

## X-射线辐射分选技术在铜矿预选中的应用

王泽红,陈晓龙,韩跃新

(东北大学资源与土木工程学院,辽宁 沈阳 110819)

**摘要:**采用X-射线辐射分选机对赤峰大井子铜矿原矿及围岩不同粒级试样进行了不同分离阈值预选试验,结果表明,预选指标随分离阈值及给料粒度的变化而变化。在适宜的分选条件下,可实现铜矿中有用矿物与脉石矿物及废石的有效分离,剔除原矿中的废石,回收围岩中的有用矿物,从而提高入选品位,降低选矿成本,减少资源流失和浪费,提高选矿厂的综合经济效益。

**关键词:**X-射线辐射分选技术;铜矿;原矿;围岩;预选技术

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2013.05.004

中图分类号:TD921.47 文献标识码:A 文章编号:1000-6532(2013)05-0013-04

我国矿产资源的特点之一是贫矿、共伴生矿多,分选难度较大,选矿成本较高。近年来,随着矿产资源需求量的迅速增长,贫矿石得以大量开采加工;同时由于地质勘探和采矿工作中不可控因素太多,矿山企业在采矿作业中不可避免地会有一些量的废石混入矿石中,使矿石进一步被贫化,降低了选矿设备的有效利用率,增加了选矿能耗并对最终选别工艺指标产生不利影响;另外,由于大型采矿设备的应用,在围岩剥离过程中,也会使一些有用矿物混入其中,造成资源浪费。因此,如何更加有效地利用现有的贫矿资源,提高资源的利用效率,减少资源浪费,降低我国矿产资源的对外依存度是摆在我国选矿工作者面前亟待解决的问题,而开发和推广预选技术成为解决这一问题的新思路之一。

X-射线辐射预选是近年来兴起的一种高效、环保、节能的新型分选技术,主要用于分选黑色、有色、贵稀金属矿石等<sup>[1-2]</sup>。其主要分选原理是利用矿石受X-射线照射后所激发出的特征X-射线(二次X-射线)的强度来进行矿石分选<sup>[3]</sup>。

本研究采用X-射线辐射分选机对大井子铜矿的原矿及围岩进行预选,目的是剔除原矿中的废石,提高入选品位,降低选矿能耗,同时回收围岩剥离过

程中流失的有用矿物,减少资源浪费,为X-射线辐射分选机的工业应用奠定基础。

### 1 矿石性质

试验所用矿石取自内蒙古赤峰大井子铜矿,一种是选矿处理的原矿(简称原矿),另一种是采矿剥离的围岩(简称围岩)。

工艺矿物学分析表明矿石中的矿物种类较多,矿物组成较复杂。矿物组成有原生硫化物,次生硫化物、氧化物、氢氧化物、硅酸盐矿物、碳酸盐矿物和自然金属。矿石以铜、铅、锌、锡、硫和砷为主,并伴生有金、银,其中铜、铅、锌、锡的矿物为有用矿物,砷的矿物为有害矿物。铜矿物主要为黄铜矿,铅矿物为方铅矿,锌矿物为闪锌矿,锡矿物主要为锡石和黝锡矿,硫矿物为黄铁矿(含白铁矿)和磁黄铁矿,砷矿物为毒砂,银矿物有银黝铜矿、辉银矿、金银矿、辉铋银矿和自然银。脉石矿物主要有石英、绢云母,另外还有泥质矿物、长石、碳酸盐矿物、高岭土和白云母等。

根据现场要求,本文仅考虑铜元素的回收,其他元素不予考虑。经化验分析,原矿中铜的品位为1.00%;围岩中铜的品位为0.17%。

收稿日期:2013-03-14;改回日期:2013-04-12

基金项目:国际科技合作项目“高性能X-射线选矿技术及装备的引进与研发”(2010DFR70060)

作者简介:王泽红(1969-),男,东北大学副教授,博士,主要从事矿物加工工程的科研及教学工作。

## 2 试验设备和试验方法

### 2.1 试验设备

试验设备为 SRF3-150 型 X-射线辐射分选机, 该设备由俄罗斯叶卡捷琳堡市技术工艺科技-生产股份公司研制, 并已在工业生产中应用十余年, 目前已形成系列产品。2010 年在科技部支持下东北大学将该设备引进国内, 并进行研发、推广和应用。设备外形及工作原理见图 1<sup>[4-5]</sup>。

