

CXM超细分级磨实验系统设计与研究

李翔¹, 李双跃¹, 任朝富², 张亚南¹, 田坪¹, 金应贵¹

(1. 西南科技大学制造学院, 四川绵阳 621010; 2. 绵阳西金科技发展有限公司, 四川绵阳 621000)

摘要: 在理论研究与生产实践的基础上, 通过综合分析超细粉碎分级技术现状, 针对 CXM 超细分级磨, 设计了超细粉碎分级实验系统, 并对风量、喂料量和转速等主要影响参数进行实验研究。实验结果表明: 该系统设计合理, 通过调节实验参数, 产品粒度均匀, 适合中等硬度以下物料超细粉碎分级要求。

关键词: 超细分级磨; 实验系统; 粉碎分级; 实验参数

中图分类号: TD97

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2009)09-0074-04

Design and study on ultrafine classifier mill CXM experimental system

LI Xiang¹, LI Shuang-yue¹, REN Chao-fu², ZHANG Ya-nan¹, TIAN Ping¹, JIN Ying-gui¹

(1. College of Manufacturing Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China; 2. Mianyang Seeker Science and Technology Development Co., Mianyang 621000, China)

Abstract: Through the comprehensive analysis of technical status about ultrafine grinding and classification, the new ultrafine grinding and classification experimental system is design to the ultrafine classifier mill CXM, which is based on the theoretical research and production practice, and then the main influence parameters on the system such as air flow, feed quantity and speed are studied. The results show that the design of the system is reasonable, and its product is uniform in granularity by adjusting the experimental parameters, which is suitable for the ultrafine grinding and classification requirements for the material for which the mohs hardness is below the middle grade.

Key words: ultrafine classifier mill; experimental system; grinding and classification; experimental parameters

非金属矿物的超细粉碎、精细分级和表面改性等是非金属矿深加工的技术关键。多年来,它一直是国内外学者研究的热点,由于非金属矿物大多为低附加值矿物,经超细粉碎后的非金属矿产品都有较大的增值,一般可提高4~30倍,不仅经济效益十分可观,而且大大提高了矿物的应用价值和应用范围^[1]。我国的非金属矿产资源极为丰富,很多矿种的质量和储量均居世界前列,因此,持续、稳定地发展非金属矿超细深加工技术将会前景无限。超细粉体制备主要涉及超细粉碎和超细分级,随着现代工业的发展需要,对粉体的要求向“细而窄”的方向发展^[2],这对超细粉体的制备提出了新的要求,超细粉碎分级及其系统的设计研究工作受到了广泛重视。针对此种情况,笔者在参照国内外各种传统与新型粉碎分级设备的基础上,通过研究不同物料颗粒在流场中的动力学特征,设计并研制了 CXM 超细分级磨,并在该设备上进行了超细粉碎分级系统的工艺性实验,并对主要影响参数进行了实验研究。

1 超细粉碎分级系统设计

超细粉体的制备总的来说涉及两方面内容,即超细粉碎和超细分级。我国对粉体深加工装备的技术研制起步较晚,只是在近几十年的时间才得到重视和发展。最初,大家把注意力集中在气流磨、搅拌磨、振动磨等超细粉体制备设备上,而忽视了对整个制备工艺系统的研究。超细粉碎分级系统包括“硬件”和“软件”两方面内容,在实际生产中笔者发现任何粉碎设备都存在粉碎极限问题,如果把设备比作“硬件”,工艺则是“软件”,合理地调整生产工艺将有助于提高粉体产品的品质。在超细粉体制备工艺上,笔者设计了连续闭路工艺流程。该系统的工作原理是:待加工物料由进料口进入送入粉碎室内,物料被粉碎至一定粒度后,随上升气流进入分级室进行分级,不合格的粗粉在离心力作用下被抛向筒壁附近,并随失效粗粉一起回落到粉碎室下部再进行粉碎;合格的细粉穿过分级叶轮从细粉出料管排出

