

## 现阶段我国磨矿设备的研究进展及发展方向

鄢富坤<sup>1</sup>, 肖庆飞<sup>1</sup>, 罗春梅<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;

2. 云南大学工程技术研究院, 云南 昆明 650091)

**摘要:**传统格子型球磨机,排矿速度快,能减少矿物的过粉碎,但对格子板要求严格,且检修不方便;而溢流型球磨机,生产能力较低,易发生粉碎现象。针对传统磨机的不足,从筒体形状、排矿方式和传动部件等方面介绍了目前采用的一些新型设备。立式搅拌磨可以提高破碎的精准度,有利于细磨和选择性磨矿;高效节能筒辊磨节约能量,运转可靠;周边排料磨能较少矿物的过粉碎率;静动压轴承球磨机和中心传动球磨机,传动比大,噪音小;离心自磨机,能处理较粗物料,且适用于细磨。并在此基础上对磨矿设备的发展趋势与方向进行了展望。

**关键词:**磨矿;球磨机;自磨机;发展方向

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2013.02.004

中图分类号:TD453 文献标识码:A 文章编号:1000-6532(2013)02-0012-05

目前,我国的冶金、矿山、化工、建材、水泥、陶瓷、火电及国防等行业均设置了碎磨作业,其目的是将大块物料磨细,尤其在矿山企业,几乎每个选厂都有磨矿工序。磨机也因存在投资大、电耗高、磨损大等实际问题而被广泛研究,并研发了许多新型的粗细磨设备。对我国磨矿设备的研究进展作了简要介绍,并对其发展方向进行了展望。

### 1 我国现阶段磨矿设备存在的缺陷

磨矿设备已经应用了100余年,期间也开发出了振动磨、喷射磨等新型的磨矿设备,但由于这些设备的磨损过于严重或者处理能力不足,目前选厂应用最多的还是传统的球磨机,一般来说,粗磨段采用格子型球磨机,细磨段采用溢流型球磨机,有的选厂在粗磨段也采用棒磨机。

格子型球磨机是低水平强制性排矿,由于有格

子板阻拦,可以装多种大小球,满足磨碎不同大小的颗粒的要求,但正是由于要保证磨矿处理量,格子孔又不能过小,因为目前磨机内所装的最小球也在 $\Phi 30\text{mm}$ 左右,这对于硬度不大的矿石来说,钢球的尺寸就存在严重偏大的问题,笨重的格子板,给现场管理和检修带来不便。

溢流型球磨机排矿主要靠矿浆充满磨机后自动溢流而出,矿粒的排出很大程度上受矿石自身密度及粒度的影响。密度大的矿粒因沉降速度快而不易从磨机中空轴颈排出,而易沉入磨机底层经磨碎到较细粒度后方能排出;密度小的矿粒因沉降速度慢,所以能在较粗的粒度下从磨机排出。造成磨机产品粒度不均匀,其中密度大的粒度细,密度小的粒度粗,大密度矿物的过粉碎现象严重,这对密度大的金属矿物回收不利。

收稿日期:2012-04-05;改回日期:2012-06-04

作者简介:鄢富坤(1989-),男,硕士研究生,从事碎磨理论与研究工作。

## 2 我国现阶段新型磨矿设备的进展

### 2.1 立式搅拌磨

近年来,在矿石的细磨领域,出现了一种新方法—搅拌法。从原理上来讲,这种方法避免了强烈的冲击作用,以研磨作用为主,辅以轻微冲击作用的

方式。这样作用方式的改变,提高了破碎力的精确程度,增强了矿物的选择性磨碎,有利于细磨。段希祥等<sup>[1]</sup>选用 350×600mm 的立式细磨机和 420×420mm 的传统卧式细磨机,同时处理 1~0.5mm 的石英和磁铁矿混合料,混合比例为石英和磁铁矿各占 50%,磨碎试验结果见表 1。

