

工业造粒技术

张建伟 叶京生 钱树德 编

ONGYE ZAOLI JISHU



化学工业出版社



江苏一步干燥设备有限公司
Jiangsu Yibu Drying Equipment Co., Ltd.
常州一步干燥设备有限公司
Changzhou Yibu Drying Equipment Co., Ltd.
中国干燥制粒开发中心
China Drying & Granulating Research Center



FL沸腾制粒干燥机
FL Fluidized Granulator



PGL喷雾干燥制粒机
PGL Spray Drying Granulator



DLB系列多功能制粒包衣机
DLB Series Multi-Function
Granulator & Coater



GK干式制粒机
GK Dry Granulator



GHL高速混合制粒机
GHL High Speed Mixing Granulator



QZL系列球形制丸机
QZL Series Ball Granulating Machine

一步干燥 助您步步领先

ISBN 978-7-122-05077-9



9 787122 050779 >

定价: 45.00元

销售分类建议: 化工/机械设备

地址: 江苏常州市焦溪查家湾 邮编: 213166
电话: +86-519-88902618 88900007
传真: +86-519-88902818
E-mail: market@yibu.com
Http: //www.yibu.com



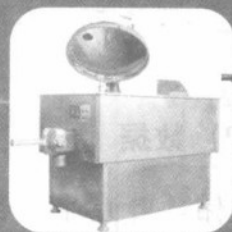
www.cip.com.cn

读科技图书 上化工社网

工业造粒技术

张建伟 叶京生 钱树德 编

ONGYE ZAOLI JISHU



化学工业出版社

·北京·

本书分别从造粒机理、造粒装置及其应用实例等方面,详细介绍了流化床造粒、喷动床造粒、喷雾造粒、搅拌-滚动造粒、搅拌混合造粒、压力成型造粒、烧结成型造粒、液体造粒等现代造粒技术。

本书可供过程工业中从事粉体技术、造粒技术的科研、设计、生产与管理人员阅读,也可供相关专业的院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业造粒技术/张建伟,叶京生,钱树德编. —北京:
化学工业出版社, 2009.6
ISBN 978-7-122-05077-9

I. 工… II. ①张…②叶…③钱… III. 造粒-技术
IV. TB44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 039273 号

责任编辑:戴燕红

文字编辑:咎景岩

责任校对:宋 玮

装帧设计:周 遥

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:北京市振南印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张15½ 字数321千字 2009年6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:45.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2009—6 号

前 言

粉体技术及其装备作为一门专门的学科和独立技术出现,在国外可追溯到 20 世纪 40 年代,在我国,从 80 年代中期由原化工部化工机械研究院粉体工程研究所最早进行专门的系统研究。粉体造粒技术作为粉粒体过程处理的一个主要分支,随着环保需求和生产过程自动化程度的提高,其重要性日益彰显,粉状产品粒状化成为世界粉体后处理技术的必然趋势。

对粉状品进行造粒的深度加工,其意义主要体现在 3 个方面:一是降低粉尘污染,改善劳动操作条件(包括生产过程和使用过程);二是满足生产工艺需求,如提高孔隙率和比表面积、改善热传递等;三是改善产品的物理性能(如流动性、透气性、堆积相对密度、一致性等),避免后续操作过程(干燥、干筛分、计量、包装)和使用过程(计量、配料等)出现偏析、气泡、脉动、结块、架桥等不良影响,对提高生产和使用过程的自动化、密闭操作创造了条件。

随着全球技术、经济竞争的日益加剧及我国加入 WTO,人们对有效利用资源、提高产品质量和加强环境保护等的意识进一步加强,对粉体造粒技术要求也越来越高。粉体造粒技术的趋势是向设备大型化、结构紧凑化、功能多样化、效率高、控制系统自动化方向发展。

全书共分 11 章,分别从造粒机理、造粒装置及其应用实例等方面详细介绍了流化床造粒、喷动床造粒、喷雾造粒、搅拌-滚动造粒、搅拌混合造粒、压力成型造粒、烧结成型造粒、液体造粒等现代造粒技术。沈阳化工学院张建伟教授编写第 1~4、7~9 章,天津大学钱树德教授编写第 10、11 两章,天津科技大学叶京生副教授编写第 5、6 两章。全书最后由钱树德和张建伟统稿。

