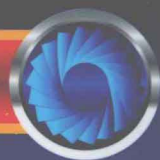




石油化工设备设计选用手册



GANZAOQI

干燥器

中国石化集团上海工程有限公司 组织编写

金国焱 等编



化学工业出版社



石油化工设备设计选用手册



GANZAOQI

干燥器

中国石化集团上海工程有限公司 组织编写

金国森 等编



化学工业出版社

·北京·

本书内容以工程应用、设计选用为主，阐述了干燥过程的基础原理，介绍了箱式干燥器、带式干燥器、气流干燥器、流化床干燥器、喷雾干燥器、回转圆筒干燥器、转鼓干燥器、搅拌式干燥器、冷冻干燥器、微波干燥器、高频干燥器和组合干燥器等的干燥原理、结构设计、技术性能和设计计算方法，以及干燥系统辅助装置，如除尘器、供排料器、加热装置、风机和电机等的选用。

本书可供从事干燥器设计、研究、制造、使用单位的技术人员以及高等院校有关专业的师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

干燥器/中国石化集团上海工程有限公司组织编写，金国森等编. —北京：化学工业出版社，2008.4

(石油化工设备设计选用手册)

ISBN 978-7-122-02435-0

I. 干… II. ①中…②金… III. 干燥机-化工设备-设计-技术手册 IV. TQ051.8-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 039446 号

---

责任编辑：辛 田

文字编辑：陈 喆

责任校对：李 军

装帧设计：张 辉

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 27½ 字数 681 千字 2008 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：68.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2008—39 号



# 天华化工机械及自动化研究设计院 国家干燥技术及装备工程技术研究中心 兰州瑞德干燥技术有限公司

ISO9001国际质量体系认证企业 值得信赖的售前技术支持、优良的设备和完善的售后服务

## 主要产品

- 蒸汽管回转干燥机
- 喷雾干燥装置
- 桨叶干燥机
- 曲柄激振式流化床干燥机
- 转鼓干燥（结片）机
- 盘式连续干燥机
- 流化床干燥器
- 颗粒离心干燥分级装置
- 真空耙式干燥机
- 重力掺混及气流输送装置
- 真空连续干燥机组
- 焙烧炉（电热式、燃油式、燃气式）
- 双锥回转真空干燥机
- 换热器
- 新型旋转闪蒸干燥机
- 除雾器
- 高效微粉干燥机
- 混料机



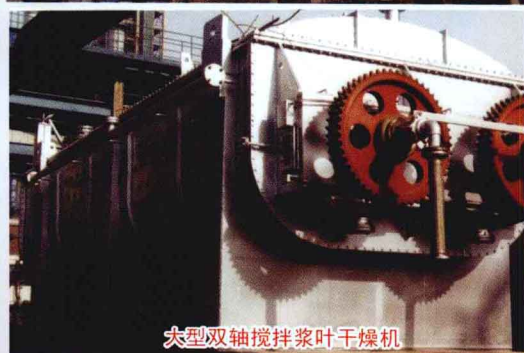
转鼓干燥（结片）机



重力式聚丙烯掺混料仓



电热式焙烧炉



大型双轴搅拌桨叶干燥机



蒸汽管回转圆筒干燥机



铜精矿粉蒸汽管回转干燥机应用现场

**技术优势** 建有工业试验装置，用户可来料试验，根据物料特性选择合适的设备或进行特殊设计。

地址：兰州市西固区合水北路3号

邮政编码：730060

E-mail: ruide2004@r5you.com

域名：瑞德干燥.cc；干燥设备网.cc；瑞德干燥.cn；中国干燥网.cn；干燥技术.cn；干燥技术网.cn；干燥机网.cn

电话：0931-7313072, 7319089, 7314054

传真：0931-7310594

ruidegz@public.lz.gs.cn

# 前 言

《石油化工设备设计选用手册》(以下简称《手册》)由中国石化集团上海工程有限公司组织编写。《手册》着眼于工程,强调设计、选用,目的是使工程公司、生产企业中的工艺、设备技术人员能据此设计、选用到最佳设备。本《手册》突出工程性、工艺性、实用性。

为保证《手册》的工程实用性,中国石化集团上海工程有限公司成立了编委会,确定了《手册》的编写要求,组织全国知名专家参与撰写,并由编委会负责《手册》的审稿及协调工作。

