

# 超细粉碎设备及其应用

CHAOXI FENSUI SHEBEI JIQI YINGYONG

张国旺 编著



冶金工业出版社

# 超细粉碎设备及其应用

张国旺 编著

北 京

冶金工业出版社

2005

## 内 容 提 要

本书系统阐述了超细粉碎的基础理论,详细介绍了各种超细粉碎设备的结构、工作原理、性能和应用范围,着重介绍了近10多年来国内外及作者在超细粉碎设备及其超细粉体制备技术方面的研究成果,同时对超细粉碎设备在材料、冶金、化工、矿业、陶瓷、非金属深加工和高新技术等行业中的应用作了专门的介绍。

本书可供粉体制备技术领域里从事科研、设计、制造和应用的工程技术人员、大学教师及研究生参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

超细粉碎设备及其应用/张国旺编著. —北京:冶金工业出版社,2005.1

ISBN 7-5024-3635-9

I. 超… II. 张… III. 粉碎—设备 IV. TB44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 101795 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 杨盈园 美术编辑 李 心

责任校对 侯 瑁 李文彦 责任印制 李玉山

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2005年1月第1版,2005年1月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32;14印张;375千字;433页; 1-3000册

45.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 前 言

粉碎设备和技术在工业上应用已有上百年的历史,但是超细粉碎设备和技术是随着现代信息材料、生物工程和高新技术的迅速发展而成长起来的,并已广泛应用在冶金、矿业、建材、化工、医药、涂料、食品、纺织和国防等国民经济工业部门。

作为一名长期从事超细粉碎设备和技术的研究工作者,在工作中深深地体会到设备和技术在工业部门的应用是多么的重要,从矿业、水泥、能源到化工、食品、药品等领域,超细粉碎的目的不尽相同,采用的超细粉碎设备和工艺也不相同,如何正确地在每个领域选择合适的设备来完成超细粉碎的目的和任务,作者一直有一个想法,就是想系统地介绍超细粉碎基础理论、超细粉碎分级设备及其在主要工业部门的应用情况,起一个抛砖引玉的作用,能够让读者正确地选择和有效地使用好设备。因为超细粉碎设备和技术涉及众多的工程技术领域,作者由于知识的局限性和水平所限,书中不足之处恳请读者批评指正!

本书分为16章,第1章至第5章主要介绍超细粉碎基础知识和超细粉碎分级设备。

第6章至第11章则重点介绍超细粉碎辅助设备和相关设备及工艺,同时介绍试验超细粉碎设备及试验技术,并对超细粉碎工艺和设计及安全环保问题也作了评述。第12章至第16章主要介绍超细粉碎设备在矿业、建材、能源、药品、食品、化工、非金属、金属粉体、涂料及材料等行业的应用。介绍它们有助于在更多的工业领域推广应用超细粉碎设备和技术。

在本书的编写过程中,得到了长沙矿冶研究院的领导和同事的大力帮助,并参阅了大量的文献资料和相关的产品样本,在此对他们表示感谢!同时还要感谢张慧明老师、石涛硕士研究生、赵湘和李自强两位工程师等,他们为本书作了一些资料的准备和图表整理。此外,还要感谢余珊女士为本稿所进行的文字打印工作。

作 者

2004年9月

## 冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
中国冶金百科全书 金属材料	本书编委会 编	229.00
材料的结构	余永宁 等编著	49.00
金属凝固过程中的晶体生长与控制	常国威 等编著	25.00
超细晶钢——钢的组织细化理论 论与控制技术	翁宇庆 等著	188.00
微合金非调质钢	董成瑞 等编著	28.00
钎钢与钎具	洪达灵 等编著	53.00
高速工具钢	邓玉昆 等主编	40.00
工具钢——作为日本产业基础的 工具钢发展史	[日]清水欣吾 著 陈洪真 等译	20.00
轴承钢	钟顺思 等主编	45.00
双相不锈钢	吴 玖 等著	45.00
耐磨高锰钢	张增志 编著	45.00
铁素体系耐热钢	[日]太田定雄 著 张善元 等译	30.00
焊接材料研制理论与技术	张清辉 等著	20.00
高温用特殊复合材料	徐桂兰 编著	9.80
陶瓷材料的强韧化	穆柏青 等著	29.50
陶瓷基复合材料导论(第2版)	贾成厂 主编	23.00
陶瓷金属复合材料	李荣久 主编	25.00
高温用特殊复合材料	徐桂兰 编著	9.80
尾矿建材开发	徐惠忠 著	20.00
桩基动力学	雷林源 著	29.80
施工技术	王士川 等编	29.50
建筑物的检测、鉴定、加固与改造	张有才 等编著	38.00
建筑工程经济与项目管理	李慧民 主编	28.00
有色冶金工厂设计基础	蔡祺凤 主编	24.00
城市地下管线探测与测漏	雷林源 著	20.00

