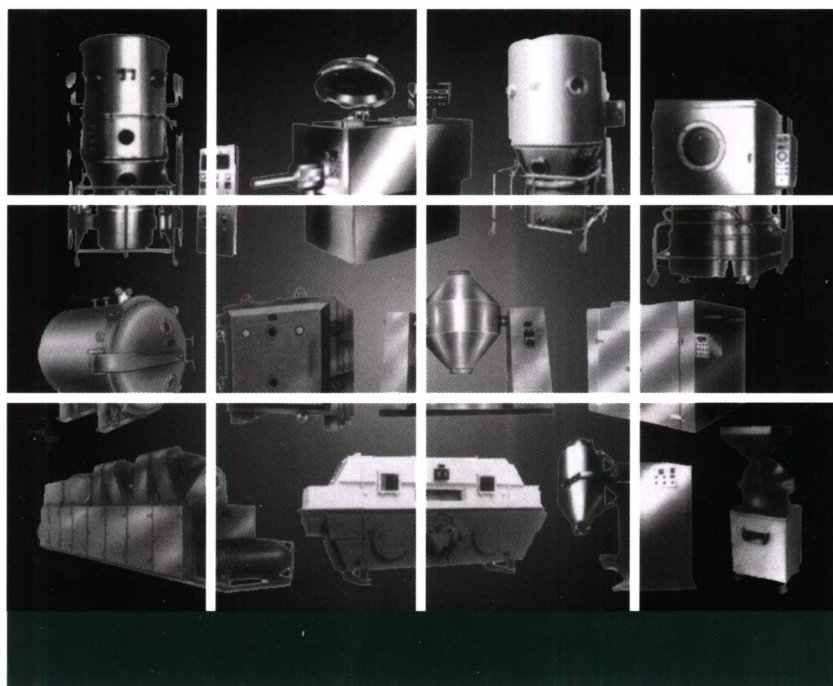



刘相东 于才渊 周德仁 主编

常用工业干燥 设备及应用



Chemical Industry Press

 化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

《常用工业干燥设备及应用》内容特点及使用方法:

一、干燥器及其辅助装置

主要介绍各种常用工业干燥器的基本工作原理、结构、适宜的物料范围、规格、技术参数等。

二、干燥器应用示例

介绍物料特性及宜于采用的干燥器类型以及典型物料的干燥实例(包括质量、经济性分析、干燥条件等),当用户了解了该物料所宜采用的干燥器及研究了具体实例后,再返过头来查所介绍的该干燥器,了解它的性能、结构、规格等信息,以便选用。选定干燥器类型后,再查找生产厂家信息。

三、干燥设备厂商名录

本部分编入国内主要干燥器生产厂家名单(按汉语拼音排列,名次不分先后)。

本书首次汇集了全国各主要干燥器生产企业及其产品情况,力求用户一书在手即可了解国内干燥器的生产企业、产品规格型号、主要用途以及干燥器的基本原理、选用原则等所有信息。

ISBN 7-5025-6023-8



9 787502 560232 >

ISBN 7-5025-6023-8/TH·224 定价: 65.00元

销售分类建议: 机械/化工机械

常用工业干燥设备及应用

刘相东 于才渊 周德仁 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

常用工业干燥设备及应用/刘相东,于才渊,周德仁主编.
北京:化学工业出版社,2004.8
ISBN 7-5025-6023-8

I. 常… II. ①刘…②于…③周… III. 干燥-化工设备
IV. TQ051.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 092342 号

常用工业干燥设备及应用

刘相东 于才渊 周德仁 主编

责任编辑:戴燕红

文字编辑:徐卿华 刘维大

责任校对:郑捷

封面设计:于兵

*

化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 29 $\frac{3}{4}$ 字数 736 千字

2005年1月第1版 2005年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-6023-8/TH·224

定价:65.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

京工商广临字 2002—05 号

前 言

干燥技术广泛应用于国民经济生产的各个领域，其涵盖行业之广泛、用户数量之多是其他任何单元操作技术难以比拟的。由于被干燥物料的种类繁多、形态各异，为适应它们的干燥要求，干燥器的型式也有很多，常用的就有近百种。这为工业干燥器的选型带来了很大的困难。有时候，即便是有经验的专家和专业干燥器生产厂家也需借助对样品的试验结果进行正确选型。

