

SPRAY DRYING TECHNOLOGY

喷雾干燥技术

© 于才渊 王宝和 王喜忠 编著



化学工业出版社

SPRAY DRYING TECHNOLOGY

喷雾干燥技术

© 于才渊 王宝和 王喜忠 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分 11 章, 主要内容有喷雾干燥的基本原理及基础知识、喷雾干燥流程及其选择、雾化器的结构和计算、颗粒的形成和干燥、喷雾干燥塔的结构与设计、喷雾干燥试验与操作安全、喷雾干燥的节能措施与未来发展趋势、喷雾干燥的附属设备、喷雾干燥的工业应用等。各章附有例题, 以便于掌握其计算方法。

本书可供从事喷雾干燥工作的工程技术人员使用, 也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

喷雾干燥技术/于才渊, 王宝和, 王喜忠编著. —北京: 化学工业出版社, 2013. 6
ISBN 978-7-122-17036-1

I. ①喷… II. ①于…②王…③王… III. ①喷雾干燥 IV. ①TQ028. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 075990 号

责任编辑: 戴燕红
责任校对: 战河红

文字编辑: 丁建华
装帧设计: 韩 飞

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 24 字数 613 千字 2013 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: 98.00 元
京化广临字 2013—15 号

版权所有 违者必究



喷雾干燥技术，始于20世纪20年代，经历了近一个世纪的发展历程。现在，喷雾干燥技术，已成为干燥领域的主流技术，在工农业生产领域中占有极为重要的地位。其典型的应用范例，当属食品行业的奶粉、蛋粉的生产，化工行业的分散染料的生产，能源生产中燃煤产生的烟道气中二氧化硫的脱出等。目前，该技术已在化工、食品、医药、冶金等领域得到广泛应用。特别值得提及的是，喷雾干燥技术在新型功能性材料的制备中，诸如微胶囊制备、建筑行业中乳胶粉的制备中有着广阔的发展背景。喷雾干燥技术的发展，已经外延到喷雾吸收、喷雾冷却、喷雾蒸发等。

喷雾干燥技术与其他很多学科技术的发展一样，是先于喷雾干燥理论的发展的，技术的发展与进步，也极大地促进了理论研究工作的深入。建立在气液、气固多相流基础上的传热与传质的理论不断丰富和完善，喷雾干燥塔内的温度场分布，颗粒飞行轨迹等的流体力学的模拟研究也有很多报道，这些成果令人鼓舞。

本书基于服务于喷雾干燥技术应用的目的，主要叙述喷雾干燥的原理、工艺流程特点、设备的主要结构、基本理论计算、干燥器主要尺寸的确定以及干燥器设计的步骤与方法等。为了使读者更好掌握这些计算方法，书中也列举了工程设计例题以及各种物料喷雾干燥工艺参数的操作范围，以期为读者提供一本有实际应用价值的参考资料。

笔者长期从事干燥技术的研究与开发工作，也取得了一定的研究成果，并积累了一定的实验、设计、制造和操作经验，撰写一部能全面反映喷雾干燥的理论现状和技术应用进展方面的书籍，是笔者多年来的一大愿望。但是，真正提起笔来，还是感觉力不从心，书中能向读者介绍的内容与初衷还是有些落差，不妥和疏漏也在所难免，望读者批评指正。

本书在编写过程中，得到了常州一步干燥设备有限公司等的大力支持，为我们提供了很好的实际操作数据，在此致以谢意！

编者

2013年3月于大连



第 1 章 概述 1

1.1 喷雾干燥在日常生活及工业应用	1
1.2 喷雾干燥的定义及基本流程	1
1.3 喷雾干燥的基本过程阶段	2
1.3.1 喷雾干燥的第一个基本阶段——料液的雾化	2
1.3.2 喷雾干燥的第二个基本阶段——雾滴与热风的接触及干燥	2
1.3.3 喷雾干燥的第三个基本阶段——干燥产品与废气的分离	3
1.4 喷雾干燥系统的组成	3
1.4.1 供料系统	3
1.4.2 雾化器	4
1.4.3 热风系统	4
1.4.4 热风分布器及喷雾干燥室	6
1.4.5 干燥产品的排出	11
1.4.6 气固分离及产品回收设备	13
1.5 喷雾干燥的优缺点	16
1.5.1 喷雾干燥的优点	16
1.5.2 喷雾干燥的缺点	16
参考文献	16

第 2 章 喷雾干燥的基础知识 18

2.1 术语	18
2.1.1 雾滴及颗粒	18
2.1.2 团聚物	18
2.1.3 粒度	18
2.1.4 颗粒形状	18
2.1.5 粒度分布	19
2.1.6 平均粒度	19
2.2 数据的表示方法	19
2.2.1 列表法	19
2.2.2 图示法	20
2.3 数据的分析	21

