

应用技术

人工林落叶松板材的真空干燥工艺

张立宾, 高瑞清, 李晓玲

(中国林科院木材工业研究所; 国家林业局木材科学与技术重点实验室, 北京 100091)

摘要: 探讨 2 种真空压力下, 不同初始介质温度时, 落叶松板材的干燥规律。结果表明: 真空干燥工艺有效提高了落叶松的干燥速率。初始介质温度和真空压力均对干燥速率有显著影响; 同一真空压力下, 干燥速度随温度提高而加快; 分段干燥速率随介质温度的升高呈递减趋势; 间隙式真空干燥工艺减小了试材厚度上含水率偏差。

关键词: 真空干燥; 落叶松; 真空压力; 初始介质温度; 干燥速率

中图分类号: S782.31; S791.22

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654(2011)04-0050-04

Vacuum Drying Technology for Plantation Larch Lumber

ZHANG Li-bin, GAO Rui-qing, LI Xiao-ling

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry; Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: A series of vacuum drying tests were conducted on timbers of plantation larch. The authors studied the effect of vacuum pressure (200, 400 mmHg) and initial medium drying temperatures (61~88 °C) on the drying rate and moisture content deviation of the specimens. The results showed that the drying rate and moisture content deviation of the samples, were optimized by vacuum drying technology. By increasing the initial temperatures, the drying rate increased, but the drying rate decreased when the drying medium temperature increased.

Key words: vacuum drying; larch; vacuum pressure; medium temperature; drying rate

人工林落叶松是我国重要的商品林树种之一, 仅在我国东北地区, 种植面积就已达 200 万 hm^2 。落叶松木材强重比、力学强度高, 广泛应用于房架、地板、木梯、船舶、集装箱等。目前其干燥工艺多为常规蒸汽干燥, 干燥周期较长, 且由于落叶松木材生长应力大, 树脂含量高, 干燥过程易产生材面开裂和板体扭曲等缺陷, 造成锯材降等。

木材真空干燥是指在低于一个大气压力的条件下进行干燥。已有研究证实, 干燥针叶树材厚板时, 真空干燥时间约为常规干燥的 $1/3 \sim 1/2$; 干燥介质温度一般低于 90 °C^[1], 有利于提高木材的干燥质量。因此, 真空干燥可以弥补常规蒸汽干燥的不足。本研

究着重探讨 2 种恒定负压下干燥介质初始温度对试材干燥速率和干燥质量的影响, 以期真空干燥工艺基准的制定, 提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

落叶松 (*Larix gmelinii*), 产自吉林, 树龄 40~50 年, 试材初含水率 44%~63%, 绝干密度 0.45~0.57 g/cm^3 。试材规格 1800 mm(L) × 100 mm(T) × 50 mm(R), 弦切板, 多为心边材交界处。

1.2 试验设备

导热油加热木材真空干燥-高温热处理一体化处理罐, 鼓风式烘箱等。

1.3 试验方法

初始介质温度是指由汽蒸预热阶段转入真空干燥阶段后, 密闭容器内的干燥介质温度。参照生产

收稿日期: 2011-03-18; 修改日期: 2011-06-10

基金项目: 引进国际先进林业科学技术计划(948 计划)(2009-4-54)。

作者简介: 张立宾(1984—), 男, 中国林科院木材工业研究所硕士研究生。

通讯作者: 高瑞清, 男, 中国林科院木材工业研究所副研究员。

常用的真空压力,设定三个初始介质温度水平,其分别对应不饱和($t_{\text{沸}}-5$)、饱和($t_{\text{沸}}$)、过热($t_{\text{沸}}+5$)三种热力学状态。试验参数及水平列于表 1。

表 1 真空干燥试验参数
Tab. 1 Vacuum drying experiment parameters

真空压力 P / mmHg	$t_{\text{初}}/^\circ\text{C}$			对应沸点/ $^\circ\text{C}$
	$t_{\text{沸}}-5$	$t_{\text{沸}}$	$t_{\text{沸}}+5$	
200	61	66	71	65.8
400	78	83	88	82.8

