



## 参加第10届国际干燥学术会议(IDS 96)汇报

曹崇文<sup>①</sup>

(机械工程学院)

我有幸参加第10届国际干燥学术会议,收获颇丰,兹作如下汇报,以飨读者。

第10届国际干燥学术会议于1996年7月30日至8月2日在波兰克拉科夫市举行。波兰Lodz大学Strumillo教授任会议主席。来自40个国家和地区的221名学者和企业家出席会议。其中波兰、巴西、法国和加拿大出席人数最多。我国10人出席(包括台湾2人)。

会议共收到论文196篇。各国的论文数如下:波兰,31;巴西,19;法国,16;中国,10;加拿大、日本和印度各9;瑞典,7;荷兰,6;德国、美国和澳大利亚各5;其他,65。

### 1 论文分类

根据论文的题名,可将它们分为以下11个部分。

1)基础部分(18篇)。流化床制粒时的干燥和湿化过程,通用干燥曲线,用Fick's方程进行参数估计,蒸汽干燥的模拟和试验,干燥应力及其控制,干燥过程中考虑收缩时的温度和湿度分布,扩散方程的近似解,利用径向方程(radial basis equation)表示流化床干燥动力学。

2)模拟和模型部分(19篇)。片状物料干燥的模拟,气流干燥机和转筒干燥机的模拟和放大,气流干燥机内气固两相流模型,气流干燥的准二维模型,神经网络在滚筒干燥机模拟中的应用,干燥物料机械特性模拟,生物材料在固定床和流化床内的干燥过程,流化床干燥过程的新模型,横流滑动床干燥机的参数估计,旋风分离器内空气和物料的流动模型,冷冻干燥的热力相似性和模拟分析,流化床干燥器的新模型,流化床白糖干燥的模拟和设计,旋风分离器干燥机的数值模拟,喷雾干燥动态模型的试验研究等。

3)干燥设备和工艺(34篇)。双套管气流干燥机,热泵干燥机的改进,高压流化床过热蒸汽干燥机,气流穿透式新型转筒干燥机,气流悬浮干燥机,脉动流化床干燥机,二维喷动床干燥机,二级逆流式热泵流化床干燥机,旋流对撞干燥机,利用流化床干燥泥浆的一些问题,各种工业干燥机的比较,液滴撞击铁板时的Leidenfrost现象等。

4)木材干燥(12篇)。木屑的蒸汽干燥,木材干燥中的传热传质,木材干燥的节能措施,木材高温快速干燥的模拟分析和优化,干燥过程中木材表面的传质等。

5)食品干燥(16篇)。鱼粉的过热蒸汽干燥,火腿干燥的传质,樱桃干燥,食品冷冻干燥的最佳参数,萝卜的电渗干燥,发酵剂的喷动床和流化床干燥对比,奶粉干燥的结块问题,空心面条干燥时的应力分析等。

6)农产品干燥(36篇)。蚕茧干燥的动力学,咖啡豆振动床干燥的动力学,苹果对流干燥模

<sup>①</sup>曹崇文,教授,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)50信箱,100083

型,枣的干燥曲线,大豆的干燥特性曲线,姜的干燥参数,香蕉干燥的理论和实验研究,葡萄干燥动力学,草药干燥特性和品质,稻米干燥的应力计算,玉米干燥中的尺寸变化,甜菜渣的过热蒸汽干燥,土豆泥的惰性粒子干燥等。

7)纸张干燥(10篇)。纸张脉冲干燥的温度测量,热风温度对纸张品质的影响,干燥条件对纸张表面特性的影响,纸张干燥脱水的模拟模型,纸张干燥器的动态模拟和模型等。

8)药品和生物材料的干燥(9篇)。蛋白的冷冻干燥,药粉的微波和真空干燥,碳水化合物和蛋白质对酵母干燥品质的影响等。

9)高级材料的干燥(12篇)。电场对陶瓷材料干燥的影响,陶瓷干燥机的模拟模型,橡胶的干燥特性,喷雾干燥机的喷头,氧化物的干燥系统,包衣的近红外干燥,聚酯片的干燥特性,低温超临界干燥的研究等。

10)干燥的自动化(8篇)。利用神经网络系统对干燥过程进行控制,冷冻干燥中微波加热的脉动压力控制,低温谷物干燥的优化,批式玉米干燥机的非线性优化,流化床干燥的网络模型,转筒干燥机传导加热时的水分分布等。

11)其他(31篇)。气流输送干燥机中不同尺寸颗粒的数学模型,高温气流对撞干燥中谷物的膨化,各种干燥方法对蘑菇干燥的影响,蒸汽管式转筒干燥机传热传质分析,热敏性物料的分析,干燥条件对印度的 nutmeg 干燥的影响,为提高物料品质而进行的干燥应力和变形的分析等。

