

# 超细粉碎工艺设计与设备手册

郑水林 主编



中国建材工业出版社

# 超细粉碎工艺设计与设备手册

郑水林 主编

中国建材工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

超细粉碎工艺设计与设备手册/郑水林主编. —北京:  
中国建材工业出版社, 2002. 9

ISBN 7-80159-279-4

I. 超... II. 郑... III. ①粉碎-工艺设计-技术  
手册②粉碎-设备-技术手册 IV. TB4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 072478 号

## 内 容 简 介

本书介绍了超细粉体的应用及应用技术的最新进展,并在概述超细粉碎与精细分级设备类型及其应用的基础上,论述了超细粉碎工艺设计与设备选型的原则和程序以及工艺设计、流程计算、主要设备和辅助设备的选型及其实例,全面介绍了国内生产的各类超细粉碎和精细分级设备的结构与工作原理、主要技术性能参数与工艺配置、安装调试与操作以及维护和保养。

## 超细粉碎工艺设计与设备手册

郑水林 主编

\*

中国建材工业出版社出版

(北京海淀区三里河路 11 号 邮编 100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京丽源印刷厂印刷

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:18.75 字数:426千字

2002年9月第一版 2002年9月第一次印刷

印数:1—3000册 定价:35.00元

ISBN 7-80159-279-4/TU·139

## 自序

20世纪70年代以来,随着高技术新材料产业的崛起和传统产业技术进步的加快,市场对超细粉体材料的需求量不断增长,于是超细粉体加工技术和超细粉碎技术也迅速发展,并逐渐形成了一个巨大的产业。各类超细粉碎和精细分级设备也应运而生。面对众多的超细粉碎和精细分级设备及尚未规范的技术参数表述,一些欲投资超细粉体材料加工的厂家不知如何选择,一些已建立的超细粉体材料加工厂又往往因设备选型不合理或操作不当不能实现预期的产品纲领,或因能耗和成本太高没有市场竞争力。面对此种状况,中国建材工业出版社两年后就计划出版《超细粉碎工艺设计和设备手册》一书,以达到方便广大从事超细粉体工艺设计及粉体加工的工程技术人员进行工艺设计和设备操作、维护、管理的目的。本书正是基于上述背景编辑完成的。

本书的第一章、第二章(2.1,2.2,2.3等)由中国矿业大学北京校区郑水林编写;第二章(2.3.2)中的输送及除尘部分由江苏溧阳市中兴环保集团有限公司陈志跃编写;第二章(2.3.2)中的过滤及干燥部分由北京工业大学李杨编写;参与第三章和第四章编写或提供素材的专家和设备制造厂家有:上海化工机械三厂朱恒利(3.1,3.2,4.1部分),沈阳飞机研究所粉体工程公司,昆山市超微粉碎机厂吴建明(气流磨和干法分级机),宜兴清新粉体机械有限公司,潍坊正远粉体工程设备有限公司,中国空气动力研究与发展中心,咸阳非金属矿研究设计院王新江、元丰源(CMSI型超细粉磨机及QF-5A型气流分级机),咸阳陶瓷研究设计院,湖南常德市鸿鹤实业有限公司,浙江丰利粉碎设备有限公司,闽西丰利粉碎设备有限公司,成都纳亚颗粒工程有限公司,江阴市化工机械厂,江阴市中立机械制造有限公司,长沙矿冶研究院张国旺(立式螺旋搅拌机),沈阳华德重矿电机厂塔磨机项目部任茂福,廊坊霍伯尔机械有限公司,郑州东方机器制造厂,重庆化工机械厂,北京虹鼎机械有限责任公司,温州矿山机械厂苏长华、杨俊(振动磨),西安理工大学郭天德(振动磨),洛阳启新技术开发有限公司,上海华东高压均质机厂,辽宁朝阳市超细粉碎工程有限公司,廊坊通用机械有限公司,沈阳航天新光集团公司超微粉碎有限公司朱卫政(JTM型胶体磨),徐州煤矿采掘机械厂,合肥水泥研究院设计院方苍舟(干法分级机),重庆江北机械厂,山东威海市海王旋流器有限公司。全书由郑水林整理,统一全稿。中国矿业大学北京校区研究生杨红彩同学协助整理和绘制了插图。