本书对目前我国工业上广泛应用的一些干燥器的工作原理、使用范围以及一些较频繁使用干燥器的行业内应用情况作了简单的介绍，以便干燥器用户，特别是一些不熟悉干燥操作的用户，在干燥器选型、使用、维护中参考。为此，书中的叙述力求深入浅出、简明易懂。此外，我们还对目前我国一些干燥器生产专业厂商的生产情况和主要产品作了简要的介绍，便于用户了解、选择。考虑到用户的多方面需求，还在书中列出了国内、外一些干燥器生产厂商的产品生产情况以及他们的网址，以方便用户查阅、联络使用。

正如上述提到的，本书主要为干燥器用户们提供初步选择和使用各种干燥器的基本知识以及国内外干燥器制造商的基本情况。除此以外，本书还可供所有对干燥过程和干燥器有兴趣的人们参阅、使用，不必具有很强的专业背景。

本书第1章和第23章由中国农业大学刘相东编写，第2章由大连理工大学王喜忠编写，第3章、第6章和第7章由大连理工大学王宝和编写，第4章由中国农业大学曹崇文、高振江和大连理工大学于才渊编写，第14章由中国农业大学曹崇文、高振江编写，第5章由大连理工大学于才渊编写，第8章由东北大学徐成海编写，第9章、第10章和第21章由天津大学褚治德编写，第11章和第17章由中国农业大学曹崇文编写，第12章由天津大学焦士龙编写，第13章由中国农业大学高振江编写，第15章和第16章由中国农业大学杨德勇编写，第18章由北京林业大学姚春丽编写，第19章由北京林业大学张璧光编写，第20章由胡景川编写，第22章由干燥设备行业协会周德仁编写。

鉴于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，望广大读者不吝指正。

编者

2004.7

目 录

第 1 章 干燥过程基本原理	1
1.1 概述	1
1.2 湿物料及干燥介质的热物理特性	2
1.2.1 干燥介质的特性	2
1.2.2 湿物料的性质	3
1.3 干燥动力学	5
1.3.1 干燥动力学曲线	5
1.3.2 干燥时间	6
1.3.3 干燥动力学方程	7
1.4 干燥过程中的热质传递	7
1.4.1 外部的对流热质传递过程	8
1.4.2 内部热传导和质量扩散	9
参考文献	12
第 2 章 流化床干燥器	13
2.1 概述	13
2.1.1 基本概念	13
2.1.2 固体流态化的基本原理	15
2.2 流化床干燥器	17
2.2.1 卧式多室连续流化床干燥器	17
2.2.2 多层流化床干燥器	18
2.2.3 喷动床干燥器	21
2.2.4 振动流化床干燥器	27
2.2.5 离心流化床干燥器	32
2.2.6 粉碎-气流干燥器	34
2.2.7 旋转快速干燥器	35
2.2.8 搅拌流化床干燥器	37
2.2.9 惰性粒子流化床干燥器	38
2.2.10 流化床喷雾造粒干燥器	40
2.3 流化床干燥器应用示例	42
2.3.1 连续单层圆筒型流化床干燥器	42
2.3.2 溢流管型多层流化床干燥器	43
2.3.3 穿流板式多层流化床干燥器	43
2.3.4 卧式多室流化床干燥器	44
2.3.5 振动流化床干燥器	44
参考文献	45

第3章 喷雾干燥器	46
3.1 喷雾干燥器的工作原理	46
3.2 喷雾干燥装置的工艺流程	46
3.3 喷雾干燥的特点	46
3.3.1 优点	46
3.3.2 缺点	47
3.4 雾化器的结构形式	47
3.4.1 气流式雾化器	47
3.4.2 压力式雾化器	48
3.4.3 旋转式雾化器	49
3.5 雾化器的比较和选择	51
3.6 喷雾干燥系统的型式	53
3.6.1 开放式喷雾干燥系统	53
3.6.2 闭路循环式喷雾干燥系统	53
3.6.3 自惰循环式喷雾干燥系统	53
3.6.4 半闭路循环式喷雾干燥系统	53
3.7 雾滴与热风在喷雾干燥室内的接触方式	54
3.8 喷雾干燥器的型式	55
3.9 喷雾干燥技术的应用	55
参考文献	61
第4章 气流及旋转闪蒸干燥器	62
4.1 概述	62
4.2 直管式气流干燥器	63
4.2.1 一级直管气流干燥器	63
4.2.2 正负压二级直管气流干燥器	64
4.3 旋转闪蒸干燥器	72
4.3.1 旋转闪蒸干燥器的工艺流程	72
4.3.2 旋转闪蒸干燥器的特点	72
4.3.3 工作原理	73
4.3.4 主要设备结构	74
4.3.5 旋转闪蒸干燥器的应用	75
4.3.6 旋转闪蒸干燥设备国内生产情况	76
参考文献	77
第5章 转筒及带式干燥器	79
5.1 转筒干燥器的工作原理	79
5.2 转筒干燥器的形式	79
5.2.1 间接加热转筒干燥器	80
5.2.2 直接加热转筒干燥器	81
5.3 转筒干燥器的应用	82
5.3.1 常规直接加热逆流转筒干燥器的应用	82

