

我国木材节能干燥技术进展

高建民, 伊松林, 张璧光, 胡传坤

(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: 总结了我国近年来木材节能干燥技术的研究成果, 提出相变储热是解决太阳能干燥间歇性的有效方案, 太阳能-热泵、太阳能-常规联合, 是理想的节能组合干燥方式; 除湿机可用于常规干燥的排气余热回收, 节能率可达 40% 以上; 振荡流热管用于排气余热回收, 节能率在 15%~35%, 且成本低、易管理。

关键词: 木材节能干燥; 研究现状; 技术进展; 发展趋势

中图分类号: TS652 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2010)06-0021-04

The Present Status of Lumber Energy-Saving Drying Technology

GAO Jian-min, YI Song-lin, ZHANG Bi-guang, HU Chuan-kun

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

Abstract: The authors reviewed the present research status on lumber energy-saving drying technology, and summarized the recent research achievements of wood energy-saving drying. They considered that solar drying technology was suitable for pre-drying, and that phase change thermal storage was an effective way to solve the intermittent solar drying problem. A Solar-heat pump and a solar-conventional combination were ideal drying processes. A dehumidifier was commonly used in heat recycling and it was found that it could save up to 40% drying energy. The oscillating-flow heat pipe applied in heat recycling was cost effective equipment and could save 20%~50% drying energy.

Key words: lumber energy-saving drying; solar energy; technical progress; development trend

要提高木材利用率和产品质量, 木材人工干燥是必要的手段之一。目前, 我国全年实木板材, 通过人工干燥的仅有 23% 左右, 需要进一步加大我国人工林干燥木材的比例。由于木材人工干燥能耗较大, 因此, 倡导木材节能干燥意义重大。

目前, 木材常规干燥存在的主要问题有: 1) 干燥能耗大; 2) 干燥设备壳体热损失严重; 3) 干燥过程废气排放、热损失大等。

木材节能干燥技术研究的主要目的是, 降低常规干燥能耗和减少热损失。笔者结合我国目前的现状, 介绍了热泵除湿、太阳能利用、热能回收以及联合干燥等木材节能干燥技术, 以期为木材干燥企业在装备

配置选型和技术开发提供参考。

1 木材节能干燥研究现状

1.1 热泵除湿干燥

热泵除湿干燥与常规干燥的原理基本相同, 在除湿干燥过程中, 制冷剂从蒸发器处吸收湿空气中的热量, 使干燥室内的空气升温, 空气在干燥室、除湿机之间形成闭式循环。利用回收干燥室排湿放出的热量, 除湿干燥比常规干燥节能 40%~70%^[1]。

20 世纪 90 年代中期, 在研究空气回热的木材热泵除湿干燥机的运行特性时发现, 用热管作为回热器, 当干燥温度 50℃、相对湿度 80% 时, 空气回热木材热泵除湿干燥系统, 每去除 1 kg 水比原系统节电 24%^[2]。

为克服单热源木材除湿干燥机节能但不节约成

收稿日期: 2009-12-01; 修改日期: 2010-10-12

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

作者简介: 高建民(1956—), 男, 北京林业大学教授, 博士生导师。

本的不足,自1986年开始,我国进行了中、高温双热源热泵除湿干燥技术研究,开发出双热源热泵除湿干燥机 RCG15、RCG30G。这两种除湿干燥机都配有热泵和除湿两个蒸发器,当需要对木材预热或升温时,使用热泵循环,此时制冷工质经热泵蒸发器从大气环境吸取热量,向干燥室输送热风;当需要降低室内空气的相对湿度时,启动除湿循环,此时的制冷工质则经除湿蒸发器,从干燥室的湿空气中吸取热量,使干燥室中的水蒸气冷凝,达到干燥的目的。RCG15 最高送风温度达 $55\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$,而 RCG30G 最高供风温度则达 $70\sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。据测试,当环境温度高于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,双热源除湿干燥机的能耗只是单热源除湿机的 $1/3$ 左右^[3]。

在热泵除湿干燥工艺、节能技术的应用及湿空气参数与除湿干燥机能耗的关系等方面,进行了带旁通风的热泵除湿干燥系统能耗的研究,结果表明,对应某一干燥阶段,湿空气参数会有一个最佳旁通率^[4]。

在热泵除湿干燥后期,干燥室内循环空气的相对湿度较低、温度较高,除湿机中的大部分制冷剂被循环空气的降温而消耗,出现了只降温不除湿的现象,影响木材的干燥质量。通过分析木材热泵除湿干燥中的临界除湿状态,减少流经蒸发器的空气流量,则可提高系统的除湿效率^[5]。

