



# 我国超细粉碎设备的现状与展望

林 胜

(广西机电职业技术学院 机械工程系, 广西 南宁 530007)

**摘要:** 综述我国超细粉碎设备的现状, 从工作原理、结构特点、适用范围等方面介绍其典型设备, 指出目前我国超细粉碎设备存在技术薄弱、自主研发水平有限、产品质量有待提高、缺乏统一的行业标准等问题, 并对今后超细粉碎设备的研究思路和技术开发提出展望。

**关键词:** 超细粉碎; 超细粉体; 设备; 现状

中图分类号: TD921.4 文献标志码: A

文章编号: 1008-5548(2016)02-0078-05

## Present Situation and Prospect of Superfine Crushing Equipments in China

LIN Sheng

(Department of Mechanical Engineering,

Guangxi Technological College of Machinery and Electricity,

Nanning 530007, China)

**Abstract:** The present situation of the superfine crushing equipments in China were reviewed. The typical equipments were introduced in view of working principle, structure characteristics, scope of application and so on. The problems in the field of superfine crushing equipments at present in our country were suggested, such as poor technology, limited independent research and development level, unimproved product quality as well as lack of unified industry standards. The research ideas and technology development of superfine crushing equipments in the future were prospected.

**Keywords:** superfine crushing; superfine powder; equipment; present situation

超细粉碎设备借助机械力将物料磨碎到微米级并进行分级, 由于其加工性能好, 因此被广泛应用于高档涂料、食品、医药、化工、建材、药材、矿业等行业。伴随着全球经济的快速发展, 我国粉体产业发展蒸蒸日上, 粉体设备特别是超细粉碎设备在其中起到了关键作用。多年来, 我国在一些非金属材料进出口方面存在着严重的不平衡, 以石墨为例, 我国在大量低价出口初级产品的同时, 却大量高价进口高附加值的

石墨产品, 两者之间的价格相差 100 多倍<sup>[1]</sup>。究其原因, 既有国外对我国实行石墨加工技术的封锁, 也有我国在石墨原材料深加工与超细粉碎技术方面的不足, 如资源利用率低、能耗高、生产效率低等。开发技术含量高的超细粉碎设备对高效利用石墨尾矿以及化解制约我国石墨新材料产业发展的瓶颈危机具有一定的积极作用, 因此, 研究我国超细粉碎设备的现状, 提升其关键技术, 对实现产业升级并促进现代高技术、新材料产业的发展具有极其重要的意义。

### 1 我国超细粉碎设备的现状

我国超细粉碎设备是伴随着现代高技术和新产业发展起来的新兴产业, 自 20 世纪 70 年代末开始, 从仿制设备到自主研发, 已走过 40 多年的发展历史, 目前所生产的机种类型与国外相差不大, 国际上成熟的机型在我国几乎都能生产, 基本上能满足国内市场日益增长的需求。目前常见的超细粉碎设备类型主要有高速机械冲击磨、气流磨、搅拌磨、振动磨、旋转筒式磨、塔式磨、旋风自磨机、离心磨、高压射流粉碎机<sup>[2]</sup>。超细粉碎设备按粉碎方式不同可分为干式和湿式 2 种, 在工业上多用湿式方式, 如湿式搅拌磨等, 干式粉碎设备以气流式粉碎机、高速机械冲击磨、旋风自磨机等为主, 也有干、湿两用的介质搅拌磨、旋转筒式磨、高压射流粉碎机等。

#### 1.1 高速机械冲击磨

高速机械冲击磨目前在市场上应用较为普遍, 适用于方解石、大理石、白垩、滑石等中等硬度物料的超细粉生产。其工作原理是物料进入机体后, 被围绕水平或垂直轴高速旋转的转子上安装的冲击元件(如锤头、叶片、刀片、棒等)对物料进行猛烈的冲击, 使物料在空气涡流和离心力的双重作用下既发生相互碰撞, 又与转子发生强烈的剪切、研磨、碰撞, 从而实现对物料的超细粉碎。粉碎后的物料在主气流的带动下进入分级区, 达到细度要求的微粉颗粒随气流通过分级转子排出机外, 由收集装置捕集; 不合格粗粉颗粒在离心力作用下被转子叶片打回筒壁, 并返回粉碎区再继续粉碎。这类磨机的优点是粉碎比大, 细粉粒度可调