5.3.2	常规直接加热并流转筒干燥器	82
5.3.3	穿流转筒干燥器	83
5.3.4	常规间接加热转筒干燥器	83
5.3.5	蒸汽管间接加热型转筒干燥器	84
5.3.6	复式加热转筒干燥器	84
5.4	带式干燥器	85
5.4.1	带式干燥器的工作原理	85
5.4.2	带式干燥器的形式	85
	参考文献	87
第6章	厢式干燥器	88
6.1	厢式干燥器的工作原理和特点	88
6.2	厢式干燥器的形式	88
6.2.1	自然对流厢式干燥器	88
6.2.2	平行流强制循环厢式干燥器	88
6.2.3	穿流强制循环厢式干燥器	89
6.2.4	真空厢式干燥器	90
6.3	厢式干燥器的应用	90
6.3.1	平行流强制循环厢式干燥器	90
6.3.2	穿流强制循环厢式干燥器	90
6.3.3	真空厢式干燥器	90
	参考文献	91
第7章	转鼓干燥器	92
7.1	转鼓干燥器的工作原理和特点	92
7.2	转鼓干燥器的形式	93
7.2.1	单鼓干燥器	93
7.2.2	双鼓干燥器	93
7.2.3	对鼓干燥器	94
7.2.4	带密封罩的转鼓干燥器	94
7.2.5	多鼓干燥器	94
7.3	转鼓干燥器的应用	95
	参考文献	96
第8章	真空冷冻干燥器	97
8.1	真空冷冻干燥器的工作原理	97
8.1.1	真空冷冻干燥器的组成	97
8.1.2	真空冷冻干燥器的分类	98
8.1.3	真空冷冻干燥器的工作过程	98
8.1.4	真空冷冻干燥器的性能指标	99
8.2	真空冷冻干燥器的结构形式	99
8.2.1	小型实验用冻干机	99
8.2.2	医药用冻干机	100

8.2.3	食品用冻干机	102
8.2.4	真空冷冻干燥器的辅助设备	105
第9章	红外干燥器	110
9.1	红外辐射加热器	110
9.1.1	碳化硅红外辐射电加热器	110
9.1.2	乳白石英红外辐射电加热器	110
9.1.3	陶瓷红外辐射电加热器	111
9.1.4	电阻带式红外辐射电加热器	112
9.1.5	高温烧结直热式 YHW 型红外辐射电加热器	113
9.1.6	搪瓷红外辐射电加热器	114
9.1.7	灯形红外电加热辐射器	114
9.1.8	煤气、烟气红外辐射加热器	115
9.1.9	我国红外辐射加热器存在的问题	115
9.2	红外线和远红外线辐射干燥器的设计	116
9.2.1	炉体设计	116
9.2.2	辐射器的选定和工艺布置	118
9.2.3	红外线和远红外线干燥器的应用实例	120
9.3	红外加热涂料、加热器、烘干设备的厂家及技术指标	122
9.3.1	典型红外涂料的厂家及技术指标	122
9.3.2	典型红外辐射加热器的厂家及技术指标	122
9.3.3	典型烘干设备的厂家及技术指标	124
	参考文献	125
第10章	高频及微波干燥器	126
10.1	高频干燥与微波干燥的主要区别	126
10.2	高频与微波干燥的基本原理	126
10.3	高频与微波加热干燥的特点	128
10.4	高频干燥器简介	129
10.4.1	高频干燥器的主要组成	129
10.4.2	高频振荡器	130
10.4.3	电容器	131
10.4.4	高频真空干燥器	131
10.5	微波干燥器简介	131
10.5.1	微波干燥器的主要组成和分类	131
10.5.2	磁控管	131
10.5.3	箱式微波干燥器	132
10.5.4	隧道式微波干燥器	132
10.5.5	平板型微波干燥器	133
10.6	联合干燥方法的节能节时原理	134
10.7	选择高频与微波干燥器的一般原则	135
10.8	高频干燥在工业上的应用	135

