



GRCT 组合干燥工艺的研究

高建民, 张璧光, 伊松林

(北京林业大学材料学院, 北京 100083)

摘要: 通过高温热泵除湿与太阳能 (GRCT) 组合干燥的大量工艺试验, 总结出了 GRCT 组合干燥系统的工艺特点, 确定了 GRCT 组合干燥部分常规树种木材的干燥基准。结果表明, GRCT 组合干燥系统是一种节能效果明显、干燥质量优良的木材干燥方法, 更适合干燥较硬的木材。

关键词: GRCT 组合干燥; 干燥工艺; 干燥质量; 干燥基准

中图分类号: TS652 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8654(2004)01-0024-03

A Study on High-temperature Heat Pump Dehumidification Assisted with a Solar (GRCT) Drying Process

GAO Jian-min, ZHANG Bi-guang, YI Song-lin

(College of Forest Products and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The performance and technologies of high-temperature heat pump dehumidification assisted with solar drying (GRCT drying system) of lumber were experimentally studied. The results indicated that this combination drying system showed an advantage in saving energy and was also more suitable for hard wood drying. Drying schedules of the GRCT system for some common commercial wood species, such as Larch (*Larix* spp.), Poplar (*Populus* spp.), Oak (*Quercus* spp.), Manchurian Ash (*Fraxinus mandshurica*) and Linden (*Tilia* spp.) are provided.

Key words: GRCT assisted drying system; Drying process; Drying quality; Drying schedule

木材干燥工艺是保证木材干燥质量的关键, 目前我国木材干燥多以常规蒸汽干燥为主。从木材干燥技术发展方向来看, 除湿干燥因木材干燥质量好而具有广阔的应用前景, 但因其干燥温度低、干燥周期比较长, 应用尚不够普遍。我国目前的除湿干燥设备主要是中温型, 其最高供风温度不超过 60℃, 也没有比较系统的干燥工艺。

GRCT 干燥系统是一种以高温热泵除湿为主、以太阳能干燥为辅的组合干燥系统, 其特点是节能, 干燥质量优于常规蒸汽干燥, 适合于干燥厚板和硬阔叶树材。由于高温热泵除湿干燥的最高供风温度仅有 75℃左右, 比常规蒸汽干燥的温度偏低, 且该系统的某些工艺性能尚不够成熟, 因此, 必须研究和开发适

合 GRCT 组合干燥系统的干燥工艺, 为该项技术的推广使用提供技术依据。

本试验是在 RCG30G 高温热泵除湿干燥机性能试验的基础上, 对水曲柳、椴木、柞木、红松、白松、落叶松及杨木等常规树种木材进行了 GRCT 组合干燥, 对其干燥工艺性能进行了总结。本文以 4 cm 厚杨木和 3.8 cm 厚落叶松锯材的干燥过程为例, 阐述了 GRCT 组合干燥的工艺过程和木材干燥质量的检测情况。

1 GRCT 组合干燥工艺过程

1.1 试材

杨木 试验板尺寸: 400 cm × (20~35) cm × 4 cm; 平均初含水率为 34.9%; 要求终含水率为 12%, 含水率范围为 10%~14%。

落叶松 试验板尺寸: 400 cm × (22~32) cm × 3.8 cm; 平均初含水率为 34.2%; 要求终含水率为

12%，含水率范围为 10%~14%。

1.2 干燥基准

GRCT 组合干燥工艺的初期干燥基准是在总结中温型除湿干燥工艺的基础上,参考常规蒸汽干燥工艺,经过多次调整后确定。落叶松和杨木的干燥基准见表 1。

Tab. 1 Drying schedule for Poplar and Larch boards				
含水率 /%	干球温度/℃		干、湿球温度差/℃	
	杨木	落叶松	杨木	落叶松
>40	52	50	2.0	2.0
40~35	54	52	4.0	4.0
35~30	57	55	6.0	6.0
30~25	60	58	8.0	8.0
25~20	64	62	11.0	10.0
20~15	78	66	14.0	13.0
<15	74	72	18.0	17.0