收稿日期: 2016-01-29, 修回日期: 2016-02-12。

作者简介: 林胜(1973—), 女, 双学士, 副教授, 国家电子信息产业技术培训讲师, Autodesk 中国区 ATC 认证培训教师, 主要从事机械制造及其自动化研究与教学。E-mail: 289880125@qq.com。

节,结构简单,操作容易,配套设备少,安装紧凑,占地面积少,产能大,效率高。它们的缺点是高速运转使得不可避免地产生过热和部件磨损现象。在设计中需考虑使用恰当的冷却方式,如内部强制通风,同时考虑设置合理的排渣系统及使用抗冲击、耐磨性能好的材料,以保证产品质量和减少关键零部件的磨损。目前常用的机型有高速冲击锤式粉碎机、高速冲击板式粉碎机、高速鼠笼式棒销粉碎机等,其中以山东省青岛派力德粉体工程设备有限公司生产的PCJ系列立式超细粉碎机、PWC系列卧式超细粉碎机,上海世邦机器有限公司生产的CM51、ACM53等型号的超细粉磨机、旋风式超细磨(LHJ型机械磨)、JCF型冲击磨,上海细创粉体装备有限公司(原上海化工机械三厂)生产的JCF型机械粉碎机、JBL系列棒式机械粉碎机、JJ(A)500剪切式粉碎机为代表。

### 1.2 气流磨

气流磨广泛用于滑石、大理石、高岭土等中等硬度以下的非金属矿物、化工原料、保健食品、稀土等的超细粉碎加工,其加工的产品具有纯度高、活性大、分散性好、颗粒表面光滑的特点,加上其生产方式属于干法生产,无须对物料进行脱水和干燥,因此在粉碎行业中颇受欢迎。气流磨的工作原理是将干燥、无油的压缩空气通过拉瓦尔喷管加速成超高速气流喷出,使物料颗粒相互发生碰撞、剪切、摩擦而破碎,气流带动破碎的物料颗粒到达分级区,在离心场的作用下颗粒分流,达到细度要求的微粉颗粒由收集器收集,不合格的微粉颗粒则返回重新粉碎,直到达到要求为止。在生产加工过程中,气流磨具有产能大、自动化程度高的优点,是当前国内研究最多、机型最全、技术较为成熟的超细粉碎设备,但也存在以下缺点:自主创新的机型偏少,大型化、专业化生产高纯度、高细度产品少,造价高,能耗大,加工精度难以达到亚微米级产品,材质磨损较大等。气流磨机型较多,常见的有扁平式气流粉碎机、靶式气流粉碎机、循环式气流粉碎机、流化床式气流粉碎机、对冲式气流粉碎机等5大类,其中具有代表性的生产企业有江苏省昆山市密友装备制造有限责任公司生产的QYF-600型气流粉碎机、QBF型惰性气体保护气流粉碎机等,其中QYF-600型气流粉碎机由加料区、粉碎区、分级区等组成,生产能力达到2.2 t/h,与其他类型气流粉碎机相比节能15%~25%。

### 1.3 搅拌磨

搅拌磨是超细粉碎设备中最具有发展前景的粉碎设备,由于研磨介质直接作用于物料,且研磨介质尺寸小,因此所生产的产品最大粒径可细至1 μm以下,被广泛应用于采矿、颜料、非金属矿深加工等行

