

综述

国际干燥技术的最新研究动态与发展趋势

张壁光¹, 谢拥群²

(1. 北京林业大学材料科学与技术学院, 北京 100083; 2. 福建农林大学材料工程学院, 福州 350002)

摘要: 归纳和分析当前干燥学术研发活动地位低下的原因和存在问题, 列举在干燥模型、过热蒸汽干燥、联合干燥及超临界干燥等领域创新干燥技术的应用实例, 分析干燥技术的发展趋势, 强调今后应着力开发有突破性的创新干燥技术, 注重干燥的理论研究与工业应用的结合, 以及更多地关注节能减排问题。

关键词: 木材干燥; 干燥模型; 超临界; 蒸汽; 太阳能

中图分类号: TS65 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2008)02-0005-03

Progress of Research and Development of Drying Technology in the World

ZHANG Bi-guang¹, XIE Yong-qun²

(1. College of Material Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. College of Material Engineering, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstracts: Progress of current research and development of wood drying technology was summarized and presented in this paper based on the literature from the latest drying symposiums. The authors identified some fundamental research areas of drying theory and technology and evaluated some of the latest drying techniques, such as overheated steam drying, combination drying, and supercritical drying. Energy efficiency, emissions reduction, development of control system, and successful process simulation were considered as the long-term research goals in the future.

Key words: wood drying; drying model; supercritical; steam; solar heat

不同物料具有不同的干燥特性, 采用的干燥设备也不同, 但各种物料的干燥理论、研究方法以及干燥技术的发展趋势等都存在共性。笔者2007年分别参加了在香港召开的“第5届亚太地区干燥学术会议”和在北京举行的“全国第11届干燥学术会议”, 在总结归纳业界专家所作报告^[1-2]的基础上, 对国际干燥技术的研究动态和发展趋势作了进一步阐述, 以期为推动我国木材干燥技术的发展提供借鉴。

1 干燥技术的发展概述

几乎所有工业领域都有热力干燥这一环节, 涉及的材料超过6万种。物料干燥属于高能耗行业, 据不完全统计, 全球10%~25%的能源用于工业热力干

燥^[1], 在我国干燥所用能源占国民经济总能耗的12%左右^[3]; 木材干燥约占企业总能耗的40%~70%^[4]。同时, 干燥行业又普遍存在热效率低的情况, 以木材为例, 干燥热效率仅30%~40%。另外, 干燥过程产生的污染也是我国环境污染的主要来源。如年干燥能力为1万m³木材的蒸汽干燥车间, 每小时排出的有害物质: 烟尘40kg、CO₂约1900m³、SO₂约45m³, 还有少量NO₂^[5], 这些物质都是造成大气温室效应、酸雨和臭氧破坏的主要因素。由于能源对环保的贡献率可达70%~80%, 因此, 干燥环节的节能对环保十分重要。

目前干燥学术研发活动地位低下, 存在以下问题: 1) 很多干燥的实际过程过于复杂, 有时甚至无法总结归纳其采用的干燥原理; 2) 不少干燥的理论研究与工业应用脱节, 陷入了“理论研究-发表论文-再研究-再发表论文”的怪圈, 最终失去应用价值;

收稿日期: 2007-11-12; 修改日期: 2008-02-05

作者简介: 张壁光(1938—), 女, 北京林业大学材料科学与技术学院教授, 博士生导师。

3) 一些新的干燥理念在小试或中试后,由于技术风险性高和扩大生产的条件限制,只有少部分成为有活力并可在商业上应用的创新技术;4) 多数干燥设备的使用寿命过长,在优化设计方面无创新,阻碍了创新的快速发展。如目前木材干燥行业中,尚无突破性的技术取代常规蒸汽干燥;5) 大多数工业干燥生产习惯于采用简单的、无正规设计的土法干燥设施。

2 最新研究动态

2.1 论文统计分析

《Drying Technology》是国际著名的、专门刊登干燥技术研究成果的杂志,创刊于1983年,分别被SCI、Ei、ISTP三大检索机构收录。2005—2006年该杂志共刊登论文486篇(表1)。

表1 干燥类主题论文发表情况
Tab. 1 Papers published from 2005 to 2006
in drying technology 篇

类别	2005	2006	国别	2005	2006
综述	7	10	中国	13	11
干燥理论	20	30	澳大利亚	5	10
数学模型	33	37	巴西	15	26
系统控制	5	3	加拿大	7	14
节能	4	1	法国	6	11
产品质量	11	8	泰国	5	10
不同物料	77	86	波兰	12	15
干燥设备	5	4	日本	12	7
干燥技术	60	67	美国	4	7

