

基于热泵系统的安哥拉紫檀锯材干燥基准制定

刘能文, 曹长坤

(木材节约发展中心, 北京 100834)

摘要: 在环保和成本压力下, 采用空气源热泵为木材干燥生产供热逐步成为首选。通过预试验和优化生产性试验研究, 得出 20 mm 厚安哥拉紫檀锯材基于热泵系统的干燥基准, 为木材加工企业干燥生产提供技术支持。

关键词: 安哥拉紫檀; 锯材; 常规干燥基准; 热泵系统

中图分类号: S781.71; S792.29

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654 (2018) 05-0041-03

Drying Schedules Based on a Heat Pump System for Umbila Lumber

LIU Neng-wen, CAO Chang-kun

(Wood Value Promotion and Sustainable Development Center, Beijing 100834, China)

Abstract: Air source heat pump systems have gradually become the first choice for wood drying heating systems under pressure from environmental protection and rising costs in recent years. Drying schedules for 20 mm thick Umbila Lumber, based on a heat pump system, were obtained by pretest and production optimization tests for reference to wood drying processing.

Key words: Umbila; lumber; conventional drying schedules; heat pump systems

木材常规干燥生产大多采用煤炭、木材加工剩余物等作为燃料提供热能, 能耗大, 利用率低, 污染环境。近年来, 随着国家大力倡导工业节能减排降耗, 强力推进环保措施, 越来越多的木材加工企业在环保政策压力和生产成本考量下, 开始采用空气源热泵为木材干燥生产进行供热。

空气源热泵的工作原理是在电能驱动下, 利用压缩机, 将工质经过膨胀后, 在蒸发器内蒸发成为气态, 并大量吸收空气中的热能, 气态的工质经压缩机压缩成为高温、高压的气体, 然后进入冷凝器放热, 从而为干燥介质供热, 如此不断循环^[1]。由此可知, 热泵是一种把低品位热能转换为高品位热能的热力转换设备^[2]。

空气源热泵应用于木材干燥生产具有干燥成本低、无污染、自动化程度高等显著优点, 是一种行之有效的节能、环保干燥技术。但是, 目前鲜有基于热泵系统木材干燥基准的研究, 更无相关标准供企业参考使用。

笔者单位在 2016 年将 3 间 100 m³ 木材常规干燥室的燃煤锅炉供热, 改造为空气源热泵供热, 经过近 2 年的生产性试验研究, 制定出基于热泵系统的十几种常用木材的干燥基准。

安哥拉紫檀 (*Pterocarpus angolensis*), 俗称亚花梨, 商用名 Umbila, 主产于中非至西非地区, 因其材质好, 花纹美丽, 加工性能良好, 且价格相对较低, 被较多用于实木家具制造。但在其干燥过程中开裂较多, 周期长^[3], 成本高。因此, 笔者针对 20 mm 厚安哥拉紫檀锯材进行了基于热泵系统的干燥基准研究, 以期为企业使用热泵系统进行木材干燥生产, 提供技术支持。

收稿日期: 2018-05-29; 修改日期: 2018-08-01

基金项目: 国家行政事业项目“中国木材节约代用发展战略研究与木材保护工程”(2950800000006)。

作者简介: 刘能文 (1963—), 男, 木材节约发展中心高级工程师。

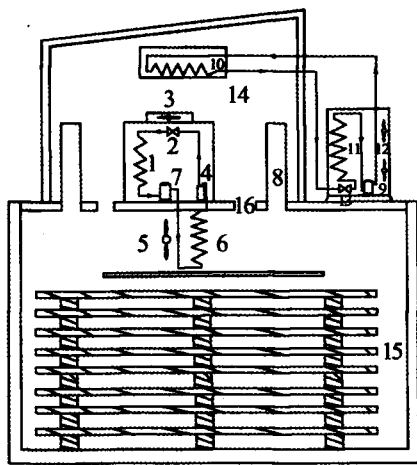
1 材料与方法

1.1 试验材料

安哥拉紫檀(*Pterocarpus angolensis*),毛边锯材,长度 2 000 mm,宽度 200~600 mm,厚度 20 mm,气干密度 0.70 g/cm³,初含水率 40%~50%。

