

ZAOLI GONGYI YU SHEBEI

造粒工艺与设备

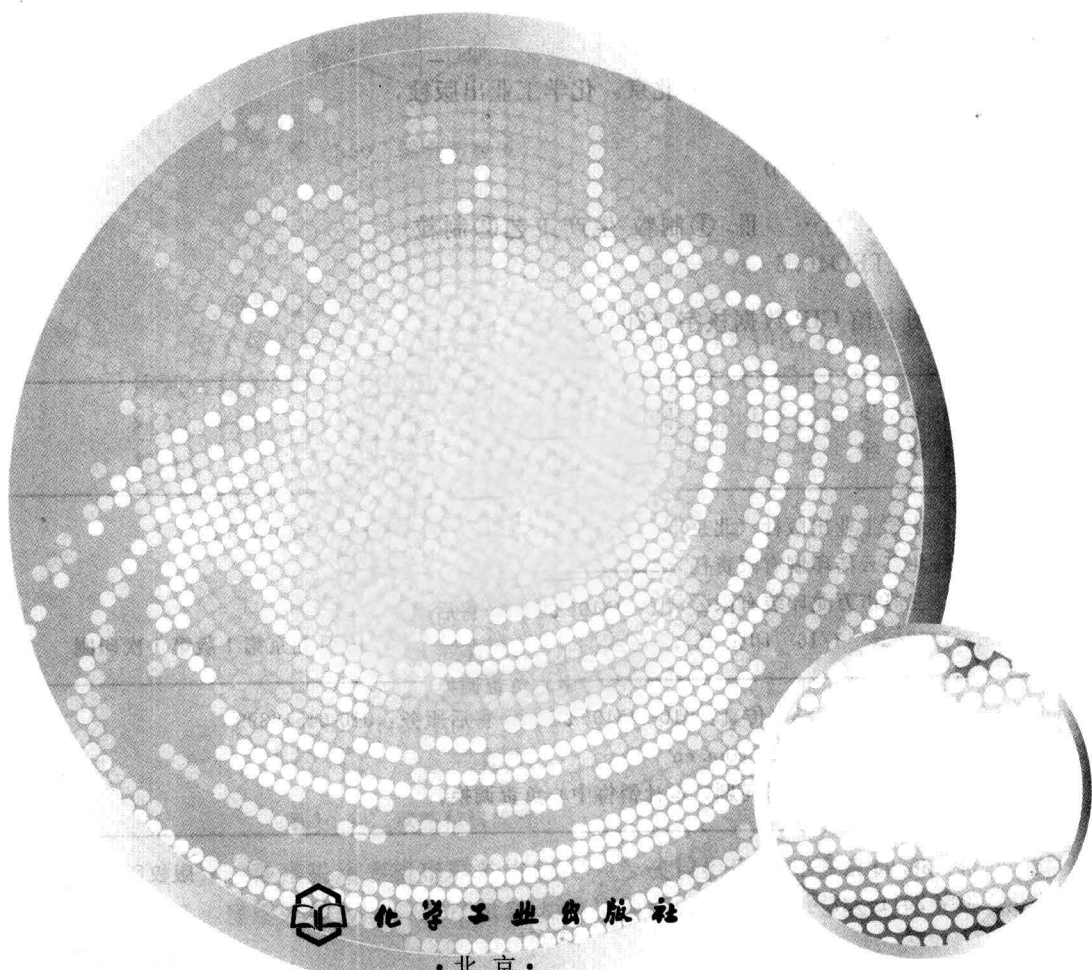
刘广文 编



化学工业出版社

造粒工艺与设备

刘广文 编



化学工业出版社

·北京·

全书共分十章,全面系统地介绍了造粒技术的原理、造粒设备的理论设计方法及设备的结构,具有较强的实用性。第一章介绍了造粒技术的基础知识;从第二章~第八章,分别介绍了各种造粒设备的结构、工作原理、设计方法和应用实例;第九章和第十章介绍了颗粒的表面处理技术。

本书是造粒设备设计人员、从事科研、教学人员以及相关专业的本科生、研究生必备的工具书。也是食品、化工、医药、轻工、染料、农药、饲料、冶金等行业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

