

预选抛尾技术应用进展

敖顺丰¹, 朱家锐¹, 徐峰², 杨菊², 陆继思³, 王存柱¹

1. 云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南 曲靖 655011;
2. 玉溪大红山矿业有限公司, 云南 玉溪 653405;
3. 呼伦贝尔驰宏矿业有限公司, 内蒙古 呼伦贝尔 021000

中图分类号: TD921+.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2021)04-0157-07

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2021.04.019

摘要 矿产资源的开采不可避免会混入围岩和夹石, 造成出矿品位的降低, 且随着矿产资源的大量开发利用, 高品位和易选矿产资源储量日益减少, 低品位和复杂难选矿产资源的经济高效开发利用愈发迫切。预选抛尾技术的应用, 对提高入选矿石品位、减少磨选矿量、降低细粒尾矿排出量、提高资源利用率及减少环境污染等意义重大。从光电选矿抛尾、重选抛尾、磁选抛尾、浮选抛尾以及联合工艺抛尾, 分别介绍了预选抛尾技术的现状和进展, 并指出了各种预选抛尾技术的优势和不足, 每种预选抛尾技术都有其特有的优势, 联合工艺抛尾将是解决低品位矿产资源经济高效开发利用的重要技术突破, 预选抛尾将成为选矿中一个通用必备的工艺环节。

关键词 矿产资源; 低品位矿; 选矿; 预选抛尾; 综合利用

矿产资源是国民经济赖以生存和发展的物质基础, 但矿产资源具有不可再生性、赋存的不均衡性及需求的普遍性, 矿产资源的开采不可避免会混入围岩和夹石, 造成出矿品位的降低, 且随着矿产资源的大量开发利用, 高品位和易选矿产资源储量日趋减少, 与此同时低品位和复杂难选矿产资源的增加造成矿业生产成本的自然递增, 尾矿堆存大量占用土地资源及尾矿库服务年限降低, 低品位和复杂难选矿产资源的经济高效开发利用愈发迫切。预选抛尾技术主要在粗磨或细磨等作业前预选抛弃部分废石或低品位矿石, 实现原矿预富集, 可提高入选矿石品位, 减少磨选矿量, 降低细粒尾矿排出量, 提高资源利用率及减少环境污染等, 甚至还有废石和尾矿等利用预选抛尾技术处理预富集有价组分到达边界品位, 再选矿处理, 使得预选抛尾技术以其显著的独特优势在选矿领域有着巨大的应用需求, 尤其是在低品位和复杂难选矿产资源的开发利用方面, 光电选矿抛尾、重选抛尾、磁选抛尾、浮选抛尾以及联合工艺抛尾获得了长足的进步和发展^[1-2]。

1 预选抛尾技术及其优势

选矿厂的碎磨投资及生产经营费用均占主要部

分, 而选矿厂生产能力的大小由磨矿决定, 选矿的基本原则为多碎少磨、能收早收及能丢早丢; 预选抛尾技术根据矿石中不同矿物颗粒的密度、磁性、导电性、光泽及放射性等的差异, 利用光电选矿、重选、磁选及浮选等预选抛弃部分废石、脉石或低品位矿石, 因而预选抛尾技术多用在粗磨或细磨等作业前。

近年来预选抛尾技术已成为选矿工艺技术革新的重要研究应用方向, 在选矿领域越来越广泛地应用, 在缓解碎磨压力、节能降耗、降低生产成本、充分利用矿产资源及提升生态环境保护水平等方面具有显著的成效。预选抛尾技术抛弃部分废石、脉石或低品位矿石, 可降低矿石开采边界品位, 尤其促进薄小边残矿体的机械化大规模开采, 相当于扩大矿石的工业储量, 有助于延长矿山服务年限及提高矿产资源利用率; 在原有磨选设备处理能力不变的情况下, 提高入选原矿品位, 也就意味着减少磨选矿量, 降低细粒尾矿排出量, 提高选矿效率及经济效益, 而对于新建选矿厂更可以节省投资; 磨选矿量的降低, 也促使了选矿废水量的减少及细粒尾矿量的降低, 从而降低了选矿废水及尾矿产生的污染, 具有显著的生态环境保护效益; 预选抛尾提前排弃尾矿, 尤其是井下采场预选抛尾, 可降低矿石及尾

收稿日期: 2021-08-09

作者简介: 敖顺丰(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事选矿技术、矿产资源综合利用及清洁生产的研究和管理工作。Email: aoshunfu1982@126.com。

矿的转运成本,且预选抛尾排弃的尾矿颗粒大,有利于尾矿作为骨料用作井下充填、尾矿筑坝、建筑及筑路等的原材料,最终为建设少尾和无尾矿山提供可靠支撑;废石、尾矿等可利用预选抛尾技术处理预富集有价组分到达边界品位,再选矿回收利用,可减少矿产资源的损失及环境污染隐患,实现变废为宝。

