

应用技术

带有热管与储热的整体式太阳能干燥室的开发

潘学彪, 高建民, 伊松林, 张璧光, 王天龙

(北京林业大学木材科学与工程北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: 太阳能干燥室配备了整体式和热管式两种集热器, 且带石蜡储热, 对干燥室的集热利用效率、室温、储热效果进行测试, 并进行杨木太阳能干燥与大气干燥、常规窑干的对比试验。结果表明: 整体式、热管式集热器的热利用效率分别为 22.2%、62.4%; 太阳能干燥比大气干燥的速度快, 受天气影响小, 比常规窑干节能 70.9%。

关键词: 木材干燥; 太阳能; 集热器; 热管; 节能

中图分类号: S781.71

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654(2010)04-0040-03

Development of a Solar Drying Kiln with Heat Pipe, Holistic Collectors and Paraffine Pipes

PAN Xue-biao, GAO Jian-min, YI Song-lin, ZHANG Bi-guang, WANG Tian-long

(The Key Laboratory of Wood Science and Engineering of Beijing, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To reduce wood drying energy consumption, the authors developed a solar drying kiln for drying wood. They fixed heat pipe and holistic collectors, and used paraffin to improve heat collecting and storing capacity. The kiln was used to dry a stack of poplar lumber and compared it with air and conventional kiln dried poplar lumber. The results showed that the heat utilization efficiency for holistic and heat pipe collectors were 22.2% and 62.4% respectively. The solar drying process had a faster drying speed and was less dependent on the weather. It was also noted that the solar drying process had about a 70.9% energy savings compared with conventional drying.

Key words: wood drying; solar energy; collector; heat pipe; energy saving

木材干燥是木材加工过程中消耗能量最大的工序, 约占加工总能耗的 40%~70%^[1-2]。太阳能是一种清洁、廉价的可再生能源, 国内外对太阳能木材干燥均有研究^[3-4]。多数太阳能木材干燥室为温室型或采用平板型集热器, 热利用效率较低, 而且受天气影响较大, 难以实现干燥的连续性, 是推广太阳能干燥技术的难点。

集热器是太阳能利用系统中的关键部件, 按工质类型分为液体、空气集热器。太阳能木材干燥室多采用空气集热器, 但因空气导热系数较低, 热容小, 集热

效率较低^[5]。热管式和整体式集热器亦属于空气集热器, 前者采用了热管技术, 后者改变了集热器的结构。热管具有许多优异特性^[6], 如: 传热性能好, 传热量大, 适用温度范围广, 热流密度可调, 工质循环无需功率消耗等, 但是热管工艺要求和成本较高; 整体式集热器省去了连接集热器和干燥室的管道, 底部散失的热量直接传入干燥室, 减少热量传递损失, 但是集热器面积受干燥室容积的限制。

石蜡是有机相变材料, 具有固体成型性好, 价格便宜, 不易发生相分离及过冷现象, 腐蚀性较小, 性能稳定等优点。为此, 课题组综合 2 种集热器的优势, 设计了一种带有热管集热器和石蜡储热的整体式太阳能木材干燥室, 旨在为太阳能木材干燥系统设计和干燥工艺制定提供依据。

收稿日期: 2009-09-25; 修改日期: 2010-05-17

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD18B0802)。

作者简介: 潘学彪(1983—), 男, 北京林业大学硕士研究生。

通讯作者: 高建民, 男, 北京林业大学材料科学与技术学院教授, 博士生导师。

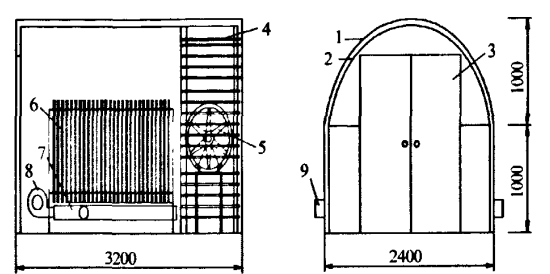
1 试验材料、设备与方法

1.1 材料

杨木(*Populus deltoides*):采集于北京郊区,长度、宽度、厚度分别为1 900、200~400、40 mm;材积1.36 m³;初含水率 64.7%,干燥终含水率 8.3%。

1.2 设备

太阳能木材干燥室如图 1 所示,金属壳体结构,内层由铝板焊接而成,外层是 PC 阳光板,内外层间留有 100 mm 的间隙。



1. PC 阳光板;2. 吸热板;3. 干燥室大门;4. 热管;5. 轴流风机;
6. 石蜡管;7. 集热器通风管道;8. 离心风机;9. 干燥室进排气口

图 1 太阳能木材干燥窑

Fig. 1 Solar drying kiln structure

其主要配件有:

