

# 超细粉体材料的制备技术及应用

铁生年, 李 星, 李昀珺

(青海大学 新材料实验室, 青海 西宁 810016)

**摘要:**综述了国内外超细粉体材料的制备工艺、加工设备现状及进展,同时介绍超细粉体材料在电子信息、医药、农药、食品、模具、军事、化工等方面的应用,展望了超细粉体材料的发展前景。

**关键词:**超细粉体;设备;制备;分级;应用

**中图分类号:**TB383 **文献标志码:**A

**文章编号:**1008-5548(2009)03-0068-05

## Preparation Technology and Application of Ultrafine Powder Materials

Tie Shengnian, Li Xing, Li Yunjun

(New Material Laboratory, Qinghai University, Xining 810016, China)

**Abstract:** The preparation technology and processing equipment of ultrafine powder materials were summarized. Meanwhile, the applications in electronic information, medicament, agricultural pesticide, food, mold, military, chemical industry were introduced and the development of the ultrafine powder materials was prospected.

**Key words:** ultrafine powder; preparation; application

由于超细粉体材料具有特殊的性能,因此进入 21 世纪以后,超细粉体材料的应用领域不断扩大,机械领域约占 40.3%、热能领域占 34.6%、电磁领域占 12.9%、生物医学领域占 8.9%、光学领域占 2.4%、其它方面占 0.9%<sup>[1]</sup>。目前对于超细粉体尚无一个严格的定义,从几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不同,对超细粉体有不同的划分标准。但无论怎么划分,理想的超细粉体应具有以下特点:1)粒子尽量小;2)粒径分布范围窄;3)无团聚;4)粒子尽量为球形;5)化学成分均一等<sup>[2-3]</sup>。

当今,各国都投入大量人力、物力,对超细粉体进行广泛、深入的研究,特别是在应用领域。在日、美等国,一些常用的超细原料如钛酸钡、氧化锆、氧化

铝等已商品化。国际市场超细粉体有些已进入工业应用阶段。一些国际著名的化学公司纷纷发展超细粉体工业。在德国、美国和日本已出现了超细粉体材料专业开发公司。我国 20 世纪 80 年代才陆续有超细粉体研究的报道,超细粉体材料在许多新领域的应用将有较大的发展,我国已建立了一些超细粉体材料专业生产厂,有的产品如铝粉已形成了生产规模,氧化锆、碳酸钙、氧化钛、氧化硅等已有一定的生产规模<sup>[4]</sup>。近 10 年来,我国引进了一批高新技术,但与之相配套的超细粉体材料有些还要依赖进口。预计 2010 年国内外对超细粉体材料的需求量约为 5.2 万 t,因此,超细粉体作为一种新材料,在国民经济各个领域,特别是一些高科技领域,具有广泛的应用前景。

## 1 超细粉体制备方法

超细粉体制备方法从物质的状态分有固相法、液相法和气相法。固相法主要有机械粉碎法、超声波粉碎法、热分解法、爆炸法等。液相法主要有沉淀法、醇盐法、羰基法、喷雾热干燥法、冷冻干燥法、电解法、化学凝聚法等。气相法主要有气相反应法、等离子体法、高温等离子体法、蒸发法、化学气相沉积法等。这些方法有些尚不成熟,有些难于实用化和工业化,目前在工业上应用较多的是机械粉碎法和液相化学沉淀法及气相反应法等方法。液相法的优点是所制备的超细粉体粒径小、粒度分布窄、粒形好和纯度高,缺点是产量低、成本高和工艺复杂等。该方法仅限于制备某些特殊的功能材料,如超细金红石型二氧化钛粉体、超细磁性氧化铁粉等。机械粉碎法的优点是产量大、成本低和工艺简单等,且在粉碎过程中产生机械化学效应使粉体活性提高;缺点是产品的纯度、细度和形貌均不及化学法制备的超细粉体。该法适应于大批量工业生产,如矿产品深加工等<sup>[5]</sup>。