2 预选抛尾设备及在选矿中应用

2.1 光电选矿抛尾

光电选矿技术是非常重要的预选抛尾技术之一,主要用于块状矿石的预选抛尾,目前比较成熟的光电选矿技术主要有色选和X射线分选(XRT)。

色选主要利用可见光、紫外光、红外线等照射矿石,利用探测器探测矿石中不同矿物的颜色、透明度、光泽、反射率及吸收率等表面特征差异,进一步通过图像识别和分选执行机构将有用矿物与脉石选别分离。浙江省遂昌县湖山萤石矿为解决50~10mm粒级萤石难以人工拣选的难题,引进履带式色选机进行选矿分离,选别出的含 CaF_2 达到80%左右精矿以便对外销售,选别出的含 CaF_2 约50%左右的尾矿再送浮选厂进行选别处理^[3]。广西珊瑚钨锡矿采用Mogensen Sort Typ AP 1200色选机进行预选抛尾,与手选抛废相比提高抛废率14%,合格矿品位相应提高了16%,减少人工成本约180万元/年,减少选矿处理成本229.8万元/年^[4]。南非某含金石英脉矿石,采用光电拣选机预选抛尾,可将入磨矿石金品位由2.5g/t提高至6.5g/t^[5]。

由于每种元素的特征X射线均是唯一的,X射线分选利用矿石在受到X射线照射后,受到激发而产生的特征X射线,通过测定特征X射线的能量及特征X射线的强弱,以确定相应的元素及其含量,从而通过执行机构将有用矿物与脉石选别分离。X射线分选设备选别精度高,已使用于黑色金属矿、有色金属矿、贵金属矿及煤矿等的预选抛尾。酒钢桦树沟铁矿石采用XNDT-104射线智能分选机进行预选抛废,抛废率13%左右,能够取得尾矿品位小于10%、铁回收率大于96%及预选粗精矿铁品位提高3.6个百分点以上的指标^[6]。浙江某低品位铅锌矿,采用XNDT-104射线智能分选机进行了抛废分选,抛废率为27.42%,抛出的废石铅+锌品位0.27%,低于浮选尾矿铅+锌品位0.3%,铅和锌回收率分别为94.59%和94.2%^[7]。湖南某低品位钨钼矿采用LPPC1-50型X射线辐射拣选机进行半工业试验,40~20mm和20~10mm两个粒级的块状矿石综合抛废率达到39%,钨和 WO_3 的综合损失率分别为10.67%和5.78%^[8]。某金铜共生矿

石采用俄罗斯叶卡捷琳堡市科技公司研制的SRF3-150型X射线辐射分选机预选,150~90mm粒级获得铜品位1.26%、回收率96.27%与金品位为9.80g/t、回收率90.61%的预选精矿,90~30mm粒级获得铜品位为1.32%、回收率为98.69%与金品位为6.77g/t、回收率为96.75%的预选精矿,全流程预选抛尾产率达35.08%^[9]。大同煤矿集团临汾宏大豁口煤矿引进波兰生产的CXR-1000型X射线分选机进行生产应用,分选后的精煤中含矸量可控至在5%以下,精煤发热量比原煤增加544kcal/kg^[10]。

绝大多数矿石都可以用光电选矿技术进行预选抛尾,且光电选矿技术用于预选抛尾工艺系统简单、投资省及运行成本低,尤其可用于缺水地区进行干式选别抛尾,并易于实现生产的连续化、自动化,具有广阔的应用前景,但光电选矿技术存在单台设备处理量低,且主要局限于10~50mm粒度范围的矿石分选。

2.2 重选抛尾

重选是利用有用矿物和脉石之间的密度差异而进行分选的选矿方法,常用的重选抛尾有溜槽、跳汰机和离心选矿机,此外悬振锥面选矿机和重介质选矿等亦有应用。应用重选设备进行预选抛尾,可以抛出部分脉石,同时大量的矿泥也会随脉石一同抛出,对抛尾后的矿石选别性能具有较好的改善作用。