《手册》对每一类设备的作用、适用场合、分类与形式、选用要求进行阐述,主要介绍该类设备选用的工艺计算、结构设计、强度计算以及本类设备的制造检验特殊要求,同时也涉及该类设备标准及零部件标准(重点在于如何应用)以及相关应用软件。

本《手册》包括工艺型设备,如《换热器》、《反应器》、《塔器》、《干燥器》、《除尘器》、《工业炉》、《机泵选用》等;材料结构型设备,如《石化设备用钢》、《承压容器》、《储存容器》、《有色金属制容器》、《搪玻璃容器》等,共12个分册。

本书为《干燥器》分册。内容以工程应用、设计选用为主,阐述了干燥过程的基础原理,介绍了箱式干燥器、带式干燥器、气流干燥器、流化床干燥器、喷雾干燥器、回转圆筒干燥器、转鼓干燥器、搅拌式干燥器、冷冻干燥器、微波干燥器、高频干燥器和组合干燥器等的干燥原理、结构设计、技术性能和设计计算方法以及干燥系统辅助装置,如除尘器、供排料器、加热装置、风机和电机等的选用等内容。

本书第1章、第2章、第7章、第13章由上海化工研究院翁颐庆编写,第6章由上海化工研究院苗纪文编写,第3章、第4章、第5章、第8章、第9章、第10章、第11章、第12章、第14章由中国石化集团上海工程有限公司金国森编写。全书由金国森统稿。

希望《手册》对读者的工作能起到促进作用,据此设计、选用到高效、节能、环保的工程设备,为我国的工程建设添砖加瓦,也深切希望读者对本《手册》不足之处提出宝贵意见,以便再版时修正。

叶文邦  
2008年3月

### 欢迎订阅化工机械专业图书

书 名	定价/元	书 号
化工设备设计全书(共 15 种)		
除尘设备	60.00	ISBN 7-5025-3824-0
废热锅炉	58.00	ISBN 7-5025-3825-9
石墨制化工设备	38.00	ISBN 7-5025-4013-X
高压容器	35.00	ISBN 7-5025-4072-5
搅拌设备	38.00	ISBN 7-5025-4401-1
塔设备	54.00	ISBN 7-5025-4906-4
球罐和大型储罐	52.00	ISBN 7-5025-6245-1
钢架	38.00	ISBN 7-5025-5374-6
铝制化工设备	45.00	ISBN 7-5025-3827-5
干燥设备	65.00	ISBN 7-5025-3829-1
化工设备用钢	78.00	ISBN 7-5025-4944-7
钛制化工设备	35.00	ISBN 7-5025-3826-7
超高压容器	38.00	ISBN 7-5025-3860-7
换热器	56.00	ISBN 7-5025-4146-2
化工容器	48.00	ISBN 7-5025-3959-X
压力容器实用技术丛书(共 5 种)		
压力容器设计知识	78.00	ISBN 7-5025-7493-X
压力容器用材料及热处理	90.00	ISBN 7-5025-6231-1
压力容器制造和修理	90.00	ISBN 7-5025-5639-7
压力容器检验及无损检测	38.00	ISBN 7-5025-8391-2
压力容器安全监察与管理	30.00	ISBN 7-5025-7577-4
其他化工机械图书		
化工机械维修手册(上)	98.00	ISBN 7-5025-5063-1
化工机械维修手册(中)	123.00	ISBN 7-5025-5190-5
化工机械维修手册(下)	128.00	ISBN 7-5025-5311-8
化工机械工程手册(下卷)	160.00	ISBN 7-5025-4094-6
工业泵选用手册	45.00	ISBN 7-5025-1980-7
透平式压缩机	39.00	ISBN 7-5025-5661-3
旋风分离器——原理、设计和工程应用	40.00	ISBN 7-5025-5871-3
液压阀原理、使用与维护	76.00	ISBN 7-5025-6889-1