## 2 超细粉体的制备设备

超细粉体的制备方法有很多,但从其制备的原理上分主要有两种:一种是化学合成;一种是物理粉

收稿日期:2008-09-22。

基金项目:青海省科技攻关项目,编号:2007-G-016。

第一作者简介:铁生年(1966-),男,教授,硕士研究生导师,从事新型无机非金属材料研究与应用。电话:0971-5310576,13897219838, E-mail:tieshengnian@163.com。

碎<sup>[6-7]</sup>。化学合成是通过化学反应或物相转换,由离子、原子、分子经过晶核形成和晶体长大而制备得到粉体<sup>[8]</sup>,由于生产工艺复杂、成本高,而产量却不高,所以应用受到限制。物理粉碎的原理是通过机械力的作用使物料粉碎<sup>[9]</sup>。物理粉碎相对于化学合成方法来说,成本较低、工艺相对简单、产量大。因此目前制备超细粉体材料的主要方法为物理粉碎法。常用的超细粉碎设备有气流粉碎机、机械冲击粉碎机、振动磨、搅拌磨、胶体磨以及球磨机等<sup>[10]</sup>。

### 2.1 气流粉碎机

气流粉碎机又称流能磨或喷射磨,由高压气体通过喷射嘴产生的喷射气流产生的巨大动能,使颗粒相互碰撞、冲击、摩擦、剪切而实现超细粉碎。气流粉碎机可分为圆盘式、对喷式、靶式、循环式、流化床式等<sup>[11]</sup>。粉碎出的产品粒度小,且分布较集中;颗粒表面光滑,形状完整;纯度高,活性高,分散性好。目前超细粉碎机有很多的机型,其中流化床式气流粉碎机是效率最高的。其工作原理为物料进入粉碎室,超音速喷射流在下部形成向心逆喷射流场,在压差作用下使磨底物料流态化,被加速的物料在多喷嘴的交汇点汇合产生剧烈的冲击碰撞,摩擦而粉碎,被粉碎的细粉随气流一起运动至上部的涡轮分级机处,在离心力作用下将符合细度要求的微粉排出。其优点是粉碎效率高、能耗低、磨损极小,可用于高硬度物料的粉碎、产品度窄等<sup>[12]</sup>。其粉碎后的物料平均粒度细,一般小于 $5\ \mu\text{m}$ ,产品污染少,可粉碎低熔点和热敏材料及生物活性制品,生产过程可以连续、生产能力大,自控、自动化程度高。

### 2.2 机械冲击式粉碎机

机械冲击式粉碎机是利用围绕水平或垂直轴高速旋转子上的冲击元件(棒、叶片、锤头等)对物料施以激烈的冲击,并使其与定子之间以及物料之间产生高频的强力冲击、剪切等作用而粉碎的设备。机械冲击式粉碎机通常只能将固体物料颗粒破碎至 $10\ \mu\text{m}$ 大小。随着固体物料颗粒被破碎的越小,由于大气压力对固体颗粒的阻挡分离作用,固体颗粒之间的气膜产生的润滑缓冲作用,以及固体颗粒运动时受到的空气阻力作用,造成机械破碎的效率迅速降低,能量消耗急剧增加,当机械冲击式粉碎机将固体物料颗粒破碎至 $10\ \mu\text{m}$ 大小时,物料颗粒已经可以在空气中随气流作飘浮运动,在空气阻力的作用下,高速旋转子传递给物料颗粒的能量绝大部分将被空气吸收,物料颗粒只能随着空气的流动作飘浮运动,无论高速转子怎样对物料颗粒施以激烈冲击,飘浮的物料颗粒也不可能发生破碎。冲击式粉碎机可为涡轮式、气流涡旋式、内分级式粉碎机等<sup>[13]</sup>。

