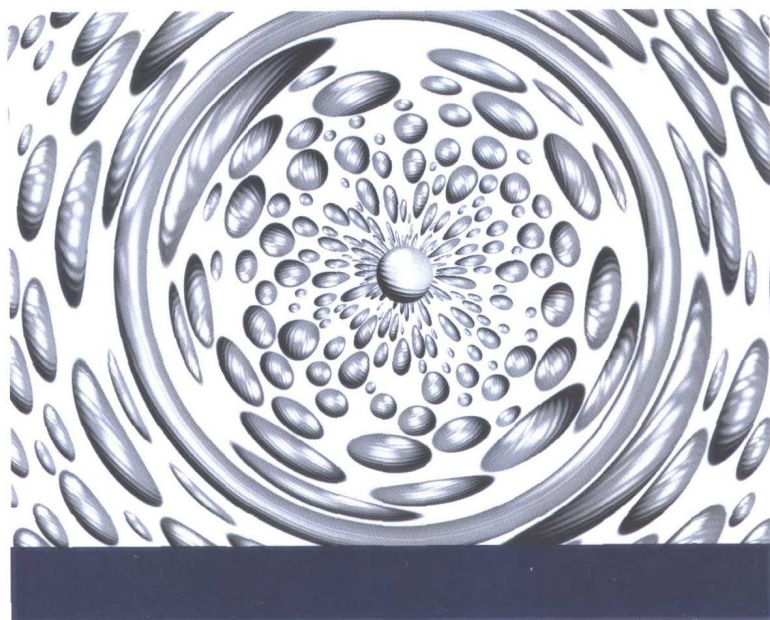


陈振兴 编著

特种粉体



Chemical Industry Press



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

特种粉体 / 陈振兴编著. — 北京: 化学工业出版社, 2004. 4
ISBN 7-5025-5435-1

I. 特… II. 陈… III. 粉末技术 IV. TB44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 041554 号

特 种 粉 体

陈振兴 编著

责任编辑: 丁尚林

加工编辑: 李玉峰 丁建华

责任校对: 李 林

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(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

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720 毫米×1000 毫米 1/16 印张 33 字数 490 千字

2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5435-1/TB·33

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

序

特种粉体是指粗产品深加工后具有某些特殊功能的粉体。特种粉体在许多领域应用十分广泛。例如，薄片状的铝银粉和铝银浆、铜金粉、银粉、云母钛珠光粉等广泛用于汽车、摩托车、自行车、烟、酒、工艺品等的装饰；球形银粉可制成导电浆料；多彩铝粉用于多彩打印或印刷；球形铝粉用于烟花爆竹和火箭的燃料；铜粉用于催化；超细氧化铁粉用于高密度磁记录；亚微米及纳米级氧化钛和氧化锌加入护肤化妆品或塑料中可防紫外线与灭菌；把纳米氧化钛、氧化锌粉体处理到纤维上可起到屏蔽紫外线、降温、消臭和灭菌作用；珍珠粉可用于美容等。

特种粉体科学是一门新兴的跨行业的学科。它是以粉状物料为研究对象，研究其性质及加工、处理技术的一门学科。许多工业部门直接或间接地运用这一学科知识。大量的工业产品或中间产品都是粉粒状，例如航空航天火箭燃料、塑料与橡胶的填料、无机膜材料、造纸填料、涂料染料、颜料、粉末冶金用金属粉、化妆品、医药用粉、水泥和瓷釉粉等。

特种粉体工程学的新理论、新技术，将使很多工业发生根本性的变化，如流体和颗粒组成的两相流的运动规律是当今采用最广泛的化学反应器——流化床的理论基础，并应用于输送、气固分离、热交换、气力均化等。

全书分为两部分：第一部分按特种粉体生产过程的共性规律分块，介绍特种粉体的表征、性能与检测技术、初级制备技术及深度制备过程的单元操作技术；第二部分按具体产品分块，介绍多种典型特种粉体产品的特性、应用、制备方法与发展趋势，实际上包括了对第一部分知识的具体应用。特种粉体产品举例涉及到金属及其合金粉体、无机非金属

粉体和美容粉体等。

特种粉体正处在一个蓬勃发展的新时期。陈振兴教授编著《特种粉体》一书，对推动我国特种粉体事业快速发展很有意义。

特此作序。

中国工程院院士 黄伯云

内 容 提 要

本书是以粗产品深加工后具有某些特殊功能的粉体为对象，研究其特性和加工技术。全书共分两篇，上篇主要包括特种粉体的基本性能和检测，特种粉体制备过程的基本理论和设备，粉碎、分级、干燥和表面改性等单元操作过程的基本理论及技术；下篇主要介绍多种典型特种粉体的特性、应用、制备方法以及发展趋势，涉及金属及其合金粉体、无机非金属粉体和美容粉体等。

