

名誉主编：郝长江
主 编：刘广文

干燥设备

选型及采购指南

GANZAO SHEBEI

XUANXING JI CAIGOU ZHINAN

中国石化出版社

内 容 提 要

本书共分两部分，第一部分介绍了国内技术较成熟的近 50 种干燥设备的基本原理、结构特点及适用物料的情况，使选型者对各种干燥机有一个基本了解，在选用设备时就有了一定的方向性；第二部分为企业信息，收录了国内多家较具规模的干燥设备制造企业的 basic 情况和所能生产的机型，用户一书在手就能选到自己需要的干燥设备。

本书是集干燥技术普及与干燥设备信息为一体的书籍，可作为设计部门及干燥设备用户选型时参考，也可作为干燥设备制造企业的营销人员参考书。

相关图书

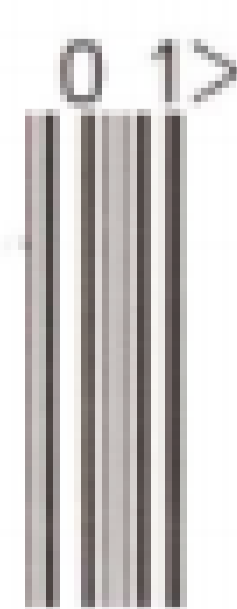
- 干燥技术及其工业应用
- 干燥设备选型及采购指南

责任编辑 白素萍

封面设计 刘磊

责任校对 王红

ISBN 7-80164-627-4



9 787801 646279

ISBN 7-80164-627-4/TB-002

定 价：50.00元

干燥设备选型及采购指南

名誉主编 郝长江

主 编 刘广文

中国石化出版社

《干燥设备选型及采购指南》

编 委 会

名誉主编：郝长江

主 编：刘广文

编 委：(按姓氏拼音顺序)

堵耀章 郝长江 李 铁 刘广文

潘永康 张 华 陈培吉

前 言

近年来，随着我国工农业生产的飞速发展，对干燥设备的需求量也越来越多，需求量的增加也促进了干燥设备制造量的增长。我国目前有专业干燥设备厂家 400 多家，生产的机型多达 50 多种，年产值在 20 多亿元，是有史以来干燥设备发展最快的时期。

众所周知，干燥设备是基本定型的非标设备，这是因为许多干燥设备虽然已经基本形成了系列化，但在涉及具体物料时还要进行一些相应的调整。在多数情况下，一种物料可以用多台干燥设备生产，而同一种干燥设备也可以干燥若干种物料。但对于具体物料，总有一种最合适的机型。为此，能够选择一套保质、安全、环保、低耗的干燥设备也不是一件易事。为提高用户选择干燥设备的准确性，以防造成不必要的损失，我们组织编辑了《干燥设备选型及采购指南》一书。

本书共分两部分，第一部分主要介绍干燥设备的选型方法及常用干燥设备的工作原理、结构特点和所适应的物料；第二部分刊载了大量的干燥企业信息，为选型者提供方便的采购渠道。

本书在编写的过程中，得到了天津科技大学潘永康教授的大力支持，并提出了许多建设性的意见和建议；许多企业为本书的顺利出版提供了大力支持；许多干燥界同仁直接或间接为本书提供了技术资料，在此一并致谢。

干燥是一门在技术上还很不完善的专业，许多理论仍在探讨之中。由于时间仓促、篇幅所限，书中内容难免有以点代面、以偏概全之处，不当之处还请干燥界同行和广大读者斧正，在此谨表谢意。

本书名誉主编郝长江先生系中国化工报社社长，主编刘广文教授是研究干燥设备的专家，不仅有较为深厚的理论，而且还有亲临现场的实际经验，因此针对性强是本书的一大特点。

中国化工报社企划中心

目 录

第一部分 干燥设备选型技术

概述

- 一、干燥技术的特点 (1)
- 二、工业干燥装置的发展现状 (2)
- 三、干燥设备使用概况 (3)
- 四、我国干燥设备发展趋势 (4)
- 五、干燥技术的进展 (5)

第一章 干燥设备选型基础 (8)

第一节 干燥设备的分类 (9)

- 一、按干燥器操作压力分类 (9)
- 二、按干燥器操作方式分类 (9)
- 三、按被干燥物料的状态分类 (10)
- 四、按干燥器给热量方式分类 (10)
- 五、按使用干燥介质的种类分类 (11)
- 六、按干燥器的传热过程分类 (11)
- 七、按干燥器的结构分类 (11)

第二节 干燥设备的适用范围 (12)

- 一、对流传热干燥设备的适用范围 (12)
- 二、传导传热干燥设备的适用范围 (14)
- 三、辐射传热干燥设备的适用范围 (15)
- 四、组合干燥设备的适用范围 (16)
- 五、不同加热方法的干燥设备的适用范围 (16)
- 六、物料的特征 (16)

第三节 干燥设备的选择方法 (17)

- 一、干燥物料目的 (17)
- 二、干燥装置的选择 (17)

- 三、干燥条件的把握 (18)
- 四、干燥装置的选择基准 (18)
- 五、干燥装置的生产方式 (18)
- 六、各种装置的特性 (19)
- 七、干燥设备中的物料传递 (19)
- 八、处理量和运转时间 (19)
- 九、根据物料状态选定干燥设备 (20)
- 十、干燥设备的基本特性 (21)
- 十一、干燥设备在工业上的应用 (22)
- 十二、干燥器选择中耗能、安全和环境因素的影响 (24)
- 十三、制造厂的选择 (25)
- 十四、干燥设备的技术经济评价 (26)

