

应用技术

马占相思木材的柔性真空干燥工艺

王 宵, 高瑞清, 李晓玲, 高利祥

(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: 人工林马占相思木材干燥时易产生皱缩及内裂, 为改进干燥质量, 对 50 mm 厚的马占相思木材采用柔性真空干燥工艺。结果表明, 试材的干燥速率接近于恒速, 长度方向和厚度方向上的含水率分布均较均匀; 应用本试验中较优干燥工艺, 试样的干燥速率比常规干燥大幅提高, 干燥质量达到 GB/T 6491-1999《锯材干燥质量》规定的一级要求。

关键词: 马占相思; 柔性真空; 干燥工艺; 干燥质量

中图分类号: TS652

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654(2013)06-0045-05

Flexible Vacuum Drying Schedule for *Acacia mangium* Lumber

WANG Xiao, GAO Rui-qing, LI Xiao-ling, GAO Li-xiang

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry;

Key Lab of Wood Science and Technology of State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: *Acacia mangium* is one of the tropical plantation species. Since the small diameter of the tree-trunk, and the high proportion of the juvenile wood, it's easy to cause collapse and internal-check during drying. A flexible vacuum drying schedule was developed in order to improve drying quality of *Acacia mangium* lumber. The results showed that compared with conventional drying, the drying rate of flexible vacuum increased considerably, the total drying time of the tested samples from moisture content 64.75% to 10.01% was 42 hours and the drying quality could meet first grade requirement of the national standard GB/T 6491-1999.

Key words: *Acacia mangium*; flexible vacuum; drying technology; drying quality

马占相思原产澳大利亚, 树形直, 尖削度小, 出材率高, 密度与硬度适中, 心材宽, 呈浅褐色或褐色, 适合制作家具、细木工板、装饰人造板等。我国于 1979 年从澳大利亚引种, 先后在广东、广西、海南、福建等省区栽培, 目前种植面积已超过 8 万 hm^2 以上, 而且呈持续扩大趋势^[1], 在马来西亚等东南亚国家亦有大量种植。马占相思木材大多以实木的形式使用, 在干燥中, 易出现皱缩及内裂等缺陷, 降低了其利用率^[2]。

柔性真空干燥是一种快速、高质量的干燥方法, 设备简单, 尤其适用于干燥难干材和异型材^[3], 在低温条件下进行干燥, 有助于减少木材皱缩和内裂等缺陷, 并提高干燥速率。鉴于此, 笔者针对马占相思木材的特性, 制定了柔性真空干燥工艺, 旨在为提高其干燥质量和利用率, 提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

马占相思(*Acacia mangium*), 马来西亚进口材, 某木材进口公司提供, 树龄 20 年, 初含水率 55%~122%, 规格(长×宽×厚) 900 mm×700 mm×50 mm。

收稿日期: 2013-03-26; 修改日期: 2013-10-10

基金项目: 引进国际先进林业科学技术计划“木材柔性真空管道干燥技术引进”(2009-4-54)。

作者简介: 王宵(1989—), 女, 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。

1.2 试验装置

木材柔性真空干燥试验设备, 主要包括: HED-0603 型真空泵、水浴箱、柔性装载装置、真空分配罐等^[3]。

1.3 干燥工艺

在生产常用的压力范围内, 尽可能选取较低的真空绝对压力值。柔性真空干燥在较低的温度下进行, 使装载装置中的水蒸气处于过热状态。试验各变量因子及水平列于表 1。总计 9 组试验, 每组 8 个试样。在试验过程中, 定期取出试样称重, 测量含水率, 至含水率达到 9% 左右时, 停止干燥。

表 1 试验因子与水平

变量因子	水平		
	1	2	3
T 温度/℃	50	55	60
P 真空绝对压力/kPa	6.67	10.00	13.33

1.4 检测方法

根据 GB/T 6491-1999《锯材干燥质量》, 检测试样的含水率、横向残余应力、顺弯、横弯、翘曲、内裂、纵裂等干燥质量指标。制取试片方法如图 1 所示。

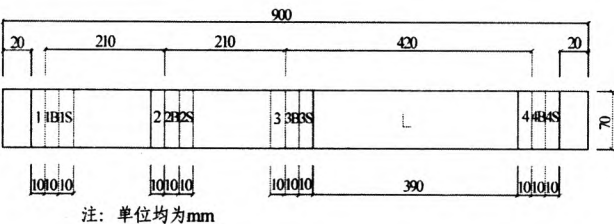


图 1 试片制取方法

Fig. 1 Diagram of sampling

其中: 试片 1、2、3、4, 用于测量试样长度方向的含水率分布; 试片 1B、2B、3B、4B, 用于测量厚度方向上的含水率分布; 试片 1S、2S、3S、4S, 用于测量横向残余应力。