注: $t_{\text{初}}$ —初始介质温度, $t_{\text{沸}}$ —真空压力下的沸点,下同。

干燥过程:

- 1) 汽蒸预热阶段,以高于起始介质温度 8~10 $^\circ\text{C}$ 为宜,以 1.5 h/cm 厚计,预热 7.5 h;
- 2) 真空干燥阶段,每隔 12 h 开罐称重、检查缺陷,及时调整后续干燥基准,干燥介质温度调整增幅为 0、2、4 $^\circ\text{C}$ 三档,依据每组试件含水率的不同,干燥时间为 72~96 h;
- 3) 闭窑冷却阶段,试件含水率降至设定范围(8%~15%)后,停止风机转动和供热,使之在真空状态下下降至常温,卸压后将试材取出。

1.4 检测方法

每组试验取 6 根试材,按初始含水率由小到大依次编号,并记录可见缺陷;试材摆放、温度传感器排布如图 1 所示。其中,1—8 号表征木材内部温度;置于材堆间的温度传感器,表征材堆温度;干燥容器罐壁上的温度传感器,采集的是介质温度。将试材分为:①④为组 1,迎风侧;②⑤为组 2,材堆中间;③⑥为组 3,背风侧。

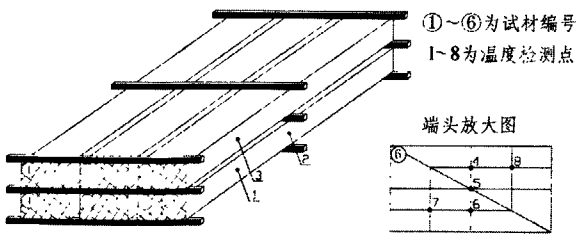


图 1 试材位置与温度传感器分布示意图

Fig. 1 Sample position and temperature sensor distribution

2 结果与分析

2.1 温度曲线

经过试验发现,2 种真空压力下,各初始介质温度时,试材的温度曲线变化规律基本相同。图 2 是以 $P=400$ mmHg、 $t_{\text{初}}=78$ $^\circ\text{C}$ 为例,在干燥过程中,试材温度的变化规律。

图 2 显示,材堆温度和木材内部温度,均随干燥

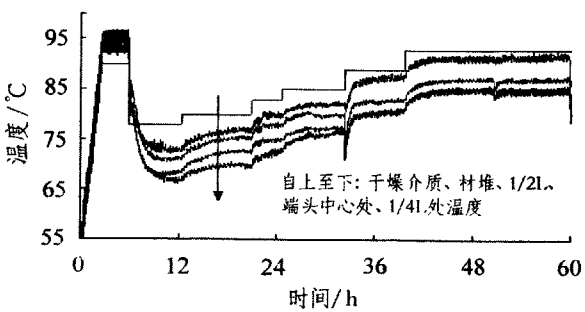


图 2 400 mmHg 真空压力下温度曲线

Fig. 2 Temperature curve under 400 mmHg vacuum pressure

介质温度改变而发生波动,介质温度>材堆温度>木材内部温度。真空干燥前期,介质温度与材堆温度差值较大,约为 4~7 $^\circ\text{C}$,干燥中后期,两者差值减小为 2~4 $^\circ\text{C}$,温差转变对应的干燥介质温度为 85 $^\circ\text{C}$,对应的试材含水率为 31%,即分界点在纤维饱和点附近,其他真空压力和初始温度下的试件,温差转变亦发生在纤维饱和点附近。而介质温度与木材内部温度差值,一直维持在 6~10 $^\circ\text{C}$ 。