表 1 立式磨与卧式磨产品粒度组成特性对比结果

Table 1 The contrast results of particle size composition characteristics of products of vertical roller and horizontal mill

| 磨机 | $d_0/\text{mm}$ | $d_{Fe}/\text{mm}$ | $d_{Si}/\text{mm}$ | $d_{Fe}/d_{Si}$ | +0.074mm 磨不细产率/% |       | -0.074mm 产率/% |        |
|----|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------|-------|---------------|--------|
|    |                 |                    |                    |                 | 磁铁矿              | 石英    | 磁铁矿           | 石英     |
| 立式 | 0.07            | 0.046              | 0.094              | 2.04            | 5.55             | 37.26 | 94.45         | 62.74  |
| 卧式 | 0.072           | 0.062              | 0.082              | 1.32            | 16.88            | 23.26 | 83.12         | 76.45  |
| 差值 | -0.002          | -0.016             | 0.012              | 0.72            | -11.33           | 14    | 11.33         | -13.71 |

由表 1 可知,在产品粒度相同的条件下,立式细磨机具有较强的选择性磨矿作用,磨碎产品中硬矿物的平均粒度为软矿物的 2 倍以上,-0.074mm 软硬矿物的产率差 31.71%。可见,立式细磨机的破碎方式比较适合提高矿物的选择性磨碎作用。

### 2.2 高效节能筒辊磨

筒辊磨是法国 FCB 公司首先研制成功并于 1993 年应用于实际生产的粉磨设备。筒辊磨作为一种新型节能粉磨设备,综合了辊压机的节能效果、立式磨的结构紧凑及球磨机的运转可靠性等优点<sup>[2-3]</sup>。运转工作时,被磨物料依靠重力经入口溜道落在水平回转的圆柱形筒体内,受离心力作用均匀分布于由圆柱形筒体内表面构成的磨床的入口端,随着筒体的回转运动物料进入磨床和磨辊构成的挤压通道内,磨辊依靠液压系统向磨床上的被磨物料施加压力并借助挤压力引起的摩擦力做被动的回转运动,物料在挤压通道内完成一次粉碎作业后被提升并通过导料装置进行下一次挤压粉磨作业。经多次挤压粉磨后的物料离开磨床,从卸料溜道排出磨机。出磨物料经提升机进入选粉机,粗粉返回磨机,而细粉经过收尘器,作为成品送入成品库。

筒辊磨与其他粉磨设备相比,最大的区别,也是它节能的关键所在,在于它是以回转中空圆柱体的

内壁作为通道,造成挤压通道形式的不同,筒辊磨为“柱面+内环面”,而立磨的挤压通道形式为“柱面+平面”,辊压机的挤压通道形式是“柱面+柱面”,由几何关系可以看出,筒辊磨其挤压通道收缩率最小,这种挤压通道一方面能形成较宽的压力区,使压力分布均匀<sup>[4]</sup>;另一方面,被挤压物料在通道内流变行为较稳定,所以可以采用较高的磨辊辊面速度,从而改善了机械的功率输入性能和磨辊轴承工况。

2004 年 4 月由中材国际南京水泥设计研究院研发的具有自主知识产权、冀东水泥集团有限责任公司承建的  $\Phi 1.6\text{m}$  筒辊磨预粉磨水泥熟料系统在冀东水泥二分厂开始运行,经过厂、院及唐山水泥机械厂的共同努力,至 2004 年 6 月该系统现已稳定运行近 800h,球磨机提产 30%,整个粉磨电耗下降 13%,筒辊磨实现的能量利用系数达 2.39<sup>[5]</sup>。

目前我国许多设计单位也正在积极研究和开发筒辊磨。北方重工集团公司沈重设计院于 2008 年已成功研发出筒辊磨试验系统和日产 2500t 水泥生产线配套用的 SG3800 筒辊磨,筒辊磨试验系统将逐渐用于水泥熟料及矿渣的生产实验,为我国的水泥事业及水泥设备国产化做出新的贡献。

### 2.3 周边排料磨

一直以来,周边排料磨机以其过粉碎程度轻、磨

矿速度快等优点被广泛地应用于矿山、冶金、建筑等行业。周边排料磨矿时,大密度的矿物易沉积于磨机底层,可以在较粗的粒度情况下从磨机内排出,降低了大密度矿物的过粉碎;而较小密度的矿物,如果