业。它主要由静止的内装小直径研磨介质的研磨筒和旋转搅拌器构成,由电动机通过变速装置带动磨筒内的搅拌器高速旋转,搅动研磨介质产生冲击力,使物料和磨介作自转运动和多维循环运动,在磨介自身的重力以及因螺旋回转而产生的挤压力作用下对物料进行冲击、研磨、剪切,从而粉碎物料。搅拌磨具有结构简单、操作容易、振动小、噪音低、产品细度可调节、粒径分布均匀、研磨效率高特点,缺点是因工作中多使用湿式粉磨而固-液分离、干燥成本较高。搅拌磨按结构不同分为立式敞开型和卧式封闭型,按研磨方式不同可分为湿式和干式,按工作形式不同可分为间歇式、连续式和循环式,按搅拌器的不同可分为圆盘式、臂棒式、螺旋式、叶片式和偏心环式等。我国搅拌磨发展自1953年至今已有半个多世纪,现在具有代表性的以中信重工机械股份有限公司自主研发的高效超细磨矿设备——CSM1200型立式搅拌磨机为典型,单台磨机每小时可处理120~150 t矿石,出料粒径可根据实际情况调整,可细至0.01 mm。

### 1.4 振动磨

振动磨是以球或棒为介质的超微粉碎设备,所加工的产品细度可至几微米,广泛应用于建材、冶金、化工、陶瓷、玻璃、耐火材料和非金属矿等行业的超细粉体加工。其工作原理是利用研磨介质在作高频振动的筒体内对物料进行冲击、研磨、剪切等作用,使物料在短时间内被粉碎,具有结构紧凑、体积小、质量小、操作简单、维修方便、能耗低、产量高、产品粒度均匀等优点,缺点是噪音大,大规模振动磨对弹簧、轴承等机器零件的技术要求高。振动磨按操作方式不同可分为间歇式和连续式,按磨筒数量不同分为有单筒式和多筒式,按振动特点不同分为有惯性式和偏旋式。目前以河南省新乡市新振机械有限公司等企业生产的ZM系列振动磨为代表,是一类新型高效节能型设备,其中以2ZM系列振动磨运用范围最为广泛,它在磨制细粉和超细粉物料时,比传统的磨机具有明显的优越性,效率提高2~5倍,能耗仅为传统磨机的20%~30%,加工的成品粒径从中等粒径(0.3 mm)到较细粒径(0.074 mm)均可。

### 1.5 其他设备

粉体技术的发展对超细粉碎技术提出了更高的要求,既要保证产品的粒度要求,又要尽可能地提高粉碎效率,因此近十几年来出现了多种新型的超细粉碎设备。

1)胶体磨。胶体磨是一种流体超微粉碎机械,同时还具有粉碎、分散、乳化、均质、搅拌等功能。由电动机通过皮带传动带动转齿(或称为转子)与相配的定齿(或称为定子)作相对的高速旋转,其中一个静止,另一个高速旋转,物料通过本身的重力或螺旋冲击

力,透过定齿、转齿之间的间隙时受到强大的摩擦力、剪切力、高频振动、高速旋涡等物理作用,从而达到精细超微粒粉碎目的,适用于较高黏度物料以及较大颗粒的物料,所加工的产品粒径可达几微米甚至  $1\ \mu\text{m}$  以下,主要用于食品、涂料、化妆品、医药、日用化工等行业。胶体磨一般分为立式、卧式、管道式等,其中以山东省莱州市顺辉化工机械有限公司生产的 JM 型分体式胶体磨和卧式胶体磨为代表。

2)行星式球磨机。行星式球磨机是一种内部无动件的球磨机。此类磨机借助一种特殊装置,由电机带动传动轴旋转,固定齿轮带动传动齿轮轴转动,使球磨筒体既产生公转又产生自转来带动磨腔内的球磨介质产生强烈的冲击、摩擦力等作用,使介质之间的物料被粉碎和超细化。行星式球磨机可以用干、湿 2 种方式研磨和混合粒度不同、材料各异的产品,研磨产品最小粒径可至  $0.1\ \mu\text{m}$ ,广泛应用于建材、地质、陶瓷、矿产、冶金、电子、化工、轻工、医药、美容、环保等行业。