1.2 试验装置

1) 100 m³ 木材热泵干燥室,如图 1 所示^[2]。



1, 11—蒸发器; 2, 13—节流阀; 3, 5, 12—风机; 4—蓄水池; 6, 10—冷凝器;
7, 9—压缩机; 8—进气口; 14—主机室; 15—干燥室; 16—排湿口

图 1 木材热泵干燥系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of wood drying
with a heat pump system

木材热泵干燥系统采用干燥热泵和低温热泵耦合的应用方案,系统包括三部分:

① 干燥热泵:为干燥室提供热量,由于冷凝器在干燥室内,可以在不排湿的情况下持续供热,热源来自室外新风、排湿空气及低温热泵补热。

② 低温热泵:为主机室补热辅助热泵干燥,热源为室外空气。若环境最低温度>5℃时,不需启动,只在环境最低温度<5℃时才启动,为主机室补热,以保证干燥热泵正常工作。

③ 干燥介质循环系统:当干燥室达到排湿要求时,湿空气从排湿口排出,经过除湿后的空气从进风口再回送进入干燥室。

干燥热泵与低温热泵的主要参数见表 1^[2]。

2) 其他:电热鼓风干燥箱、精密推台锯、木材水分仪、电链锯等。

1.3 试验方法

按照 LY/T 1068-2012《锯材窑干工艺规程》进行

表 1 热泵系统主要参数

Tab.1 Main parameters of heat pump system

热泵类型	最高加热温度/℃	工作环境温度范围/℃	加热功率/kW	型号	制冷剂	压缩机功率/kW
干燥热泵	80	-10~35	80.0	FWR-20 x2/Z1	R134a	10
低温热泵	30	-15~35	16.5	FGR14/D-N4	R22	5.3

木材堆积、入窑操作。热泵系统每 10 min 自动记录木材含水率、窑内温度和湿度;通风机每 3 h 换向一次。干燥至终含水率为 10%左右,停止干燥,检测木材的各项干燥质量指标,整理系统记录的数据。

为了得到较优的热泵干燥基准,试验分两步进行。

1) 预试验 参照 20 mm 厚安哥拉紫檀的常规蒸汽干燥基准^[3],将干燥各阶段温度全部调低 10℃。湿空气所对应的平衡含水率保持不变,以初步确定锯材的热泵干燥基准。试材材积约 50 m³。

2) 优化试验 在满足木材干燥质量标准要求的前提下,以缩短干燥周期为主要目标,对预试验确定的热泵干燥基准进行优化。共进行 6 次试验,每次材积均约 50 m³。根据每次试验结果,调整干燥温度、湿度等参数,逐步筛选并确定锯材的优化干燥基准。

采用该基准进行 9 次重复性试验,根据系统记录的数据,制定出安哥拉紫檀木材热泵干燥的时间基准。

1.4 性能检测

参照 GB/T 6491-2012《锯材干燥质量》,检测试材的平均终含水率、干燥均匀度、厚度上的含水率偏差、残余应力、弯曲和开裂等指标。

按照木材干燥质量等级二级要求(适用于家具、建筑门窗、实木地板、细木工板、室内装饰等),核定木材干燥质量。

2 结果与分析

2.1 预试验

由于该干燥热泵系统无热湿处理装置,根据已有的常规蒸汽干燥基准,为降低试验风险,采取了较温和的干燥基准(表 2)进行试验,锯材干燥质量检测结果列于表 3。

表 2 锯材预试验干燥基准

Tab.2 Pretest drying schedules for Umbila lumber				
处理阶段	含水率/%	干球温度/℃	相对湿度/%	时间/h
预热阶段		30	自然	10
干燥阶段	MC>40	40	80	
	30<MC≤40	42	75	
	25<MC≤30	45	70	
	20<MC≤25	47	55	
	15<MC≤20	50	45	
	10<MC≤15	55	35	