第二章 干燥设备概况 (27)

第一节 气流粉碎干燥器 (27)

- 一、笼形气流粉碎干燥机 (27)
- 二、强化气流干燥器 (28)
- 三、分级闪蒸干燥机 (31)
- 四、闪蒸干燥机 (32)

第二节 气流干燥 (35)

- 一、直管气流干燥器 (36)
- 二、脉冲气流干燥器 (37)
- 三、风机兼分散器型气流干燥设备 (38)
- 四、层式气流干燥塔 (38)
- 五、热喷射气流干燥器 (40)
- 六、旋转干燥器 (40)
- 七、旋风气流干燥器 (42)

第三节 带式干燥机 (42)

- 一、概述 (42)

二、穿流气流带式干燥机	(43)	四、气提式双锥真空干燥机	(91)
二、多层带式干燥机	(44)	五、真空冷冻干燥技术的现状和发展趋势	(93)
第四节 辐射干燥	(44)	第十一节 制粒设备	(95)
一、概述	(44)	一、沸腾制粒	(95)
二、微波干燥机	(46)	二、一步制粒	(96)
三、远红外干燥技术	(46)	三、制粒工艺	(97)
第五节 滚筒转鼓干燥机	(47)	四、PGL型喷雾干燥制粒机	(99)
一、滚筒转鼓干燥机简介	(47)	五、一步制粒机	(100)
二、单滚筒转鼓式干燥器	(50)	六、GFG型高效沸腾干燥机	(100)
三、双滚筒转鼓干燥机	(50)	第十二节 回转干燥	(101)
第六节 流化床干燥机	(51)	一、回转圆筒干燥机	(101)
一、单圆筒流化干燥器	(57)	二、穿流回转干燥器	(103)
二、多层振动流化床干燥器	(57)	三、管束旋转干燥机	(104)
三、圆型干燥机	(58)	第十三节 组合干燥	(106)
四、载体喷雾流化干燥器	(59)	一、桨叶式干燥机串联系统	(107)
五、振动载体流化床干燥器	(60)	二、桨叶闪蒸串联系统	(107)
六、粉碎流化床干燥器	(61)	三、喷雾带式干燥机	(108)
七、内热管流化床干燥器	(62)	四、喷雾多层耙式圆盘干燥装置	(110)
八、卧式多室流化床干燥器	(63)	五、喷雾流化干燥器	(111)
九、竖式(移动床)干燥器	(65)	六、喷雾气流干燥器	(112)
十、振动流化床干燥器	(65)	七、气流-流化床干燥器	(112)
十一、传导传热流化床干燥器	(67)	八、正负压两级气流干燥器	(113)
第七节 传导式干燥机	(68)	九、喷雾干燥多级组合型式及应用	(114)
一、真空耙式干燥机	(68)	第三章 配套设备的选择方法	(118)
二、板式干燥机	(69)	第一节 除尘设备	(118)
三、桨叶式干燥机	(70)	一、旋风分离器	(118)
四、耙式干燥机	(72)	二、布袋除尘器	(119)
第八节 喷雾干燥器	(72)	三、空气过滤器	(120)
一、概述	(72)	四、文丘里除尘器	(120)
二、离心式喷雾干燥	(77)	五、箱式水膜除尘器	(121)
三、气流式喷雾干燥	(79)	六、箱式洗涤器	(121)
四、压力式喷雾干燥器	(81)	第二节 热源	(121)
第九节 箱式、洞道式干燥器	(82)	一、热源的选择	(122)
一、箱式干燥器	(82)	二、热源的种类型	(123)
二、洞道式干燥器	(83)	三、空气换热器	(124)
第十节 真空干燥设备	(84)		
一、真空干燥设备简介	(84)		
二、多层盘式连续干燥机	(90)		
三、双锥真空干燥机	(90)		

第二部分 中国干燥设备企业信息

一、江苏	(126)	八、吉林·黑龙江	(182)
二、浙江	(165)	九、上海	(184)
三、山东	(169)	十、河南	(186)
四、辽宁	(174)	十一、广东	(187)
五、北京	(178)	十二、四川·重庆	(190)
六、天津	(179)	十三、其他地区	(192)
七、河北	(181)	十四、推荐企业	(193)

第一部分 干燥设备选型技术

概 述

同其他工业技术一样，干燥技术在应用过程中也得到长足的进步。目前已开发出的干燥机的种类已达 400 多种，而且有约 200 多种干燥机已应用于工业化生产，其中出现了许多新型干燥机，它们有的是对普通干燥机进行结构上的改进，有的借鉴吸收了其他干燥机的优点，有的完全是一种新想法。

干燥又是工业耗能相当大的一个单元操作，据资料记载，发达国家工业耗能的 14% 被用于干燥，有些行业的干燥耗能甚至占到生产总耗能的 35%，而且这个数字在不断地增大。同时，运用矿物燃料作为热源进行干燥操作产生大量的二氧化碳等气体。干燥设备的尾气(这些气体中夹带一些粉尘)对大气环境有不良的影响，这对于日益引起全球关注的“环境保护”是一个极大的挑战。

几乎所有的工业都离不开干燥操作，虽然正确地了解干燥及干燥设备的工作机理有助于成功地完成干燥过程，但是仍然需要我们不断地投入人力和物力去进一步进行干燥技术的研究和开发，使其在生产高质量产品的同时，有效地利用能源，减少对环境的不良影响，并且更易于实现过程操作和控制。