由于第一次编写超细粉碎工艺设计与设备方面的工具书,以及主编者实际工作经验方面的限制,虽然背后有广大设备制造厂商的参与和支持,书中还会存在一些不足或错误之处,恳请专家学者及广大读者批评指正。

郑水林

2002年5月于北京

# 目 录

## 第一章 概 述

- 1.1 超细粉体的性能及应用 ..... (1)
- 1.2 超细粉碎设备及应用 ..... (5)
- 1.3 精细分级设备及应用 ..... (7)

## 第二章 超细粉碎工艺设计与设备选型

- 2.1 工艺设计与设备选型的原则和程序 ..... (9)
  - 2.1.1 工艺设计与设备选型的原则 ..... (9)
  - 2.1.2 工艺设计与设备选型的程序 ..... (10)
- 2.2 工艺流程计算 ..... (11)
  - 2.2.1 干法工艺流程 ..... (11)
  - 2.2.2 湿法工艺流程 ..... (15)
- 2.3 设备选型 ..... (19)
  - 2.3.1 主要工艺设备 ..... (19)
    - 2.3.1.1 工艺设备选择与计算的依据 ..... (19)
    - 2.3.1.2 工艺设备选择与计算的原则 ..... (19)
    - 2.3.1.3 超细粉碎设备 ..... (20)
    - 2.3.1.4 精细分级设备 ..... (23)
    - 2.3.1.5 主要工艺设备选型举例 ..... (34)
  - 2.3.2 辅助设备 ..... (48)
    - 2.3.2.1 给料设备 ..... (48)
    - 2.3.2.2 输送设备 ..... (53)
    - 2.3.2.3 集料与除尘设备 ..... (83)
    - 2.3.2.4 过滤设备 ..... (93)
    - 2.3.2.5 干燥 ..... (99)

## 第三章 超细粉碎设备

- 3.1 气流磨 ..... (107)
  - 3.1.1 流化床式气流磨 ..... (107)
    - 3.1.1.1 结构与工作原理 ..... (107)
    - 3.1.1.2 主要技术参数与工艺配置 ..... (108)
    - 3.1.1.3 安装调试与操作规程 ..... (113)

3.1.1.4	维护与保养 .....	(120)
3.1.2	扁平式(水平圆盘式)气流粉碎机 .....	(123)
3.1.2.1	结构与工作原理 .....	(123)
3.1.2.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(124)
3.1.2.3	安装调试与操作 .....	(126)
3.1.2.4	维护与保养 .....	(128)
3.1.3	循环管式气流磨 .....	(128)
3.1.3.1	结构与工作原理 .....	(128)
3.1.3.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(130)
3.1.3.3	安装调试与操作规程 .....	(131)
3.1.3.4	维护与保养 .....	(132)
3.1.4	气旋式气流粉碎机 .....	(133)
3.1.4.1	结构与工作原理 .....	(133)
3.1.4.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(133)
3.1.4.3	安装调试与操作 .....	(134)
3.1.4.4	维护与保养 .....	(135)
3.1.5	旋转冲击式气流粉碎机 .....	(137)
3.1.5.1	结构与工作原理 .....	(137)
3.1.5.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(138)
3.1.5.3	安装调试与操作 .....	(138)
3.1.5.4	维护与保养 .....	(139)
3.1.6	CP气流粉碎分级机 .....	(140)
3.1.6.1	结构与工作原理 .....	(140)
3.1.6.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(140)
3.1.6.3	安装调试与操作 .....	(140)
3.1.6.4	维护与保养 .....	(142)
3.2	机械冲击式超细磨机 .....	(142)
3.2.1	CM51A(CM53)型超细粉磨机 .....	(143)
3.2.1.1	结构与工作原理 .....	(143)
3.2.1.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(144)
3.2.1.3	安装调试与操作 .....	(144)
3.2.1.4	维护与保养 .....	(145)
3.2.2	JCF型冲击磨(分级研磨机) .....	(147)
3.2.2.1	结构与工作原理 .....	(147)
3.2.2.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(147)
3.2.2.3	安装调试与操作 .....	(148)