10.9	微波干燥的工业应用	136
10.9.1	食品工业	136
10.9.2	医药工业的干燥灭菌	137
10.9.3	化工、冶金、电子、陶瓷等行业的微波干燥	137
10.10	高频与微波干燥系统漏能保护装置	137
10.11	高频和微波对人体的伤害作用	138
	参考文献	141
第11章	塔式粮食干燥器	142
11.1	横流式粮食干燥器	142
11.1.1	特点	143
11.1.2	性能	143
11.1.3	发展和改进	143
11.2	顺流式粮食干燥器	144
11.2.1	特点	144
11.2.2	发展趋势	145
11.3	逆流式粮食干燥器	145
11.3.1	特点	146
11.3.2	发展趋势	146
11.4	混流式粮食干燥器	146
11.4.1	特点	146
11.4.2	结构	147
11.4.3	发展趋势	149
11.5	圆筒内循环式粮食干燥器	150
11.5.1	特点	150
11.5.2	5HGN-2.5型圆筒内循环式粮食干燥器	151
11.5.3	发展趋势	151
11.6	长方形批循环式水稻干燥器	152
11.6.1	结构	152
11.6.2	发展趋势	152
11.7	我国粮食干燥设备与国外的差距	154
11.8	塔式干燥器型号和生产单位	154
	参考文献	155
第12章	涂膜干燥设备	157
12.1	涂膜分类	157
12.1.1	挥发性涂料	157
12.1.2	氧化聚合型涂料	157
12.1.3	热聚合型涂料	158
12.1.4	固化剂固化型涂料	158
12.1.5	粉末涂料	159
12.2	国内外红外辐射烤漆简介	159

12.3	涂膜干燥原理及干燥设备	160
12.3.1	红外辐射涂膜干燥原理	160
12.3.2	红外辐射桥式烘道简介	161
12.3.3	高温定向辐射开放式烘道简介	162
12.3.4	对流烘道简介	163
	参考文献	164
第13章	热传导式搅拌干燥器	165
13.1	综述	165
13.2	热传导式搅拌干燥器的结构与工作原理	165
13.3	热传导式搅拌干燥器的特点	169
13.4	应用实例	170
	参考文献	172
第14章	热风炉	173
14.1	热风炉的发展过程与趋势	173
14.2	热风炉的分类	173
14.3	直接加热炉	174
14.4	RSL系列直火热风炉	175
14.4.1	结构	175
14.4.2	技术规格	176
14.5	秸秆燃烧炉	176
14.5.1	主要结构	176
14.5.2	性能指标	177
14.5.3	结构特点	177
14.5.4	社会经济效益分析	177
14.5.5	应用与推广	178
14.6	稻壳热风炉	178
14.6.1	稻壳的特性	178
14.6.2	稻壳热风炉的类型	178
14.7	间接加热热风炉——列管式热风炉	181
14.7.1	JL型立管式热风炉	181
14.7.2	横管式热风炉	182
14.7.3	JLG系列大型列管链式热风炉	184
14.8	无管式热风炉	185
14.8.1	WR15、WR22型无管式热风炉	185
14.8.2	HRF系列红外热风炉	186
14.8.3	JRF系列无管式热风炉	188
14.8.4	RFL热风炉	190
14.8.5	几种无管式热风炉的技术特性	191
14.9	热管式热风炉	191
14.9.1	热管的传热原理	191

14.9.2	热管热风炉的工作原理	192
14.9.3	热管热风炉的特点	192
14.9.4	高温热管热风炉	193
14.10	导热油加热炉	194
14.10.1	工作原理	194
14.10.2	导热油作为加热介质的特点	194
14.10.3	使用导热油加热系统应注意事项	195
14.11	直流式热风炉	195
14.11.1	结构原理及主要技术参数	195
14.11.2	80型直流式热风炉初期样机的主要技术参数	196
14.12	喷流式热风炉	196
14.13	各种热风炉的对比分析	196
14.13.1	直接加热炉	196
14.13.2	间接加热炉	197
14.14	燃煤热风炉的技术条件	199
14.15	热风炉生产厂家和产品型号	200
	参考文献	201
第15章	除尘器	202
15.1	粉尘特性	202
15.1.1	粉尘的分类	202
15.1.2	粉尘的直径	202
15.1.3	粉尘的物理特性	203
15.1.4	粉尘的沉降机理	205
15.2	除尘装置的选择	206
15.2.1	除尘装置的性能	206
15.2.2	除尘装置的分类	207
15.2.3	除尘器的选择	208
15.3	重力沉降室与惯性除尘器	209
15.3.1	重力沉降室	209
15.3.2	惯性除尘器	210
15.4	离心力除尘器	211
15.4.1	旋风除尘器	212
15.4.2	多管旋风除尘器	216
15.4.3	离心式旋流除尘器	217
15.5	过滤除尘器	218
15.5.1	过滤除尘器的类型及其滤尘过程	218
15.5.2	袋式除尘器	219
15.6	电除尘器	224
15.6.1	电除尘器工作原理	224
15.6.2	电除尘器的类型和性能	224