一、干燥技术的特点

干燥技术有很宽的应用领域，面对众多的产业、理化性质各不相同的物料、产品质量及其他方面千差万别的要求，干燥技术是一门跨行业、跨学科、具有实验科学性质的技术。通常，在干燥技术的开发及应用中需要具备三个方面的知识和技术。第一是需要了解被干燥物料的理化性质和产品的使用特点；第二是要熟悉传递工程的原理，即传质、传热、流体力学和空气动力学等能量传递的原理；第三要有实施的手段，即能够进行干燥流程、主要设备、电气仪表控制等方面的工程设计。显然，这三方面的知识和技术不属于一个学科领域。而在实践中，这三方面的知识和技术又缺一不可。所以干燥技术是一门跨行业、跨学科的技术。

现代干燥技术虽已有一百多年的发展史，但至今还属于实验科学的范畴。大部分干燥技术目前还缺乏能够精准指导实践的科学理论和设计方法。实际应用中，依靠经验和小规模实验的数据来指导工业设计还是主要的方式，造成这一局面的原因有以下几方面：

原因之一是干燥技术所依托的一些基础学科，(主要是隶属于传递工程范畴的学科)本身就具有实验科学的特点。例如，空气动力学的研究发展还要靠“风洞”实验来推动，就说明它还没有脱离实验科学的范畴，而这些基础学科自身的发展水平直接影响和决定了干燥技术的发展水平。

原因之二是很多干燥过程是多种学科技术交汇进行的过程，牵涉面广、变化因素多、机理复杂。例如在喷雾干燥技术领域里，被雾化的液滴在干燥塔内的运行轨迹是工程设计的关键。液滴的轨迹与自身的体积、质量、初始速度和方向及周围其他液滴和热空气的流向、流速有关。但这些参数由于传质、传热过程的进行，无时无刻不在发生着变化。而且初始状态时，无论是液滴的大小还是热空气的分布都不可能是均匀的。显然，对于如此复杂、多变的过程只凭借理论计算来进行工程设计是不可靠的。

原因之三是被干燥物料的种类是多种多样的，其理化性质也是各不相同。不同的物料即使在相同的干燥条件下，其传质、传热的速率也可能有较大的差异。如果不加以区别对待，就有可能造成不尽人意的后果。例如某些中草药的干燥，虽然同属一种药材，只因为药材产地或收获期存在区别就须改变干燥条件，否则产品质量就会受到影响。

以上三方面的原因决定了干燥技术的开发与应用要以实验为基础。但干燥技术的这些特点往往被人有意或无意地忽视。制造厂商由于实验装置缺乏或机型不全(这在我国是一个普遍存在的现象)经常回避应做的干燥实验，而用户由于不了解干燥技术的特点，也经常放弃进行必要实验的要求。其结局是装置使用效果不佳，甚至于造成方案设计失败。在我国，这样的事例屡见不鲜，曾有过一套价值 2000 万元人民币的工业干燥装置因达不到使用要求而被闲置的教训。因此，建设工业干燥装置尤其是较大的装置之前，一定要进行充分的、有说服力的实验，并以实验结果作为工业装置设计的依据。这是干燥技术应用的显著特点。

此外，干燥设备种类繁多、各具用途也是干燥技术的一个特点。每一种技术都有自己适宜应用的领域。在工程实践中，要根据具体情况选择适用的干燥技术种类。这对投资费用、操作成本、产品质量、环保要求等方都会产生重大的影响。例如某一企业，在白炭黑滤饼干燥上曾经分别选用过箱式干燥、喷雾干燥、旋转气流快速干燥三种型式。最终结果证明这三种技术各有所长。箱式干燥生产白炭黑虽然生产效率低、人员劳动强度大，但产品质量好。与橡胶混炼后所生成的制品扯断强度值较高。旋转气流快速干燥设备紧凑、投资少、生产效率高，但所生成的橡胶制品的强度指标却是三者间最差的。喷雾干燥生产白炭黑，产品各项指标在三者间居中，但具有产品流动性好、粉尘污染小，深受用户及操作者欢迎的特点。在 20 世纪 90 年代，为白炭黑生产中采用哪种干燥方式更为先进的问题，曾在我国干燥界引发过争论。其实，三种设备各有特点，选用哪种机型要看用户自身的条件和产品要求。不存在哪种技术更为先进的结论。类似的例子有很多，都表明了干燥设备种类繁多、各具用途的特点。所以在应用中要仔细比较、慎重选择技术方案，而通过干燥实验来考核技术方案也是必不可少的步骤。

二、工业干燥装置的发展现状

干燥在许多生产中是一个十分重要的单元操作，因为干燥在这里不仅是简单的固液分离过程，更重要的常常是生产过程的最后一道工序，产品的质量、剂型在很大程度上取决于干燥技术和设备的综合运用情况。从经济角度考虑，干燥器价格昂贵，工程投资较大。另一方面，干燥又是高耗能过程，热效率在 15% ~ 80% 这样大的范围内波动，而设备的运转费用与干燥器的设计选型有非常密切的关系，所以企业的决策者对此历来都比较重视。被干燥物料的品种有许多，它们的理化性质又有很大差异。甚至同一品种不同的生产工艺、同一品种不同的产品要求，导致干燥条件可能都有区别，所以就决定了干燥工程的复杂性。由此可见，干燥过程较其他的单元操作具有更高的技术性。

我国干燥设备在解放前基本是空白，只有烘房、烘箱和滚筒干燥机，干燥技术落后、生产设备原始。到 1957 年才出现了真空耙式干燥机，1964 年以后干燥技术有了较快的发展。纵观我国干燥技术及设备的发展史，在几十年间经历由简到繁、由低级到高级的发展阶段，现在常用于生产的干燥设备有十余类三十多个系列，加上组合干燥设备约有五十几种，再加上专用干燥设备就更难于统计，合理地选用这些干燥设备也不是一件易事，选型的前提是了解这些设备的基本工作原理、结构特点以及适用物料范围，这样在选型时才避免走弯路。