造粒工艺与设备/刘广文编. —北京:化学工业出版社,
2011.8

ISBN 978-7-122-11767-0

I. 造… II. 刘… III. ①制粒-生产工艺②制粒-
生产设备 IV. TFO46.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 133096 号

责任编辑:辛 田

文字编辑:冯国庆

责任校对:蒋 宇

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:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张25¼ 字数668千字 2011年10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

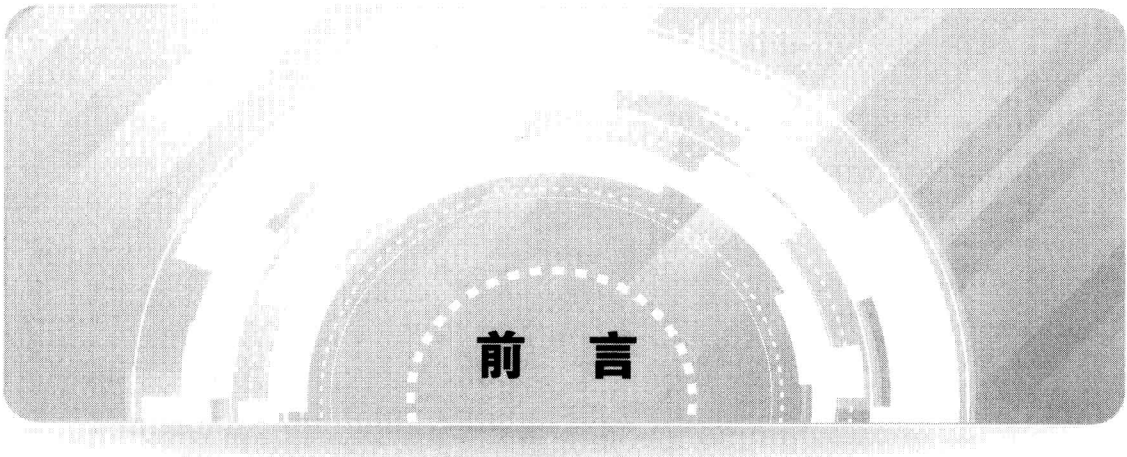
网 址: <http://www.cip.com.cn>

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:88.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2011—37 号



前言

越来越多的人希望将细粉末状的粉料转变成具有良好流动性的、无粉尘的团粒状制品。将物料加工成颗粒的技术称为“造粒”或“制粒”，所得产品称为“颗粒”。随着我国各行业生产技术的发展，加之生产设备的进步，颗粒化产品已经遍及人们日常生活和工业生产的各个角落。不论是中间产品还是最终产品，颗粒状产品随处可见。例如，日常生活中的咖啡、奶粉，烹调用的鸡精，中药冲剂，农业生产中的农药、化肥等都是经过造粒的产品。

造粒的目的根据所应用的行业各有不同，总体来说有以下多方面的目的：为了准确定量、配剂和管理；防止粉尘飞扬及器壁上的黏附；造粒后可防止环境污染与原料损失；造粒后可有效地防止离析；降低吸湿性，有利于贮存；调整堆密度，改善溶解性能；外形美观、方便使用。

由于造粒方法的广泛应用，造粒技术已经发展成为一个独立的技术门类。其中物料的性质、产品指标、造粒工艺流程设计、造粒设备的结构设计构成了造粒技术的全部内容。但是，多年来，我国尚无一本全面、系统介绍造粒技术的专著。编者在参阅国内外大量文献、技术资料的基础上，完成了该书的编写工作。本书从理论到应用，全面地介绍了造粒工程技术的相关知识。

全书共分十章，第一章介绍了造粒技术的相关基础内容；从第二章～第八章，分别介绍了挤出法、挤压法、团聚法、搅拌法、熔融法、喷雾法以及喷雾流化法造粒技术的原理、设备设计方法、设备结构工作原理及工程技术；第九章及第十章介绍了颗粒的表面包衣及表面处理技术。