15.6.3	影响电除尘器性能的主要因素	225
15.7	湿式除尘器	226
15.7.1	湿式除尘器的分类	226
15.7.2	湿式除尘器的除尘机理	227
15.7.3	几种常用的湿式除尘器	227
15.8	静电强化复合式除尘器	234
15.9	除尘器的卸灰装置	235
	参考文献	236
第16章	清选筛分机械	237
16.1	清选原理	237
16.1.1	物料的物理特性	237
16.1.2	筛选设备	239
16.1.3	物料在筛面上的运动和筛子结构参数选择	242
16.1.4	影响筛选质量的主要因素	245
16.2	窝眼筒分选	246
16.2.1	窝眼筒的类型	246
16.2.2	窝眼筒的直径、长度和转速	247
16.3	气流清选	248
16.4	比重清选机	250
16.5	比重去石清选机	251
16.6	摩擦分离器分选	252
16.7	按电特性分选	253
	参考文献	254
第17章	粮食干燥	255
17.1	各种粮食的干燥要求	255
17.1.1	小麦	255
17.1.2	玉米	255
17.1.3	水稻	256
17.1.4	大豆	256
17.1.5	油菜籽	257
17.1.6	种子粮	257
17.2	影响粮食干燥过程的因素	258
17.3	粮食干燥工艺	259
17.4	粮食干燥器烘干参数的选择	259
17.4.1	横流式粮食干燥器	259
17.4.2	混流式粮食干燥器	260
17.4.3	顺流式粮食干燥器	260
17.5	干燥器选型示例	261
17.5.1	用户要求	261
17.5.2	干燥器选型	261

17.5.3	主要技术参数的选择和计算	262
17.6	粮食的干燥特性	264
17.6.1	稻谷的尺寸和千粒质量	264
17.6.2	稻谷的体积密度	264
17.6.3	稻谷的空隙率	265
17.6.4	稻谷的比表面积	265
17.6.5	谷物汽化潜热	265
17.6.6	谷物比热容	265
17.6.7	谷物的比表面积	266
17.6.8	谷物体积密度	266
17.6.9	谷物平衡水分	266
	参考文献	267
第18章	纸张干燥	269
18.1	纸张干燥的特性	269
18.1.1	纸张的组成及特性	269
18.1.2	网状物的干燥及干燥对纸张的影响	270
18.1.3	干燥过程的工艺控制	271
18.2	适宜的干燥器类型	271
18.2.1	纸张的干燥器类型	271
18.2.2	涂布加工纸的干燥器类型	274
18.3	干燥应用示例	276
18.3.1	纸机干燥部的干燥能力	276
18.3.2	干燥部的能耗	277
18.3.3	涂布纸干燥器的选用	277
	参考文献	279
第19章	木材干燥	280
19.1	木材的干燥特性	280
19.1.1	木材的构造及分类	280
19.1.2	木材中的水分	280
19.1.3	木材的干缩、变形与密度	282
19.1.4	干燥过程中木材水分的蒸发和移动	282
19.1.5	木材的干燥缺陷	283
19.2	常规干燥设备	285
19.2.1	典型常规干燥室结构	285
19.2.2	干燥室设备	287
19.3	除湿干燥	289
19.3.1	除湿干燥的原理	289
19.3.2	除湿机的分类	289
19.3.3	除湿干燥的优点与局限性	290
19.3.4	除湿机的选配	290