2 结果与分析

试材干燥质量指标的检测结果, 列于表 2。

表 2 马占相思木的干燥质量检测结果

Tab. 2 Drying quality of Acacia mangium samples

检测项目	试验编号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	50	50	50	55	55	55	60	60	60
真空绝对压力/kPa	6.67	10.00	13.33	6.67	10.00	13.33	6.67	10.00	13.33
平均初含水率/%	75.11	96.22	83.45	88.74	71.43	82.46	100	64.75	70.66
平均终含水率/%	10.51	10.12	19.17	9.72	9.79	10.97	9.42	10.01	9.14
干燥时间/h	118	230	614	98	110	228	58	42	102
平均干燥速率/(%·h ⁻¹)	0.58	0.38	0.09	0.85	0.61	0.35	1.6	1.41	0.71
厚度方向含水率偏差/%	2.62	3.35	11.12	1.18	1.48	2.45	0.44	0.78	1.07
顺弯/%	—	—	—	—	—	—	—	—	—
横弯/%	0.2	0.2	0.1	0.4	0.3	0.2	0.8	0.5	0.4
翘曲/%	—	—	—	—	—	—	—	—	—
扭曲/%	—	—	—	—	—	—	—	—	—
内裂/%	—	—	—	—	—	—	—	—	—
纵裂/%	—	—	—	—	—	—	6.1	2.2	—
皱缩/mm	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.6	0.4	0.4
横向残余应力/%	0.8	0.7	0.6	1.2	1.0	0.9	1.5	1.3	1.3

注: —为没有出现相应缺陷。

2.1 干燥速率和干燥曲线

2.1.1 干燥速率

温度和真空绝对压力对试样干燥速率影响的方差分析见表 3。

表 3 温度和真空绝对压力对试样干燥速率影响的方差分析

Tab. 3 Variance of analysis of temperature and vacuum pressure on drying rates of samples

变量	自由度	平方和	均方	F 值	p 值
T	2	8.536	4.268	1245.821	0.00002
P	2	6.442	3.221	940.178	0.00012
T-P	4	0.923	0.231	67.362	0.00047

注: T-P 为温度和真空绝对压力的交互作用。

从表 3 看出, 温度和真空压力显著性检验值均 < 0.05, 说明两个因素对干燥速率的影响非常显著, 且温度对干燥速度的影响大于真空绝对压力, 二者之间的交互作用明显。

温度和真空绝对压力对干燥速率的影响如图 2 所示。在真空绝对压力一定时, 随着温度的升高, 干燥速率增加; 在温度不变时, 随着真空绝对压力的降低, 干燥速率增加。这是因为随着温度升高, 木材中水分子热运动加剧, 加速了水分蒸发速率; 而真空绝对压力减小, 木材内水分的沸点降低, 亦可促使水分的移出速度加快。

2.1.2 干燥曲线

绘制各组试样的干燥曲线后发现, 其变化规律类似, 选择两组典型的干燥曲线见图 3。

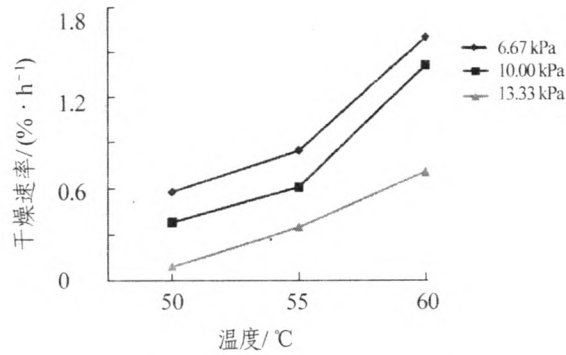


图 2 温度和真空绝对压力对试样干燥速率的影响
Fig. 2 Effect of temperature and vacuum pressure on drying rates