收稿日期:2009-04-20;修回日期:2009-08-06

作者简介:李翔(1984-),男,硕士生,研究方向为非金属矿超细粉碎分级及其工艺技术研究;李双跃(1958-),女,博士,教授,研究方向为机械设计与制造、粉体制备技术及设备,0816-6088225,shuangyue-58@263.net。

送至旋风分离器作为产品收集,少量细粉由袋式收集器做进一步气固分离,从而完成超细粉的加工生产。如图1所示。

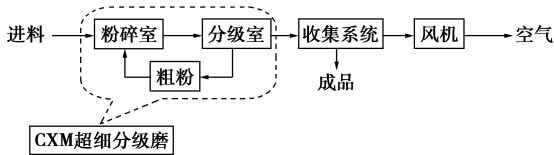


图1 超细粉体制备工艺流程图

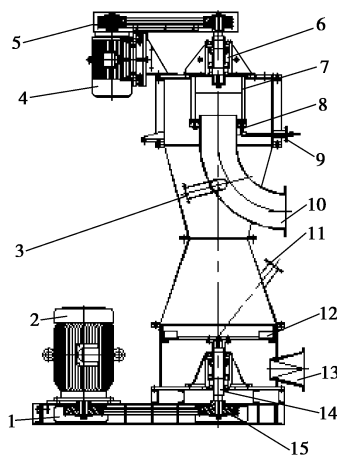
2 系统设计中的关键问题

2.1 粉碎分级装置

超细粉碎与分级是矿物深加工技术的关键点。笔者所在课题组针对中等硬度物料,根据物料特性开发了粉碎与分级相结合的设备——CXM超细分级磨。该设备不仅具有结构紧凑,占地面积小,破碎比大,流程短,能耗低等优点,而且具有矿物超细粉碎和分级的双重功能。

2.1.1 CXM超细分级磨工作原理

CXM超细分级磨的构造简图如图2所示。



1—机座;2—磨机电机;3—二次进风口;4—分级机电机;
5,15—皮带;6—分级机主轴;7—分级叶轮;8—气动密封装置;
9—三次进风口 10—细粉出料管;11—给料管;12—磨机转子;
13—主进风口;14—磨机主轴

图2 CXM超细分级磨结构简图

整机呈负压运行,由尾部风机进行风力输送。

工作时,在负压作用下由尾部风机进行风力输送,物料经给料管送入粉碎室到达转盘中心,由调速电机通过传动轴带动分级叶轮转动,上升气流由主进风口进入,物料中的细粉随气流上升进入分级室进行预分级。调速电机通过传动轴带动转盘,物料在转子叶片的高速冲击下相互碰撞、剪切、摩擦而被粉碎;粉碎后的物料随上升气流一起运动到粉碎室上部一定高度,粗颗粒在重力作用下,沿粉碎室壁面回落到粉碎室下部,细粉随气流一起运动至上部的涡轮分级机进入分级室进行分级。在高速叶轮所产生的流场内,不合格的粗粉在离心力作用下被抛向筒壁附近,并随失效粗粉一起回落到粉碎室下部再进行粉碎;而符合细度要求的细粉穿过分级叶轮从细粉出料管排出,送至旋风分离器作为产品收集,少量细粉由袋式收集器做进一步气固分离。

2.1.2 CXM超细分级磨结构特征

CXM超细分级磨由传动系统、粉碎装置和分级装置等组成。

(1)传动系统。传动系统是CXM超细分级磨的动力来源,由于采用二套动力系统粉碎主机和分级机相对独立,通过调节高精度分级叶轮的转速和进风量的大小,不停机即可调节成品的粒度。由调速电动机通过传动轴分别带动磨盘和分级叶轮转动,能同时完成物料的超细粉碎和微细粉分级2道工序。