同一试材上,端头中心处温度低于 1/2L 处。这是由于水分沿试材纵向移动的速率,远高于沿厚度方向,且水分逸出需要大量的汽化热,致使端头温度较低。随着干燥的持续进行,木材内部水分逐渐减少,端头水分的迁移驱动力逐渐增大,侧面的水分逸出量逐渐占据主导地位^[2],两者之间的温差愈来愈小。

2.2 干燥速率

2.2.1 连续真空干燥

图 3 为 2 种真空压力下,干燥介质温度对试材干燥速率的影响。在恒定真空压力下,随着干燥初始温度的提高,干燥前期速度加快。但随着木材含水率不断降低,虽然干燥温度不断提高,但干燥速率却呈递减趋势。主要原因是,干燥前期移出的多为试材中的自由水,此时干燥速率较高,随着试材含水率降低,逐步转为吸着水的迁移,阻力明显加大^[3],干燥速率下降。因此,增加后期干燥温度,对提高干燥速率效果不明显。

在 2 种真空压力下,不同介质温度时,试材的平均干燥速率见图 4。400 mmHg 真空压力下,试材平均干燥速率,约为 200 mmHg 时的 1.45 倍;而真空压力恒定时,随着初始介质温度的升高,试材平均干燥速率呈增长趋势,增幅为 17%~48%。初始介质温度的影响大于真空压力的影响,这是因为随着真空压力的降低,真空罐内的干燥介质亦越来越少,对流

换热效果较差,因而影响干燥介质对试材的加热效率。

2.2.2 间歇真空干燥

为了改善连续真空干燥工艺的不足,笔者考察了间歇真空的加热效率。以 $P=200\text{ mmHg}$ 、 $t_{\text{初}}=66\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为例,参照连续真空干燥基准,进行了间歇真空干燥试验,即按常压加热 2 h、真空干燥 4 h 进行循环,试验结果见图 5。

由图 5 看出,真空压力和介质温度相同时,间歇真空干燥工艺的平均干燥速率,约为连续真空干燥的 1.5 倍。原因:间歇真空干燥可间歇式地降低干燥后期的真空压力,既可增大内外压力差,又加大干燥介质的过热度,有助于木材内部水分加速迁移,使试材内部温度更快达到或超过真空压力下的沸点。

介质温度 t 与真空压力 P 之间的关系为: $t=t(P)+i$, $t(P)$ 为真空压力下的沸点,可通过查阅热力学图表获得, i 为增幅。制定干燥基准时,在保证木材干燥质量的前提下,要综合考虑两者分别对干燥速率的贡献率,实现低温低压的优化干燥工艺。

可见,在真空干燥试验中,并非真空压力越低越好。在生产中,干燥前期可采用较高真空压力和初始介质温度的连续真空干燥,而干燥后期,宜采取间歇式真空干燥,提高传热和干燥速率。

2.3 含水率

试材厚度方向上的含水率偏差,是判断试材干燥状况、是否产生开裂变形,以及是否需要进行热湿处理的重要参数。本试验中,试材厚度方向上的含水率偏差,如图 6 所示。200 mmHg 连续真空压力下,试材厚度方向上的含水率偏差,均满足二级以上干燥质量等级的要求($<4.5\%$),其中 $t_{\text{初}}=61$ 和 $66\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,达到一级($<3.5\%$); 400 mmHg 真空压力下,除 $t_{\text{初}}=78\text{ }^{\circ}\text{C}$ 达到一级干燥质量等级($<3.5\%$)外,其余为二、三级($<5.5\%$)。可见,含水率偏差随真空压力的降低而减小。

