

超细粉碎技术研究现状及发展^{*}

吴东印^{1,2}, 冯安生², 卫敏^{1,2}, 张艳娇², 刘广学²

(1. 中国地质大学研究生院, 北京, 100083 2. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 郑州, 450006)

摘要 超细粉碎技术在工业矿物深加工中占有重要的地位, 相关应用领域对各类超细粉体产品需求量不断增大, 超细粉碎技术急需提高。对目前超细粉碎技术的研究现状进行了分析, 指出了今后超细粉碎技术的发展趋势。

关键词 超细粉碎; 工业矿物; 机理; 设备; 发展趋势

中图分类号: TD921⁺.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2004)06-0048-05

The Present Status and Development Trend of the Ultrafine Crush Technology

WU Dong-yin, FENG An-sheng, WEI Min, et. al

(Graduate School of China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The ultrafine pulverization technology is attached to much importance in the deep processing of industrial mineral. With the more and more market demand of superfine powder, the superfine pulverization technology needs much improvement. This paper analysis the present status of the superfine pulverization technology and its future development trends were discussed.

Key words: ultra-fine pulverization; industrial minerals; mechanism; equipments; development trend

超细粉碎技术是伴随现代高新技术和新材料产业, 如微电子和信息技术、航空技术、高技术陶瓷、耐火材料、高聚物基复合材料和新能源、生物化工等产业技术进步以及矿物深加工发展起来的工程技术, 现已成为最重要的工业矿物及其它原材料深加工技术之一, 对现代高新技术产业的发展具有重要意义。加强对超细粉体技术及设备研制与开发, 不仅能提升超微粉加工装备技术水平, 而且能促进超细粉体产品的升级换代, 提高工业矿物资源的合理与高附加值利用水平。

1 超细粉碎技术发展简介

1.1 超细粉体的制备方法

超细粉体的制备一般有两种途径, 一是从粗颗粒出发, 通过机械粉碎法或溶液喷雾法将常规粉体材料进一步细化, 二是从最基本的粒子(原子、分子、离子)出发, 通过物理和化学方法, 将基本粒子凝聚成超细颗粒。机械法是目前工业生产中普遍采用的粉体制备方法。

1.2 超细粉体的分类

根据粉碎加工技术的深度和粉体物料物理化学性质及应用性能的变化, 一般将超细粉体和微细粉体划分为 10~1000 μm(细粉)、0.1~10 μm(超细粉)和 0.001~0.1 μm(超微细粉)三种。对于 10~1000 μm 的粉体一般采用传统的粉碎或磨粉设备及相应的分级设备等进行加工, 这种加工技术称为粉

* 收稿日期 2004-08-30

基金项目: 国土资源大调查项目; 非金属超细粉碎技术及制备项目

作者简介: 吴东印(1970-), 男, 河南郸城人, 副研究员, 在读工程硕士, 主要从事超细粉碎技术及装备研发。

碎;小于 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 的超微细粉目前还难以完全用机械粉碎的方法进行加工,需要采用其它物理、化学方法进行加工。一般将加工 $0.1\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ 的超细粉体的粉碎和相应的分级技术称为超细粉碎。工业上所称的超细粉碎一般是指加工 $d_{97}=10\text{ }\mu\text{m}$ 超细粉体的粉碎和相应的分级技术,主要以机械法加工为主。

1.3 超细粉碎技术进展

超细粉碎技术是非金属矿深加工的基础工艺。它不但要求加工的粉体粒度细、粒度分布范围窄,而且颗粒要有一定的规则外形,从而使超细粉体的应用范围不断拓宽。我国规模或工业化的超细粉体加工及超细粉碎与精细分级设备的制造始于上世纪的70年代末和80年代初。迄今为止,我国超细粉碎技术与设备的发展大体上经过了三个阶段:(1)从上世纪80年代初至80年代中期以引进国外技术和设备为主。非金属矿行业最早引进的超细粉碎设备是意大利生产的气流磨,用于在辽宁海城滑石矿生产微细滑石粉,其间国内的超细粉碎技术、设备制造和工艺刚刚起步,许多方面还是空白。(2)上世纪80年代中期至90年代中期是引进国外技术、设备与国内仿制开发同步进行的时期,我国的超细粉碎设备体系和超细粉碎技术大体上是在这一阶段形成和发展起来的,现今主要的超细粉碎设备制造厂商也基本是在这一时期建立起来的。(3)上世纪90年代中期以后,进入了自主开发和制造为主、引进为辅的阶段,期间建立的超细粉体加工厂大多采用国产技术和设备。从1995年至今,具有自主知识产权或发明专利的超细粉碎技术和设备的数量较前十年显著增加,设备的处理能力、单位产品能耗、耐磨性、工艺配套和自动控制等综合性能显著提高,与国外先进技术和设备综合性能的差距逐渐缩小,国产技术和设备已基本能满足国内非金属矿及其它原材料超细粉碎加工的需要。