3)切割型湿法超细粉碎机(中国实用新型专利 CN201020667417.0)。该设备由江苏省无锡赫普轻工设备技术有限公司于 2010 年发明,有卧式(HOP-W)和立式(HOP-L)2 种机型。当物料从设备进口被自动吸入工作腔后,经过多个剪切面,产生强烈的剪切、撞击、研磨和空穴等综合作用,使物料被超细粉碎。该发明的核心内容如下:一是利用超高的线速度产生强大的剪切力,对软性物料进行剪切,破碎效果显著;二是利用超细齿隙来控制被粉碎物料的细度,使物料达到超细破碎的目的。切割型湿法超细粉碎机利用梳状定子齿圈及叶轮的高速剪切改善物料的切割效果,保证物料粉碎的细度,通过更换定子的不同齿隙的定子齿圈,实现对物料粉碎细度的控制,适用于食品、生物医药行业和超细碳酸钙、白炭黑等纳米材料的加工。另外,定子组件采用易拆装结构,最大程度地减小定子齿圈厚度,在保证物料粉碎细度的同时,增加出料的通畅度,提高生产效率及产能,降低生产成本。

4)超声波脉冲射流超细粉碎装置(中国实用新型专利 CN200810160980.6)。该装置将超声波技术、脉冲振荡技术、高压水射流粉碎、超音速气流粉碎等粉碎技术原理综合起来,利用超声波高频脉冲射流(如高压水射流和超音速喷射气流)对物料进行超细粉碎。整体设备主要由高压射流发生装置(高压水泵或高压气泵)、超声波发生装置、超声波换能器、超声波探头、超声射流喷嘴、超声波强力脉冲振荡室、混合腔及加速管、进料装置和粉碎室等构成,工作中将电能转换成探头上的强力超高频机械振动脉冲,提高了射流交换给颗粒的能量效率,强化了脉冲射流对物料颗粒的

粉碎作用,提高了物料颗粒的粉碎效率,具有节能、粉碎效率高、适应面广、能够连续生产的特点。

## 2 我国超细粉碎设备存在的主要问题

我国超细粉碎技术和设备是在 20 世纪 70 年代随着现代科学技术和新材料的迅速发展而发展起来的。企业数量多,但规模偏小,生产大型设备的企业更少,大部分企业仅仅满足当前的市场占有率,对未来的市场需求与企业发展考虑不多,在科研投入、技术改进、自主研发等方面明显投入不足,导致产品质量存在局限性,这严重制约了我国超细粉碎设备的发展。在当前倡导的绿色、环保、节能、高效的大环境下,以及大型设备与智能化设备需求呈增长趋势的形势下,我国超细粉碎设备存在着以下急需解决的问题。

### 2.1 缺乏统一的国家与行业标准,超细粉碎设备产品质量良莠不齐

我国超细粉碎设备的研究比世界先进国家如美国、德国、日本等起步晚,基础差,到目前为止,除了 1987 年颁布的 GB/T 3164—1987《超细粉碎机械名词术语》、2010 年颁布的 GB/T 25520—2010《矿物粉磨和超微粉碎设备:安全要求》、2013 年颁布 JB/T 11685—2013《立轴锤式饲料超微粉碎机》和 JB/T 20075—2013《振动式药物超微粉碎机》标准外,仍未有其他国家层面制定的与超细粉碎设备相关的国家标准或行业标准正式颁布<sup>[3]</sup>。各企业的技术水平不一,许多中小型企业生产设备老旧、产品科技含量低,但产品价格低廉,从而造成市场恶性竞争,扰乱市场秩序,妨碍行业健康发展。一些技术先进、实力雄厚的企业自行制定了一些内部使用的超细粉碎设备的相关标准,但大部分规模小的企业则沿用机械标准或套用其他企业的标准,这就导致我国的超细粉碎设备在生产、制造、使用过程中缺乏统一、权威、科学的试验与检测评价方法,企业所生产出来超细粉碎设备质量良莠不齐,消费者在选购产品时往往无章可寻、无法可依。标准体系的缺失在一定程度上制约了超细粉碎设备技术的发展及生产规模的扩大,因此,建立健全相关的法律法规体系,提高行业准入门槛,严格规范行业发展是至关重要的。

