



超细粉碎工程

主 编：郑水林 余绍火 吴宏富 王春峰 张再江 刘 月

CHAOXI FENSUI
GONGCHENG

中国建材工业出版社

超细粉碎工程

主 编：郑水林 余绍火 吴宏富
王春峰 张再江 刘 月

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

超细粉碎工程/郑水林等主编. —北京:中国建材工业出版社, 2006.9

ISBN 7-80227-059-6

I .超… II .郑… III .超细粉—粉碎 IV .TB44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 099282 号

内 容 简 介

本书以超细粉碎设备及其应用为主线,系统总结了超细粉碎基础理论和工程实践以及粒度检测原理和方法。全书共分 15 章,内容包括了与超细粉体制备和分级有关的基础知识、基本原理、粒度和粒形表征,超细粉碎工艺与设计,机械冲击式粉碎机、气流粉碎机、搅拌磨、振动磨、砂磨机、旋转筒式球磨机、辊磨机、胶体磨等超细粉碎设备,干式和湿式精细分级设备及超细粉碎工程中的辅助设备,同时还包括了近年来为解决废橡胶、塑料、电线电缆等循环或综合利用的特种粉碎设备。

本书可供从事粉体工程或粉体技术以及矿物加工、化工、机械、冶金、建材、轻工、环保等相关专业的工程技术人员参考。

超细粉碎工程

主编: 郑水林 余绍火 吴宏富
王春峰 张再江 刘 月

出版发行: **中国建材工业出版社**

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 25.5

字 数: 643 千字

版 次: 2006 年 9 月第 1 版

印 次: 2006 年 9 月第 1 次

定 价: 52.00 元

网上书店: www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906



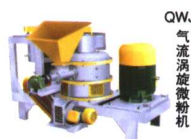
引进德国超微粉体先进技术 浙江丰利—中国粉碎机专家

专业生产各类超微粉碎、分级、干燥、混合、破碎等粉体工程设备

本公司属国家重点高新技术企业，国家特种超细粉体工程技术研究中心试验基地；我国粉体设备领域规模最大、实力强的行业龙头企业，闻名海内外的超微粉体设备生产基地；是一家集科研、开发、制造于一体的现代化企业，拥有两个生产厂和一个省级重点研发中心，技术力量雄厚，开发生产出八大类100多个品种的粉体设备，其中数十项被认定为国家重点新产品、国家火炬项目、国家专利产品（专利号：ZL01221204.0等）和浙江省高新技术产品及浙江名牌产品，代表着我国粉碎设备的发展水平；获得国家科技型创新基金支持；已通过ISO9001质量体系认证；产品质量多次经国家法定机构抽检合格；被国家主管部门作为行业重点产品向全国推广。经国内外数千家用户使用证实：设备性能卓越、与众不同，广泛适用于化工、农药、染料、无机盐、医药、食品、生物、饲料、塑料、橡胶、非金属矿、有色金属、电子、新材料、建材、资源再生利用、烟草及国防尖端科技等各个行业的不同领域，可提高产品的档次和附加值，经济效益显著。产品畅销全国，远销欧美及东南亚。

德国霍伯尔工程公司是国际著名粉体设备技术开发商，已有二十余年专业研究开发超微粉体技术的历史，拥有多项成果及丰富经验；在国际上享有较高的知名度，HOBBER技术及设备在国内外各个行业数百家用户中广泛使用，信誉卓著。德国IVA技术有限公司（即怡发公司）是一家从事研究开发粉体加工技术的专业公司，在德国及国际市场享有一流的水准、较高知名度和良好的信誉；尤以研发非金属矿深加工生产线闻名全球。

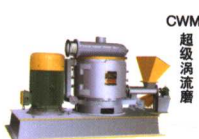
国家双高一优项目 国家火炬项目 国家重点新产品 德国技术产品



QWJ
气流
涡旋
超微
粉碎机



CWJ
超微
粉碎机



CWM
超级
涡流
磨



MTM
冲击
磨



HWV
旋风
磨



QFJ
纤维
超细
粉碎机



GJF
干燥
超微
粉碎机



HTC
高效
涡轮
超微
分级机

产品目录

超微粉碎设备

- CWM超级涡流磨系列
- QWJ气流涡旋超微粉碎机系列
- CWJ超微粉碎机系列
- JTM微粉碎机系列
- HWV旋风磨系列
- HRW立式砂磨机
- HFB振动磨系列
- MTM冲击磨系列
- HFG对喷式气流粉碎机系列
- HFB球磨机系列
- WDJ(SD) 涡轮式粉碎机

