

光电拣选在某钨矿应用过程中的工艺研究

Research on the Process of Photoelectric Picking in the Application of a Tungsten Mine

姜志学¹, 郝朋越¹, 何军², 刘国清²

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038; 2. 湖南有色新田岭钨业有限公司, 湖南 郴州 423000)

摘要:根据国内某钨矿光电拣选工业试验,对光电拣选原矿给料粒度、抛废率及设备处理能力进行了系统性分析研究,该钨矿在原矿拣选入料品位0.22%,入料粒度10~40 mm的情况下,采用K-108光电拣选设备,可获得钨品位0.26%的钨精矿,拣选尾矿钨品位为0.046%,拣选抛废率21.84%,拣选精矿钨金属回收率95.38%,光电拣选工艺对该钨矿有明显分选效果。研究发现分析矿取样不规范是造成工业试验抛废精矿回收率过高的根本原因,拣选循环负荷量是影响拣选工艺稳定性的关键因素。

关键词:光电拣选; 条件试验; 循环负荷; 处理能力

中图分类号: TD952 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2023)06-0051-06

Abstract: Based on an industrial experiment at a domestic tungsten mine, a systematic analysis was conducted on the ore feed size, reject rate, and equipment processing capacity in the photoelectric sorting process. With an original ore grade of 0.22% and an ore feed size of 10~40 mm, the use of the K-108 photoelectric sorting equipment yielded a tungsten concentrate with a grade of 0.26%, a reject tailings tungsten grade of 0.046%, a reject rate of 21.84%, and a tungsten metal recovery rate of 95.38%. The photoelectric sorting process showed a significant separation effect for this tungsten mine. The study identified that non-standard ore sampling was the fundamental reason for the high reject and concentrate recovery rates in the industrial test, and the sorting cycle load was a key factor affecting the stability of the sorting process.

Key words: photoelectric sorting; condition testing; cyclic load; processing ability

1 前言

拣选工艺是在目的矿物与脉石矿物未充分分离的情况下,利用矿物自身的物料特性,借助外界手段,实现脉石矿物与目的矿物分离的一种选矿方式^[1-2]。

拣选最初是依靠人工进行,利用矿物表面颜色、光泽度等物理特性的差异,从原煤、锡、钨、锑等矿物表面特性差异明显的矿物中分选原矿或剔除废(矸)石。近年来随着科技的进步,XRT、XRF等光电技术也应用于矿物的拣选工艺中。XPT技术是利用矿物受X射线照射后所激发出的特征X射线(二次X射线)来矿物分选的,自1995年世界上第一台工业用X射线辐射分选机在俄罗斯面世之后,经过数十年的技术更新与迭代,目前X射线拣选设备在煤炭、有色金属、无机非金属领域已经获得广泛的应

用。

国内某钨矿为某钨业集团下属的重点矿山,日采选处理能力3500 t,矿山服务年限25年。由于矿山建设时兴建的尾矿库库容不足,面临国家日益收紧的环保政策,寻求预先拣选抛废、尾矿综合利用的选矿新工艺,成为该矿山面临的首要问题。国内多个光电拣选设备厂商先后进驻该矿进行现场工业试验,根据该矿光电拣选工业试验期间拣选设备参数的选取与调整,针对工业试验过程中拣选设备与工艺存在的问题进行分析研究,探索影响光电拣选工艺稳定性的相关因素与异常数据的症结所在^[3-4]。

2 原矿性质

为查明该矿原矿中钨的赋存状态及其与脉石矿物的共伴生关系,在中碎出料皮带上定时定量取中碎出料矿样5 t,混合均匀、缩分制样后,采用MAL、X荧光光谱半定量、化学成分分析等手段,对其做详细的工艺矿物学研究,查明原矿中的主要矿物含量见表1,原矿中的化学多元素分析结果见表2,原矿中目的矿物钨的物相分析结果见表3。

[作者简介] 姜志学(1984—),男,工程师,从事选矿工艺研究及选矿设备研发工作。

[引用格式] 姜志学,郝朋越,何军,等. 光电拣选在某钨矿应用过程中的工艺研究[J]. 中国矿山工程,2023,52(6):51-56.