市场上还有与一般粉碎机不同的高速涡流粉碎机,它不只是利用冲击力和剪断力等单纯作用力进行粉碎,还利用叶片背面产生的无数超声涡流,以及由此产生的高频压力的振动作用将料粉碎,在一定条件下黏性和弹性物料也能被碎。在粉碎作业中原料的基本不变,因而热敏性物质也可进行粉碎。

### 2.3 行星式球磨机

行星式球磨机是利用机械力化学生产超细粉体材料的机械。机械力化学是固体材料在机械力物理化学变化的科学。行星式球磨机优点是充分利用机械力化学的作用在进行超细粉碎的同时进行表面改性。通过球磨机中磨球之间及磨球缸体间相互滚撞作用,使接触磨球的粉体粒子撞碎或磨碎,同时使混合物在球的空隙内受到湍动混合作用而被均匀地分散并相互包覆,而使得表面活性降低,团聚减少,进而促使粉碎继续进行下去<sup>[14]</sup>。其工作原理是在一转盘上有4个球磨罐,当转盘转动时,球磨罐在绕转盘公转的同时又绕自身轴作行星式的反向自转动,罐中磨球和材料在高速运动中相互碰撞、摩擦,达到粉碎、研磨、混合与分散样品的目的,可干磨、湿磨、真空磨,研磨产品最小粒度可至 $0.1\ \mu\text{m}$ 。

### 2.4 搅拌磨

搅拌磨又称砂磨机,是20世纪60年代开始用于超细粉碎中的设备,可分为盘式、棒式、环式和螺旋式。按工作方式分间歇式、连续式和循环式<sup>[15]</sup>。主要由一个静止的内填小直径研磨介质研磨筒和一个旋转搅拌器构成,研磨作用是通过搅拌器把动力直接施加于研磨介质上而实现的<sup>[16]</sup>。其生产效率高,是滚筒球磨机的10倍以上。消耗能源低,搅拌球磨机的耗电量为滚筒球磨机的 $1/4$ ,是气流磨的 $1/13$ 。搅拌球磨机能将各种物料(莫氏硬度在 $2\sim 10$ 之间)均匀粉碎到 $1\ \mu\text{m}$ 以内。作业环境好,无震动、低噪音。球磨桶外设有水套,且有体外冷却系统用于调控温度,确保球磨机连续不间断运转。可以不停机随时添加其它物料,自动化程度高,可以随时检测被磨物料,泵送系统可使物料自动循环、自动上下料。蜗轮系统可以轻易地使球磨桶翻转,更换搅拌臂、介质球十分方便。多种备件(搅拌臂、介质球等)分别由工程陶瓷、不锈钢、耐磨高分子材料等不同材质制作,满足用户的各种特殊需求。

### 2.5 超细分级设备

广义的分级是利用颗粒粒径、密度、颜色、形状、化学成分、磁性、放射性等特性的不同而把颗粒分为不同的几个部分。狭义的分级是根据不同粒径颗粒在介质(通常采用空气和水)中受到离心力、重力、惯性力等的作用,产生不同的运动轨迹,从而实现不同粒

径颗粒的分级。按所用介质可分为干法分级(介质为空气)与湿法分级(介质为水或其它液体)。超细分级设备分干式和湿式超细分级机。其中干式超细分级机的类型主要分惯性分级和离心分级两大类。