- LDJ无筛立式粉碎机系列
- SFM热塑性塑料微粉磨
- GJF干燥超微粉碎机系列
- DFJ低温粉碎机系列
- WDJ卧式液体粉碎机
- QFJ纤维超细粉碎机
- CZJ自磨型超微粉碎机
- CF冲击式粉碎机
- WM涡流磨（卧式）
- MFJ500型木粉机

粗、中粉碎机设备

- FB塑料破碎机系列
- DW对滚式破碎机

- ZJ中药切片机系列
- JSJ齿式粉碎机
- SVM强力切磨机
- ME、HD破碎机

分级设备

- HTC高效涡轮超微分级机系列
- XFJ(WFJ) 超细粉体分级机

混合设备

- DSH悬臂非对称双螺旋混合机
- WZ无重力粒子混合机
- SCH锥型混合机
- LDH犁刀混合机

其它设备

- 输送、集尘设备
- ZS振动筛系列
- 激光粒度测试仪
- 电液控制设备
- 粉体工程相关的非标设备

成套生产线

- 废旧轮胎回收处理成套设备
- 常温精细微粉成套生产线
- 非金属矿深加工成套生产线
- 非标生产线

特殊规格可以定制

拥有完善的粉体加工、测试中心，装备齐全，承接来料加工业务

国内规模大、新品多、品种全的成套超微粉体设备生产基地

销售热线：0575-3185888 3105888 3100888 3183618 地址：浙江省嵊州市罗杜岙 邮编：312400
中文网址：丰利 网址：www.fengli.biz 或 www.zjfengli.cn 邮箱：fengli@mail.sxptt.zj.cn



前 言

在粉体加工技术与设备中,超细粉碎(包括分级)是其最主要的组成部分之一。伴随市场对超细粉体需求量的快速增长,作为主要制粉工艺的超细粉碎技术迅速发展。在当今中国,采用超细粉碎工艺制备的各类超细粉体产品已达数百万吨,而且还在以每年10%左右的速度增长。在超细粉碎技术中,设备占有极其重要的地位,超细粉碎技术的进步在很大程度上取决于设备的进步。中国大陆自20世纪90年代初以来,经过十多年的发展和市场磨砺,在全国范围内不仅形成了较大规模的超细粉体制备产业,而且也成长了一批有一定规模和较高技术水平、拥有部分自主知识产权的超细粉碎和精细分级设备制造商。但是,在已经出版的有关超细粉体加工的书籍中,还很少有系统介绍国产超细粉碎和精细分级设备及其在工程中应用的书籍,本书正是基于这一背景选题的。

本书的特点是以浙江丰利粉碎设备有限公司及其他国内重点超细粉碎和精细分级设备制造厂商具有自主知识产权的设备为重点,介绍其结构、性能特点、技术参数及其在工程中的应用。其目的是使读者了解国产先进设备,在实践中正确选用,同时提高国产先进和成熟设备在工程中的使用率。

本书以超细粉碎设备及其应用为主线,系统总结了超细粉碎基础理论和工程实践以及粒度检测原理和方法。全书共分15章,内容包括了与超细粉体制备和分级有关的基础知识、基本原理、粒度和粒形表征;超细粉碎工艺与设计;机械冲击式粉碎机、气流粉碎机、搅拌磨、振动磨、砂磨机、旋转筒式球磨机、辊磨机、胶体磨等超细粉碎设备、干式和湿式精细分级设备及超细粉碎工程中的辅助设备,同时还包括了近年来为解决废橡胶、塑料、电线电缆等循环或综合利用的特种粉碎设备。

本书第1章1.1~1.3节、1.4.1~1.4.2节,第2章2.1~2.2节,第12章及第15章5.1~5.2节由中国矿业大学(北京)刘月编写;第1章1.4.3节由中国矿业大学(北京)王钰编写;第3章~第15章中涉及浙江丰利粉碎设备有限公司的设备部分由浙江丰利粉碎设备有限公司张再江等人编写;第13章13.1~13.6节及第15章15.3节由中国矿业大学(北京)杜高翔编写;其余由中国矿业大学(北京)郑水林编写。最后由郑水林、余绍火、吴宏富、王春峰等审阅定稿,刘月整理全稿。

虽然本书的编写得到了浙江丰利粉碎设备有限公司及其他国内重点超细粉碎和精细分级设备制造厂商的大力支持,包括提供设备技术资料 and 工业应用实例,甚至参与编写。但由于各种原因,在收集设备有关资料特别是生产实例资料方面与愿望之间仍存差距。此外,本书肯定还存在其他问题和不足,欢迎专家学者及广大读者批评指正。

最后向本书编写过程中提供资料的设备厂商和参考文献的作者致以诚挚的感谢!

