

超细粉碎分级系统设计与实验研究

刁雄,李双跃,黄鹏,金应贵

(西南科技大学制造科学与工程学院,四川绵阳621010)

摘要:针对目前超细粉体制备中存在的问题,分析了ACM冲击式粉碎机的粉碎机理和SCX型超细分级机的工作原理,设计了新的超细粉碎分级系统。实验表明:对中小硬度矿物的粉碎分级,产品粒径小于15 μm的占80%以上,小于30 μm的占90%以上,平均粒径在10 μm以下。

关键词:超细粉体;粉碎分级;制备工艺

中图分类号:TD97

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2011)04-0083-04

Design and experimental study of superfine crushing and grading system

DIAO Xiong, LI Shuang-yue, HUANG Peng, JIN Ying-gui

(School of Manufacturing Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: In order to overcome the shortcomings of existing superfine powder manufacturing process, a new superfine crushing and grading system is designed by analyzing the working principles of impact crusher ACM and superfine classifier SCX. The results show that, when this system is used to crush and grade the medium or low hardness ores, the percentage of the superfine powder with particle size of less than 15 μm is above 80%, and the percentage of that with particle size of less than 30 μm is above 90%. The mean particle size is below 10 μm.

Key words: superfine powder; crushing and grading; manufacturing process

超细粉体技术是20世纪70年代中期发展起来的新兴学科,是一门跨学科、跨行业的综合性学科^[1]。超细粉体材料具有粒度细、比表面积大、表面活性高、化学反应速度快、缺陷少等性能,在各工业领域中得到了较为广泛的应用^[2]。

机械法制备超细粉体因其产量大、成本低而被广泛应用,但粉碎是一个概率过程,只有部分粉体达到粒度要求,已经达到要求的产品如果不能及时分离出去,将造成物料的过粉碎,使粉碎效率降低;超细分级机能及时将粉碎后的产品进行有效的分级,避免物料的过粉碎,提高粉碎效率和降低能耗^[3]。

随着现代工业的发展,各应用领域对超细粉体提出了粒径小、粒度分布窄、纯度高、颗粒外形规整等要求。这就要求对粉碎设备、分级装置进行优选,对粉碎分级系统进行优化。本研究中以ACM超细粉碎机和SCX型超细分级机为主体组成闭路循环系统,在超细粉体的粉碎、分级和产品收集过程中取得了良好的效果。

1 ACM超细粉碎设备

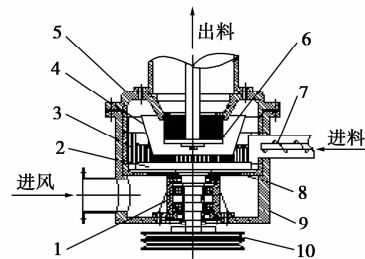
超细粉碎设备种类较多,主要有气流磨、球磨机、振动磨、射流粉碎机、介质搅拌磨和高速冲击式

粉碎机等^[4]。冲击式粉碎机因其具有单位能耗的粉碎能力大,物料很少发生团聚现象,可连续运转,应用范围广等优点而被广泛应用^[5]。

1.1 结构和工作原理

1.1.1 结构

ACM超细粉碎机是一种典型的机械冲击式粉碎机,其粉碎室结构主要由轴承座、动磨盘、静磨盘、分流环、上磨壳、分流环、上磨壳、分级轮、喂料螺旋、挡风盘、下磨壳等组成,具体结构如图1所示。



1—轴承座;2—动磨盘;3—静磨盘;4—分流环;5—上磨壳;
6—分级轮;7—喂料螺旋;8—挡风盘;9—下磨壳;10—带轮

图1 ACM超细粉碎机粉碎室结构图

1.1.2 工作原理

物料在螺旋喂料器的作用下,进入粉碎室,在高速旋转的动磨盘和带齿的静磨盘之间受到冲击、

收稿日期:2010-12-03

基金项目:国家科技计划(09C2621502330);四川省教育厅青年基金(09ZB094)项目资助

作者简介:刁雄(1986-),男,硕士生,研究方向为机械制造工艺与装备,diaoxiong1986@163.com;李双跃(1958-),女,博士,教授,研究方向为粉体制备技术及装备、制造业信息化,通讯联系人,0816-6088225,shuangyue-58@263.net。