干法分级的特点是用空气作流体,成本较低,方便易行。但它有两个不足:一是容易造成空气污染;二是分级的精度不高。湿法分级用液体作为分级介质,存在较多的后处理问题,即分级后的粉体需要脱水、干燥、分散、废水处理等,但它有着分级精度高、无爆炸性粉尘等特点。干法分级机大多是采用离心力场、惯性力场或离心力场对粉体进行分级,它们是目前发展较快的重要精细分级设备。湿法分级机主要有重力沉降式和离心式水力分级机。按是否具有运动部件可划分为两大类:(1)静态分级机:分级机中无运动部件,如重力分级机、惯性分级机、旋风分离器、螺旋线式气流分级机和射流分级机等。这类分级机构造简单,不需动力,运行成本低。操作及维护较方便,但分级精度不高,不适于精密分级。(2)动态分级机:分级机中具有运动部件,主要指各种涡轮式分级机。这类分级机构造复杂,需要动力,能耗较高,但分级精度较高,分级粒径调节方便,只要调节叶轮旋转速度就能改变分级机的切割粒径,适于精密分级。超细分级设备是制备超细粉体非常关键的设备;通过分级,可以生产特定粒度分布的超细粉体。通过分级使粉碎机能耗降低,可以经济地生产超细粉体<sup>[17]</sup>。由于超细粉碎加工中产生的粉体物料粒度微细,因而其比表面积及表面能均很大。此外,粒度越细,物料的机械强度越高。因此,超细粉碎作业能耗较高,粉体在反复机械力作用下还容易团聚。为提高粉碎效率,除强化分级外,有时还要添如助磨剂。

### 3 超细粉体材料的应用

随着粉体技术的不断发展,超细粉体材料在相关传统行业中的应用日益广泛,市场前景十分广阔。超细粉体材料由于颗粒尺寸的微细化,使它的许多物理、化学性能产生了特殊变化,人们将这些性能应用在化工、轻工、冶金、电子、高技术陶瓷、复合材料、核技术、生物医学以及国防尖端技术等领域,大大推进了这些领域的发展,可以说超细粉体材料正在渗入整个工业部门和高技术领域,因此,超细粉体被誉为现代高新技术的原点。目前,超细粉体主要市场面向微电子、化工、轻工、医药、农药、磨料、高技术陶瓷、食品等领域。

#### 3.1 在微电子行业中的应用

超细微粉应用于微电子工业的典型代表有电子浆料、磁记录材料以及电子陶瓷粉料。电子浆料是微

电子领域必不可少的电极材料,它被敷于导体、介电体和绝缘体的表面。用于导电浆的导电性粉末有 Au、Pt、Pd、Ag、Cu、Ni 等;用于介电浆的粉末有 BaTiO<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> 等;用于电阻浆的粉末有 RuO<sub>2</sub>、MoO<sub>3</sub>、LaB<sub>6</sub>、C 等。我国虽有数家单位进行电子浆料的研究生产,但是远不能满足要求,每年需进口一定数量的电子浆料。电子浆料是未来超细微粉重要的应用之一。磁记录材料是用于录音带、录像带的超细针状 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 磁粉的主要应用。研究表明<sup>[18]</sup>,超细磁粉制作的录音带、录像带比普通磁带的记录密度高 10 倍。国内已有这方面的开发工作,有的中试性能指标优于日本 TDK 公司的水平。用气流粉碎面制备永磁合金超细粉的工作也在进行中。电子陶瓷的超细超纯粉料是我国重点开发的超细粉体项目之一,其中 BaTiO<sub>3</sub> 作为 PTC 热敏电阻以及陶瓷电容器的主要原料,随着研究的深入、工艺设备的优化、PTC 应用领域的扩大以及陶瓷电容需求量持续增长,BaTiO<sub>3</sub> 超细粉体的市场前景非常广阔<sup>[19]</sup>。

#### 3.2 在模具制造、军事工业中的应用

在模具制造生产中,颗粒越细、比表面积越大越易于成型和烧结。现在金属注射成形工艺所用的粉末颗粒一般在 0.5~20 μm,既能加速烧结收缩,有助于提高材料的力学性能,延长材料的疲劳寿命,又能改善耐、抗应力腐蚀及磁性能。并且利用模具通过烧结可快速制造高密度、高精度、三维复杂形状的机械零件,能够快速准确地将设计思想物化为具有一定结构、功能特性的制品,并可直接批量生产出零件,是制造技术行业一次新的变革。

在军事工业中,超细粉体由于表面积增大,活性增强,各种反应易于进行,而且反应充分,因此采用超细燃料加入火箭推进剂中,可以大大提高推进剂的燃烧速率,改善药体的力学性能,从而提高火箭发动机的命中精度和威力,对实现国防现代化极为重要<sup>[20]</sup>。