在本书编写过程中，引用了众多前人、同行的技术资料，在此一并致谢。

造粒技术是工艺性、工程性很强的工业技术，相关理论仍在研究之中，还不成熟，加之作者专业水平有限，书中不足之处在所难免，望广大读者批评指正。

刘广文
于沈阳化工研究院

目 录

第一章 造粒基础	1
第一节 造粒技术概论	1
一、简述	1
二、颗粒学简释	2
三、粉粒体物料粒度表征	4
四、粉粒体的空间性质	5
五、粉粒体的静力学性质	6
六、粉料的表面性质和粒度分布	7
第二节 造粒理论基础	7
一、粒子间的结合力	7
二、液体的架桥机理	9
三、液桥与固桥的形成	9
四、桥接的强度理论	10
五、黏结力的理论计算	11
六、颗粒强度理论	14
七、颗粒间作用力的理论计算	15
八、颗粒物料的黏性力	17
九、颗粒团聚能力的度量	18
第三节 颗粒的形成过程	19
一、水在粉料中的存在形态与作用	19
二、粉体的固、液、气系的充填结构	21
三、粉体润湿的状态	22
四、凝集因素和操作的关系	23
五、粉体物料的微观凝集现象	23
六、颗粒的成长机理	24
七、湿颗粒形成的途径	24
八、粉体可粒化性能	25
第四节 造粒设备的性能	26
一、常用造粒方法简述	26

二、造粒设备的结构及其分类	30
三、造粒设备的应用	34
四、造粒设备的发展方向	35
第五节 造粒工艺	36
一、基本造粒方法	36
二、造粒物的干燥	37
三、造粒操作基本原理	38
四、各种造粒方法的产品特征	38
五、造粒方案的确定因素	39
六、造粒物的特性评价	40
七、造粒用黏结剂	40

第二章 挤出造粒 43

第一节 挤出造粒概述	43
一、简述	43
二、挤出造粒原理	43
三、挤出造粒设备	44
四、挤出造粒理论	45
第二节 螺旋挤出造粒	48
一、挤出造粒机的特点	48
二、原料处理及要求	50
三、软材的制备方法	51
四、造粒参数对产品的影响	51
五、侧挤出螺旋造粒机	52
六、前挤出螺旋造粒机	53
七、螺旋挤出造粒机的设计	55
第三节 压模挤出造粒	56
一、辊压式挤出造粒机	56
二、主要参数设计	60
三、卧式压模式挤出造粒机	62
四、立式压模式挤出造粒机	64
第四节 对辊刮板造粒	70
一、对辊挤出造粒机	70
二、对齿挤出造粒机	70
三、刮板造粒机	71
四、摇摆造粒工艺简介	73

第三章 挤压造粒 75

第一节 挤压造粒概述	75
一、概述	75
二、挤压造粒机理	75

三、影响挤压造粒的因素	75
四、挤压造粒设备简介	76
五、挤压式造粒机的优缺点	77
第二节 对辊挤压造粒	78
一、对辊造粒机的基体流程	78
二、结构及工作原理	79
三、对辊挤压造粒机	79
四、半型模挤压造粒机	80
五、主要零部件结构设计	81
第三节 对辊挤压造粒机设计理论	83
一、设备组成及成型机理	83
二、对辊挤压造粒机的工作过程分析	84
三、粉粒状物料挤压理论	85
四、对辊挤压造粒机轧辊的脱模条件	86
五、轧辊结构	88
六、轧辊设计	89
第四节 压片技术及压片机	95
一、压片受力分析	95
二、压片工艺	96
三、压片设备	98
四、压片机的冲和模	100
第五节 粮食压片机	101
一、结构及工作原理	101
二、主要参数的确定	101

第四章 团聚造粒

第一节 团聚造粒概述	104
一、团聚造粒机理	104
二、影响团聚造粒的因素	105
三、造粒过程	106
四、滚动造粒设备简介	107
第二节 振动造粒	108
一、振动基本理论	108
二、振动型造粒机	111
三、混合造粒	112
第三节 离心造粒	113
一、离心造粒的原理	113
二、离心造粒的基本理论	114
三、离心造粒的结构型式	116
第四节 圆盘造粒	122
一、倾斜盘式造粒机简介	122
二、圆盘造粒的颗粒生成过程	123

