

中国干燥技术现状与展望

王宝和、王喜忠（大连理工大学）

一、中国干燥技术的学术交流和基础研究概况

1. 干燥技术交流情况

在中国已举行过不少有关干燥技术的学术会议。早在 1956 年 6 月上海市化学化工学会就组织过华东六省一市干燥过滤技术会议。1975 年 6 月化学工业部在南京组织并召开了第一届全国干燥技术会议；1986 年 10 月，中国化工学会在上海组织召开了第二届全国干燥技术交流会，迄今已 6 届。如表 1 所示。第七届全国干燥会议在 1999 年 10 月在山东省济南市举行。1996 年 4 月国家自然科学基金委员会材料与工程科学部在北京召开过 96 干燥技术研讨会。还有全国冷冻干燥会，全国农副产品干燥学术会、木材干燥技术交流会，以及中国农机学会收获加工机械专业委员会和全国农产品干燥情报网等也组织过几次干燥技术学术讨论会等。通过这些干燥技术交流活动，促进了干燥技术的理论研究，推动着干燥技术与装备，应用和进步。参加这些学术活动的人员组成涉及各行业领域。

表 1 全国历届干燥会议情况简介表

会议 次序	时间	地点	承办单位	出席 人数	交流 论文数	备注
			原石油化工部第六设计院			
第一届	1975.6	南京	南京化学工业公司设计院	80 人	33 篇	
			上海化工设计院			
第二届	1986.10	上海	上海华元干燥技术工程公司	216 人	45 篇	设置干燥设备展销
第三届	1989.9	大连	大连理工学院	199 人	67 篇	设置干燥设备展销
			辽宁铁岭精机器厂			
第四届	1992.11	武汉	武汉化工学院	171 人	36 篇	有 3 名国际干燥学 者到会作报告
第五届	1995.10	太仓	太仓凯灵干燥设备厂	136 人	61 篇	有 3 名国际干燥学 者到会作报告
第六届	1997.10	无锡	江苏省锡山市林州干燥机厂 中国林科院(南京)林化所	135 人	65 篇	有 6 名国际干燥学 者到会作报告

原机械工业部还成立了中国通用干燥设备行业协会，挂靠在辽宁省铁岭精工集团股份有限公司(会长单位)，行业内部经常进行交流及制订行业标准，以提高协会成员的技术水平和干燥机制造质量。

另外，在化学工程、化工机械、工程热力学、红外线加热技术等专业会议上，也都有不少干燥方面的论文发表。

从 1978 年起，每两年召开一次国际干燥会议，从第二届开始，中国都有代表团参加，中国的潘永康教授(天津轻工业学院)和曹崇文教授(北京农业工程大学)均为国际干燥会议顾问。

已定于 2002 年将在中国召开第 13 届国际干燥会议。

2. 干燥技术基础研究情况

在中国，有很多大专院校和科研院所从事干燥技术的基础理论研究，为新型干燥设备和相关装置的开发做出很大贡献，使中国的干燥技术装备水平接近或达到世界先进水平。不少单位都有比较稳定的科研队伍和明确的研究发展方向。

大专院校有：大连理工大学、浙江大学、天津大学、清华大学、北京农业工程大学、轻工业学院、四川联合大学、北京化工大学、东北大学、东北农业大学、南京化工大学、同济大学、华东大学、上海华东工业大学、沈阳农学院、华南农业大学、哈尔滨建筑大学、福州大学、北京林业大学、贵州农学院、华中理工大学、山东工程学院、江苏理工大学、浙江工业大学、重庆大学、西安公路交通大学、河北工学、内蒙古大学、黄石高等专科学校、华东石油学等。

科研院所：中国科学院工程热物理研究所，上海化工研究院、上海医药工业研究院、中国林业科学研究院南京林产化工研究所、中国农机研究院、中国农业工程研究设计院、沈阳化工研究院、北

京化工研究院、广东省农机研究所、哈尔滨市农机研究所、浙江造纸研究所、重庆市化工研究所、沈阳粮油仪器科学研究所、大连粮油科学研究所、原化工部技术开发中心(兰州)、山东省干燥技术中心等。

二、中国干燥技术与装备概况

70年代,中国主要是对企业的一些旧干燥设备的改造工作;80年代初逐步引进国外的各种先进干燥设备,特别是中国石油化工总公司所属的化工企业引进的干燥设备比较先进,生产能力大、自动化水平高。经过20年的努力,中国的干燥设备在开发,设计和制造等方面都取得了很大的进步。目前已工业化的干燥设备有:喷雾干燥、流化床干燥(包括振动流化床干燥)、气流干燥、回转圆筒干燥、旋转快速干燥、圆盘干燥、带式干燥、双锥回转真空干燥、桨叶式干燥、移动床粮食干燥等。

中国大批量进口干燥装置的时代已经结束。目前中国的干燥机品种比较齐全。某些品种已经系列化批量生产,绝大部分可以满足国内市场需要,只有特大型和特殊需要的少量干燥机尚需要进口。中国目前已有数百家干燥设备的生产企业,部分干燥机产品已经达到或接近国外先进水平,个别产品已有出口,有望逐渐占领国际市场。

1. 喷雾干燥

喷雾干燥器是干燥设备中发展最快、应用最广的一种。目前在染料、塑料、医药、农药、食品、水产、林业、渔业、陶瓷、冶金、电子、催化剂颗粒制备、屠宰场副产品加工等都有这种设备。大约有数百种产品可用喷雾干燥法制得。