超细粉碎已成为最重要的工业矿物及其它原材料深加工技术之一,对现代高新技术产业的发展具有重要意义。超细粉体由于粒度细、分布窄、质量均匀、缺陷少,因而具有比表面积大、表面活性高、化学反应速度快、溶解度大、烧结温度低且烧结体强度高、填充补强性能好等特性以及独特的电性、磁性、光学性能等,广泛应用于高技术陶瓷、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等高技术和新材料产业。

超细粉碎技术因现代高技术新材料产业的崛起而发展,反过来又促进相关高技术新材料产业的更大进步,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。现代工程将需要越来越多的高纯超细粉碎,超细粉碎技术在高技术研究开发中将起着越来越重要的作用。虽然可以通过化学合成法制备高纯超细粉体,但成本过高,至今未能用于工业化生产。获得超细粉体的主要手段仍然是机械粉碎方法。用机械方式获得超细粉体所依赖的超细粉碎与分级技术的难度不断加大,研究深度也越来越深入。

2 超细粉碎机理研究

粉碎与单个材料的破坏不同,它是指对于集团的作用,即被粉碎的物料是粒度和形状不同的颗粒体的集团。诚然,该颗粒集团的粉碎总量与作用于它的能量大小有关。但是,粉碎还是以单个颗粒体的破碎为基础,其破碎的总和就是粉碎的总量。由于各个颗粒体在粉碎时所处的状态不同,要一一追求其各自的状态几乎是不可能的,因此,只能确定其近似的状态,这也就是确定粉碎理论困难的原因。

由于物料粉碎至微米及亚微米级,与粗粉或细粉相比,超细粉碎产品的比表面积和比表面能显著增大,因而在超细粉碎过程中,随着粒度减小至微米级,微细颗粒之间互相团聚(形成二次颗粒或三次颗粒)的趋势增加,在一定的粉碎条件和粉碎环境下,经过一定的粉碎时间后,超细粉碎作业处于粉碎—团聚的动态平衡过程,在这种情况下,微细物料的粉碎速度趋于缓慢,即使延长粉碎时间(继续施加机械应力),物料的粒度也不再减小,甚至出现“变粗”的趋势。这是超细粉碎过程最主要的特点之一。超细粉碎过程出现这种粉碎—团聚平衡时的物料粒度称之为物料的“粉碎极限”。当然,物料的粉碎极限是相对的,它与机械力的施加方式(或粉碎机械的种类)和效率、粉碎方式、粉碎工艺、粉碎环境等因素有关。在相同的粉碎工艺条件下,不同种类物料的粉碎极限一般来说也是各不相同的。

超细粉碎过程不仅仅是粒度减小的过程,同时还伴随着被粉碎物料晶体结构和物理化学性质程度

不同的变化。这种变化对相对较粗的粉碎过程来说是微不足道的,但对于超细粉碎过程来说,由于粉碎时间较长,粉碎强度较大以及物料被粉碎至微米级或亚微米级,这些变化在某些粉碎工艺和条件下显著出现。这种因机械超细粉碎作用导致的被粉碎物料晶体结构和物理化学性质的变化称为粉碎过程机械化学效应。这种机械化学效应对被粉碎物料的应用性能产生一定程度的影响,目前,有关专家正在有目的地将其应用于粉体物料进行表面活化处理。

3 典型超细粉碎设备的概况

超细粉碎设备主要是指以机械法生产超细粉为主的各种与粉碎相关的设备,目前国内主要的超细粉碎设备有以下几种:

3.1 球磨机

在超细粉碎设备中,球磨机借助研磨介质在重力和离心力场下的冲击和研磨完成细磨作业。但是颗粒细化到数 μm 级水平后,大尺寸研磨介质的冲击对进一步的细化已无济于事,研磨作用也因研磨介质的比表面积太小而很微弱。球磨机难以完成 μm 级超细研磨作业。