编 者
2006.6

目 录

第 1 章 超细粉碎工程基础	(1)
1.1 现代产业发展与超细粉体	(1)
1.2 超细粉碎理论基础	(4)
1.2.1 超细粉碎过程力学	(4)
1.2.2 超细粉碎过程的物理化学	(26)
1.2.3 超细粉体分级原理与分离极限	(55)
1.3 超细粉碎与精细分级设备的类型	(64)
1.3.1 超细粉碎设备	(64)
1.3.2 精细分级设备	(67)
1.4 超细粉体的粒度分析与特性表征	(68)
1.4.1 超细粉体的粒度特性及颗粒形状表征方法	(68)
1.4.2 超细粉体的粒度分析方法与仪器	(96)
1.4.3 超细粉体的表面积分析方法	(132)
第 2 章 超细粉碎工艺设计	(139)
2.1 超细粉碎工艺类型	(139)
2.1.1 干法超细粉碎	(140)
2.1.2 湿法超细粉碎	(148)
2.2 工艺流程计算	(152)
2.2.1 干法工艺流程	(152)
2.2.2 湿法工艺流程	(156)
2.3 工艺设计与设备选型	(160)
2.3.1 工艺设计与设备选型的原则和程序	(160)
2.3.2 设备选型计算	(162)
第 3 章 高速机械冲击磨	(178)
3.1 概述	(178)
3.2 超细分级磨	(178)
3.2.1 结构与工作原理	(178)
3.2.2 性能特点与技术参数	(179)
3.2.3 工业应用	(180)
3.3 QWJ 及 ACM 型微粉机	(182)
3.3.1 结构与工作原理	(182)
3.3.2 性能特点与技术参数	(183)
3.3.3 工业应用	(184)

3.4	CF 冲击式粉碎机	(187)
3.4.1	结构与工作原理	(187)
3.4.2	性能特点与技术参数	(187)
3.4.3	工业应用	(187)
3.5	CWM 超级涡流磨	(188)
3.5.1	结构与工作原理	(188)
3.5.2	性能特点与技术参数	(189)
3.5.3	工业应用	(190)
3.6	CM 型超细粉磨机	(192)
3.6.1	结构与工作原理	(192)
3.6.2	性能特点与技术参数	(193)
3.6.3	工业应用	(194)
3.7	JTM 微粉碎机	(195)
3.7.1	结构与工作原理	(195)
3.7.2	性能特点与技术参数	(195)
3.7.3	工业应用	(195)
3.8	MTM 冲击磨	(197)
3.8.1	结构与工作原理	(197)
3.8.2	性能特点与技术参数	(197)
3.8.3	工业应用	(197)
3.9	HWV 旋风磨	(199)
3.9.1	结构与工作原理	(199)
3.9.2	性能特点与技术参数	(200)
3.9.3	工业应用	(201)
3.10	涡轮式粉碎机	(202)
3.10.1	结构与工作原理	(202)
3.10.2	性能特点与技术参数	(203)
3.10.3	工业应用	(204)
3.11	WM 涡流磨(卧式)	(205)
3.11.1	结构与工作原理	(205)
3.11.2	性能特点与技术参数	(206)
3.11.3	工业应用	(207)
3.12	LHJ 系列超细机械粉碎机	(208)
3.12.1	LHJ 超细机械粉碎机的结构和工作原理	(208)
3.12.2	性能特点和技术参数	(208)
3.12.3	工业应用	(209)
第 4 章	气流磨	(211)
4.1	概述	(211)
4.2	流化床对喷式气流磨	(211)

4.2.1 结构与工作原理	(211)
4.2.2 性能特点与技术参数	(213)
4.2.3 工业应用	(216)
4.3 水平圆盘式气流磨	(217)
4.3.1 结构与工作原理	(217)
4.3.2 性能特点与技术参数	(218)
4.3.3 工业应用	(219)
4.4 循环管式气流磨	(219)
4.4.1 结构与工作原理	(219)
4.4.2 性能特点与技术参数	(220)
4.4.3 工业应用	(221)
4.5 对喷式气流磨	(221)
4.5.1 结构与工作原理	(221)
4.5.2 性能特点与技术参数	(223)
4.5.3 工业应用	(223)
4.6 旋冲(气旋)式气流粉碎机	(224)
4.6.1 结构与工作原理	(224)
4.6.2 性能特点与技术参数	(225)
4.6.3 工业应用	(225)
第5章 搅拌研磨机	(226)
5.1 概述	(226)
5.2 间歇式搅拌磨	(226)
5.2.1 结构与工作原理	(226)
5.2.2 主要技术参数	(226)
5.3 连续式搅拌磨	(227)
5.3.1 结构与工作原理	(227)
5.3.2 主要技术参数	(229)
5.3.3 工业应用	(230)
5.4 研磨剥片机	(233)
5.4.1 结构与工作原理	(233)
5.4.2 性能特点与技术参数	(233)
5.4.3 工业应用	(235)
5.5 螺旋搅拌磨	(235)
5.5.1 结构与工作原理	(235)
5.5.2 性能特点与技术参数	(236)
5.5.3 工业应用	(236)
5.6 塔式磨	(236)
5.6.1 结构及工作原理	(236)
5.6.2 性能特点与技术参数	(237)