溜槽选矿借助在斜槽中流动的水流进行矿石的选别分离,溜槽结构简单、占地面积小、无传动部件及不需动力,其用于预选抛尾具有单位面积处理量大和成本低等特点,是非常重要的重选抛尾设备之一。云南某含锡0.17%的高泥氧化锡矿石采用原矿洗矿分级,+0.212mm粗粒磨至-0.074mm占56.25%与-0.212mm粒级合并后经螺旋溜槽抛尾,可获得产率为32.65%、锡品位为0.424%及锡回收率81.43%的溜槽精矿^[11]。新疆某白钨矿矿石采用螺旋溜槽抛尾-摇床精选流程回收矿石中的白钨矿,螺旋溜槽的规格为 $\Phi 350\text{mm} \times 1600\text{mm}$,在试验中可以抛弃36%的粗粒尾砂^[12]。跳汰分选是在垂直交变水流中使轻重物料分层分选的方法,迄今已经制成了多种结构形式的跳汰机,跳汰机调节灵活、分选精度高,在预选抛尾中应用较广。大厂92#矿体采用CJT型粗粒锯齿波跳汰机进行预选抛废半工业试验,抛废率30.45%,锡、铅及锌金属回收率分别为93.48%、90.38%及90.75%^[13]。车河选矿厂采用双室锯齿波跳汰机JT5-2改造替代主流程“圆锥选矿机-螺旋溜槽”联合抛废,改造后主流程抛废率由20%提高至30%,丢尾品位锡、铅及锌由0.12%、0.058%及0.45%下降至0.081%、0.028%及0.26%,抛尾金属损失率锡、铅及

锌分别降低 0.030%、1.03% 及 0.67%^[14]。江西某钨矿采用 GM-2-66 型两室旁动隔膜跳汰机进行二次连续跳汰抛废,合计抛废率为 60%,跳汰尾矿 WO_3 品位 0.029%,跳汰精矿 WO_3 品位 0.447%,富集比为 2.27,提高了原矿入选品位^[15]。离心选矿机是利用离心力场进行矿石分选的离心重选设备,其借助转筒的旋转带动矿浆呈流膜离心运动,以使不同密度的颗粒受离心力差异而分层和分离,离心选矿机也较好地应用于预选抛尾。柿竹园矿采用离心选矿机对高梯度强磁选精矿进行预选抛尾,对 WO_3 品位 0.64% 的高梯度磁选精矿进行重选抛尾—浮选,获得了 WO_3 品位 54.23%、回收率 84.75% 的黑钨精矿^[16]。某硫化钼尾矿采用 Falcon 离心选矿机(型号 C40)进行预选抛废,可抛除 51.77% 的尾矿,钼和 WO_3 作业回收率分别为 72.11% 和 78.14%,大幅降低后续作业的入选矿量^[17]。悬振锥面选矿机是依据拜格诺剪切理论和流膜选矿理论,在复合力场中根据矿物粒度和密度的差异,对微细粒矿物进行分选的一种新型重选设备,悬振锥面选矿机预选抛尾主要用于细粒级矿石。河南某地细粒金红石矿,应用螺旋溜槽、普通矿泥摇床、双曲波摇床、悬振锥面选矿机和 Falcon 离心选矿机等几种重选设备进行抛尾富集试验,结果表明,新型悬振锥面选矿机对细粒金红石表现出较好的抛尾富集效果,得到的粗精矿品位和回收率分别为 9.13% 和 80.96%,抛尾产率可以达到 76% 以上^[18]。重介质选矿指在密度大于 1 g/cm^3 的介质中进行选别,重介质包括重液和重悬浮液两类液体,受生产运行成本影响应用最多的重介质基本都是重悬浮液,重介质预选抛尾分选精度高,抛废率高,多使用于密度差异较小的有用矿物与脉石。湖南某高碳酸钙型白钨矿矿石进行了重介质旋流器预抛试验,试验结果表明,随着重介质密度的增加,预抛轻产品的产率和 WO_3 、 CaF_2 、 $CaCO_3$ 在预抛轻产品中的回收率均逐渐升高;在介质密度为 2.37 g/cm^3 的条件下预抛,获得预抛轻产品作业产率为 46.24%, WO_3 作业回收率为 5.15%、 CaF_2 作业回收率为 27.17%、 $CaCO_3$ 作业回收率为 74.72% 的良好指标^[19]。云南某低品位铅锌矿采用双锥重介质旋流器进行抛废,在介质密度为 2.20 g/cm^3 的条件下,抛废尾矿产率为 49.19%,铅品位为 0.34%、损失率为 5.68%,锌品位为 0.19%、损失率为 10.78%^[20]。

多种重选技术及设备的应用,使得重选抛尾能适应粗粒和细粒矿石的处理需要,并兼具了处理量大、生产成本低及对环境污染小的优势,但重选工艺复杂、用水量及分选效率普遍较低,且密度差异较小的有用矿物与脉石的预选抛尾仍存在不足,更难以对微细粒矿石进行规模化高效的预选抛尾。