本书技术先进，内容新颖，实用性强，可供从事材料、化工、冶金、医药、食品、矿山、建材、轻工等行业的生产、设计、研究工程技术人员参考，亦可作为本科生、研究生的教材和参考书。

目 录

上篇 特种粉体技术基础

第 1 章 绪论	3
1.1 概述	3
1.2 特种粉体应用领域	4
1.3 特种粉体发展趋势	7
参考文献.....	8
第 2 章 特种粉体性能及测定	10
2.1 粉体的取样.....	12
2.1.1 取样数目.....	12
2.1.2 取样和分样.....	12
2.2 特种粉体的几何形态性能.....	14
2.2.1 颗粒粒径.....	14
2.2.1.1 单颗粒的粒径.....	14
2.2.1.2 粒径的物理意义.....	17
2.2.2 粒径分布.....	19
2.2.2.1 粒度分布基准.....	19
2.2.2.2 频率分布和累积分布.....	20
2.2.2.3 粒径分布函数.....	21
2.2.3 平均粒径.....	24
2.2.4 颗粒形状.....	27
2.2.4.1 颗粒形状指标的分类.....	29
2.2.4.2 形状指数.....	30
2.2.4.3 形状系数 (shape factor)	33
2.2.4.4 动力学形状系数.....	35

2.2.4.5	粗糙度系数	36
2.2.5	颗粒群的堆集性质	36
2.2.5.1	空隙率	36
2.2.5.2	容积密度	39
2.3	特种粉体的力学性能和其他物理化学性能	40
2.3.1	粉体的摩擦性质	40
2.3.1.1	休止角	41
2.3.1.2	内摩擦角	43
2.3.1.3	壁摩擦角与滑动角	44
2.3.2	粉末的物理化学性能	45
2.3.2.1	粉体颗粒的结晶构造和表面状态	46
2.3.2.2	化学检验	46
2.4	粉体几何形态性能的测定	48
2.4.1	粒度的测定	48
2.4.1.1	沉降法	49
2.4.1.2	激光法	55
2.4.1.3	粒度测量方法的选择	56
2.4.2	表面形貌的观测	56
2.4.2.1	电子显微镜	57
2.4.2.2	扫描隧道显微镜与扫描探针显微镜	59
2.5	粉末的比表面测定	62
2.6	粉末工艺性能测定	65
2.6.1	粉末松装密度和振实密度的测定	65
2.6.2	粉末流动性的测定	69
	参考文献	70
第3章	特种粉体初级制备	71
3.1	粉末制取方法及分类	71
3.2	轮碾机	73
3.2.1	轮碾机的工作原理和构造	73
3.2.2	轮碾机主要参数的确定	75
3.3	球磨机	77

3.3.1	球磨机的工作原理、类型及特点	77
3.3.1.1	工作原理	78
3.3.1.2	球磨机类型	79
3.3.1.3	特点	80
3.3.2	球磨机构造	81
3.3.3	研磨规律	81
3.3.4	磨体运动规律分析	83
3.3.5	球磨机主要参数的确定	90
3.3.5.1	磨机转速	90
3.3.5.2	磨机的功率	94
3.3.5.3	磨机的生产能力	96
3.3.6	研磨过程的影响因素及强化方法	97
3.4	其他粉磨设备	99
3.4.1	无介质磨	99
3.4.2	涡旋研磨	100
3.4.3	康比丹磨	100
3.4.4	辊压磨	101
3.5	超细粉磨设备	102
3.5.1	冲击式超细粉碎设备	102
3.5.2	振动磨	106
3.5.3	高能球磨机	110
3.6	雾化	113
3.6.1	二流雾化	115
3.6.1.1	气雾化	117
3.6.1.2	水雾化	119
3.6.1.3	影响二流雾化性能的因素	122
3.6.2	离心雾化	123
3.6.2.1	旋转圆盘	123
3.6.2.2	旋转电极雾化	125
3.6.2.3	旋转坩埚雾化	126
3.6.3	其他雾化工艺	126