## 2 会议形式

1)开幕式。由 Strumillo 教授主持。首先加拿大麦吉尔大学 Mujumdar 教授发言,介绍历届 IDS 会议的情况和这次会议的特点等,然后波兰科学院副院长奥斯特罗夫斯基致欢迎词,最后会议主席代表波兰科学院向加拿大 Mujumdar 教授赠送奖章,以表彰他对国际干燥技术发展所作的贡献。

2)论文交流。分大会交流和小组交流 2 种形式。大会发言的 9 人中中都是国际著名干燥专家,如德国的 Schlunder 教授,加拿大的 Douglas 教授和 Mujumdar 教授。大会发言的重点题目是:干燥技术革新,高级干燥过程中的应力和应变模型,流化床干燥基础,机械热力脱水,药品的真空冷冻干燥,干燥技术中 Flowsheet 模拟和 CFD 的应用,无沉积物的喷雾干燥,干燥中的安全和环境问题,纸张的冲击流和穿透流干燥。

3)展板交流。共有 74 篇论文以展板形式交流。参展者都进行了认真的准备,展板布置的水平较高,直观醒目,有的作者还展出了录像和样品。交流气氛十分热烈。

4)自由论坛。大会针对企业与科研院所之间的关系进行了讨论和自由发言。与会者各抒己见,十分热烈。总的意见是理论研究与生产企业结合不够密切,今后需要加强。

5)软件介绍。有 4 个单位介绍了自己开发的软件,包括 Drypak 软件、干燥机选型的专家系统、Humidity 软件和人工智能在干燥机设计中的应用。本次会议反映出的干燥模拟软件较过去有很大提高,在版面设计、用户介面和软件功能方面均有发展。

6)授奖。本次会议设立了 8 类奖,如优秀论文奖、创新贡献奖、干燥工艺期刊奖、教学贡献奖和 IDS 贡献奖等。

7)闭幕式。荷兰干燥专家 Couman 作会议总结报告。会议决定下一次会议——第 11 届国际干燥学术会议于 1998 年 8 月 24 至 27 日在希腊 Thessaloniki 亚里士多德大学举行,会议主

席由 Costas B. Akritidis 教授担任。大会上还宣布第 13 届(2002 年)国际干燥学术会议在中国召开。闭幕式上放了介绍长城和故宫的幻灯片,与会者报以热烈掌声。

### 3 收 获

参加这次国际干燥学术会议,通过与各国学者接触和交谈,了解到世界各国干燥技术的研究和发展概况,以及干燥技术目前的水平和发展趋势,结识了不少干燥专家和朋友。收获很大,归纳起来有以下几点。

1) 新型干燥设备和工艺。主要包括如下几种。

新型转筒式干燥机。由日本大和三光制作所研制成功。其特点是利用空心轴和喷射管将热空气直接喷入筒内的物料层中,强化传热传质,使干燥效率大大提高;此外,热空气流量可以沿转筒轴向变化,以适应物料干燥降水规律。试验证明,该机比传统滚筒式干燥机的效率提高 1 倍,传热系数由  $175\sim 230\text{ kW}(\text{m}^3\text{K})^{-1}$  提高到  $360\sim 1\,750\text{ kW}(\text{m}^3\text{K})^{-1}$ 。

过热蒸汽干燥机。本次会议有关过热蒸汽干燥的论文有 6 篇,说明这种技术正在发展。智利的研究机构以过热蒸汽作为干燥介质用气流干燥管烘干鱼粉获得成功。用  $260\text{ }^\circ\text{C}$  的过热蒸汽可在不到 5 s 的时间内将鱼粉的干基含水率从 50% 干燥到 10%,物料温度不超过  $100\text{ }^\circ\text{C}$ 。气流干燥管的长度为 10 m,生产率为  $50\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ,整套设备所用的电功率为 30 kW。采用常压过热蒸汽,蒸汽可循环使用。

旋转对撞干燥机。波兰 Lodz 大学利用旋转气流对撞原理研究了新的喷雾干燥系统,对干燥过程作了模拟分析。

脉冲燃烧干燥。波兰 Lodz 大学 Zbcinski 对脉冲燃烧干燥进行了综合分析,他指出脉冲燃烧器产生的高强度脉冲波可用于流化床干燥器和盘架式干燥器,其传热效率比普通气流干燥高 5 倍,空气需要量较小,成本也较低,排放的  $\text{NO}_2$  量只为普通干燥器的 1/3。它的一个突出特点是干燥时间极短,仅 0.01 s,当介质温度为  $800\sim 1\,000\text{ }^\circ\text{C}$  时,物料温度不超过  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ;因此,这种高强度干燥技术可用于烘干热敏性物料。

超临界干燥。超临界流体是指压力和温度均高于临界压力和临界温度的流体,它具有许多重要的特性,如其密度与液体相似,而扩散系数比液体大 100 倍,能很容易地溶解难挥发的物质。利用它的这种特性,可以把固体物料中的有机溶媒除去。