三、影响颗粒质量的主要因素	124
四、造粒盘各参数之间的关系	126
五、圆盘造粒机设计理论	127
六、圆盘造粒机参数图算法	132
七、造粒设备	132
八、特殊形状的盘式造粒机	134
九、造粒流程	135
第五节 滚筒造粒	136
一、滚筒造粒机参数计算方法	136
二、无外返料的喷浆造粒干燥机	139
三、传统喷浆造粒干燥机	140
四、带“三内”喷浆造粒干燥机	141
五、筒体结构	144

第五章 搅拌破碎造粒 150

第一节 搅拌破碎造粒概况	150
一、破碎造粒简述	150
二、搅拌破碎造粒概况	151
三、搅拌破碎造粒条件	152
四、搅拌破碎造粒理论	152
五、团聚造粒机理	154
六、湿法造粒的基本流程	156
第二节 间歇式湿法搅拌造粒机	157
一、造粒的作业条件	157
二、间歇式搅拌造粒黏结剂的用量	158
三、搅拌造粒机搅拌浆的几何分析	158
四、造粒设备	159
第三节 连续式湿法搅拌造粒	166
一、连续式搅拌造粒机简介	166
二、连续与间歇式造粒过程的比较	166
三、连续搅拌造粒设备简介	166
四、搅拌过程原理	167
五、连续微粒化过程	168
六、连续造粒工艺	170
七、操作技术	172
第四节 干式破碎造粒	175
一、对辊挤压破碎造粒机	175
二、干式破碎造粒机	176
三、涡壳型干式破碎造粒机	176
四、篮式搅拌破碎造粒机	177
五、水平刀盘破碎造粒机	178
六、立式破碎造粒机	178

第六章 熔融造粒	179
第一节 熔融造粒简述	179
一、熔融硬化造粒	179
二、熔融固化造粒	181
三、熔融造粒设备简介	182
第二节 带式冷凝造粒机	184
一、回转带式成型装置简介	184
二、带式造粒机结构设计	185
三、带式造粒机主要生产技术参数确定	188
四、带式冷凝造粒机的力学计算	190
五、带式冷却造粒机的流程及生产实例	192
六、生产流程简介	194
七、问题及讨论	196
第三节 螺杆挤出熔融造粒	198
一、螺杆挤出熔融造粒简介	198
二、设计方法	198
三、挤出机设备结构介绍	201
四、切粒装置	205
第四节 熔融液喷雾造粒	209
一、喷雾冷却造粒技术概况	209
二、雾化器的结构	210
三、振动喷雾造粒技术	212
四、造粒塔结构形式及其计算方法	213
五、应用实例	221
第五节 转鼓结片造粒机	222
一、转鼓结片机的结构及工作原理	222
二、转鼓结片造粒机的特点	223
三、转鼓干燥机的加料方式	225
第七章 喷雾造粒	226
第一节 喷雾干燥概述	226
一、喷雾造粒机理	226
二、喷雾造粒的工艺流程	227
三、喷雾造粒法的特点	228
四、喷雾返粉造粒法	229
五、喷雾流化造粒	230
六、多级喷雾流化造粒	230
第二节 喷雾干燥系统设计	232
一、设计方案确定条件	232
二、系统设计方案的确定	234
三、系统型式的确定	236

第三节 喷雾造粒装置设计基础	238
一、工艺参数的计算	238
二、干燥室的计算	239
三、工艺参数的求取	243
第四节 离心式喷雾造粒	244
一、离心式喷雾干燥简述	244
二、离心式雾化器的雾化机理	246
三、分散盘的微粒化条件	247
四、雾化器的结构型式	248
五、离心式雾化器设计基础	249
六、离心式喷雾干燥器的结构设计	253
七、离心式喷雾干燥器工艺设计	254
第五节 压力式喷雾造粒	257
一、压力式喷雾干燥简述	257
二、压力式雾化器的设计计算	259
三、塔底放大段结构的设计	264
第六节 气流式喷雾干燥	265
一、气流式喷雾干燥简述	265
二、气流式雾化器设计	265
第七节 返粉造粒技术	273
一、返粉造粒机理	273
二、返粉造粒装置各部件工作原理	275
三、气力输送装置的设计	275
四、文丘里供料器	280