3.6.3.1	振动电极雾化法	126
3.6.3.2	真空雾化	127
3.6.3.3	辊筒雾化法	127
3.6.3.4	超声雾化法	127
3.6.3.5	熔滴雾化法	127
3.6.4	雾化粉末显微结构的控制	128
3.6.5	雾化方法的选择	131
3.7	还原法	132
3.7.1	还原过程的物理化学原理	133
3.7.2	气体还原法	135
3.7.3	碳还原法	138
3.7.4	金属热还原	138
3.8	沉积法	139
3.8.1	金属蒸气冷凝法	139
3.8.2	羰基物热离解法	139
3.8.3	化学气相沉积法	140
3.8.4	液相沉淀法	141
3.9	电解法	143
3.10	特种粉末制取方法的选择	146
	参考文献	147
第4章	特种粉体深度制备	150
4.1	特种粉体粒度分级	151
4.1.1	概述	151
4.1.1.1	粒度分级的意义	151
4.1.1.2	分级效率	152
4.1.2	特种粉体的筛分分级	153
4.1.2.1	概述	153
4.1.2.2	筛分机理	155
4.1.2.3	筛分设备	157
4.1.3	颗粒流动系统分级设备	159
4.1.3.1	重力式分级机	159

4.1.3.2	粗分级机	161
4.1.3.3	离心式分级机	162
4.1.3.4	旋风式分级机	166
4.1.3.5	湿式分级设备——弧形筛	168
4.1.3.6	喷射涡旋式分级机	169
4.1.3.7	O-SEPA 型空气分级机	170
4.1.3.8	IHI-SD 型分级机	172
4.1.3.9	MDS 型组合式分级机	174
4.1.4	超细粉分级设备	174
4.1.4.1	超细粉分级原理	174
4.1.4.2	超细粉干法分级机的结构与特点	176
4.1.4.3	超细粉湿法分级机的结构与特点	179
4.2	特种粉体的干燥	183
4.2.1	粉体中水分的性质	183
4.2.2	干燥速率	185
4.2.3	热风干燥的气流方式和热量	188
4.2.4	干燥设备及特点	190
4.2.4.1	干燥设备的分类	190
4.2.4.2	间歇式干燥机	190
4.2.4.3	连续式干燥机	194
4.2.5	喷雾干燥机	199
4.2.5.1	液体的微粒化	199
4.2.5.2	液滴的蒸发	203
4.2.5.3	液滴的运动	206
4.2.5.4	喷雾干燥机的分类	208
4.3	特种粉体的表面改性	210
4.3.1	特种粉体表面改性中的物理化学原理	211
4.3.1.1	颗粒的表面吸附原理	211
4.3.1.2	粉体的分散	215
4.3.2	特种粉体用表面改性剂	218
4.3.3	特种粉体表面改性方法	219

4.3.3.1 机械化学法	219
4.3.3.2 局部反应法	222
4.3.3.3 包覆法	229
4.3.3.4 胶囊法	232
4.3.4 特种粉体表面改性设备	238
参考文献	240

下篇 特种粉体产品举例

第5章 铝粉颜料	245
5.1 金属颜料	245
5.1.1 金属颜料的特性、用途及基本制备方法	245
5.1.2 金属颜料的基本性能	247
5.2 普通铝粉的特性与应用	250
5.2.1 普通铝粉的特性	250
5.2.2 普通铝粉的应用	253
5.3 铝银粉及铝银浆的特性与应用	257
5.3.1 铝银粉及铝银浆的分类与应用	257
5.3.2 铝银粉及铝银浆生产技术发展简史	259
5.3.3 铝银粉及铝银浆的特性	263
5.3.4 铝粉颜料质量标准	266
5.3.5 多彩铝粉的特性与应用	267
5.4 普通铝粉的生产	269
5.4.1 雾化法制取普通铝粉	270
5.4.1.1 雾化方法分类及雾化原理	270
5.4.1.2 气体雾化工艺与设备	273
5.4.1.3 雾化器的结构与特性	276
5.4.1.4 雾化铝粉废品种类及主要原因	283
5.4.2 超临界溶液快速膨胀法制取普通铝粉	284
5.4.2.1 超临界快速膨胀原理	284
5.4.2.2 超临界快速膨胀工艺过程	284
5.4.2.3 超临界快速膨胀法工艺特点	285