表 3 预试验及优化试验试材的干燥质量

Tab.3 Drying quality of Umbila lumber with pretest drying schedule and optimized drying schedule			
检测指标	干燥质量		GB/T 6491-2012 规定值（二级）
	预试验	优化试验	
平均终含水率/%	9.2	9.7	8~12
干燥均匀度/%	±1.2	±3.4	±4
厚度上的含水率偏差/%	1.4	2.1	2.5
残余应力（切片）/%	0.12	0.18	≤0.22
弯曲/%	顺弯	1.0	1.6
	横弯	0.4	0.6
	翘弯	1.3	2.4
	扭曲	0.8	1.5
开裂	纵裂/%	2	4
	内裂/条	0	0
皱缩深度/mm	0	0	

由表 3 可知，预试验的锯材干燥质量满足 GB/T 6491-2012 中干燥质量等级二级要求，个别指标达到了一级要求。但整个干燥周期长达 24 天，生产效率较低，干燥成本高。为此，在满足干燥质量标准要求的前提下，对预试验的干燥基准进行优化。

2.2 优化试验

优化试验时发现，预热阶段温度超过 30℃时，该阶段完成后窑内的湿度偏低；而预热温度低于 30℃，干燥窑内湿度增加较慢，不利于后期干燥。因此，设定预热温度为 30℃为宜。

干燥初期，窑内温度低于 45℃、末期低于 65℃时，木材的含水率下降缓慢，干燥周期较长；若干燥初期窑内温度高于 45℃、末期温度高于 65℃时，锯材又容易出现纵裂、变形等缺陷。因此，确定干燥初期温度为 45℃，干燥末期温度为 65℃。

针对上述问题，适时调整干燥基准，优化干燥

基准下试材的干燥质量和周期检测结果，亦列于表 3 中；最终得到的优化干燥基准，列于表 4。

表 4 安哥拉紫檀锯材适宜的优化干燥基准

Tab.4 Optimized drying schedules for Umbila lumber				
处理阶段	含水率/%	干球温度/℃	相对湿度/%	时间/h
预热阶段		30	自然	6
干燥阶段	MC>40	45	80	
	30<MC≤40	47	70	
	25<MC≤30	50	60	
	20<MC≤25	55	50	
	15<MC≤20	60	40	
	10<MC≤15	65	30	

采用优化干燥基准，进行 9 次干燥验证试验，得出锯材热泵干燥的时间基准，如表 5 所示。

表 5 安哥拉紫檀锯材热泵干燥时间基准

Tab.5 Optimized drying schedules based on heat pump system for Umbila lumber			
处理阶段	干球温度/℃	相对湿度/%	时间/h
预热阶段	30	自然	6
干燥阶段	45	80	120
	47	70	72
	50	60	72
	55	50	96
	60	40	48
	65	30	24

2.3 成本对比

环境温度 0~20℃，初含水率为 40%，终含水率为 10%，采用 100 m³ 的常规干燥室和热泵干燥系统进行 20 mm 厚安哥拉紫檀锯材干燥，干燥室一次装载 20 mm 厚安哥拉紫檀毛边锯材约 50 m³，两种干燥方式的干燥周期均约 18 d，干燥周期相当或略有降低，干燥成本的对比分析见表 6。

表 6 两种干燥方式的成本对比

Tab.6 Comparison of cost between wood drying methods						
类别	干燥成本/元					平均成本/ (元·m³)
	煤炭费	电费	水费	人工费	合计	
常规干燥室	3 300	2 100	100	4 000	9 500	190
热泵干燥系统	—	4 500	—	3 000	7 500	150

注 1：煤炭按 550 元/t、电费按 0.85 元/度计算；
注 2：设备折旧及其他如场地租金、维修费等各地差异性较大的费用，未列入。

(下转第 49 页)

3 江西省家具产业的发展建议

3.1 加快产业园区建设

兴建标准化厂区,合理规划家具产业园,实现家具企业的有效聚集,统一规划,统一管理。同时兼顾家具企业原有布局,实行“市级家具产业园区+乡镇家具生产集聚区”的“就近为主,统筹安排”的原则。对于入园入规的企业合理进行环评、安评和能评的审定,已经生产的企业要求严格按照7S现场管理法进行管理。保障基本实现“个转企、小升规”的要求,实现产业有序升级。