2.3.1	平均直径	21
2.3.2	分布函数	22
2.4	雾滴和颗粒粒度的测量	23
2.4.1	雾滴大小及其分布的测量	23
2.4.2	颗粒粒度的测量	24
2.5	湿空气的性质及 $I-x$ 图	24
2.5.1	湿空气的性质	24
2.5.2	湿空气的 $I-x$ 图	29
2.5.3	$I-x$ 图的使用方法	31
2.6	喷雾干燥过程的物料衡算及热量衡算	32
2.6.1	喷雾干燥过程的物料衡算	32
2.6.2	喷雾干燥过程的热量衡算	33
2.6.3	喷雾干燥过程的热量衡算的图解法	34
2.6.4	喷雾干燥过程的热量衡算的公式法	35
2.7	物料中的水分状态和干燥速率	38
2.7.1	物料中的水分状态	38
2.7.2	干燥速率	39
	参考文献	42

第 3 章 喷雾干燥的流程及其选择

43

3.1	开式循环流程	43
3.1.1	干燥器-旋风分离器-洗涤器流程	43
3.1.2	干燥器-旋风分离器-布袋过滤器流程	43
3.1.3	干燥器-布袋过滤器流程	43
3.1.4	开式的具有部分废气再循环的喷雾干燥流程	44
3.2	闭路循环喷雾干燥系统流程	45
3.3	半闭路循环流程	46
3.3.1	半闭路循环喷雾干燥系统的流程	46
3.3.2	自惰化喷雾干燥流程	47
3.3.3	带有预热和燃烧的自惰化喷雾干燥系统	48
3.4	无菌的喷雾干燥流程	48
3.5	二级与三级的喷雾干燥流程	49
3.5.1	二级干燥流程	49
3.5.2	三级干燥流程	50
3.6	干燥器-静电除尘器系统流程	52
3.7	细粉返回到喷雾干燥塔内的流程	52
	参考文献	54

第 4 章 雾化器的结构与计算

55

4.1	概述	55
4.1.1	料液的雾化	55

4.1.2	喷嘴的分类	55
4.2	气流式喷嘴	56
4.2.1	气流式喷嘴的原理及其优缺点	56
4.2.2	气流式喷嘴的结构	57
4.2.3	各种变量对液滴尺寸的影响	63
4.2.4	平均滴径的计算	64
4.3	压力式雾化器	71
4.3.1	压力式雾化器的操作原理及其优缺点	71
4.3.2	压力式喷嘴的结构	72
4.3.3	压力式喷嘴的操作特性	75
4.3.4	喷嘴结构尺寸对流量系数的影响	77
4.3.5	操作参数对液滴尺寸的影响	77
4.3.6	平均滴径的计算和液滴尺寸分布	78
4.3.7	压力式喷嘴的主要尺寸的计算	79
4.4	旋转式雾化器	86
4.4.1	旋转式雾化器的操作原理、类型及优缺点	86
4.4.2	光滑盘(无叶片盘)旋转雾化器	88
4.4.3	叶片盘(非光滑盘)旋转雾化器	90
4.4.4	喷雾干燥操作时的雾化轮特性	94
4.4.5	雾化轮的放大	96
4.4.6	旋转-气流杯雾化器	98
4.4.7	液体分布器	99
4.4.8	旋转式雾化器的轴的问题	100
4.4.9	雾化器的驱动方式	103
4.5	静电雾化的基本原理及其应用	105
4.5.1	静电雾化的基本原理及基本流程	105
4.5.2	静电雾化产生离子(束)的模型	107
4.5.3	平均滴径的计算	109
4.5.4	静电雾化的工业应用	109
4.6	雾化器的选择	115
	参考文献	117

第5章 颗粒的形成和干燥

118

5.1	颗粒干燥过程的两个阶段	118
5.2	颗粒的形成	118
5.2.1	干燥曲线和干燥速率曲线	118
5.2.2	干燥室内的温度分布	120
5.2.3	悬浮液和乳浊液等液滴的干燥	121
5.2.4	溶液的液滴干燥	121
5.2.5	颗粒的形成	121
5.2.6	液滴干燥的某些概括性结论	124

5.2.7	影响喷雾干燥产品性质的因素	126
5.3	纯液体的液滴的蒸发时间的计算	127
5.3.1	单个液滴的蒸发时间的计算	127
5.3.2	纯液体的雾滴群的蒸发时间的计算	131
5.4	含有可溶性固体的液滴蒸发时间的计算	131
5.4.1	单个液滴的蒸发时间的计算	131
5.4.2	含有可溶性固体的雾滴群的蒸发	134
5.5	含有不溶性固体的液滴蒸发时间的计算	135
	参考文献	138