5.5	铝银粉与铝银浆的生产	286
5.5.1	铝银粉与铝银浆生产概述	286
5.5.2	原材料的选择	287
5.5.3	生产工艺及生产设备	289
5.5.3.1	湿式球磨法	290
5.5.3.2	干式球磨法	297
5.6	多彩铝粉的生产	299
5.6.1	片状铝粉包覆的种类及表示方法	299
5.6.2	彩色铝粉的光学原理	299
5.6.3	多彩铝粉制取方法	301
5.6.3.1	概述	301
5.6.3.2	液相化学沉积法制取彩色铝粉	302
5.6.3.3	阳极氧化法制取多彩铝粉	309
5.7	铝银粉生产中的安全技术	312
5.8	金属颜料工业的发展趋势	316
	参考文献	317
第6章	铜粉	320
6.1	铜粉的性质与用途	321
6.1.1	电解铜粉的性质	321
6.1.2	铜粉的工业应用	323
6.2	电解法生产铜粉	325
6.2.1	电解法生产铜粉原理	325
6.2.2	电解法生产铜粉的影响因素	326
6.2.2.1	电解液组成的影响	326
6.2.2.2	电解操作条件的影响	327
6.2.3	电解法生产铜粉工艺与设备	329
6.2.4	电解法生产铜粉新工艺	335
6.2.4.1	辊式连续电解生产铜粉	335
6.2.4.2	立式振动电极上连续电解生产细粒铜粉	336
6.2.4.3	杂铜直接电解生产铜粉	336
6.3	雾化法生产铜粉	337

6.3.1	雾化法生产工艺	338
6.3.2	影响雾化铜粉生产的因素	338
6.3.3	雾化铜粉性能	341
6.4	纳米铜粉的制备	341
	参考文献	345
第7章	银粉	346
7.1	银粉的性质与用途	347
7.1.1	银粉的分类与特性	347
7.1.2	银粉的用途	349
7.2	球形银粉的生产	352
7.2.1	概述	352
7.2.2	化学沉积法生产球形银粉	354
7.2.2.1	化学沉积法工艺流程与设备	354
7.2.2.2	影响银粉纯度与形貌的工艺条件	355
7.2.2.3	影响银粉粒度、粒径分布及形貌的设备	356
7.2.3	球形银粉的其他制备方法	357
7.3	片状银粉的生产	358
7.3.1	概况	358
7.3.2	甲酸铵还原法	359
7.3.2.1	影响片状银粉生产的因素	359
7.3.2.2	片状银粉生成机理	361
7.3.3	乙二醇中化学还原法制取片状银粉	362
7.3.4	光诱导法制取片状银粉	365
7.3.4.1	片状纳米银颗粒的形成过程	366
7.3.4.2	片状纳米银粉形态的影响情况	366
7.3.4.3	辐照强度和波长的影响	367
7.3.5	其他片状银粉制取方法	367
7.4	纳米银粉制备方法	368
7.4.1	概述	368
7.4.2	双氧水还原法制取纳米银粉	374
7.4.3	抗坏血酸还原法制取纳米银粉	375

7.4.3.1	化学原理及制取方法	375
7.4.3.2	滴入方式对纳米银粉粒径和形貌的影响	376
7.4.3.3	还原剂用量对银颗粒粒度的影响	378
7.4.4	水合肼还原法制备纳米银粉	378
7.4.4.1	化学原理与制取方法	378
7.4.4.2	还原剂用量对银粉粒度的影响	379
7.4.4.3	分散剂用量对银粉粒度的影响	379
7.4.5	甲酸铵还原法制备纳米银粉	381
	参考文献	382
第8章	铜金粉	384
8.1	铜金粉的特性与应用	384
8.1.1	铜金粉的特性及发展历史	384
8.1.2	铜金粉定向排列的机理	386
8.1.3	铜金粉的应用	387
8.2	铜金粉制备技术	388
8.2.1	铜金粉生产工艺流程与设备	388
8.2.1.1	合金熔炼及雾化	389
8.2.1.2	合金粉的湿法粗粉碎	390
8.2.1.3	合金粉的退火处理	392
8.2.1.4	合金粉的干法精细粉碎	393
8.2.1.5	合金粉的风力分级	394
8.2.1.6	合金粉的抛光处理	394
8.2.2	铜金粉生产过程的主要问题	394
8.3	薄膜过渡法制备纳米铜金粉	397
8.3.1	概况	397
8.3.2	薄膜的制备方法分类与特点	398
8.3.2.1	真空蒸镀法	400
8.3.2.2	溅射镀膜法	401
8.3.2.3	离子镀	408
8.3.2.4	化学气相沉积法	410
8.3.2.5	溶胶-凝胶法	411

