

## 低贫磁铁矿选矿技术与选铁尾矿利用现状(一)

罗立群 刘林法 王 韬

(武汉理工大学资源与环境工程学院;矿物资源加工与环境湖北省重点实验室)

**摘 要:**介绍了低贫磁铁矿采用碎矿多段抛尾、多段磨矿多段磁选或磁选-浮选联合处理得到合格铁精矿的基本工艺流程和设备,叙述了采用自磨与半自磨、高压辊磨机等技术和设备处理低贫磁铁矿石,可有效降低选矿生产成本,提高经济效益的技术特征。简要阐述了低贫磁铁矿的选铁尾矿用作生产建材、微晶玻璃、污水处理等的材料,以及在土壤改良、土地复垦等方面的综合利用情况,指出了在开发低贫磁铁矿资源过程中产生的不容忽视的环境问题。

**关键词:**低贫磁铁矿;选矿工艺;选矿设备;尾矿利用

**中图分类号:**TD923 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-6082(2010)01-0016-04

### Mineral Processing Technologies of Lean Magnetite and Comprehensive Utilization of Iron Tailings

Luo Liqun Liu Linfa Wang Tao

(School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology; 2. Hubei Province Key Laboratory of Mineral Processing & Environment)

**Abstract:** The basic technological process and equipment for lean magnetite were introduced in this paper, such as using coarse crushing to reject tailings, and multistage grinding, multistage magnetic separation, or combined process of magnetic separation-flotation. Acceptable iron concentrates were achieved by the processes. The applications of autogenous grinding, semi-autogenous grinding and high-pressure rolling press in lean magnetite treatment process, could reduce production costs and enhance economic benefits effectively. The comprehensive utilization conditions of iron tailings from lean magnetite beneficiation were as follows: used for manufacturing construction materials, glass ceramics, wastewater treatment and land reclamation, and used as soil modifier. It pointed out that environmental problems appeared in exploiting the lean magnetite should never be ignored.

**Keywords:** Lean magnetite; Mineral processing technique; Ore beneficiation equipment; Utilization of tailing

由于我国铁矿资源的特性和经济快速发展,使得开发低贫磁铁矿资源越来越具有必要性。低贫磁铁矿<sup>[1]</sup>,又称超贫磁铁矿或极贫磁铁矿,指达不到现行铁矿地质勘察规范边界品位要求,全铁品位(TFe)在 10%~20%,磁性铁品位(MFe) 5%,但在当前的技术经济条件下能够开发利用的铁矿石。由于铁品位较低,往往选矿工艺比较复杂,一般先碎矿多段抛尾,再采用多段磨矿、多段磁选或磁选-浮选联合工艺处理,可得到合格铁精矿。随着技术的不断进步,可用设备也越来越多。对低贫磁铁矿的

选铁尾矿,应根据其尾矿特征,开发合适的利用技术,提高尾矿的综合利用率和选矿厂的经济效益,减少尾矿对环境的不利影响。

### 1 低贫磁铁矿的选矿工艺

#### 1.1 低贫磁铁矿资源<sup>[2~4]</sup>的类型与粗选抛尾

(1)矿区已查明的铁矿体附近的 TFe 含量低于 20%的低贫磁铁矿资源。这部分低贫磁铁矿资源的数量较大。

(2)没有开展勘查工作新矿区的低贫磁铁矿资源。TFe 含量低于 20%的新矿区的低贫磁铁矿资源量也是十分巨大的。

中国目前开采利用的低贫磁铁矿资源主要有两大类型:基性超基性岩型低贫磁铁矿资源;含

\*基金项目:教育部博士点基金新教师课题(20070497048)