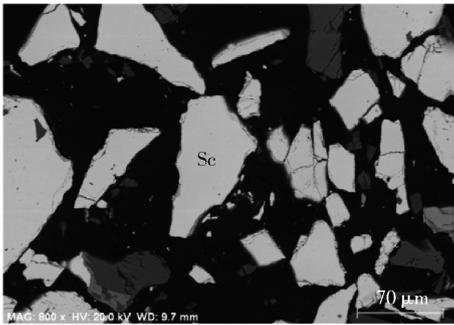


图2 白钨矿单体在扫描电镜背散射电子成像

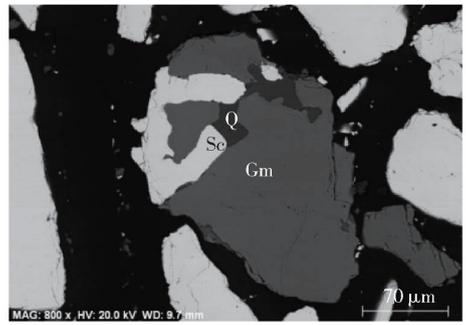


图3 微小粒白钨矿与脉石矿石(石榴石、石英)连生结构成像

表4 光电拣选粒度试验结果

试验时间	小时处理量/t	入料粒度/mm	抛废率/%	原矿品位/%	精矿品位/%	尾矿品位/%	精矿金属回收率/%
11月6日	30	10~40	24	0.279	0.306	0.046	98.288
11月7日	30	10~60	24	0.283	0.315	0.056	97.555
11月8日	30	20~80	24	0.313	0.382	0.062	95.729

的影响有所波动,但给料粒度试验的尾矿总体变化趋势符合原矿粒度越小、钨矿物解离度越好的规律。故选择10~40 mm 粒级作为光电拣选工业试验的给料粒级。

3.3 原矿抛废率试验

在相同入料粒度的情况,原矿的抛废率直接决定了拣选工艺的经济效益与可行性;在保证目的矿物回收率的前提下,尽可能多地抛出脉石矿物与部分低品位矿物,即可有效减少后续选矿工艺的入磨入选量,降低磨浮作业过程中的药剂、耗材、备品备

件及能量的消耗,又可以降低在相同处理能力情况下的脉石矿物进入尾矿库的量,有效延长尾矿库的服务年限,减少尾矿堆存与处理所产生的相关费用,同时抛出的废石又可以作为一般建材使用,提升废石利用的附加值^[5-7]。在粒度试验数据的基础上,进行抛废率试验,为尽量降低原矿品位的波动对抛废率的影响,将抛废率试验安排在同一天内进行,虽原矿品位仍有一定的波动,但同一批次的原矿大体上品位变化不大,试验结果见表5。

表5 抛废率试验结果

试验时间	小时处理量/t	入料粒度/mm	抛废率/%	原矿品位/%	精矿品位/%	尾矿品位/%	精矿金属回收率/%
11月9日	30	10~40	15	0.258	0.263	0.030	99.750
11月9日	30	10~40	20	0.248	0.254	0.033	99.639
11月9日	30	10~40	25	0.274	0.318	0.031	98.265
11月9日	30	10~40	30	0.246	0.282	0.062	95.876

从表5可知,在给矿粒度不变的情况下,随着原矿抛废率的增加,尾矿中的钨含量呈上升趋势,精矿钨金属回收也逐渐降低,当抛废率为25%时,尾矿中钨品位为0.038%,抛废精矿钨金属回收率为97.821%;抛废尾矿品位已经接近浮选尾矿水平,当抛废率为30%时,抛废尾矿钨品位为0.062%,抛废尾矿中钨金属损失率过高,故按25%的抛废率来进行后续试验。

3.4 原矿处理能力的试验

当拣选入料粒度、抛废率确定之后,影响拣选机

生产能力主要有以下几方面的因素^[8-9];一是入选物料平均粒度值,因原矿自身物料特性及破碎时采用的设备等因素的影响,进入光电拣选设备的相同粒级物料的粒径平均值也不相同,在物料密度一定的情况下,原矿的处理能力与入选矿物粒径的平方成正比;二是拣选设备的给矿速度,当前所采用的拣选设备通常利用皮带给料,故此给料皮带的运行速度决定了单位时间内矿物通过拣选设备的量;三是拣选矿物在给料皮带上的覆盖率(铺满率),X射线拣选设备是对单体矿物识别、拣选的设备,当给矿皮

带高速运行时,既要保证待拣选矿物在皮带上实现一段加速后的相对静止,又要为便于矿物识别保证矿物的单粒化,同时还要避免矿物之间的相互重叠与覆盖,待拣选矿物在给料皮带上的覆盖率决定了单位时间内皮带的运输量;四是拣选设备的识别与

分离系统的数目,拣选设备对待拣选矿物进行快速的识别和及时的分离是拣选质量的有效保证。本次试验在确定拣选给料粒度和抛废率的前提下,为测试该型号拣选设备处理能力,对其进行了相关试验,试验结果见表6。