由于造粒技术涉及面很广,是一种多学科交叉的新技术,书中疏漏之处在所难免,编者希望能借此书对国内造粒技术的认识和了解起到抛砖引玉的作用,从而促进国内造粒技术与设备研究的发展。

感谢天津大学王晓静副教授在本书编写过程中参与统筹本书编写内容和制定编写大纲。

感谢天津科技大学研究生徐庆、胡娅君同学,沈阳化工学院研究生范红伟、袁园、王显旺同学,天津大学研究生高志虎、金吉等同学,在资料查阅、收集、整理,以及绘图、录入各方面给予热情而认真的帮助。

感谢常州一步干燥设备厂对本书编写的大力支持。

本书在编写过程中参考了一些专家、学者的著作、论文，在此一并致谢！
由于时间仓促，加之编者水平所限，对书中不足之处恳请读者批评指正。

编者

2009年1月

目 录

1 绪论	1
1.1 造粒目的	1
1.2 发展概况	2
1.2.1 造粒技术发展史	2
1.2.2 粉体造粒技术的现状	2
1.2.3 粉体造粒技术的展望	2
1.3 造粒方法分类	3
1.4 造粒方法选择	4
参考文献	5
2 颗粒的几何形态特征	6
2.1 颗粒粒度	6
2.1.1 颗粒粒度的定义	6
2.1.2 颗粒群平均粒径	8
2.2 粒度分布	10
2.2.1 正态分布	10
2.2.2 对数正态分布	11
2.2.3 罗辛-拉姆勒 (Rosin-Rammler) 分布	14
2.3 颗粒形状	15
2.3.1 形状因子	15
2.3.2 形状的数学分析	20
2.4 粒度测量方法及选择	24
2.4.1 粒度测量方法简介	24
2.4.2 测量方法的选择	28
参考文献	28
3 团聚黏结	30
3.1 黏结机理	30
3.2 团粒的理论拉伸强度	30
3.2.1 颗粒间局部黏结的团粒	31
3.2.2 颗粒与颗粒间的黏结	32
3.2.3 分子间作用力和长程结合力	33
3.2.4 低黏度液体的结合力	35

3.3 强度试验	39
3.3.1 拉伸试验	40
3.3.2 压缩试验	41
3.3.3 团块的其他试验	42
3.4 团块黏结的试验概况	42
3.4.1 拉伸与压缩强度	42
3.4.2 典型的团块强度	45
3.4.3 黏结剂和润滑剂的种类	46
3.4.4 黏结的均匀性	49
3.4.5 黏结分布与颗粒尺寸-强度关系	51
参考文献	54
4 流化床造粒	55
4.1 流化床概述	55
4.2 流态化原理及其特性	57
4.2.1 流态化过程的基本概念	57
4.2.2 流态化的两相理论	58
4.2.3 流化床内的混合	59
4.3 颗粒状物料的性质	60
4.3.1 颗粒直径	60
4.3.2 密度与重度	62
4.3.3 空隙率	63
4.3.4 比表面积与形状系数	63
4.3.5 休止角(自然堆角)	64
4.4 单层圆筒形流化床造粒器	65
4.5 卧式多室流化床	67
4.6 流化床流体力学计算	68
4.7 流化床内的传热	70
4.8 流化床内流体的分布	73
4.9 流态化造粒机理	76
4.10 影响颗粒物性的因素	77
4.11 流化床造粒机的种类及使用实例	79
4.11.1 以凝聚为主的间歇式造粒机	79
4.11.2 以包层为主的流态化造粒装置	81
4.11.3 以冷却凝固为主的喷动床造粒装置	83
4.11.4 连续式的造粒过程	83
4.12 流化床造粒的优缺点	84
参考文献	84