书 名	定价/元	书 号
化工设备设计基础	39.50	ISBN 7-5025-1603-4
通风除尘设备设计手册	38.00	ISBN 7-5025-4629-4
换热器设计手册	70.00	ISBN 7-5025-3828-3
石油化工管道设计	70.00	ISBN 7-5025-1237-3
管式换热器强化传热技术	29.00	ISBN 7-5025-3445-8
搅拌与混合设备设计选用手册	76.00	ISBN 7-5025-5377-0
化工工艺算图手册	118.00	ISBN 7-5025-3862-3
化工设备算图手册	136.00	ISBN 7-5025-3256-0
化工工艺管道安装工程预算编制与校审	32.00	ISBN 7-5025-4041-5
热泵技术及其应用	38.00	ISBN 7-5025-8133-2
AutoCAD2005 压力容器设计	49.00	ISBN 7-5025-7939-7
管路附件设计选用手册	150.00	ISBN 7-5025-5365-7
除尘装置系统及设备设计选用手册	96.00	ISBN 7-5025-4728-2
离心通风机	39.00	ISBN 7-5025-9809-9
气瓶充装与安全	25.00	ISBN 978-7-122-00774-2
管道柔性简化计算手册	36.00	ISBN 978-7-122-01885-4
石油化工设备设计选用手册(共 12 种)		
承压容器	66.00	ISBN 978-7-122-02236-3
干燥器	68.00	ISBN 978-7-122-02435-0
除尘器	66.00	ISBN 978-7-122-02437-4

化学工业出版社出版机械、电气、化学、化工、环境、安全、生物、医药、材料工程、腐蚀和表面技术等专业科技图书。如要邮购图书请与发行部联系。如要出版新著，请与编辑联系。如要以上图书的内容简介和详细目录，或要更多的科技图书信息，请登录 [www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)。

**地址：**(100011) 北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

**邮购：**010-64518888 (传真：010-64519686)

**编辑：**010-64519277, 64519270 (机电分社机械编辑部)

**Email：**xintian@cip.com.cn

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b> .....	1
1.1 干燥技术现状及进展 .....	1
1.1.1 干燥技术现状 .....	1
1.1.2 干燥技术进展 .....	1
1.2 干燥物料及干燥装置的特性 .....	2
1.2.1 干燥物料的特性 .....	2
1.2.2 干燥器的分类 .....	2
1.2.3 干燥器的主要特性 .....	6
1.3 开发新型、节能型干燥器 .....	6
1.4 干燥器的选型原则 .....	13
1.4.1 干燥操作特性 .....	13
1.4.2 选型前考虑的事项 .....	13
<b>第 2 章 干燥过程的基础原理</b> .....	17
2.1 湿空气的基本性质和 $I-x$ 图 .....	17
2.1.1 湿空气 (空气-蒸汽混合气) 的基本性质 .....	17
2.1.2 湿空气的 $I-x$ 图 .....	18
2.2 湿物料的性质 .....	21
2.2.1 物料的含水率 .....	21
2.2.2 物料的分类 .....	22
2.2.3 物料中水分状态 .....	22
2.2.4 干燥特性曲线 .....	23
2.2.5 恒速干燥速率 .....	24
2.2.6 降速干燥速率 .....	26
2.3 干燥过程的物料衡算及热量衡算 .....	28
2.3.1 物料衡算 .....	28
2.3.2 热量衡算 .....	29
2.3.3 干燥过程的图解算法 .....	31
2.3.4 干燥器的热效率 .....	33
2.4 干燥中的试验技术及测量方法 .....	33
2.4.1 物料含水率的测定 .....	34
2.4.2 气体湿度的测定 .....	34
2.4.3 相间传热和传质系数的测定 .....	35
2.4.4 物料干燥动力学试验 .....	36
<b>第 3 章 箱式干燥器</b> .....	41
3.1 水平气流箱式干燥器 .....	41