剪切和摩擦等作用而粉碎,在负压作用下,被粉碎后的颗粒向上运动至粉碎室上部,颗粒运动方向改变 180° 进入分流环与分级轮之间的分级室,此时因为颗粒运动方向突然改变,撞击到机壳,有一部分粗颗粒下落;在分级室内,颗粒主要受到因分级叶轮高速旋转而产生的离心力 F_u ,负压气流对颗粒的气流阻力 F_r 以及自身重力 G 的作用。粗颗粒受到的离心力 F_u 大于气流阻力 F_r ,被甩向分流环内壁,碰撞失去动能后掉入粉碎室继续粉碎;而细小颗粒受到的气流阻力 F_r 大于离心力 F_u ,在负压气流的作用下,通过分级轮叶片间的间隙被带出粉碎室进行气固分离。

1.2 粉碎机理

物料在 ACM 超细粉碎机内的粉碎机理较复杂,但颗粒受到粉碎的方式可归纳为以下几点:①高速转动冲击销棒对物料颗粒的直接冲击作用;②带齿衬套的静磨盘对物料颗粒的反击作用;③转动销棒和静磨盘所形成的狭窄间隙对物料颗粒的剪切、挤压和摩擦作用;④物料颗粒间的相互碰撞、摩擦作用。

对于细小颗粒的粉碎,在冲击式粉碎机内的粉碎过程中起主要作用的是颗粒与碰撞靶(冲击销、定子等)的冲击粉碎及剪切挤压粉碎,而颗粒间的碰撞粉碎作用不明显。冲击粉碎的原理可通过碰撞原理分析^[6],设有 2 个颗粒(或颗粒与销棒),质量分别为 m_1 和 m_2 ,碰撞前后的速度分别为 V_1 、 U_1 及 V_2 、 U_2 ,则有

$$m_1 V_1 - m_1 U_1 = \int_0^t P dt \quad (1)$$

$$m_2 V_2 - m_2 U_2 = \int_0^t -P dt \quad (2)$$

式(1)和式(2)中, P 为冲击力。

设冲击碰撞后,2 个颗粒具有相同的速度 U ,则有:

$$U = (m_1 V_1 + m_2 V_2) / (m_1 + m_2) \quad (3)$$

碰撞过程中的能量损失为:

$$\Delta W = W_0 - W_n = m_1 m_2 / 2(m_1 + m_2) \cdot (V_1 - V_2)^2 \quad (4)$$

式(4)中, W_0 为 2 颗粒碰撞前的动能之和, W_n 为碰撞后 2 颗粒的动能之和。

对于机械冲击式粉碎机,旋转体或转子的质量相对于颗粒可视为无限大(即 $m_2 = \infty$),且被粉碎颗粒冲击前的速度相对于高速旋转的转子来说可视为零(即 $V_1 = 0$),则

$$\Delta W = m_1 V_1^2 / 2 \quad (5)$$

碰撞过程中的能量损失是颗粒粉碎的原因,对

于脆性物料(大多数矿物是脆性物料),碰撞的能量几乎都损失了,当碰撞的能量超过粉碎所需的能量,颗粒将被粉碎。

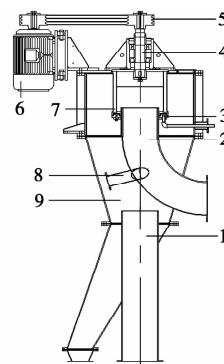
2 SCX 超细空气分级机

超细粉体因具有较高的表面能而容易团聚,使粉碎工艺恶化,解决这一问题的关键是设置超细分级设备,与超细粉碎机组成闭路循环,将合格产品及时分离出来,粗粒返回再磨,以提高粉碎效率和降低能耗^[7]。

2.1 结构和工作原理

2.1.1 结构

SCX 型超细分级机^[8]因其具有分级精度高、分级性能好、粒径小、能耗低等优点而逐渐被广泛应用。其结构主要由进料管、细粉出口、气动密封装置、主轴、皮带、电机、转子、二次进风口、粗粉集料锥等组成,其结构如图 2 所示。



1—进料管;2—细粉出口;3—气动密封装置;4—主轴;5—皮带;
6—电机;7—转子;8—二次进风口;9—粗粉集料锥

图 2 SCX 型超细分级机结构示意图

2.1.2 工作原理

物料在负压气流作用下,从进料管进入到下锥体,由于气流过流断面面积增大,气流速度减小,此时,粗颗粒所受的上升作用力不足以克服其重力,颗粒的沉降速度大于气流上升速度,颗粒向下沉降;细颗粒的沉降速度小于气流上升速度,被上升气流携带向上运动,颗粒愈细,其向上速度愈接近气流速度,至此完成第 1 次分级。颗粒运动到分级室内,物料主要受到自身重力 G 、惯性离心力 F_u 、气流阻力 F_r 。当 $F_u > F_r$ 时颗粒做离心运动,与边壁碰撞失去动能后落入粗粉集料锥,当 $F_u < F_r$ 时,颗粒在气流的携带下向转子中心运动,通过细粉出口作为成品输出;当 $F_u = F_r$ 时,颗粒在径向受力达到平衡,加速度为零,颗粒做圆周运动,但任意因素的改变都将