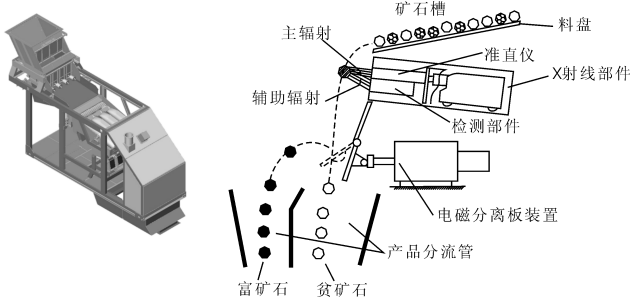


图 1 X-射线辐射分选机外形及工作原理示意图

Fig. 1 X-ray radiation separator and working principle diagram

X-射线辐射分选机主要由给矿设备、执行装置、分选产品的接收装置、操控系统等部分组成。适宜粒度的矿石给入给料箱, 借助振动输送装置进入振动溜槽(矿石槽), 在振动作用下, 矿石沿溜槽分散形成矿石流, 矿石流在溜槽中形成单块流, 以保证矿石逐个从槽边缘下落到 X 射线组件测量区。在测量区, 每块矿石都受到 X-射线的第一次辐射(X-1), 受 X 射线第一次辐射激发后, 矿石表面会产生第二次辐射射线的激发(X-2), 然后在检测组件上记录射线(X-2)形成光谱, 该光谱由元素 X-射线辐射曲线和第一次辐射的散射曲线组成。分选机的测控系统对光谱进行分析, 按照设定的参数得出分析结果, 确定每块矿石中是否达到测定元素的分析值。当超过这个参数值时, 操控系统形成控制信号, 启动执行机构(电磁分离板装置), 依靠挡板的击打作用, 使分选矿石偏离轨道, 落入接收槽, 最后进入矿石输送带(精矿); 小于这个参数值的贫矿石自然下落到另一个接收槽进入另一条输送带(尾矿)。

### 2.2 试验方法

采用破碎机将原矿破碎至  $\leq 150\text{mm}$ , 然后采用筛分设备将物料分为  $-150+90\text{mm}$ 、 $-90+30\text{mm}$  以及  $-30\text{mm}$  三个粒级; 将围岩破碎至  $\leq 100\text{mm}$ , 然后采用筛分设备将物料分为  $-100+60\text{mm}$ 、 $-60+20\text{mm}$  以

及  $-20\text{mm}$  三个粒级。其中,  $-30\text{mm}$  和  $-20\text{mm}$  粒级物料根据实际情况另行处理, 另外四个粒级物料采用 X-射线辐射分选机在适宜的分选阈值条件下分别进行分选。每个粒级试验矿量均为  $300\text{kg}$ 。

每次试验开始前, 根据需要, 在 X-射线辐射分选机控制系统中根据铜含量设定不同的分离阈值(本试验分离阈值是指 Cu 元素特征峰强度与光谱背景强度的比值), 给矿频率均控制在电振给料机变频器全量程的 50%, 然后依次开动 X-射线辐射分选机、给料输送皮带、精矿输送皮带和尾矿输送皮带。试验结束后, 收集精矿和尾矿, 称重、制样、分析、化验, 然后计算产率以及 Cu 回收率。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 原矿试验结果与分析

原矿中  $-150+90\text{mm}$  粒级和  $-90+30\text{mm}$  粒级 X-射线辐射预选试验结果见表 1 和表 2。

表 1  $-150+90\text{mm}$  粒级 X-射线辐射预选试验结果  
Table 1 The pre-concentration test results of X-ray radiation separation on the fraction of  $-150+90\text{mm}$

阈值 级别	产率 /%	正累计产率 /%	Cu 品位 /%	Cu 回收率 /%
+0.5	11.99	11.99	4.25	50.78
-0.5+0.35	10.85	22.84	1.30	14.06
-0.35+0.2	19.84	42.68	0.66	13.05
-0.2+0.1	27.75	70.43	0.48	13.27
-0.1	29.57	100.00	0.30	8.84
给料	100.00		1.00	100.00

由表 1 可知, 分离阈值对精矿的品质影响显著: 随着分离阈值的减小, 所获精矿产品的品位逐渐降低, 但产率和回收率却逐渐增大。对比表 1 和表 2 的数据可知, 相同分离阈值对不同粒级物料的影响不同。  $-150+90\text{mm}$  粒级的回收率较低, 最终尾矿(分离阈值为 0.1 时的尾矿)品位较高。这主要是由于颗粒粒度太大, 不含铜矿物的纯废石颗粒较少所致。因此, 采用 X-射线辐射分选机预选时, 分离阈值的选择非常重要, 取决于原料中用矿物的含量、分选颗粒的粒度、精矿和尾矿的质量要求等, 并采用试验综合确定。

若按目前铜矿的工业品位(0.4% ~ 0.5%)考虑, 则原矿中  $-150+90\text{mm}$  粒级和  $-90+30\text{mm}$  粒级 X-射线辐射预选可抛弃的尾矿产率分别为 29.57% 和 26.65% (分离阈值均取 0.1); 若按目前现场工

业生产的入选品位(0.9% ~ 1.1%)考虑,则原矿中-150+90mm 粒级和-90+30mm 粒级 X-射线辐射预选可抛弃的尾矿产率分别为 71.16% 和 76.15% (分离阈值均取 0.35)。由此可见,采用 X-射线辐射预选可提前丢弃相当一部分尾矿,从而减少入磨废石,提高入选品位,降低选矿成本,大幅度提高选矿厂综合经济效益。