5.6.3 工业应用	(239)
第6章 砂磨机	(241)
6.1 立式砂磨机	(241)
6.1.1 结构与工作原理	(241)
6.1.2 性能特点及技术参数	(241)
6.1.3 工业应用	(242)
6.2 卧式砂磨机	(242)
6.2.1 结构与工作原理	(242)
6.2.2 性能特点与技术参数	(243)
6.2.3 工业应用	(245)
第7章 振动磨	(246)
7.1 MZ(标准)振动磨	(246)
7.1.1 产品分类	(246)
7.1.2 结构与工作原理	(248)
7.1.3 主要技术参数与工艺配置	(249)
7.2 MZ系列超细振动研磨机	(251)
7.2.1 结构与工作原理	(251)
7.2.2 性能特点与技术参数	(252)
7.2.3 工业应用	(253)
7.3 MZD型单筒式振动磨	(253)
7.3.1 结构与工作原理	(253)
7.3.2 主要技术参数	(254)
7.3.3 工业应用	(254)
7.4 HFV振动磨	(255)
7.4.1 结构与工作原理	(255)
7.4.2 性能特点与技术参数	(256)
7.4.3 工业应用	(256)
第8章 球磨机	(258)
8.1 旋转筒式球磨机	(258)
8.1.1 分类及应用	(258)
8.1.2 工作原理	(259)
8.1.3 结构	(260)
8.1.4 性能特点与主要技术参数	(261)
8.1.5 工业应用	(262)
8.2 行星球磨机	(265)
8.2.1 结构与工作原理	(265)
8.2.2 工业应用	(266)

第 9 章 胶体磨与均浆机	(267)
9.1 胶体磨	(267)
9.1.1 结构与工作原理	(267)
9.1.2 性能特点与技术参数	(268)
9.1.3 工业应用	(269)
9.2 高压均浆机	(269)
9.2.1 结构与工作原理	(269)
9.2.2 主要性能特点与技术参数	(270)
9.2.3 工业应用	(272)
第 10 章 辊磨机	(273)
10.1 CZJ 自磨型超微粉碎机	(273)
10.1.1 结构与工作原理	(273)
10.1.2 性能特点与主要技术参数	(274)
10.1.3 工业应用	(275)
10.2 HLM 内分级离心环辊磨	(275)
10.2.1 结构与工作原理	(275)
10.2.2 性能特点与主要技术参数	(276)
10.2.3 工业应用	(277)
10.3 立式磨(压辊磨)	(277)
10.3.1 结构与工作原理	(277)
10.3.2 性能特点与主要技术参数	(278)
10.3.3 工业应用	(279)
10.4 拉杆式磨粉机	(279)
10.4.1 结构与工作原理	(279)
10.4.2 性能特点与主要技术参数	(279)
10.4.3 工业应用	(279)
10.5 滚轮磨	(279)
10.5.1 结构与工作原理	(279)
10.5.2 性能特点与主要技术参数	(280)
10.5.3 工业应用	(280)
第 11 章 干式离心分级机	(281)
11.1 LHB 型气流分级机	(281)
11.1.1 结构与工作原理	(281)
11.1.2 性能特点与主要技术参数	(282)
11.1.3 工业应用	(282)
11.2 WFJ 超细分级机	(282)
11.2.1 结构与工作原理	(282)

11.2.2	性能特点与主要技术参数	(283)
11.2.3	工业应用	(284)
11.3	FJJ 型分级机	(284)
11.3.1	结构与工作原理	(284)
11.3.2	性能特点与主要技术参数	(286)
11.3.3	工业应用	(286)
11.4	FYW 型分级机	(286)
11.4.1	结构与工作原理	(286)
11.4.2	性能特点与主要技术参数	(287)
11.4.3	工业应用	(287)
11.5	ADW 涡轮式微粉分级机	(288)
11.5.1	结构与工作原理	(288)
11.5.2	性能特点与主要技术参数	(289)
11.5.3	工业应用	(289)
11.6	XFJ 分级机	(289)
11.6.1	结构与工作原理	(289)
11.6.2	性能特点与主要技术参数	(290)
11.6.3	工业应用	(291)
11.7	FQZ 分级机	(291)
11.7.1	结构与工作原理	(291)
11.7.2	性能特点与主要技术参数	(292)
11.7.3	工业应用	(292)
11.8	HTC 涡轮分级机	(292)
11.8.1	结构与工作原理	(292)
11.8.2	性能特点与主要技术参数	(293)
11.8.3	工业应用	(293)
11.9	FJG 型干法粉体分级机	(294)
11.9.1	结构与工作原理	(294)
11.9.2	性能特点与技术参数	(295)
11.9.3	工业应用	(295)
11.10	ATP 型超微细分级机	(296)
11.10.1	结构与工作原理	(296)
11.10.2	性能特点与技术参数	(296)
11.10.3	工业应用	(297)
11.11	MS、MSS 等微粉分级机	(297)
11.11.1	结构与工作原理	(297)
11.11.2	性能特点与技术参数	(299)
11.11.3	工业应用	(300)