罗立群(1968-),男,博士,高级工程师,430070湖北省武汉市。

铁变质岩型低贫磁铁矿资源(包括条带状硅铁建造型、磁铁片麻岩型和磁铁浅粒岩型等)。

对低贫磁铁矿岩相结构和可选性研究<sup>[4-6]</sup>表明,矿石中脉石矿物的粒径比磁铁矿物的粒径粗得多,二者为不等粒粒状镶嵌,脉石解离粒度远远大于磁铁矿物解离粒度。按照“能丢早丢”的原则,在粗磨矿甚至超粗磨矿条件下,大部分脉石即可实现单体解离,经磁选可丢弃大部分脉石,减少后续细磨、选别作业的负荷,这样就可以大幅度降低选矿生产费用。国内外许多磁选厂,一方面在破碎过程中重视采用干式磁选,分出开采时混入的围岩和矿体本身的夹石,另一方面在分段磨矿中注意湿式粗磨粗选工艺,第一段粗磨过程尽可能及早地丢弃大部分粗粒脉石,减少细磨矿量,从而提高了低贫磁铁矿选矿的经济技术效果。干抛的一般流程为粗碎(中碎)后进行全粒级或分级入选。

## 1.2 贫磁铁矿选矿工艺

低贫磁铁矿石经过破碎、干抛、自磨或半自磨工艺处理后,抛去相当部分的尾矿或废石,所得一次精矿品位显著提高,后续处理工艺与磁铁矿处理工艺基本相同。总的来说,贫磁铁矿分选工艺多是二~四段破碎,并在破碎流程中配有一~二段干式磁选,选别中碎或细碎产品。对进一步深选产品,则需经二~三段细磨,进行2~5次湿式磁选,获得最终铁精矿产品;采用磁选-浮选或浮选-磁选等联合流程,经过系统分选处理后,铁精矿品位一般可达到65%左右。在提高铁精矿品位的同时,还可回收伴生矿物,实现对磁铁矿精矿的脱硫和脱磷等。

## 2 开发低贫磁铁矿的选矿主体装备

### 2.1 传统破磨设备的大型化、高效化

碎矿和磨矿是矿山金属矿物加工工艺中的关键工艺过程。选矿生产中碎矿和磨矿作业设备投资、生产费用、电能消耗和钢材消耗所占比例最大,通常设备费占60%、生产费用占40%~60%、电能消耗50%~65%、钢材消耗占50%,寻求改进碎磨设备工艺性能、研制大型高效设备、降低能耗和钢耗受到世界各国的重视。近年来,新型破磨设备不断问世,目的是获得更大的破碎比,达到更细的碎矿产品粒度,以降低入磨粒度,节能降耗;同时进行设备结构创新,采用新技术、新材料对传统设备改进,提高其可靠性、耐久性,改善其性能、提高效率。

#### 2.1.1 旋回破碎机

旋回破碎机<sup>[9]</sup>具有处理量大、给料块度大、能处理坚硬物料的特点,目前仍为粗碎的重要设备。

1997年印尼 Freeport公司的 Grasberg铜矿采用德国 krupp公司生产的 1600/2896mm 旋回破碎机,生产能力为 1万 t/h,是目前世界上最大的旋回破碎机。芬兰 Metso集团推出的新一代 Superior MK- 型旋回破碎机,能有效控制产品粒度,有清腔和过载保护功能。

#### 2.1.2 颚式破碎机

随着大型装运设备的采用,促进了颚式破碎机向大型化发展,国外大型简摆式颚式破碎机规格 2100mm ×3000mm,给矿块度 1 800mm,生产能力 3 000t/h。德国 Krupp 公司推出的高转速冲击颚式破碎机适用于硬、中硬、粘性矿石的粗、中碎作业,破碎能力较同规格传统破碎机提高 50%~100%。北京矿冶研究总院华诺维科技发展有限公司推出新型低矮大破碎比、外动颚、匀摆颚式破碎机,最大规格为 1200mm ×1500mm。该机与传统复摆破碎机相比,具有结构新颖,性能良好,破碎比大 2~3.5倍、处理能力高 20%、能耗降低 15%~30%、外型矮 20%、衬板寿命延长 2~3倍等特点,可简化流程,降低设备高差。2003年 2月,PD6090外动颚式破碎机在鑫宇磁铁矿投产以来,到 2006年 5月末共处理原矿 200多万吨,平均处理能力 145t/h,最大瞬间生产能力 250t/h,衬板使用寿命 8个月,噪音小、粉尘少,操作维修方便。