表6 原矿处理能力试验

试验时间	小时处理量/t	入料粒度/mm	抛废率/%	原矿品位/%	精矿品位/%	尾矿品位/%	精矿金属回收率/%
11月12日	40	10~40	25	0.236	0.258	0.029	98.819
11月12日	45	10~40	25	0.204	0.282	0.032	95.106
11月12日	50	10~40	25	0.194	0.268	0.038	93.698
11月12日	55	10~40	25	0.216	0.293	0.046	93.361

注:处理能力按短时间内最大给矿量折算成小时处理能力进行的。

从表6可知,在原矿抛废率、给矿粒度已定的前提下,随着光电拣选处理能力的增加,抛废尾矿品位呈逐步递增的趋势,精矿金属回收率逐渐降低,故该设备厂K-108型设备在10~40mm给料粒度、抛废率25%的工况条件下,针对该钨矿的原矿处理能力为50t/h较为适宜。

3.5 原矿水洗试验

光电拣选给料过程中,若原矿中含泥含水量过高,矿物在分选给矿过程中易形成团聚与相互覆盖,严重影响矿物的拣选效果。同时大多数有色金属矿物在原矿中堪布粒度细,在原矿破碎、转运过程中形成的粉矿中目的矿物含量往往比颗粒矿物中的要高。该钨矿也面临这样的问题,为验证该矿中的粉矿中钨金属品位与10~40mm粒级中钨品位的差异,特对上述两种矿物取样化验,结果见表7。由于该矿地处潮湿多雨的南方地区,原矿含水量大,在拣选过程中高品位矿粉附着在废石表面,既容易造成拣选设备的误判,又造成了拣选废石中部分钨金属的流失,故此对拣选入料进行洗矿处理^[10]。

该拣选洗矿采用在振动给料机上增设喷淋水的方式进行,冲洗水压0.2~0.3MPa(2~3kg/cm²),水耗1~2m³/t。由于部分-10mm粒级矿物进入冲洗水中,洗矿后矿浆采用渣浆泵直接打入球磨机出料泵池。

表7 -10mm粒级粉矿与10~40mm粒级品位对比

矿物名称	重量/kg	品位/%
-10mm粒级	120	0.316
10~40mm粒级	120	0.274

4 工业试验及数据分析

4.1 拣选工业试验

给料粒度、抛废率、单机小时处理能力工艺条件确定后,该矿于11月18日—11月30日进行为期12天的连续工业试验,试验采用每日两班制作业,试验结果见表8。

从表8中可知,工业试验连续生产24个小班,整体尾矿品位最高0.048%,最低0.038%,抛废率最高为24.6%,最低为20.74%,处理能力最高为51.64t/h,最低为47.78t/h。从工业试验生产报表中可以发现两个问题:一是个别班次的抛废精矿品位低于原矿品位、计算抛废精矿金属回收率超过100%;二是连续四个小班的尾矿品位超过0.050%,远高于其他生产班。

4.2 工业试验异常数据分析

对工业试验生产报表中的异常数据表现出来的问题进行深入地分析研究,形成上述问题的根本原因有以下几方面。

(1)拣选精矿品位低于原矿品位、拣选精矿的金属回收过高是由质检人员取样操作不规范造成的。工业试验过程中,由于拣选作业连续生产,取样时各物料转运皮带正常运行,质检人员采用刮板取样的方法,按一定的时间间隔随机刮取一段皮带上的物料做分析矿样。部分班次质检人员在取样过程中未按取样规范操作,只刮取精矿皮带上的少许表层粗颗粒矿物(底层品位相对较高的细颗粒矿物未取到),同时为减少矿样的搬运、制样工作,人为减少精矿取样量(试验矿样量远未达到规定要求),造成了某些班次的精矿矿样代表性较差,出现拣选精