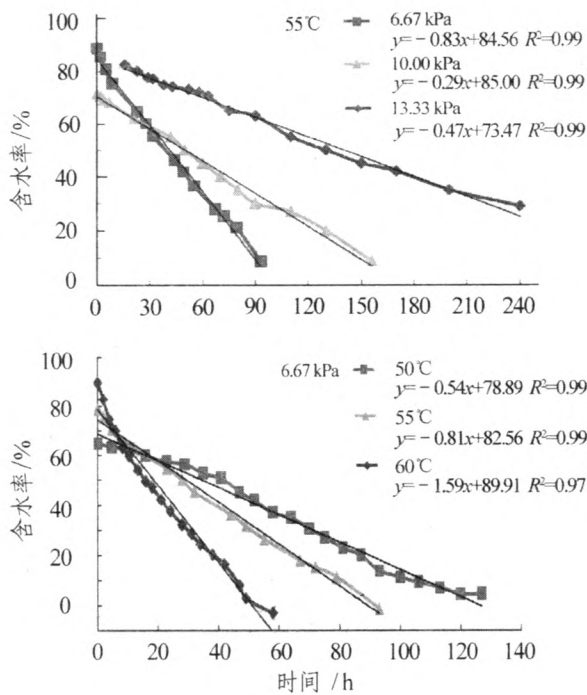


图 3 试样的干燥曲线
Fig. 3 Drying curve of samples under different temperatures and vacuum pressures

图 3 显示,在温度不变时,随着真空绝对压力的升高,干燥曲线的斜率逐渐减小;在压力一定时,随着温度的升高,干燥曲线的倾斜度逐渐增大。对各干燥曲线进行线性拟合后,得出测定系数 $R^2 > 0.97$,干燥曲线的线性特征十分明显,马占相思木材的干燥速度接近恒速。

2.2 含水率分布

由于各组试样分别在长度、厚度方向的含水率梯度变化规律大致相同,因此,选择两组试样,分别分析其长度和厚度方向上的含水率分布规律,如图 4 所示。

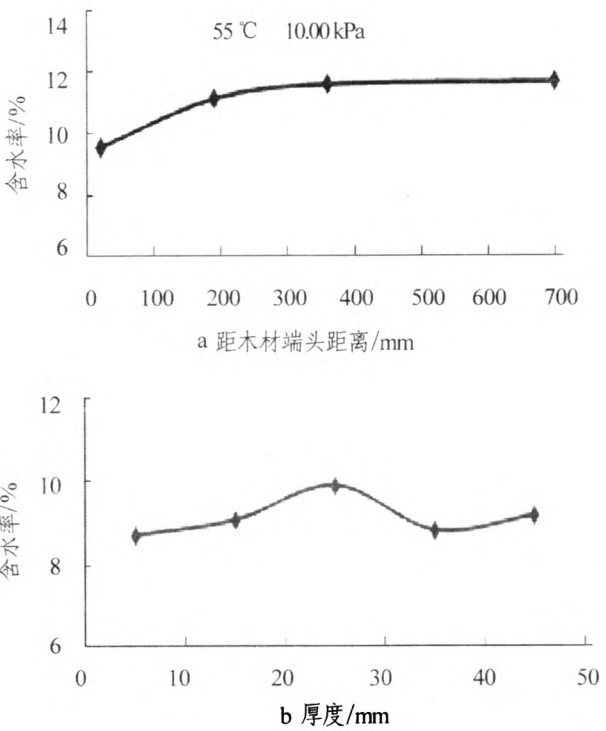


图 4 试样长度方向和厚度方向上含水率分布
Fig. 4 Moisture content distribution along the length and thickness direction

图 4a 显示,在长度方向上,靠近抽真空管木材端头区域的含水率较低,随着距端头距离的增加,含水率略有提高。

这是因为在干燥过程中,靠近抽真空管的一端试材内部压力较小,压力梯度较大,试材中水分在较短时间内达到沸点,因而蒸发加快。随着距抽真空管的距离增加,压力值逐渐增大,压力梯度变小,水分蒸发变缓。

从表 2 看出,除第 3 组试样外,其他各组试样厚度方向含水率偏差,均符合标准中干燥质量等级一级要求($<3.5\%$)。由图 4b 可知,厚度方向上,与常规干燥的抛物线曲线相比,含水率变化曲线较平坦,试样表面的含水率略低于中心部位。原因是在柔性真空干燥中,受压力梯度的驱使,木材中的水分可以纵向从细胞腔内通过纹孔移动到另一个细胞,使得木材芯部的水分较易向表面移动,导致厚度方向上的水分梯度较小^[4]。

2.3 干燥缺陷

各组试样均出现了不同程度的横弯、皱缩和横向残余应力,因此,对这 3 个指标进行温度和真空绝对

压力影响的方差分析,结果列于表4。

表4 温度和真空绝对压力对横弯、皱缩和横向残余应力影响的方差分析

Tab. 4 Variance of analysis of temperature and vacuum pressure on cupping, collapse and residual stress