2) 组合干燥系统。是干燥技术发展的一种趋势。可分为 2 种组合情况:一是不同干燥工艺的组合,如喷雾干燥器与流化床组合,热泵与喷动床或流化床干燥组合,滚筒干燥与气流干燥组合等;另一种是不同热源的组合,如微波干燥与对流干燥组合和高频电流干燥与热风干燥组合。组合干燥可以更好地去除物料中的水分,提高干燥效率,减小设备尺寸,节省空间。

3) 计算机应用。近年来,计算机在干燥中的应用有很大发展,如干燥过程的计算机模拟、专家系统的应用和神经网络系统的开发等。

Drypak 干燥软件。是波兰 Lodz 大学环境与过程工程系开发的一种软件,目前已发展到 Drypak 4.0 版本,售价 500 美元。它有以下几个特点:a. 可用以计算湿空气特性,绘制 Mollier 图;b. 可用以设计逆流式干燥机;c. 可用以计算各种有机燃料的燃烧过程,对油炉进行分析;d. 可利用 Fick 定律进行干燥动力学计算;e. 可用以计算湿球温度。

干燥机选型的专家系统。俄罗斯门德列耶夫化工大学马塔索夫等人进行了干燥设备选型专家系统的研究。他们将干燥物料分成 8 类,对每一类物料输入 15 种特性参数,然后根据生产

或设计要求,利用该专家系统可以从 32 种干燥机中选出最佳机型。

荷兰 Kerkhof 教授在会议上介绍了他们开发的干燥机选型软件 Drysel。软件分自动选和人工选 2 种方式,利用电子表格结合模拟程序和基础数据库,给定机器的生产率、降水幅度、物料特性和机器占用空间,可以计算出各种干燥设备的成本、外形尺寸、干燥时间、占地面积和评分的情况,供用户选择。完成这种软件需要大量数据,如物料特性数据、干燥介质数据、流程参数、物料分类和各种部件价格数据。

神经网络在干燥研究中的应用。有 4 篇这方面的论文,即《利用神经网络模型进行转筒干燥的模拟》、《利用神经网络模拟和控制干燥过程》、《流化床干燥的动态和混合式网络模型》和《利用网络径向函数描述流化床干燥动力学》。从论文的内容可知,人工神经网络已经开始用于干燥机的性能模拟。其优点是不需要数学模型即可利用输入参数得到输出结果。尤其适用于比较复杂的干燥过程。

Flowsheet Modelling。Flowsheeting 是指利用计算机完成热质平衡计算及一个流程中所需设备的成本和结构尺寸计算。它一般包含 3 个步骤,即 1)综合,2)分析,3)优化。所谓综合是指选好工艺流程,确定采用的设备的结构类型和互相结合部分。分析指传热传质和尺寸、成本的计算。优化指参数及结构的优选。Flowsheeting 是干燥模拟的新发展,现在已有一些典型的软件可供使用。

Humidity 软件。是荷兰干燥专家开发的一种软件。其特点是可以很容易地改变湿空气特性参数的单位;此外,给出任意 2 个参数,即可得出湿空气的其他所有参数。

干燥过程的模拟。过程模拟仍是这次会议的重点,共有 30 余篇论文。其趋势是模型更精确,试验数据更可靠,模拟程序更实用、方便,此外,更多向物料内部的传热传质研究发展。模拟技术开始由单一干燥过程的模拟向整个干燥系统的模拟发展,甚至可以模拟整个工厂的加工过程。软件由多个模块组成,每一个设备均有一个模拟程序,可以组合成各种不同的工艺流程,如滚筒-气流组合干燥系统,喷雾-流化床干燥系统。

4)环境及安全问题。会议对有关干燥作业中的安全问题十分重视,有一篇大会报告,题目是《干燥作业中的环境与安全》。它对近年来各种干燥机引起的操作人员的伤亡情况作了分析,提出了改善措施。有人提出“绿色干燥”(Green drying)问题,即保障安全,维护环境,提高干燥质量。

5)高级材料的干燥。包括各种化工原料和生物物料的干燥。

6)新的测试方法和研究手段。如干燥过程中物料收缩的图像处理,CFD(计算流体动力学软件)的应用,喷雾干燥中雾滴运动的图像采集及速度分析等。

7)基础研究。传热传质分析更加深入,已开始考虑干燥过程中物料形状的变化和收缩。有关考虑收缩后干燥模型和模拟以及物料内部温度和水分分布的论文有多篇。

#### 4 建 议

1)为了更好地为 2002 年在我国召开的国际干燥学术会议作好准备,建议召开一次跨行业的全国干燥学术会议,组织较高水平的学术论文,选出 IDS 筹备委员会成员,与国外干燥专家联系,确定大会发言的人选。

2)加强干燥技术和干燥理论的研究,提高试验参数的测试精度和水平,重视论文的水平 and 论文集的编印质量。