#### 2.1.3 圆锥破碎机

进入 21 世纪,新一代圆锥破碎机功率已达 750kW,实现了高能化,取得更高的破碎比、更细的产品粒度和更大的生产能力。目前,中碎机生产能力已达到 2 500t/h,细破碎生产能力可达到 700~750t/h。瑞典 Sandvik集团第 3代 H系列圆锥破碎机是单缸液压圆锥破碎机典型代表,主要有 H6800型、H7800型、H8800型液压圆锥破碎机。2004年,我国齐大山选矿厂引进 H8800型破碎机做中碎机,生产能力 1200~1600t/h,产品粒度 -20mm 占 54.64%、+75mm 仅占 2.32%。芬兰 Metso公司 HP系列破碎机是多缸液压圆锥破碎机的代表产品,其特点是破碎能力大、产品粒度小(0~5mm 粒级含量多)。近年来 HP系列圆锥破碎机已在我国包钢选矿厂、鞍钢齐大山选矿厂等金属矿山应用了 100多台。

#### 2.2 重视自磨与半自磨技术与装备

##### 2.2.1 自磨与半自磨技术

自磨有干式自磨和湿式自磨两种,我国南方含泥、水的矿石不宜采用干式自磨。湿式自磨的优点

是绝大多数金属矿石,尤其是密度较大的铁矿石都适用,能耗低于干式自磨,分级系统及辅助设施比较简单;作业不产生粉尘,对环境污染小,投资也低于干式自磨。其缺点是生产能力较干式自磨低;衬板磨损速度比干式自磨快。

半自磨是在自磨机中加入 3% ~ 12% 的钢球介质,其处理能力可提高 10% ~ 30%,单位产品的能耗降低 10% ~ 20%,但衬板磨损相对增加 15%,产品细度也变得粗些。

通常采用的自磨(半自磨)工艺流程有自磨干选;自磨球磨破碎(ABC 流程);半自磨球磨(SAB);半自磨球磨破碎(SABC 流程);自磨砾磨破碎(APC 流程);半自磨砾磨破碎(SAPC 流程)。具体工艺流程要根据小型试验、半工业性试验结果进行选择。

### 2.2.2 我国自磨技术的发展历程

1959 年我国试制  $\phi 4\text{m} \times 1.2\text{m}$  干式自磨机,并于 1960 年在鞍山烧结总厂进行试验,取得一定效果<sup>[7~9]</sup>。1969 年大冶铁矿对  $\phi 5.5\text{m} \times 1.65\text{m}$  湿式自磨机进行试验,取得良好效果。20 世纪 70 年代,许多新建选矿厂基本都采用了自磨设备,如歪头山铁矿、东山铁矿、吉山铁矿、漓渚铁矿、石人沟铁矿等选厂采用了  $\phi 5.5\text{m} \times 1.8\text{m}$  的自磨机。20 世纪 80 年代国内能源紧张,由于自磨机能耗高,自磨机应用较少,自磨技术发展较慢,从而拉大了与国外的差距。1995 年新疆阿希金矿采用国产  $\phi 5.5\text{m} \times 1.8\text{m}$  自磨机。2007 年,大红山铁矿选厂采用一台芬兰 Metso 公司制造的  $\phi 8.53\text{m} \times 4.42\text{m}$  半自磨机,功率 5 593 kW,处理原矿能力为 400 万 t/a。

据不完全统计,我国现有 60 多个选厂使用 150 多台自磨(半自磨)机,其中多数为湿式短筒型自磨机。

### 2.2.3 自磨及粗粒湿选工艺的应用实践

歪头山铁矿选矿厂<sup>[10]</sup>是目前我国规模最大的采用湿式自磨机生产的大型选厂,通过生产实践的优化与改造,效果良好。2004 年以前,该厂采用的工艺是一段自磨、二段球磨、三段球磨的阶段磨选细筛自循环流程,自磨机排矿给入一次永磁脱水槽分选,粗精矿进行磨矿分级,分级溢流经二脱、磁选、细筛、再磨再选作业后,得到合格精矿。