第八章 流化造粒

第一节 流化造粒基础	282
一、流化造粒技术概述	282
二、流化造粒设备性能	283
三、流化造粒机理	284
四、喷雾流化造粒的特点	285
五、流化床的设计要点	285
第二节 流化造粒基本理论	285
一、超细颗粒和黏性颗粒流化模型	285
二、颗粒的成长	289
三、流化床的流体力学计算	292
第三节 流化床结构设计	295
一、分布板的结构设计	296
二、雾化器	299
三、内置布袋除尘器	302
四、塔体设计	302
第四节 流化造粒设备	303

一、间歇式喷雾流化造粒设备	303
二、连续流化床造粒机	307
三、导向筒流化床造粒	314
四、喷雾流化造粒的影响因素	314
五、骤变失稳及原因	321
第五节 流化床热喷雾造粒设备	321
一、设备结构和工作原理	321
二、热喷流的流体力学	322
三、热喷流内的传热传质过程	324
四、热喷流造粒的条件和结果	326
第六节 振动流化造粒	326
一、引言	326
二、振动流化床造粒机理	327
三、振动方法	328
四、振动造粒流化床	331

第九章 颗粒包衣 334

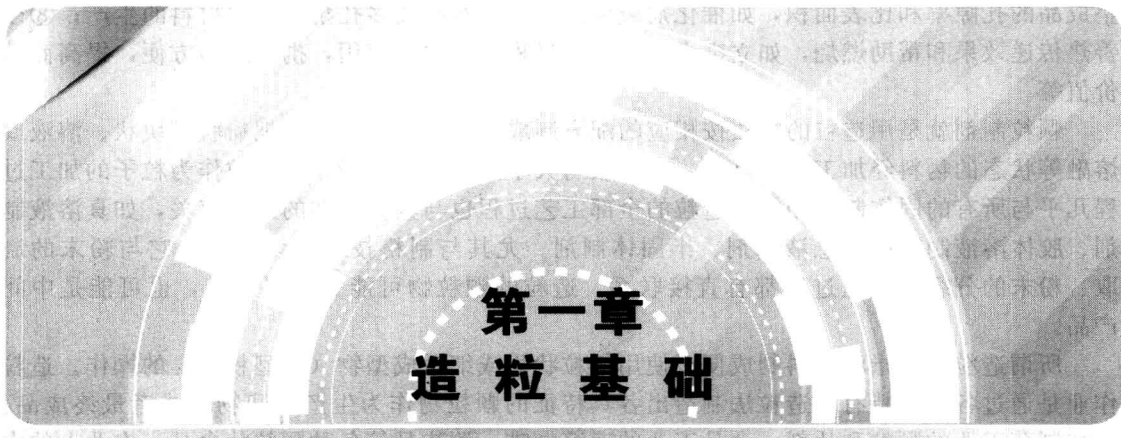
第一节 包衣工艺简述	334
一、前言	334
二、基本包衣材料	336
三、包衣工艺操作	338
第二节 旋转包衣设备	340
一、包衣锅	340
二、普通包衣锅	342
三、埋管包衣锅	343
四、高效水平包衣锅	343
第三节 离心式旋转包衣机	344
一、装置简介	344
二、装置组成与主机结构	346
三、造粒原理与流场分析	347
四、技术要点	347
第四节 流化床包衣装置	348
一、流化床包衣技术简介	348
二、流化床包衣技术的基本概念	349
三、包衣工艺介绍	349
四、三种流化床的包衣过程比较	354
五、喷雾方法的选择准则	355
六、导流筒流化床包衣设备	355

七、超临界流体流化床包覆造粒	358
八、包衣喷嘴	359
九、薄膜包衣操作技术	360
第五节 其他包衣方法	361
一、高效包衣机	361
二、改良型包衣机	362
三、BG 系列高效包衣机	362
四、多功能包衣装置	363
五、鼓型包衣设备	363
六、压制包衣法	364
七、通风型全自动包衣机	364
八、球形包衣装置	365