第6章 喷雾干燥塔的结构设计和尺寸估算

139

6.1	喷雾干燥塔的基本结构型式	139
6.1.1	并流流动的干燥塔和空气分布器的配置	139
6.1.2	逆流流动的干燥塔和空气分布器的配置	142
6.1.3	混合流流动的干燥塔和空气分布器的配置	142
6.2	干燥塔内的空气-雾滴(或颗粒)的流动方向	143
6.2.1	空气-雾滴并流运动	143
6.2.2	空气-雾滴逆流运动	144
6.2.3	空气-雾滴混合流运动	145
6.3	空气(热风)分布器	147
6.3.1	概述	147
6.3.2	旋转式雾化器的并流流动的塔内的空气分布器	151
6.3.3	喷嘴式雾化器的塔内的热风分布器	154
6.3.4	逆流流动的干燥塔的空气分布器(喷嘴式雾化器)	156
6.3.5	混合流干燥塔的空气分布器(喷雾或旋转式雾化器)	157
6.3.6	干燥塔锥形底出料和排气方式的组合	158
6.4	干燥塔直径和高度的估算	158
6.4.1	雾滴在气流中的运动	158
6.4.2	用图解积分法,计算干燥塔的直径	162
6.4.3	用图解积分法,计算干燥塔高度	165
6.4.4	用干燥强度法,估算干燥塔容积	170
6.4.5	用体积给热系数法,估算干燥塔容积	170
6.4.6	旋转式雾化器的喷雾干燥塔直径的确定	171
6.4.7	喷雾干燥塔的某些经验数据	171
6.4.8	行业 and 企业的某些标准	172
6.5	喷雾干燥操作中的粘壁问题	174
6.5.1	概述	174
6.5.2	半湿物料粘壁	178
6.5.3	低熔点物料的热熔性粘壁	181
6.5.4	干粉的表面黏附	182
6.6	设计举例	183

6.6.1 设计举例(一)	183
6.6.2 设计举例(二)	192
6.6.3 设计举例(三)	194
参考文献	198

第7章 喷雾干燥实验 **199**

7.1 喷雾干燥实验的重要性	199
7.2 喷雾干燥试验应注意的问题	200
7.3 喷雾干燥的试验设备	200
7.4 水溶性物料的试验	205
7.5 非水溶液料液的试验	205
7.6 物料在塔内的停留时间	206
参考文献	214

第8章 喷雾干燥的操作安全 **215**

8.1 喷雾干燥系统发生火灾或爆炸的原因	215
8.1.1 自燃	215
8.1.2 炽热颗粒	216
8.1.3 表面摩擦	216
8.1.4 电气火花	216
8.1.5 静电火花	216
8.2 喷雾干燥系统的防火和防爆措施	217
8.3 喷雾干燥系统发生火灾或爆炸的处理方法	219
8.4 易燃易爆料液的喷雾干燥操作的注意事项	219
8.5 喷雾干燥操作的安全管理问题	220
参考文献	220

第9章 喷雾干燥的节能措施与未来发展趋势 **222**

9.1 喷雾干燥的节能措施	222
9.1.1 喷雾干燥器的热效率	222
9.1.2 喷雾干燥的节能措施	222
9.2 喷雾干燥的未来发展趋势	229
参考文献	230

第10章 喷雾干燥系统的附属装置 **231**

10.1 空气加热器	231
10.1.1 蒸汽加热器	231
10.1.2 燃油加热器	237
10.1.3 燃气加热器	239
10.1.4 电加热器	240
10.2 风机	241

10.2.1	风机在喷雾干燥系统中的布置方式	241
10.2.2	风机的选用方法	242
10.3	旋风分离器	243
10.3.1	旋风分离器的工作原理	243
10.3.2	旋风分离器的分类及特点	244
10.3.3	结构和操作条件对分离效率的影响	246
10.3.4	旋风分离器的压力降	247
10.4	袋滤器	249
10.4.1	袋滤器的结构与操作原理	249
10.4.2	滤袋材料	249
10.4.3	常用袋滤器的类型及适用范围	250
10.5	湿法除尘器	253
10.5.1	湿法除尘器的工作原理	253
10.5.2	湿法除尘器的类型及结构特点	253
10.6	粉体的排出装置	255
10.6.1	间歇排料阀	255
10.6.2	连续排料阀	257
10.6.3	涡旋气封	257
10.7	成品的气流输送系统	258
10.7.1	概述	258
10.7.2	气流输送的管道尺寸的估算	259
10.7.3	气流输送系统在操作时存在的问题	260
10.8	干燥设备的清洗	261
10.9	喷雾干燥的控制系统	261
10.9.1	控制系统 A (基于进料速率调节)	262
10.9.2	控制系统 B (基于热量输入调节)	262
10.9.3	控制系统 C (基于直接测量干燥产品湿含量的调节)	263
	参考文献	264

