

研究与开发

杉木人工林木材的高频真空干燥工艺

高瑞清, 李晓玲

(中国林科院木材工业研究所, 北京 100091)

摘要: 对人工林杉木 25 mm 和 50 mm 厚板材进行了系列高频真空干燥试验。结果表明:干燥后的板材变形小,表面平整,表芯层含水率差异较小。尽管试板的初始含水率差异较大,但根据高频真空干燥靠近正极板的木材比靠近负极板的干燥速度快的特点,试板的初始含水率由低至高在负极板至正极板之间进行顺序摆放码垛,干燥后的板材含水率可达到均匀一致。

关键词: 高频真空(RF/V)干燥; 人工林; 杉木; 质量; 干燥工艺

中图分类号: S782.31 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2005)06-0008-04

Radio Frequency/Vacuum Drying Technology on Plantation Grown Chinese Fir

GAO Rui-qing, LI Xiao-ling

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: A series of radio frequency/vacuum (RF/V) drying tests were conducted using plantation grown Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata*) with thicknesses of 25 mm and 50 mm. Results showed that the dried lumber had good drying qualities with little distortions and low final moisture content gradients. Although the initial moisture content of samples was quite diverse, if the samples were sorted by initial moisture content and stacked from negative electrode to positive electrode according to the initial moisture content from low to high, an even final moisture content distribution could be obtained throughout the stack.

Key words: radio frequency/vacuum (RF/V) drying; plantation; Chinese Fir; quality; drying technology

木材干燥是木材加工利用的重要环节。干燥的方法有自然干燥、常规蒸汽干燥、过热蒸汽干燥、高温干燥、除湿干燥、太阳能干燥、微波干燥、高频干燥、真空干燥等。木材高频真空(radio frequency vacuum, RF/V)干燥是 20 世纪 70 年代首次在前苏联、美国、日本等国研究开发,80 年代初应用于生产。木材高频真空干燥是高频干燥和真空干燥的组合。真空干燥的原理是,木材中的水分在真空环境下沸点降低,可在较低温度下迅速汽化而外移,实现木材的低温快速干燥,其特点是干燥缺陷小,并保持木材的天然色泽^[1]。但由于真空干燥罐体(窑体)内的干燥介质(湿空气)在真空条件下显著减少,从而影响了热量传递,

且真空度越大,影响越显著。为解决这一问题,在真空干燥中引用了高频加热技术。高频加热不需要湿空气作为加热介质,而是用高频电场直接辐射加热。当高频发生器开始工作后,极板间的电位发生频繁交变,使处于木材中的水分子迅速极化,分子间的相互摩擦可产生大量热量,使木材内外几乎同时被加热并达到一定温度,从而实现快速干燥,解决了单纯真空干燥效率低的缺点,尤其适合干燥厚板和某些难干材。有关研究表明,用 RF/V 干燥的木材材色不变,弯曲量减少 34%,成品率提高 23%;厚板材(2 000~4 000 mm×400 mm×87 mm)从含水率 70%干燥到 10%,耗用时间仅为常规蒸汽干燥的 1/6^[1-5]。

本研究采用 JICA 项目提供的 HED-0603 型高频真空干燥设备,对人工林杉木进行干燥试验,通过改变干燥工艺参数并分析试验结果,制定和优化人工林杉木高频真空干燥的基准。

收稿日期:2005-02-22

基金项目:中日政府间专项技术合作(JICA 渠道)“中国人工林木材研究项目”子项目之一。

作者简介:高瑞清(1965—),男,中国林科院木材工业研究所副研究员。

1 试验材料和方法

1.1 材料

试验试材 人工林杉木 (*Cunninghamia lanceolata*), 采自中国林科院大岗山试验林场, 树龄 23 年, 平均直径 22.7 cm, 初含水率 48%~180%, 平均基本密度 0.294 g/cm³。

