



作者简介:董祖龙(1973-),男,毕业于兰州铁道学院机械系,助理工程师。现在中国科学院宁波三环粉体高技术公司从事设计开发工作,致力于超细粉体的粉碎和分级工作。

## 气流粉碎和分级系统在碳化硅微粉生产中的应用

董祖龙<sup>1</sup>, 柳绮年<sup>2</sup>, 张绪信<sup>1</sup>, 徐长林<sup>3</sup>

(1. 中国科学院三环粉体高技术公司, 浙江 宁波 315803; 2. 中国科学院力学研究所, 北京 100080;  
3. 牡丹江磨料磨具工业公司, 黑龙江 牡丹江 157009)

**摘要:**介绍了用于对碳化硅微细粉实现干法工业生产的气流磨和分级机系统。该系统技术先进、分级切割粒径锐度好、调控和适应性强、生产率高、磨损小和环境污染少,产品完全达到了国标和国际标准要求。分析了分级系统的气动力特性,对影响分级性能的因素进行了讨论。

**关键词:**碳化硅微粉;气流粉碎;气流分级

**中图分类号:**TQ028.9<sup>+</sup>1, TQ127.1<sup>+</sup>2 **文献标识码:**B

**文章编号:**1008-5548(2001)01-0035-03

工业生产的发展、科技进步和市场需求的日益增长,对粉体材料特别是微细粉的制备,提出了更高的要求,包括诸如高生产率、低能耗、粒度分布狭窄及低污染等,这就需要以新的概念和先进的技术制定工艺流程和组织生产。

由于磨料本身的硬度高,要使粒径分布达到国际所限定的范围,对于磨料微细粉的粉碎和分级来说十分困难,因此,磨料行业被公认为是难度最大的粉体加工行业之一。用单一的气流粉碎不仅粒度分布难于控制,且能耗高,还会造成过粉碎,极不经济,为此,需要从粉碎物料中及时分离出符合要求的颗粒来。近十多年来,国内外尝试用气流粉碎加分级系统生产磨料,取得了一些成果<sup>[1]</sup>。本公司在成功研制QLM-630型气流磨的基础上,近年来又开发研制了FJJ型系列分级机,并成功地将这两个系统应用到年产千吨级绿色碳化硅工业生产中,取代了传统的湿法工艺流程。在牡丹江磨料磨具工业公司投产1年多的生产实践证明,该系统运行稳定、可

靠、生产率高、磨损小、操作简便,产品粒径分布完全符合国家和国际标准规定的要求,达到90年代国际先进水平,取得了良好的社会效益和经济效益。该系统还通过了中国科学院高新技术产品鉴定,显示着这一技术具有良好的推广应用前景。本文着重分析了分级系统的气动力特性,对系统运行工况对分级性能的影响进行了讨论。

### 1 系统工程原理及结构特点

#### 1.1 工作原理

目前国内外最先进的分级机,无不采用带转动件型式,这是由于它调控性能好,能对微细粉粒经进行精确分级。对于带有转动部件的分级机,因分级过程中颗粒和颗粒群的运动极为复杂,迄今仍无准确和完善的理论来描述它们。其工作原理是:在旋转叶轮形成的流场中,颗粒主要受到离心力和气体阻力同时作用,受到较大离心力的颗粒易被分离,受阻力大的颗粒易被气流带出。至今被人们采用的一种单个颗粒运动简化的二维模型<sup>[2,3]</sup>,是利用离心力与阻力平衡,获得分级粒径即切割粒径 $d_c$ (cm)为

$$d_c = \sqrt{\frac{18 R v_r}{(s - g) v_t^2}} \quad (1)$$

式中  $v_t$ 、 $v_r$ ——分别是在流场中分级圆半径为 $R$ 处的切向和径向速度,cm/s;

$R$ ——分级轮的半径,cm;

——空气的粘度,g/(cm·s);

$g$ 、 $s$ ——分别是空气的密度和固体颗粒的密度,g/cm<sup>3</sup>。由于空气密度 $g$ 大大低于固体颗粒密度,可以忽略。

收稿日期:2000-06-22 修回日期:2000-12-04

考虑分级机的结构和系统运行参数, (1) 式有以下关系

$$d_c = \frac{9.55}{n} \sqrt{\frac{18 Q}{s r_0 h (2 r_0 - b z)}} \quad (2)$$

式中  $n$  —— 分级轮转速, r/s;  
 $r_0$  —— 分级轮半径, cm;  
 $b, h$  —— 分别是分级轮的叶片厚度和高度, cm;  
 $z$  —— 分级轮叶片的数量;  
 $Q$  —— 系统运行的风量  $\text{cm}^3/\text{s}$ 。  
 切割粒径简单的函数关系可表示为

$$d_c = k \frac{\sqrt{Q}}{n} \quad (3)$$

由上式可见, 切割粒径的大小主要与分级轮的转速  $n$  成反比, 与系统运行风量的  $Q^{1/2}$  成正比。为了满足对微细粉进行精细分级的要求, 在分级机的结构系数  $k$  确定后, 必须对系统运行参数进行很好的调试。