2.3 磁选抛尾

磁选是根据矿石中矿物的磁性差异而使不同矿物实现分离的一种选矿方法,磁选设备的性能决定了磁选的入选粒度范围、处理能力及选别效率等。

磁选用于选矿历史悠久,但最初用于选别强磁性矿石,而用于弱磁性矿石的选矿相对较晚,受磁选技术的发展影响,利用弱磁场磁选机对强磁性矿物进行预选抛尾也更为成熟;但为了强化选别分离,磁选抛尾设备主要由单一力场磁选机向复合力场磁选机发展,以提高抛废处理量、选择性及粒级适应性。磁滑轮有永磁的和电磁的两种类型,磁滑轮预选抛尾工艺简单、投资少、效率高,是最为常见的磁选抛尾设备。鲁中冶金矿山公司矿石采用无底柱分段崩落方法开采,开采过程中混入较多的红板岩,矿石贫化率高,采用 CT-1416 型永磁磁滑轮进行预选抛废,近 10 年的生产实践表明,对 0~350 mm 粒级矿石选别可以抛出产率 14%、品位 12% 的尾矿,使原矿品位提高了 3%~4%^[21]。甘肃某铁矿石,原矿破碎至 -15 mm 粒级后采用 CT-400×400 型磁滑轮在 80 kA/m 的磁场强度下抛废,可抛除 30.92% 的废石,磁性铁损失率仅 1.43%^[22]。以磁力分选为主辅以其它力场进而开发出复合力场磁选机,在提高抛废处理量、选择性及粒级适应性等方面具有显著的优势,NLCT 系列外磁式磁选机和 ZCLA 选矿机等复合力场磁选机得到应用。分选矿石在 NLCT 系列外磁式磁选机的分选筒内,在分选区内重力、离心力与磁力方向重合,分选精度高,扫选带长。采用 NLCT 系列外磁式磁选机,对 -18 mm 粒级钛铁矿矿石预选抛尾和一段分级系统沉砂抛尾,可实现抛尾产率 9%~28%;对 -18 mm 粒级原生磁铁矿矿石预选抛废,实现磨前抛废产率 42.09%^[23]。ZCLA 选矿机采用了独特的半闭合内敛式磁系,采用磁力和重力联合选别。梅山铁矿 -2+0.5mm 粒级矿石的选别,与原有流程相比,采用 ZCLA 设备预选新流程的精矿品位均能达到 56%,精矿产率、金属回收率及选矿效率分别提高了 6.33、10.23 及 8.10 个百分点,尾矿产率和品位分别降低了 6.23 和 4.36 个百分点^[24]。南芬选厂半自磨机排矿样经 ZCLA 选矿机一次粗选预选,可抛出产率 50% 左右的尾矿,尾矿 TFe 品位 8% 左右,精矿铁回收率为 83%,为提高半自磨机处理能力和精矿品位创造了条件^[25]。

磁选抛尾技术的深入研究表明,矿石的破碎方式及选别介质对磁选抛尾效果影响甚大。与传统破碎相比,利用层压破碎原理的高压辊磨,不仅能使矿石得到更高的破碎比,且高压辊磨粉碎能沿不同矿物之间产生较多的解离裂纹,从而提高破碎产物的单体解离度,

可进一步改善预选抛尾技术指标。内蒙古某贫磁铁矿矿石高压辊磨破碎和传统颚式破碎的预选效率对比研究,结果表明,与传统颚式破碎相比,高压辊磨的破碎比(F_{80}/P_{80})高 31.52%,产物中 -0.074 mm 粒级含量高 8.46 个百分点,干式抛尾精矿全铁品位高 2.66 个百分点,全铁回收率和磁性铁回收率分别高 4.54 和 4.47 个百分点^[26]。对白云鄂博西矿超低品位含铁岩进行了常规破碎多粒级预选工艺试验及高压辊磨产品预选试验研究,研究得出在破碎排矿粒度相近的情况下,含铁岩辊磨产品比常规破碎产品干选效果要好,可多抛出 1.27 个百分点尾矿,尾矿中 mFe 含量低 0.60 个百分点,精矿 TFe 品位高出 0.64 个百分点, mFe 品位高 0.41 个百分点, mFe 作业回收率高 1.26 个百分点^[27]。相对于干式磁选抛尾,湿式磁选抛尾得益于选别介质水起到的良好分散作用,可降低微细粒对磁选抛尾的不利影响,使预选抛尾更加充分。尖山铁矿石进行了干式磁选抛尾和湿式磁选抛尾两种方案的对比试验,采用干式磁选可抛除产率 9.81% 的尾矿,精矿磁性铁回收率为 98.47%,采用湿式磁选可抛除产率 19.32% 的尾矿,精矿磁性铁回收率为 97.96%,在精矿磁性铁回收率相近的条件下,湿式预选抛尾效率更高^[28]。陕西大西沟选矿厂磁铁矿石,采用干式预选可抛出产率为 29.57%、磁性铁品位为 0.83% 的尾矿,采用湿式预选可抛出产率为 39.33%、磁性铁品位为 0.61% 的尾矿,无论是抛尾产率或是尾矿磁性铁品位湿式抛尾效果更好^[29]。鉴于高压辊磨和湿式磁选抛尾的优势,部分选矿厂已在生产实践中联合使用高压辊磨与湿式磁选抛尾,并取得了显著的成效。福建某特大型矽卡岩型磁铁矿选矿厂,在原破碎和磨选工艺中间增设了高压辊磨及湿式预选工艺流程,改造前后生产指标几乎一致,但单月系统处理能力提高了近 35.40 个百分点,生产成本较原工艺下降 2.48 元/t 原矿,降幅达到 12.73 个百分点,成本下降显著^[30]。