试板尺寸 刨光后的试件(长×宽)为 1 800 mm ×120 mm, 厚度分为薄板(25 mm)和厚板(50 mm)2 种规格。

试验设备 HED-0603 型高频真空干燥机, 由高频发生装置、真空系统及冷却系统 3 部分组成。最大装载量 0.8 m³; 电源的输入电压为 380 V, 直流输出电压 EL 最小值 5 kV, 最大值 6 kV, 直流最大输出电流 0.8 A; 高频震荡频率 6.78 MHz; 设备最低真空度为 2 400 Pa。此外, 还有电子天平, 数显游标卡尺, 厚度测量仪和烘箱等。

1.2 方法

试材四面刨光作定宽、定厚处理, 并按要求确定试板长度。试验前, 在确定位置测量试板的宽度和厚度, 记录可见缺陷。试验结束后, 再次观察并记录可见缺陷, 在同一位置测量干燥后的试板宽度和厚度值, 以计算试板的干缩量; 按 GB 6491—1999《锯材干燥质量》中有关规定, 从每块试验板上截取含水率片和分层含水率片, 采用烘干法测定试板终含水率。

本研究对 2 种规格试板进行了 6 次试验, 除改变高频真空参数, 即电流、电压、高频振荡时间外, 还根据试验结果改变试板的堆放方式。根据干燥同规格人工林杨木板材的经验, 杉木高频真空干燥系列试验的装材方式见图 1。由于靠近电极板的木材在干燥时易产生冷凝水, 在材堆码放时, 将已干燥的同规格杉木替代板摆放在与电极板接触的位置^[5-6]。

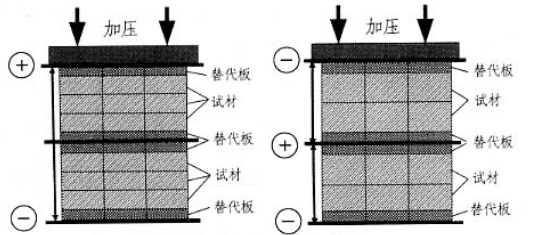


图 1 RF/V 干燥杉木试板堆放方式

Fig. 1 Lumber stacking methods in RF/V drying

2 试验结果和讨论

根据试验结果, 在试验中不断调整干燥参数, 以确定较佳的干燥工艺参数。结果见表 1。

表 1 主要试验参数和试验结果

Tab. 1 The summary of RF/V drying conditions and results

试验参数	试验编号					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
试板尺寸/mm (试板数)	1 800×120×50 (12)			1 800×120×25 (18)		
试验材积/m ³	0.13			0.10		
直流输出电压 EL/kV	5	5	6	6	6	6
EL 设定值/kV	4.5	4.2	4.0	4.5	5.0	5.0
正极板电流 IP/A	0.75	0.7	0.6	0.5	0.6	0.7
高频状态(开—停)/min	9—1	8—1	8—1	8—1	8—1	连续
真空度 6 666 Pa, 对应的沸点温度 38.7 ℃						
平均初含水率/%	86.3	97.9	89.2	124	142	129.5
平均终含水率/%	17.1	28.2	16.1	21.4	21.8	15
宽度方向干缩/%	2.53	1.47	2.18	0.96	1.68	2.17
厚度方向干缩/%	2.32	2.06	3.01	0.77	0.66	2.26
干燥开裂/条	15	2	0	0	0	1 条细表裂
总干燥时间/h	44.4	36.2	51.9	31.2	30.5	29.4
平均干燥速度/(%·h ⁻¹)	1.56	1.93	1.43	3.29	3.94	3.89
电量总消耗 /kW	171	94	146	92	94	112

2.1 杉木厚板的干燥结果分析

在同规格杨木板材高频真空干燥基础上, 制定了 50 mm 厚杉木板材高频真空干燥方案, 共进行 3 次试验, 参数设定见表 1 中 No. 1~3。为了快速优化出高频真空干燥较佳工艺, 先采用较强的干燥条件, 若干燥质量达不到要求, 则降低一个干燥强度等级进行试验, 直到干燥质量符合要求, 以此时的干燥条件作为较佳工艺参数。

