

研究与开发

人工林杨木的高频真空干燥工艺

李晓玲¹, 高瑞清¹, 黑田 尚宏², 小林 功²

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 独立行政法人森林综合研究所, 日本茨城县 305-8687)

摘要: 在人工林杨木的高频真空干燥系列试验中, 通过不断改变干燥工艺参数并分析总结试验结果, 从而确定杨木高频真空干燥适宜的工艺基准。结果表明, 在本试验确定的高频真空干燥工艺下, 初含水率较高的杨木不仅能保证干燥质量, 而且干燥速度可比常规蒸汽干燥法和高温蒸汽干燥法提高数倍。

关键词: 人工林杨木; 高频真空(RF/V)干燥; 干燥质量; 干燥工艺

中图分类号: S792.11, TS652 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8654(2004)04-0012-04

Radio Frequency/Vacuum Drying Technology for Plantation Grown Poplar

LI Xiao-ling¹, GAO Rui-qing¹, Naohiro Kuroda², Isao Kobayashi²

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Forestry and Forest Products Research Institute, Ibayaki 305-8687, Japan)

Abstract: Drying experiments for plantation grown Poplar (*Populus × euamericana* cv. I-214) lumber were conducted by radio frequency/vacuum (RF/V) drying method under various RF/V conditions. The drying speed and drying quality of the lumber were determined. A reasonable RF/V drying schedule was established and test results showed that under this RF/V drying condition, Poplar lumber could be dried efficiently and rapidly resulting in good quality lumber compared with the common steam drying method or the high-temperature vapor drying method.

Key words: Plantation grown Poplar; Radio frequency/vacuum (RF/V) drying; Drying quality; Drying techniques

木材高频真空(简称 RF/V)干燥是 70 年代首次在苏联、美国、日本等国研究发展起来的一项先进干燥技术, 80 年代初开始应用于生产。我国于 80 年代末开始该技术的研究, 但由于试验条件等因素限制, 该项技术至今未能广泛推广和应用。RF/V 的干燥原理是连续真空和高频介电加热同时作用, 当高频发生器开始工作后, 极板间的电位发生频繁交变, 使得处于其中的木材水分子迅速极化和摆动, 分子间相互摩擦而产生大量热量, 这样, 木材内外几乎同时被加热并达到一定温度。另外, 由于罐体(窑体)内连续真空作用, 从而降低了水的沸点, 木材中的水分可在较低温度下迅速汽化而外逸。所以 RF/V 干燥木材的最大特点在于可使木材在很短的时间内获得充分的热量, 并在较低的温

度下迅速干燥。该方法干燥木材的另一大特点是干燥质量好, 尤其适合干燥厚板和某些难干材。美国有关研究资料表明, 用 RF/V 干燥的木材材色不变, 弯曲量减少 34%, 成品率提高 23%。另外, 美国的 Robert A. Haris^[1]曾用 2 英寸厚(50.8 mm)的红栎(*Quercus* spp.)作对比试验, 结果发现, RF/V 干燥速度是常规干燥速度的 17 倍。

本研究采用 JICA 项目日方提供的高频真空干燥设备, 对人工林杨木进行工艺试验, 在此基础上提出适宜杨木高频真空干燥的基准。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验试材 人工林杨木(*Populus × euamericana* cv. I-214), 采自辽宁省新民县国营林场, 树龄 15 a, 初含水率 50%~130%, 平均气干密度 0.33 g/cm³。

收稿日期: 2004-02-18
基金项目: 本课题由 JICA 项目“中国人工林木材利用技术”资助。
作者简介: 李晓玲(1969—), 女, 中国林科院木材工业研究所高级工程师。

试验设备 HED-0603 型高频真空试验机。该机由高频发生装置、真空系统及冷却系统三部分组成,其主要参数:最大装载量 0.8 m³,电源输入电压 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,震荡频率 6.78 MHz,最低真空度设计为 2 400 Pa(18 mmHg)。据经验,RF/V 干燥木材时真空度的最佳工作范围为 5 333~9 332 Pa (40~70 mmHg)。

1.2 试验方法

原木锯成板材后四面刨光至 1 800 mm×120 mm×25 mm 和 1 800 mm×120 mm×50 mm 两种规格;然后沿每块试验板长度方向截取两块含水率片,以测量试件初含水率。试验开始时,首先记录各试件上的可见缺陷,然后在试件上确定宽度和厚度的测量位置并进行测定。试验结束后,再次观察并记录可见缺陷情况,在同一位置测量干燥后试件宽度和厚度值以计算其干缩量;并按国标 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,采用烘干法测定试件终含水率。