磁选抛尾具有工艺流程简单,且能进行干式或湿式选别,环境污染小,在含磁性矿物的预选抛尾中有着独特的优势,尤其是复合力场磁选机的应用,但都只适于处理含有磁性差异的矿石,应用范围较为有限。

2.4 浮选抛尾

浮选是根据矿物颗粒表面物理化学性质的差异,利用矿物自身具有的或经药剂处理后获得的润湿性差异进行分选,是一种广为适用的选矿方法;浮选对绝大多数的矿石都有较好的分选效果,浮选抛尾多用于处理重选和磁选等抛尾效果不理想的矿石,以及通过浮选抛尾处理预富集有价组分到达合适的品位,从而再使用针对性强及成本高的化学选矿进行处理,以便更

加经济地综合利用矿产资源。

预选抛尾在粗粒级条件下选别能实现更好的经济效果,而浮选受矿物的粒度影响较大,一般适用于分选细粒级矿石。刚果(金)某高碳酸盐氧化铜矿为解决原矿浸出酸耗高的问题,根据碳酸盐脉石与氧化铜矿物浮选性能差异,采用开路硫化浮选的方法对氧化铜矿物进行选择富集,而对耗酸碳酸盐脉石进行预先抛尾,使用 NaHS (1 050 g/t) 对矿浆进行硫化,以戊基黄药、Z-200 及羟肟酸钠按 4:1:1 质量配比的组合捕收剂 (650 g/t) 进行 4 次开路浮选,得到了铜品位 8.16% 的粗精矿,回收率达到了 94.75%,而耗酸脉石的抛除率则超过 80%^[31]。某金红石矿采用浮选抛尾—重选—再磨酸浸—浮选的工艺流程,可获得含 TiO₂ 为 90.28%、回收率为 47.37% 的金红石精矿,其中浮选一次抛废达到 72.27%,浮选抛废粗精矿品位为 15.16%、回收率为 89.26%^[32]。山西某金红石矿,采用两次浮选抛尾,金红石浮选(一次粗选两次精选)—浮选精矿除杂(弱磁选—强磁选—重选),浮选抛废抛出产率为 28.07% 的易浮脉石,并获得了总精矿 TiO₂ 回收率为 69.25%、金红石回收率 86.42% 的指标,且综合回收了磁铁矿和钛铁矿^[33]。

浮选中较粗的矿粒不易悬浮、与气泡碰撞的概率低,且易从气泡上脱落,虽然增加浮选搅拌强度、矿浆浓度、充气量及优化药剂制度等对改善粗颗粒浮选有一定效果,但近年来粗粒浮选工艺及设备快速发展,尤其是泡沫中分选法(SIF法)和流化床浮选等,成为了浮选抛尾研究的重点及热点,且进一步助推浮选抛尾的发展应用。泡沫中分选法(SIF法)是一种矿物颗粒在运动泡沫层中下沉时进行矿物分选的方法,矿浆给入泡沫层时疏水矿粒立即被浮出回收;SIF法的浮选矿物粒度可比常规浮选最佳粒度粗 10 倍,多用于磨矿分级回路或尾矿处理分选粗粒级目的矿物,其中用于磨矿分级回路可尽早的除去脉石,为后续选别作业提高给矿的人选品位或直接产出最终精矿。J·O·列比伦使用实验室型和半工业型 SIF 试验设备对磷灰石、方解石及硅酸盐矿物进行浮选试验,结果发现上述所有矿物在粒度为 3 mm 以下时均能用 SIF 法成功地浮选,其中方解石磨矿分级回路的粗粒级试验表明,对粗粒(特别是 0.1~0.5 mm)用一段 SIF 作业可以获得回收率为 90% 以上的合格方解石精矿^[34]。流化床浮选利用复合力场与浮选相结合的一种选矿新技术,澳大利亚 Newcastle Jameson 教授针对流化床浮选研究设计了 NovaCell 浮选柱,使用 NovaCell 浮选柱进行粗颗粒矿物分选,方铅矿和黄铜矿的最大可浮粒度上限被提升至 1.4 mm,针对密度更小的煤的浮选,最大可浮粒度上限能达到 5 mm^[35]。ERIEZ 针对流化床浮选研究设