#### 3.3 在轻工、化工行业中的应用

超细粉体的熔点比块状金属低得多,熔点和烧结温度随粒径变小而明显降低,在陶瓷行业中利用超细材料优异的表面活性和低温烧结性能可以极大地提高传统陶瓷产品的质量,同时也改善环境和降低物耗。在机械加工行业中不仅可以减少材料的加工成本,而且材料易于加工<sup>[21]</sup>。

随着化学工业的发展,原料来源广、价格相对便宜、加工制造技术较为成熟的超细非金属矿物材料在化工行业的应用越来越占重要地位。比如采用湿化学法制造超细高纯 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉体,因其具有机械强度高、硬度大、高温绝缘电阻高、耐化学腐蚀性和导热性良好

等优良综合技术性能,已被广泛应用于化工行业的各个生产环节中。

### 3.4 在医药、农药行业中的应用

对中药材进行超细粉碎加工,不仅具有加工无污染、保持物质原有化学性质、粉体造型好等特点,并可使中药材具有独特的小尺寸效应、表面或接口效应等,从而使其表现出许多优异的性能。当药物粉碎到 $10\sim 1\mu\text{m}$ 时药物就会出现定量准确、易吸收、特异性、靶向性等新的优点,能更加充分地发挥药物的作用,提高药效,减轻患者的经济负担。

农药原料经过超细粉碎后可将传统粉碎工艺得到的 $150\sim 200$ 目粒径粉末( $75\mu\text{m}$ 以上)碎至 $5\sim 10\mu\text{m}$ 以下,改善其均匀性、分散性,给药接触面积大大减少农药的使用量。并且超细粉体比表面积大、吸附能力强、耐雨水冲刷,从而保持农药的长效。相应地超细粉体因表面活性强在农副产品和环境中的分解速率加快,因此农药残留量下降,减少了污染<sup>[21]</sup>。

### 3.5 在食品工业中的应用

果蔬超细粉体可作为食品原料添加到糖果、糕点、果冻、果酱、冰淇淋、乳制品、方便食品等多种食品中,增加食品的营养,增进食品的色、香、味,改善食品的质量,增添食品的品种。由于果蔬超细粉体的溶解性和分散性好,容易消化吸收,在保健食品的生产中有广阔的应用前景,如补钙食品、高膳食纤维食品等。果蔬超细粉体有利于食物资源的充分利用。苹果皮、柑橘皮、小麦麸皮、玉米皮、豆皮、米糠、甜菜渣、甘蔗渣等,含有丰富维生素和微量元素,具有很好的营养价值,但由于常规粉碎的粒径大,影响食用口感,而使消费者难于接受。通过细化加工处理,能显著改善食用口感和吸收,从而使果蔬资源得到充分的利用,且丰富了食品的营养和品种。另外,大部分果蔬皮、核均含有特定的营养成分,通过超细化加工可直接转变为食品原料。如柑橘皮核中含有较丰富的碳水化合物、矿物质、生物类黄酮等营养成分,而生物类黄酮中含有消炎、抑制异常毛细血管通透性增加及阻力下降、扩张冠状动脉、增加冠脉流量、影响血压、改变体内酶活性、改善微循环、解痉、抑菌、抗肝炎病毒、抗肿瘤等具有重要的生物活性,有很高的药用价值;芦笋超细化加工后,作为食品填充剂加在饼干中,增加酥脆性和营养性,加在奶糖中增进风味和营养;将胡萝卜渣超细加工后制成橙红色的蔬菜纸,可用于色彩丰富的食品包装,也可直接食用<sup>[23]</sup>。