19.4	高频干燥和微波干燥	291
19.4.1	高频与微波干燥的基本原理和特点	291
19.4.2	木材的高频干燥	291
19.4.3	木材的微波干燥	292
19.5	真空干燥	293
19.5.1	真空干燥的基本原理	293
19.5.2	真空干燥设备	293
19.5.3	真空干燥分类	294
19.6	干燥设备的分析选用及经济技术核算	295
19.6.1	干燥设备的分析选用	295
19.6.2	经济技术指标和成本核算	297
	参考文献	299
第20章	茶叶干燥	300
20.1	茶叶的干燥特性	300
20.1.1	茶叶的物理特性	300
20.1.2	茶叶的生化特性	301
20.1.3	茶叶的干燥特性	301
20.2	适用的干燥器类型	303
20.2.1	茶叶预处理装置	303
20.2.2	鲜叶辅助干燥装置	304
20.2.3	茶叶杀青机械	304
20.2.4	茶叶炒干机械	306
20.2.5	茶叶烘干机械	308
20.2.6	其他名优茶专用干燥器	311
20.2.7	乌龙茶做青、杀青机械	313
20.2.8	蒸青茶加工机械	313
20.3	干燥器应用示例	313
20.3.1	条形绿茶应用示例	313
20.3.2	卷曲形茶应用示例	315
20.3.3	红碎茶、块茶应用示例	316
	参考文献	316
第21章	中药饮片干燥	317
21.1	中药饮片干燥的重要性	317
21.2	中药在国际市场的现状	317
21.3	中药饮片热风与红外线干燥实验研究	318
21.4	中药饮片热风与红外线干燥器	319
21.4.1	热风网带式干燥器	319
21.4.2	振动式远红外干燥器	321

21.5 中药饮片的微波法干燥.....	322
21.6 中药微波干燥器.....	323
参考文献.....	324
第 22 章 中国主要干燥设备厂商名录.....	325
第 23 章 国外及中国港澳台地区主要干燥设备厂商名录	454

第1章 干燥过程基本原理

1.1 概述

为易于保存和贮藏,减少运输费用,易于装卸、获得希望的产品质量等目的,通常需要对各种物料进行干燥。由于被干燥的物质其化学、物理特性及形态各异,能量的提供方式及能量本身的形式不同,因此,要对干燥的方式进行精确的定义是非常困难的。本书中提及的“干燥”主要是指通过热质传递过程的蒸发现象去除湿物质中湿组分的“热力干燥”过程。它主要包括对流干燥、导热干燥、辐射干燥等过程。除去热力干燥外,还有介电干燥、冷冻干燥、溶媒干燥、置换干燥、渗透干燥等许多种干燥方式,用于不同的干燥对象和干燥目的,本章主要讨论热力干燥过程的原理与应用内容。

干燥过程原理主要涉及湿物料和干燥介质在热力干燥过程中所表现的热力学及物理特性及其变化规律;湿物料内部以及与干燥介质间的热量和质量传递过程机理;干燥过程动力学原理;干燥过程的模型、模拟等内容。

简单地讲,湿物料在热力干燥时通常会相继经历以下两个主要的阶段。

阶段1,能量(主要为热量)从周围环境传递至物料表面使其表面湿分蒸发。液体以近似不变的速率从物料表面排除,而物料温度则维持在湿球温度左右。此过程的干燥速率主要取决于干燥介质的温度、湿度、流速、作用表面积以及压力等外部条件。此过程称外部条件控制过程。也称恒速干燥过程。

阶段2,当物料表面不再有充足的水分供表面蒸发后,多余的热量会通过热传导传递至湿物料内部,使物料温度上升,并在其内部形成温度梯度;而湿分则由内部向表面迁移,至物料表面后进而被不饱和的干燥介质带走,显然此时的干燥速率会低于恒速干燥阶段的干燥速率。湿物料内部的热量和质量的传递速率主要取决于物料性质(如热导率、质量传递系数等)以及其自身的温度和湿含量等因素。此过程称内部条件控制过程。也称降速干燥过程。

干燥理论的任务是要搞清楚上述干燥过程中所涉及的诸多参数,如被干燥物质与干燥介质的物性参数、干燥器的结构参数、干燥过程的操作参数等,与干燥时间的关系以及它们所遵循的规律;干燥过程中含湿物质内部及外部的湿分与热量传递机理以及它们的分布规律;干燥器内部被干燥物质与干燥介质的流体动力学特性等问题。所有上述现象即便是在很简单的一个干燥过程中亦会普遍存在,相互关联,纠结在一起构成了一个非常复杂的问题。在过去的几十年中,在干燥过程机理研究方面已经取得了很大的进展,在个别单一现象的研究方面已经取得了一些突破。但遗憾的是,迄今为止还没有找到一套完善的理论来全面描述这个复杂的过程。特别是在过程传递机理等方面的研究结果还远不能令人满意。在机理和应用方面都能令人满意的干燥理论仍是许多研究者们的努力目标。