(2)粉碎装置。粉碎装置是CXM超细分级磨的核心部分,主要包括磨机转盘和撞击环。磨机转盘上均布24片叶片。采用高速冲击型转子叶片,物料在强离心场中获得很大的动力加速度,在冲击力、碰撞力、剪切力和摩擦力等多种粉碎机理的联合作用下,粉碎效率较高。为了提高粉碎效率,在筒体内增加撞击环。撞击环的作用是物料颗粒首先受到转子叶片的冲击粉碎加速后,在撞击环的作用下,使物料再次受到粉碎。因此撞击环的结构形式将对粉碎效果有显著的影响。其结构示意图如图3所示,针对中等硬度物料的粉碎特性,笔者采用耳廓形撞击环^[3]。在粉碎过程中,在叶片与耳廓的间隙处形成涡流^[4],使得处于间隙处的物料颗粒间产生剧烈的碰撞、摩擦、剪切、挤压以及反弹到粉碎室内与后续的

(上接第73页)

- [5] 赵向凤,郭晓宁. CRI乙苯脱氢催化剂的应用[J]. 贵州大学学报, 2007, 24(1): 94-97.
- [6] Meima G R. Catalyst deactivation phenomena in styrene production[J]. Appl Catal, 2001, 212: 239-245.
- [7] 孟庆宝,王建硕. 提高乙苯脱氢催化剂效能的有效措施[J]. 齐鲁

石油化工, 2006, 34(1): 27-30.

- [8] Cavani F, Trifiro F. Alternative processes for the production of styrene [J]. Appl Catal A: General, 1995, 133: 219-239.
- [9] Muhler M, Wesemann M. The nature of the iron oxide-based catalyst for dehydrogenation of ethylbenzene to styrene[J]. J Catal, 1990, 126: 339-361. ■

高速颗粒相撞,使得粉碎过程反复进行,粉碎效果显著提高,因此产品细度较细。同时,由于撞击环和转子叶片之间形成强有力的高速湍流场,产生的强大压力变化使得物料受到交变应力作用,起到了分散作用,在一定程度上减少了粉体颗粒的团聚。

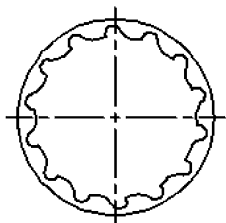


图 3 耳廓形撞击环

(3) 分级装置。分级装置是 CXM 超细分级磨的重要组成部分,主要包括分级叶轮、气动密封装置(分级叶轮与壳体间的密封)。分级叶轮由 72 片长方形转子叶片沿圆周均匀分布而成。与其他普通的分级机相比,叶片的数量明显增多,这样转子工作时可在转子外侧形成一个非常细密的“空气动力筛”^[5],精确地选出细粉,极大地提高了分级精度。分级叶轮与壳体间的密封也很重要,密封的好坏直接影响分级装置的旁路值(未经过分选而直接进入成品的料量)。参考传统机械密封方式的结构特点,采用气动密封原理,设计了新型气动密封结构。工作时分级叶轮在密封环内转动,密封环与外部管接头固定,高压气流通过外部管接头,沿着转子与密封环的接口喷出,有效地阻碍了粗颗粒的进入,而达到细度要求的颗粒则作为成品被上升气流带入分级叶轮转子内,从出料管排入收集系统。

2.2 收集系统设计

收集系统由高效旋风分离器与袋式收尘器串联组成。当符合细度要求的细粉穿过分级机叶轮,从细粉出料管排送至旋风分离器作为产品收集,少量细粉由袋式收集器做进一步气固分离。为了实现高效收集,设计收集系统应当注意以下问题:

(1) 收集系统的基本要求是高效低阻。为了实现高效率,应尽量保持收集系统阻力稳定。对此收集系统中的分离器,笔者采用螺旋进口,此结构具有避免相邻两螺旋圈的气流互相干扰、减少气流对筒体内气流的撞击和干扰、减少气流短路机会等优点,因此能提高分离效率,是一种非常理想的进口型式。

(2) 对于分级产品的收集系统比一般的收集系统收集量要大。因此,笔者采取高效旋风筒与袋式收尘器串联的方式,有效地避免了上灰环、二次扬尘等现象,使得固体颗粒能有效分离,提高收集系统的

收集效率。

3 超细粉碎分级系统实验研究

3.1 主要参数的影响情况

在实际生产中,影响超细粉体制备效果的因素比较多,主要结构参数有:转子高度、转子直径大小、转子叶片的数量;外部参数:气体密度、物料颗粒密度、进风口风量、超细分级磨内的风压、喂料量。在实验中设主进风口风量、喂料量和转速为可变参数进行调节。