从表1可见,不同物料和干燥技术分别占总篇幅的33.5%和26.1%。其中:干燥物料占58%;化工和矿物产品占3%;纺织品、纸张和木材占9%;陶瓷、泥土、建材和污泥占7%。干燥技术中的喷雾干燥、微波干燥、冷冻干燥、喷动床干燥、流化床干燥、过热蒸汽干燥、真空干燥及其他干燥技术,分别占32%、12%、6%、6%、15%、6%、7%、16%^[1]。

从国别看,巴西、波兰、中国、加拿大、日本等国的论文占多数。其中巴西的论文最多,原因可能与2004年国际干燥会议IDS(International Drying Symposium)在巴西召开有关。总体而言,过去的10年间,北美的干燥研发活动逐年下降;而南美,特别是巴西,干燥研发活动明显上升。

此外,有关干燥节能降耗的研究论文较少,每年在5篇以内,可见这方面仍是一个薄弱环节。

2.2 干燥创新技术举例

1) 干燥模型 近年来,一些学者采用了神经网络模型和考虑物料收缩的孔道网络等温干燥模型^[7],

以及计算流体动力学模型(配有CFD商用计算软件)^[7]等。其中,神经网络模型在木材干燥方面已有学者开始应用^[8-9],它能将多个自变量引射到多个因变量,适用于复杂的木材干燥工程;应用计算流体动力学模型技术,可以绘制出木材干燥室内的速度场、温度场和湿度场等,对于优化木材干燥工程十分重要,但相关研究进展尚未见报道。

2) 过热蒸汽干燥 用过热蒸汽作干燥介质,可以减少传质阻力,明显增强传热系数。真空过热蒸汽干燥木材,比热空气干燥快3~7倍,而且干燥质量很好,在加拿大等国的工业应用效果良好^[10]。

3) 联合干燥 是符合国际干燥技术的创新发展趋势的干燥方式。因为每一种干燥方法都有各自的优点和适用范围,联合干燥正是取其优点而避其缺点^[4]。以除湿干燥与常规蒸汽联合干燥木材为例,首先用蒸汽对木材预热,避免了采用除湿干燥时,用电预热升温慢、电耗高的缺点;进入干燥初期至中期阶段,干燥室的排湿量大,在此期间采用除湿干燥回收干燥室排出的余热,可以明显地降低干燥的能耗,节能率在40%以上^[11];在干燥后期,当干燥室排湿量很小时,再用蒸汽干燥,可快速提高干燥室温度,加快干燥速度,缩短干燥周期。

如日本采用高频-常规蒸汽联合干燥113 mm×113 mm的柳杉方柱,与单纯蒸汽干燥相比,干燥时间缩短了4倍以上,而干燥成本(包括设备、能耗和人工费)降低了3%^[12]。此外,木材干燥行业还出现了真空-微波、真空-除湿、太阳能-热泵等各种联合干燥形式。

4) 生物干燥 原理是利用堆积的生物材料中,微生物氧化分解有机物所产生的能量来实现干燥过程。特点是不需要消耗常规能源,干燥成本低,且使用安全。生物干燥的速度常与生物材料的含水率、温度及通气量有关^[13]。该技术可用于干燥纸浆混和物,在技术上和经济上都是可行的^[1]。

5) 超临界干燥^[1-2] 超临界流体是一种温度和压力处于临界点以上,无汽液相界面区别而兼有液体性质和气体性质的物质相态。超临界干燥过程实际上就是利用超临界流体超强的溶解能力,使被干燥液体达到超临界状态并溶解在超临界流体中。这种技术用于木材干燥的预处理或木材改性,可以改善木材的渗透性,扩展木材内部的水分迁移通道,使气液界面消失,从而消除表面张力,减少或避免木材产生内裂、皱缩等干燥缺陷。

3 未来发展趋势

未来干燥技术的发展总趋势是:在同等能耗下,提高产品的产量和质量;在同等产品产量和质量下降低能耗;各种干燥技术组合和优化;以降低干燥过程对环境危害,促进可持续发展。

3.1 推进干燥技术的创新

1) 将沉积的新技术转变为可持续发展的创新技术,否则失去干燥技术研发的意义;

2) 干燥模型必须可预测传递现象和制定质量参数,使之更具有普遍性、精确性和实用性;

3) 提高干燥效率不单是热质传递问题,还要考虑整个干燥系统的优化,联合干燥技术就属一例^[14];

4) 真空-过热蒸汽干燥是一项颇具发展潜力的干燥技术,可明显提高干燥速度,且改善干燥质量;

5) 对撞流与脉冲燃烧干燥均属于高效干燥技术。我国学者研究证实,对撞流干燥技术是木材纤维干燥理想的快速高效干燥方法^[15],可以实现降低设备投资和节约能耗的目的。脉冲燃烧干燥虽然尚处于试验研究阶段,但预计对于某些碎物料(包括木片)以及纸张干燥等方面,具有一定的应用前景。