### 1.2 结构特点

针对用户年产千吨级、多种规格碳化硅微粉的要求, 我们采用的工艺流程如图 1 所示, 这是两个独立的非在线、开环运行系统。

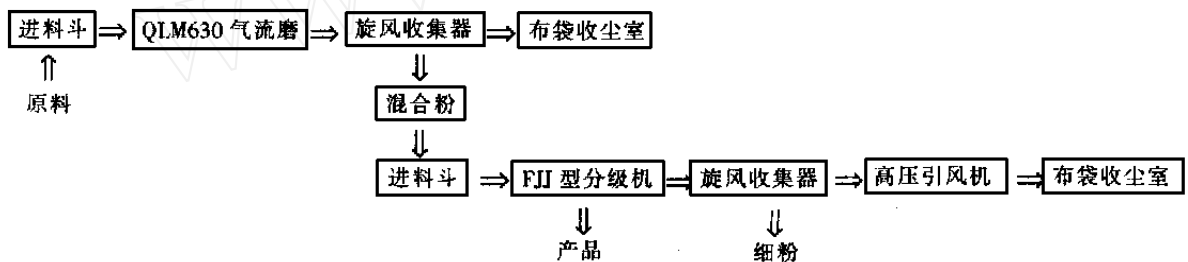


图1 碳化硅磨料干法生产微细粉工艺流程框图

FJJ 型分级系统主机的设计, 采用立式旋转叶轮结构, 气流和物料由切向进入分级室, 在叶轮高速旋转的离心力场中, 粗颗粒得以分离。系统配置了辅助风: 分级室外夹套引入气流为“吹散风(三次风)”, 它使微粉在分级室更充分地分散; 下筒体设置了“托起风(二次风)”和调隙锥, 可将被大颗粒夹带着的细颗粒扬起上浮, 送入分级室再次进行分级, 以改善分级的切割锐度。旋风分离器用于两系统的细粉收集, 剩余微量粉尘则通过大面积布袋除尘室收集, 粉尘的排放总量完全符合环保要求。

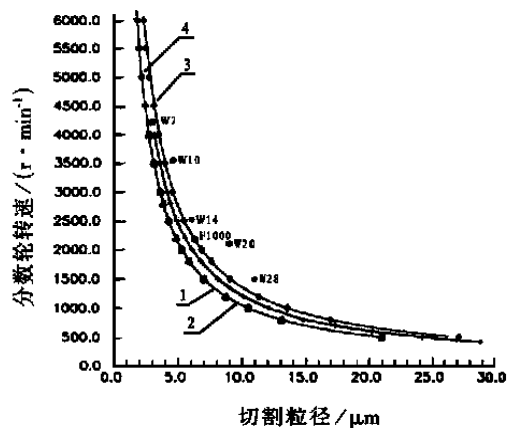
## 2 系统运行参数对分级性能的影响

### 2.1 分级轮转速与系统风量

由(3)式分级粒径  $d_c$  与分级轮转速  $n$  关系可见, 对微细粉的分级显然需要提高分级轮的转速。Galk 等<sup>[3]</sup>指出, 对切割粒径  $d_c = 1\mu\text{m}$  微粉, 分级轮的圆周速度  $v_t$  约为  $100\text{m/s}$ ; 当  $d_c = 0.5\mu\text{m}$  时,  $v_t$  高达  $200\text{m/s}$ 。但是,  $n$  值不可能无限增大, 即使增加到很大, 切割粒径  $d_c$  的减小也非常有限。根据分级原理, 在分级轮转速不变的情况下, 对系统的运行风量  $Q$ , 包括对辅助风进行合理调节, 当风量小时可获得较小的切割粒径。这是因为分级轮转速的高低决定离心力场的大小, 而系统风量的大小影响着

颗粒所受阻力的的大小。系统运行参数的调节, 本质上就是使颗粒获得尽可能大的离心力和最小的阻力。

图 2 分别给出了 630 型和 200 型两个分级系统由(3)式估算在不同风量下切割粒径  $d_c$  随分级轮转速  $n$  的变化。图中还示出了针对几种规格的碳化硅微细粉在生产运行时实测的产品切割粒径。由图可见, 系统运行结果与理论估算值定性符合, 在小风量运行时则较为接近。实践证明, 为了获得微细粉的精确分级, 单纯提高分级轮转速是不经济的, 还