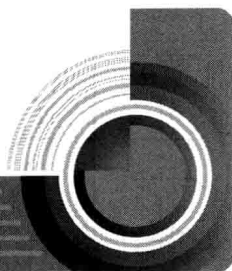
第 11 章 喷雾干燥的工业应用

265

11.1	概述	265
11.2	喷雾干燥法制备微胶囊技术	266
11.2.1	微胶囊及其功能	266
11.2.2	喷雾干燥制备微胶囊的基本方法	267
11.3	流化床喷雾造粒干燥技术	271
11.3.1	流化床喷雾造粒干燥器的操作原理	271
11.3.2	流化床喷雾造粒干燥器的分类	272
11.4	典型产品的操作数据表	279
11.5	喷雾干燥的产品	284
11.5.1	化学工业	284
11.5.2	食品工业	286
11.5.3	医药和生物化学工业	286

11.5.4	鞣酸和纤维素工业	287
11.5.5	屠宰废料和鱼工业	287
11.5.6	环境控制	287
11.6	喷雾干燥在化学工业中的应用	287
11.6.1	洗衣粉	287
11.6.2	塑料、树脂	290
11.6.3	有机染料、颜料	291
11.6.4	农药	293
11.6.5	肥料	295
11.6.6	陶瓷材料	299
11.6.7	矿物提浓物	303
11.6.8	普通无机和有机化学品	305
11.6.9	喷雾干燥在新领域的应用	306
11.7	喷雾干燥在食品工业中的应用	314
11.7.1	奶制品	315
11.7.2	蛋类	323
11.7.3	饮料	324
11.7.4	香料	327
11.7.5	植物性蛋白质	327
11.7.6	水果	329
11.7.7	蔬菜	336
11.7.8	碳水化合物	336
11.8	喷雾干燥在医药和生物化学工业中的应用	338
11.8.1	概述	338
11.8.2	酶	340
11.8.3	抗生素	341
11.8.4	血清、疫苗、血浆和血浆代用品	341
11.8.5	酵母	342
11.8.6	维生素	344
11.8.7	药用胶(金合欢、黄蓍、刺梧桐、海藻酸钠)	344
11.9	喷雾干燥在木材化学工业中的应用	345
11.9.1	单宁(鞣酸)粉的制备	345
11.9.2	造纸废液的回收	346
11.10	喷雾干燥在屠宰业和渔业中的应用	347
11.10.1	屠宰场副产品的喷雾干燥	347
11.10.2	鱼产品的喷雾干燥	349
11.11	喷雾干燥的尾气处理及其在环境控制中的应用	351
11.11.1	满足粉尘排放要求的系统	351
11.11.2	满足特殊气味排放要求的系统	351
11.11.3	除去有毒气体的系统	352
	参考文献	356

第1章 概述



1.1 喷雾干燥在日常生活及工业应用

喷雾干燥技术在工业上的应用已有一百多年的历史。起初，由于这一工艺的热效率低，只限于奶粉、蛋粉等少数产品的生产；但现在，随着此项技术的不断研究和发展，已在化学工业、食品工业、医药品和生化工业、林产工业、农药、陶瓷、水泥、冶金、环境保护、材料加工等领域中广泛使用，从而不断扩展了喷雾干燥技术的应用范围^[1~10]。

众所周知，很多工业产品都是从溶液制成粉末的，传统的加工生产方法需要经过蒸发、结晶、过滤、干燥、粉碎、筛析等一系列过程。采用喷雾干燥技术后，利用雾化器将溶液分散成很细的雾滴，在热气流的作用下直接生产出粉体产品，因而，大大简化了生产流程，节省了投资费用，改善了劳动条件，而且还提高了产品的产量和质量。因此，喷雾干燥技术在日常生活及工业生产中，具有广阔的应用和发展前景。

1.2 喷雾干燥的定义及基本流程

喷雾干燥是在喷雾干燥室内，采用雾化器将原料液分散成极细雾滴后，与干燥介质（热风）接触干燥而获得固体产品的过程^[1~6]。原料液可以是溶液、悬浮液或乳浊液、也可以是熔融液或膏糊液。根据干燥产品的要求，可以制成粉状、颗粒状、空心球或团粒状。所用的干燥介质大多数是热空气。对于在空气中容易发生燃烧或爆炸的有机溶剂，应采用惰性气体（例如氮气、过热蒸汽）或烟道气等作为干燥介质。