干燥缺陷	变量	自由度	平方和	均方	显著性
横弯	T	2	0.355	0.177	0.0009
	P	2	0.036	0.018	0.0016
皱缩	T	2	0.510	0.239	0.0004
	P	2	0.061	0.035	0.0031
横向残余应力	T	2	0.477	0.377	0.0007
	P	2	0.071	0.155	0.0025

从表4可知,温度和真空绝对压力对干燥试样的横弯、皱缩和横向残余应力,均有非常显著的影响,且温度的影响大于真空绝对压力。

在不同干燥条件下,试样的横弯、皱缩和横向残余应力的变化情况,如图5所示。

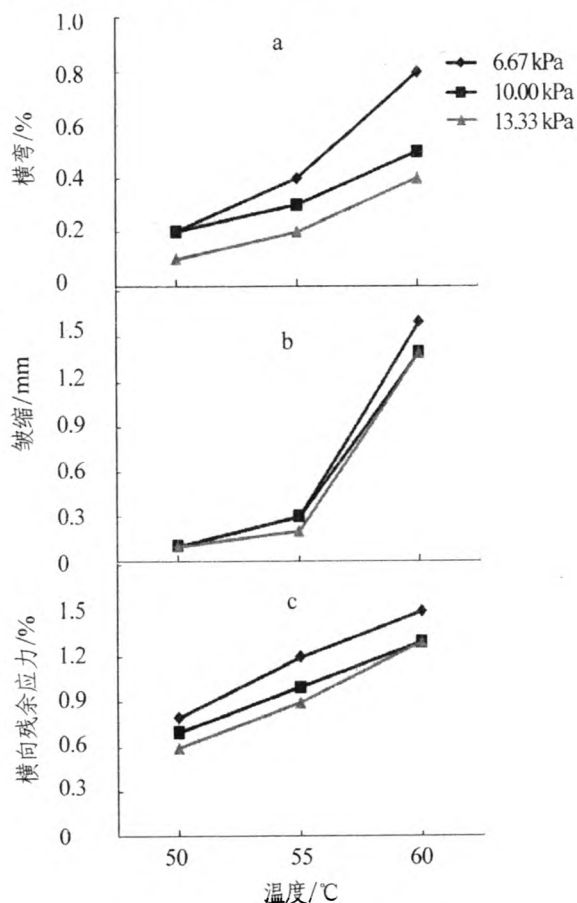


图5 温度和真空绝对压力对试样横弯、皱缩和横向残余应力的影响

Fig. 5 Effect of temperature and vacuum pressure on cupping, collapse and transversal residual stress

1) 横弯 从表2看出,除第7组试样的横弯为标准规定的二级外,其他组试样均达到一级。从图5a看出,当真空绝对压力一定时,随着温度的升高,或当温度不变时,随着真空绝对压力的降低,试样横弯变形均增加。这是由马占相思木材自身的特性决定的,如试材的纹理不通直,或有应力木和幼龄材的存在等。

2) 皱缩 表2显示,各组试样均出现了轻微的皱缩,但不影响使用。图5b显示,温度对皱缩的影响较大,随着温度的升高皱缩程度明显加大。

这是因为温度对木材内水分的移动速度影响大,干燥温度越高,水分通过穿孔和纹孔所产生的毛细管张力作用于细胞上的时间变短,当张力超过木材细胞的横纹抗压极限强度时,木材细胞发生溃陷,造成木材皱缩^[5]。

3) 横向残余应力 从表2可看出,各组试样的横向干燥残余应力,均达到GB/T 6491-1999规定的一级要求($<2.5\%$)。从图5c看出,温度对干燥应力的影响更显著,干燥温度越高,干燥应力越大。原因是温度越高,木材内部的水分子热运动越剧烈,水分蒸发的速度和强度越大,表层含水率与芯层含水率梯度越大,致使自由干缩应变和机械吸湿应变越剧烈,因而干燥应力变大。

4) 开裂及材色 表2显示,所有试件均未产生内裂;除第7、8组试样外,其他组试样均未产生纵裂。主要原因是真空干燥时,木材厚度上含水率偏差较小,内外层木材干缩差异不明显。

经柔性真空干燥后,试样的材色与处理前相比,未产生明显的变化。

2.4 综合干燥质量评价

根据各组试样的干燥缺陷检测结果(表2),对照国标GB/T 6491-1999,各组试样的干燥质量等级及干燥速率,见图6。

由图6和表2可知,综合考虑干燥速度和干燥质量,以第8组试样的工艺较佳,即干燥温度60℃,真空绝对压力10.00 kPa。

采用此工艺,将50 mm厚的马占相思锯材从初含水率64.75%干燥至终含水率10.01%,仅需要42 h,干燥速率1.41%/h,干燥质量一级,比常规干燥速度,提高5倍以上。