8.3.2.6	电化学法	412
8.3.3	真空蒸镀和溅射镀膜的基体材料和膜层材料	413
8.3.4	真空蒸镀和溅射镀膜的特点及发展趋势	413
8.3.5	纳米级铜锌合金薄膜的制取	414
8.3.5.1	纳米级铜锌合金薄膜制取装置	414
8.3.5.2	铜锌合金薄膜表面形貌	414
8.3.6	铜锌合金溅射成膜的机理	417
8.3.6.1	固相铜锌合金核心形成过程的热力学分析	417
8.3.6.2	固相铜锌合金的形核率	420
8.4	多彩铜金粉的制取	422
8.4.1	铜金粉的预处理	422
8.4.2	铜金粉的氧化方法	422
8.4.2.1	升温氧化法	422
8.4.2.2	添加氧化剂氧化法	423
8.5	锌粉及其他金属颜料	425
8.5.1	锌粉	425
8.5.2	其他金属粉	428
	参考文献	429
第9章	云母钛珠光粉	432
9.1	云母钛珠光粉的特性	432
9.1.1	概述	432
9.1.2	云母钛珠光粉的构造特征	436
9.1.2.1	宏观特征描述	436
9.1.2.2	云母钛珠光粉的微观结构	438
9.1.3	云母钛珠光粉的种类与化学组成	439
9.1.3.1	云母钛珠光粉的种类	439
9.1.3.2	云母钛珠光粉的化学组成	440
9.1.4	云母的分类与结构	441
9.1.4.1	天然云母	441
9.1.4.2	人工合成云母	444
9.1.5	云母珠光粉的光学原理	445

9.1.6	云母钛珠光粉的光学特性	448
9.2	云母钛珠光粉的应用	450
9.2.1	云母钛珠光粉在油墨印刷中的应用	450
9.2.2	云母钛珠光粉在涂料工业中的应用	451
9.2.3	云母钛珠光粉在塑料工业中的应用	453
9.2.4	云母钛珠光粉在其他领域中的应用	454
9.3	云母钛珠光粉的生产	455
9.3.1	云母钛珠光粉生产工艺流程	455
9.3.2	云母薄片的生产	457
9.3.2.1	云母薄片的研磨	458
9.3.2.2	云母薄片的分散和分级	460
9.3.3	云母薄片的包膜材料	464
9.3.3.1	包膜材料的种类	464
9.3.3.2	包膜材料的性能	465
9.3.4	云母薄片包膜的化学原理	467
9.3.5	云母钛珠光粉的生产工艺	468
9.3.5.1	银白云母钛珠光粉的生产工艺	468
9.3.5.2	幻彩珠光粉的生产工艺	472
9.3.5.3	着色类珠光粉的生产工艺	474
9.3.5.4	有机化合物着色类珠光粉的生产工艺	478
9.4	云母钛珠光粉的表面改性处理	481
9.4.1	局部化学改性	481
9.4.1.1	局部化学改性原理	481
9.4.1.2	局部化学改性方法	482
9.4.1.3	常用表面改性剂	482
9.4.2	表面包覆改性	483
9.4.2.1	表面包覆改性原理	483
9.4.2.2	表面包覆改性方法	483
9.5	云母钛珠光粉的国内外发展趋势	484
	参考文献	486
	第 10 章 珍珠粉	487

10.1	珍珠粉的性质与应用	487
10.1.1	概述	487
10.1.2	珍珠的种类	488
10.1.3	珍珠粉的性质和应用	490
10.2	珍珠粉的生产	493
10.2.1	珍珠粉生产方法概述	493
10.2.2	高频振动磨法制取超细珍珠粉	495
10.2.2.1	高频振动磨法的生产原理与工艺	495
10.2.2.2	影响超细珍珠粉质量的因素	496
10.2.3	气流粉碎法制取超细珍珠粉	497
10.2.3.1	气流粉碎法基本原理	497
10.2.3.2	粉碎效果的影响因素	498
10.2.3.3	气流粉碎法珍珠粉的使用效果	501
10.2.3.4	超细珍珠粉的吸收情况	501
10.2.4	酸解-酶解联合法生产速溶珍珠粉	505
10.2.4.1	生产原料	505
10.2.4.2	生产工艺流程方法	506
10.2.5	包络法生产活性珍珠粉	507
10.2.5.1	生产工艺流程	507
10.2.5.2	质量标准	508
10.2.6	其他制取方法	508
	参考文献	509