第 12 章 湿式离心分级机	(301)
12.1 卧式螺旋离心分级机	(301)
12.1.1 结构与工作原理	(301)
12.1.2 性能特点与主要技术参数	(305)
12.1.3 工业应用	(306)
12.2 超细水力旋流器	(306)
12.2.1 结构与工作原理	(306)
12.2.2 性能特点与主要技术参数	(307)
12.2.3 工业应用	(308)
12.3 超细水力旋分机	(309)
12.3.1 结构与工作原理	(309)
12.3.2 性能特点与主要技术参数	(309)
12.3.3 工业应用	(310)
第 13 章 预粉碎设备	(311)
13.1 概述	(311)
13.2 鄂式破碎机	(312)
13.2.1 结构与工作原理	(312)
13.2.2 性能特点与主要技术参数	(313)
13.3 锤式破碎机	(314)
13.3.1 结构与工作原理	(314)
13.3.2 性能特点与主要技术参数	(314)
13.4 辊式破碎机	(317)
13.4.1 结构与工作原理	(317)
13.4.2 性能特点与主要技术参数	(317)
13.5 雷蒙磨	(319)
13.5.1 结构与工作原理	(319)
13.5.2 性能特点与主要技术参数	(320)
13.5.3 工业应用	(321)
13.6 柱磨机与广义磨	(321)
13.6.1 柱磨机	(321)
13.6.2 广义磨	(323)
13.7 JSJ 齿式细碎机	(323)
13.7.1 结构与工作原理	(323)
13.7.2 性能特点与主要技术参数	(323)
13.7.3 工业应用	(324)
13.8 TSJ 辊式破碎机	(324)
13.8.1 结构与工作原理	(324)
13.8.2 性能特点与主要技术参数	(325)

13.8.3	工业应用	(325)
第 14 章	专用/成套设备	(326)
14.1	QFJ 纤维粉碎机	(326)
14.1.1	概述	(326)
14.1.2	结构与工作原理	(327)
14.1.3	性能特点与主要技术参数	(328)
14.1.4	工业应用	(328)
14.2	GJF 干燥超微粉碎机	(329)
14.2.1	结构与工作原理	(329)
14.2.2	性能特点与主要技术参数	(329)
14.2.3	工业应用	(330)
14.3	SFM 热塑性塑料微粉磨	(332)
14.3.1	结构与工作原理	(332)
14.3.2	性能特点与主要技术参数	(333)
14.3.3	工业应用	(333)
14.4	GDF 高效节能废电缆回收设备	(335)
14.4.1	结构与工作原理	(335)
14.4.2	性能特点与主要技术参数	(335)
14.4.3	工业应用	(335)
14.5	FB 系列塑料破碎机	(336)
14.5.1	结构与工作原理	(336)
14.5.2	性能特点与主要技术参数	(336)
14.5.3	工业应用	(337)
14.6	ZJ 系列中药切碎机	(338)
14.6.1	结构与工作原理	(338)
14.6.2	性能特点与主要技术参数	(338)
14.6.3	工业应用	(339)
14.7	XSJ 橡胶粉碎机组	(339)
14.7.1	结构与工作原理	(339)
14.7.2	性能特点与主要技术参数	(340)
14.7.3	工业应用	(342)
14.8	XJF 废旧橡胶精细专用粉碎机	(342)
14.8.1	结构与工作原理	(342)
14.8.2	性能特点与主要技术参数	(342)
14.8.3	工业应用	(343)
14.9	DFJ 低温粉碎机	(344)
14.9.1	结构与工作原理	(344)
14.9.2	性能特点与主要技术参数	(345)
14.9.3	工业应用	(345)