5 喷动床造粒	86
5.1 喷动床	86
5.1.1 喷动床发展简介	86
5.1.2 喷动现象	87
5.1.3 喷动床基本结构	88
5.1.4 喷动床操作范围	88
5.1.5 喷动床和流化床的异同点	91
5.1.6 喷动床的床型变化	92
5.2 典型喷动床造粒设备	94
5.2.1 Wurster 底喷流化床包衣机	94
5.2.2 Huttlin 公司 DUO 和 QUATTRO 型喷动床包衣机	95
5.2.3 Gllatt AGT 喷动流化床制粒干燥机	96
5.3 喷动床造粒应用	97
5.3.1 喷动床包覆燃料颗粒	97
5.3.2 喷动床氯化钙造粒	100
5.4 喷动床设计	107
5.4.1 喷动床主要部件设计	107
5.4.2 喷动床系统设计	108
参考文献	110
6 喷雾造粒	112
6.1 概论	112
6.1.1 喷雾造粒原理和流程	112
6.1.2 喷雾造粒的优缺点	114
6.2 雾化器的结构和设计	115
6.2.1 雾化机理	116
6.2.2 雾粒(或颗粒)的平均直径及其分布	117
6.2.3 气流式喷嘴	120
6.2.4 压力式喷嘴	128
6.2.5 旋转式雾化器	140
6.2.6 三种雾化器的特征	151
6.3 喷雾造粒塔直径和高度的计算	151
6.3.1 图解积分法	151
6.3.2 干燥强度法	158
6.3.3 体积给热系数法	159
6.3.4 塔径和塔的圆柱体高度的比例关系	159
6.3.5 干燥塔底部锥角和操作的空塔速度	159
6.4 喷雾干燥系统计算举例	160

参考文献	169
7 搅拌-滚动造粒	170
7.1 基本概念	170
7.1.1 团粒的核化和成长	170
7.1.2 团粒强度的影响因素：进料的尺寸	171
7.1.3 桥连液体的需求量	172
7.1.4 成长动力学	174
7.1.5 团粒尺寸的分布	177
7.2 搅拌-滚动造粒设备	177
7.2.1 斜式转盘造粒机	178
7.2.2 转鼓造粒机	182
参考文献	187
8 搅拌混合造粒	188
8.1 搅拌混合原理	188
8.2 卧式盘形混合器	190
8.3 叶片式混合机	190
8.4 高速轴式混合器	191
8.5 粉末掺合器及混合器	193
8.6 垂帘式造粒机	193
8.7 连续流动混合器	194
参考文献	195
9 压力成型造粒	197
9.1 挤压成型过程	197
9.1.1 成型机理	197
9.1.2 原料的性质	199
9.1.3 挤压成型助剂	199
9.1.4 压力分布、加压方式	200
9.2 挤压设备	201
9.2.1 活塞型挤压设备	201
9.2.2 压辊型压制设备	202
9.2.3 挤压机	210
参考文献	214
10 烧结成型造粒	215
10.1 烧结和热硬化	215
10.1.1 过程机理和应用范围	215
10.1.2 烧结设备	216
10.1.3 热硬化设备	218

10.2	造球.....	221
10.3	干燥与固化.....	221
10.3.1	鼓式干燥器和刮片机.....	222
10.3.2	循环带系统.....	225
10.4	我国发展概况.....	225
	参考文献.....	226
11	在液体中凝聚造粒.....	227
11.1	非互溶液体浸润凝聚法.....	227
11.1.1	基本性质.....	228
11.1.2	过程和装备.....	232
11.2	用合成絮凝剂的凝聚法.....	235
11.3	在液相中分散.....	237
	参考文献.....	238

1 绪论

1.1 造粒目的

以粉末为主要原物料，利用细粉之间凝聚黏附力或黏结剂的黏结力，以及外力造成碰撞、挤压、压缩等，逐步结合成粒或一步挤压成片、粒等均可称为团聚造粒技术。广义的说，任何使小颗粒聚成较大实体的过程都可称为造粒过程。它可以改善细粉物料后处理加工操作的有效性。