3.2 振动磨

湿法振动磨的工作原理是以磨机筒体内壁、介质及磨料之间相互作用而产生粉碎,由于介质与振动磨筒体转动方向、速度等不同,归纳起来振动磨内研磨介质的研磨作用有研磨介质受高频振动、研磨介质循环运动、研磨介质自转运动等作用使得介质与介质之间、研磨介质与筒体内壁之间产生激烈的冲击摩擦剪切作用,在短时间将物料研磨成细小的粒子。它主要选用较小的研磨介质(比表面积大),在惯性力作用下对细小颗粒进行冲击研磨。产品细度可达到球磨机所不能及的亚微米级,能量利用率相对高于球磨机。为了达到更细的细度,需要更大比表面积的研磨介质对物料进行研磨。但是大比表面积意味研磨介质的尺寸非常小,因而微小介质的惯性力因质量小而变得很微弱,此时振动磨不再适于作为粉碎能量施加的手段。

3.3 搅拌磨

搅拌磨是到目前为止在超细粉碎设备中最有发展前途而且也是能量利用率最高的一种超细粉碎设备。搅拌磨中的搅拌器使磨机研磨介质和物料在整

个研磨室内不规则地翻滚,产生不规则运动,使研磨介质之间产生相互撞击和研磨双重作用,致使物料磨得很细并得到均匀分散的效果。磨矿能量由机体内的转动搅拌器直接传递。同常规球磨机相比,搅拌磨有三个优点,即采用高磨机转速、高介质填充率和小尺寸介质。前两个特点使搅拌磨获得了极高的功率密度,从而使细颗粒物料的研磨时间大为缩短。第三个特点,即小尺寸介质大幅度提高了对微细物料的研磨效率,搅拌磨有研磨作用还有搅拌和分散作用是具有多种功能的粉磨设备。搅拌磨虽起步较晚,但发展迅速,特别是近十年取得了巨大进展。国产湿式搅拌磨在非金属矿物的超细粉碎中得到了广泛应用,并取得了良好的效果。在高岭土和方解石的超细粉碎中实现了产品中 $-2\mu\text{m}$ 达 90% 以上,可生产高品质造纸涂料、填料和涂料颜料、油墨颜料级产品。总体来讲,搅拌磨的品种规格还较少,处理能力也较小,还有待于进一步改进和完善。

3.4 塔磨机

塔磨机是一种与搅拌磨类似的超细粉碎设备,不同之处在于塔磨机中研磨介质除了作圆周运动外还有上下运动。塔式磨矿机主要由圆筒型塔体及塔中心悬垂的螺旋组成,由塔上电机带动其旋转塔内充填介质及被磨物料,由于螺旋的旋转介质沿螺旋中心轴上升提升到塔顶的介质再沿塔壁下降至塔底,此时加入塔内的待粉碎物料由于与粉碎介质的相互摩擦而粉碎。在湿式塔磨机中,塔体与其相连的分级机,由于泵的作用使矿浆或其它被磨物料流形成循环,分级机的溢流则是产品,返砂则返回塔内再磨。塔式磨机内需衬有橡胶衬板以保护塔体。

3.5 气流式粉碎机

气流式粉碎机也称气流磨。早期气流磨原称喷射磨,是利用气流携带固体物料经喷嘴一同喷入粉碎腔中或喷向冲击靶上将物料粉碎,通称冲击靶式。这种磨不带分级机,物料借气流在机内旋转进行粗细分开,此后出现对喷式、流化床式等多种类型。目前有圆盘式气流粉碎机、O 形气流粉碎机、冲击靶式气流粉碎机、对撞式气流磨、流化床式气流磨。气流磨目前广泛用于各种行业,从市场调查看精细陶瓷、精细化工使用者较多,其次以其它硬质物料的超细粉碎为多。由于它是干法生产,可以省去非金属矿超细粉碎中的烘干工艺。但也存在一些问题:设备