14.10 SVM 强力切碎机	(345)
14.10.1 结构与工作原理	(345)
14.10.2 性能特点与主要技术参数	(346)
14.10.3 工业应用	(347)
14.11 MF 及 HD 型破碎机	(347)
14.11.1 结构与工作原理	(347)
14.11.2 性能特点与主要技术参数	(347)
14.11.3 工业应用	(348)
14.12 FCS 废旧轮胎常温法精细胶粉成套设备生产线	(349)
14.12.1 结构与工作原理	(349)
14.12.2 性能特点与主要技术参数	(350)
14.12.3 工业应用	(352)
第 15 章 辅助设备	(353)
15.1 给料设备	(353)
15.1.1 带式给料机	(353)
15.1.2 叶轮式给料机	(355)
15.1.3 螺旋喂料机	(355)
15.2 输送设备	(357)
15.2.1 螺旋输送机	(357)
15.2.2 斗式提升机	(361)
15.3 过滤与干燥设备	(363)
15.3.1 过滤设备	(363)
15.3.2 干燥设备	(369)
15.4 集料与除尘设备	(377)
15.4.1 旋风集料器	(377)
15.4.2 组合关风机	(378)
15.4.3 脉冲袋式除尘器	(379)
15.5 筛粉设备	(381)
15.5.1 ZS 系列振动筛	(381)
15.5.2 气旋筛粉机	(383)
15.6 混合设备	(385)
15.6.1 DSH 型悬臂非对称双螺旋混合机	(385)
15.6.2 WZ 型无重力粒子混合机	(386)
15.6.3 SCH 锥形混合机	(388)
15.6.4 LDH 犁刀混合机	(389)
参考文献	(391)

第 1 章 超细粉碎工程基础

1.1 现代产业发展与超细粉体

现代高技术和新材料产业的发展、传统产业的技术进步和产品升级要求许多粉体原(材)料具有微细的颗粒、严格的粒度分布、特定的颗粒形状和极高的纯度或极低的污染程度。有的要求平均粒径仅数微米,甚至 $1\mu\text{m}$ 以下;有的要求粒度分布狭窄,产品中粗大颗粒和过细颗粒,尤其是粗大颗粒的含量极低,甚至完全不含有;有的要求颗粒表面光滑、形状规则,有的要求颗粒形状接近于球形、圆柱形、纺锤形、片形、针形或其他形状;有的要求有极高的纯度,杂质允许含量以百万分(ppm)计,许多白色粉体,如碳酸钙、高岭土等,尤其不能为带色的金属(特别是铁、铜、铬、锰、钒等)氧化物杂质所污染。

粉体物料最主要和最重要的质量指标之一是其粒度。这是因为粒度决定了粉体产品的许多技术性能和应用范围。粉体的比表面积、化学反应速率、烧结性能、吸附性能、补强性能、分散性、流变性、沉降速度、溶解性能、光学性能等等都与粉体的粒度大小和粒度分布有关。所谓超细粉体一般是指粒径为 $10 \sim 0.1\mu\text{m}$ 的粉体,而将 $0.1 \sim 0.001\mu\text{m}$ ($100 \sim 1\text{\AA}$) 的粉体称之为超微细或超微粉体。

超细粉体由于其粒度细,比表面积较大,表面质点数多,而表面层的质点与内部质点所受周围质点(原子、离子或分子)的相互作用力是不同的,表面质点在不平衡力的作用下,就会偏离平衡位置,加上超细粉碎过程的机械力激活或机械化学作用,这一切都使超细粉体表面的质点比其内部的质点具有更高的能量(表面能)和活性。因此,超细粉体具有化学反应速度快、吸附量大、溶解度大、烧结温度低且烧结体强度高、填充补强性能好以及独特的分散性、流变性、电性、磁性、光学、遮盖率等性能。

20 世纪 80 年代以来,随着对超细粉体独特性质的认识及超细粉体加工技术的发展,超细粉体在现代工业和高技术及新材料产业的相关领域,如高级(或高技术)陶瓷、陶瓷釉料、微电子及信息材料、塑料、橡胶及复合材料填料、润滑剂及高温润滑材料、精细磨料及研磨抛光剂、造纸填料及涂料、高级耐火材料及保温隔热材料、化妆品、医药和保健品等中得到了广泛的应用。

(1) 高级陶瓷

具有特殊功能(电、磁、声、光、热、化学、力学、生物等)的高技术陶瓷是近 20 年迅速发展新材料,被称之为继金属材料和高分子材料后的第三大材料。在制备高性能陶瓷材料时,原料越纯、粒度越细,材料的烧成温度越低、烧结体越致密、强度和韧性越高,一般要求原料的粒度小于 $1\mu\text{m}$ 甚至 $0.1\mu\text{m}$ 。如果原料的细度达到纳米级,则制备的陶瓷称之为纳米陶瓷,强度和韧性更高,性能更加优异,是当今陶瓷材料发展的最高境界。

(2) 陶瓷釉料

粒度细而均匀的釉料使制品的釉面光滑平坦、光泽度高、针孔少。一般高级陶瓷釉料要求不含大于 $15\mu\text{m}$ 的颗粒。用作高档陶瓷釉料的锆英砂(石)粉的平均粒径要求为 $1 \sim 2\mu\text{m}$,最大