喷雾干燥装置所处理的料液虽然差别很大，所得的产品形状也不尽相同，但其工艺流程却基本相同^[1~6,11]。图 1-1 所示的是一个典型的喷雾干燥装置工艺流程。原料液由料液贮罐 1 经料液过滤器 2 由送料泵 3 输送到喷雾干燥器 11 顶部的雾化器 5 雾化为雾滴；干燥过程所需的新鲜空气由鼓风机 8 经空气过滤器 7、空气加热器 6 加热到所要求的温度后，再经热风分布器 4 均布后进入喷雾干燥器 11 的顶部；经雾化器 5 雾化的雾滴和来自热风分布器 4 的热风在喷雾干燥室内相互接触、混合，进行传热与传质，即进行干燥；干燥的产品一部分由喷雾干燥器 11 的底部经卸料器排出，另一部分与废气一起进入旋风分离器 10 被分离下来；废气经引风机 9 排空。喷雾干燥的工艺流程有很多种，详见第 3 章。

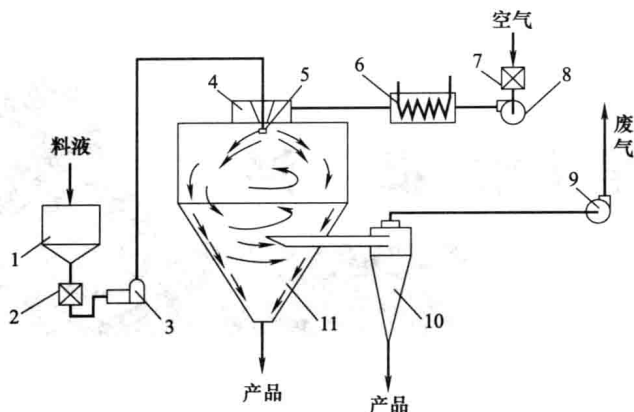


图 1-1 喷雾干燥装置的一般流程

1—料液贮罐；2—料液过滤器；3—送料泵；4—热风分布器；5—雾化器；6—空气加热器；
7—空气过滤器；8—鼓风机；9—引风机；10—旋风分离器；11—喷雾干燥器

1.3 喷雾干燥的基本过程阶段^[1,2]

喷雾干燥过程可分为三个基本过程阶段：料液雾化为雾滴；雾滴与热风的接触、混合及流动，即雾滴的干燥；干燥产品与废气的分离。

1.3.1 喷雾干燥的第一个基本阶段——料液的雾化

料液雾化的目的是将料液分散为细微的雾滴，雾滴的平均直径一般为 $20 \sim 60 \mu\text{m}$ ，因此，具有很大的表面积，当其与热风接触时，雾滴中的水分迅速蒸发而干燥成粉末或颗粒状产品。雾滴的大小和均匀程度对于产品质量和技术经济指标影响很大，特别是热敏性物料的干燥尤为重要。如果喷出的雾滴大小很不均匀，就会出现大颗粒还未达到干燥要求，小颗粒却已经干燥过度而变质。因此，料液雾化器是喷雾干燥器的关键部件。

1.3.2 喷雾干燥的第二个基本阶段——雾滴与热风的接触及干燥

雾滴与热风的接触、混合及流动是在喷雾干燥器内同时进行的传热、传质过程（即干燥过程）。雾滴和热风的接触方式、混合与流动状态取决于热风分布器的结构形式、雾化器的安装位置及废气排出方式等。在喷雾干燥室内，雾滴与热风接触的方式有并流式、逆流式和混合流式三种。

雾滴和热风的接触方式不同，对喷雾干燥室内的温度分布、雾滴（或颗粒）的运动轨迹、物料在干燥室中的停留时间以及产品质量都有很大影响。对于并流式，最热的热风与湿含量最大的雾滴接触，因而湿分迅速蒸发，雾滴表面温度接近入口热空气的湿球温度；同时，热风温度也显著降低；因此，从雾滴到干燥成品的整个历程中，物料的温度不高，这对于热敏性物料的干燥特别有利。由于湿分的迅速蒸发，雾滴膨胀甚至破裂；因此，并流式所得的干燥产品常为非球形的多孔颗粒，具有较低的松密度。对于逆流式，喷雾干燥器顶部喷出的雾滴与喷雾干燥器底部上来的较湿热风相接触；因此，湿分蒸发速率较并流式为慢。干燥器底部最热的湿度最低的热风与最干的颗粒相接触；所以，对于能经受高温、要求湿含量

较低和松密度较高的非热敏性物料,采用逆流式最合适。此外,在逆流操作过程中,全过程的平均温度差和分压差较大,物料停留时间较长,有利于过程的传热传质,热能的利用率也较高。对于混合流式的操作,实际上是并流式和逆流式二者的结合,其特性也介于二者之间。对于能耐高温的物料,采用这种操作方式最为合适。