1.3 干燥过程

杨木与落叶松木材从开始干燥到出窑历时均为 8 d 整。干燥过程主要分为:升温预热、干燥和终了处理三个阶段。

升温预热阶段 介质的相对湿度约为 95%,预热温度保持 10 h,然后将温度降到基准的第 3 个阶段进行干燥处理。

干燥阶段 当被干木材的含水率降至 30%和 20%时进行两次调湿处理,处理的介质条件为:温度高于当时基准温度 4 ℃,相对湿度应和木材当时含水率相平衡,保持时间取 2 h/cm(板厚)。

终了处理阶段 当木材的终含水率达到要求时,将介质湿度调至 60%,保持 6 h,然后降温至常温。

2 木材干燥质量的检测

木材干燥质量按国家锯材干燥标准 GB 6491-86 检测。

2.1 干燥锯材终含水率、含水率分布及分层含水率偏差的测定

每次干燥结束后,在材堆的不同部位选取 27 块板材,对其终含水率、含水率分布进行检测,并计算出分层含水率偏差。试材的检测位置及检测结果见表 2 和表 3。

由表 2 可见,杨木木材的终含水率为 11.7%,达到了用材要求;在第 30 层右前位置的分层含水率偏差最大,为 2.8%,达到国家干燥质量二级标准;材堆整体终含水率分布偏差为 2.6%,说明材堆整体终含水率分布比较均匀。表 3 中落叶松木材的终含水率为 11.6%,达到了用材的要求;在第 30 层中前位置的分层含水率偏差最大,为 2.9%,达到干燥质量二级标准;材堆整体终含水率分布偏差为 3.1%,材堆整体终含水率分布亦比较均匀。

表 2 杨木终含水率、含水率分布检测结果							
Tab. 2 Moisture contents of Poplar boards at different location in lumber stack							
含水率测点位置			终含水率/%				
测点 层	测点 部位	检验板 所在 层次	样板部位			锯材在材堆中位置	
			前部	中部	后部	前部	中部 后部
第 30 层	左	1	11.7	10.3	10.2		
		2	14.4	12.4	11.9	12.6	11.0 10.8
		3	11.7	10.2	10.3		
	中	1	11.9	11.9	11.0		
		2	14.5	13.9	12.3	12.8	12.6 11.4
		3	11.9	12.0	10.9		
	右	1	11.9	12.1	11.1		
		2	14.6	13.8	12.7	12.8	12.6 11.6
		3	11.8	12.0	11.0		
第 20 层	左	1	12.0	10.4	10.2		
		2	13.6	11.9	11.8	12.5	10.9 10.7
		3	11.9	10.4	10.1		
	中	1	12.0	10.9	10.2		
		2	14.6	12.4	10.8	12.9	11.4 10.4
		3	12.1	10.9	10.2		
	右	1	12.1	11.8	10.7		
		2	14.5	13.4	12.2	12.9	12.3 11.3
		3	11.8	12.0	11.0		
第 10 层	左	1	11.8	10.2	10.2		
		2	13.4	11.2	10.5	12.3	10.5 10.3
		3	11.7	10.1	10.2		
	中	1	12.0	11.4	10.8		
		2	14.4	13.0	12.0	12.8	11.9 11.2
		3	12.0	11.4	10.8		
	右	1	11.7	11.1	10.2		
		2	13.3	12.3	11.1	12.2	11.5 10.5
		3	11.6	11.1	10.2		

注:杨木试材终含水率平均值为 11.7%。
11.6%,达到了用材的要求;在第 30 层中前位置的分层含水率偏差最大,为 2.9%,达到干燥质量二级标准;材堆整体终含水率分布偏差为 3.1%,材堆整体终含水率分布亦比较均匀。