从表 1 可看出: 在 No. 1 和 No. 2 的干燥条件下, 板材出现比较严重的开裂等干燥缺陷; No. 3 为调整后的干燥工艺条件, 适合高频真空干燥 50 mm 厚人工林杉木板材, 干燥过程工艺参数曲线见图 2。

图 2 中的 IP 曲线表示加在正极板上的电流大小, 是决定高频振荡电场强弱的主要参数。EL 曲线表示加在两极板上的电压大小。随着干燥的进行, 木材中水分不断蒸发, 木材含水率降低, 木材的介电常数降低, 电阻值增大, 因此 IP 曲线呈下降趋势, 而 EL 呈增大趋势。另外还可看出, 木材温度很快达到一个较高的值。但试验结果表明, 窑内不同位置的温度有差异, 一般靠近正极板的木材温度高于靠近负极板的木材温度。窑内有 4 个温度传感器, 其中一个是光纤温度传感器, 光纤传感器受高频电场影响小, 故测量准确度高。图 2 中的控制温度由普通传感器测量, 木材温度由光纤温度传感器测量。

2.1.1 干燥速度 从表 1 和图 2 可看出, 对 50 mm 厚的杉木板, 从初含水率至 30% 阶段的干燥速度明显高于 30% 至终含水率阶段, 总平均干燥速度约为 1.43%/h。比常规蒸汽的干燥速度提高约 4.5 倍, 比高温蒸汽(120 ℃)干燥法提高约 2.5 倍。

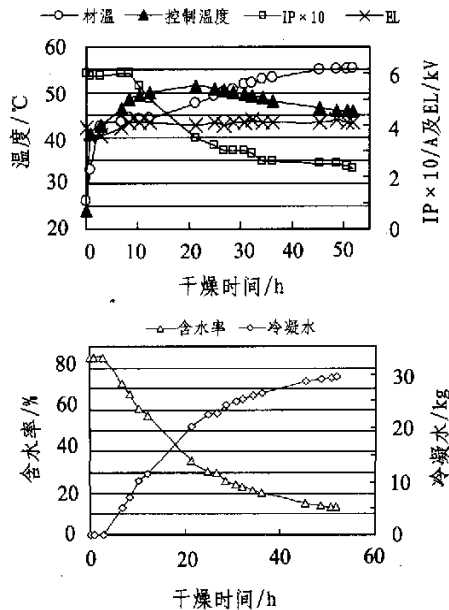


图2 50 mm厚杉木板的RF/V干燥过程曲线
Fig. 2 Drying process of 50 mm thick Chinese Fir

2.1.2 含水率 根据高频真空干燥的特点,靠近正极板的木材比靠近负极板的干燥速度快。为了使干燥后试板的含水率均匀一致,试板堆垛依照初始含水率低者靠近负极板、初始含水率高者靠近正极板的摆放原则进行,初始含水率分布及分层含水率见图3。结果显示,尽管试板的初始含水率差异很大,但通过干燥前合理的材堆摆放,干燥后的终含水率分布基本均匀一致,芯层和表层含水率差异很小。

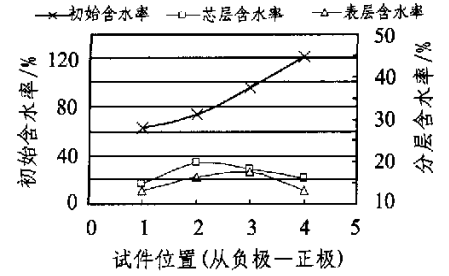


图3 杉木板材的分层含水率曲线(No. 3, 50 mm)
Fig. 3 MC distribution of samples of test No. 3

2.1.3 干燥变形和干缩 试验结果显示,高频真空干燥后的杉木非常平整,没有顺弯、横弯和翘曲,仅有少量试板存在1.0%之内的瓦弯量,符合标准中一级材的要求。干燥过程中,材堆顶部持续受到自动液压缸加压,不仅使干燥过程中的高频加热效果提高,而且极大地减少了干燥后木材变形。经测定,宽度方