3.2.2.4	维护与保养 .....	(149)
3.2.3	颍(旋)风超细自磨机 .....	(149)
3.2.3.1	结构与工作原理 .....	(149)
3.2.3.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(149)
3.2.3.3	安装调试与操作 .....	(151)
3.2.3.4	维护与保养 .....	(154)
3.2.4	LFS系列离心式粉碎机 .....	(155)
3.2.4.1	结构与工作原理 .....	(155)
3.2.4.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(155)
3.2.4.3	安装调试与操作 .....	(155)
3.2.4.4	维护与保养 .....	(156)
3.2.5	喷射粉磨机 .....	(156)
3.2.5.1	结构与工作原理 .....	(156)
3.2.5.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(157)
3.2.5.3	安装调试与操作 .....	(158)
3.2.5.4	维护与检修 .....	(159)
3.2.6	QZP内分级冲击式超细粉碎机 .....	(160)
3.2.6.1	结构与工作原理 .....	(160)
3.2.6.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(161)
3.2.6.3	安装调试与操作 .....	(161)
3.2.6.4	维护与保养 .....	(162)
3.2.7	CWJ超微粉碎机 .....	(163)
3.2.7.1	结构与工作原理 .....	(163)
3.2.7.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(163)
3.2.7.3	安装调试与操作 .....	(164)
3.2.7.4	维护与保养 .....	(165)
3.3	搅拌研磨机 .....	(165)
3.3.1	研磨剥片机 .....	(166)
3.3.1.1	结构与工作原理 .....	(166)
3.3.1.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(166)
3.3.1.3	安装调试与操作 .....	(168)
3.3.1.4	维护与保养及检修 .....	(168)
3.3.2	ZJM及LJM型搅拌磨 .....	(169)
3.3.2.1	结构与工作原理 .....	(169)
3.3.2.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(169)
3.3.2.3	安装调试与操作 .....	(170)

3.3.2.4	维护与保养 .....	(170)
3.3.3	立式螺旋搅拌磨矿机 .....	(170)
3.3.3.1	结构与工作原理 .....	(170)
3.3.3.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(171)
3.3.3.3	安装调试与操作 .....	(171)
3.3.3.4	维护与保养 .....	(173)
3.3.4	塔式磨 .....	(173)
3.3.4.1	结构与工作原理 .....	(173)
3.3.4.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(174)
3.3.4.3	安装调试与操作 .....	(176)
3.3.4.4	维护与保养 .....	(177)
3.4	砂磨机 .....	(178)
3.4.1	WM型卧式砂磨机 .....	(178)
3.4.1.1	结构与工作原理 .....	(178)
3.4.1.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(179)
3.4.1.3	安装调试与操作 .....	(180)
3.4.1.4	维护与保养 .....	(182)
3.4.2	SW型卧式砂磨机 .....	(184)
3.4.2.1	结构与工作原理 .....	(184)
3.4.2.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(185)
3.4.2.3	安装调试与操作 .....	(185)
3.4.2.4	维护与保养 .....	(187)
3.4.3	SWZ型卧式密闭砂磨机 .....	(189)
3.4.3.1	结构与工作原理 .....	(189)
3.4.3.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(190)
3.4.3.3	安装调试与操作 .....	(191)
3.4.3.4	维护与保养 .....	(193)
3.4.4	HPM320砂磨机 .....	(194)
3.4.4.1	结构与工作原理 .....	(194)
3.4.4.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(195)
3.4.4.3	安装调试与操作 .....	(195)
3.5	振动磨 .....	(196)
3.5.1	MZ(标准)振动磨 .....	(196)
3.5.1.1	产品分类(摘自JB/T8850) .....	(196)
3.5.1.2	结构与工作原理 .....	(198)
3.5.1.3	主要技术参数与工艺配置 .....	(199)