造粒作业的目的和带来的好处大致有以下几点：

- ① 将物料制成理想的结构形式和形状，如粉末冶金成型和水泥生料滚动制球。
- ② 为了准确定量、配剂和管理，如将药品制成各类片剂。
- ③ 减少粉料的飞尘污染，如将散状废物品压团处理。
- ④ 制成不同种类颗粒体系的无偏析混合体，如炼铁烧结前的团矿过程。
- ⑤ 改进产品的外观，如各类形状的颗粒食品和用作燃料的各类型煤。
- ⑥ 防止某些固相物料生产过程中的结块现象，如颗粒状磷胺和尿素的生产。
- ⑦ 改善粉粒状原料的流动特性，如陶瓷原料喷雾造粒后可显著提高成型给料时的稳定性。
- ⑧ 增加粉料的体积质量，便于储存和运输，如超细的炭黑粉料制成颗粒状物料。
- ⑨ 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、铬酐类压制成片状或粒状后使用。
- ⑩ 控制产品的溶解速度，如一些速溶食品。
- ⑪ 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。
- ⑫ 改善热传递效果和帮助燃烧，如立窑水泥烧制过程。
- ⑬ 适应不同的生物过程，如各类颗粒状饲料的生产。
- ⑭ 多组分混合物分离，如煤中可燃物的选择性团粒。
- ⑮ 从液体中除去颗粒，如利用聚合桥连剂将液体中的土粒絮凝成块状。

1.2 发展概况

1.2.1 造粒技术发展史

造粒技术可以追溯到古代成型过程，如锤打可塑性金属的成型过程、各种形式药剂成形过程等。下面总结了两百年来造粒技术的发展。

早期，造粒技术应用在陶瓷业的玻璃制造工艺、陶器成型工艺、古代建筑用黏土砖的制备，应用在粉末冶金业中用粉末制成贵重金属制品。19 世纪初，应用在白金粉末压坯，然后加热锻打成型、煤炭化制成焦炭及其副产品的开发。19 世纪中叶，应用在医药生产中将粉末模压成药片、丸，褐煤和泥煤等的无黏结剂压制成型、燃料滚辗、挤压技术的发展。20 世纪，应用在工业压型、粉末的烧结、铁矿石煅烧和压型细矿粉的连续烧结在滚筒中制备炉料以及热固型塑料的热塑成型、炭黑制粒。20 世纪中叶，应用更加广泛，发展了非硅酸盐陶瓷以用于电、核、宇宙空间技术中，第一个工业铁矿石球团化矿石开工生产，混合肥料造粒、速溶颗粒食品得到发展。

1.2.2 粉体造粒技术的现状

粉体技术及其装备作为一门专门的学科和独立技术出现，在国外可追溯到 20 世纪 40 年代，在我国则从 80 年代中期由原化工部化工机械研究院粉体工程研究所最早进行专门的系统研究。经过多年的努力，我国粉体造粒技术已有相当的水平，其设备的规模也有较大发展，已能基本满足粉粒体颗粒化的要求。目前，乙烯装置大型混炼挤压造粒机组国产化条件已日臻成熟。按照实现小颗粒团聚的基本原理，可以把现有的粉体处理技术分为搅拌法、压力成型法、喷雾和分散弥雾法、热熔融成型法等 4 类。

1.2.3 粉体造粒技术的展望

随着全球技术、经济竞争的日益加剧及我国加入 WTO 以后，人们对有效利用资源、提高产品质量和加强环境保护等的意识进一步加强，对粉体造粒技术要求也越来越高。粉体造粒技术的趋势是向设备大型化、结构紧凑化、功能多样化、效率高化、控制系统自动化方向发展。

(1) 设备大型化 随着科学技术的进步和技术的发展，生产装置大型化的优点越来越明显，同时，CAD/CAM 技术和精确应力分析技术的应用促进了机械结构

设计和加工制造技术的发展，为粉体造粒设备的大型化提供了坚实的技术保障。

(2) 结构紧凑化 粉体造粒设备的另一个发展趋势是结构紧凑化。设备的结构设计更合理、更紧凑、更符合人体工学原理，从而降低了制造成本，减少了占地面积，提高了劳动效率。