在喷雾干燥室内,物料的干燥与在常规干燥设备中所经历的历程完全相同,也经历着恒速干燥和降速干燥两个阶段。雾滴与热风接触时,热量由热风经过雾滴表面的饱和蒸汽膜传递给雾滴,使雾滴中湿分蒸发,只要雾滴内部的湿分扩散到表面的量足以补充表面的湿分损失,蒸发就以恒速进行;这时,雾滴表面温度相当于热风的湿球温度,这就是恒速干燥阶段。当雾滴内部湿分向表面的扩散不足以保持表面的润湿状态时,雾滴表面逐渐形成干壳,干壳随着时间的增加而增厚,湿分从液滴内部通过干壳向外扩散的速度也随之降低,亦即蒸发速率逐渐降低,这时物料表面温度高于热风的湿球温度,这就是降速干燥阶段。上述这些问题将在第5章详述。

1.3.3 喷雾干燥的第三个基本阶段——干燥产品与废气的分离

喷雾干燥产品与废气的分离(通常称为气-固分离)有两种方式。一种是干燥的粉末或颗粒产品落到干燥室的锥体壁上并滑行到锥底,通过星形卸料阀之类的排料设备排出,少量细粉随废气进入气固分离设备收集下来。另一种是全部干燥成品随气流一起进入气固分离设备分离收集下来。排放的废气必须符合环境保护的排放标准,以防环境污染。喷雾干燥系统常用的气-固分离有以下几种方式:只用旋风分离器;只用袋滤器;只用静电除尘器;旋风分离器与袋滤器的组合;旋风分离器与湿式除尘器的组合等。在具体实践中,究竟采用何种方式,主要取决于工艺要求及环保要求等。关于各种气-固分离设备将在第10章进行详细介绍。

1.4 喷雾干燥系统的组成^[1,2]

众所周知,喷雾干燥系统种类繁多,其结构不尽相同,但一般都由以下四个部分组成。

- ① 料液雾化部分:包括雾化器、供料泵、料液管道及阀门等。
- ② 热风加热部分:包括空气加热器、风机、空气过滤器、热风管道及阀门等。
- ③ 雾滴与热风的接触和干燥部分:包括热风分布器、喷雾干燥室等。
- ④ 干燥产品的回收及废气净化部分:包括气-固分离的旋风分离器、湿式洗涤器、排料阀、包装机、废气引风机等。

本章只进行一般性讨论。一些重要设备将在第4、第6和第10章再作详细介绍。

1.4.1 供料系统

供料系统一般由料液贮罐、供料槽、粗滤器或细滤器以及送料泵等组成。料液可以直接用送料泵输送到雾化器中,也可以经过一个一定高度的供料槽流入雾化器内。料液贮罐应有足够的体积容量,以保证装置连续运行。一般常用两个料液贮罐轮换供料,以保证把料液稳定地供给干燥器。料液粗过滤器或细过滤器可以部分或完全消除雾化器的堵塞问题。供料系统的设计,必须考虑清洗容易和维修方便。供料系统的管道、管件及设备等的材料选择,主要取决于料液的性质。例如,对于食品,全部要用不锈钢;对于化学制品,常要求采用特殊

衬里的料液贮罐以及耐腐蚀的泵、管子及管件等。

在许多情况下，料液在进入雾化器之前，需要进行预热或预处理。预处理可以是混入添加剂或进行配料，以保证进料的性质（例如 pH 值等）。预热通常是为了降低料液的黏度，以保证雾化器能按要求进行操作。预热器可以是板式、夹套式、套管式、弯板式或蛇管式等。预处理或预热设备应尽量在料液雾化器之前的空间位置与供料系统相连。图 1-2 所示的是带有预热设备的供料系统的工艺流程图。原料液从贮料槽经过预热器流到小型供料槽；然后，再用送料泵输送到雾化器中。原料液也可以直接从预热器用泵送至雾化器；但在中间装一个小型供料槽，可以使供料系统更具有灵活性。在雾化器的供料泵旁还应安装一个水槽，供干燥装置开车及停车使用。