3.1.1	结构形式	41
3.1.2	热风速度	42
3.1.3	物料层厚度	42
3.1.4	干燥速度	42
3.1.5	物料层间距	42
3.1.6	风机风量	43
3.1.7	水平气流箱式干燥器的应用	43
3.1.8	热风循环烘箱系列规格	44
3.2	穿流气流箱式干燥器	49
3.2.1	结构形式	49
3.2.2	热风速度	50
3.2.3	物料层厚度	51
3.2.4	干燥速度	51
3.2.5	穿流气流箱式干燥器的应用	51
3.2.6	药品专用烘箱系列规格	52
3.3	真空箱式干燥器	53
3.3.1	结构特点	53
3.3.2	真空箱式干燥器的应用	54
3.3.3	真空箱式干燥器系列规格	54
3.4	真空箱式干燥器的计算	55
3.5	洞道式干燥器	59
3.5.1	洞道式干燥器形式	60
3.5.2	干燥器小车	61
3.5.3	洞道式干燥器计算实例	63
<b>第4章 带式干燥器</b>		<b>65</b>
4.1	带式干燥器的分类和特点	65
4.1.1	带式干燥器的分类	65
4.1.2	带式干燥器的特点	66
4.2	带式干燥器的形式	66
4.2.1	单层带式干燥器	66
4.2.2	多级带式干燥器	68
4.2.3	多层带式干燥器	68
4.2.4	隧道式带式干燥器	71
4.2.5	喷流式带式干燥器	71
4.3	带式干燥器的结构	75
4.3.1	加料器	75
4.3.2	输送带	75
4.3.3	布料器	76
4.3.4	风机	77
4.4	带式干燥器的应用与计算	77

4.4.1	带式干燥器的应用 .....	77
4.4.2	穿流气流带式干燥器的计算 .....	79
<b>第5章</b>	<b>气流干燥器</b> .....	<b>83</b>
5.1	气流干燥器的基本原理和特点 .....	83
5.1.1	气流干燥器的基本原理 .....	83
5.1.2	气流干燥器的特点 .....	83
5.1.3	气流干燥器的适用范围 .....	84
5.2	气流干燥器的形式 .....	84
5.2.1	直管式气流干燥器 .....	84
5.2.2	套管式气流干燥器 .....	98
5.2.3	脉冲式气流干燥器 .....	98
5.2.4	旋风式气流干燥器 .....	101
5.2.5	旋流式气流干燥器 .....	107
5.2.6	带粉碎设备的气流干燥器 .....	108
5.3	气流干燥器的计算 .....	112
5.3.1	颗粒在气流干燥管内运动的基本方程式 .....	112
5.3.2	颗粒在气流干燥管中的传热 .....	112
5.3.3	物料的传热面积计算 .....	113
5.3.4	气流和颗粒之间的传热量计算 .....	114
5.3.5	气流干燥管的压力损失 .....	114
5.3.6	气流干燥器参数的确定 .....	114
5.3.7	气流干燥管直径和长度的计算 .....	115
5.3.8	气流干燥器计算例题 .....	117
5.4	旋转闪蒸干燥器 .....	125
5.4.1	旋转闪蒸干燥器的特点 .....	125
5.4.2	旋转闪蒸干燥器的原理和结构 .....	125
5.4.3	旋转闪蒸干燥器的应用和系列 .....	126
<b>第6章</b>	<b>流化床干燥器</b> .....	<b>132</b>
6.1	流化床干燥器的基本概念和特点 .....	132
6.1.1	流化床干燥器的基本概念 .....	132
6.1.2	流化床干燥器的特点 .....	132
6.2	流化床干燥器的类型和工艺过程 .....	133
6.2.1	流化床干燥器的类型 .....	133
6.2.2	流化床干燥器的工艺过程 .....	133
6.3	流化床干燥器的设计与计算 .....	162
6.3.1	流化床干燥器的设计 .....	162
6.3.2	流化床干燥器的计算示例 .....	180
6.4	流化床干燥器的应用实例 .....	183
6.4.1	闭路循环流化床干燥器的应用 .....	183