近些年来，由于干燥技术的发展，给筛选设备带来了更多的复杂因素。即使是干燥设备的设计、制造或使用者也常常弄不清如何去选择合适的设备。由于干燥设备的推销者在市场上只是对他们推销的干燥机种类感兴趣，而对其他种类则并不介绍，这样，用户就只得借助于有关的现代干燥技术参考资料决定对设备的最后选择。毫无疑问，用户很需要由推销者提供的实验室，实验范围及技术经济方面的资料。因此，就必须熟悉大多数干燥设备，才有可能选出合理的设备。应该强调的

是，在特定的生产运行状态中，很有可能有很多较适用的干燥机，但也必须知道，在特定的工作状态下，没有一个严格的规则规定出极精确的最佳干燥设备，每一种产品都有自己独特的生产方式。影响最佳干燥装置选择的因素很多，如选择间歇干燥还是连续干燥、矿物燃料的消耗、电耗、地方环境法或噪音污染限制等。产品产量对干燥机的选择更是一个主要因素。

三、干燥设备使用概况

前面提到，干燥设备是在许多工业生产中大量应用。多年来已有多种机型用于工业化生产中，如气流干燥器、流化床干燥器、喷雾干燥器、滚筒干燥机、耙式干燥器、冷冻干燥机、红外线干燥及组合式干燥等达几十种之多。为什么干燥设备类型很多呢？这主要是由于干燥物料形态、性质各不相同，处理的物料有各种不同的具体要求所致。

随着我国各行业的生产技术的飞跃发展，国内干燥技术和设备也得到了迅速发展。在散粒状物料的干燥方面，近几年来流态化技术获得了更加广泛的应用和新的发展。流态化干燥充分改善了气固相接触条件(蒸发表面积增大)，物料的剧烈搅动，大大减少了气膜阻力，给传热介质创造了极为有利的条件。除了国内在干燥技术中使用较早的气流干燥获得较迅速发展外，近年来流化干燥设备发展得最快。主要表现在利用流态化技术结合各种被干燥物料特性和要求创制了很多新型高效的流态化干燥器，分述如下。

直管气流干燥器是国内使用较早的流化干燥设备，经数年来的生产实践认为气流干燥对散粒状物料，特别是热敏性物料的干燥，还是比较理想的干燥设备。它无论生产量，占地面积等方面均比烘箱干燥优越，因此目前在制药、塑料、食品、化肥等工业中使用的更加广泛。但气流干燥还存在热利用率较低、设备高、气固两相相对速度较低等缺点。近年来创制了脉冲气流干燥器、旋风气流干燥器、粉碎气流干燥器等新型气流设备，克服了直管气流干燥的缺点。粉碎气流除降低高度外，还扩大了气流干燥器的使用范围，使易氧化的物料能用空气作为干燥介质，既降低了干燥动力消耗，又提高了产品的产量和质量，此外还采用了多级气流干燥流程和组合气流干燥流程，在气流干燥器的应用上，许多工程采用了二级串联方式，在有些物料的干燥上更加合理，也提高了热效率。直管气流干燥在生产操作方面已很成熟。脉冲气流、旋风气流干燥已工业化多年，操作已较成熟，但理论设计方面还很缺少。在今后的实践发展中还需进一步完善。

大部分热敏性较强和易氧化的物料，均采用气流干燥。一般能将初湿为 10% ~ 25% 的物料干燥至 1% ~ 0.05%，被干燥的物料粒度一般在 60 ~ 100 目，产量一般在 100 ~ 200kg/h。目前国内在制药、食品、塑料等工业中广泛使用。随着我国生产技术的飞速发展，气流干燥在今后的工业生产中必定应用得更加广泛。

流化干燥是最近年发展起来的又一干燥技术。经过生产实践证明它有很多优越性，能实现小设备大生产，由于热容系数较大和停留时间可任意调节，故对含表面水和需经过降速干燥阶段的物料均适用，特别适用于散粒物料的干燥。最近发展起来并已工业化的有下列几种型式：单层圆筒型、多层圆管型、振动流化床、卧式多室流化床干燥器、搅拌流化床以及内藏热管流化床等，其中以后者发展得较迅速。目前已在制药、化肥、食品、塑料、石油化工等工业中广泛使用。经过几年的实践，国内流化干燥无论在操作、设备结构等方面均已发展到较成熟阶段。从使用情况看，卧式多室流化干燥器由于结构简单、操作方便而稳定、物料适应性广，既能获得含水均匀的产品，动力消耗又少，是流态化干燥散粒状物料较理想的设备，今后值得推广与发展。内藏热管是流化床对流传热和传导传热相结合的产物，具有较高的热效率，干燥效果也效好，是近年来很受推荐的新机型。

国内锥形流化床按操作分有三种型式：一种是浓相溢流出料，近年来国内较多在流化造粒方面使用；另一种即喷动床干燥，是由床顶出料，产品在旋风分离器内收集或间歇操作床底出料。这种结构比流化床结构简单，设备小，产量大，干燥强度高、床层等温性强、不发生局部过热。过去仅适用于大颗粒物料(聚氯乙烯)，近年来已发展至能应用于细粒物料的干燥。目前在塑料、谷物、制