该工艺存在两个问题:一是一次脱水槽抛尾产率不高,只有 30% ~ 35%。主要原因是脱水槽只能抛弃细粒级矿物,而对于较粗粒级的单体脉石及贫连生体较难脱除;二是球磨机的利用系数低,主要是

歪头山铁矿近年来由于矿石性质变化,自磨能力降低。

增加自磨处理能力,采用湿式粗粒永磁筒式磁选机代替一次脱水槽强化粗粒抛尾。

2004 年 11 月歪头山铁矿自磨分选优化工艺正式投产后,选别设备性能更可靠,运行更稳定,指标更先进,达到了早解离、早抛尾的目的,全厂节省 5 台球磨机及其分级机,年创经济效益 1 570 万元。

### 2.3 高压辊磨机的开发和应用

上世纪 80 年代中期,应用层压粉碎机理研制的高压辊磨机,已广泛应用于有色、黑色矿山、氧化球团破碎粉磨作业。因其具有生产效率高、节能显著、投资省、维修方便以及工作环境好等优点,被矿业界公认为先进的破碎粉磨设备。

#### 2.3.1 高压辊磨机的工作原理与特点

高压辊磨机<sup>[11,12]</sup>喂料仓内的待粉碎物料,通过可调节开口大小的给料器进入高压辊磨机的破碎腔,破碎腔内料流空间上下连续、贯通,可实现 3m 以上的料柱,确保形成足够的给矿压力,挤满破碎腔的物料,在辊子的相向转动和料柱重压的双重作用下,强制进入不断压缩的空间,并被压实(排矿料饼密度达到矿石真密度的 0.85 倍),达到一定压力时遭到粉碎或在颗粒内部形成微裂纹而破碎。

高压辊磨机具有:单位能耗低,在 0.8 ~ 3 kWh/t;能处理水分含量高的物料,最高水分 10%;提高后续作业的回收率和产品品位,改善物料的可磨性;设备振动和噪声低,作业率高,一般在 95% 以上,且维修费用低;耐磨辊面工作寿命长,达 4000 ~ 30000h;设备结构紧凑,占地面积小,各种检测和保护功能全,可实现系统集中控制的结构特点和性能。

高压辊磨机的产量与单位出产率、挤压辊直径、挤压辊宽度、挤压辊线速度有关。单位出产率主要取决于需辊压破碎物料的特性,进料的粒度级配、水分、单位辊磨压力及挤压辊表面特性等。辊压机辊磨产品细度主要受两个挤压辊间压力大小的影响,当产品细度要求高时,辊压机应采取闭路作业。

#### 2.3.2 高压辊磨机的应用

高压辊磨机用于金属矿石的破碎,可简化碎矿流程、实现多碎少磨、提高系统生产能力、改善磨矿效果或选别指标等。德国 Krupp Polysius 公司生产的  $\phi 2.4\text{m} \times 1.4\text{m}$  POLYCOM 型高压辊磨机用于美国 SIERRA 铜矿做细碎设备,产品粒度为 - 250  $\mu\text{m}$  占 80%,处理能力为 1 800 t/h;澳大利亚

One Steel公司用 2 台德国 Koepem公司 RP14-1400 型高压辊磨机将 25 ~ 0mm 磁铁矿碎至 3. 15 ~ 0mm; 德国 KHD Humbolt Wedag 公司的 RPB16-170/180 型高压辊磨机于 1998 年 11 月用于智利 Los Col-rados 铁矿选厂, 给料粒度 - 63. 5mm, 产品粒度 - 6. 35mm 占 75%, 处理能力平均 1 780t/h, 最大 2 000t/h, 镶嵌硬质合金柱钉辊面使用寿命 14 600h。此外, 在美国、巴西、印度、毛里塔尼亚、澳大利亚、俄罗斯等国许多金属矿山应用。

国内用高压辊磨机粉碎金属矿石的有马钢凹山选厂。凹山选厂高压辊磨机及其辅助系统工艺流程图如图 1, 是德国魁伯恩公司 (Koepem) 生产的型号为 RP630/17-1400 的高压辊磨机, 其主要工艺技术参数见表 1。