6.4.2	多层振动流化床干燥器的应用 .....	185
<b>第7章</b>	<b>喷雾干燥器 .....</b>	<b>187</b>
7.1	喷雾干燥器的特点及分类 .....	187
7.1.1	喷雾干燥器的分类 .....	187
7.1.2	喷雾干燥器的工作原理及主要特点 .....	187
7.2	喷雾干燥器的生产流程及装置结构 .....	188
7.2.1	喷雾干燥器的生产流程 .....	188
7.2.2	喷雾干燥器的装置结构 .....	189
7.2.3	热空气与液滴接触形式及热空气分布器 .....	212
7.2.4	喷雾干燥操作中的粘壁问题 .....	218
7.2.5	喷雾干燥塔直径及直筒体高度确定方法 .....	221
7.2.6	喷雾干燥产品的性质及其影响因素 .....	223
7.2.7	喷雾干燥塔内的节能措施 .....	223
7.3	喷雾干燥系统的规格及其辅助装置 .....	224
7.3.1	喷雾干燥系统的规格 .....	224
7.3.2	喷雾干燥系统的辅助装置 .....	227
7.4	喷雾干燥器的设计 .....	229
7.4.1	喷雾干燥器的设计原则 .....	229
7.4.2	喷雾干燥器的设计计算 .....	230
7.5	喷雾干燥器在工业生产中的应用 .....	237
7.5.1	特殊喷雾干燥技术及干燥器应用实例 .....	237
7.5.2	喷雾干燥在工业生产中的应用 .....	246
<b>第8章</b>	<b>回转圆筒干燥器 .....</b>	<b>253</b>
8.1	回转圆筒干燥器的工作原理和特点 .....	253
8.1.1	回转圆筒干燥器的工作原理 .....	253
8.1.2	回转圆筒干燥器的特点 .....	254
8.2	回转圆筒干燥器的类型 .....	254
8.2.1	直接加热回转圆筒干燥器 .....	254
8.2.2	间接加热回转圆筒干燥器 .....	257
8.2.3	复式加热回转圆筒干燥器 .....	260
8.3	回转圆筒干燥器的参数确定 .....	262
8.3.1	圆筒体 .....	262
8.3.2	抄板 .....	264
8.3.3	填充率 .....	265
8.4	回转圆筒干燥器的结构 .....	266
8.4.1	滚圈 .....	266
8.4.2	托轮 .....	267
8.4.3	挡轮 .....	270
8.4.4	圆筒体进出料箱密封装置 .....	272

8.5	回转圆筒干燥器的系列规格	278
8.5.1	蒸汽加热管式回转圆筒干燥器	278
8.5.2	GZG 型管束式回转圆筒干燥器	279
8.5.3	ZT、JZT、FNZT 型回转圆筒干燥器	280
8.6	回转圆筒干燥器的计算	281
8.6.1	并流式回转圆筒干燥器的计算	281
8.6.2	蒸汽管加热回转圆筒干燥器的计算	285
<b>第 9 章</b>	<b>转鼓干燥器</b>	<b>288</b>
9.1	转鼓干燥器的工作原理和特点	288
9.1.1	转鼓干燥器的工作原理	288
9.1.2	转鼓干燥器的结构和特点	288
9.2	常用转鼓干燥器	289
9.2.1	单鼓干燥器	289
9.2.2	双鼓干燥器	290
9.2.3	对鼓干燥器	294
9.2.4	多鼓干燥器	294
9.3	转鼓干燥器的计算	296
<b>第 10 章</b>	<b>搅拌式干燥器</b>	<b>298</b>
10.1	真空耙式干燥器	298
10.1.1	真空耙式干燥器的干燥原理	298
10.1.2	真空耙式干燥器的结构特点	299
10.1.3	真空耙式干燥器的系列规格	299
10.1.4	真空耙式干燥器的应用实例	300
10.2	空心桨叶式干燥器	302
10.2.1	楔形空心桨叶式干燥器的结构特点	302
10.2.2	楔形空心桨叶式干燥器的应用实例	303
10.2.3	楔形空心桨叶式干燥器的设计计算	304
10.2.4	楔形空心桨叶式干燥器的系列规格	306
10.3	槽型桨叶式干燥器	307
10.3.1	热风式槽型桨叶式干燥器	307
10.3.2	间接加热式槽型桨叶式干燥器	309
10.3.3	间接加热式圆筒型桨叶式干燥器	310
10.3.4	桨叶式干燥器的应用	311
10.4	盘式干燥器	312
10.4.1	盘式干燥器的工作原理和特点	312
10.4.2	盘式干燥器的结构特点	314
10.4.3	盘式干燥器的应用实例	315
10.4.4	盘式连续干燥器的系列规格	316