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 超细粉体 .....	1
1.1.1 超细粉体的概念 .....	1
1.1.2 超细粉体的特征和用途 .....	2
1.1.3 超细粉体的制备方法 .....	3
1.2 超细粉碎技术 .....	3
1.2.1 超细粉碎技术的研究内容 .....	3
1.2.2 超细粉碎技术在工业中的应用 .....	4
1.3 超细粉碎设备的分类 .....	6
1.4 超细粉碎设备的发展历史 .....	8
1.5 超细粉碎设备的发展趋势.....	10
参考文献 .....	12
<b>第 2 章 粒度与粒度测量</b> .....	14
2.1 粒度和粒度分布.....	14
2.1.1 单个颗粒的大小 .....	14
2.1.2 粒度分布 .....	18
2.1.3 粒度分布函数表达公式 .....	22
2.1.4 平均粒径.....	25
2.2 粒度和粒度分布的测定.....	28
2.2.1 显微镜法.....	29
2.2.2 电阻法(库尔特法) .....	30
2.2.3 激光法 .....	31
2.2.4 沉降法 .....	32
2.2.5 颗粒形状的测量 .....	33

参考文献 .....	33
<b>第3章 超细粉碎基础理论 .....</b>	<b>35</b>
3.1 被粉碎物料的基本特性 .....	35
3.1.1 强度 .....	35
3.1.2 硬度 .....	35
3.1.3 易磨性 .....	38
3.2 格里弗斯强度理论 .....	38
3.3 单颗粒粉碎 .....	39
3.4 料床粉碎 .....	40
3.5 施力方式与能量利用率 .....	40
3.6 粉碎能耗理论 .....	42
3.7 粉碎极限 .....	44
参考文献 .....	45
<b>第4章 超细粉碎设备 .....</b>	<b>48</b>
4.1 高速机械冲击式粉碎机 .....	48
4.1.1 主要类型、结构和工作原理 .....	48
4.1.2 主要参数的确定 .....	52
4.1.3 粉碎工艺 .....	59
4.1.4 应用 .....	63
4.2 振动磨机 .....	66
4.2.1 主要类型、结构和工作原理 .....	66
4.2.2 振动分析 .....	73
4.2.3 介质运动分析 .....	75
4.2.4 主要参数的确定 .....	76
4.2.5 单筒振动磨设计 .....	80
4.2.6 振动磨机粉碎工艺 .....	81
4.2.7 振动磨机的应用 .....	85
4.3 气流磨机 .....	87
4.3.1 主要类型、结构和工作原理 .....	87
4.3.2 主要参数的确定 .....	95



4.3.3	气流磨机粉碎工艺 .....	99
4.3.4	应用 .....	100
4.4	搅拌磨机 .....	103
4.4.1	主要类型、结构和工作原理 .....	103
4.4.2	主要参数确定 .....	115
4.4.3	搅拌磨机工艺 .....	119
4.4.4	搅拌磨机的应用 .....	124
4.5	辊磨机 .....	125
4.5.1	主要类型、结构和工作原理 .....	125
4.5.2	主要参数设计 .....	131
4.5.3	工艺 .....	133
4.5.4	应用 .....	134
4.6	其他超细粉碎设备 .....	136
4.6.1	普通卧式球磨机 .....	136
4.6.2	胶体磨 .....	137
4.6.3	Szego 行星磨机 .....	140
4.6.4	高压辊式磨机 .....	141
4.6.5	micros 型超微湿式粉碎机 .....	145
	参考文献 .....	146
<b>第 5 章</b>	<b>超细分级设备 .....</b>	<b>150</b>
5.1	干式超细分级设备 .....	150
5.1.1	自由涡型离心式分级机 .....	151
5.1.2	半自由涡型离心式分级机 .....	152
5.1.3	强制涡型离心式分级机 .....	152
5.1.4	惯性分级式超细分级机 .....	157
5.2	湿式超细分级机 .....	158
5.2.1	小直径水力旋流器 .....	159
5.2.2	螺旋式离心分级机 .....	160
5.2.3	超细水力旋流机 .....	161
5.2.4	蝶式分级机 .....	162