第十章 颗粒表面处理技术 366

第一节 颗粒表面改性基础	366
一、粉（粒）体表面改性的概念	366
二、粉（粒）体表面改性的特点	366
三、微粒的表面改性方法	367
四、表面改性方法的分类	368
第二节 冲击式颗粒表面改性	369
一、高速气流冲击法表面改性简介	369
二、高速气流冲击法的基本处理形式	370
三、粒子的组合及其配比的计算	371
四、冲击式表面改性系统简介	371
五、冲击式表面改性系统的操作方法	372
六、冲击式表面改性系统的主要参数	373
七、高速气流冲击法表面改性的应用实例	375
第三节 搅拌法表面改性	377
一、机械融合包覆机	377
二、高速加热式混合机	377
三、SLG 型微粒表面改性机	379
第四节 制丸技术	380
一、挤出-滚圆制丸法	380
二、离心式制丸法	387
三、旋转流化床	388
四、包衣锅制丸	389
五、旋转-线圈式的制丸机	389
六、振动喷嘴装置	390

第五节 微胶囊颗粒的制备	390
一、机械法制备微胶囊技术简述	390
二、多孔离心法包囊	390
三、静电法包囊	391
四、喷雾冻凝法	391
五、流化床包囊	391
六、喷雾法包囊	391
第六节 整粒技术	395
一、快速整粒机	395
二、粉碎整粒机	396
三、滚圆装置	396
参考文献	398



第一章 造粒基础

第一节 造粒技术概论

一、简述

粉体处理的历史非常久远,随着时间的推移,粉体粒径逐渐趋向微细化,特别是在最近,社会上对超微粉的要求大大增加。于是,在有关的处理过程中,也暴露了各种各样的问题,为了克服这些技术问题,人们越来越多地采用造粒技术,即将微粉碎后的粉体进行造粒。这样,造粒装置也得到了开发和利用。总之,造粒后的粉体作为商品而言,具有很高的实用价值。而造粒后的产品,各种质量指标比较稳定,所以在许多工厂中很受欢迎。

从广义上把造粒定义为:将粉状、块状、溶液、熔融液等状态的物料进行加工,制备具有一定形状与大小的粒状物的操作。广义的造粒包括了块状物的细分化和熔融物的分散冷却固化等。通常指的造粒是狭义上定义的概念,即:将粉末状物料聚结,制成具有一定形状与大小的颗粒的操作。从这种意义上说,造粒物是微小粒子的聚结体,为了区别微小粒子和聚结粒子,将前者称为一级粒子,后者称为二级粒子。

造粒是固体粒子的加工过程,广泛应用于药品、食品、化工产品等固体物料的加工过程中。如在制药行业中,造粒技术应用于细粒剂、颗粒剂、片剂等固体制剂,也可应用于含有固体颗粒的其他剂型,以固体原料为基础产品的制剂产品,占整个药品市场的70%~80%,可见造粒在制剂生产中的重要地位。

造粒的目的根据所应用的行业各有不同,总体来说有以下多方面的目的:①为了准确定量、配剂和管理,如将药品制成各类片剂;②防止粉尘飞扬及器壁上的黏附,粉末的粉尘飞扬及黏附性严重,造粒后可防止环境污染与原料损失,如农药颗粒剂等;③防止各成分的离析,配方中各成分的粒度、密度存在差异时容易出现离析现象,混合后造粒或造粒后混合可有效地防止离析;④防止某种固相物生产过程中的结块现象,如颗粒状磷酸和尿素的生产,一般颗粒比粉末粒径大,而造粒后物料的比表面积大大减小。每个粒子周围可接触的粒子数目少,因而黏附性、凝集性大为减弱,从而可大大改善颗粒的流动性,如陶瓷原料喷雾造粒后可显著提高成型给料时的稳定性;⑤降低有毒和腐蚀性物料处理作业过程中的危险性,如将烧碱类压制成片状或粒状后使用;⑥调整堆密度,改善溶解性能,如一些速溶食品;⑦调

整成品的孔隙率和比表面积，如催化剂载体的生产和陶粒类多孔耐火保温材料的生产；⑧改善热传递效果和帮助燃烧，如立窑水泥的烧制过程；⑨便于使用，携带运输方便，提高商品价值等。

颗粒制剂就是用造粒的方法按相应的配方制成粒状制剂。造粒是把粉状、块状、溶液或熔融等状态的物料经加工制成具有一定形状与大小的粒状物的操作。造粒作为粒子的加工过程几乎与所有的固体制剂相关，造粒的全部工艺过程也与其他剂型的工艺有关，如真溶液制剂、胶体溶液制剂、混悬液制剂、半固体制剂。尤其与制粉技术密切相关，它与粉末的制取、粉末的分级等工艺过程都有直接联系。造粒的颗粒物可能是最终产品，也可能是中间产品。