3.2 推广“绿色”干燥技术

“绿色”干燥技术是指尽量减少干燥过程排放物对大气环境的污染,可以从以下方面实施:

1) 利用太阳能、电能等清洁能源

① 太阳能干燥:属于可持续发展干燥技术。但太阳能是间歇性能源,能源密度低、不连续、不稳定;单独使用太阳能时,干燥室温度低、波动大、干燥周期长。因此,太阳能干燥常需要与其他能源联合使用,如太阳能-热泵,太阳能-蒸汽,太阳能-炉气等,因此,干燥设备的总投资也会增加。

② 热泵除湿干燥:由于节能效果显著,干燥质量好,用电作能源时不污染环境,技术比较成熟,目前已成为仅次于常规干燥之后应用最广的干燥技术^[6,16]。但热泵除湿干燥也存在一些问题,如除湿干燥温度低,干燥周期长,耗电较高,影响其推广。

2) 推广常规干燥的节能和排气热能回收技术

目前在世界各国的干燥设备中,常规干燥仍占主导地位,在我国木材的常规蒸汽干燥占80%以上^[5,13]。常规干燥能耗高的主要原因之一是排气热能损失大,如能有效回收排气热能,则可显著减少能耗和烟尘对大气的污染。

回收排气热能的方法很多,比较成熟的有:用除湿机和热管换热器回收。除湿干燥与常规蒸汽干燥

联合,与蒸汽干燥相比,其节能率在40%以上^[11]。用热管换热器回收排气热能,其热能回收率略低于除湿机,但由于没有运动部件,本身不消耗能量,且易于操作管理,因此,有较好的推广应用前景^[16]。

4 结束语

着力开发有突破性的创新干燥技术,注重干燥的理论与工业应用的相结合,并更加重视节能和环保问题将成为今后发展的主流。推动我国干燥技术的创新与发展任重而道远,需要业界加强联系,联合攻关,也需要得到政府相关主管部门的支持,才能使我国干燥技术的发展有一个新的飞跃。

参考文献:

- [1] Mujumdar A S, Wu Z H. Thermal Drying Technologies: New Developments and Future R&D Potential[C]. Proceedings of the 5th Asia-Pacific Drying Conference, Hong Kong, 2007; 1-8.
- [2] 黄立新, 陈国华, Mujumdar A S. 干燥技术最新研究进展和展望[J]. 干燥技术与设备, 2007, 5(5): 215-219.
- [3] Mujumdar A S. Handbook of Industrial Drying[M]. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2007.
- [4] 张璧光. 木材科学与技术研究进展[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [5] 张璧光. 我国木材干燥技术的创新途径与发展前景[J]. 中国林业, 2001(5): 14-16.
- [6] 杨彬彬. 多孔介质干燥分形孔道网络模拟及实验研究[D]. 中国农业大学博士学位论文, 2005: 15-30.
- [7] 施娥娟. 多层带式干燥机箱内流场的计算流体力学分析及优化[D]. 中国农业大学硕士学位论文, 2006: 10-20.
- [8] 陈梅雯, 杨文斌. 木材干燥神经网络辨识研究[C]. 第11次全国木材干燥会议论文集, 福州, 2007: 125-130.
- [9] 张冬妍. 木材干燥神经网络建模与智能控制研究[D]. 东北林业大学博士论文, 2005: 56-57.
- [10] 张璧光. 木材真空过热蒸汽干燥的应用前景[J]. 木材加工机械, 2005, 16(3): 42-44.
- [11] 宁炜, 张璧光. 蒸汽与热泵联合干燥木材的匹配分析[J]. 干燥技术与设备, 2004, 2(2): 41-43.
- [12] Hisada T. Present State of the Wood Drying in Japan and Problem to be Solved[C]. 7th International IUFRD Wood Drying Conference, Japan, 2001: 14-19.
- [13] 常志州, 朱万宝, 叶小梅, 等. 禽畜粪便生物干燥技术研究[J]. 农业环境保护, 2000, 19(4): 213-215.
- [14] 张璧光, 谢拥群. 木材干燥的国内外现状与发展趋势[J]. 干燥技术与设备, 2006, 4(1): 7-14.
- [15] 谢拥群, 张璧光, 常建民. 木材碎料对撞流干燥特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(3): 55-58.
- [16] 洗海珍, 刘登瀛, 商福民, 等. 干燥用振荡流热管强化传热研究[C]. 第11届全国干燥会议论文集, 北京, 2007: 56-62.

(责任编辑 姜征、赖威)