5.2.5 叶轮式水力分级机 .....	163
参考文献 .....	163
<b>第6章 超细粉碎辅助设备和相关设备</b> .....	<b>166</b>
6.1 泵 .....	166
6.1.1 螺杆泵 .....	166
6.1.2 齿轮泵 .....	166
6.1.3 隔膜泵 .....	167
6.1.4 “WARMAN”渣浆泵 .....	167
6.2 风机 .....	169
6.3 喂料机 .....	169
6.3.1 带式喂料机 .....	169
6.3.2 螺旋喂料机 .....	170
6.3.3 滚筒喂料机 .....	171
6.3.4 叶轮喂料机 .....	172
6.3.5 圆盘喂料机 .....	172
6.3.6 振动式喂料机 .....	173
6.4 混合和调浆设备 .....	175
6.4.1 混合设备 .....	175
6.4.2 搅拌混合器 .....	180
6.5 过滤和干燥设备 .....	183
6.5.1 过滤设备 .....	183
6.5.2 干燥设备 .....	187
6.6 改性与复合设备 .....	192
6.6.1 高速混合机 .....	192
6.6.2 HYB 高速气流冲击式表面改性机 .....	193
6.6.3 三筒连续表面改性机 .....	194
参考文献 .....	194
<b>第7章 研磨介质与衬板</b> .....	<b>195</b>
7.1 研磨介质 .....	195
7.1.1 研磨介质的种类和作用 .....	195

7.1.2	研磨介质的规格、技术性能和化学成分 .....	196
7.1.3	正确选用研磨介质 .....	201
7.1.4	研磨介质充填量及配比 .....	201
7.1.5	研磨介质对研磨效果的影响因素 .....	206
7.2	衬板 .....	209
7.2.1	衬板材料 .....	209
7.2.2	衬板失效的影响因素 .....	211
7.2.3	衬板材料的选择 .....	212
	参考文献 .....	214
<b>第 8 章</b>	<b>超细粉体的分散技术</b> .....	<b>216</b>
8.1	分散的基本概念 .....	216
8.2	分散稳定性表征方法及评价 .....	218
8.3	超细粉体产生团聚的原因 .....	219
8.4	湿法超细粉体分散的基本理论 .....	221
8.4.1	超细颗粒在液体介质中的行为 .....	221
8.4.2	超细颗粒在液体介质中的表面电荷 .....	223
8.4.3	颗粒表面的 Zeta 电位 .....	224
8.4.4	超细粉体在液体介质中的分散问题 .....	225
8.4.5	分散稳定理论 .....	228
8.4.6	提高分散性的途径与措施 .....	231
8.5	表面活性剂 .....	232
8.6	表面改性剂 .....	234
8.6.1	硬酯酸或硬酯酸盐 .....	234
8.6.2	偶联剂 .....	234
8.7	超分散剂 .....	237
8.7.1	超分散剂的特点 .....	237
8.7.2	常见超分散剂的分子结构 .....	238
8.8	超细粉碎的助磨剂 .....	239
8.8.1	助磨剂种类 .....	239
8.8.2	助磨剂作用机理 .....	240