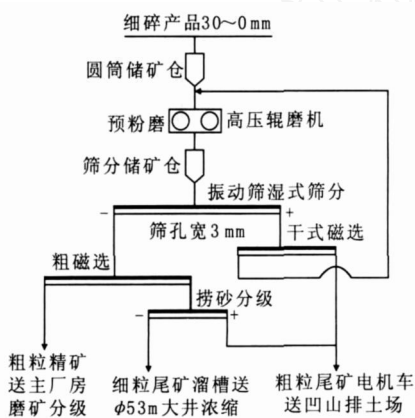


图 1 凹山选厂高压辊磨机及其辅助系统工艺流程图  
凹山选厂 2006 年对高压辊磨机辅助系统进

表 1 RP630/170-1400 高压辊磨机主要工艺技术参数

直径 /m	辊长 /m	配用电机功率 /kW	正常辊面线速度 /(m/s)	新给料量 /(t/h)	工作压力 /MPa	
1.7	×1.4	1450	×2	1.0~2.0	821	3.5~4.5
通过量 /(t/h)	给矿 - 3mm 含 量 /%	产品 - 3mm 含 量 /%	能耗 /(kW/h/t)	辊面寿 命 /h		
1305	40	70	2.7	10000		

行生产调试, 2007 年 7 月份正式投入生产, 在入选矿石硬度加大、磨矿产品粒度变细的情况下, 原矿处理量逐年上升, 因高压辊磨机的应用, 凹山选厂的年生产能力 2008 年比 2005 年提高近 200 万 t/a。而构成三大主要成本因素的电力和钢球分别下降 29. 71% 和 24. 49%, 参见表 2。在原矿全铁品位从 26. 09% 降至 20. 80% 的情况下, 稳定了精矿品位, 创造了显著的经济效益。

表 2 凹山选厂电力、钢球、辊套单耗指标对照表

单耗指标	2005 年	2008 年 1~10 月	增减幅度 /%
电力 / [kWh / (t·原矿)]	25. 65	18. 03	- 29. 71
钢球 / [kg / (t·原矿)]	0. 98	0. 74	- 24. 49
辊套 / [元 / (t·原矿)]	0	约 0. 5	

姑山选矿厂用 GM1000 ×200 型高压辊磨机的工业试验<sup>[14, 15]</sup>表明, 通过高压辊磨机工艺参数的合理选择, 该设备粉碎物料效果较理想, 可提高生产率约 30% ~ 50%, 降低能耗约 20% ~ 35%, 尤其是大幅度减少了后续球磨的工作量和能耗。

高压辊磨机在国外应用已比较广泛, 相信随着高压辊磨机性能日益完善, 在我国金属矿山的应用前景将更广阔。(待续)

(收稿日期 2009-09-04)

· 记者在线 ·

## 青海东昆仑西段祁漫塔格探明一处大型铅锌矿

2009 年, 青海省地矿局在东昆仑西段祁漫塔格地区探明一处大型铅锌矿, 四角羊牛苦头多金属矿, 这是近年来青海省地质找矿工作取得的又一重大成果。四角羊牛苦头多金属矿位于青海省柴达木盆地南缘, 交通条件较好。2004 年由青海省地矿局引进企业实施联合勘查, 随着工作程度的不断深入, 该局将勘查区按异常划分为三个区段分步实施。截至目前, 其中两个区已完成详查, 一个区完成普查。日前, 青海省国土资源厅项目评审中心审查通

过了省柴达木综合地质勘查院提交的《青海省格尔木市四角羊牛苦头矿区多金属矿详查报告》和《青海省格尔木牛苦头地区 M1 磁异常区多金属矿详查报告》两份报告, 《青海省格尔木牛苦头地区 M1 磁异常详查及外围多金属矿普查报告》正在初审之中。据了解, 三份报告共估算铜铅锌 332 + 333 资源量 116 万 t, 磁铁矿矿石量 1 180 万 t, 硫铁矿矿石量 2 640 万 t。相当于新找到 2 个以上规范标准的大型铅锌矿床, 潜在经济价值可达 400 亿元以上。