<b>第 11 章 冷冻干燥器</b> .....	318
11.1 冷冻干燥过程 .....	318
11.1.1 预冻阶段 .....	318
11.1.2 升华干燥阶段 .....	318
11.1.3 解吸干燥阶段 .....	319
11.2 医药冷冻干燥器 .....	319
11.2.1 主要结构 .....	319
11.2.2 医药冷冻干燥器的类型 .....	322
11.2.3 医药冷冻干燥器的应用 .....	328
11.3 食品冷冻干燥器 .....	329
11.3.1 结构形式 .....	329
11.3.2 食品冷冻干燥器的类型 .....	330
11.3.3 食品冷冻干燥器的应用 .....	331
<b>第 12 章 微波干燥器和高频干燥器</b> .....	333
12.1 微波干燥器 .....	333
12.1.1 微波干燥的基本原理 .....	333
12.1.2 微波加热干燥的计算 .....	334
12.1.3 微波干燥器的组成和类型 .....	337
12.1.4 微波干燥器的规格 .....	344
12.2 高频干燥器 .....	345
12.2.1 高频干燥器的基本原理和特点 .....	345
12.2.2 高频干燥系统 .....	346
12.2.3 高频干燥器的计算 .....	351
12.2.4 高频干燥器的应用 .....	353
<b>第 13 章 组合式干燥器</b> .....	355
13.1 串联型组合干燥器 .....	355
13.1.1 离心薄膜-耙式干燥器 .....	355
13.1.2 气流-MST 旋流干燥器 .....	356
13.1.3 闪蒸-MST 旋流干燥器 .....	357
13.1.4 喷雾-带式干燥器 .....	358
13.1.5 喷雾-流化多级干燥器 .....	359
13.1.6 气流-流化床干燥器 .....	361
13.2 喷雾流化造粒干燥器 .....	362
13.2.1 喷雾流化造粒干燥的工作原理 .....	363
13.2.2 喷雾流化造粒干燥的基本流程及结构 .....	363
<b>第 14 章 干燥系统辅助装置</b> .....	370
14.1 除尘 .....	370
14.1.1 除尘管道 .....	370

14.1.2 除尘器 .....	370
14.2 供排料器 .....	394
14.2.1 螺旋输送机 .....	394
14.2.2 圆锥式闪动阀 .....	396
14.2.3 翻板式排料阀 .....	397
14.2.4 满流排尘管 .....	398
14.3 加热装置 .....	399
14.3.1 蒸汽加热器 .....	399
14.3.2 烟道气加热器 .....	399
14.3.3 电加热器 .....	402
14.4 风机和电机 .....	405
14.4.1 风机 .....	405
14.4.2 电机 .....	420
<b>参考文献</b> .....	<b>426</b>

# 第1章

## 概论

### 1.1 干燥技术现状及进展

人们通常把采用热物理方式将热量传给含水的物料并将此热量作为潜热而使水分蒸发、分离操作的过程称为干燥。其特征是采用加热、降温、减压或其他能量传递的方式使物料中的水分产生挥发、冷凝、升华等相变过程与物料分离以达到去湿目的。

干燥技术的应用，在我国具有十分悠久的历史。闻名于世界的造纸技术，就显示了干燥技术的应用。现代干燥技术在国民生产中应用的程度与一个国家的综合国力和国民生活质量的水平密切相关。从某种意义上说，它标志着这个国家国民经济和社会文明的发达程度。

#### 1.1.1 干燥技术现状

干燥技术有很宽的服务领域，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，干燥技术是一门跨学科、跨行业、具有实验科学性的技术。

干燥是比较古老、通用和必不可少的化工单元操作。据报道，到目前已有 400 多种形式的干燥器，其中，有 100 多种形式应用较多。由于高的汽化潜热和以热空气为干燥介质（最通用）导致了固有的低热效率，使干燥成为可与蒸馏相比的高能耗单元操作。一般工业发达的国家（美国、英国等）干燥能耗占全国总能耗的 10%~15%。中等国家（瑞典、日本等）干燥能耗占全国总能耗的 20%~25%。同时它又是一个缺乏能够精确指导实践的科学理论和设计方法。在实际中，依靠经验和小规模试验的数据来指导设计、制造、生产还是主要的方法。因此，往往导致其结局是装置使用效果不佳、甚至于报废。因此，在建设工业装置时，尤其是在设备安装之前，一定要进行充分的、有说服力的试验，以试验作为工业装置建设的依据。这就是干燥技术应用的显著特点。