1.2 太阳能干燥

太阳能干燥研究在1975年以后逐渐展开,主要是进行了平板太阳能集热器的研究,提出了集热器性能测试方法^[6];并对太阳能影响集热器热工性能的各项参数(太阳辐射强度、管内最佳流速等),进行了深入研究,以提高集热器的热效率。

开发的开式循环太阳能储热装置,采用天然沸石作为吸附剂,水作为吸附质,沸石床集储热和供热于一体。对该装置进行吸附/脱附循环的动态特性研究表明,热效率超过 30% ^[7]。

石蜡相变储热系统在太阳能干燥室中的应用研究表明,随着储热系统管排数的增加,放热时间逐渐缩短,换热系数增加;其他参数相同时,风速增加,换热系数增大^[8]。

“十一五”期间,对整体式空气集热系统、新型热管空气集热系统和石蜡相变蓄热系统进行了研究,组成的太阳能预干房热效率高,可实现昼夜连续运行^[9]。

1.3 常规干燥废气排放热能回收技术

近年来,对热泵除湿热能回收和振荡流热管热能回收技术开展了大量研究,并对热泵除湿热能回收系

统的节能效率进行了检测。

振荡流热管(Oscillating-flow Heat Pipe, OFHP)也称为脉动热管,比传统热管的传热性能有很大改善^[10]。当管径足够细时,在真空条件下,封装在管内的工质可在管内形成液、汽相间的柱塞。在蒸发阶段,汽泡或汽柱与管壁之间的液膜因不断受热,导致汽泡膨胀,并推动汽液柱塞流向冷却端冷凝收缩,从而在冷、热端之间形成较大的压差(图1)。由于汽液柱塞交错分布,因而在管内产生强烈的往复振荡运动,从而实现高效热传递。

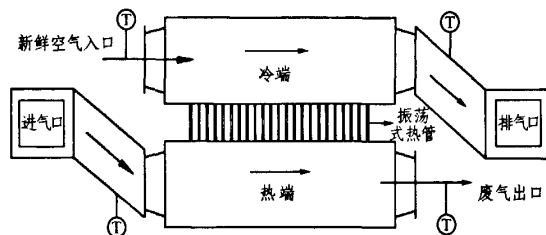


图1 振荡流热管换热器

Fig. 1 Heat exchange used oscillating-flow heat pipe

利用振荡流热管换热器改造的多功能干燥室,可用于常规木材干燥室的排气热能回收。在 $50\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温阶段,节能率可达 $15\%\sim 35\%$;在 $80\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 阶段,可节能 15% 。虽然其节能效率比热泵干燥机要低,但设备投资仅为同容量热泵干燥机的 $1/2$,且不耗能,也几乎不需要运行维护费用。振荡流热管换热器安装方便、没有方向性、热回收率高、便于实现在线检查,可预见有较好的应用前景和市场潜力^[11]。

1.4 联合干燥

联合干燥技术是指整合常规干燥与节能干燥技术,或者利用几种节能干燥技术的优点进行组合。如太阳能-除湿干燥、太阳能预干-除湿-常规干燥等。20世纪80年代后期,太阳能与热泵除湿联合干燥系统(图2)的研究,与常规蒸汽干燥相比,干燥 1 m^3 木材可节约 140 kg 标煤,节能率达 40% 以上,干燥成本可降低 20% 左右^[12],而且无污染、无火灾隐患、自动化程度高、应用范围广。中高温、高温除湿和常规蒸汽联合干燥系统,及其最佳匹配条件的研究,始于2004年,利用蒸汽预热,当木材含水率在 22% 以上时,开启除湿机回收能量,在含水率降到 22% 以下时,采用常规蒸汽干燥。结果表明,除湿与常规蒸汽联合干燥系统比常规蒸汽干燥节能 17.6% ,干燥周期比只用除湿干燥缩短了 55% ^[13-14]。

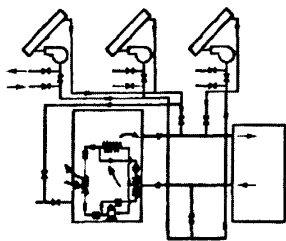


图 2 太阳能-热泵联合干燥系统原理

Fig. 2 Solar-dehumidification combination drying system

“十一五”期间,以 2 m³ 常规干燥室为主体设计匹配了除湿机(图 3),实现了常规-热泵组合干燥。该系统可实现常规干燥废气的零排放。为进一步节约能源,系统还配备了太阳能预干房,形成了太阳能预干-常规干燥-除湿干燥多段组合干燥方法。充分利用 3 种干燥方式的特点,极大地提高了木材的干燥效率。