制造成本高,一次性投资大,设备的折旧费高;能耗高,粉体加工成本太大,这就使得它在这一领域的使用受到了一定的限制;它难以实现亚微米级产品粉碎,产品粒度在 $10\ \mu\text{m}$ 左右时效果最佳,在 $10\ \mu\text{m}$ 以下时产量大幅度下降,成本急剧上升,在非金属矿领域的应用就失去了应有的价值。我国农药生产厂过去由于盲目听信宣传都用气流粉碎机,结果是浪费能源、浪费资源。目前许多单位已认识到这一点纷纷将气流磨改成高速旋转冲击式粉碎机。

3.6 冲击式粉碎机

国内机械冲击式超细粉碎设备在最近几年发展迅速,其部分性能指标已达到国外同类设备的水平,部分产品还独具新意。它具有投资少、能耗低、工艺布置简单、粉碎比大、适应性强等特点,比较适合于生产 1000 目以下的中低附加值的中等硬度非金属矿产品。因此,此类设备在非金属材料加工中的应用呈现出一派兴旺发展势头,但品种还比较单一,材质的磨损问题仍困扰着设备制造厂商和广大的用户。关键是应当完善结构、进一步解决材质问题和加工精度。

4 超细粉碎技术的发展趋势

在 21 世纪,人类社会将面临高新技术和新材料产业发展壮大、传统产业技术进步加快、相关应用领域对各类超细粉体产品的需求量日益增大的良好机遇,同时也面临对超细粉体产品粒度及粒度分布、颗粒形状、纯度等要求的提高以及节约能源、保护自然环境和自然资源的严峻挑战。作为与高新技术新材料产业及传统产业技术进步密切相关的原材料深加工技术的超细粉碎工程技术面对这些机遇和挑战,将在加强理论研究的基础上发展新技术、新设备、新工艺的研究,超细粉碎技术是多方面技术的综合,其发展依赖于相关技术的进步,如高硬高韧耐磨构件的加工、高速轴承、亚微米级颗粒粒度分布测定等。因此,超细粉碎技术研究和发展的重点是以下几个方面:

4.1 提高效率,降低能耗,不断提高和改进超细粉碎设备

超细粉碎技术的关键是设备,因此,首先要开发新型超细粉碎设备,与现有超细粉碎设备相比,新型超细粉碎设备的特点应是能量利用率高、生产能力

大、粉碎比大、粉碎极限粒度小、磨耗少、污染轻、适用范围宽或可用于特殊物料,如低熔点、高韧性、高硬度、易燃易爆物料等的加工,或者可实现超细粉碎与表面改性等的复合加工。如日本的 MICRO 超细磨,是一种利用射流冲击的高压均化器和射流粉碎机,已在非金属矿行业得到应用。这类设备利用高压射流的强大冲击力,使得被粉碎物料沿层间解离或在缺陷处爆裂,达到超细剥片的目的。这类设备适用于云母、高岭土等低硬度和层状结晶的非金属矿物的超细粉碎和剥片。其特点有能耗低、噪音小、处理能力大、占地面积小等。

4.2 开发与超细粉碎设备相配套的精细分级设备及其它相关设备

超细粉碎与分级设备相结合的闭路工艺,可以提高生产效率,降低能耗,保证合格产品粒度。可以说,处理量大、高精度分级设备是超细粉碎技术发展的关键,在现有超细粉碎设备基础上,更多地从整个工艺系统的角度来进行研究与开发,完善工艺配套,开发分级粒度细、精度高、处理能力大的精细分级设备和产品输送设备等其它辅助工艺设备,将是主要发展方向之一。

4.3 设备与工艺研究开发一体化

超细粉碎与分级设备必须适应具体物料特性和产品指标,规格型号多样化,而不存在对任何物料都是高效万能的超细粉碎与分级设备。同时要大力开发开发非机械力超细粉碎加工技术。与目前工业上广泛采用的机械超细粉碎技术相比,这种技术的特点是工艺简单、能耗低、效率高、生产能力大,同时便于实现工业化生产。

4.4 开发研究与超细粉碎技术相关的粒度检测与控制技术

超细粉碎的粒度检测和控制技术是实现超细粉体工业化连续生产的重要条件之一。快捷、方便、准确、实用的粒度分析仪、在线粒度监控(分析)仪,有助于实现生产过程产品细度和级配自动监测控制及提高粉碎效率。