3.1.1 主进风口风量影响

通过调节风机频率来获得不同的风量进行多次实验。当风量较小(即风速较低)时,分级精度较高,成品细度较好,但由于粗粉中的细粉太多而使得分级效率很低,得到的成品量小;风量大时,虽然产品生产效率高,但是分级精度急剧下降,则得到的成品粒度较粗。这是由于风量过大,不合格的粗粉也随上升气流到达分级区,混入成品中造成成品品质下降。

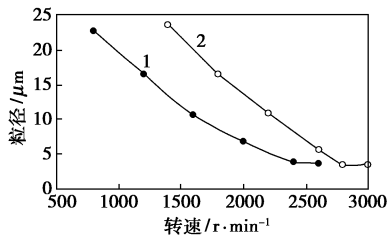
3.1.2 喂料量影响

喂料量的大小也直接影响成品细度和成品率。随着喂料量增加,产品的粒度呈减小趋势。这是由于粉碎过程包括物料与冲击叶片之间、物料与撞击环之间以及物料与物料之间多种形式的作用,喂料量稍增大,意味着粉碎区的物料浓度也增大,因此颗粒的自由行程减小^[6],颗粒与颗粒之间的碰撞概率增加,这对于每个颗粒而言,相当于增加了被撞击的次数,可以提高成品细度与成品率。若喂料量过大则成品率明显降低。这是由于 CXM 超细分级磨内物料浓度过大,粉碎室来不及粉碎物料,加重粉碎室的负担,电机负荷加大,能耗增多,使得成品率急剧下降。

3.1.3 转速影响

在实验中,发现磨机转速较高,物料所受到的冲击粉碎作用较强,因为它吸收的能量较多,能产生较多的裂纹,当达到粉碎能时物料即被粉碎,在适宜的分级条件下,这部分颗粒能及时地被分离出去,避免过粉碎现象产生。在磨机转速较低条件下,由于颗粒受到的冲击作用较弱,因此它吸收的能量相对少,产生的裂纹也少,在同样的分级条件下,这部分颗粒没有被分离出去,滞留在粉碎区,相应地增加了在粉碎区内的停留时间,并继续受到冲击和剪切的作用,直至颗粒达到分级粒径大小。但从能量利用的角度来看,并非速度越大越好。不同物料、不同的

粒度要求都有一个最佳的冲击速度,在此冲击速度下能量利用率最高,如图4所示(主进风量 2 623 m³/h,喂料量 30 kg/min)。在实验中发现,成品率也随着分级机叶轮转速的提高而降低,这是由于颗粒能否被分级出来是离心力与气体曳力作用的结果^[7]。当离心力小于气体曳力时,颗粒在气流的带动下向转子中心运动并最终作为成品输出;不合格颗粒在重力的作用下回落到粉碎室下部进行再一次的粉碎。

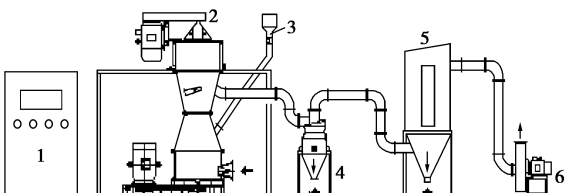


1—分级机转速;2—磨机转速

图4 产品粒径与转速的关系

3.2 实验系统

以水泥选粉机的专业生产厂——绵阳西金科技有限公司为实验基地,实验所用的设备 CXM 超细分级磨、高效旋风筒、布袋收尘器和 3 000 m³/h 风机。高效旋风筒、袋式收尘器和风机串联的方式对连接管道进行密封,如图5所示,其中风机和调速电机均可变频调速。



1—控制系统;2—CXM超细分级磨;3—喂料器;
4—高效旋风筒;5—袋式收尘器;6—风机

图5 超细分级磨系统实验线布置图

实验时开启风机,整个实验线便处于负压状态,再开启调速电机并调节转速,运转稳定后往 CXM 超细分级磨的进料口均匀喂料,直至料完关机。对由高效旋风筒和袋式收尘器排出的细粉进行抽样分析。