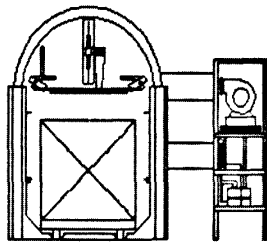


图 3 常规-除湿组合干燥系统

Fig. 3 Conventional-dehumidification combination drying system

在太阳能储热技术方面,主要研制移动式相变储热木材太阳能干燥装置。该装置由太阳能集热器、电加热常规干燥室、相变储热系统组成,白天使用太阳能集热器将热量传给干燥室和相变储热系统,夜间相变储热系统向干燥室干燥供热。热能供应不足时由电加热进行补充,既改善了太阳能干燥的间歇性,又大大提高了系统的节能效果(图 4)^[15]。

1.5 干燥室的改造

通过对木材干燥室不同厚度保温门的散热量计算和比较,发现保温门的散热量在一定范围内,随着厚度的增加而先减后增,保温门框架的散热量远大于保温层的散热量^[16]。

对干燥室壳体保温材料和大门气密、保温性能改进措施的分析研究表明,壳体热损失减少 60% 以上,总能耗可减少 12% 以上,节能效果显著^[17]。故改进设备的保温性能,也是木材干燥节能的一个重要途径。

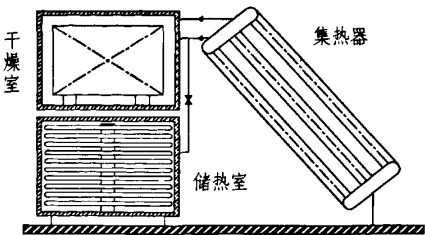


图 4 移动式相变储热木材太阳能干燥装置

Fig. 4 Mobile lumber solar drying device with phase change thermal module

2 节能干燥技术在木材工业中应用情况

我国从 1980 年以后,才开始从国外引进热泵木材干燥机。然后逐渐进入独立设计制造阶段,到 90 年代中期,设备性能已接近或达到国际水平。如 RCG 系列热泵除湿干燥机,在制冷系统过冷方式、热泵进风系统设计和二次风补充等方面有所创新,节能率比普通热泵干燥机提高 15%~20%,成本降低 5%~10%^[18]。又如 SRG 系列新型热泵木材干燥机,最高工作温度可达 85℃^[19]。

目前我国热泵(除湿)干燥机的总干燥能力,已占各类干燥机总干燥能力的 1/10 左右,居热风(以蒸汽为热源)干燥之后。

温室型太阳能干燥装置以其结构简单、造价低廉,带动了木材太阳能干燥的发展,但干燥室的材积一般小于 10 m³。

应该指出,尽管热泵、太阳能用于木材干燥可以节约能源,减少环境污染问题,但前期投资较大,且太阳能能源密度低、昼夜间差别大,故均未得到很好的工业化应用。联合干燥多以太阳能-热泵联合干燥为主,其投资更大,工业化应用极少。但随着能源、环境问题的日益突出,木材节能干燥技术以及常规干燥的热能回收技术,在生产中推广仍具有巨大潜力。

3 木材节能干燥技术的发展趋势

1) 以清洁、可再生能源为热源的木材干燥方法,将有进一步发展。太阳能干燥的空气集热器热效率一般在 45% 左右,且目前尚无定型产品。另外,低成本的有效储能,是太阳能木材干燥亟待解决的问题;地热能、风能等,有待于在木材干燥中开发利用。

2) 具有节能潜力的木材联合干燥方法,如木材太阳能-常规干燥、太阳能-热泵除湿干燥等,可有效解决常规干燥的高耗能问题,同时也可以弥补太阳

能、热泵干燥的不足。加大采用太阳能干燥的政策支持和宣传力度,提高生产企业节能和环保意识,挖掘木材联合干燥潜力。

3) 以生物质能源为热源的木材干燥方法有生物质汽化、热解。目前农林生物质资源利用的途径有多种,但由于种种原因或条件的限制,真正技术成熟、经济可行、应用便捷的方法并不多。生物质汽化、热解,可以有效提高生物质资源的利用效率,有效缓解木材干燥对煤炭等资源的高消耗。

4) 木材干燥过程的废气排放控制与热能回收技术等。常规蒸汽干燥过程中,排气热损失达到蒸汽供给热量的 40% 左右。因此,有效控制废气排放,以及使用新型热能回收技术,具有很大的潜力。

参考文献:

- [1] 张壁光. 实用木材干燥技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 金苏敏. 热管空气回热器在热泵木材干燥机上的应用[J]. 南京化工大学学报, 1995(S1): 49-52.
- [3] 张壁光, 钟群武. 新型双热源除湿干燥机[J]. 林产工业, 2000, 27(5): 29-30.
- [4] 赵忠信, 周永东, 张壁光. 木材热泵除湿干燥机节能工艺研究[J]. 北京林业大学学报, 1995(1): 83-89.
- [5] 张壁光. 除湿干燥中临界除湿状态的分析[J]. 北京林业大学学报, 2007(6): 186-189.
- [6] 涂颖, 赵镇南. 平板集热器热性能的试验研究[J]. 太阳能学

报, 1983(1): 89-100.