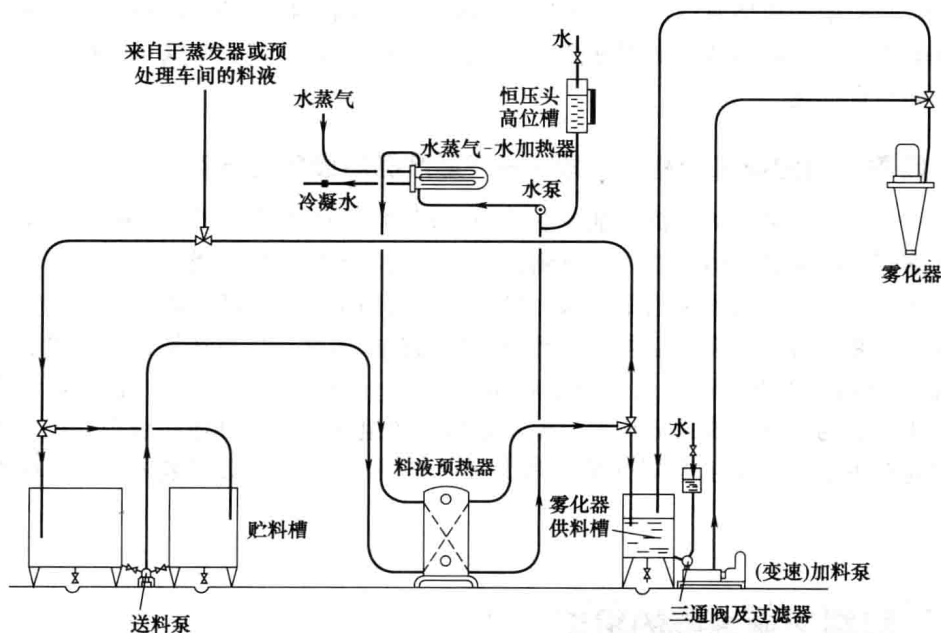


图 1-2 带进料预热器的供料系统

1.4.2 雾化器

一般认为，雾化器是喷雾干燥系统的核心。雾化器能否产生符合雾滴粒度分布要求的料雾，是决定系统运行好坏的最重要因素。常用的雾化器有气流式喷嘴、压力式雾化器、旋转式雾化器（也可简称旋转雾化器）三种。关于这三种雾化器将在第 4 章作详细讨论。

无论采用哪一种雾化技术，雾化器总是安装在干燥室内。操作时，必须使料雾与热风充分接触。接触时，热风可以是向上、向下或向外流动。在所有情况下，都应使料雾中的水分在雾化器的近旁迅速蒸发；当物料到达干燥室壁面附近时，已经足够干燥。如果干燥时间不够，就会出现半湿物料沉积在干燥室壁面上。图 1-3 示出的是雾化器在干燥室中的位置。

1.4.3 热风系统

热风系统是为喷雾干燥器提供干燥用的热风。热风系统一般包括空气过滤器、空气加热器、鼓风机、管道、阀门等。

除了空气中的尘埃对喷雾干燥产品不会造成污染的情况之外，通常环境空气都要经过过滤。闭路循环式干燥器排出的干燥介质要进行再循环，即先除去细粉后，再回到加热器中进

行加热。通常在洗涤器-冷凝器后，要安装一台过滤器。

过滤器的过滤介质应保证除去气体中大于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒。过滤介质的效率一般以对标准灰尘截留的百分数表示。对于一种标准灰尘（例如道路尘埃的煤烟尘含量）的典型粒度分布如表 1-1 所示。常用过滤层的过滤效率为 $80\% \sim 85\%$ 。过滤器可以由若干个小过滤室组成，在其中固定过滤介质方形块。这些过滤方块要定期取出，进行人工清洗。也可以通过连续测定过滤器的压力降，实现过滤介质的自动更换。即达到给定的压力降值时，过滤器辊子自动向前移动，使洁净的过滤面积投入使用，以降低过滤器的阻力。过滤器的辊子也是可以更换的。

空气加热器可以是间接加热式或直接加热式。热源可以为蒸汽、燃料油、煤气、热流体或电能，应根据喷雾干燥产品及可供使用的燃料进行选择。常用的空气加热器有以下几种类型。

第一类：能耐高温并容许与燃烧产物直接接触的产品，可采用烧油或烧煤气的直接加热器。这种产品包括黏土、矿物等许多无机物料。采用燃油式等直接加热器时，一般要求燃烧产物比较清洁。如果要求产品不应与大量二氧化硫接触时，就应该选用高质量的燃油。