向收缩率为2.18%,厚度方向收缩率为3.01%。
2.2 杉木薄板的高频真空干燥结果分析
与50 mm厚杉木板的试验不同,25 mm厚杉木板的高频真空干燥试验采用由弱至强的干燥方案。试验共进行了3次,干燥条件见表1中No. 4~6。前2次试验没有干燥缺陷发生,在进行第3次试验时,采用了高电压、高电流档,并采用连续高频加热。结果显示,仅有1块试板产生了1条细小裂纹。说明杉木薄板可使用高频真空干燥方法进行快速干燥。干燥过程工艺参数曲线见图4。

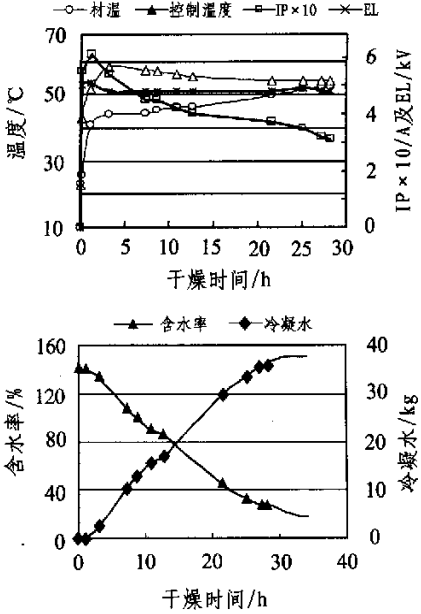


图4 25 mm厚杉木板RF/V干燥过程曲线
Fig. 4 Drying process of 25 mm thick Chinese Fir

2.2.1 干燥速度 高频真空干燥25 mm厚的板比干燥50 mm厚杉木板的速度更快。从表1和图4可以看出,干燥25 mm厚的杉木板时,从初始含水率至30%阶段的干燥速度与30%至终含水率阶段的干燥速度差异不明显,总平均干燥速度约为3.89%/h。比常规蒸汽干燥法提高约3.5倍;比高温蒸汽(120℃)干燥提高约2倍。

2.2.2 含水率 同样依照初始含水率低的试板靠近负极板、初始含水率高的试板靠近正极板的摆放原则进行堆垛,杉木薄板的初始含水率分布如图5所示。试验结果显示,尽管试板的初始含水率差异很大,但通过干燥前合理的材堆摆放,干燥后试板的终含水率分布比较均匀;同时,杉木薄板的芯层和表层含水率差异很小。

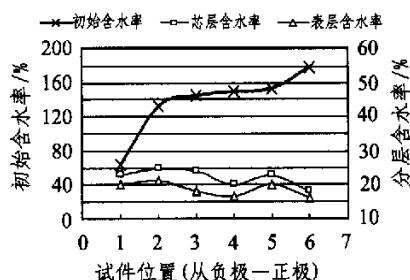


图5 No. 6 试验分层含水率曲线(25 mm)

Fig. 5 MC distribution of samples of test No. 6

2.2.3 干燥变形和干缩 25 mm 厚杉木板在高频真空干燥后的板面非常平整,只是顺弯、横弯和翘曲变形略比 50 mm 厚杉木大,但都在 1.0% 的范围内,而瓦弯量在 1.5% 之内,符合标准中一级材的要求;宽度方向收缩率为 2.17%,厚度方向收缩 2.26%。

3 结论和建议

1) 高频真空干燥板材变形小,表面平整,干燥质量好。

2) 用 RF/V 干燥人工林杉木,最明显的特点是干燥速度快、干燥缺陷少。采用本试验提供的干燥基准干燥 25 mm 和 50 mm 厚的杉木板,干燥速度比常规蒸汽干燥分别提高约 4.5 倍和 3.5 倍,比高温蒸汽(120℃)干燥分别提高约 2.5 倍和 2 倍。