1) 整体式集热器。干燥室壳体(除南墙)即一个整体式集热器,阳光板为集热器的盖板,内层铝板为吸热板,表层涂有选择性涂料。整体式集热器由 4 个采光面组成:干燥室顶部 2 个半圆形的采光面和干燥室下部 2 个竖直的采光面。空气经过风机输送到集热器内,经换热后流回干燥室,对木材进行干燥。

2) 热管式集热器。配置于干燥室的南墙,总采光面积 3.6 m²。吸热板上安装 200 支 YDRG19-19-1250 型热管,热量通过热管传递到干燥室内。

3) 蓄热装置。300 根石蜡管分成两组,分别安装在干燥室的东、西侧,纵向阵列式排列。

4) 其他:轴流风机和离心风机,太阳能辐射测量仪器,温湿度检测设备,含水率测量设备,等。

1.3 方法

1.3.1 太阳能干燥室性能测试

1) 在未装载木材的情况下,分别在安装和未安装石蜡管的情况下运行太阳能干燥室,检验石蜡管对干燥室夜间温度的影响,分析石蜡管的蓄热效果。

2) 根据相关文献^[7-8],以一周为一个周期,测算集热器采光面每天获得的太阳能辐射量,并计算传递到干燥室的热量和集热器的热利用效率^[9]。

$$\eta = \frac{E}{AH} = \frac{\dot{m}c_p\Delta T}{AH} \tag{1}$$

式中: η —集热器热利用效率,以采光面积为参考; E —集热器实际获得的能量,MJ; A —集热器采光面积,m²; H —集热器日总太阳辐射,MJ/m²; $\dot{m}$ —载热工质质量流率,kg/s; c_p —载热工质的比定压热容,kJ/kg; ΔT —集热器排、进气口的温差,℃。

1.3.2 木材干燥试验

选择晴朗天气的上午 8 点到下午 6 点,打开干燥室通风口进行排湿;轴流风机在此期间运行,每 2 h 换一次风向;带动集热器和干燥室空气循环的离心风机,在上午 8 点到下午 5 点运行,其他时间段太阳辐射较弱,集热器排进气口温差小,离心风机停止运行。试验期间每天采集太阳辐射强度数据,测量木材含水率变化及干燥能耗,实时监测记录干燥室内温、湿度及集热器进、排气口温度。

设计同批次杨木板材进行大气和常规干燥试验,计算、比较干燥速率和干燥能耗。常规干燥基准如表 1 所示。

表 1 杨木常规干燥基准

Tab. 1 Poplar lumber conventional drying schedule

干燥阶段	含水率/ %	干球温度/℃	干湿球温差/℃	相对湿度/ %
1	60~40	50	4	79
2	40~30	52	6	71
3	30~25	56	9	60
4	25~20	60	12	52
5	20~15	66	18	38
6	15 以下	74	24	39

2 试验结果与讨论

2.1 太阳能干燥室性能

2.1.1 石蜡蓄热效能

选取气象情况相似的两天的,仅一天安装石蜡管,两个夜间干燥室和环境的温度差如图 2 所示。

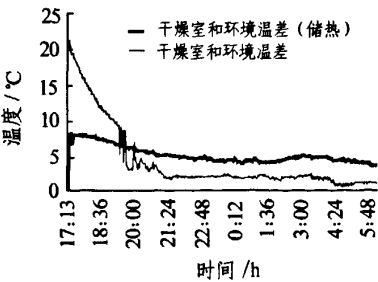


图 2 储热和无储热条件下干燥室和环境温度差对比
Fig. 2 Kiln temperature comparison with and without paraffin pipes

由图 2 可以看出,未安装石蜡管的干燥室在停止供热后,温度差迅速减小,干燥室平均温度比环境温度高 2~3℃。装有石蜡管干燥室温度差变化较平稳,夜间干燥室内温度比环境温度高 5~6℃。

2.1.2 集热器热利用效率

不同气象情况及不同时段内,太阳辐射强度差异很大,影响集热器的热利用效率(表 2)。

表 2 集热器获得太阳辐射能和热利用效率
Tab. 2 Solar energy received at collectors and thermal efficiency