3.5.1.4	安装调试与操作规程 .....	(201)
3.5.1.5	维护与检修 .....	(203)
3.5.2	MZ 系列超细振动研磨机 .....	(203)
3.5.2.1	结构与工作原理 .....	(203)
3.5.2.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(204)
3.5.2.3	安装调试与操作 .....	(205)
3.5.2.4	维护与检修 .....	(207)
3.5.3	MZD 型单筒式振动磨 .....	(207)
3.5.3.1	结构与工作原理 .....	(207)
3.5.3.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(208)
3.5.3.3	安装调试与操作 .....	(209)
3.5.3.4	维护与检修 .....	(209)
3.6	胶体磨 .....	(210)
3.6.1	JM 系列胶体磨 .....	(210)
3.6.1.1	结构与工作原理 .....	(210)
3.6.1.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(211)
3.6.1.3	安装调试及操作规程 .....	(211)
3.6.1.4	维护与保养 .....	(212)
3.6.2	JTM 型胶体磨 .....	(212)
3.6.2.1	结构与工作原理 .....	(212)
3.6.2.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(212)
3.6.2.3	安装调试与操作规程 .....	(213)
3.6.2.4	维护与保养 .....	(213)
3.7	其他 .....	(214)
3.7.1	旋转筒式球磨机 .....	(214)
3.7.1.1	结构与工作原理 .....	(214)
3.7.1.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(215)
3.7.1.3	安装调试与操作规程 .....	(216)
3.7.1.4	维护与保养 .....	(216)
3.7.2	CYB 型高压均质机 .....	(217)
3.7.2.1	结构与工作原理 .....	(217)
3.7.2.2	规格型号及主要技术性能 .....	(217)
3.7.2.3	安装调试与操作规程 .....	(218)
3.7.2.4	维护与保养 .....	(220)
3.7.3	打散解聚机 .....	(222)
3.7.3.1	结构与工作原理 .....	(222)

3.7.3.2	主要技术性能	(223)
3.7.3.3	安装调试与操作规程	(223)
3.7.3.4	维护与检修	(224)
3.7.4	HWV 涡轮磨	(224)
3.7.4.1	结构与工作原理	(224)
3.7.4.2	主要技术参数	(224)
3.7.4.3	安装调试与操作规程	(225)
3.7.4.4	维护与检修	(225)
3.7.5	雷蒙磨	(225)
3.7.5.1	结构与工作原理	(225)
3.7.5.2	主要技术参数与工艺配置	(226)
3.7.5.3	安装调试与操作规程	(227)
3.7.5.4	维护与保养	(230)

#### 第四章 精细分级设备

4.1	干法分级设备	(232)
4.1.1	LHB 型气流分级机	(232)
4.1.1.1	结构与工作原理	(232)
4.1.1.2	主要技术参数与工艺配置	(233)
4.1.1.3	安装调试与操作规程	(233)
4.1.1.4	维修与保养	(235)
4.1.2	FJJ 型分级机	(236)
4.1.2.1	结构与工作原理	(236)
4.1.2.2	主要技术参数与工艺配置	(237)
4.1.2.3	安装调试与操作	(238)
4.1.2.4	维护与保养	(239)
4.1.3	WFJ 型分级机	(239)
4.1.3.1	结构与工作原理	(239)
4.1.3.2	主要技术参数与工艺配置	(240)
4.1.3.3	安装调试与操作规程	(240)
4.1.3.4	维护与保养	(242)
4.1.4	FYW 分级机	(243)
4.1.4.1	结构与工作原理	(243)
4.1.4.2	主要技术参数与工艺配置	(244)
4.1.4.3	安装调试与操作	(245)
4.1.4.4	维护与保养	(246)
4.1.5	FQZ 型分级机	(246)