所谓造粒，是指将物料制成便于使用的粒状物或细微成型物（成型粉体）的操作。造粒作业是通过各行业特有的造粒法制造出各具特征的颗粒物作为生产中间物料或者最终成品。比如制药工业的颗粒和片剂；食品工业的速溶咖啡、调味品等各种颗粒状食品；农业上的农药、化肥等颗粒产品；粉末冶金、陶瓷等行业的凝聚体颗粒、颗粒饲料等，可以根据各自的用途制成最适合的形状。所以说，造粒操作是为了迎合多样化的目的与用途而制造最适宜形状的颗粒物。

本书主要介绍有关造粒的工程技术，这就涉及颗粒的定义问题。那么什么是颗粒呢？颗粒和粉末又有什么区别呢？其实这个问题是很难回答的。因为所谓颗粒，就涉及颗粒的直径，即粒度的定量问题。不同的行业对颗粒粒径的定义不同，有资料介绍，精细化工行业对粒度在 $100\mu\text{m}$ 以上的粉体称为颗粒。但随着材料科学的发展，这一定义也在受到挑战。颗粒与粉体的区别只有行业内约定俗成的概念，没有普遍意义的定义。这里更多将造粒前称为粉体或一次粒子，造粒后称为颗粒或二次粒子。

随着科学技术的进步，其粒径介于数十微米至 $100\mu\text{m}$ 之间的细粒就具有更重要的意义。因为这样粒径的粉料兼有表面积大和流动性好的特点。从现有生产水平看，流化床造粒、混合造粒以及破碎造粒是制微粒最有希望的方法，而不断提高造粒的均匀性、强度及成球率则始终是设计制造新型造粒设备的主要目标。至于在特定条件下获得特定粒度分布的球粒，即通过程序设计及计算机控制加以实现的所谓“粒子设计”，也将是今后一个全新的课题。

二、颗粒学简释

在整个自然界中，人们可以看到固体物质大多以细小颗粒存在：土壤、沙、尘埃。人们食用的粮食、糖、盐、味精以及奶粉、咖啡也为颗粒。工业制品如煤炭、水泥、催化剂、颜料、炸药等均为颗粒产品。其他如粉末冶金、陶瓷、电磁材料、火箭燃料以及其他高技术领域产品的生产中，均与颗粒技术有关。

密集的颗粒散料，具有固体的力学特性。在运动时遵循独有的规律。若弥散于气体或液体中，颗粒与周围的流体不但在运动上相关，且在冷却、加热以及溶解、凝聚或化学反应方面，也多少可以预测。颗粒的运动和换热、反应行为，又取决于其粒度的大小和形状。各种颗粒的制备、粒径的控制、颗粒制备方法及设备的研究，对这些问题的研究就组成一门学问——颗粒学。

颗粒学是一门综合性的技术学科，由于其跨学科的概括性，可看做是一门高于一般工程技术的工程学科，与若干基础科学相毗邻。另一方面，颗粒学有直接可供现有工艺技术的侧面，立即在生产中产生效益。

我国的颗粒学研究起步较晚，与世界水平相比，还存在一定的差距，要靠科技人员的加

倍努力，学习国外先进经验，开展颗粒学研究，将颗粒学的研究成果应用到工业中去，促进生产的发展。

从一般颗粒加工的流程可以看出颗粒生产的全过程，其最终产品后处理的各种加工过程中常常会遇到颗粒的流动性、凝聚、黏结、磨损、离析等问题。表 1-1 可更清楚地看到某些加工过程与颗粒特性的关系，表 1-2 引出了一部分表征颗粒特性的试验。

在短短几十年的使用期间，颗粒大小从丸、大晶体和颗粒到几乎与分子差不多大的物料。其特性从取决于牛顿第二定律的质量和惯性，发展到取决于表面化学性质。一些复杂的颗粒产品要求生产多层、包覆、包胶甚至要求有控释功能，这就更需要颗粒技术的发展。