想进入磨机底层,就得经过强烈的磨碎作用,故排出的粒度较细。段希祥等<sup>[1]</sup>对广西的锡矿石进行了周边排料磨和中心排料磨磨碎对比试验,试验结果见表 2。

表 2 周边排矿与中心排矿棒磨机磨碎试验结果

Table 2 The test results of grinding by the peripheral and center discharge rod mill

| 对比项目                                   | 周排产品选别结果 | 中排产品选别结果 | 差值     |
|----------------------------------------|----------|----------|--------|
| 磨矿处理能力/ $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ | 8482.0   | 7684.0   | +798   |
| 磨矿产品特性                                 |          |          |        |
| 产品-0.019 mm 产率/%                       | 15.67    | 19.09    | -3.42  |
| 产品-0.019 mm 金属率/%                      | 5.77     | 7.84     | -2.07  |
| 易选(-0.3+0.074mm)金属率/%                  | 49.68    | 48.43    | +1.25  |
| 较易选(-0.074+0.037mm)金属率/%               | 38.47    | 36.98    | +1.49  |
| 难选(-0.037+0.019mm)金属率/%                | 5.26     | 5.95     | -0.69  |
| 产品单体锡石解离度/%                            | 99.35    | 99.39    | -0.04  |
| 摇床选别回收率/%                              | 48.73    | 47.46    | +1.27  |
| 给矿平均粒度/mm                              | 0.099    | 0.09     | +0.009 |
| 精矿平均粒度/mm                              | 0.134    | 0.128    | +0.006 |
| 选别结果                                   |          |          |        |
| 精矿-0.3+0.074mm 产率/%                    | 59.85    | 55.99    | +3.86  |
| 精矿-0.074+0.04mm 产率/%                   | 34.42    | 36.99    | -2.57  |
| 精矿-0.04mm 产率/%                         | 5.73     | 7.02     | -1.29  |

从表 2 可见,周边排料磨机是有很多的优越性的,它能保护密度大的锡石少受或减轻过粉碎现象,在处理能力偏大的前提下,-0.019mm 过粉碎粒级较中心排料磨机低 3.42%, -0.019mm 金属率也降低 2.07%,所以锡的回收率也增加 1.27 个百分点,且+0.074mm 精矿平均粒度加粗 3.86 个百分点。

## 2.4 静动压力轴承球磨机

静动压轴承,是一种既有动压润滑又有静压浮升作用的轴承,这种装置在球磨机上的成功应用,在很大程度上提高了球磨机的性能以及工作指标。这种球磨机在启动时采用高压液压系统润滑,用高压油将球磨机筒体顶起,待启动后采用低压液压系统润滑,保证了球磨机中空轴径始终处于良好的润滑状态,摩擦阻力小<sup>[6]</sup>。启动电流低,降低了磨矿能耗。电机轴和小齿轮轴间采用气动离合器,实现分段启动,降低了启动电流和功率。减少对电网的冲击。齿轮采用喷雾润滑,定时定量将润滑剂喷射到齿轮工作表面。改善润滑减少机械损失,降低运转

能耗;采用圆角方型衬板,提高磨机处理能力和磨矿效率,这样,大大地延长了设备使用寿命,降低了选厂的经济成本。

衡阳有色冶金机械总厂、沈阳重型机械厂和上海重型机械厂均生产这种球磨机,在实际生产中应用较好,受到选厂的高度评价。在我国青海省锡铁山铝锌矿选厂使用的  $\Phi 2.8 \times 3.6\text{mQSG}$  型球磨机,与传统的球磨机相比,矿石处理能力提高 7%~10%,单位矿石能耗降低 15%~20%,单位钢耗降低 5%。1994 年在陕西金堆城钼业公司百花岭选厂安装的  $\Phi 3.6 \times 6\text{m}$  溢流型球磨机是由衡阳有色冶金机械厂生产的,是当时最大的静动压轴承球磨机<sup>[7]</sup>。