针对 2 种不同规格的试件,共进行了 18 次试验,除改变高频电磁波参数(即电流、电压、高频振荡时间)外,还根据试验结果改变试件的堆放方式。在此基

础上,分析干燥质量、干燥速度和耗电量等因素,从而确定干燥基准。图 1 和图 2 的装材方式是本试验确定的一种较合理的装材方式。

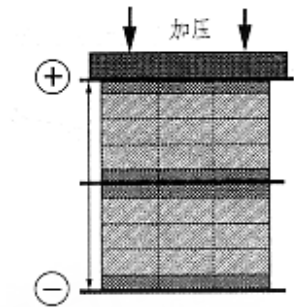


图 1 RF/V 干燥 25 mm 厚杨木试件堆放方式
Fig. 1 Stacking method for 25 mm-thick Poplar lumber in RF/V drying test

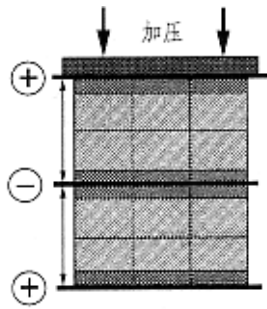


图 2 RF/V 干燥 50 mm 厚杨木试件堆放方式
Fig. 2 Stacking method for 50 mm-thick Poplar lumber in RF/V drying test

表 1 主要试验参数和试验结果

Tab. 1 Parameters and results of RF/V drying experiments

参数	25 mm 厚锯材(18 块)			50 mm 厚锯材(12 块)		
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
直流输出电压 EL /kV	5	5	6	5	5	5
正极板电流 IP/A	0.6	0.7	0.8	0.5	0.6	0.7
高频状态(开—停时间)/min	9—1	连续	9—1	9—1	9—1	9—1
真空度/Pa			6 666 (对应的沸点温度 38.7 ℃)			
平均初含水率/%	88.6	103.4	87.7	124.6	121.0	133.1
平均终含水率/%	11.4	9.1	11.0	4.9	5.2	5.0
厚度方向干缩/%	3.8	3.6	3.7	3.7	3.6	4.0
宽度方向干缩/%	2.7	2.5	2.6	3.0	3.1	3.3
翘弯变形/%	0.9	0.9	1.1	1.1	0.8	1.2
干燥开裂	-	-	-	-	-	细表裂 1 条
总干燥时间/h	27.2	27.4	16.9	51.2	47.5	49.2
平均干燥速度/(%·h ⁻¹)	2.8	3.4	4.5	2.3	2.4	2.6
电量总消耗 /kW·h	88	94	75	170	156	171
高频输入电量/kW·h	78.1	62.9	61.2	92.3	126.7	136.2

2 试验结果和讨论

2.1 干燥参数的确定及干燥过程曲线

由于 HED-0603 型高频真空试验机的容量较大,接近生产型设备,试材耗量大,为了充分利用试材,减少不必要的重复试验以缩短试验周期且保证试验结果,在设计试验方案时,首先分析杨木的特性,参照国内外 RF/V 木材干燥经验,将真空度设定为 6 650 Pa

(50 mmHg)。通过改变高频振荡器的直流输入电流和电压参数,设定不同的高频加热时间,并根据试验结果及时调整试材堆放方式。表 1 的试验参数及试验结果较接近完善的干燥工艺,在此基础上确定 2 种厚度杨木锯材高频真空干燥基准。

图 3 和图 4 是两种不同厚度规格杨木试件干燥过程曲线图。

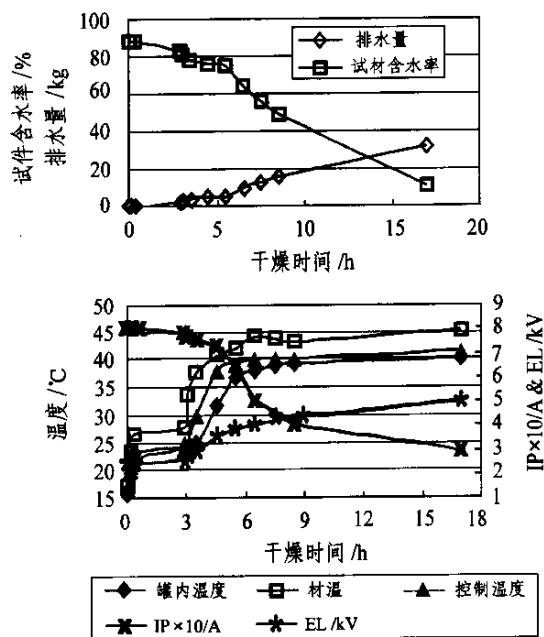


图3 25 mm 厚杨木锯材的 RF/V 干燥过程曲线(试验 No. 4)