表 1-1 加工过程与类别和特性之间关系

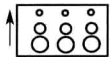
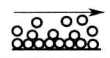
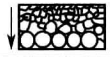
序号	加工过程	类 别	特 性	颗粒特性
1	分级 	随机分散作用	分散性	 大小
2	流化 	梯度分散作用	扭折性	 形状
3	输送 	分层、部分分离作用	跳动性	
4	过滤 	梯度填充作用	渗透性	 表面
5	贮存和流动 	分层、密实填充作用	剪切性	
6	烧结 	分层、密实填充作用	导热性	 分布

表 1-2 整体和单个特性试验

表 征				
整体特性测定				颗粒特性测定
整体密度	磨蚀	流动性	湿含量	颗粒大小的分布
夯实密度	硬度	充气特性	化学组成	颗粒形状和结构类别
颗粒密度	抗裂性	流化特性	电特性	比表面积
压缩性	剪切强度	渗透性	热特性	总表面积
空隙率	拉伸强度	成尘性	光学特性	孔隙大小的分布
休止角	内聚力	爆炸性		表面组成

化肥生产中，氮、磷、钾以及各种复合肥料都与颗粒技术有关。尿素喷雾造粒采用

大型造粒塔，一直沿用至今。磷矿的粉碎及研磨，对矿粉的粒度及其分布要求很严格。磷肥和钾肥的结晶及过滤一直是液固分离的主要课题，颗粒的均匀性和流动性是其核心问题之一。采用小颗粒喷洒的农药可满足剂量小、毒性大的要求。颗粒的粒度直接影响了涂料的光学特性，包括其着色力、遮盖力和色度等；颗粒的粒度还对农药的药效、活性物质的释放速率有直接影响。由此可见，颗粒技术在工业生产中有着举足轻重的影响，也正是由于生产发展的需要，促使了新兴学科——颗粒学的发展。各行所需颗粒尺寸见表 1-3。

表 1-3 各行业所需颗粒尺寸

粒径/ μm	类 别
10^5	丸状产品、结晶工业化学药品、冷冻干燥咖啡、食品、颗粒化肥、除草剂、杀菌剂
10^4	结晶化学药品、洗涤剂、颗粒糖
10^3	喷雾干燥食品
10^2	粉体化学药品、粉糖、化妆品、面粉
10^1	调色剂、粉末金属、陶瓷、电泳材料
10^0	感光乳剂(照相乳剂)、磁性或其他颜料、炸药、涂料、纸张用填充料
10^{-1}	胶乳
10^{-2}	二氧化硅、金属催化剂、炭黑、橡胶和塑料用填充料

三、粉粒体物料粒度表征

物料制成颗粒一般有以下几种方法：①从粉体物料制成颗粒；②熔融液经固化制成颗粒；③溶液、悬浮液经干燥制成颗粒；④大块物料经破碎制成颗粒。不论采用什么方法造粒，必然涉及粉粒状物料的有关性质，如粉体的几何空间性质（如粒度、粒度分布、空隙率、密度、压缩性）和静力学（如悬浮速度、流动性、磨蚀性）等。

1. 颗粒的单一粒径

对于单一的球形颗粒，直径即为粒径。由于制得粉体条件的复杂性，有时得到的产品并非呈球形，可由该颗粒不同方向上的不同尺寸，按照一定的计算方法加以平均，得到单个颗粒的平均直径。对于非球形颗粒，则有从面积、体积为基准表示粒度的方法。如以表面积为基准表示颗粒的粒度时，设颗粒的表面积为 S_p ，粒度为 d_s ，则：

$$d_s = \sqrt{\frac{S_p}{\pi}} \quad (1-1)$$

以颗粒体积为基准的颗粒粒度时，设颗粒的体积为 V_p ，则以体积为基准的粒度 d_v 为：

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{6V_p}{\pi}} \quad (1-2)$$

在实际生产中，单个颗粒并不能完全代表颗粒群的特征，在许多情况下，需要了解颗粒群的粒度特点。

2. 颗粒群的平均粒径

粉体是由许多粒度大小不一的颗粒组成的分散系统。已知粒径为 d 的颗粒数量为 n ，或质量比率为 ϕ ，则颗粒群的平均粒径按数量基准和质量基准的计算公式列于表 1-4 中。