3) 2 种规格的杉木板材,干燥后的表芯层含水率差异均很小。

4) 尽管试件的初始含水率差异很大,但根据高频真空干燥时,靠近正极板的木材干燥速度比靠近负

极板处快的特点,试板可按初始含水率由低至高,从负极板至正极板之间进行顺序摆放码垛,干燥后的板材含水率分布均匀一致。

为了进一步发掘高频真空干燥方法优势,建议以后重点研究:如何拓展高频真空法用于难干、贵重木材和大规格结构用材的干燥。

参考文献:

- [1] 寺泽 真,金川 靖,林 和男,等. 木材高频真空干燥[M]. 日本:海青社,1998:118-126.
- [2] Harris Robert A. Comparison of Moisture Content Distribution, Stress Distribution, and Shrinkage of Red Oak Lumber Dried by a Radio-frequency/Vacuum Drying Process and a Conventional Kiln[J]. Forest Products Journal, 1984, 34(1):44-54.
- [3] Avramidis S. Drying Characteristics of Thick Lumber in a Laboratory Radio-frequency/Vacuum Dryer[J]. Drying Technology, 1994, 12(8):25-27.
- [4] 庄寿增. 木材高频真空干燥及其应用前景[J]. 林产工业, 1992, 19(3):2-4.
- [5] 李晓玲,高瑞清,黑田尚宏,等. 人工林杨木的高频真空干燥工艺[J]. 木材工业, 2004, 18(4):12-15.
- [6] Glen Trofatter. Comparison of Moisture Content Variation in Red Oak Lumber Dried by a Radio-frequency/Vacuum Process and a Conventional Kiln[J]. Forest Products Journal, 1986, 36(5): 25-28.
- [7] 熊如珍,程思勇. 造林木之高周波/抽真空干燥[J]. 台湾林业科学, 1999, 14(2): 177-186.
- [8] 吴智慧. 高频介质加热技术在木材工业中的应用[J]. 世界林业研究, 1994(60):30-36.
- [9] 康雅芬,季华,郝志伟,等. 高频真空干燥落叶松和水曲柳锯材的研究[J]. 林业科技, 1993(18):6.

(责任编辑 鲍加芬)

ISSN 0253-2417 2006 年《林产化学与工业》征订启事 CN 32-1149/S

《林产化学与工业》由中国林学会林产化学化工分会、中国林科院林产化学工业研究所主办,为全国林产化工行业的学术类季刊,报道范围:可再生的木质、非木质森林资源化学与加工利用,主要为木材化学和制浆造纸,松香、松节油化学和利用,生物质原料热解及活性炭,植物纤维原料水解及其产物,植物多酚化学和利用,林产香料、油脂、药物和生物活性物质、树木寄生产物以及其他森林天然产物的化学和加工利用;现代生物技术及其在林产化学与工业中的应用;林产化学工业的环境保护、资源保护和可持续发展、经济和企业管理的发展战略、规划和经验总结等。

自 1981 年创刊以来,先后被美国《CA》、美国《EI》、英国《CAB Abstracts》、英国《FPA》、俄罗斯《PJK》、日本《科学技术文献速报》、“中国期刊全文数据库”、“中国科学引文数据库”、“中国学术期刊综合

评价数据库”、“万方数据——数字化期刊群”、“中文科技期刊数据库”、“中国科技核心期刊”、“中国核心期刊(遴选)数据库”等 10 多种大型数据库收录。

国内外公开发行人。国内邮发代号:28-59;国外发行代号:Q5941(中国国际图书贸易总公司,北京 399 信箱)。季末月底出版,大 16 开,每期 15.00 元,全年 60.00 元。也可直接汇款至本刊编辑部订阅。

地址:210042 南京市锁金五村 16 号

林产化工研究所内

信汇:中国林业科学研究院林产化学工业研究所

4301012509001028549

工商银行南京板仓分理处

电话:025-85482493, 85482490 传真:025-85482493

Email: lchx@chinajournal.net.cn

http://lchx.chinajournal.net.cn