3.2 培育区域特色品牌

推进区域品牌和名优企业建设,争创区域名牌的产业战略布局。形成“南康实木家具”、“樟树金属家具”、“南城校用家具”的特色产业名牌,与优质区域产业名牌靠拢,提高消费者信赖口碑,加深顾客认知度。

同时扶持本地优势企业做强做大,引进外地配套企业,完成产业链整合。组建品牌联盟,搭建优势平台,推行团体标准,实现产业升级。

3.3 打造人才流动机制

建立合理的人才流动机制,建立统一的人才资源市场;完善人才市场的供求价格机制,拓展服务功能和服务领域;提高人才市场化水平,降低人才流动的成本和风险;建立统一的人才市场信息网络,实现人才资源共享;促进人才与资本、技术等要素的有

机结合,实现人才市场与其它要素市场的相互贯通;让管理人才、技术人才最大程度发挥引领作用。

3.4 共建线上线下平台

紧扣国家“两化融合”新要求,推动云平台建设,实现家具产业与“互联网+”深度融合,通过远程制造、资源调配,促进传统的批量化、标准化生产方式向“工业4.0”时代的个性化、定制化转变,把南康云平台“1+1+5+1”模式(在线交易B2B平台+定制化业务协同模式+5个特色服务:包括移动商务、3D打印、设计师联盟、金融服务和智能工厂+公共服务平台)推广到樟树、南城,实现同步升级,助推江西家具产业集群转型升级。

参考文献:

- [1] 杨巍巍. 赣南家具产业升级研究[J]. 木材加工机械, 2017(6): 38-40.
- [2] 卢文强. “草根”产业的“蝶变”: 樟树市金属家具产业的调查与思考[J]. 全国商情(经济理论), 2015(18): 66-68.
- [3] 杨巍巍, 鲁锋. 赣南家具企业设计环节的调查与分析[J]. 木材工业, 2013, 27(4): 50-52.
- [4] 樟树金属家具产业: 演绎从草根经济到支柱产业“传奇”[N]. 江西日报, 2014-09-23 (A04).
- [5] 王小林. 聚优势强基地着力打造南城校具产业强县[J]. 老区建设, 2012(3): 29-31.
- [6] 杨巍巍, 鲁锋, 解悠悠. 赣南家具企业生产环节的调查与分析[J]. 木材加工机械, 2016(3): 50-53.
- [7] 杨巍巍. 赣南家具产业现状与展望[J]. 木材工业, 2014, 28(6): 51-53.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)

(上接第43页)

由表6可以看出,常规干燥室完成1窑次 50 m^3 20 mm厚安哥拉紫檀毛边锯材的干燥,平均成本约190元/ m^3 ;木材热泵干燥系统完成1窑次锯材干燥,平均成本约150元/ m^3 ,干燥成本降低约21%。最重要的是,该系统采用电能作为运行能源,干燥过程无污染物排放,实现了清洁生产。

3 结论

1) 采用本试验确定的热泵干燥系统优化干燥基准进行干燥生产,锯材的干燥质量能够满足GB/T 6491-2012二级干燥质量要求。

2) 与常规干燥相比,干燥周期基本一致,干燥

成本有效降低15%~25%,且能够满足企业进行清洁干燥生产的需要。

3) 在实际生产中,企业应根据基于热泵系统干燥室的具体条件以及锯材树种规格、初含水率等参数,适当调整干燥基准。

参考文献:

- [1] 惠凯. 联合式木材干燥窑的应用与展望[J]. 科技创新与应用, 2017(26): 167-169.
- [2] 周鹏飞. 热泵干燥过程中低温热泵补热的应用分析[J]. 化工学报, 2018, 69(5): 2032-2039.
- [3] 刘能文. 木材干燥实践技术手册[M]. 北京: 中国林业出版社, 2018.

(责任编辑 向琴、孟凡丹)