药等部门使用。但因动力消耗较大,使用受到一定限制。

在溶液状或浆状物料的干燥方面也获得了较新的发展,除使用得较多的喷雾干燥有了新的发展外,近年来已成功采用了锥形流化床进行喷雾造粒生产并已逐步在发展和完善中。喷雾流化造粒干燥器首先在化肥上采用,目前已在医药、食品等工业中采用。喷雾干燥在国内使用已有二十几年,在设计和操作等方面都已较成熟。近年来喷雾干燥有以下几方面的进展:

(1)干燥室除向大型化发展外,喷头雾化器性能方面有关单位也作较多的实验研究工作,并取得了显著效果;

(2)除热敏性溶液更加广泛采用喷雾干燥外,近年浆液也成功地采用了喷雾干燥;

(3)喷雾干燥与其他干燥技术结合以达到干燥或干燥造粒同时进行的,这也是我国干燥技术水平进一步发展的体现;

(4)目前正在进行低温喷雾干燥的实验,它是将含湿量极低而温度不高的空气作载体,空气经过预先脱水干燥,在干燥过程中产品温度不超过 35°C ,因此适用于热敏性物料的干燥,如医药、食品脱水等。

目前已工业化的与喷雾技术综合应用的有喷雾气流干燥,喷雾流化造粒,喷雾转筒造粒。随着我国工农业的大发展,喷雾干燥技术必将越来越广泛运用。

从现在工业应用情况来看,膏状物料使用烘房干燥所占比例还很大,其中产量大的也很多,如染料、颜料、中间体、无机盐等。烘房干燥膏状物料的缺点是:物料是静止的,物料与干燥介质接触面积小,接触状况不良,干燥时间长;热效率低,在干燥过程中需要人工翻动,否则产品质量不均匀;在高温下装卸、翻动物料,不可避免的产生粉尘飞扬,操作环境很恶劣,严重地影响工人身体健康。经箱式干燥后的许多物料还需要再粉碎而产生二次污染。物料产量越大,上述矛盾就越突出。现在许多设备可以代替箱式干燥,因此,膏状物料的干燥目前主要以闪蒸干燥机和粉碎气流干燥机、耙式干燥机、桨叶式干燥机为主。最近几年来,国内膏状物料干燥技术已大大前进了一步,其表现如下:

真空耙式干燥机对大多数膏状物都能适用。近年来在膏状物的干燥中起了很大作用,采用也较普遍,它无论在产量及劳动环境等方面都较烘房改善了,具有易操作,劳动强度等优点。但产量大时采用真空耙式干燥机则占地面积和造价大的矛盾较突出。为了解决大产量膏状物料的干燥问题,国内近年来已成功采用了流态化技术进行干燥生产。目前已工业化的有下列几种设备:薄膜流化干燥机、螺旋气流干燥器、流化气流干燥器、闪蒸干燥机、粉碎气流干燥器。这些设备具有产量大,设备结构紧凑,占地面积小,劳动强度低,易制造等优点。目前已在染料、颜料、无机盐等工业中推广使用。对膏状物料的干燥作用较好,多数膏状物料都能适应。但这些设备还远不能完全满足生产的要求,有些新设备目前还存在一些缺点,需进一步完善。

转筒干燥器,由于它的处理量大,操作费用低,适应性好。如碳酸钙、谷物、化肥等均普遍采用。虽然它存在耗金属多,制造周期长等缺点,但对上述物料还是比较适用的。最近转筒干燥有了新的发展,已成功地在溶液物料的造粒干燥中使用,通气式转筒干燥机的开发成功使这一设备又有了新的功能。

四、我国干燥设备发展趋势

经过多年的发展,我国的干燥设备行业已形成了一定的企业数量和生产规模。直接从事各类干燥设备专业制造厂家约400家之多,与干燥设备配套的企业有100多家,还有部分各类机械厂也在制造干燥设备,主要分布在制药机械、化工机械、食品机械、农产品加工机械、矿山冶金、林产品、轻工陶瓷等设备加工行业,这些行业的干燥设备生产企业占全行业总数的80%以上,行业总产值约20亿元以上。行业中产值在1000万元以上的企业占总数的48%左右;500万元以上的企业占总数的70%。许多企业是在早期企业的基础上逐渐派生出来的,地理位置相对集中,人员结构存在

严重的不合理。到目前为止，企业主要分布在江、浙、沪、辽、黑，这几个地区的企业几乎占到全行业总数的50%，我国还有部分省没有干燥设备生产企业。行业内竞争激烈，一些企业注重眼前利益，缺乏系统发展思路，整体素质提高缓慢，严重地阻碍了行业的正常发展。

我国干燥技术与世界发达国家的同行业相比还存在着一定的差距，市场中、低技术产品占主导地位。目前在华的外国干燥设备公司约有40~50家，今后将会有更多的国际同行进入国内市场，随着国际竞争的不断加剧，我国将面临巨大的竞争压力。日益激烈的竞争要求我们的企业必须通过技术进步、吸收国外先进技术、自主创新来提升产品技术含量和装备水平。产品发展的思路要在设备的大型化、控制的自动化程度、设备表面处理质量、耐腐蚀材料的选用上下功夫，开发多功能组合干燥器，促进产品的生命周期不断延长。要多组织企业参加国际间技术交流，吸收最新技术成果，加速提高全行业技术水平。

我国干燥行业特点是企业不大、不强、不专、不精，数量多而整体素质不高，多数企业管理落后，未达到规模经济，应通过行业协会进行指导和协调，改变盲目发展的状况。江、浙、沪三地相对集中的企业，可以考虑利用合资、合作、收购的方式向中西部地区迁移，寻找更广阔的企业生存和发展空间。行业内企业间要走强强联合的道路，在行业内培育一些技术实力雄厚、拥有著名品牌和自主知识产权的大公司、企业集团。企业应积极调整产品结构，培育核心竞争能力，形成自己的特色产品和特色服务。