- [7] 张建国, 陈永昌, 林宏佐. 太阳能沸石储热技术的实验研究[J]. 北京工业大学学报, 2005, 31(1): 69-71.
- [8] 冯小江, 伊松林, 张壁光, 等. 太阳能相变储热在木材干燥中应用的初步研究[J]. 化工机械, 2009(3): 36-41.
- [9] 潘学彪, 高建民, 伊松林, 等. 带有热管与储热的整体式太阳能干燥室的开发[J]. 木材工业, 2010, 24(4): 40-42.
- [10] AKACHI H. Looped meandering capillaries heat [C]. Pipe, The 71th J S M E Spring Annual Meeting, U S PAT, 1994.
- [11] 高建民, 伊松林, 张壁光, 等. 常规木材干燥热能回收技术报告[R]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [12] TRCW 课题组. 太阳能-热泵除湿机-微计算机监控联合干燥系统的研究[J]. 北京林业大学学报, 1991(3): 31-37.
- [13] 宁炜. 常规蒸汽-除湿联合干燥木材匹配条件的研究[D]. 北京林业大学, 2004.
- [14] 谢大斌. 高温除湿-常规蒸汽联合干燥木材的优化[D]. 北京林业大学, 2006.
- [15] 冯小江, 伊松林, 王海江, 等. 一种移动式太阳能干燥装置: ZL200920350670. 0[P].
- [16] 颜文飞. 不同厚度干燥窑保温门的散热量计算[J]. 木材工业, 2000, 14(5): 33-34.
- [17] 戴增安. 木材干燥窑的保温性与节能分析[J]. 木材工业, 1997, 11(2): 31-32.
- [18] 张壁光, 李延军. 热泵干燥木材的技术现状与发展趋势[J]. 干燥技术与设备, 2003(1): 6-8.
- [19] 黄新月, 章建平. 热泵除湿干燥技术在木材干燥上的应用[J]. 铁道运营技术, 2005(2): 18-20.
- [20] 张壁光. 太阳能干燥技术概况及应用前景[J]. 太阳能, 2007(7): 26-30.

(责任编辑 鲍加芬)

展 讯

LIGNA 2011: 创新、高效、引领潮流

德国汉诺威国际木工机械展览会(Ligna Hannover), 创办于 1975 年, 每两年一届, 是世界木工行业和木材加工工业的顶级盛会。2011 年 5 月 30—6 月 3 日, Ligna 将在 Hannover 举办。此次展会突出高效、创新的特点, 以木质生物能源、表面涂饰工艺和轻型结构为三大主题。

新增的木质生物能源展区, 提供工厂和设备能源解决方案、生物能源工厂建设及相关服务。期间, 德国生物能源协会(BBE)与德国机械设备制造业联合会(VDMA), 将举办“第三届国际 BBE/VDMA 木质能源商业和出口论坛”, 探讨国际木质能源市场的建立和发展。

在家具展馆内, 将展示最新的室内设计趋势以及配套的新设备、材料, 及各种表面涂饰剂。

轻型结构产品的市场需求日益增长, 已经涉及家具与室内设计领域。展会将汇集轻型结构家具优化设计与应用技术。奥地利将举办轻型板材国际会议,

展示轻型材料最新制造技术。同期, 德国轻型木结构协会也将在现场示范从材料到家具成品的生产过程。

为适应展商和观众的需求, 展会布局有所调整。林业技术展区设在室外, 27 号馆为锯材、单板和人造板产品展区, 12、13 号馆展示实木加工技术, 22~26 号馆展示家具生产工艺, 木质生物能源主题展在室外和 13 号馆, 其他 11、12、14~17 号馆涉及木工技术等主题。

“林业和木材工业的可持续发展与欧洲建设”研讨会, 将成为展会的亮点之一, 旨在探讨欧洲和世界利用木材资源的最新趋势和发展, 以及扩大国际间的合作。

2009 年展会吸引了 90 个国家的 8 万名专业观众。目前, 已有 1 700 家企业计划参展 2011 Ligna, 与 2009 年持平。预计 50% 以上的展商以及超过 1/3 的观众, 来自德国以外。

本刊讯