2.2 可见干燥缺陷的检测

每次干燥结束后,选取 27 块板材,进行可见干燥缺陷的检测,从检测结果(见表 4)来看,干燥质量达到一级标准。

2.3 干燥应力的检测

干燥应力的检测结果见表 5。
从干燥应力检测结果来看,杨木的平均应力指标为 1.44%,最大为 2.1%,最小为 0.6%;落叶松的平

均应力指标为 1.47%，最大为 2.2%，最小为 0.9%，均达到干燥质量二级标准。

表 3 落叶松终含水率、含水率分布检测结果

Tab. 3 The ending moisture contents of Larch boards at different location of lumber stack								
含水率测点位置			终含水率/%					
测点层	测点部位	检验板所在层次	样板部位			锯材在材堆中位置		
			前部	中部	后部	前部	中部	后部
第30层	左	1	11.6	10.1	10.0			
		2	14.3	12.4	11.9	12.5	10.8	10.6
		3	11.6	10.0	10.0			
	中	1	12.0	11.9	10.6			
		2	14.9	13.9	12.2	13.0	12.6	11.1
		3	12.1	12.0	10.5			
	右	1	12.2	12.1	10.5			
		2	15.0	13.8	12.1	13.1	12.5	11.0
		3	12.2	12.0	10.4			
第20层	左	1	12.0	10.3	9.9			
		2	13.6	11.9	11.8	12.5	10.8	10.5
		3	12.0	10.2	9.9			
	中	1	12.0	10.9	9.9			
		2	14.6	12.4	10.5	12.9	11.4	10.1
		3	12.1	10.9	9.9			
	右	1	12.2	11.8	10.5			
		2	14.9	13.4	12.0	13.1	12.3	11.0
		3	12.3	11.8	10.5			
第10层	左	1	11.6	9.8	9.9			
		2	13.2	11.0	10.2	12.1	10.2	10.0
		3	11.6	9.8	9.9			
	中	1	12.2	11.5	10.6			
		2	14.6	13.1	11.8	13.0	12.0	11.0
		3	12.2	11.5	10.6			
	右	1	11.7	11.1	9.9			
		2	13.3	12.3	10.8	12.2	11.5	10.2
		3	11.7	11.1	9.9			

注：落叶松试材终含水率平均值为 11.6%。

表 4 干燥锯材可见干燥缺陷的检测结果

Tab. 4 Visible drying defects on boards dried by the GRCT system								
木材树种	弯曲/%			开裂/%		皱缩	炭化	表面严重变色
	顺弯	横弯	翘弯	内裂	纵裂			
杨木	0.2	0.4	1.8	无	4	无	无	无
落叶松	0.2	0.2	0.9	无	2	无	无	无

3 GRCT 组合干燥的干燥基准

通过对几年来工艺试验的总结,确定了几个常用树种的 GRCT 组合干燥基准(见表 6),这些基准对 GRCT 组合干燥是可行的,但并非最佳的干燥基准,仅供参考。

有待于今后的进一步完善。

表 5 杨木和落叶松木材的干燥应力指标统计

Tab. 5 Drying stress statistical data for boards dried by the GRCT system								
层位 数置	S / mm		S ₁ / mm		$\triangle S$ / mm		Y / mm	
	杨木	落叶松	杨木	落叶松	杨木	落叶松	杨木	落叶松
30	前	40.0	38.0	37.0	35.2	3.0	2.8	1.5
	中	39.5	36.5	35.9	33.5	3.6	3.0	1.8
	后	39.5	37.5	35.3	33.1	4.2	4.4	2.1
20	前	39.0	38.5	37.8	36.7	1.2	1.8	0.6
	中	38.5	37.0	36.5	34.8	2.0	2.2	1.0
	后	39.5	37.5	36.5	33.7	3.0	3.8	1.5
10	前	40.0	38.0	38.6	36.2	1.4	1.8	0.7
	中	38.5	36.5	34.9	33.7	3.6	2.8	1.8
	后	39.0	37.0	35.0	33.2	4.0	3.8	2.0