4.1.5.1	结构与工作原理 .....	(246)
4.1.5.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(247)
4.1.5.3	安装调试与操作规程 .....	(247)
4.1.5.4	维护与保养 .....	(249)
4.1.6	QF-5A(F5)型气流分级机 .....	(249)
4.1.6.1	结构与工作原理 .....	(249)
4.1.6.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(250)
4.1.6.3	安装调试与操作规程 .....	(250)
4.1.7	HTC 涡轮分级机 .....	(251)
4.1.7.1	结构与工作原理 .....	(251)
4.1.7.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(251)
4.1.7.3	安装调试与操作规程 .....	(251)
4.1.7.4	维护与检修 .....	(252)
4.1.8	FJG 型干法粉体分级机 .....	(252)
4.1.8.1	结构与工作原理 .....	(252)
4.1.8.2	主要技术参数及工艺配置 .....	(253)
4.1.8.3	安装调试与操作 .....	(253)
4.1.8.4	维护与保养 .....	(253)
4.1.9	ADW 涡轮式微粉分级机 .....	(254)
4.1.9.1	结构与工作原理 .....	(254)
4.1.9.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(254)
4.1.9.3	安装与调试 .....	(255)
4.1.9.4	维护与保养 .....	(256)
4.1.10	ZMF-800 气流分级机 .....	(256)
4.1.10.1	结构与工作原理 .....	(256)
4.1.10.2	主要技术参数 .....	(257)
4.1.10.3	安装调试与操作 .....	(257)
4.1.10.4	维护与保养 .....	(259)
4.2	湿法分级设备 .....	(261)
4.2.1	卧式螺旋离心分级机 .....	(261)
4.2.1.1	结构与工作原理 .....	(261)
4.2.1.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(265)
4.2.1.3	安装调试与操作 .....	(266)
4.2.1.4	维护与检修 .....	(267)
4.2.2	超细水力旋流器 .....	(270)
4.2.2.1	结构与工作原理 .....	(270)

4.2.2.2	主要技术参数与工艺配置 .....	(270)
4.2.2.3	安装与调试(海王 $\Phi 75 \times 12$ ) .....	(271)
4.2.2.4	维护与保养 .....	(272)
<b>附录 1</b>	<b>超细粉体物料粒度测定方法 .....</b>	<b>(274)</b>
<b>附录 2</b>	<b>计量单位 .....</b>	<b>(275)</b>
<b>附录 3</b>	<b>常见筛制 .....</b>	<b>(277)</b>
<b>附录 4</b>	<b>各种能源折算标准煤系数及各种燃料的发热值 .....</b>	<b>(278)</b>
<b>附录 5</b>	<b>矿物的密度和莫氏硬度 .....</b>	<b>(279)</b>
<b>附录 6</b>	<b>中国主要超细粉碎与精细分级设备厂商 .....</b>	<b>(281)</b>
	<b>主要参考文献 .....</b>	<b>(285)</b>

# 第一章 概 述

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,例如高级陶瓷和耐火材料原料、电子信息材料、高档纸张的颜料和填料、高聚物基复合材料的填料、高档和特种油漆涂料的颜料及填料、高级磨料、固体润滑材料、化妆品原料等等,有的要求平均粒径仅数  $\mu\text{m}$ ,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。

为满足这些要求便产生了超细粉体加工技术或超细粉碎技术。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  $0.1\sim 0.001\mu\text{m}$  ( $100\sim 1\text{nm}$ ) 的粉体称之为超微细或超微粉体。工业上所称的超细粉碎一般是指加工  $d_{97}\leq 10\mu\text{m}$  超细粉体的粉碎、分级及其相关技术,这正是本书所要涉及的领域。