8.8.3	常用助磨剂及用途 .....	242
8.8.4	使用助磨剂注意事项 .....	242
	参考文献 .....	243
<b>第9章</b>	<b>超细粉碎试验技术及试验设备</b> .....	<b>246</b>
9.1	粉体取样及处理 .....	247
9.1.1	取样方法及装置 .....	247
9.1.2	分样方法及装置 .....	249
9.2	实验室超细粉碎设备 .....	249
9.2.1	实验型球磨机 .....	249
9.2.2	实验型砂磨分散机 .....	253
9.2.3	实验型行星磨机 .....	256
9.2.4	实验型气流磨机 .....	259
9.2.5	实验型振动磨机 .....	261
9.2.6	实验型高速冲击粉碎机 .....	263
	参考文献 .....	264
<b>第10章</b>	<b>超细粉碎工艺和设备选型</b> .....	<b>265</b>
10.1	超细粉碎工艺流程设计 .....	265
10.1.1	连续超细粉碎工艺流程 .....	265
10.1.2	批次超细粉碎工艺 .....	267
10.1.3	干式和湿式超细粉碎工艺的选择 .....	268
10.2	超细粉碎设备选型 .....	269
10.2.1	干式超细粉碎设备选型 .....	271
10.2.2	湿式超细粉碎设备选型 .....	271
10.2.3	超细分级设备选型 .....	272
10.3	超细粉碎工艺和设备选型举例 .....	272
10.3.1	年产5万t600~2500目超细重质碳酸钙 微粉生产线 .....	272
10.3.2	年产3万t超细重质碳酸钙浆料 .....	274
	参考文献 .....	276
<b>第11章</b>	<b>超细粉碎安全与环保</b> .....	<b>277</b>

11.1	超细粉碎安全问题	277
11.2	超细粉碎的环保问题	279
	参考文献	280
<b>第12章 超细粉碎设备在矿业、冶金、建材及能源</b>		
	工业中的应用	281
12.1	超细粉碎设备在选矿工业中的应用	281
12.1.1	搅拌磨机在黄金矿山中的应用	281
12.1.2	搅拌磨机在铅锌矿中的应用	287
12.1.3	搅拌磨机在钨矿中的应用	289
12.2	超细粉碎设备在水煤浆工业中的应用	292
12.2.1	水煤浆的种类和用途	293
12.2.2	水煤浆制备	294
12.3	超细粉碎设备在水泥建材工业中的应用	297
12.3.1	湿磨超细水泥浆料性能	297
12.3.2	湿磨水泥超细磨设备和工艺	298
12.3.3	管磨机/超细分级系统干法生产超细水泥	303
12.4	超细粉碎设备在炉渣及粉煤灰中的应用	304
12.4.1	塔磨机在高炉渣粉磨中的应用	304
12.4.2	粉煤灰粉磨工艺和设备	306
12.5	超细粉碎设备在稀土行业中的应用	310
12.6	超细粉碎设备在烟气脱硫(FGD)中的应用	312
	参考文献	315
<b>第13章 超细粉碎设备在涂料、药品、农药、食品等</b>		
	工业中的应用	316
13.1	超细粉碎设备在颜料、油漆、涂料和油墨 行业中的应用	316
13.1.1	三辊机	317
13.1.2	球磨机	318
13.1.3	砂磨机或珠磨机	319
13.1.4	立式搅拌球磨机	320

13.1.5	胶体磨机	321
13.1.6	涂料细度测定	321
13.1.7	油漆油墨工艺	321
13.2	二氧化钛粉碎的工艺流程及设备	323
13.2.1	球磨机	323
13.2.2	雷蒙磨机	324
13.2.3	高速离心磨机	325
13.2.4	砂磨机	325
13.2.5	气流粉碎机	326
13.2.6	二氧化钛粉碎工艺流程的选择	329
13.2.7	二氧化钛的分级设备	329
13.3	超细粉碎设备在药品、农药、食品等工业中的应用	333
13.3.1	药品的超细粉碎	333
13.3.2	农药的超细粉碎	337
13.3.3	食品的超细粉碎	337
	参考文献	340
<b>第14章</b>	<b>超细粉碎设备在非金属矿工业中的应用</b>	<b>343</b>
14.1	高岭土	344
14.2	重质碳酸钙	350
14.3	滑石	356
14.3.1	雷蒙磨机	357
14.3.2	辊磨机+干式分级机	357
14.3.3	球磨机+干式分级机	357
14.3.4	高速冲击式磨机+干式分级机	357
14.3.5	振动磨机+干式分级机	358
14.3.6	立式搅拌磨机+干式微细分级机	358
14.3.7	流化床式气流磨机+干式分级机	360
14.4	云母	360
14.4.1	云母粉的超细研磨剥片	363