## 2.5 中心传动球磨机

中心传动球磨机所有部件均位于同一轴或同一平行轴线上,依次安装着电动机、液力耦合器、减速器、排料部、主轴承及筒体等,以中心传动取代常规磨机大小齿轮周边传动<sup>[7]</sup>。当电动机在空载下启动达额定转速后的瞬间,液力耦合器内的工作油通

过电动机的动能传递扭矩,带动减速机和磨机筒体一起转动,使磨机进入工作状态。这种球磨机采用液力耦合器,能隔离扭振和冲击,使负载启动平稳,改善磨机的启动性能;使用硬齿面齿轮减速器传动,这样,传动比大,运行平稳,噪音小,且便于维护;此外,中心传动球磨机由于采用圆柱子滚子轴承,减少了摩擦阻力和静阻力矩,加上使用了液力耦合器和齿轮减速器,使配用电动机功率较常规磨机减小,节能效果显著。

衡阳有色冶金机械厂生产中心传动球磨机,产品在多个选厂得到应用。甘肃陇南西和福利选矿厂选用衡阳冶金矿山机械厂研制的国内第一台 QSZ-1530 中心传动球磨机与青羊峡选矿厂选用的格子型球磨机相比,台效增加 0.33t/h,溢流细度增加 11 个百分点;并由于中心传动球磨机比同规格的球磨机装机容量减少 20kW,实测功耗减少 25kW,即减少 28.4%,所以预计每年可节电 18.36 万 kW/h<sup>[8]</sup>。

## 2.6 离心自磨机

所谓自磨,就是利用矿石本身作为磨矿介质而磨碎矿石。50 年代,自美国哈丁公司将自磨机的直径调整到满足工业化生产要求,自磨机便开始进入工业生产<sup>[9]</sup>。

自磨机由于对矿石的性质要求比较严格,而且自磨机只有在每日处理量达到上万吨的大型厂矿中,使用直径大于 8m 的自磨机,经济成本方面才会有优势,所以适用范围并不宽。在此基础上,发展起来了一种新型的自磨机—离心自磨机。

磨机工作时,物料从进料口进入磨矿筒落至下部高速旋转的离心盘上,受到强大的离心力作用而被甩出离心盘。由于离心盘是锥面状(其倾角一般在 35~50°的范围),因被甩出的物料除有水平的切向速度外且具有垂直向上的运动速度,在四周磨矿筒的限制下,物料顺粒将作螺旋形上升运动,筒内的物料在高速旋转锥面离心盘的作用下形成螺旋状流态化。在运动中摩擦阻力的作用下物料颗粒的运动速度逐渐衰减,当竖向速度为零时,顺粒便停止向上

运动,在重力及下部向上运动物料的挤压作用下,物料由磨矿筒四周向中心返落至离心盘被再次甩出,如此无限循环。

离心自磨机本身具备了中碎、细碎及磨矿多种功能,能一次将粗碎后的物料破磨至一般细磨磨机所生产的粒度。 $\Phi 800\text{cm}$  离心磨机于 1992 年下半年在湖北省松滋重晶石粉厂进行了工业化试验,产品  $-0.075\text{mm}$  产率高达 99.1%, $-0.057\text{mm}$  和  $-0.037\text{mm}$  的指标也达到了 96.6% 和 90%。其中工作噪音  $<82\text{dB}$ ,主轴承相对温度为  $17^\circ\text{C}$ 。与 4R 雷蒙磨在同等的条件下进行了磨矿对比试验,结果表明,此类磨机能耗比 4R 雷蒙磨低  $3.2\text{kW}\cdot\text{h/t}$ ,且维修便利,造价低廉;在陶瓷、玻璃行业,离心自磨机也取得了很好的应用效果,特别是在建筑石膏行业使用的 2 年多,处理能力平均达到  $5\text{t/h}$ , $+0.12\text{mm}$  粒级分布率为 17%,取得良好的生产效果,生产的石膏粉能满足对建筑石膏的要求<sup>[11]</sup>。

## 3 磨矿设备的发展方向

新型磨矿设备主要应用于化工、制药等行业,在选矿行业的应用较少。因此,应用于选矿行业的新型磨矿设备的发展方向主要有以下两个方面:

(1) 上世纪 80 年代前,掀起了磨机大型化的热潮,中信泰富 Sino 铁矿应用了  $\Phi 12.19\times 10.97\text{m}$  自磨机,而中铝秘鲁则采用了  $\Phi 8.5\times 12.8\text{m}$  球磨机。但传统的齿轮传动不适应于如此大的磨机,因而出现了环形电机无齿轮传动和组合柔性传动。随着磨机规格的大型化,有很广阔的前景。

(2) 设备的发展虽然取得了一定的成功,但是还存在一些方面的难题有待解决,如大型化的磨机磨矿效率不太理想、设备使用寿命较小型磨矿设备短等。必须把设备的大型化以及高效节能化综合考虑,并把现阶段的材料科学和优秀的磨矿理论方面的成果有机地结合起来,使制造出的大型设备可以在保证磨矿效率的前提下,提高设备的台效和使用寿命,实现资源的综合利用。

## 4 结 论

(1) 现在普遍使用的溢流型球磨机,存在着大密度的金属矿物易过粉碎、产品粒度不均匀等问题;格子型的球磨机,产品粒度均匀,但是检修不便,格子板尺寸也还有待改善。

(2) 新型磨机在排矿方式、传动机构、筒体形状等方面得到了改善,并在实际生产中得到了较好的应用。

(3) 我国磨矿设备的发展方向,主要集中在磨机大型化的同时,提高磨矿设备的能源利用率,使磨机更加高效节能化。

### 参考文献:

- [1] 段希祥. 选择性磨矿及其应用[M]. 北京:冶金工业出版社,1991.
- [2] 蒋冬青,张铁华,王之初,等. 筒辊磨及其粉碎特性的研究[J]. 中国建材科技,1999(1):18-21.
- [3] 施静如. 筒辊磨设备研究[J]. 技术装备,2006(8):61-63.
- [4] 邹德芳,姚长盛,张红军,等. 高效节能的粉磨设备-筒辊磨[J]. 科技创新导报,2008(19):81.
- [5] 傅俊. 筒辊磨预粉磨系统的应用[J]. 中国水泥,2004(7):41-42.
- [6] 叶贤东,文书明,张文彬. 磨矿设备的发展趋势[J]. 金属矿山,2002(3):128-131.
- [7] 赵昱东. 高效节能磨矿设备综述[J]. 矿山机械,1999(10):18-20.
- [8] 王立平. 中心传动球磨机的研制及应用[J]. 矿山机械,1993(7):35-38.
- [9] 肖庆飞,罗春梅. 碎矿与磨矿技术问答[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.
- [10] 俞良中.  $\Phi 800$  离心自磨机研制[J]. 适用技术市场,1994(3):12-15.
- [11] 吴康寿,赵元义. 离心自磨机在建筑石膏行业中的应用[J]. 建筑石膏与胶凝材料,1998(7):30-31.

## Research Progress and Development Direction of Grinding Equipments in China at Present Stage

YAN Fu-kun<sup>1</sup>, XIAO Qing-fei<sup>1</sup>, LUO Chun-mei<sup>2</sup>

- (1. School of Land Resource Engineering Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China;
2. Yunnan University Engineering Technology Research Institute, Kunming, Yunnan, China)

**Abstract:** The traditional lattice type ball mill has the characteristics of good discharge speed, which can reduce the mineral crush, but it is strict to select the lattice board and not convenient to repair, while the production capacity of the overflow type ball mill is low and the phenomenon of crushing easily happens. According to the deficiency of the traditional grinding machine, some new type equipments were introduced from these aspects of cylinder shape, discharge methods and transmission parts. The vertical agitate mill can improve the precision of crushing in favor of the fine grinding and the selective grinding, the high-efficiency and energy-saving cylinder mill can save energy and operate reliably, the peripheral discharge grinding can reduce the over crushing rate of minerals, the static and dynamic pressure bearing of ball mill and center driving ball mill has the characteristics with large transmission ratio and small noise and the centrifugal mill can deal with the coarse material which is suitable for the fine grinding. On the basis, the development trend and direction of the grinding equipments are prospected.

**Key words:** Grinding; Ball mill; Autogenous mill; Development direction;