超细粉碎在朝着纳米级方向进军,与此相关的低污染耐磨材料和纳米级粉体的分散及评价将成为巨大的技术障碍。在这些方面的研究将会受到重视。

4.5 重视超细粉碎基础理论的研究

基础理论的研究对于超细粉碎技术的开发和应用极为重要。其内容包括微细粉体粒子的粒度与表面物理化学等特性,粉碎过程的描述,不同超细粉碎方法(或机械应力的施加方式)如冲击、研磨、磨擦、剪切、压碎、剥蚀等在不同粉碎环境中的能耗规律,粉碎效率,产品细度与能量利用率,以及对粉碎物料的晶体结构和物理化学性能等的影响。例如,根据不同超细粉碎方法对物料晶体结构及物化性能的不同影响,结合物料的用途,选择合适的超细粉碎工艺设备,避免因超细粉碎加工给物料的使用性能带来不利的影响。或利用超细粉碎加工技术对粉体物料进行选择性的机械激活。通过适度添加助磨剂,有

目的地改善超细粉碎的物理化学环境,以提高粉碎效率与降低能耗等等。

参考文献:

- [1] 严东生. 纳米材料的合成与制备[J]. 无机材料学报, 1995 (1): 1-6.
- [2] 陈建新, 梅海军, 张景香, 等. 超细颗粒的制备及应用[J]. 无机盐工业, 2001 (1): 26-29.
- [3] 郑水林, 等. 中国超细粉碎技术与设备现状[J]. 中国非金属矿工业导刊, 1999 (5): 17-19.
- [4] 盖国胜, 等. 超细粉碎分级技术[M]. 中国轻工业出版社, 2000. 175-224.
- [5] 马正先, 盖国胜, 胡小芳. 非金属矿超细粉碎技术的发展现状与趋势[J]. 金属矿山, 2000 (1): 41-46.

欢迎订阅 2005 年《粉煤灰综合利用》

《粉煤灰综合利用》杂志为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)》、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、中国期刊全文数据库全文收录期刊、全国性建材科技期刊。

《粉煤灰综合利用》杂志 1987 年创刊,是国内最早开展粉煤灰综合利用研究的科技期刊。《粉煤灰综合利用》广泛宣传国家及各级政府有关粉煤灰综合利用的方针政策法规。面向电力、建工、建材、能源、交通、水利、农业、环保、大专院校等领域报道粉煤灰综合利用的新产品、新技术、新工艺、新设备,介绍国内外粉煤灰综合利用基础理论研究新成果和先进经验,促进我国粉煤灰综合利用工作的不断发展。主要栏目有:基础研究、专题研究、科学实验、工程应用、产品开发、生产技术、灰场治理、政策法规、经验介绍、墙改论坛等十多个栏目。理论与实践相结合,面向企业,面向生产,为企业排忧解难。实用性强,内容丰富,信息量大。

《粉煤灰综合利用》杂志大十六开、双月刊,双月 25 日出版,每期 10 元,全年 60 元。国内外公开发行,全国各地邮局订阅,邮发代号 18-213。也可直接向编辑部订阅。

《粉煤灰综合利用》杂志承揽发布广告业务,价格优惠,印刷精美,欢迎索取样刊。广告许可证号:石工商广字第 1301034200006。

网址:WWW.Flyingash.com 国际刊号:ISSN 1005-8249 国内刊号:CN 13-1187/TU 地址:石家庄市东大街 46 号(省图书馆内) 邮编:050011 电话:编辑部 0311-6692425 广告发行部 0311-6061348(传真) E-mail:Facu@heinfo.net 开户行:石家庄市商业银行长安支行 帐号:60320105027071 收款单位:粉煤灰综合利用编辑部。

欢迎订阅 2005 年《中国建材》

《中国建材》杂志(月刊)邮发代号 2-43,是中国建筑材料工业协会主管主办,1980 年创刊的全国建材行业唯一国内外公开发行的综合性月刊。每期 8 元,全年 96 元,邮费 20%。(国内、外刊号:CN11-1353/TU、ISSN1000-0836)。

《中国建筑材料工业年鉴》(年刊)邮发代号 80-185,是由中国建筑材料工业协会主管、主办的一本大型权威性、工具性和资料性年刊。单价 240 元,邮费 10%。(国内刊号:CN11-3116/TU)

单位:《中国建材》杂志社发行部 地址:北京市海淀区三里河路 11 号 邮编:100831 联系人:赵春立 订阅、广告热线(兼传真):88376603、68308436。

万方数据