### 2.2 自主研发力量不足,超细粉碎设备研发水平有待提高

我国的资源丰富,非金属矿种多,应用领域广,对超细粉碎设备的机型与数量需求量大。虽然我国现在已成为世界上超细粉碎设备的生产大国,但还不是制造强国,部分新技术和先进设备仍依靠进口,主要原因是我国研制超细粉碎设备起步较晚,基础差,管理经验不足,研发力量薄弱,在借鉴外国产品的过程

中没有很好地消化、改进和提高,设备存在技术水平偏低,大部分厂家之间的产品仿制现象严重,市场产品鱼目混珠。另外,生产超细粉碎设备的厂家数量很多,但普遍规模偏小,经费有限,研发资金投入不足,自主研发的产品少,缺乏核心专利技术及竞争力,在设备自动控制、机电一体化方面与国外发展水平存在较大差距,特别是在设备、设计、材质与制造工艺上无法与国外优势企业竞争,如美国 Union Process 公司、德国原 Alpine 公司、日本细川公司和德国 Humbolt-Wedage 公司。近年来我国申请国家知识产权的粉碎机专利与工艺方法相比,少之又少,许多申请的专利基本上多为处于“改良”阶段的实用新型,真正冠以发明专利的很少。在知识产权日益受到保护的今天,我国超细粉碎设备生产企业的发展后劲明显不足,超细粉碎设备研发水平有待提高。

### 2.3 设计效率低,设备加工、绿色环保能力有待提高

由于超细粉碎设备是个新兴产业,我国至今仍缺乏成熟的设计理论及设计依据,并且制造业在当前处于低迷的状态,大部分超细粉碎设备企业存在专业设计人员年龄老化现象,大多数设计单位仍采用传统的平面 Auto CAD 软件进行设计,设计手段落后,加上受市场经济的影响,高校对超细粉碎设备研究的专业开设与投入有限,专家型研究人员总体偏少,因此在超细粉碎设备的设计上往往要通过制作多台物理样机,经过反复多次的试验、比对,才能确定比较合理的机型,产品开发存在耗时耗力、周期长、成本高、设计效率低的情况<sup>[4]</sup>。其次,超细粉碎设备基本上都是高速运转的设备,高速运转部件与被磨或被粉碎物料存在冲击、剪切与摩擦,设备能耗大、噪音大,且设备的损耗也在所难免,损耗在一定程度上又带来了二次污染,同时会缩短设备的使用寿命,增加生产成本,因此,如何降低设备材料的损耗,提高产品的粉碎效率、产量和降低单位产品能耗是超细粉碎设备设计中的重要环节,其任重而道远。

## 3 我国超细粉碎设备的展望

国家“十二五”发展规划明确指出,要加快结构调整,转变经济增长方式,实现节约、降耗、减排的目标,因此,我国超细粉碎设备行业应顺应时代的潮流,紧抓机遇,找准切入点,实现超细粉碎设备的转型升级。

### 3.1 政府主导,企业参与,尽快出台完善的超细粉碎设备行业标准体系

国家工业与信息化部于 2013 年 12 月份发布了《关于印发 2013 年第二批行业标准制修订计划的通知》,将《机械冲击式超微粉碎设备试验方法》与《流化床气流粉碎机》作为我国超微粉碎设备的 2 项行业标

准列入其中计划,由浙江丰利粉碎设备有限公司、江苏昆山密友集团有限公司和中机生产力促进中心等作为主要起草单位,这标志着经过几年的努力,我国超微粉碎设备行业将诞生首批行业标准;然而,仅有这 2 项标准对于指导我国的超细粉碎设备生产还是不够的,政府应发挥主导作用,加快行业标准制定工作的进程,牵头将一些具有先进水平的企业与高校联合组织起来,集众人之力共同研究并出台权威标准,如基础标准、方法标准、安全标准和产品标准等,给用户尽可能提供各类机型的参数进行参考、选择。