我国干燥设备生产企业中，有50%左右是家族式企业，在管理模式上多采取家族式管理，无法与国际同行相比，市场经济体制下的企业管理必须遵循经济规律和价值规律，管理水平跟不上是我国干燥设备企业不大、不强、不精的根源之一。市场经济的发展要求我们的企业必须重新审视企业的组织结构和管理模式。建立现代企业制度是摆在面前的又一重大课题。按现代企业的要求，对现有企业进行改造，制定长远的发展战略，借助企业外的资金壮大企业实力，用先进的管理思想指导企业，使之在较短的时间内有较大的发展。

我国干燥设备生产企业的创新能力较低，能够推出自主知识产权的新技术、新产品的企业寥寥无几，这是我国干燥设备发展缓慢的重要原因。目前，我国有几十所高校、科研单位从事干燥技术的开发研究，分布在我国各地，但大部分知识成果没有有效地转化为现实生产力。企业要成为技术创新的主体，应直接与这些高校和科研单位以多种形式联合，使资源得到合理的配置与利用，有效地培育和发展企业的创新能力。对提高我国干燥设备的制造水平将起到重要作用。

纵观行业的发展情况，在众多的干燥设备制造企业中，发展较好的有四种类型。首先是建厂时间较长的老厂，这些厂在用户中有较广的影响面，机型齐全，适应用户的能力较强，产值较高。其次是在某一行业知名度较高，同行业用户口耳相传，设备厂对被处理料的各种性质较熟悉，容易获得用户的信任，在某些行业中有垄断能力。第三种企业是对某种机型有较深入的研究，一旦物料必须采用这种机型，设备厂就有可能获得该工程的制造机会。第四种企业是成套设备制造企业，将干燥设备纳入到单元设备之中，这种企业往往大型企业，各类工程技术人员都有，技术能力较强，是以高技术含量、高附加值、成套化设备争取市场。

从行业发展角度分析，随着制药厂设备改造的完成，制药行业对干燥设备的需求量将要减少，干燥设备的竞争将更加激烈。我国的干燥设备如不能走出国门，很难有更大的发展。

五、干燥技术的进展

干燥设备不仅是石油化工、医药、染料、化肥、农药、催化剂等行业中的重要生产装置，而且在其他工业体系来说，如食品、纺织、冶金、机电、木材、造纸行业中也是必不可少的常用设备，充分说明了“干燥”这一工业技术在整个国民经济中的作用。通过调研，也看到了我国在干燥技术方面还存在着一些问题。例如，很多使用比较广泛的新型高效干燥设备，已经使用多年还没有定型化（基本定型）、系列化、通用化。影响了发展速度，增加了基本建设和技术改造的投资费用。

目前干燥技术的进展主要表现在以下几各方面:

1. 干燥设备研制向专业化方向发展

由前所述,干燥设备应用极广,遍及国民经济各部门,而且需要量也很大,因此为干燥设备向专业化方向发展,今后可能出现更多的专用干燥设备。

2. 干燥设备的大型化、系列化和自动化

从干燥技术经济的观点来看,大型化的装置,具有原材料消耗低(与相同产量相比)、能量消耗少、自动化水平高、生产成本低的特点。设备系列化,可对不同生产规模的工厂及时提供成套设备和部件,具有投产快和维修容易的特点。例如,喷雾干燥装置,最大生产能力为200t/h;流化床干燥器干燥煤的生产能力可达到350t/h产品。

3. 改进干燥设备,强化干燥过程

近年来,常用的干燥设备(喷雾、流态化、气流干燥等),仍在原有的基础上改进和发展。

(1) 改善设备内物料的流动状况(或干燥介质的流体力学状况),强化和改善干燥过程。例如气流干燥器,从直管气流干燥,改成脉冲气流干燥器,使被干燥粒子在脉冲气流的作用下多次的加速,强化传热传质过程。又如,改进喷雾干燥器的进风装置,达到控制雾滴的运动状况等目的。

(2) 增添附属装置,改善干燥器的操作,扩大干燥设备的使用范围。在气流干燥器的装置中增添分散器,使气流干燥器用于分散性差的湿物料的干燥;增添破碎机,使气流干燥器用于块状物料的干燥;增添混合器,使气流干燥器用于含水率很高的物料;增添分级机,以解决产品粒度的均匀化等。

在喷雾干燥方面,研制了高黏度物料的雾化器;研制各种喷雾干燥器的进气分布装置,使干燥塔中心与塔壁的气速基本一致,减少物料粘壁的机会;安装电磁自动振动装置,防止物料粘壁等。

在流化床干燥器中,增添附属装置,改善其操作性能。例如在单层圆筒形流化床中,添加旋转分隔板,分隔板从流化床中部开始旋转分隔直至出料口。湿物料从流化床中部加入,在旋转隔板的作用下,物料从进口至出口一边流化一边运动,而不会“短路”,因此,物料在流化床中的停留时间均匀。在双层流化床中的上层,增添摆动的物料松动器,当流化床操作时,松动器不停摆动,松动物料,避免形成死床层,以改善流化床的特性。在卧式多室流化床中的第一室,增添搅拌装置,使凝聚的湿物料分散,同时排除不能流化的大颗粒。此外,在卧式多室流化床中,把固定隔板改成悬挂在回转链上的运动隔板,在运动隔板的作用下,物料从加料端均匀地移到出料端,实现了物料的“活塞流”,可使被干燥物料停留时间均匀,产品含水率也均匀。

