过程中发生初期开裂的原因。与此相反,在干燥后期,因木材内部含水率也低于纤维饱和点而开始收缩,此时,木材表层含水率已很低,收缩值远小于木材内部的收缩值,同时,由于干燥前期木材表层长期受到拉应力的作用,产生了残余变形,形成表面硬化现象。这样,在干燥后期,木材内外的干缩差异就会使木材内部产生拉应力(由于应力平衡,木材表面产生相等的压应力)。与木材初期开裂类似,当木材内部的拉应力超过木材的横纹拉伸极限强度,就会产生内部开裂。本次试验结果表明,8 个树种在百度试验过程中,干燥初期表面硬化及干燥后期内应力均不是很大,因而都未产生内部开裂。

2.3 截面变形

试验结束后,将试件从中部锯开,在制作终含水率检验片及检查内部开裂的同时,测量截面变形的数值(A-B),即截面最大厚度 A 与最小厚度 B 之间的差值,截面变形试件见图 1。试验结果表明,A 点总是在试件的边部,对于径板,A 点常常是在更靠近髓心的一边,而 B 点却总是在试件的中部附近位置。这主要是由于干燥过程中,木材内部与表层的水分蒸发速度不同及边部木材表面硬化而引起的。每个树种的截面变形结果汇总于表 3。结果表明,马尾松和湿地松的截面变形最小,特性等级为 1 级,其它 6 个树种均为 2 级。结果还发现,径板的截面变形均大于弦板,当径板的一个边接近髓心处时,截面变形的值会更大。原因是心材特别是靠近髓心处的木材干缩相对较小^[7,8]。

2.4 百度试验干燥特性等级

百度试验结束后,将初期开裂、截面变形与内部



图 1 截面变形测点示意图

Fig. 1 Diagram of cross-section deformation testing

表 3 8 种树种木材的截面变形结果统计

Tab. 3 Statistics of cross-section deformation of the 8 wood species

序号	长白落叶松		日本落叶松		马尾松		湿地松		杉木		毛白杨		火炬松		刺槐	
	A-B	等级	A-B	等级	A-B	等级	A-B	等级	A-B	等级	A-B	等级	A-B	等级	A-B	等级
1	0.90	2	0.30	1	0.34	1			0.70	2	1.60	3*			0.47	2
2	0.78	2	0.72	2	0.37	1			1.15	3			0.46	1	1.22	3*
3	0.96	3*	0.72	2*	0.42	1			1.18	3	0.65	2			0.72	2
4	0.36	1	0.26	1	0.38	1			1.15	3*			0.50	2	0.85	2
5	0.75	2	0.75	2	0.58	2*			1.87	3*	0.85	2				
6	1.24	3*	0.60	2*	0.68	2*			0.42	1			1.10	3*		
7	0.78	2	0.22	1			0.42	1	0.40	1	0.67	2				
8	0.40	1	0.44	1			0.29	1	0.40	1			0.84	2		
9	1.11	3*	1.87	3*			0.22	1	0.50	2						
10	0.31	1	0.31	1			0.35	1	0.56	2						
11	0.72	2	0.72				0.35	2*								
12	0.56	2*	0.94	3*			0.09	1*								

注:带*者为径板

开裂的特性等级列于表 4。取三者中的最大值列为该树种的综合干燥特性等级。

表 4 百度试验各树种的干燥综合特性等级

Tab. 4 Classification of drying characteristics of 8 wood species after 100℃ drying test

树种	初期开裂	截面变形	内部开裂	综合特性
长白落叶松	3	2	1	3
日本落叶松	3	2	1	3
杉木	1	2	1	2
马尾松	2	1	1	2
湿地松	2	1	1	2
火炬松	2	2	1	2
毛白杨	1	2	1	2
刺槐	2	2	1	2

百度试验最初由日本的寺汉真教授提出,主要依据以上三个指标确定干燥特性等级^[1,6]。从上表结果来看,8 个树种的干燥特性区别并不明显。为了便于制订合理的窑干工艺,还需分析其它的干燥特性作为补充。