计了 Hydro float 水力浮选机, Hydro float 水力浮选机使得颗粒分选的有效粒度达到 150 ~ 200 μm , 扩大了浮选粒度范围^[36]。

适于浮选抛尾的矿石范围较广和抛尾率高, 应该进一步推进粗粒浮选技术及设备的研发; 但浮选抛尾的工艺较复杂, 生产运行费用高, 选矿废水处理回用困难, 成本高, 对环境的污染较大, 甚至难以满足日益苛刻的环保标准要求。

2.5 联合工艺抛尾

随着高品位和易选矿产资源的逐步开采耗竭, 贫细杂难选矿产资源越来越多, 采用单一的预选抛尾技术往往不能达到较好的效果, 为了进一步降低预选抛尾成本, 提高预选抛尾技术指标和矿产资源综合利用水平, 采用光电选矿—重选、浮选—重选及磁选—浮选等联合工艺进行预选抛尾成为了研究应用的重要方向。

对凡口铅锌矿的粒度为 -90 + 15 mm 粒级采掘废石和地表堆存废石, 采用 XRT-1200 型双能智能光电选矿机进行预选抛废试验, -15 mm + 6 mm 粒级和 -6 mm 粒级分别采用锯齿波跳汰机进行预选抛废试验, 光电选矿—重选联合预选抛废试验对废石中的铅、锌及硫脱出效果较好, 并将试验工艺用于工业生产, 预选抛废得到的矿石运至选矿厂选别处理, 废石外销用作建筑用砂和碎石材料^[37]。云南都龙矿区针对含矿废石进行破碎筛分后预选富集铜、锌及锡金属元素, 经过长达 5 a 的探索研究, 开发了集成应用 X 射线分选 + 粗粒跳汰分选 + 细粒跳汰分选 + 螺旋溜槽分选技术的光电选矿—重选联合预选抛尾工艺, 使含矿废石预选抛尾处理能力提高到 4 000 t/d, 原矿单位生产成本下降 20%^[38]。陕西某微细粒难选金红石矿, 采用浮选—重选联合工艺进行抛废, 浮选抛尾产率 72.27%, 摇床重选抛尾产率 21.74%, 浮选—重选联合工艺共抛尾产率 94.01%, 抛废后只有 6% 左右的粗精矿进入再磨、酸洗、反浮选除硫及金红石浮选的精选阶段, 获得 TiO_2 品位为 90.31%、回收率为 47.36% 的金红石精矿^[39]。湖北某云母型含钽石煤, 采用重选—浮选联合工艺预抛尾, 以提高酸浸给矿 V_2O_5 品位、降低酸浸作业矿量及耗酸矿物含量, 在磨矿细度为 -74 μm 占 70.9% 情况下, 采用超极限螺旋溜槽粗选, 粗选中矿再磨至 -74 μm 占 65.6% 情况下进行螺旋溜槽再选, 再选中矿再磨至 -74 μm 占 75.6% 情况下正浮选, 可抛出产率 29.59%、 V_2O_5 品位为 0.34% 的合格尾矿^[40]。西南某稀土尾矿进行了单一浮选、重选—磁选、磁选—重选及磁选—浮选 4 种选矿预富集工艺对比试验, 其中磁选—浮选联合流程试验可获得产率为 12.61%、

REO 品位为 11.04%、回收率为 97.55% 的稀土精矿和产率为 20.62% 的氟钡精矿, 其中 CaF_2 含量为 43.72%、 CaF_2 回收率为 79.23%, BaSO_4 含量为 37.26%、 BaSO_4 回收率为 86.61%, 同时可抛除产率 66.77% 的脉石, 磁选—浮选联合工艺可作为该稀土尾矿的选矿预富集工艺^[41]。

联合工艺抛尾可以取长补短, 充分发挥各种预选抛尾工艺的优势, 较好的提高了预选抛尾的产率和富集能力, 能强化对贫细杂难选矿物的预选抛尾, 且采用联合工艺基本可适应各种类型矿石的预选抛尾需要。

3 结语

(1) 矿产资源的开采不可避免会混入围岩和夹石, 造成出矿品位的降低, 且原生矿产资源贫细杂化, 采用传统的选矿技术难以高效、低成本及环保的开发利用, 采用预选抛尾工艺处理成为了非常重要甚至是必然的选择。

(2) 随着预选抛尾技术的研发及进步, 预选抛尾工艺愈加多样化、高效化, 预选抛尾可处理的矿物种类越来越多、设备的处理能力越来越大、入选抛尾粒度范围越来越宽, 在面对原生矿产资源贫细杂化, 选矿工艺日趋复杂及能耗、生产成本的攀升, 预选抛尾在节能降耗、降低成本、充分利用矿产资源及提升生态环境保护水平等方面的成效愈发显著。