### 3.6 有机物超细粉的应用

橡胶、塑料、合成树脂等有机高分子材料的超细粉碎技术不同于无机物,它需要将有机材料低温冷冻脆化,避免在加工时产生降解或积蓄热量,以保持物

料原有的物理、化学性能,因此,它是深冷工程技术与超细粉制备技术相结合的一项高技术。80年代以来,国外就开始将废旧轮胎低温冷冻,制成超细胶粉应用在轮胎上,不仅保护了环境,提高了轮胎使用寿命,并创造了高额的经济价值。近年来,我国追踪国外先进水平,利用制冷技术和超细粉碎技术成功地将废旧轮胎加工成超细胶粉,现在正着手进行大规模工业化生产。目前,我国已批准引进了子午线轮胎技术装置,为提高子午胎综合里程、提高翻新率、降低成本都需添加超细胶粉。我国“八五”期间,为适应子午胎的发展,加上斜交胎、管带及橡胶制品均需添加超细胶粉,使得国内市场需求量大增,此后超细胶粉需求量逐年增加<sup>[24]</sup>。

### 3.7 在废弃物再生与综合利用方面的应用

废渣、废地毯、废电缆、废电路板、废汽车轮胎等如何再生利用是环保的需要,也是经济建设的需要。将这些废物回收处理再利用已成为各界关注的课题。将上述废弃物粉碎处理制成各类材料,针对环境与资源的综合利用课题越来越被国内外研究机构重视,有关这类的研究报道逐年增加。如炉渣的粉碎作为填料加入建筑材料中,不仅减轻重量而且经济耐用<sup>[25-26]</sup>。

## 4 结语

随着超细粉体材料的研究向纵深发展,其应用范围将会越来越广泛。但当前从应用范围总体看,除非金属矿及个别领域外,迄今很多尚未完全达到工业生产规模,而且由于超细金属粉价格昂贵,所以不能得到普及应用,今后应在以下几个方面开展研究:1)探求超细加工的新工艺及方法,以获得高纯度、低成本的超细粉材料,这是急待解决的研究课题。2)研究新一代超细粉碎设备。超细粉碎设备是深加工的关键技术环节,要组织力量研制新一代超细粉碎设备,特别是适用于各种物料粉碎的气流粉碎机。在设备型号技术参数选定上,要研制适合贵重物料粉碎的小型设备,以满足贵重物料超细加工的需求。3)集中力量开展对分级设备的研究。许多部门对超细粉材料要求粒度分布范围窄,分级精度高,而微米级干法分级技术难度较大,因此要集中力量开展对分级设备的研制。4)开发多功能超细粉碎和表面改性设备,在进行超细粉碎的同时进行表面改性。

### 参考文献(References):

- [1] REN Jun, LU Shouci, SHEN Jian, et al. Research on the composite dispersion of ultrafine powder in air[J]. Materials Chemistry and Physics, 2001, 69: 204-209.