粒径不大于 $10\mu\text{m}$ 。

(3) 电子信息原(材)料

显像管是现代微电子和信息产业的重要器件。显像管用的氧化铝微粉平均粒径一般要求为 $1.5 \sim 5.5\mu\text{m}$ ；黑底石墨乳粒径(G-72B)要小于 $1\mu\text{m}$ ，管颈石墨乳(G-67B)小于 $4\mu\text{m}$ ，销钉石墨乳(G-63B)及锥体石墨乳(G-102B)小于 $10\mu\text{m}$ 。

随着微电子尖端技术的发展，各种电子元件趋向小型化或超小型化，粒径小于 $0.5\mu\text{m}$ 的超细贵重金属粉的加工受到关注；用于厚膜混合电路的半导体浆料和电容器材料都要求粒度微细。用作电容器材料的不同牌号的新型高比容钽粉的平均粒径为 $0.9 \sim 4.1\mu\text{m}$ 。

黑白显像管及电真空器件用的阴极碳酸盐电子发射材料(BaCO_3 , CrCO_3 , CaCO_3 等)，不同牌号产品的平均粒径分别为 $1 \sim 3\mu\text{m}$, $2 \sim 5\mu\text{m}$ 和 $4 \sim 5\mu\text{m}$ 。

磁记录介质可分为连续介质(薄膜)与非连续介质(颗粒)两大类，非连续介质又可分为氧化物磁性材料系列，如 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, CrO_2 , $\text{Co}-\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ，六角铁氧体等，以及磁性金属微粉系列，如 $\text{Fe}-\text{Ni}-\text{Co}$ ，氮化铁等。为了提高磁记录密度与保持高的输出信号强度，颗粒型磁记录介质总是朝高矫顽力、高剩磁感应强度方向发展。提高矫顽力的有效途径是控制颗粒的尺寸，使其处于单畴状态。随着颗粒尺寸变小，单位体积内磁性颗粒数目增加，从而提高信噪比。颗粒尺寸变小有利于提高信噪比，但其最小的极限是超顺磁性临界尺寸。目前磁记录介质所用的磁性颗粒尺寸大致上处于亚微米与纳米之间。

复印粉及打印墨粉等为得到良好的复印质量，要求粒径达到微细而且分布均匀。

(4) 造纸

造纸工业是超细粉体，尤其是白色非金属矿物超细粉体，如高岭土、碳酸钙(重质碳酸钙和轻质碳酸钙)、滑石等的主要应用领域之一。现代高档纸张用的高岭土和碳酸钙面涂料要求细度 $-2\mu\text{m}$ ，含量达到或超过 90%，而且要求填料上限粒径小于 $10\mu\text{m}$ 甚至 $5\mu\text{m}$ ， $0.2\mu\text{m}$ 粒径以下粒级的含量越少越好，底涂料要求细度 $-2\mu\text{m}$ 含量达到或超过 70%~80%，填料要求 $-2\mu\text{m}$ 含量达到 40% 以上。

(5) 高聚物基复合材料

塑料、橡胶、胶粘剂等高聚物基复合材料是无机非金属矿物超细粉体，如碳酸钙(重质碳酸钙和轻质碳酸钙)、滑石、高岭土、云母、硅灰石、石英、氧化铝、氧化镁、氢氧化铝、氢氧化镁、透闪石、伊利石、硅藻土以及金属氧化物锑白等的主要应用领域之一。其中氧化铝、氧化镁、氢氧化铝、氢氧化镁以及金属氧化物锑白等常用作高聚物基复合材料的阻燃填料。这些工业矿物填料的重要质量指标之一是其粒度大小和粒度分布。在一定范围内，填料的粒度越细，级配越好，其填充和补强性能越好。高性能的高聚物基复合材料一般要求无机工业矿物填料的细度小于 $10\mu\text{m}$ 。例如，低密度聚乙烯薄膜要求碳酸钙填料的平均粒径为 $1/4 \sim 3/4\mu\text{m}$ ，最大粒径小于 $10\mu\text{m}$ ；聚烯烃和聚氯乙烯热塑性复合材料要求平均粒径 $1 \sim 4\mu\text{m}$ 的改性重质碳酸钙填料；平均粒径 $1 \sim 3\mu\text{m}$ 的重质碳酸钙在聚丙烯、均聚物和共聚物中的填充量 20%~40%，而且制品的弹性模量较单纯的聚合物还要高；平均粒径 $0.5 \sim 3\mu\text{m}$ 的重质碳酸钙不仅可以降低刚性和柔性 PVC 制品的生产成本，还可提高这些制品的抗冲击强度；在美国，用作塑料填料的高岭土的平均粒径为：粗粒级 $2 \sim 3\mu\text{m}$ ，中粒级 $1.5 \sim 2.5\mu\text{m}$ ，细粒级 $0.5 \sim 1.0\mu\text{m}$ ；煅烧高岭土 $0.3 \sim 3\mu\text{m}$ (硅烷处理)。