4 实验结果

CXM 超细分级磨要求进料粒度小于 10 mm,以粉料为佳,产量根据物料的硬度不同而异。实验参数定为:进口风量 2 623 m³/h,分级叶轮转速 2 200 r/min,磨机转速 2 600 r/min,喂料量 30 kg/min。笔者使用英国马尔文公司 MS2000 型激光粒度分析仪

进行了粒度分布测定,其粒度分布如图6所示,试验结果见表1。

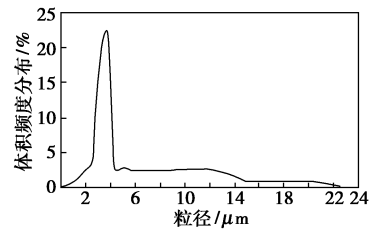


图6 产品粒度分布曲线

表1 矿物粉碎实验结果

物料名称	莫氏硬度	入口粒度/mm	成品粒度/μm	比表面积/cm ² ·g ⁻¹	90%通过粒径/μm
石膏	2	3	3.42	4176.8	9.6
石灰石	4~5	4	3.86	18206.0	10.4

5 结论

(1)该工艺流程为闭路系统,将超细粉碎与分级有机结合于 CXM 超细分级磨,具有物料在粉碎室滞留时间短、避免过粉碎现象、生产能力大、效率高、能耗低、无污染等一系列优点,同时,特别适合非金属矿中小型深加工企业。

(2)该系统遵循“多碎少磨”原则,采用 CXM 超细分级磨优化和缩短选矿工艺流程,使得设备的作业率提高近 20%,利用系数提高近 10%,降低总能耗 15%~30%。

(3)实验系统中采用粉碎分级一体的 CXM 超细分级磨设备,可降低系统投资 20%~30%;与单独的磨机与选粉机相联的系统相比,不但可减少设备规格,而且可提高成品效率 20%~40%,节电 10%~20%,系统全负压操作,无粉尘污染。因此,对提高处理效率、降低能耗、环境保护有重要作用。

(4)通过实验发现该工艺系统对中等硬度以下的非金属矿物的超细粉碎分级加工,可有效地生产出粒径为 3~20 μm 的颗粒,平均粒径为 10 μm(即所谓的 1 250 目),而且系统性能稳定,有良好的适应性。

(5)目前市场上对超细产品的需求量很大,供不应求,因此下一步将着重研究在保证产品粒度的前提下提高其成品效率的问题。

参考文献

[1] 李凤生,刘宏英,刘雪东,等.微纳米粉体制备与改性设备[M].北京:国防工业出版社,2004:29-30.

开始聚合反应,经脉冲阀脉冲出料,进入高压分离器进行分离,产品进入低压分离器,未反应的乙烯经高压循环气处理后回到二次压缩机入口,产品在低压分离器内进一步分离后,聚乙烯进入挤压机挤出造粒后送储存、包装工段,分离出的乙烯气经低压循环气处理后进入辅机。

2 浊度的影响因素

LDPE 产品的光学性质受分子质量和密度的影响。长链大分子质量的聚合物使产品产生粗糙的、低光泽的表面;较高密度的聚乙烯含有或多或少的光散射的大结晶区,造成雾状的表面^[1]。所以产品的浊度主要是受以下 3 方面的影响。

2.1 反应温度

反应温度主要对聚合物的分子质量有影响,其中平均聚合度 X_n 按式(1)计算:

$$X_n = K_p/2(fK_iK_t) \cdot [M]/[I]^{1/2} \quad (1)$$

式(1)中 X_n 为平均聚合度, K_p 为链增长反应速度常数, $[I]$ 为引发剂浓度, $[M]$ 为单体浓度, K_i 、 K_t 分别为链引发及链终止反应速率常数, f 为引发效率常数。