(3) 随着科学技术的发展, 光电选矿抛尾、重选抛尾、磁选抛尾及浮选抛尾均得到了长足的发展, 但联合工艺抛尾具有的开发和应用潜力, 势必会在选矿领域得到更为重要和广泛的应用; 而随着预选抛尾技术及设备的发展, 预选抛尾将成为选矿中的一个通用必备的工艺环节。

参考文献:

- [1] 罗仙平, 宁湘涵, 王涛, 等. 智能分拣选矿技术的发展及其应用[J]. 金属矿山, 2019(7): 113-117.
- [2] 第旺平, 吴志虎. 智能光电选矿预选抛废技术研究及应用[J]. 有色金属(选矿部分), 2021(1): 117-121.
- [3] 叶鑫, 叶岑沁. 色选机选矿在萤石矿的应用[J]. 内燃机与配件, 2018(8): 237-238.
- [4] 徐昌彦. 光电色选机在某矿分选中应用实践及优化[J]. 世界有色金属, 2016(9): 31-32.
- [5] SALTER JD, WYATT NPG. Sorting in the minerals industry: past, present and future[J]. Minerals Engineering, 1991(4): 779-796.
- [6] 郭忆, 边立国, 展仁礼. 酒钢桦树沟铁钼矿智能分选机预选抛废试验研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(3): 61-63.
- [7] 黎多庆, 秦晶静. 浙江某铅锌矿应用 XNDT-104 射线智能分选机抛废分选试验[J]. 现代矿业, 2021(1): 142-144.
- [8] 骆任. X 射线辐射拣选机分选湖南某钨钼矿的半工业试验研究[J]. 湖南有色金属, 2017, 33(5): 18-19.
- [9] 王泽红, 陈晓龙, 韩跃新, 等. 用 X 射线辐射分选机预选某金铜共生

- 矿石[J]. 金属矿山, 2013(7): 75-78.
- [10] 王晓云. CXR-1000X 射线分选机在临汾宏大豁口煤矿的应用[J]. 同煤科技, 2018(6): 9-10.
- [11] 王普蓉, 王举. 云南某低品位高泥氧化锡矿石选矿试验[J]. 金属矿山, 2020(7): 83-88.
- [12] 陈慧杰, 张莉. 重-磁联合工艺回收某白钨矿试验[J]. 矿产综合利用, 2016(3): 10-12.
- [13] 王青芬. 粗粒锯齿波跳汰机用于贫矿预选的半工业试验研究[J]. 矿冶, 2001, 10(2): 31-35.
- [14] 韦乐福, 黄闰芝. 车河选矿厂提高主流程抛废率技改实践[J]. 有色金属(选矿部分), 2016(4): 43-45.
- [15] 徐凤平, 丁明胜, 冯其明. 重-浮联合工艺在低品位钨矿选别中的应用研究[J]. 矿冶工程, 2015, 35(3): 72-74.
- [16] 魏大为. 柿竹园黑钨选别新工艺中的离心机抛尾探索研究[J]. 矿冶工程, 2019, 39(4): 59-62.
- [17] 常学勇, 邵伟华, 郭珍旭, 等. 重选-浮选联合回收某硫化钨尾矿中氧化钨钨矿[J]. 矿产保护与利用, 2017(4): 40-43.
- [18] 宋翔宇, 邱冠周, 周娇花, 等. 某细粒金红石矿重选富集工艺研究[J]. 矿冶工程, 2014, 34(6): 49-52.
- [19] 刘书杰, 王中明, 刘方, 等. 重介质预选对湖南某高碳酸钙型低品位白钨矿浮选试验的影响研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2021(2): 69-79.
- [20] 龙卫刚, 冯富斌. 某铅锌矿重介质分选扩大试验工艺研究[J]. 云冶金, 2021, 45(5): 30-34.
- [21] 张存涛. CT-1416 型永磁磁滑轮的结构特点及其应用效果[J]. 金属矿山, 2001(9): 56-57.
- [22] 吴天骄, 靳建平, 李青. 甘肃某低品位铁矿石预先抛尾—弱磁选试验[J]. 现代矿业, 2016(4): 86-89.
- [23] 成磊, 尚红亮, 朱道瑶. 外磁式磁选机应用于铁矿预选抛尾工艺的试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2021(1): 117-121.
- [24] 曾尚林, 张祖刚, 周润, 等. ZCLA 选矿机应用于梅山铁矿预选工业试验研究[J]. 矿冶工程, 2020, 40(4): 57-59.
- [25] 李辉跃, 曾尚林. ZCLA 选矿机预先抛尾试验研究[J]. 矿冶工程, 2016, 36(2): 57-59.
- [26] 曹钊, 屈奇奇, 曹永丹, 等. 破碎方式对贫磁铁矿预选效率和磨矿特性的影响[J]. 矿冶工程, 2017, 37(3): 50-53.
- [27] 裴斌, 刘殿文, 李超杰, 等. 白云鄂博西矿超低品位铁矿磨前破碎预选工艺试验研究[J]. 现代矿业, 2021(7): 100-104.
- [28] 马法成. 尖山铁矿石预选试验[J]. 现代矿业, 2016(7): 81-82.
- [29] 李振乾, 王亚强. 大西沟磁铁矿石常规破碎产品预选抛尾试验研究[J]. 现代矿业, 2020(7): 155-157.
- [30] 梁治安. 高压辊磨及湿式预选工艺在某大型铁矿山的应用[J]. 现代矿业, 2018(9): 140-142.
- [31] 段景文, 王振堂, 陈普, 等. 刚果(金)某高碳酸盐氧化铜矿酸浸前浮选抛尾试验研究[J]. 矿冶工程, 2018, 38(8): 69-72.
- [32] 王雅静, 张宗华, 高利坤. 某难选金红石矿选矿试验研究[J]. 矿产综合利用, 2008(1): 7-9.
- [33] 任爱军, 赵希兵. 山西某金红石矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2008(2): 15-19.
- [34] 列皮伦 JO. 粗粒浮选的有效技术—泡沫中分选[J]. 国外金属选矿, 2004(9): 9-14.
- [35] COWBURN J, HARBORT G, MANLAPIG E, et al. Improving the recovery of coarse coal particles in a Jameson cell[J]. Minerals Engineering, 2006, 19(8): 609-618.
- [36] ANONYMOUS. Hydro float from Eriez recovers coarse particles up to 6 mm[J]. Mining Engineering, 2014, 66(11): 87-92.
- [37] 顾敏, 罗里奥. 凡口铅锌矿废石生产建筑材料思路与成果[J]. 建材资讯, 2021, 28(4): 3-4.
- [38] 洪永华, 兰希雄, 何庆浪, 等. 都龙矿区废石资源综合回收有价金属研究实践[J]. 有色金属(选矿部分), 2020(5): 73-77.
- [39] 高利坤, 张宗华, 王雅静, 等. 陕西某微细粒难选金红石矿选矿试验研究[J]. 矿冶工程, 2008, 28(4): 42-44.
- [40] 刘鑫, 张一敏, 刘涛, 等. 湖北某云母型含钨石煤重-浮联合预选尾试验[J]. 金属矿山, 2017(5): 93-98.
- [41] 张巍. 西南某稀土尾矿选矿预选富集工艺试验[J]. 现代矿业, 2016(2): 63-65.