4. 采用新的干燥方法及组合干燥方法

近年来高频干燥、微波干燥、红外线干燥以及组合干燥发展较快。另外,如利用弹性振动能强化固体物料的干燥。弹性振动能-声波对固体物料表面作用,可使湿固体表面流体边界层破坏,减小传热和传质的阻力,故能强化干燥,但声强不能低于143~145dB,这也是技术难题。

5. 降低干燥过程中能量的消耗

干燥是消耗热量很大的化工单元装置。在干燥过程中,热效率变化很大,如药片包衣干燥时,热效率为7%;食品添加剂的流态化干燥,热效率为20%左右;一般化学工业中干燥热效率为20%~50%。提高干燥过程热效率的主要措施如下:

(1) 对现有干燥设备,加强热管理。如防止干燥介质的泄漏,使燃烧炉中的完全燃烧,对带有热空气循环的干燥设备,尽可能保持最大的循环风量等。

(2) 改善设备的保温。一般干燥器损失热量为3%~30%。在对干燥器散热量进行测定的基础上,采取措施,改善设备的保温,减少热损失。

(3) 防止产品的过度干燥。干燥过程中,应严格地把产品控制在要求的含水率范围内,避免造成产品的过度干燥而增加能量消耗。例如纸张干燥,是为了保证纸张的强度,要求其含水率为7%,而多滚筒干燥机可能将纸过度干燥到含水率为4%。为了防止过度干燥,可以减少最后几个滚筒,

改为高频加热等。

(4) 减少被干燥物料的初水分含量。如果被干燥的物料是溶液，可用薄膜蒸发器浓缩后，再进行喷雾干燥或其他方法干燥；如果被干燥的物料是悬浮液，可用过滤除去大部分水分后，再进行干燥。这样可以降低单位产品的热能消耗。例如，某厂把铬黄干燥改成过滤后，把滤饼用往复泵输送至喷嘴，再用气流雾化，进行喷雾干燥，产品质量好，并降低了热能消耗。

(5) 回收尾气带走的热量。对流干燥器在进口温度不太高的情况下，尾气带走的热量与总热量之比值是很大的，有的可占总热量的40%。采用热交换器回收尾气带走的热，已在工业上实施。例如，用10℃的空气，通过废热回收换热器加热到84.8℃，尾气可从150℃降到70℃，回收了尾气中热量的25%，节约燃料23%，在两年内即可收回废热回收换热器所用的投资。用“热管”回收尾气中的热量也是很有前途的方法。

(6) 提高干燥器的空气进口温度。被干燥的物料若是非热敏性的，进入干燥器的空气温度，可以提高到650℃以上；对于热敏性的物料，也可在保证产品质量的前提下，尽可能地采用较高的气体进口温度。因为，使用的气体温度越高，干燥器的热效率越高。例如，把20℃绝对湿含量为0.01的空气加热到500℃用于干燥，在干燥器中空气放热而降温的极限是使之绝热饱和到这种状态空气的湿球温度65.8℃，其理论热效率可达到90.5%。如果，这种空气只加热到120℃，用同样的方法计算，其理论热效率为82%。可见，提高干燥器的进口空气温度，可以提高干燥器的理论热效率，实际热效率亦是如此。

(7) 采用过热蒸汽干燥。用过热蒸汽作干燥介质，利用蒸汽显热下降的干燥方法，叫做过热蒸汽干燥。干燥用的蒸汽，可以循环使用，以减少热损失，提高干燥过程的热效率。除外，蒸汽的定压比热比空气约大一倍，在相同的干燥热负荷下，水蒸汽的用量，仅为空气用量一半，因此，提高了干燥装置的生产能力。它适于干燥时发臭的物料、有爆炸危险的物料、含有机溶剂的物料以及放射性废物的干燥等。

6. 闭路循环干燥流程的开发和应用

例如用惰性气体作干燥介质的闭路循环流程。主要用于易燃、易爆、易氧化物料的干燥。某石油化工厂用氮气作干燥介质，干燥聚丙烯树脂，生产能力可达5t/h，产品质量也高。

7. 消除干燥操作造成的公害问题

在粉尘回收方面，用湿式除尘器洗涤尾气，可使排放尾气中含粉尘量降到15~35mg/m³，此值的大小还取决于洗水用量。现代化的空气喷吹自动清除粉尘的袋滤器，处理后气体含尘量可以达到20mg/m³。还可采用尾气洗涤和热回收组合的方式来净化尾气，它既可减少粉尘又降低了热耗。为了减少干燥中风机产生的噪声，应选用加工精度高、动平衡好的风机。其次，在安装上应采取隔振和减振等措施，务使风机噪声控制在90dB以下。

第一章 干燥设备选型基础

如前所述，目前，已研制出的干燥机有 400 余种，其中 200 余种已经实现了工业化，我国常用的工业型干燥机也近 100 种，从这些干燥机中选择合适的机型确有一定的难度。

我国干燥设备厂众多，而且都能在市场上占有一席之地。应该说在众多的干燥设备厂中，所生产的设备不论是技术含量还是产品质量都有一定差异，但为什么各种规模的干燥企业都能生存下来，这与国内用户群体识别能力有很大关系。干燥设备与其他通用型设备不同，除机械质量等外表可见的因素外，其中的技术含量、使用效果并不能被用户所发现。由于用户对干燥机的鉴别能力较差，客观上给一些水平较低的干燥设备厂提供了生存的空间。培养市场，普及干燥知识，对净化、整合干燥设备市场能起到积极作用。只有这样，才能通过市场的优胜劣汰，使具有发展潜力的厂家得以生存和发展。