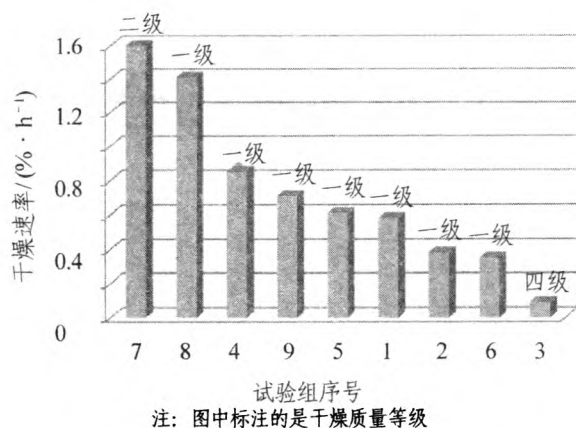


图 6 各组试样的平均干燥速度和干燥质量等级

Fig. 6 Integrated drying rate and drying quality

3 结论

1) 在马占相思木材的柔性真空干燥中,干燥速度随温度的升高而增加,随真空压力的降低而增大;柔性真空干燥速度接近恒速。

2) 在长度方向上,各组试样越靠近木材端头,含水率越低,但整体差异较小;在厚度方向上,含水率分布曲线较均匀。除第 3、7 组试样,其他试样的干燥质

量均达到一级。

3) 50 mm 厚马占相思锯材较优的干燥工艺条件为:干燥温度 60 ℃,真空绝对压力 10.00 kPa。在此条件下,干燥质量可达到一级,干燥速率比常规工艺提高 5 倍以上。

4) 其他厚度规格的马占相思试材,及其在波动干燥温度和压力条件下的干燥工艺有待进一步试验研究。

参考文献:

- [1] 刁海林,罗建举. 马占相思木材蠕变特性的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(6): 146-151.
- [2] 薛振华,王喜明. 马占相思木材超微构造及其皱缩[J]. 内蒙古农业大学学报, 2002, 23(4): 12-17.
- [3] 王宵,高瑞清,李晓玲. 木材柔性真空干燥技术的发展与应用[J]. 木材工业, 2013, 27(2): 38-41.
- [4] Zhang jing Chen, Fred M Lamb. A vacuum drying system for green hardwood parts[J]. Drying Technology, 2004, 22(3): 577-595.
- [5] 王喜明. 木材皱缩[M]. 北京:中国林业出版社, 2003: 26-27.

(责任编辑 张一萍、姜 征)

行业简讯

木工分会东北区组及制材研究会 举办研讨会

中国林学会木材工业分会东北地区委员会与木材工业分会制材研究会学术研讨会,于 2013 年 9 月在山东泰安召开。

本次会议由东北林业大学材料科学与工程学院、黑龙江省木材科学研究所承办,北华大学、辽宁林业职业技术学院、山东农业大学林学院协办。来自东三省及山东、北京、江苏、安徽、广西等地的高校、科研院所、企业代表近 50 人参会。

此次会议以“提高木材综合利用率、发展木材节约代用、木材加工技术的发展与环境相协调、木材产品的深加工技术”为主题,分析东北地区及制材领域的地域和行业特点,探讨相应的可持续发展战略,交流研究开发成果、生产经验和管理技术,旨在为东北地区木材加工及全国制材行业的技术进步与转型升级,搭建产学研合作平台,提供技术支持。

木工分会

第 14 次全国木材干燥学术 研讨会在京召开

2013 年 10 月,由中国林学会木材工业分会木材干燥研究会与中国林产工业协会干燥专业委员会联合主办、北京林业大学承办的“第十四次全国木材干燥学术研讨会”在京举行,来自科研、高校、木材干燥企业及专业媒体的代表 100 余人到会。

围绕“开展速生材、珍贵木材、进口材、浸渍改性木材及其他相关材料的干燥技术研究,推进节能、环保、高效干燥及热处理技术进步”的会议主题,专家们分别就热带硬阔叶材石蜡油干燥技术、微波作用下木材干燥应力释放机理、传统木材干燥实现节能减排的途径、木材热诱发变色研究等议题进行了交流。

随后,针对干燥技术基础理论、木材改性技术、木材干燥特性、干燥工艺技术等专题,分别设置了分会场,与会者就上述领域中的新技术、新工艺、新装备的研究开发与应用成果,进行了交流。

张一萍