表2 -90+30mm 粒级 X-射线辐射预选试验结果

Table 2 The pre-concentration test results of X-ray radiation separation on the fraction of -90+30mm

阈值 级别	产率 /%	正累计产率 /%	Cu 品位 /%	回收率 /%
+0.5	14.90	14.90	4.14	64.21
-0.5+0.35	8.95	23.85	1.20	11.17
-0.35+0.2	27.75	51.60	0.50	14.45
-0.2+0.1	21.75	73.35	0.40	9.06
-0.1	26.65	100.00	0.04	1.11
给料	100.00		0.96	100.00

3.2 围岩试验结果及分析

围岩中-100+60mm 粒级和-60+20mm 粒级 X-射线辐射预选试验结果见图 2 和图 3。

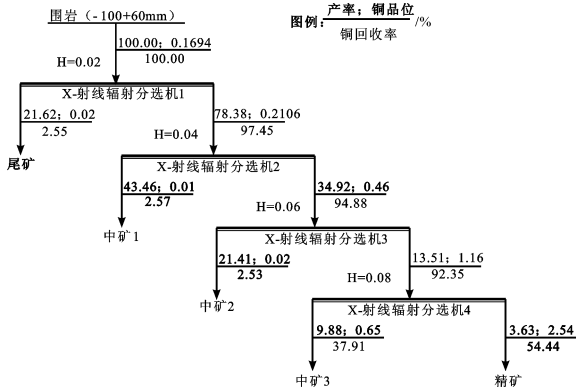


图2 -100+60mm 粒级 X-射线辐射预选结果

Fig. 2 The pre-concentration test results of X-ray radiation separation on the fraction of -100+60mm

由图 2、3 的试验结果可以看出分离阈值(图中 H)对分选指标的影响,该规律与原矿的试验结果一致,在此不再赘述。但-100+60mm 的分选效果要明显好于-60+20mm 的分选效果,这可能是给料速率影响造成的:当电振给料机的振动频率相同时,小颗粒的移动速度要大于大颗粒的移动速度,因此,小颗粒在分选溜槽中较难形成单矿粒流,造成 X 射线辐射预选机的甄检精度不够,分选效果也就不理想。上述情况说明,在采用 X-射线辐射分选机对某一矿

石进行预选时,需要综合考虑多方面的影响因素,除前述各因素之外,还要考虑给料速率等因素的影响,并通过试验确定最佳的分选条件。

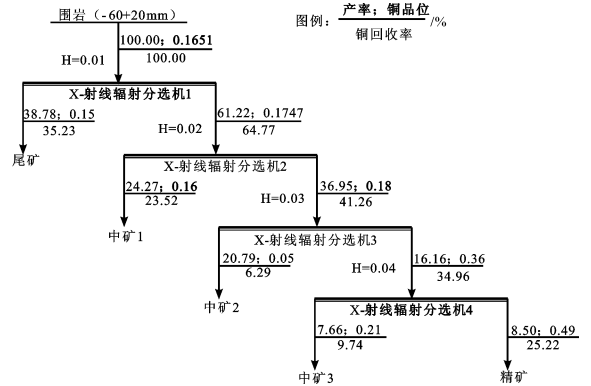


图3 -60+20mm 粒级 X-射线辐射预选结果

Fig. 3 The pre-concentration test results of X-ray radiation separation on the fraction of -60+20mm

目前铜矿的工业品位(0.4% ~ 0.5%),围岩中-100+60mm 粒级和-60+20mm 粒级 X-射线辐射预选可回收的精矿产率分别为 34.92% 和 8.50%,回收率分别为 94.88% 和 25.22% (分离阈值均取 0.04);若按目前现场工业生产的入选品位(0.9 ~ 1.1%)考虑,则围岩中-100+60mm 粒级 X-射线辐射预选可回收的精矿产率为 13.51%,回收率为 92.35% (分离阈值取 0.06;-60+20mm 粒级可回收的精矿有待于进一步试验)。由此可见,采用 X-射线辐射预选可从采矿剥离的围岩中将有用成分有效回收,减少资源浪费,同时可大幅度提高选厂的经济效益。

4 结 论

(1) 采用 X-射线辐射分选技术在适宜的条件下可实现铜矿中 有用矿物与脉石矿物及废石的有效分离,剔除原矿中的废石,回收围岩中的有用矿物,从而提高入选品位,降低选矿能耗,减少资源流失和浪费,提高选矿厂的综合经济效益。

(2) 采用 X-射线辐射分选机预选矿石时,分离阈值的选择非常重要,取决于原料中有用矿物的含量、分选颗粒的粒度、精矿和尾矿的质量要求等,另外也要考虑其他因素,如给料速率等,并通过试验综合确定适宜的工作条件。

(3) 对同粒级物料而言,分离阈值越大,精矿的品位越高,但产率和回收率越低。

(4) 为避免金属流失和浪费,在给矿频率为电