### 3.2 加强对外合作与技术交流,提高超细粉碎设备研发能力与技术创新水平

在经济发展和科技进步的大背景下,科学技术是第一生产力,粉体行业的发展离不开先进技术的支持,更离不开超细粉碎设备的提升。企业只有在做好强化自身优势的基础上,依靠科技创新,走技术改造与绿色发展之路,进一步积极开展对外交流与合作,将国外的先进设计理念和设备制造技术吸收进来,才能提高产品的自主设计与开发能力、技术创新能力,特别是提高超细粉碎设备关键零部件的设计能力与加工技术,在新技术、新工艺、新产品上实现新的突破,进一步缩小与国际先进水平的差距。有条件的企业,应加大研发资金与科技人才队伍的建设,自主研发出具有大型化、多样化、自动化、精细化、高效化、智能化的产品,争取实现超细粉碎设备高端转型,力争在绿色、节能、环保与质量上能与国外高端产品抗衡甚至更胜一筹。

### 3.3 利用现代三维设计软件,缩短产品的开发周期

在三维设计日益发展的今天,PRO/E、UG、CATIA 等高端设计软件已经逐渐渗透了机械设计与制造行业。这些软件是基于参数化进行设计的,且具有虚拟装配、运动仿真与有限元分析的功能。当修改设计方案时,变更三维模型的结构与尺寸会直接自动关联修改二维图纸的视图及尺寸,减少了物理样机制作的次数,使传统的设计变得更加轻松、快捷、准确,大大节约了开发成本,也使高效设计多规格、多品种的超细粉碎机完全成为可能,因此,对系列超细粉碎设备的开发和设计引入三维设计方法势在必行。在当前应加大对行业专业设计人员应用三维设计软件的培训,提高他们应用软件研发超细粉碎机的水平,争取设计出多品种、多规格、小批量的粉碎机型,以满足日益增加的市场需求。

超细粉碎设备是粉体工业发展的重要基石,是粉体产品进行超细制粉加工必不可少的工具。改革开放 30 多年来,随着工业化进程的不断推进,我国超细粉

(下转第 85 页)

### 3.3 粒径频率分布

图 7 所示为 5 种分级轮转动频率时的粒径频率分布。由图可知,当加料速度不同时,5 种分级轮转动频率时的粒径频率分布与累积体积分布在整体上有相同的变化,即加料速度越大,分级轮转速变化对粒径频率分布产生的影响越小。在同一加料速度时,随着分级轮转动频率的增大,粒径频率分布增大,但

是粒径小于  $6\ \mu\text{m}$ 。当粒径为  $6\sim 10\ \mu\text{m}$  时,粒径频率分布减小;当粒径大于  $10\ \mu\text{m}$  时,粒径频率分布变化较小。

综上所述,分级轮转速增大在整体上有利于增大粉体中小颗粒的含量,减小大颗粒的含量,但是在一定频率范围内频率变化对粉体颗粒的粒度分布影响较小。这与模拟结果相对应,说明模拟是合理的。