干燥机的选择要考虑许多条件，受多种因素的制约，对干燥装置的选择既有科学性又有技艺性。过去，干燥机的选择常常靠经验或者考虑产品的通用性来决定。近年来，由于干燥技术的发展，给选择设备带来了更多的复杂因素。干燥设备的设计、制造或选用者常常弄清如何去选择合适的干燥设备。由于干燥设备的推销者或提供的实验数据，实验范围及技术方面的资料不一定获得满意的结果，因此，必须制造各种不同类型的实验设备，做大量的实验才能选择出合理的设备。应该强调的是，在特定生产运行状态中，很有可能有很多适宜的干燥机。人们必须知道，在特定的工作状态下，没有一个严格的规则规定出最佳干燥设备，但每一种产品却都有自己独特的生产方式和干燥条件。

许多工程设计人员和工厂的工程技术人员常涉及到干燥设备的选型问题，从繁多的干燥设备中选择最合适机型也不是易事，对各类干燥设备有一个初步的了解，对它们的优缺点及适用范围有初步的掌握，会对自己所需要的干燥设备及生产规模有一个基本估计，这些知识对选用干燥设备会有很大帮助。

干燥过程是耗能较大的操作之一。由于干燥前物料性质状态及对干燥成品各项指标的限制，诸如产品的外观、各项物理、化学、生物指标等要求的不同，还有物料在干燥过程中可能发生的变化等都会形成对干燥过程的不同要求。

干燥器的选择，实质上是干燥装置如何满足被干燥物料在干燥过程中各阶段的要求，并尽量提高干燥过程的热效率。因此，首先要对被干燥物料与干燥有关性状和要求的了解，同时将已有干燥器进行对比，分析干燥器的主要工作原理及能否与之适应。结合投资、产品质量、操作、运转费用及维修等权衡比较，择其优点最多者。

可以这样说，没有一种干燥设备是万能的，每一种干燥机都有一定的适用范围，同时也都有本身的局限性。不论是使用者还是干燥设备厂，了解各种干燥机的基本性能和对物料的适应范围对干燥机的设计和选用都有益处。因干燥操作的工艺性很强，对物料的适应性都有一定范围。总之，成功地选择干燥设备最主要有两条，一是对所干燥物料的物性要非常清楚，二是对干燥设备的工作原理、结构特点也要熟知。

干燥装置的选择，实质上是在对所有干燥器的类型及其功能了解的基础上，考虑设计对待干燥物料诸项特点及要求是否能够适应及满足要求。当然，如何能满足这些要求是选择干燥装置所必须考虑的依据。以下将简要介绍若干工业上较常用的干燥器，以及所适用的物料。

第一节 干燥设备的分类

目前，已经工业化的干燥器有多种型式，为了叙述的方便，人们总是将干燥器分成若干类别，干燥器的分类方法有许多，规纳起来有以下几种分类方法：

一、按干燥器操作压力分类

可分为常压式和真空式两类干燥器。常压干燥设备的传热可以采用任何一种或几种型式同时传热，而真空干燥设备的特点是以传导传热和辐射传热居多，而且多数以间歇生产方式为主，真空干燥设备主要处理热敏性物料和有溶剂回收的物料。表 1-1 是常见的真空干燥设备及适用范围。

表 1-1 真空干燥设备及适用范围

序号	干燥器类型	生产能力	生产方式	物料状态					物料停留时间	干燥时物料状态	造价
				粉粒状	块状	片状	膏糊状	黏稠液状			
1	箱式	小	间歇	适	适	适	适	适	长	静止	廉
2	圆筒箱式	小	间歇	适	适	适	适	适	长	静止	廉
3	圆筒搅拌型	中	间歇或连续	适	否	否	适	适	较长	搅动	较廉
4	双锥回转式	中、小	间歇	适	否	适	否	否	较短	翻动	较廉
5	小型回转型	小	间歇	适	否	适	否	否	短	翻动	较廉
6	刮板薄膜	中、小	连续	否	否	否	适	最适	最短	薄膜	贵
7	双滚筒式	中、小	连续	否	否	否	适	适	短	翻动	较贵
8	叶片式	大	连续	否	否	否	适	适	较长	翻动	贵
9	立式多层圆盘式	大、中	连续	适	否	适	否	否	短	翻动	较廉
10	中空轴耙式	中	间歇	适	否	适	适	否	较长	搅动	廉
11	带式	中	连续	适	否	否	适	最适	长	移动	较贵
12	EV型立式	小	间歇	适	否	否	适	适	较长	振动	贵
13	VU型立式	中、小	间歇	适	否	适	最适	否	较长	振动	较贵
14	微波	小	间歇	适	适	适	否	否	短	静止	贵
15	回转式列管	中、小	间歇	否	否	否	适	适	较短	翻动	较贵
16	斜桶回转	小	间歇	适	否	适	否	否	较短	翻动	较廉

二、按干燥器操作方式分类

按干燥器操作方式可分为间歇操作和连续操作两类。这里应该说明的是有些干燥器可有间歇和连续两种操作方式，而有些干燥器只能有一种操作方式，表 1-2 是部分干燥器的操作方式。

表 1-2 部分干燥器的操作方式

物料输送方式	干燥操作方式	装置的种类
静置	间歇	各种箱式、微波加热式、真空冻结式
台车输送	间歇、连续	风道型
材料(自身)输送	连续	立式、红外线加热式
传导输送	连续	并行流、通气型、泡沫层式
下落输送	连续	多段型、涡轮型、通气型