2.5 干燥速度

各树种干燥速度的统计结果见表 5,对应的干燥过程含水率曲线见图 2 和图 3。

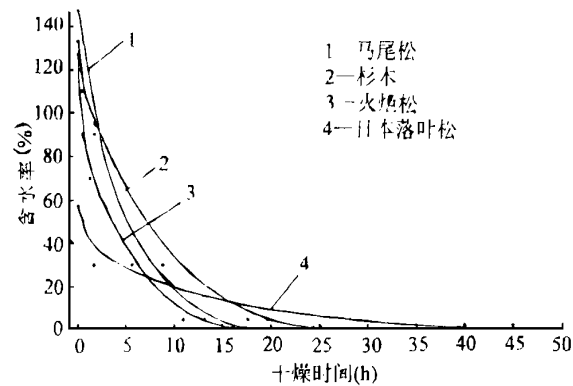


图 2 四种树种木材的含水率曲线

Fig. 2 MC-Drying time curve of 4 wood species

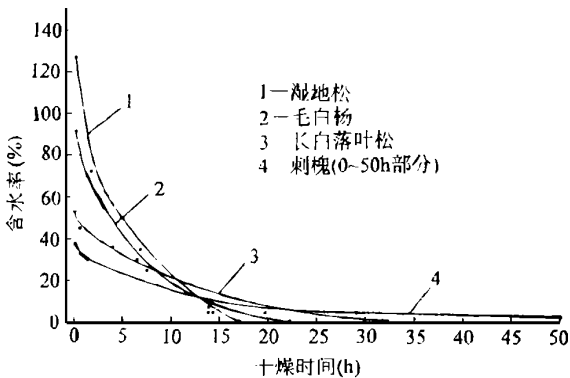


图 3 四种树种木材的含水率曲线

Fig. 3 MC-Drying time curve of the rest 4 wood species

表 5 干燥速度统计表

Tab. 5 Statistics of drying rate of 8 wood species

树种	初含水率(%)	干燥周期(h)				干燥速度(%/h)				干燥速度等级
		全程	30%~5%	30%以上	30%以下	全程	30%~5%	30%以上	30%以下	
长白落叶松	52.8	32.25	15.82	8.30	1.05	1.61	1.80			3
叶松	20.6	(12.9)	(42.5)	(27.8)	(19.0)	(38.5)	(28.8)			
日本落叶松	54.0	39.84	17.91	9.72	0.76	1.33	1.41			3
叶松	(21.6)	(6.9)	(7.8)	(30.8)	(6.6)	(13.8)	(7.1)			
杉木	132.9	24.28	8.81	11.74	1.63	5.83	2.85			1
	(28.7)	(8.9)	(6.9)	(5.5)	(8.0)	(31.7)	(7.4)			
马尾松	146.9	17.31	6.84	18.56	2.62	8.43	3.76			1
	(14.3)	(3.0)	(15.1)	(14.2)	(11.8)	(12.5)	(17.6)			
湿地松	126.9	17.02	7.49	14.61	2.71	7.40	3.35			1
	(12.3)	(14.3)	(4.5)	(5.7)	(18.5)	(6.6)	(4.5)			
火炬松	126.7	16.03	5.17	15.53	2.74	7.84	4.90			1
	(26.3)	(26.9)	(10.6)	(2.2)	(18.2)	(8.5)	(10.6)			
毛白杨	91.1	22.20	7.26	9.34	1.34	3.09	3.05			1
	(19.0)	(15.8)	(26.4)	(10.1)	(16.4)	(27.8)	(9.8)			
刺槐	34.7	94.00	27.90	5.38	0.31	0.34	0.90			4
	(4.7)	(1.1)	(2.9)	(4.5)	(6.5)	(5.1)	(3.3)			

注:表中数值为算术平均值,括号内数字为变异系数(%)

统计结果表明,刺槐的干燥时间最长,为 94 h,其次为日本落叶松和长白落叶松,火炬松、马尾松和湿地松的干燥时间最短,在 16~17 h 左右,最长:最短

干燥时间=5.86[·]1。因每个树种的初含水率不同,其干燥速度的差异变得更大,最大[·]最小干燥速度(全程)=24.79[·]1。因此,百度试验中,为使干燥速度更具有可比性,一般按含水率从30%降至5%所需的干燥时间作为干燥特性的速度分级指标。8个树种中,刺槐的干燥速度最慢,为4级,长白落叶松和日本落叶松次之,为3级,其它5个树种的干燥速度比较接近,为1级。对于不同初含水率,含水率从初始降至1%时,火炬松的干燥时间最短,而马尾松的干燥速度最快;含水率从30%至5%时,则是火炬松的干燥速度最快(4.9%/小时),与干燥速度最慢的刺槐相比为5.44[·]1。