## 1.1 超细粉体的性能及应用

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。

由于粒度越细,粉体的比表面积越大,表面质点数越多,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年迅速发展的

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( $\text{BaCO}_3$ 、 $\text{CrCO}_3$ 、 $\text{CaCO}_3$ 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 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CrO}_2$ 、 $\text{Co-}\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、六角铁氧体等以及磁性金属微粉系列,如 $\text{Fe-Ni-Co}$ 、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、高剩余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。

为得到良好的复印质量,要求复印粉及打印墨粉的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%,而且要求上限粒径填料小于 $10\mu\text{m}$ 、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。高性能的高聚合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为  $1\sim 4\mu\text{m}$  的改性重质碳酸钙填料;平均粒径为  $1\sim 3\mu\text{m}$  的重质碳酸钙在聚丙烯、均聚物和共聚物中的填充量为  $20\%\sim 40\%$ ,而且制品的弹性模量较单纯的聚合物还要高;平均粒径为  $0.5\sim 3\mu\text{m}$  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(沉淀和气相法二氧化硅),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,作为白色颜料的金黄色型  $\text{TiO}_2$ ,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、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  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、机械强度和容重。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,容重越小,质量越好。所以制备容重小于  $130\text{kg}/\text{m}^3$  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  $99.95\%$ ,颗粒平均粒径为  $5\sim 7\mu\text{m}$ 。

#### (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,不仅要粒子细、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。

#### (11)化纤和纺织品

随着聚酰胺纤维(尼龙)、聚乙烯醇缩甲醛纤维(维尼龙)、聚酯纤维(涤纶)和聚丙烯腈纤维(腈纶)等化纤制品的发展以及抗紫外线、抗菌除臭、阻燃、抗静电等功能性纤维的开发,超微细粉体材料,如氧化铝、二氧化硅、钛白粉、氧化锌、氧化镁、电气石碳黑、金属粉等逐渐作为纺织助剂得到应用,而且向多种化纤的添加、多种粉体复配、多种功能复合的方向迅速发展,要求粉体材料的粒径小于  $2\mu\text{m}$ ,最好是小于  $1\mu\text{m}$ 。

#### (12)其他

用作玻璃模具脱模剂的高温润滑涂料,其无机矿物填料石墨、碳化硼等的平均粒径要求小于  $10\mu\text{m}$ ;防止油漆、涂料沉降分层的增粘剂要求粒度超细而且分布均匀;塑料膜片防粘剂,如改性塑料淀粉,要求其平均粒径小于  $10\mu\text{m}$ 。

超细粉碎技术因现代高技术新材料产业的崛起、传统产业的技术进步和产品升级而发展,但超细粉体的广泛应用反过来又促进相关高技术新材料产业和传统产业的更大进步,以至在全球范围内,自 20 世纪 80 年代初以来各种超细粉体原料的需求量呈快速增长。据估计,如以  $d_{97}\leq 10\mu\text{m}$  的粉体作为超细粉体,全世界目前应用的各类超细粉体已达 1800 万 t 以上。美国、日本、德国、英国、法国等西方工业发达国家是超细粉体产品的主要生产国和消费国,其产量和消费量均占全世界超细粉体产量和消费量的 85% 以上,其中美国是全球最大的生产国和消费国。中国在 20 世纪 80 年代,各类超细粉体的产量和消费量每年还不到 10 万 t;进入 90 年代后,伴随工业化程度和工业技术水平的提高、高技术和新材料产业的初步发展以及传统产业技术进步速度的加快,超细粉体的生产和应用发展迅速,1998 年市场需求量已超过 60 万 t;2000 年超细粉体产品的需求量超过 70 万 t。