式(1)说明温度升高,平均聚合度降低,分子质量减小,熔体流动速率增大,所以用丙醛作共聚单体及分子质量调整剂时,由于丙醛的链转移常数比丙烯大许多,同时因羰基作用强烈,反应放热量增加,因此随着丙醛注入量的增大,为维持融体指数稳定,就要使反应温度低于用丙烯生产某种牌号的产品时的反应温度。另外过高的反应峰会降低过氧化物效率,反应温度高低主要取决于引发剂氧的投入量,可适当减小引发剂的注入量来降低反应温度^[2]。

2.2 反应压力

在 LDPE 生产控制中,主要用反应压力来控制产品的密度,因丙醛参与聚合反应,在大分子链上引入乙基支链,增加了短链支化度,使 LDPE 产品的密度降低,其中短链支化度 A 见式(2):

$$A = R_d/R_p = K_d[R \cdot]/K_p[R \cdot][M] = K_d/(K_p \cdot 1/[M]) \quad (2)$$

式(2)中 K_d 为短支链生成速度常数, K_p 为链增长反应速度常数, $[M]$ 为单体的摩尔浓度, $[R \cdot]$ 为活性自由基浓度。

由式(2)可知,反应压力升高,单体的浓度增加,可以使短链支化度减小,使聚合物大分子链之间的空间位阻减小,从而提高密度。可见为保证其密度不变,用丙醛作调整剂生产某种牌号的产品时,可以适当提高反应压力,来补偿由于乙基支链的引入而导致产品密度的下降。

长支链是由链增长活性自由基向聚合物大分子链转移形成的,长链支化度见式(3)。

$$\text{长链支化度} = K_b/K_p \cdot [\text{聚合物}]/[M] \quad (3)$$

式(3)中 K_b 为长支链生成反应速率常数, $[\text{聚合物}]$ 为聚乙烯浓度, $[M]$ 为单体的摩尔浓度, K_p 为链增长反应速度常数。由式(3)可知,随反应压力增加, $[M]$ 乙烯单体浓度增加,可以使长支链支化度减小,因长支链大分子聚合物中形成球晶,从而可以减少聚合物中球晶的含量,降低浊度,改善聚合物光学性能^[2]。

2.3 调整剂

调整剂对产品浊度的影响见式(4)。

$$1/K_n = C_p[O]^{-1/2}/[M] + C_m + C_a[O]/[M] + C_b[b]/[M] \quad (4)$$

式(4)中, K_n 为平均聚合度, C_p 、 C_m 、 C_a 、 C_b 分别为正常反应、向单体转移、向引发剂转移、向调整剂转移系数, $[O]$ 、 $[M]$ 、 $[b]$ 分别为引发剂、乙烯、丙醛浓度^[3]。

由式(4)可知,引发剂浓度与调整剂丙醛浓度对分子质量的影响趋势是相同的,因此在保证分子质量(或熔体流动速率值)不变时,较低的调整剂浓度可投入较多的引发剂。原设计在生产 1810D 牌号产品时只用丙烯作调整剂。丙烯在乙烯聚合中的链转移常数为 0.0122,而丙醛为 0.33,丙醛在乙烯聚合中的链转移能力相当于丙烯的 27 倍^[1],所以使用丙醛和丙烯混合作调整剂能够大大降低聚合反应中的调整剂浓度。

(上接第 77 页)

- [2] 神保元二. 粉碎[M]. 王少儒, 孙成林, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.
- [3] 沈义俊, 朱昆泉. 新型冲击式超细粉碎机研究[J]. 武汉化工学院学报, 1994(3): 57-61.
- [4] 刘家祥, 何廷树, 夏靖波. 涡流分级机流场特性及分级过程[J].

硅酸盐学报, 2003, 31(5): 486-489.

- [5] 朱瀛波. 卧式高速冲击式超细粉碎及分级设备实验研究[J]. 金属矿山, 1999(2): 25-27.
- [6] 黎国华, 张佑林, 朱昆泉. 内联分级超细粉碎系统研制及其非金属矿应用实践[J]. 非金属矿, 1996(1): 26-33.
- [7] 方莹, 陈传文, 张少明. 超细粉体制备工艺设计与实验研究[J]. 非金属矿, 2002(5): 35-38. ■