(6) 油漆涂料

高档油漆涂料及特种功能涂料也是非金属和金属超细粉体最主要的应用领域之一。高档油漆涂料的着色颜料和体质颜料,如二氧化钛,锌钡白,铅白粉,碳黑,胶体石墨粉,轻、重质碳酸钙,沉淀碳酸钡,高岭土和煅烧高岭土,重晶石粉,白炭黑(沉淀法和气相法白二氧化硅),石英粉,云母粉,滑石粉,铝粉,铜粉,锌粉等,粒度越细、粒度分布越均匀,应用效果越好。例如,作为白色颜料的金红色型 TiO_2 ,考虑其光学性能,最合适的粒径是 $0.2 \sim 0.4 \mu\text{m}$;具有电、磁、光、热、生物、防腐、防辐射、特种装饰等功能的特种涂料,一般要求使用粒径微细、分布较窄的功能性颜料或填料,如含玻璃微珠厚层涂膜的道路标志涂料,所用的玻璃微珠反射填料的平均粒径为 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$;用于高档乳胶漆的煅烧高岭土要求其粒度小于 $10 \mu\text{m}$,甚至更小。

材料表面改性和涂层技术已成为材料科学的一个重要分支。超微(细)粉体材料,如金属及其合金超微粉, Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 等无机非金属超微粉广泛用作金属、无机非金属、高分子材料和复合材料的表面涂层材料,对基体材料表面进行改性并赋予新的功能。

(7) 耐火材料及保温隔热材料

矿物原料的粒度大小和粒度分布直接影响耐火材料及保温隔热材料的烧成温度、显微结构、机械强度和密度。对同一种原料,粒度越细烧成温度越低、制品的机械强度越高。所以现代高档耐火材料一般选用粒径 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ 的超细粉体作为原料。对于轻质隔热保温材料,如硅钙型硅酸钙,石英粉原料的粒度越细,密度越小,质量越好。所以制备密度小于 $130 \text{kg}/\text{m}^3$ 的超轻硅钙型硅酸钙,要求石英粉的细度小于 $5 \mu\text{m}$ 。

(8) 精细磨料和研磨抛光剂

精细磨料和研磨抛光剂如碳化硅、金刚砂、石英、蛋白石、硅藻土、金刚石等,在某些应用领域,如高精密光学玻璃、望远镜和显微镜镜头、显示屏以及半导体元器件和集成电路板等要求其粒度小于 $10 \mu\text{m}$ 甚至小于 $1 \mu\text{m}$,如用于制备研磨和抛光剂的硅藻土,小于 $10 \mu\text{m}$ 的颗粒占 99.95%,颗粒平均粒径 $5 \sim 7 \mu\text{m}$ 。

(9) 石油化工

由于超细粉体粒度细,比表面积大,表面活性高等特性,因此具有很高的化学活性,广泛用于精细化工产品、高效催化剂以及化妆品、高档清洗剂、分子筛、触媒剂等。

微米级及亚微米级无机超细粉体还用作固体润滑剂和添加剂。润滑油向着具有优良的减磨抗磨性能和其他优良性能发展已成为必然趋势,而开发高品质润滑油的关键是固体润滑剂和添加剂。用超细和超微细粉体为添加剂制备的新型润滑材料用于摩擦系统中,以不同于传统的作用方式起减磨抗磨作用。

要使固体润滑剂发挥润滑作用,必须使其进入到摩擦面之间。如果固体润滑剂能够附着在摩擦面上,则能形成固体润滑膜。要使固体润滑剂颗粒进入摩擦面间狭小的缝隙中,不仅粒子要细、分布均匀,粒形好,而且要能够稳定地分散在润滑油中,因此还要对其进行表面改性。

(10) 药品及保健品

研究表明,超细粉碎加工可显著提高药品的生物活性和有效成分的利用率。同时可以将一些难溶或难以提取有效成分的药材加工成易溶、易于提取有效成分或易于被人体吸收的速溶品或保健药品,从而大大提高药材,尤其是传统中药材的有效成分利用率。因此,许多新型药品及保健品都要求原料粒径微细或经过超细粉碎加工(机械激活)。预计,随着用微细原料制造的药品或药材经超细粉碎加工后生理或生物活性和临床应用效果研究的逐步深化,超细粉碎技术将在一定程度上改变传统的制药工业,尤其是某些中药的传统制作工艺和使用方法。