改变颗粒的这种运动状态,颗粒在重力的作用下最终落入粗粉集料锥,实现第2次分级。

2.2 分级机理

超细分级机理对设备的设计和选型具有重要作用,可假设:①颗粒为球体,在分级过程中,器壁与颗粒、颗粒与颗粒间的距离足够远,可忽略相互间的影响;②流体为不可压缩的牛顿体,即速度梯度呈直线变化的理想流体;③颗粒在分级面附近的回转速度与分级面圆周速度相等。

从分级室内,径向方向上颗粒主要受到剩余离心力 F_u 和颗粒运动时气体阻力 F_r 的作用,颗粒就是在这2个力的作用下完成分级的^[9]:

$$F_u = \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_s - \rho_e) \frac{V_u^2}{R} \quad (6)$$

$$F_r = C \frac{\pi}{4} d^2 V_r^2 \frac{\rho_e}{2} \quad (7)$$

式(6)、(7)中, V_u 为颗粒的切向速度,相当于转子回转速度(m/s); V_r 为气流径向分速度(m/s); R 为气流回转半径,相当于分级机转子半径(m); ρ_s 为颗粒密度(kg/m^3); ρ_e 为气体密度(kg/m^3); C 为阻力系数,决定于 Re 值; d 为颗粒直径(m)。

当 $F_u = F_r$ 时,此颗粒在径向方向上处于平衡状态,亦即一半可能随气流被带出作为产品,一半可能作为粗粉被收集,该颗粒的粒径,就是切割粒径 d_{50} 。

$$d_{50} = \sqrt{\frac{9Q_f \cdot \nu}{4\pi^3 (\rho_s - \rho_e) n^2 R^2 H}} \quad (8)$$

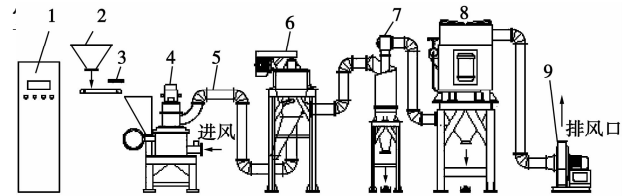
式(8)中: n 为转子转速(r/min); R 为转子半径(m); Q_f 为风量(m^3/h); H 为转子高度(m); ν 为气体的运动黏度(m^2/s)。由式(8)可知,可以通过调节分级机转速和系统的风量来调节分级粒径,但在进行参数调节时应综合考虑以权衡系统的性能。

3 超细粉碎分级系统实验研究

3.1 超细粉碎分级系统

系统由 ACM 超细粉碎机、SCX 超细分级机、旋风除尘器、脉冲带式除尘器、离心风机等组成,其流程如图3所示。

从工艺流程可以看出,该超细粉碎分级系统的工作原理为:物料在螺旋喂料器的作用下,进入 ACM 超细粉碎机的粉碎室,在动磨盘和静磨盘之间受到冲击、剪切和摩擦作用而被粉碎,物料被粉碎后,在负压气流的作用下,送到 ACM 上部分级室进行粗分级,在离心力和气流阻力的共同作用下,粗颗粒被抛向分流环的内壁,因碰撞失去动能,掉入粉碎



1—电控柜;2—料仓;3—除铁器;4—ACM超细粉碎机;
5—连接管道;6—SCX超细分级机;7—旋风除尘器;
8—脉冲袋式除尘器;9—风机

图3 超细粉碎分级系统流程图

粉碎,细颗粒随气流一起进入 SCX 超细分级机中进行精细分级,同理在离心力和气流阻力的作用下,不符合产品要求的颗粒经粗粉出口和卸料装置排出,并送入粉碎机加料斗,实现循环粉碎,细颗粒随气流进入旋风除尘器,微细粉体被收集,而超细颗粒继续随气流进入脉冲袋式除尘器,并被收集,被2个除尘器净化了的气体由风机排出。系统由离心风机维持一定的负压,实现无尘操作,并维持粉碎机,分级机内腔合适的压力。

该工艺流程的特点为:①该系统借助于超细分级机将细粉及时分选出,避免了过粉碎现象,降低了粉碎能耗;②可通过改变分级机转子的转速使产品细度可调,ACM超细粉碎机给料也可定量控制;③负压气流能及时带走粉碎过程中产生的热量,因此物料温升小,适用于耐热性差的物料的超细粉碎和分级;④应用范围广,适用于中低硬度矿物的超细粉碎分级;⑤整个系统负压操作,对外界环境无粉尘污染。