两种连续真空压力下,当初始介质温度 $<t_{\text{沸}}$ 时,试材厚度含水率偏差较小; $\geq t_{\text{沸}}$ 时,含水率偏差增

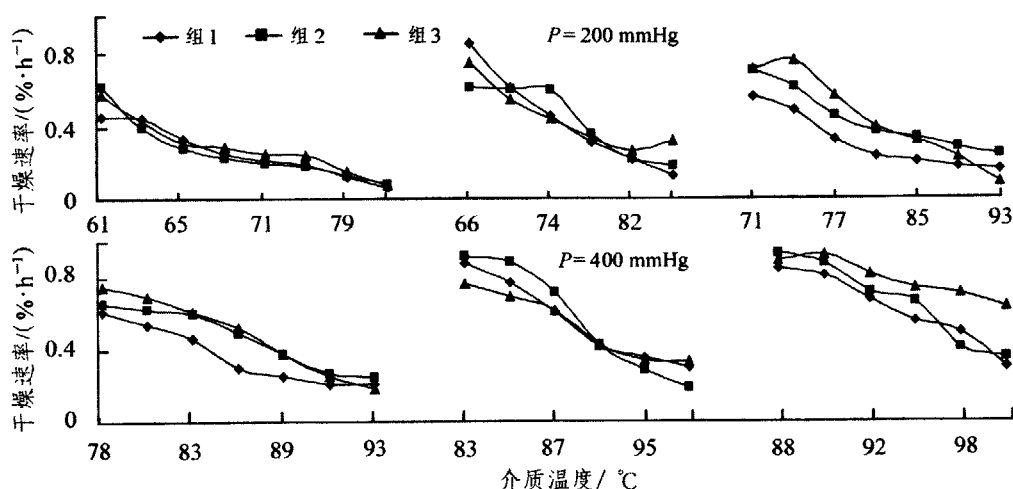


图 3 2 种真空压力下不同初始介质温度时锯材的分段干燥速率

Fig. 3 Drying rate of different initial medium temperatures under 200 and 400 mmHg vacuum pressure

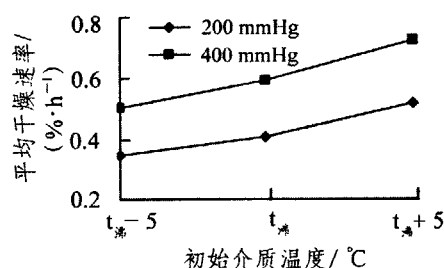


图 4 2 种真空压力下试材平均干燥速率

Fig. 4 Average drying rate of samples under 200 and 400 mmHg vacuum pressure

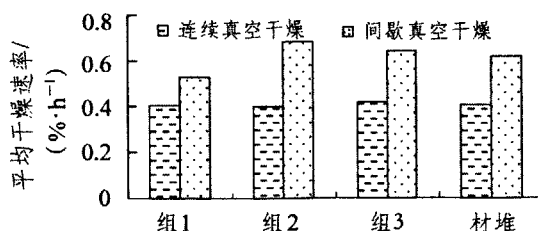


图 5 间歇和连续真空干燥工艺试材平均干燥速率

Fig. 5 Average drying rate of lumber under an intermittent and continuous vacuum drying process

大,以 2、3 组试材尤为明显。

原因是木材干燥初始阶段,采用较高温度,木材表层干燥速率很快,试材表层干缩产生较大拉应力,且这种状态持续时间较长,试材表面有塑性变定趋势,形成表面硬化^[4],一定程度上抑制了木材内部水分向表层的迁移,造成木材厚度方向上含水率偏差较大。

试验还发现,试材厚度方向上含水率偏差与试材所处位置有关,迎风侧偏差值最小,材堆中间偏差最

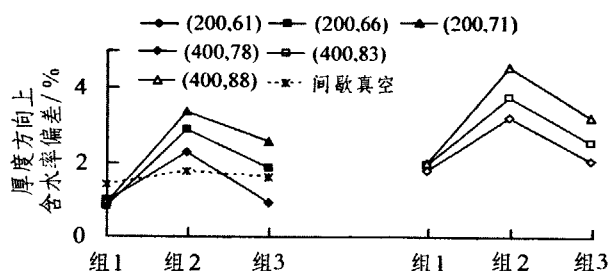


图 6 试材厚度上含水率偏差

Fig. 6 Moisture content deviation in the thickness samples under different vacuum pressure and medium drying temperatures