集热器类型	测试日期	$H/(MJ \cdot m^{-2})$	E/MJ	$\eta/\%$
整体式	20090424	26.182	59.49	19.88
	20090425	27.016	62.18	20.14
	20090426	17.065	57.60	29.54
	20090427	26.612	63.49	20.88
	20090428	26.295	56.62	18.58
	20090429	17.708	52.47	25.90
热管式	20090430	24.798	58.80	20.70
	20090505	26.847	35.28	49.10
	20090506	24.678	33.22	50.30
	20090507	15.695	26.04	62.00
	20090508	19.142	29.05	56.70
	20090509	20.233	31.57	58.30
	20090510	14.844	29.00	73.00
	20090511	4.532	10.59	87.30

图 3a 显示整体式集热器排、进气口温度的平均值及温差 ΔT 。由图中可见,排、进气口温差在上午 8—12 点较大,12—17 点逐渐减小,到后期排气口温度低于进气口温度。

整体式集热器每分钟流过空气体积为 $V=10\text{ m}^3$,质量流量 $\dot{m}=10\times 1.29=12.9\text{ kg/min}$,在周期内热利用效率平均值是 22.2%。

图 3b 记录热管集热器排、进气口温度及温差,可见其变化规律与整体式集热器相似。两种集热器进排气口温度的变化规律和太阳辐射强度的变化相关。随太阳辐射强度的增强,排、进气口温差增大,集热器吸收热量较多;反之则吸收热量较少。

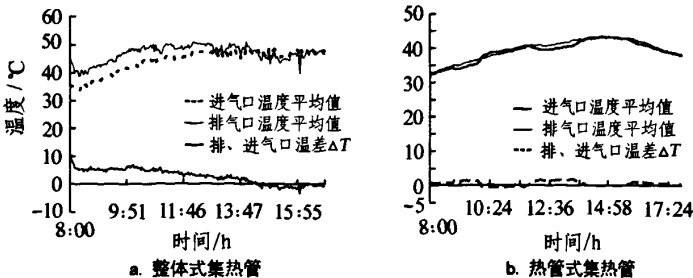


图 3 集热器排进气口温度及其温差

Fig. 3 Collector temperatures at inlet and outlet vents and their differences

热管式集热器每分钟流过空气体积为 $V=96\text{ m}^3$,质量流量 $\dot{m}=96\times 1.29=123.84\text{ kg/min}$,在周期内热利用效率的平均值是 62.4%。

2.2 干燥试验结果对比

2.2.1 干燥室室温

不同天气干燥室室温差异较大。晴朗天气干燥室最高温度可到 50~60℃,比环境温度高 10~20℃,白天平均温度约 45℃,晚上平均温度约 30℃;而阴雨天干燥室最高温度只有 25~30℃,白天最高温度 30℃,晚上平均温度 25℃。

2.2.2 木材干燥速率

图 4 可以看出太阳能干燥速率比大气干燥快。太阳能干燥杨木板材,从初含水率 64.7%到终含水率 8.3%,耗时 18 d。至太阳能干燥结束时,大气干燥的板材含水率仍为 15.5%。另外,太阳能干燥受天气影响相对微弱,木材的含水率在干燥过程中一直呈减小趋势;而大气干燥易受天气影响,阴雨天气时木材的含水率不仅没有降低,反而有所增大。

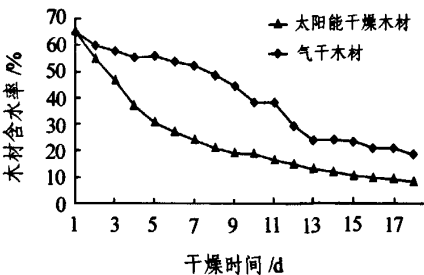


图 4 太阳能干燥和大气干燥干燥曲线对比
Fig. 4 Drying process between solar and air drying

2.2.3 节能率

太阳能干燥室只有轴流风机和离心风机消耗电能。在木材干燥周期内,日耗电能为 7~9 kW·h,共消耗电能 130 kW·h,折合成标准煤为 52 kg。

而试验测得,常规干燥每 m^3 木材消耗 131.47 kg 标准煤,则干燥 1.36 m^3 的木材需要能耗标准煤 178.8 kg。故太阳能干燥相对常规干燥的节能率为: $(178.8-52)/178.8\times 100\%=70.9\%$ 。

3 结论

1) 在本试验条件下,整体式

(下转第 45 页)