注：2 个树种的应力检验片的齿长均为 100 mm。

表 6 GRCT 组合干燥基准(材厚 40 mm)

Tab. 6 Drying schedule for some commercial wood species based on the GRCT drying system (Board thickness: 40mm)													
W/%	柞木		水曲柳		杨木		落叶松		椴木		白松		
	T/C	Φ /%	T/C	Φ /%	T/C	Φ /%	T/C	Φ /%	T/C	Φ /%	T/C	Φ /%	
>40	46	88	48	88	52	89	50	88	52	89	54	89	
40~35	48	82	50	83	54	79	52	78	54	84	56	84	
35~30	51	73	53	73	57	71	55	70	57	74	59	75	
30~25	54	61	56	66	60	63	58	63	60	67	62	68	
25~20	58	51	60	56	64	54	62	57	64	58	66	58	
20~15	62	43	64	47	68	46	66	48	68	49	70	50	
<15	66	40	68	41	74	39	72	40	72	40	76	40	

说明：①此干燥基准适用于与北京冷冻机厂产高温双热源除湿机配套的木材干燥室；

②锯材预热升温阶段介质的相对湿度不低于 95%，保持时间：夏季 1.5~2 h/cm(板厚)、冬季 2.2~3 h/cm(板厚)；

③在锯材易产生干燥应力的阶段应进行相应的调湿处理,处理温度应高于基准温度 3~6 ℃,相对湿度应和木材当时含水率相平衡。

4 讨论与结果

1)选用水曲柳、椴木、柞木、红松、白松、楠木、落叶松及杨木等常用树种的不同规格的锯材进行了数十次 GRCT 组合干燥工艺的试验,对试材干燥质量进行了较系统地检测。以杨木与落叶松为例,GRCT 组合干燥的干燥质量能达到 GB 6491-86 的二级要求,其中可见缺陷能达到一级要求。

2) GRCT 组合干燥的最高供风温度只有 75 ℃左右,低于常规蒸汽干燥的温度。说明 GRCT 组合干燥更适合干燥较硬的木材。

3)由于 GRCT 组合干燥的调湿系统喷出的是雾化冷水,对干燥工艺过程的干扰比较大。因此,在中间处理时,处理温度不宜过高。根据多次试验结果来看,GRCT 组合干燥是可行的,但并非最佳的干燥基准,仅供参考。

(下转第 35 页)

吸收峰说明化合物中含有 CH_3- 、 CH_2- ； $1\,244\text{ cm}^{-1}$ 为 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 的特征吸收峰，即为环氧树脂的主要基团吸收特征。固化后，在 $3\,650\sim 3\,200\text{ cm}^{-1}$ 范围内，中等强度宽 $-\text{OH}$ 特征吸收峰仍存在； $2\,500\sim 3\,300\text{ cm}^{-1}$ 范围内吸收峰明显减少，说明羧基参与反应； $1\,722\text{ cm}^{-1}$ 羰基 ($\text{C}=\text{O}$) 的吸收峰变小， $1\,650\sim 1\,350\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰强度减弱，表明化合物发生了交联反应，基团发生了变化。

4 结论和建议

1) 胶合板基板经腻子处理后再喷涂能获得较好的涂膜性能和转移印花效果。

2) 胶合板表面粉末涂料涂膜放置在 $180\text{ }^\circ\text{C}$ 干燥箱中经过 20 min 后可完全固化，涂膜的附着力等级为 3 级，耐磨性能等级为 1 级，耐水性良好。

3) 涂膜胶合板在温度 $160\text{ }^\circ\text{C}$ 、时间 15 min 的条件下进行转移印花，转移印花后的胶合板表面着色力好、图案清晰，转移率达到 70.5% 。