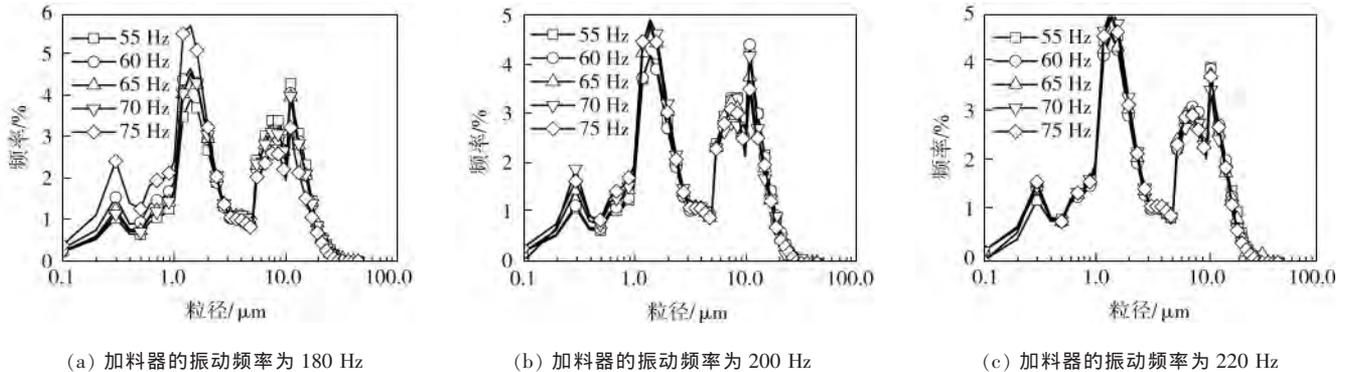


图 7 5 种分级轮转动频率时的粒径频率分布

Fig. 7 Particle size frequency distribution with five kinds of classification wheel rotation frequencies

## 4 结论

1) 分级轮转速增加有利于分级后流场的稳定,可以增大分级产物中细粉含量,但是转速较大时,转速变化对粒径分布的影响较小。

2) 在分级轮转速的变化过程中,加料速度越大,分级轮转速增加对分级产物的粒径分布的影响越小,要增大分级粒径和提高分级效率,应在合适的加料速度下增大分级轮转速。

### 参考文献 (References):

[1] 徐宏彤, 宴丽琴, 李炳锋, 等. 新型涡轮分级设备的研发[J]. 机械研究与应用, 2006, 19(5): 101-102.

- [2] ESWARAI AH C, ANGADI SI, MISHRA B K. Mechanism of particle separation and analysis of fish-hook phenomenon in a circulating air classifier[J]. Powder Technology, 2012, 218: 57-63.
- [3] FENG Yongguo, LIU Jiexiang, LIU Shengzhao. Effects of operating parameters on flow field in a turbo air classifier[J]. Minerals Engineering, 2008, 21: 598-604.
- [4] 梅芳, 张庆红, 陆厚根. 涡轮式气流分级机分级精度影响因素分析[J]. 中国粉体技术, 1996, 2(3): 12-17.
- [5] 高利苹, 于源, 刘家祥. 涡流空气分级机转笼转速对其分级精度的影响[J]. 化工学报, 2012, 63(4): 1056-1062.
- [6] 张宇, 刘家祥. 涡流空气分级机“鱼钩效应”的实验研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2004, 31(3): 51-58.
- [7] SHAPIRO M, GALPERIN V. Air classification of solid particles: a review [J]. Chemical Engineering and Processing, 2005, 44: 279-285.

(上接第 81 页)

碎设备取得了长足的发展,但与国际市场需求仍有一定的距离。在全球经济一体化的今天,《中国制造 2025》表明,未来的世界必定属于智能制造,未来的粉体工业也必将由智能制造来主导。不管粉体行业如何发展,获得超细粉体的主要手段仍然是机械粉碎方式。“工欲善其事,必先利其器”。我们应加强基础理论研究和加大科技投入,在现有设备的基础上优化工艺流程,不断提高创新能力,开发出高技术含量、绿色经济、低能耗、低排放、具有高附加值的超细粉碎设备,争取逐步从超细粉碎设备的生产大国发展成为世界

超细粉碎设备制造的强国,真正实现我们的中国梦。

### 参考文献 (References):

- [1] 李汉清, 刘振宇, 赵霞. 石墨烯技术产业现状及发展建议[J]. 情报探索, 2014(2): 52-56.
- [2] 郑水林. 超细粉碎技术与设备的新进展及发展趋势[J]. 中国粉体技术, 2000, 6(增刊 1): 1-7.
- [3] 陈凯丽, 朱培武, 张晓普. 超微粉碎机械行业标准体系构建研究[J]. 机械工业标准化与质量, 2014(10): 32-35.
- [4] 孙成林. 我国超细粉碎设备的发展前景与努力方向[J]. 硫磷设计与粉体工程, 2007(1): 15-19.