14.4.2	云母粉的湿法分级 .....	366
14.5	石墨 .....	370
14.5.1	胶体石墨 .....	370
14.5.2	石墨乳 .....	371
14.6	硅灰石 .....	374
	参考文献 .....	376
<b>第 15 章</b>	<b>超细粉碎设备在磁性材料、电池材料、电子材料、精细陶瓷和粉末冶金工业中的应用 .....</b>	<b>379</b>
15.1	铁氧体 .....	379
15.2	硬质合金混合料湿磨设备 .....	381
15.2.1	可倾式滚动球磨机 .....	381
15.2.2	搅拌磨机 .....	383
15.2.3	不可倾式滚动球磨机 .....	385
15.3	氧化铁红 .....	386
15.4	四氧化三锰和电解二氧化锰 .....	388
15.5	钴酸锂和锰酸锂 .....	389
	参考文献 .....	390
<b>第 16 章</b>	<b>超细粉碎设备在高纯超硬材料、易燃易爆粉体及金属颜料工业中的应用 .....</b>	<b>392</b>
16.1	硅微粉 .....	392
16.2	硅酸锆粉 .....	393
16.3	碳化硅粉 .....	396
16.4	金刚石微粉 .....	397
16.5	氧化铝微粉 .....	397
16.6	金属颜料 .....	398
16.7	铝粉及铝粉浆 .....	400
16.7.1	铝粉及铝粉浆的性质及分类 .....	401
16.7.2	生产工艺过程及主要生产设备 .....	407
16.8	铜锌粉 .....	421
16.8.1	铜锌粉的性质和用途 .....	421

16.8.2 铜锌粉的生产工艺 .....	422
16.9 锌粉及其他金属颜料.....	424
16.9.1 锌粉 .....	424
16.9.2 其他金属粉 .....	426
16.10 锰粉和镁粉 .....	427
16.11 硫磺 .....	429
16.12 催化剂 .....	429
参考文献.....	430
附录.....	433



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 超细粉体

### 1.1.1 超细粉体的概念

超细粉体技术是 20 世纪 70 年代中期发展起来的新兴学科,超细粉体几乎应用于国民经济的所有行业。它是改造和促进油漆涂料、信息记录介质、精细陶瓷、电子技术、新材料和生物技术等新兴产业发展的基础,是现代高新技术的起点。

目前对于超细粉体尚无一个严格的定义,从几个纳米至几十微米的粉体统称为超细粉体。各行业由于超细粉体的用途和制备方法等不同,而对超细粉体作出不同的划分。目前,比较一致认同和较为合理的划分为:(1)细粉体:粒径为  $10\sim 45\mu\text{m}$ ;(2)微米粉体:粒径为  $1\sim 10\mu\text{m}$ ;(3)亚微米粉体,粒径为  $0.1\sim 1\mu\text{m}$ ;(4)纳米粉体:粒径为  $0.001\sim 0.1\mu\text{m}(1\sim 100\text{nm})$ 。

然而,对于某一特定的超细粉体,仅上述划分是不够准确的,一般超细粉体的粒径分布呈正态分布规律。例如:一种超细粉体,有 70% 小于  $1\mu\text{m}$ ,属于亚微米粉体,还有 30% 大于  $1\mu\text{m}$  属微米粉体,如何确定上述粉体是纳米、亚微米或者微米粉体?应从某种物料的应用角度出发,采用  $D_{95}$  粒径的体积分数或  $D_{97}$  粒径的体积分数,甚至  $D_{50}$  粒径的体积分数小于某一值来定义是属于微米粉体或亚微米粉体或纳米粉体。

为了叙述的便利,对于金属或非金属矿物加工而言,一般认为粒径  $D_{97}\leq 10\mu\text{m}$  的粉体为超细粉体。本书着重论述粉碎粒度  $D_{97}\leq 45\mu\text{m}$  细粉碎设备和  $D_{97}\leq 10\mu\text{m}$  超细粉碎设备及其应用。