1, 2—FJJ - 630 型在大风量和小风量运行

3, 4—FJJ - 200 型大风量和小风量运行

图2 分级机切割粒径特性(SIC)

需合理地控制辅助风与主风量的比例,系统在相对小风量运行时,调节分级轮转速对切割粒径的变化更为灵敏。但是总风量的减少将导致处理量的减少,显然也是不经济的,因此,系统运行时应权衡利弊,选择最佳工况参数。

## 2.2 微细粉的进料与分散

微细粉由于其流动性差、易团聚和结块,对粉料的喂料和分散造成较大困难,常用的振动喂料器和螺旋喂料器,不仅均匀性差、机件磨损严重,且团聚和结块直接影响了分级效果。有报道显示<sup>[2]</sup>,对于  $d_c = 10\mu\text{m}$  的微细粉,其表面粘附力约是重力的  $10^5$  倍,当  $d_c = 1\mu\text{m}$  时,达重力的  $10^7$  倍,因此克服粘附力强化对微细粉的分散,对精细分级是非常重要的。FJJ 分级系统采用了振动喂料器 + 关风机 + 长管气体输送相结合的方法,保证进入分级室的粉料是均匀、定量喂入的。由分级室外夹套引入的三次风,进一步帮助细粉的分散,这使生产运行稳定,工人易于操作,在微粉处理量高达  $200\text{kg/h}$  时,也能保证产品的质量。

## 2.3 QLM 气流磨和 FJJ 分级系统在磨料生产中的特点

根据国内外对磨料不同规格粒径分布的要求,我们采用如图 1 所示的气流磨粉碎和分级机分级两个步骤,组织和实施工艺流程。首先,将 36 目左右的原料粗粉在 QLM - 630 型气流磨中粉碎,控制气流磨各项参数,使粉碎的混合粉(半成品)粒度组成基本为正态分布,且最粗颗粒含量不允许多于 1~2 颗,或以  $D_{35}$  计的粗颗粒不超标;第二步,将混合粉送入分级系统,设置分级轮转速的系统风量,去除多余的细颗粒,达到细粒含量小于一定质量分数,或以  $D_{94}$  计的细颗粒不超标,完全符合磨料标号产品的要求。简言之,即采用气流磨切粗头、分级机切细头的工艺,实现了干法生产微细粉磨料。

由 QLM - 630 型气流磨和 FJJ 型分级系统生产的碳化硅微粉产品,不仅完全满足我国磨料行业沿用的 GB2477 - 83 标准中, W14、W10、W7、W5 等微细粉产品粒度分布要求,而且达到日本用于固结磨具用磨料微粉的 JIS R6001 - 1987 工业标准中, F1000、F1200、F2000 等产品的粒度分布要求,细粉得率达到 80%,得到了日本客户的好评。图 3 给出了典型样品经粒度分布检测的结果。

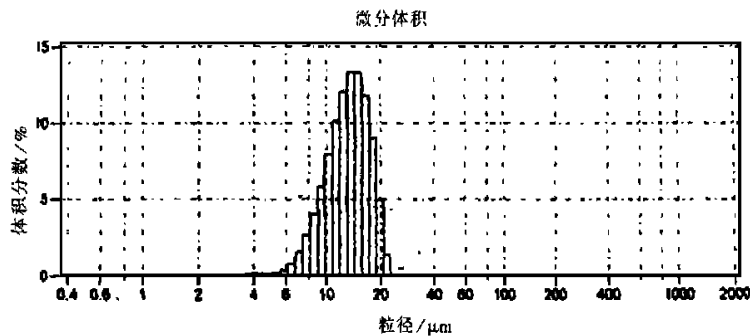


图 3 碳化硅微粉的粒度分布

## 3 结论

用气流磨加分级系统干法生产磨料的工艺,其技术先进、结构简单、生产率高、操作维修方便、能耗小和污染低,性能大大优于湿法工艺,在磨料行业推广具有良好前景。这项技术也适用于冶金、化工、建材、医药等行业对微细粉的分级。

分级技术包括硬件和软件两方面,除对系统的结构和制造进行合理设计及布局外,还必须严格而精细地调节系统运行参数,对于不同物料和不同粒度分布,需寻找最佳运行工况。鉴于气流磨和分级

系统的流场十分复杂,进一步深入对分级原理和优化性能的研究是十分必要的。

### [参考文献]

- [1] 梁云. 流态化涡流式分级机的开发研究[A]. '96 全国粉体技术在磨料行业中的应用研讨会[C]. 1996,北京, 41 - 46.
- [2] Galk J, Peukert W. Cyclone classifier for inline - and - off-line classification[J]. Powder Handling and Processing, 1996, 8(3): 55 - 58
- [3] 郑水林. 超细粉碎原理、工艺设备及应用[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1993.