喷雾干燥用的雾化器有三种,即气流式、压力式和旋转式。

(1) 气流式喷嘴的喷雾干燥

由于气流式喷嘴的动力(常用压缩空气)消耗比压力式或旋转式大约大5倍,故一般用于干燥小批量的产品,是实验室或中间实验厂的一种较为理想的干燥设备。对于非牛顿型料液的雾化,气流式优于其它型式。三流体喷嘴对于高粘度的糊状或滤饼状料液的雾化比较有效。

中国的喷雾干燥始于气流式喷嘴,因此,对于气流式喷嘴的设计,制造和操作,都积累了较丰富的经验。

(2) 压力式喷嘴的喷雾干燥

由于颗粒状产品(如速溶奶粉、染料、白炭黑、铁氧体等)的需求量日益增多,促使压力式喷雾干燥装置的快速发展。中国已设计、制造出百台以上的各种规格的压力式喷雾干燥装置,现已掌握了这种型式干燥装置的设计、制造和操作技术。

(3) 旋转式雾化器的喷雾干燥

中国现已全部掌握这种干燥机的设计方法。这种喷雾干燥装置的型号比较齐全,江苏省锡山市林洲机厂可提供喷雾量10t/h以下的各种规格全套设备。此种干燥方法在中国已获得广泛的应用。5000t/a的白炭黑均采用此法干燥。

对于大喷雾量(每小时12吨至百吨)的工业喷雾干燥,如火力发电厂的烟气脱硫等,用旋转式雾化器比较合适,只需一个雾化器便可完成。

2. 流化床干燥

流化床干燥器的发展也很迅速,仅次于喷雾干燥器,特别是在普通流化床基础上发展起来的改进型的流化床干燥器。

(1) 搅拌流化床干燥器

若被干燥物料的湿份较大且易结块时,应在加料段设置搅拌器,这样可以改善流化质量,防止死床。

(2) 振动流化床干燥器

振动流化床干燥器是在普通流化床干燥器上施加振动而成。物料在这种干燥器中的流态化和输送主要靠振动来实现,而热风主要用来提供干燥所需的热量并带走湿份,这就显著地降低热风用量,节省能量。

近10年来,振动流化床干燥器在中国得到迅速推广和广泛的应用。辽宁省铁岭精工集团股份有限公司已批量生产这种干燥机,且已系列化。

(3) 旋转快速干燥机

这种干燥机又称旋转闪蒸干燥机。中国目前可以提供直径1400mm以下各种规格的全套装置。这种干燥机主要适用于滤饼或膏糊状物料的干燥,其突出优点是设备体积小,生产能力大,是90年代推广

的干燥设备之一。

(4) 内热式流化床干燥器

在流化床内设置换热器，间接供给床层所需的或大部分热量，而热空气的主要作用是使物料床层流态化，这可达到节能目的，而且内换热器又起内部物件的作用。当床层需要的热量很大而使床层流态化的风量又很小时，采用内换热器的方案是最佳的选择。

3. 流化床喷雾造粒干燥器

这是一种设备体积小，生产能力大的值得推广的干燥设备之一。它是将料液用喷嘴雾化后，喷洒在被热空气流化的晶种床层中，将造粒，混合和干燥操作在一个设备内完成，也称一步造粒法。该过程实际上是流态化技术，雾化技术和干燥技术三者有机的结合。流化床喷雾造粒干燥产品的平均粒径为 0.3—3.0mm 大者可达 8—20mm。可以调节操作参数来控制粒径大小。尿素的流化床喷雾造粒法得到的产品粒径可达 8—25mm。在中、小型流化床喷雾造粒干燥器内，有时在筛板上部设置搅拌装置，防止死床。这种装置可以间歇操作，也可以连续操作

4. 气流干燥器

气流干燥器是一种操作简单、生产能力大及运转可靠的干燥设备。气流干燥已比较成熟，只要在实验室作出干燥数据，便可进行工业装置的设计与施工。

目前有三种改进型气流干燥器：①为提高传热效果，采用脉冲式气流干燥管；②当产品含水量要求不太低时，可采用旋风式或套管式气流干燥器；③当操作空间受到限制时，可作成环形气流干燥器。

5. 水蒸汽加热的回转圆筒干燥器

在回转壳体内部，以同心圆方式排列成 2—4 圈的加热被干燥物料。当除掉的湿份为有机蒸汽时，采用氮气(或惰性气体)闭路循环干燥系统。热量主要靠加热管供给，故属节能型干燥设备。

过去，石油化工企业使用的这种干燥器全部靠进口。目前，中国已生产出这种干燥器，实际运行情况良好。

6. 桨叶式干燥机

这是一种卧式连续操作的干燥机。在壳体上设置加热夹套，在空心轴上设置空心桨叶。操作时，将热载体(小蒸汽、热水等)通入空心轴、空心桨叶及夹套内，提供物料干燥所需要的全部热量；同时在干燥器内通入少量的空气(或氮气等)带走干燥时蒸发出来的小蒸汽(或有机蒸汽)。这是一种热传导型干燥器，热效率较高；排气量少，对环境保护有利，是 90 年代推广的节能型干燥设备之一。

三、干燥技术展望

干燥技术的发展将沿着有效利用能源、提高产品和产量，环境污染、安全操作、易于控制、一机多用等方向发展。就中国的干燥技术装备而言，具体主要包括以下几个方面：

- 1、积极开发专用型、节能型和新型干燥机；
- 2、过热蒸汽(直接)干燥技术的开发和研究；
- 3、组合干燥技术的推广应用；
- 4、冷冻干燥过程的节能问题；
- 5、流化床喷雾造粒技术的基础理论，放大及应用的研究；
- 6、撞击流干燥技术的研究和推广应用；
- 7、计算机技术，专家系统在干燥领域内的应用和推广；
- 8、特大型干燥设备的开发研究；
- 9、干燥机的标准化，系列化；
- 10、干燥装置的出口，逐步占领国际市场。