Application Progress of Preconcentration and Discarding Technology

AO Shunfu¹, ZHU Jiarui¹, XU Feng², YANG Ju², LU Jisi³, WANG Cunzhu¹

1. Yunnan Chihong Zn&Ge Co., Ltd., Qujing 655011, Yunnan, China;

2. Yuxi Dahongshan Mining Co., Ltd., Yuxi 653405, Yunnan, China;

3. Hulun Buir Chi Hong Mining Co., Ltd., HulunBuir 021000, Inner Mongol, China

Abstract: The mining of mineral resources will inevitably mix with surrounding rock and rock inclusion, resulting in the reduction of ore grade, with the development and utilization of a large number of mineral resources, the reserves of high – grade and easy to concentrate mineral resources are decreasing, and the economic and efficient development and utilization of low – grade and complex refractory mineral resources is becoming more and more urgent. The application of preconcentration for tailing discarding technology is of great significance to improve the grade of ore, reduce the amount of grinding, reduce the discharge of fine tailings, improve the utilization rate of resources and reduce environmental pollution. Be based on discarding of tailings by photoelectric beneficiation, gravity separation, magnetic separation, flotation, combined beneficiation process, the present situation and progress of preconcentration for tailing discarding technology are introduced respectively, and points out the advantages and disadvantages of all kinds of preconcentration for tailing discarding technology, each preconcentration for tailing discarding technology has its unique advantages, the combined beneficiation process be solve an effective development and utilization of low – grade mineral resources with an important technological breakthrough, preconcentration for tailing discarding technology will become a general and necessary process in mineral processing.

Key words: mineral resource; low grade ore; mineral separation; preconcentration for tailing discarding; comprehensive utilization

引用格式:敖顺福,朱家锐,徐峰,杨菊,陆继思,王存柱. 预选抛尾技术应用进展[J]. 矿产保护与利用,2021,41(4):157–163.

Ao SF, Zhu JR, Xu F, Yang J, Lu JS and Wang CZ. Application progress of preconcentration and discarding technology[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2021, 41(4): 157–163.

投稿网址:<http://kebh.cbpt.cnki.net>

E – mail:kcbh@chinajournal.net.cn