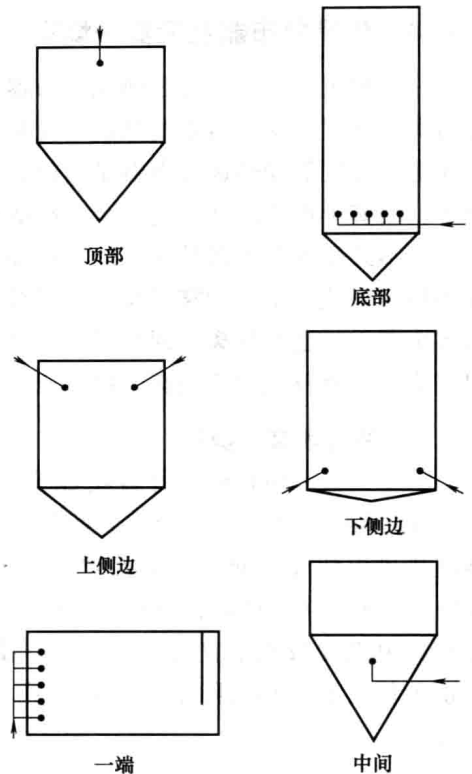


图 1-3 喷雾干燥室中雾化器的位置

表 1-1 标准灰尘的典型粒度分布

颗粒直径/ μm	粒度分布/%
<1	30
1~5	30
5~10	12
10~20	10
大于 20	18

第二类：产品能耐高温但不容许与燃烧产物直接接触。应采用烧油或烧煤气的间接加热器。这类产品主要是各种无机盐类。

第三类：产品能抵抗燃烧产物的作用，但承受高温有一定的限制；否则，会引起化学变化或燃烧。可采用烧油或烧煤气的直接空气加热器，但需要配置高温自动报警系统。燃烧产物必须进行稀释，以保证适宜的空气温度。这类产品的例子是各种有机及无机盐类等。

第四类：产品既不耐高温，也不可于燃烧产物直接接触。必须采用间接空气加热器。小型喷雾干燥设备通常也有用液体燃料或电加热器。这类产品包括食品及许多精细化学制品等。

鼓风机通常采用离心式。后弯叶片的风机可输送容量较大的空气，且压力降小。阀门一般为蝶阀等。关于空气加热器和风机将在第 10 章作详细讨论。

1.4.4 热风分布器及喷雾干燥室

一般情况下，热风经过热风分布器均布后，才能进入喷雾干燥室。热风分布器的作用是均匀提供过程干燥所需要的热量，控制雾滴及颗粒行经的路线以及快速将蒸发的水分从雾化区移走。雾化器和热风分布器是通过雾化方式以及热风与料雾的接触形式来影响雾滴的粒度分布。喷雾干燥室的功能是提供足够的热风及物料的停留时间，使产品能达到所需的水分要求，而不致受热变质以及在干燥室壁面沉积。产品必须连续从干燥室排出，排出的方式由干燥物料的形状决定。喷雾干燥室可设计成将大部分产品从其底部排出（主排料）或随废气一起将全部干料送至分离及回收系统中进行回收（全排料）。喷雾干燥室的设计方案多种多样，如并流、逆流及混合流喷雾干燥室三类。

(1) 并流喷雾干燥室

图 1-4 所示的是四种并流喷雾干燥室。热风分布器及雾化器可布置在干燥室的顶部、底部或一端。(a)、(b) 所示为两种常用的形式。(a) 型具有向下旋转的气流。热风分布器使热风由切线方向进入或经过斜向叶片以产生旋转流动。料雾也很快地被吸入这种旋流中。这种类型的热风分布器也被示于图 1-5 中。(b) 型是向下非旋转的平行气流。热风分布器由直孔板或平直的叶片组成，使热风形成非旋转的平行气流。(c) 型中的热风必须防止干料向上运动时降落。(d) 型则相反，要求气流中的干料分离出来并落到干燥室的底部。

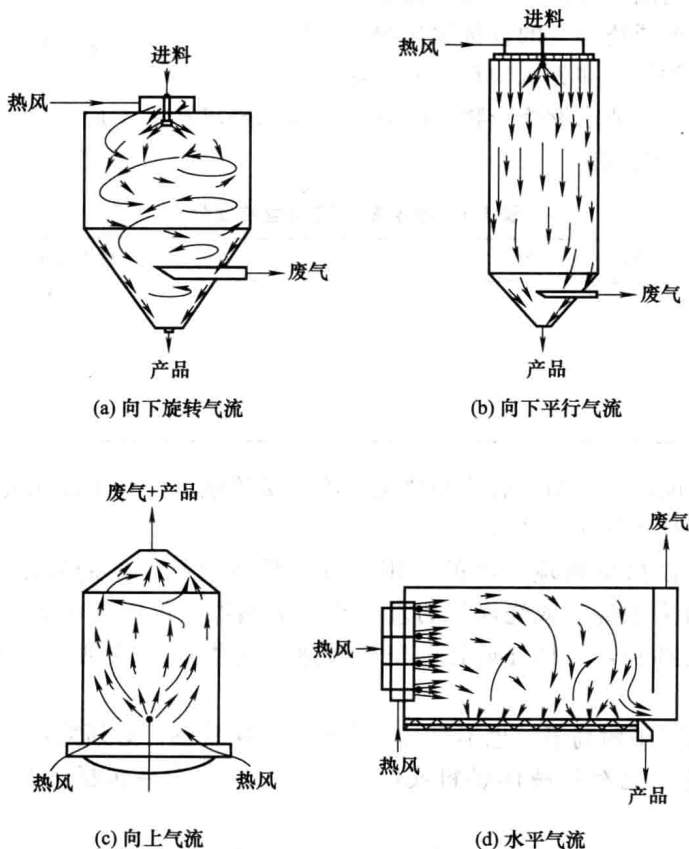


图 1-4 并流喷雾干燥室