由于未来高新技术和新材料产业的迅速发展,估计 21 世纪头十年全球超细粉体产品的市场需求量将以平均每年 5.5% 以上的速度增长,略高于同期的全球年平均经济增长率;而同期



中国国内超细粉体产品的市场需求量将以平均每年 8.5% 左右的速度增长,2005 年将达到 105 万 t 左右,2010 年将达到 158 万 t 左右。这是因为未来十年中国的年均经济增长率将高于全球的年均经济增长率,经过产业结构调整工业技术水平和产品产量、档次将大幅度提高。高新技术产业有了较大发展,人民生活质量将显著改善。

## 1.2 超细粉碎设备及应用

目前,超细粉碎设备的主要类型有气流磨、高速机械冲击磨、搅拌球磨机、研磨剥片机、砂磨机、振动球磨机、旋转筒式球磨机、塔式磨、旋(颞)风或气旋流自磨机、高压辊(滚)磨机、高压水射流磨机、胶体磨等。其中气流磨、高速机械冲击磨、旋(颞)风或气旋流自磨机、高压辊(滚)磨机等为干式超细粉碎设备;研磨剥片机、砂磨机、高压水射流磨机、胶体磨等为湿式粉碎机;搅拌球磨机、振动球磨机、旋转筒式球磨机、塔式磨等既可以用于干式也可以用于湿式超细粉碎。表 1-1 列出了上述各类超细粉碎设备的粉碎原理、给料粒度、产品细度及应用范围。

表 1-1 超细粉碎设备类型及其应用

设备类型	粉碎原理	给料粒度 (mm)	产品细度 $d_{97}$ ( $\mu\text{m}$ )	应用范围
气流磨	冲击、碰撞	<2	3~45	化工原料、精细磨料、精细陶瓷原料、药品及保健品、金属及稀土金属粉、高附加值非金属矿等
高速机械冲击磨	打击、冲击、剪切	<10	8~45	化工原料、中等硬度以下非金属矿及陶瓷原料、药品及保健品等
旋(颞)风或气旋流自磨机	冲击、碰撞、剪切、摩擦	<40	10~45	化工原料、中等硬度以下非金属矿及陶瓷原料、药品及保健品等
振动磨	摩擦、碰撞、剪切	<5	3~74	化工原料、精细陶瓷原料、各种硬度非金属矿及金属粉、水泥等
搅拌磨	摩擦、碰撞、剪切	<1	2~45	化工原料、精细陶瓷原料、各种硬度非金属矿及金属粉、药品及保健品等
转筒式球磨机	摩擦、冲击	<5	5~74	化工原料、精细陶瓷原料、各种硬度非金属矿及金属粉、水泥等
研磨剥片机	摩擦、碰撞、剪切	<0.1	$\leq 2\sim 20$	化工原料、涂料和造纸颜料及填料、精细陶瓷原料、各种硬度非金属矿等
砂磨机	摩擦、碰撞、剪切	<0.1	$\leq 2\sim 20$	化工原料、涂料和造纸颜料及填料、陶瓷原料、各种非金属矿等
高压辊(滚)磨	挤压、摩擦	<30	10~45	各种硬度非金属矿、化工原料、精细陶瓷原料等
高压水射流磨	冲击、碰撞	<0.5	$\leq 10\sim 45$	涂料和造纸颜料及填料、中等硬度以下陶瓷原料和非金属矿等
高压均浆机	空穴效应、湍流和剪切	<0.03	$\leq 2\sim 10$	食品、药品、涂料、颜料、轻化工原料等
胶体磨	摩擦、剪切	<0.2	2~20	化工原料、涂料、石墨、云母等非金属矿、蔬菜、水果等食品和保健品等

气流磨是最主要的超细粉碎设备之一,特别是粉碎产品粒度细、纯度要求高和附加值较大的物料时,依靠内分级功能和借助外置分级装置,工业规模的气流磨机最细可加工