(3) 加工工艺高技术化 随着粉体造粒设备应用领域的拓展，传统的机械加工手段已不能满足粉体设计技术的需要。未来粉体设备的加工工艺将向着高技术化方向发展，如采用计算机辅助设计/制造 (CAD/CAM) 技术进行螺杆螺纹型线的设计、加工。

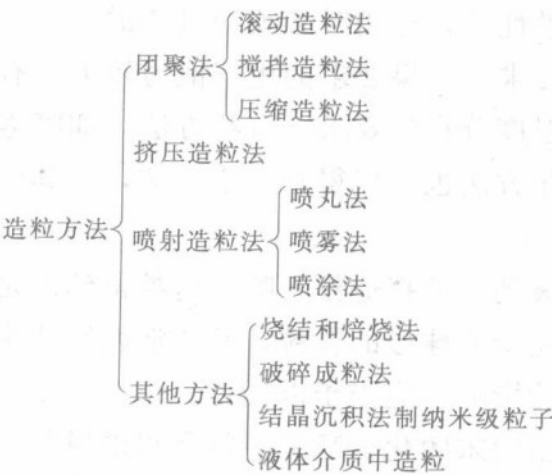
(4) 功能多样化 粉体后处理工程是一个包括多学科、多门类的诸多单元操作的系统工程，要求粉体造粒设备的选用最好能减少中间工序，以节约投资；同时，产品的市场化需求也要求生产厂家能提供多种形式的产品。这就要求粉体造粒设备功能的多样化。

(5) 效率高效化 随着人们节能意识的提高，对粉体造粒设备的效率提出了更高的要求。要求这类设备不但要满足功能需求，而且还要节能、耐用，使用、保养、维修费用低，以降低产品成本。

(6) 控制系统自动化 随着科学技术的进步和自控技术的发展，是否采用流水线作业和自动化控制已成为衡量粉体后处理技术先进与否的重要指标。控制系统采用自动化控制，不但可保证生产工序的流水作业，减轻操作人员劳动强度，更重要的是可保证生产过程的精确化和实时反馈，提高产品质量，降低设备故障率。

1.3 造粒方法分类

造粒方法的分类有许多种，目前应用最广泛的分类方法如下：



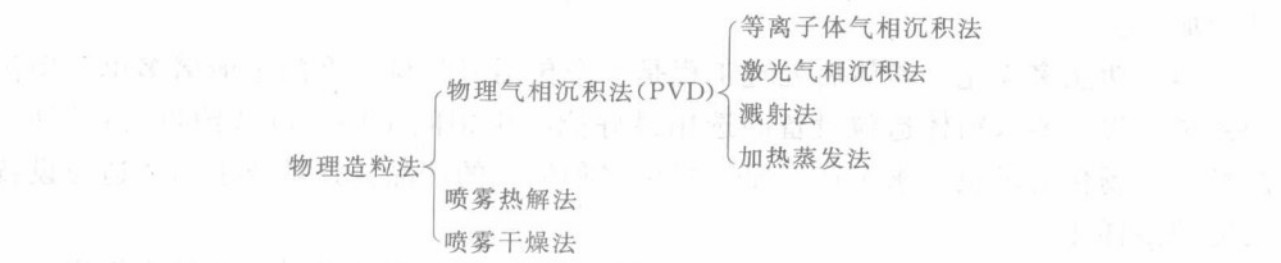
其中滚动造粒法是利用容器转动造成粉末碰撞、颗粒滚动，以使黏附力或黏结力产生作用的造粒方法。搅拌造粒法是利用容器内搅拌浆搅动造成粉末碰撞、颗粒翻滚，以使黏附力或黏结力产生作用的造粒方法。压缩造粒法是以机械压缩使粉末压制成片、球的造粒方法。挤压造粒法是以熔融物为主要物料，用各种可能的分散方法，将熔融物或溶液分散成液滴或雾沫，并使其冷却固化或者去湿干燥，形成一