#### 1.1.2 干燥技术进展

传统的干燥器主要有箱式干燥器、隧道干燥器、转筒干燥器、转鼓干燥器、带式干燥器、盘式干燥器、桨叶式干燥器、流化床干燥器、喷动床干燥器、喷雾干燥器、气流干燥器、真空冷冻干燥器、太阳能干燥器、微波和高频干燥器、红外热辐射干燥器等。此外，在各个行业，例如谷物、水果和蔬菜、石油化工、染料和颜料、食品、乳制品、中药材等行业也有适合自身特点的专用干燥技术及干燥器。这些传统干燥技术发展历史较长、成熟可靠，在世界各国已经得到广泛的应用。

对于干燥设备的规模，目前，我国在机械离心式喷雾干燥器的单机设计方面，制造能力可以达到 45t/h（喷液量），转速可达到 10000~35000r/min（用于电厂脱硫装置上离心式雾化器可达 200t/h）；机电一体化的离心雾化器处理能力也可达到 5t/h。这些均能较好地解决

雾化器的机械问题。离心式喷雾干燥塔直径已达到 $\phi 10\text{m}$ 以上。压力式喷雾干燥塔直径已达到 $\phi 9.8\text{m}$ 以上。总高度为50多米,处理能力达到 $4\text{t/h}$ (尿素造粒塔除外)。我国已经能设计出直径为 $\phi 6\text{m}$ ,总高为 $26\text{m}$ ,产量可达 $4.5\text{t/h}$ 的合成洗涤剂喷雾干燥器。并能制造直径为 $\phi 16\text{m}$ 、总高度为 $60\text{m}$ 、产量为 $1000\text{t/d}$ 的硝酸铵、尿素熔融喷雾冷却造粒塔。底部为圆锥形,并配备机械出料装置。国内也能制造出浸膏中药专用喷雾干燥器(气扫、气送、夹层空气冷却、空气除湿等辅助装置)及氮气闭路循环喷雾干燥器。也能设计、制造大型气流干燥-MST旋风分离干燥器用于聚氯乙烯、MBS树脂等物料干燥。单机生产能力可达 $10000\text{t/y}$ 。回转圆筒干燥器目前已能制造的最大直径为 $\phi 2.5\text{m}$ ,长度可达 $30\text{m}$ 左右。闪蒸干燥器直径已达到 $\phi 1.6\text{m}$ 而且运转平稳、操作良好,并可用于造粒。盘式干燥器最大传热面积已可达到 $180\text{m}^2$ ,用于轻质碳酸钙干燥,单机产量可达 $1.3\text{t/h}$ 。带式干燥器面积可达到 $140\text{m}^2$ 。W型楔形桨叶式干燥器可达到 $100\text{m}^2$ 。

干燥设备制作是密集型产业,我国的国产干燥设备价格相对低廉,因此具有较强的竞争力。所以,对专用型、新颖、节能型干燥装置由原来主要依靠引进而转变为自产,特别是在我国加入了WTO的形势下,将可成为我国机电产品新的出口增长点。

## 1.2 干燥物料及干燥装置的特性

干燥目的是除去某些原料、半成品、成品中的水分或溶剂,使物料便于包装、储藏、运输,便于后续加工和使用、改善、提高产品质量。为了能很好地进行干燥装置的选型、设计、制造及合理运转,在前期对湿物料性能的了解是十分必要的。

### 1.2.1 干燥物料的特性

① 湿物料原始状态 溶液、悬浮液、乳浊液、浆状、膏糊状、滤饼状、胶体、粉粒状、块状、片状、纤维状、连续薄片状、特殊形状材料。

② 涂层等物料的热物理性能 物料初含水率、真(假)密度、比热容、热导率、粒度分布、表面硬化及收缩、造粒可能性、物料黏度、黏附性、触变性(在振动或机械搅拌条件下)、可塑性等。

③ 物料化学性质 组分(分子式)、热敏性、软化点、熔点或分解温度、毒性、可燃、可爆、氧化和酸碱性等。

④ 生物性质 卫生级别、生物活性、菌类等。

⑤ 固体物料与水分结合主要形式 游离水(又称表面水)、结合水(又称内扩散水)、结晶水。前两种水分在干燥过程中均能除去,而结晶水则不属于干燥的范围,经干燥后,其仍旧残存在物料中。