- [2] 张国旺. 国内外超细搅拌磨机的研究现状和发展[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2006(增刊): 119-123.
- [3] 陶珍东, 郑少华. 粉碎工程与设备[M]. 北京: 化工工业出版社, 2003.
- [4] REN Jun, LU Shouci, SHEN Jian, et al. Electrostatic dispersion of fine particles in the air[J]. Powder Technology, 2001, 120(3): 187-193.
- [5] 任俊, 沈健, 卢寿慈. 颗粒分散科学与技术[M]. 南京: 南京大学出版社, 2002.
- [6] 张国旺. 搅拌磨矿机细磨重钙的前景[J]. 非金属矿, 1997(增刊): 70-71, 62.
- [7] 张国旺. 破碎粉磨设备的现状及发展[J]. 中国粉体技术, 1998, 4(3): 37-42.
- [8] 吉晓莉, 梅心涛, 王浩, 等. 流化床气流磨粉碎制备超细 SiC 片晶的试验研究[J]. 中国粉体技术, 2006, 12(1): 8-1.
- [9] 龚俊, 侯立国, 侯运丰. 湍流粉碎机吸入腔流场的数值模拟[J]. 中国粉体技术, 2006, 12(3): 22-24.
- [10] 王燕民. 采用高压辊磨 - 搅拌磨复合系统的湿法超细研磨研究[C]// 中国颗粒学会 2006 年年会暨海峡两岸颗粒技术研讨会论文集, 北京, 2006: 60-64.
- [11] 刘宏英. 易燃易爆材料超细粉碎技术及设备研究新进展[J]. 爆破器材, 1999, 28(2): 27-31.
- [12] 邓国栋. 易燃易爆的超细粉体生产的安全研究[J]. 工安全技术, 1995, 74(6): 28-29.
- [13] 曾宪滨. 硅灰石微粉碎工艺试用搅拌磨的研究[J]. 非金属矿, 1993(1): 11-14.
- [14] 李冷. 粉碎机机械力化学理论及实验方法[J]. 国外金属矿选矿, 1991, 28(9): 36-42.
- [15] 张国旺. 搅拌型球磨机的研究和发展[C]// 中国颗粒学会制备与处理学术会议, 徐州, 1995: 23-26.
- [16] 邱益. CGM60-B 锥摆式搅拌磨的研制[J]. 化工矿物与加工, 2006(9): 22-24.
- [17] 张国旺, 黄圣生, 李自强, 等. 大型超细搅拌磨机的研制和应用[J]. 中国粉体技术, 2006, 12(4): 48-51.
- [18] 张汝冰. 纳米技术在生物及医学领域的应用[J]. 现化工, 1999, 19(7): 49-51.
- [19] 孙成林. 近年我国超细粉碎及超细分级发展及问题[J]. 矿业快报, 2002(增刊): 65-70.
- [20] 孙成林. 我国干式分级理论研究现状[J]. 中国粉体技术, 2005, 11(3): 22-28.
- [21] 张国旺. 重质碳酸钙粉磨设备及工艺[J]. 无机盐工业, 1999, 31(2): 40-41.
- [22] 李凤生, 刘宏英, 裴重华. 我国超细粉体技术研究中一些重要而亟待解决的问题[J]. 化工进展, 1994, 5(5): 46-49.
- [23] 张国旺. 立式螺旋搅拌磨矿机在工业中的应用[J]. 金属矿山, 1998(9): 36-38.
- [24] 母福生. 破碎理论的研究现状及发展要求[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2006(4): 20-23.
- [25] 杨圣品, 施雨湘. 高能球磨法制备金属微粉的研究[J]. 焊接设备与材料, 2002, 31(3): 43 - 44.
- [26] 马尔翰 S G. 非金属矿超细磨与分选[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.

## 《中国粉体技术》入选 RCCSE 中国核心学术期刊

2009 年 6 月 11~13 日在武汉大学举行的首届“中国期刊质量与发展论坛”上, 主办单位武汉大学中国科学评价研究中心(RCCSE)(<http://rccse.whu.edu.cn/>)推出《中国学术期刊评价研究报告——RCCSE 权威期刊和核心期刊排行榜》,《中国粉体技术》进入该报告的核心期刊区。

本次共有 6 170 种中文纯学术性期刊和半学术性期刊参与评价, 1 324 种进入核心区。在分学科评价中,《中国粉体技术》排行“工程与技术科学基础学科”类的 14/126。

该评价系统由武汉大学中国科学评价研究中心(RCCSE)与武汉大学图书馆和信息管理学院联合研发。该报告将评价对象严格界定为“学术期刊”, 建立了一套同以往相比更科学、更合理的评价指标体系, 采用定量与定性相结合的方法, 在国内外期刊评价中首次同时遴选“权威期刊”与“核心期刊”; 对期刊进行分类排序和分级管理; 自主研发了“中国学术期刊评价信息系统”, 从而大大提高了期刊评价的准确性和效率。

该系统的研究既可以为科学评价和管理提供依据, 为科技领域各项评价提供基础和条件, 也可以为期刊采购、优化图书馆馆藏和开展有效的信息服务提供必要的工具。