4) 从粉末涂料的红外光谱可知，环氧-聚酯混合型粉末涂料在胶合板表面固化的过程为：树脂分子受热熔融，并在一定条件下发生聚合（交联），成为三维

网状体型结构高聚物，在胶合板表面形成涂膜。

5) 应开发低温、快速固化的新型粉末涂料，以减少胶合板加热而出现表面的炭化和翘曲变形。

6) 应进一步开展增强基材导电性的研究，可实现静电喷涂，有利于提高基材表面单位面积的上粉率和涂膜性能。

7) 粉末涂料饰面胶合板还有待于进行耐候性、耐光性等方面的检测。

参考文献：

- [1] 张勤丽. 人造板表面装饰[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986, 1-20.
- [2] 李庆章. 人造板表面装饰[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1987, 1-15.
- [3] 曲颖. 国外热固性粉末涂料的现状和发展方向(1)[J]. 现代涂料与涂装, 2001(4): 17-18.
- [4] 陈红. 粉末涂料发展展望 [J]. 涂料工业, 2001(11): 5-9.
- [5] 孙先良. 新型粉末涂料发展的新趋势[J]. 现代涂料与涂装, 2002(2): 12-16.
- [6] 赵瑛. 静电粉末喷涂工艺在中密度纤维板中的应用[J]. 现代涂料与涂装, 2000(4): 25-26.
- [7] 陈俊, 吴家萍, 施亦东. 真丝绸热转移印花工艺的研究[J]. 四川丝绸, 1995, 65(4): 29-30.
- [8] 居滋善. 涂料工艺第四分册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994, 1-30.

(上接第 26 页)

处理温度取高于基准温度 $3\sim 6\text{ }^\circ\text{C}$ 为宜，相对湿度应和木材当时含水率相平衡，保持时间取 $2\sim 2.5\text{ h/cm}$ (板厚)。

4) 由于 GRCT 组合干燥工艺过程中的中间处理不易实现，为了获得与被干木材含水率梯度方向相同的温度梯度，预热处理对 GRCT 组合干燥更为重要。根据多次试验结果来看，锯材预热升温阶段介质的相对湿度应不低于 95% ，以保证升温阶段木材水分不蒸发；温度保持时间以夏季 $1.5\sim 2\text{ h/cm}$ (板厚)、冬季 $2.2\sim 3\text{ h/cm}$ (板厚) 为宜。

新书介绍

《木材切削刀具刃磨技术》

该书是国内木材切削刀具刃磨技术和刃磨理论方面的首本专著，实用性强，特别解决了刨削锯不能锯切湿材的问题，提出了减少锯齿却不降低锯切表面质量的办法，指出了提高锯切表面质量的新途径和提高刨刀装刀精度的理论依据及其措施。是从事木材加工专业教学、工程技术人员以及刀具刃磨操作者的实用教材或参考书。

欲购此书请与本刊编辑部联系。

万方数据

5) GRCT 组合干燥系统的干燥工艺既不同于中温型除湿干燥，也不同于常规蒸汽干燥。目前已进行工艺试验的木材树种、木材规格及试验次数均比较有限，还有大量的工作有待于今后进一步进行。

参考文献：

- [1] 朱政贤. 木材干燥[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [2] 黄月瑞. 木材干燥技术问答[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.
- [3] 徐新吾. 除湿干燥简介[J]. 木材应用技术通讯, 1986(1): 32-34.
- [4] 北京木材厂. 木材干燥工艺规程[Z]. 北京: 北京木材厂, 1991.
- [5] GB 6491-86. 锯材干燥质量[S].

新技术推介

带锯锯刨合一锯材技术

由吉林北华大学交通建筑工程学院孟庆午教授主持开发的“带锯锯刨合一锯材技术”，不仅能使锯材表面达到机械刨加工的水平，而且锯路窄于现有同类带锯，节省木材。此外，该技术还具有锯切效率高、锯切功率低、锯齿数少以及锯齿寿命长等优点，投资小，见效快，收效大，尤其适合珍贵木材薄板的锯切加工。

联系电话: 0432-4671884; 13019252526

Email: qingwu_meng@hotmail.com