⑥ 其他 成品的含水率、形状、粒度分布、色泽、堆积比等。

### 1.2.2 干燥器的分类

干燥器的分类有很多方法。按操作状态可分为常压干燥如箱式干燥器、气流干燥器等;真空干燥如真空箱式干燥器、真空耙式干燥器、双锥形回转式真空干燥器等。按传热过程可分为传导型加热干燥如滚筒干燥器、W型楔形桨叶式干燥器等;对流加热型干燥如气流干燥器、喷雾干燥器、流化床干燥器。按物料在干燥器中运动的形式可分为以下几种。



### (1) 物料静止型或物料输送型干燥器

包括箱式干燥器、通风箱式带式干燥器、喷射流（喷嘴喷射）干燥器、通风立式（移动床）干燥器。

### (2) 物料搅拌型干燥器

包括圆筒型和槽型搅拌干燥器、真空耙式干燥器、热风式槽型搅拌干燥器（内设返料）、回转干燥器、侧面吹入型回转干燥器、带水蒸气回转干燥器、粉碎回转干燥器、流化床干燥器等。

### (3) 物料热风输送型干燥器

#### ① 按生产工艺流程分类

a. 开放式 干燥系统流程如图 1-1 所示。它的主要特点是热风来自大气，干燥后仍旧排入大气，适用于废气中含水率较高、干燥介质为水蒸气的物料。流程比较简单、投资费用较少。主要设备由空气过滤器、鼓风机、空气加热器、干燥器、旋风除尘器、脉冲袋式除尘器、引风机等组成。为了防止粉尘外扬、外界细菌或粉尘不进入干燥的产品内，故在系统中一般采用两台鼓风（一鼓、一引）。

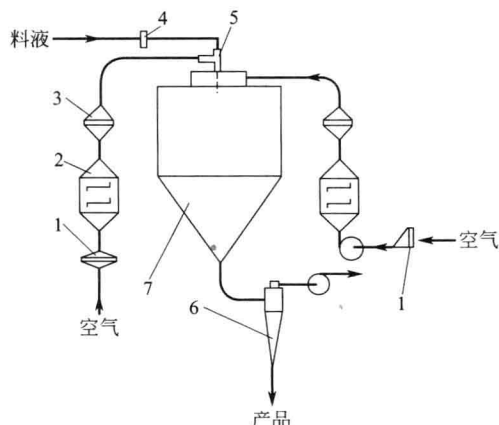


图 1-1 开放式喷雾干燥系统

1—空气过滤器；2—空气加热器；3—精过滤器；  
4—物料过滤器；5—气流式雾化器；  
6—旋风除尘器；7—干燥塔

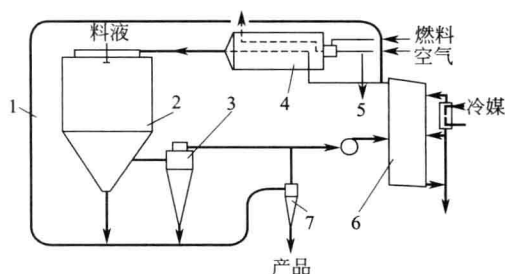


图 1-2 半封闭循环式喷雾干燥系统

1—循环风路；2—干燥塔；3—旋风除尘器；4—燃烧器；  
5—部分排放出口；6—冷凝器；7—风送旋风除尘器

b. 半闭循环式 干燥系统流程如图 1-2 所示。它的主要特点是将部分热空气循环使用，主要优点是热利用率较高，缺点是空气中相对湿度较高，一般用于高温高湿物料的干燥。

c. 闭路循环式 干燥系统流程如图 1-3 所示。它的主要特点是载体在整个系统中组成一个封闭的回路，有利于回收有机溶剂，防止毒性物质污染大气。主要用于含有有机溶剂的物料（乙醇、丙酮、己醇、苯、甲苯、异丙醇等）或者易氧化、易燃、易爆的物料，也适用于有毒的物料。载体为氮气或二氧化碳等气体。该流程主要装置是在开放式流程中增加一套冷凝吸收装置，将载体中有机溶剂、有毒物质冷凝或吸收。冷凝温度必须在溶剂允许最高浓度的露点以上，以保证冷凝效果，使循环操作反复实现。当闭路循环式干燥系统流程中带有自制惰性气体的装置时，如图 1-4 所示，即为自惰式闭路循环式干燥装置。