Fig. 3 The drying process for 25 mm-thick Poplar lumber in test No. 4

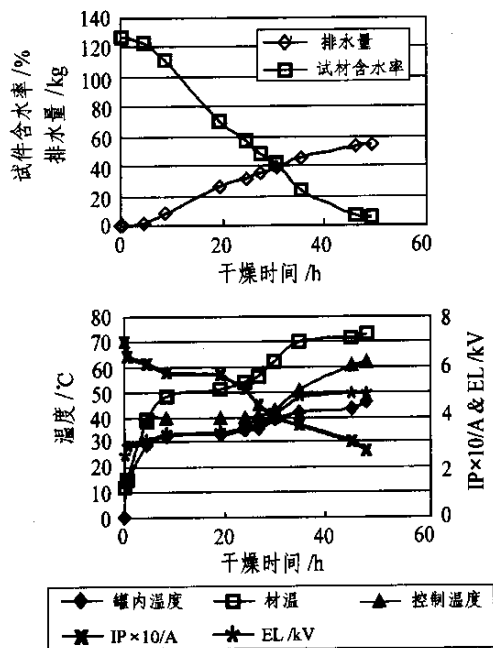


图4 50 mm 厚杨木锯材的 RF/V 干燥过程曲线(试验 No. 6)

Fig. 4 The drying process for 50 mm-thick Poplar lumber in test No. 6

图 3、4 中的 IP 曲线表示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 曲线表示两极板上的电压大小,在试验过程中,根据 EL 值增大的情况来控制试验结束的时间。IP 值增大意味着高频振荡电场加强,水分子的振动加剧,木材升温加快,如果

再保持较长时间的高频加热时间,材温就能保持在一个较高的水平,有利于木材中水分蒸发。由图 3、4 可发现规律:随着干燥的进行,木材中水分不断蒸发逸出,木材含水率降低,IP 曲线呈下降趋势,而 EL 呈增大趋势;另外,用 RF/V 法干燥木材时材温升高很快,试验开始不久就能达到一个较高的值。试验结果也表明,窑内不同位置的锯材温度有差异。一般靠近正极板处木材温度高,靠近负极板处则较低。图中所示的控制温度为温度传感器测量,该传感器要求插在离负极板不大于 50 mm 的木材中,用于控制木材温度。窑体内设有 4 个温度传感器来测量木材的温度,其中一个为光纤温度传感器,受高频电场影响小,故测量准确度高。图 3、4 中的木材温度是光纤温度计测量结果。该传感器一般插在离阳极板较近的试件中以测量该处试件的温度。

2.2 干燥质量分析及干燥工艺确定

2.2.1 试件终含水率分布情况 在干燥结束后分析试件含水率分布情况时发现,窑体内同一高度层试件的含水率偏差在 3.5% 之内,同一块试件沿长度方向含水率偏差在 3% 之内。同一试件不同厚度上的含水率分布见图 5、6。虽表层含水率普遍高于心层,但差异不大,在 2.5% 之内,符合国家标准一级材干燥质量要求。

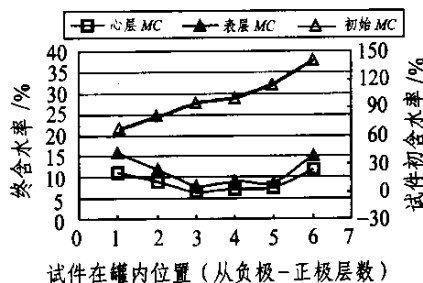


图5 试验 3 分层含水率曲线(25 mm)

Fig. 5 Moisture content distribution of samples in test No. 3

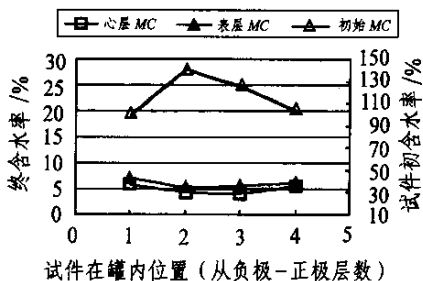


图6 试验 6 分层含水率曲线(50 mm)

Fig. 6 Moisture content distribution of samples in test No. 6

另外,在试验过程中还发现,处在窑体内靠正极的试件含水率和靠近负极的试件含水率差异较大,有时可达 10% 左右。分析认为,主要是由于负极温度偏低所致。这也是高频真空干燥过程中存在的问题,应予以重视。