大,说明材堆中间传热条件较差。而采用间隙真空干燥工艺时,由于改善了材堆间的传热效率,试材厚度上含水率偏差,均达一级干燥质量等级,且 3 组之间含水率偏差控制在 2% 以内。

3 结论

1) 初始介质温度和真空压力,均对平均干燥速率有显著影响,初始介质温度的影响大于真空压力。

应综合考虑两者对试材干燥速率的影响。

2) 真空压力越低,或恒定真空压力下,初始干燥介质温度越低,试材厚度上含水率偏差越小;迎风侧试材厚度上的含水率偏差数值最小,材堆中间试材厚度上的含水率偏差最大。

3) 采用常压加热-真空干燥的间隙真空干燥工艺,可提高干燥速度,同时减小试材厚度上含水率偏差,提高干燥质量等级。

4) 试验证明,真空压力 400 mmHg,初始介质温度 78 °C 时,试材达到一级干燥质量等级,是较佳的对流加热连续真空干燥工艺。

参考文献:

- [1] 郝华涛. 现代木材干燥新技术[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2006.
- [2] 伊松林, 张壁光, 常建民. 木材浮压干燥的基本特性[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [3] 尹思慈. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [4] 陈太安, 顾炼百. 赤桉半干材的窑干与调湿处理工艺[J]. 木材工业, 2006, 20(5): 45-47. (责任编辑 张一萍、姜征)

《林产化学与工业》征订启事(双月刊)

ISSN 0253-2417 CN 32-1149/S

创刊于 1981 年,由中国林科院林产化学工业研究所、中国林学会林产化学化工分会共同主办,为全国林产化工行业的学术类期刊。

报道范围: 可再生木质和非木质生物质资源的化学加工与利用,包括生物质能源、化学品、新材料、天然活性成分和制浆造纸等;主要包括松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的创新研究成果。

被美国《化学文摘》、美国“乌利希国际期刊指南”、英国《英联邦农业和生物科学文摘》、英国《林产品文摘》、英国《全球健康》、英国《皇家化学学会系列文摘》、俄罗斯《文摘杂志》、“中国科学引文数据库”、“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、“RCCSE 中国核心学术期刊”等 10 多种大型刊库收录,2008 年还被评为“中国精品科技期刊”。

逢双月月末出版,定价:国内 15 元/期,全年 90 元;国外 \$15 元/期,全年 \$90 元。国内外公开发行,国内邮发代号:28-59;国外发行代号:Q5941。

地址:210042 江苏南京锁金五村 16 号 林化所内

电话:025-85482493 传真:025-85482493

Email: cifp@vip.163.com http://www.cifp.ac.cn

《生物质化学工程》征订启事(双月刊)

ISSN 1673-5854 CN 32-1768/S

由中国林科院林产化学工业研究所主办,面向国内外公开发行的全国生物质化工行业的技术类刊物。

报道范围 可再生木质和非木质生物质资源的化学加工与利用,包括生物质能源、化学品、新材料、天然活性成分和制浆造纸等;松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的研究成果。

美国《化学文摘》、《乌利希国际期刊指南》、RCCSE 中国核心学术期刊、中国农业核心期刊、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库、万方数据—数字化期刊群等收录期刊。

主要栏目 研究报告、综述评论、行业热点、国内外信息等。

读者对象 生物质化学工业、林产化学工业、林业、农业、森工、能源、轻工、化工、环保、医药、食品、土产、商检、外贸等行业人士。

单月月底出版,邮发代号 28-205,国内 10 元/期,全年 60 元;国外发行代号 BM 2743,年定价 60 美元。

地址:210042 南京市锁金五村 16 号 林化所内

电话:025-85482492 传真:025-85482493

Email: bce@vip.163.com http://www.bce.ac.cn