定粒度范围的颗粒状固体物料的方法。

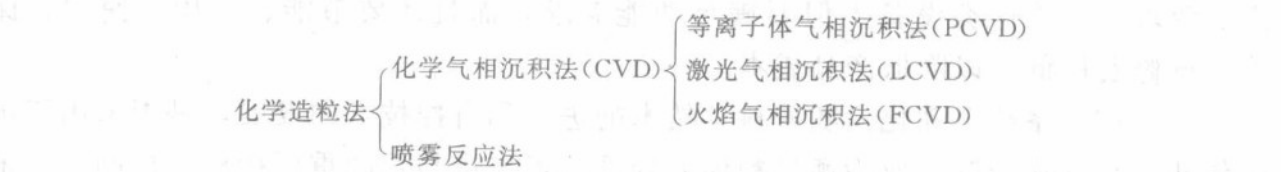
另一种分类方法是从广义上可以分为两大类：一类是成型加工法，此类加工中，特别注意控制单个团块的性质；另一类是粒径增大的方法，这类方法应注意控制成堆物料的性质。

第三种分类方法将造粒方法分为气相法和液相法两类。气相造粒有物理造粒法、化学造粒法和机械化学造粒等方法。

物理造粒法可细分为：



化学造粒法可细分为：



1.4 造粒方法选择

选择造粒方法时，首先要明确造粒的目的和需要解决的问题，再与下述因素进行比较，排除不合适的方法，确定一种合适又简单的方法。

(1) 物料特性 物料是粉末状还是熔融液，浆状和膏糊状的物料能否进行泵送和雾化，物料是否有热敏性等，选用时必须加以考虑。

(2) 对生产能力的要求 如果要求的生产能力较大，有许多方法便不能应用。

(3) 团粒的粒度和粒度分布的要求 有些方法，如喷雾干燥造粒只能得到很细颗粒，将粉末进行团粒化方法也只能得到较小颗粒，而其他一些方法如压制，则可得很大的团块。

(4) 团粒的形状 滚动、搅拌造粒、喷涂造粒得到的是近似球状的颗粒；喷丸冷却固化造粒可以得到完全成球形的颗粒；挤压造粒则能生产柱粒。不同形状的颗粒对后续工作可能产生的影响，应当予以估计。

(5) 团粒的强度 由粉末团化、喷丸造粒所得的颗粒，其机械强度较弱。如需高强度的颗粒，则需采用压制方法或烧结、焙烧强化，用挤压成型要选择高强度的黏结剂。

(6) 团粒的空隙率和密度 空隙率和密度与强度密切相关，一些挤压造粒的过程能较好控制空隙率和密度，以适应某种应用需要。

(7) 湿法和干法 湿法造粒需要昂贵的溶剂，并且需要进行后干燥，可能造成

溶剂损失,某些物料可能因对溶剂敏感而不适于湿法,还有些物料可能在干燥时重结晶为不同形状,也不能用湿法;干法造粒易产生粉末,不适于处理有毒化学药品及其他有危险的物料。

(8) 是否有可能将几种过程(如造粒与干燥、化学反应)同时进行 某些方法和设备(如圆筒式造粒机)很适宜同时有化学反应的造粒过程。

(9) 空间限制 例如挤压法,用较小的装置可以得到较高的生产能力,而其他的一些方法,例如喷丸造粒,需要有较高的垂直空间可以安装塔设备。

通过上述分析比较,至少可初选出两种不同的造粒方法,将这些原始的选择通过实验或中试厂的试验再作进一步的精细考虑。再根据设备的可靠性、灵活性是否易于制造和维修,所需产量下总费用最少原则,做出最后的选择。