2.2.2 干燥速度 与其他干燥方法相比,高频真空干燥木材的速度很快。从图 3 和图 4 可以看出,25 mm 厚度杨木锯材的平均干燥速度约为 4.5%/h,50 mm 厚杨木板材的平均干燥速度约为 2.6%/h,比常规蒸汽干燥法分别提高约 6 倍和 8 倍;比高温蒸汽(120℃)干燥法分别提高约 3 倍和 5 倍,表明用 RF/V 法干燥厚板更有优势。

2.2.3 干燥缺陷分析 试验结果显示,高频真空干燥缺陷较少,几乎没有开裂,没有顺弯、横弯和扭曲,仅有少量的翘弯,但翘弯量均在 1.2% 之内,符合干燥质量标准一级材的要求;干燥后木材颜色无明显变化;试件厚度和宽度方向的干缩检测表明,宽度方向收缩<3.5%,厚度方向收缩<4.0%。

2.2.4 干燥工艺确定 通过 2 种不同厚度杨木板材的系列高频真空干燥试验,在表 1 中 No. 3 和 No. 6 试验参数(即电流、电压和高频加热时间)的基础上,尝试对 25 mm 厚的锯材试件采用高电压 6 kV、电流 0.8 A 和连续加热;对 50 mm 厚锯材试件采用电压 5 kV、电流 0.8 A,9 min 加热 1 min 暂停的工艺参数,结果发现,部分试件出现了内裂。综合分析所有试验结果,在比较干燥质量、干燥速度和电能消耗等因素的基础上,确定以表 1 中的 No. 3 试验参数为 25 mm 厚杨木试件的干燥基准、以 No. 6 参数为 50 mm 厚杨木试件干燥基准。另外针对 RF/V 法干燥过程中,窑体内材堆不同高度的个别试件含水率差异较大的问题,对试材堆放方案采取了 2 种改进措施:其一,在试验前将试件按含水率高低分类,将含水率较高的试件靠近正极摆放,含水率较低的试件靠近负极摆放。由图 5 和图 6 初含水率曲线不难看出不同含水率的试件在窑体内所处位置;其二,为了防止极板和试件紧密接触而在试材表面形成冷凝水从而造成试件表面含水率过高,导致试件厚度方向含水率分布不均匀现象,在堆放试材时,紧贴极板位置放一层已干燥的板材(见图 1、2 中所示)。试验结果表明,这两种措施对提高试件终含水率的均匀度有一定作用。

3 结论和建议

1)人工林杨木密度小,渗透性较好,利用高频真空法干燥时可采用较高的输入电流、电压和高频加热时

间。用 RF/V 法干燥人工林杨木最明显的特点是干燥速度快,干燥缺陷少。采用本研究提供的干燥基准干燥 25 mm 和 50 mm 厚的杨木锯材,干燥速度比常规蒸汽干燥法分别提高约 6 倍和 8 倍,比高温蒸汽(120℃)干燥法分别提高约 3 倍和 5 倍。

2)由于时间和试材的限制,本试验只是以改变输入高频发生器的直流电输入电流、电压、高频加热时间,而真空度保持 6 666 Pa 不变的 RF/V 干燥工艺参数来观察、分析试验结果并确定干燥基准的。如将真空度也作为变量,寻找电流、电压、高频加热时间和真空度的最佳匹配方案,可在保证干燥质量的前提下,干燥速度更快。

3)试验发现,窑体内靠近正极板的温度比靠近负极板的温度高。另外,和极板紧贴的试件表面有冷凝水存在,导致了该处试件表层含水率增高。因此,在摆放试材时尽可能使高含水率的试材接近正极,干燥时在紧贴极板处可放置一层已干试材以隔离和防止冷凝水在试件表面上存留。

4)高频真空干燥确是一种快速且能保证质量的干燥方法,但能耗较大,能量利用率较低,一般为 30%~60%,今后的应用研究应侧重利用高频真空法干燥难干材和珍贵木材。

参考文献:

[1] 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.

[2] 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(6): 30-36.

[3] Robert A. Harris, 1984, 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.

[4] Avramidis S. Drying Characteristics of Thick Lumber in a Laboratory Radio-frequency/vacuum Dryer [J]. Drying Technology, 1994, 12(8): 1963-1981.

[5] 何玲芝. 高频真空干燥木材的研究[J]. 东北林业大学学报, 1992 (3): 49-53.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 熊如珍, 翟思勇. 人造林木之高周波/抽真空干燥[J]. 台湾林业科学, 1999, 14(2): 177-186.