但由于粉碎机转子的高速旋转对物料产生的冲击和摩擦力,不可避免地要产生磨损问题,因此本系统适用于中低硬度物料的超细粉碎分级。

3.2 超细粉碎分级系统实验研究

3.2.1 实验装置

实验系统所用的设备由 ACM325 超细粉碎机、SCX400 超细分级机、高效旋风除尘器、脉冲袋式除尘器和离心风机组成,并通过管道连接成如图3所示的工艺流程,其中粉碎机、分级机和风机所配电机均可变频调速。

实验时,先开启风机使整个系统处于负压状态,然后开启 SCX400 超细分级机,再开启 ACM325 超细粉碎机,待系统稳定后,由螺旋喂料器均匀加料进行实验,直至料完关机,关机顺序与开机顺序相反。实验结束后用英国马尔公司的 MS2000 型激光粒度分析仪对产品进行分析。

3.2.2 实验结果

ACM325 超细粉碎机要求喂料粒度小于 12 mm,物料莫氏硬度应小于 6,同时系统风量可调。

对 4 种应用较广的非金属矿物进行了实验,实验结果如表 1 所示。

表 1 的实验结果表明,系统对中低硬度非金属

表 1 矿物粉碎分级实验结果

物料名称	莫氏硬度	ACM 动磨盘转速/ $r \cdot \min^{-1}$	ACM 分级轮转速/ $r \cdot \min^{-1}$	SCX 分级机转速/ $r \cdot \min^{-1}$	物料质量浓度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	产品中小于某粒径的质量分数/%		产品平均粒径/ μm
						<15 μm	<30 μm	
重质碳酸钙	3.0	3500	960	2100	0.99	82.41	97.68	9.67
石膏	2.0	3000	960	1800	0.81	86.45	96.71	8.52
硬质高岭土	4.0	3800	840	1920	0.57	80.36	93.18	13.34
滑石粉	1.5	2600	900	1680	0.85	88.72	98.54	6.48

物料的粉碎分级效果较好,产品中粒径小于 15 μm 的占 80% 以上,小于 30 μm 的占 90% 以上,并且平均粒径较小,在 10 μm 以下。

4 结论

(1) 在分析带内分级的 ACM 冲击式粉碎机和 SCX 超细分级机的结构、工作原理和性能的基础上,提出了制备超细粉体的粉碎分级新工艺。

(2) 实验表明,系统对中低硬度矿物的粉碎分级效果较好,产品粒径小,平均粒径在 10 μm 以下。

(3) 该超细粉碎分级系统为闭路循环系统,经过超细粉碎、粗分级、精细分级等多道工序,能够很好地满足产品对粒度和产量的要求,适用于中低硬度矿物、热敏性物质等物料的超细粉碎和精细分级。

参考文献

[1] 王劲,郭天德. 分级技术在中草药超细粉碎生产中的应用[J].

中国粉体技术,2008(1):36-38.

[2] 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.

[3] 鲁林平,叶京生. 超细粉体分级技术研究进展[J]. 化工装备技术, 2005, 26(3):19-25.

[4] 铁生年,李星,李昀璐. 超细粉体材料的制备技术及应用[J]. 中国粉体技术, 2008, 15(3):68-72.

[5] 孙成林. 冲击式粉碎机的设计与使用[J]. 化工矿物与加工, 2003(7):5-9.

[6] 郑水林. 超细粉碎[M]. 北京:中国建材工业出版社, 1999:71-72.

[7] 王瑾昭,田长安,赵娣芳,等. 超细粉体的应用于分级[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2009(2):46-49.

[8] 张亚南,任朝富,罗泽元,等. SCX400 型超细选粉机研制[J]. 四川理工学院学报:自然科学版, 2008, 21(5):98-101.

[9] 王仲春,曾荣,李素荣. 高效笼式选粉机的选型计算[J]. 水泥技术, 2006(3):25-29. ■

工信部四措施发展节能环保低

“十二五”期间工信部将采取 4 项措施促进节能环保低碳产业的发展。这 4 项措施包括:一是加强规划研究和指导,完善技术装备和产品标准体系;以技术为主线,发展一批需要研发、应用和推广的技术装备。二是围绕钢铁、建材、有色、石化化工、装备制造等重点行业需求,选择一批

技术成熟、减排潜力大的节能环保和低碳技术,实施一批技术产业化示范工程。三是支持发展形成一批龙头企业和配套能力强的服务企业。四是加快促进产业集聚,在有条件的领域和地区形成若干节能环保低碳园区和产业基地。(张力)