需要指出的是,表2中毛白杨的干燥速度等级为1级,而事实上,有1/3的毛白杨试件在百度干燥试验中,虽然其试件重量在干燥后期已接近恒定不变,但试验结束后,锯开检测其中部含水率仍>1%,这可能是由于毛白杨试件中含有湿心材(wetwood)。其特征是含水率高,还有细菌存在(但不是木腐菌),其邻近部位木材的pH值高,渗透性较正常材低,干燥特别缓慢^[3~5]。表5中所列毛白杨含水率从初始至1%的干燥时间未把这部分试件统计在内。但湿心材作为一种现象,应在以后的炉干试验中予以重视。8个短周期树种中,刺槐是相对较难干燥的木材。然而由于运输等原因,刺槐试材的初含水率较低,其百度试验干燥特性没有完全反映出来,仅为2级(表4),而其干燥速度所对应的特性等级为4级。从刺槐和毛白杨两个树种的结果可以看出,百度试验过程中,除分析3个主要的特性指标外,还应考虑其他的干燥特性作为补充。

3 结论

3.1 8个树种中,长白落叶松和日本落叶松的初期开裂最为严重,特性等级为3级;杉木和毛白杨的初

期开裂程度最小,仅有端裂产生,特性等级为1级;其它4种试材均介于它们之间,为2级。

3.2 8个树种的试样都未产生内部开裂,对应干燥特性等级均为1级。

3.3 马尾松和湿地松的截面变形最小,对应的特性等级为1级,其它5个树种均为2级。

3.4 径板作为对照和参考试样,同弦板同时进行百度试验。结果表明,8个树种径板的初期开裂均低于弦板,而截面变形大于弦板。

3.5 含水率从30%降至5%的过程中,刺槐的干燥速度最慢,对应的特性等级为4级;长白落叶松和日本落叶松次之,为3级;其它5个树种的干燥速度较快,均为1级。

3.6 百度试验的综合干燥特性等级主要由前3项指标确定,同时还需考虑干燥速度等其它干燥特性的影响。特别是当试样的初含水率较低时(如刺槐的初含水率为34.7%),由于初期开裂等干燥特性因初含水率太低而不能完全表现出来时,考虑干燥速度等因素作用的影响就显得更为重要。

3.7 对个别树种如毛白杨,除上述干燥特性外,在百度试验中还发现湿心现象,尚有待于在炉干试验时进一步论证和解决。

4 参考文献

- 何定华等. 24种南方阔叶树材的干燥特性及窑干基准. 中国林学会木材工业学会论文集(6),《林产工业》编辑部,1991.1,73~75
- 滕通谦等. 速生桉树材加工利用若干应用基础问题的研究. 林产工业,1994,(4)
- 何定华、滕通谦、郭焰明. 毛白杨和沙兰杨木材气干过程和窑干工艺的研究. 木材工业,1987,1(2):2~6
- Cech, M. Y. & F. Pfaff. Kiln Operator's Manual for Eastern Canada. Eastern Forest Products Laboratory, 1977
- Rasmussen. Dry Kiln Operator's Manual. U. S. Department of Agriculture, 1968
- 戴于龙等. 推广预测木材干燥基准的百度试验法的可行性探讨. 北京林学院学报,1985,(1)
- 朱政贤主编. 木材干燥. 中国林业出版社,1994
- 成俊卿主编. 木材学. 中国林业出版社,1985

(上接第20页)

好的弹性。所以PF1是应选用的胶粘剂。

4 结论

4.1 不同胶粘剂对木/塑纤维复合材料的力学性能的平衡性有特别显著的影响。

4.2 使用PF1制做的试材既具有合格的静曲强度

也具有较好的弹性。PF1是应选用的胶粘剂。

5 参考文献

- 王恺. 木质纤维复合材料——一种有发展前景的复合材料. 木材工业,1994,8(2):32~35
- 中国科学院数学研究所统计组. 方差分析. 科学出版社,1977
- 木质纤维复合材料专题组. 聚丙烯纤维对木/塑纤维复合材料性能影响的初步研究. 木材工业,1997,10(6):5~7