但由于结构B的浸渍剥离性能差,导致其整体性能强度下降。

2.3 冲击韧性和表面硬度

从表1可见,GFRP增强泡桐复合板的结构A和B的冲击韧性,较对照复合板分别提高了1.73倍和1.21倍。

冲击韧性取决于材料的弯曲强度和断裂伸长率,与材料的本身性质和结构密切相关。由于泡桐材质疏松、脆性大,导致泡桐单板受冲击后,断面呈锯齿状,因此冲击韧性小。

GFRP中玻璃纤维呈双轴取向,二维强度都很大,极大地提高了拉伸强度和断裂伸长率。因此经GFRP增强后,复合板的二维方向都具有抗冲击性,且GFRP的弯曲强度高于泡桐,增强后的复合板冲击韧性都有较大提高。尽管采用相同的胶合工艺条件,结构B中GFRP与杨木薄木的粘结不牢固,受冲击后,GFRP发生脱胶剥落,使其整体的抗冲击性能下降。

GFRP增强泡桐复合板的结构A和B的表面硬度,较对照复合板分别提高了77.4%和277.4%。GFRP处于钢球压入试样深度范围内,但结构B中GFR离表层较近,因此结构B的表面硬度是结构A的2.1倍。

3 结论

1) GFRP增强后,结构A和B的密度分别为 0.58 g/cm^3 和 0.60 g/cm^3 ;结构A的剥离率为0,结

构B剥离率为100%。

2) 经GFRP增强后,结构A的MOR和MOE分别提高了64.1%和56.8%。

3) 增强后的结构A复合板的冲击韧性提高了1.73倍,表面硬度提高了77.4%。

4) 泡桐单板经GFRP增强后的复合板,可以作为板式家具、门板、轻质建筑墙板以及游艇板的良好材料,也可以进一步开发应用在要求使用轻质高强材料的场所。

参考文献:

- [1] 祖勃逊. 泡桐木材的变色及防止方法[J]. 木材工业,1987,2(3):31-34.
- [2] 常德龙,陈玉和,胡伟华,等. 泡桐材变色类型的确定及变色真菌鉴定[J]. 木材工业,1998,12(2):20-21,32.
- [3] 常德龙,陈玉和,胡伟华,等. 用低分子树脂进行泡桐表面强化的研究[J]. 林产工业,1997,24(6):7-10.
- [4] 贺微粒,焦健,彭立民,等. 玻璃纤维布强化杨木胶合板模板研究[J]. 木材工业,2007,21(2):13-15.
- [5] Lawrence A Soltis, Robert J Ross, Danel F Windorski. FiberGlass-reinforced bolted wood connections [J]. Forest Products Journal,1998,48(9):63-67.
- [6] Habib J Dagher. Advanced engineered wood composites[C]. BarHarbor, ME, USA; The Proceedings of 3rd International Conference,2005:10-14.
- [7] 丁杰,徐伟涛,张双保,申世杰. 纤维增强树脂在工程木质复合材料中的应用[J]. 中国人造板,2007,14(1):17-20.
- [8] 周其凤,胡汉杰. 高分子化学[M]. 北京:化学工业出版社,2001.

(责任编辑 鲍加芬)

(上接第42页)

太阳能干燥室配备热管集热器,整体和热管集热器的热利用效率分别为22.2%、64.2%。

2) 石蜡管使干燥室温度较平稳,昼夜温差较小,但蓄热作用有限,难以使干燥室在夜间维持较高温度,可增加石蜡管数量或提供辅助能源。

3) 杨木板材太阳能干燥较大气干燥的速度快,受天气影响较小,节能效果显著。

4) 天气对太阳能干燥影响显著,可制定与之对应的干燥基准,在晴朗天气增加通风排湿,在阴雨天天气则减少通风排湿。

参考文献:

- [1] 张璧光. 实用木材干燥技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 高建民. 木材干燥学[M]. 北京:科学出版社,2008.

- [3] Haque M N, Langrish T A G. Mathematical modelling of solar kilns for drying timber: model description[J]. Journal of the institute of wood science, 2004, 16(5): 266-276.
- [4] 张璧光. 太阳能节能与热泵节能干燥技术[J]. 通用机械,2006(7):18-20.
- [5] 夏国泉,魏琪. I型太阳能空气集热器传热性能分析[J]. 江苏大学学报,2003,24(4):41-44.
- [6] 焦保才,郭颖,李德永. 热管技术与化工生产中余热利用[J]. 节能与环保,2007(6):36-37.
- [7] 朱志辉. 任意方位斜面上的总辐射计算[J]. 太阳能学报,1981,2(2):209-212.
- [8] 方荣生,项立成,李亭寒,等. 太阳能应用技术[M]. 北京:中国农业机械出版社,1986.
- [9] W M 罗森诺. 传热学应用手册(下册)[M]. 北京:科学出版社,1992.

(责任编辑 向琴)