参考文献

- [1] 卢寿慈. 粉体加工技术. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [2] Capes. C E 造粒技术. 钱树德, 顾芳珍译. 北京: 化学工业出版社, 1992.
- [3] 余国琮. 化工机械工程手册: 中卷. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [4] 谢洪勇. 粉体力学与工程. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [5] 陆厚根. 粉体技术导论. 上海: 同济大学出版社, 1998.
- [6] Perry. Chemical Engineer' s Handbook. 7th ed. McGraw-Hill, 科学出版社, 2001.
- [7] 魏诗榴. 粉体科学与工程. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [8] 陈振兴. 特种粉体. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [9] 陶珍东, 郑少华. 粉体工程与设备. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [10] 李建平, 李承政等. 我国粉体造粒技术的现状与展望. 化工机械, 2001, 28 (5): 295-298.
- [11] JohnsonH G. Recycling of particulate metal via solid phase technology. Proc Inst Briquet Agglom Bien Conf, 1975, 14: 183-195.
- [12] 邓煦帆等. 烟煤粉爆炸及防爆方法的研究. 粉体技术, 1997, 3 (1): 3-8.
- [13] 陈翼宇. 滚动造粒工艺优点多多. 建材工业信息, 2000, (11): 31.
- [14] Johanson J R. A rolling theory for granular solids. Trans AIME Ser E J Appl Mech, 1965, 32 (4): 842-848.
- [15] 陶民强. 食品造粒. 食品工业, 1996, 02: 31-32.
- [16] 刘玉良, 陈文梅, 雷明光. 我国复肥造粒技术现状与展望. 化工装备技术, 2000, (06): 47-49.

2 颗粒的几何形态特征

2.1 颗粒粒度

粒度是颗粒诸物性中最重要和最基本的特性值。为了正确地表达这一特性值，需要规定其测定方法和表示方法。

2.1.1 颗粒粒度的定义

粒度是用来表示颗粒在空间范围所占据的线性尺度大小的几何参数。粒度的定义和表示方法由于颗粒的形状、大小和组成的不同而不同。粒度越小，颗粒的微细程度越大。

表面光滑的球形颗粒的粒度就是其直径。非球形颗粒或虽然大体上球形，但表面不光滑的颗粒，则可以某种规定的线性尺度表示粒度。

设一个颗粒以最大稳定度（重心最低）置于一个水平面上，此时颗粒的水平投影如图 2-1(b) 所示。如另一水平面与此水平面恰恰刚好夹住此颗粒，则定义这两水平面之间的距离为颗粒的高度 h ，见图 2-1(a)。颗粒的宽度 b 定义为夹住颗粒投影的相距最近两平行线间的距离。与宽度垂直、能夹住此投影的两平行线间的距离定义为颗粒长度 l 。颗粒投影的周长和面积分别用 L 和 a 表示。颗粒的表面积和体积分别用 S 和 V 表示。可以根据这些几何量 h 、 b 、 l 、 L 、 a 、 S 、 V 来定义颗粒的种种粒度。

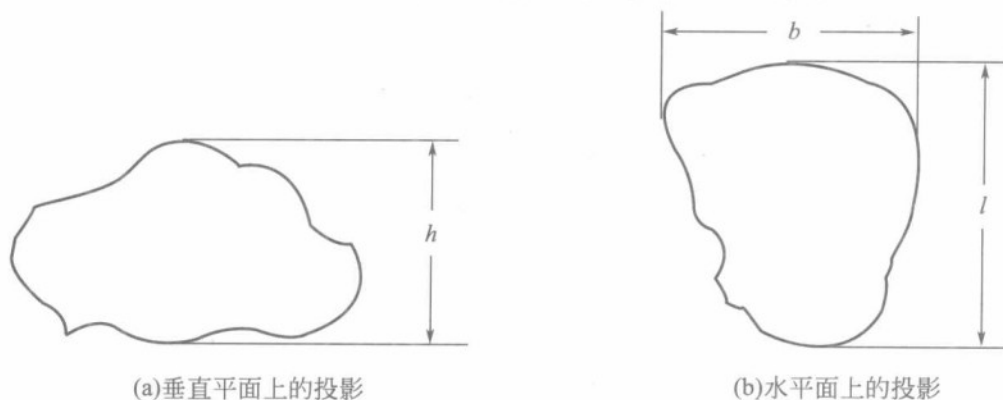


图 2-1 颗粒投影图像