表8 工业试验结果

日期	班次	产量/t	抛废率/%	原矿品位/%	精矿品位/%	尾矿品位/%	金属回收率/%
11月18日	早	44.48	23.20	0.17	0.20	0.040	95.588
11月18日	中	49.37	21.40	0.19	0.22	0.038	96.703
11月19日	早	46.60	20.30	0.20	0.25	0.046	94.363
11月19日	中*	48.50	24.60	0.25	0.21	0.048	104.741
11月20日	早	48.30	22.00	0.27	0.38	0.038	95.473
11月20日	中	50.20	24.20	0.28	0.36	0.038	96.628
11月21日	早	51.64	22.00	0.26	0.27	0.046	99.210
11月21日	中	51.60	22.40	0.33	0.38	0.044	98.016
11月23日	早#*	51.20	21.30	0.21	0.18	0.054	106.122
11月23日	中#*	48.80	21.00	0.23	0.23	0.066	100.000
11月24日	早#*	47.95	21.90	0.22	0.19	0.064	106.926
11月24日	中#	50.00	22.80	0.22	0.23	0.062	98.323
11月25日	早*	47.96	21.50	0.22	0.19	0.048	104.609
11月25日	中	48.58	21.75	0.17	0.22	0.040	93.464
11月26日	早	49.60	21.00	0.23	0.26	0.052	96.739
11月26日	中	51.17	23.40	0.19	0.27	0.042	92.244
11月27日	早	48.83	22.15	0.25	0.32	0.044	95.536
11月27日	中*	48.92	22.28	0.30	0.30	0.042	100.000
11月28日	早	51.47	21.10	0.30	0.31	0.038	99.534
11月28日	中*	49.04	23.54	0.31	0.20	0.040	108.871
11月29日	早	47.78	21.00	0.23	0.26	0.042	97.487
11月29日	中	49.42	22.00	0.23	0.24	0.042	99.078
11月30日	早	48.33	20.74	0.22	0.27	0.038	96.277
11月30日	中	48.97	22.37	0.26	0.27	0.038	99.370
合计		49.03	21.84	0.22	0.26	0.046	95.380

注:①标示“#”班次为尾矿指标预期偏差值较高;②标示“*”班次为化验原矿品位较化验精矿品位高。

矿品位低于原矿品位的现象,拣选精矿金属回收率过高的现象。

(2)尾矿品位连续偏高的班次,取11月20日早班副样与11月23日早班副样采用荧光照射的方法进行分析。照射图片如图4所示。



图4 原矿在荧光灯下的照射图片

图4中上方为11月20日早班副样在荧光照射

下的钨矿在原矿中的赋存状态,图片下方为11月23日早班副样在荧光照射下的钨矿赋存状态。从图片中可以明显看出原矿钨金属堪布粒度变细,在当前的拣选入选粒度情况下,矿废解离相对较差,造成尾矿中的钨品位偏高。

4.3 拣选循环负荷对工艺的影响

本次工业试验采用的工艺流程是在矿方原有的生产工艺的基础上改造而成的,光电拣选入料为中碎和细碎破碎机出料中10~40mm粒级的物料,拣选精矿因粒度问题不能直接给入后续的磨矿作业段,而是经转运皮带给入了细碎作业;由于破碎、筛分设备作业效率的问题,造成一部分物料多次经过光电拣选设备,这就形成了拣选作业段的闭路循环及循环负荷量,这一问题也是借助原破碎流程增设

光电拣选作业的选厂所面临的普遍问题。

光电拣选在小试试验阶段,通常采用开路试验方式,不牵涉循环负荷的问题。带循环负荷的光电拣选流程,在相同给矿量的情况下,同一批矿石经过光电拣选设备进行多次重复拣选,将会造成拣选设备的实际抛废率低于小试抛废率的现象。

本次工业试验过程中,条件试验时由于给矿量较小、作业时间较短,拣选精矿返回破碎系统中时受

细碎前缓冲仓的影响,进入拣选设备的循环量较小甚至尚未进入拣选系统循环,故此条件试验时,抛废率25%的情况下,尾矿品位可达0.038%;进入工业试验时,由于整班连续运行,部分拣选精矿多次进入拣选系统、并逐渐形成稳定的循环负荷,造成实际抛废率降低(工业试验实际抛废率为21.84%)。条件试验抛废率(无循环负荷)与工业试验抛废率(带循环负荷)对比见表9。

表9 有无循环负荷抛废率对比

试验名称	小时处理量/t	循环负荷	抛废率/%	原矿品位/%	精矿品位/%	尾矿品位/%	精矿金属回收率/%
条件试验	30	无	25	0.274	0.318	0.031	98.265
工业试验	49.03	有	21.84	0.22	0.26	0.046	95.380

5 结论

(1)通过条件试验和工业试验可知,该钨矿在原矿拣选入料品位0.22%,入料粒度10~40 mm的情况下,采用K-108光电拣选设备,可获得钨品位0.26%的钨精矿,拣选尾矿钨品位为0.046%,拣选抛废率21.84%;光电拣选工艺对该钨矿拣选效果明显。

(2)光电拣选生产过程中,质检取样工作必须要严格按照相应的操作规范进行,否则将会出现拣选精矿品位低于原矿品位,拣选精矿金属回收率过高的错误结果。

(3)光电拣选生产过程中抛废率低于条件试验的抛废率,是由拣选工艺中循环负荷量造成的,在相同给料粒度、处理能力的前提下,部分拣选精矿多次通过拣选设备,势必会对拣选抛废率造成影响。

[参考文献]

[1] 张建强,赵德志.云南某钨矿光电预先抛废选矿工业试验研究[J].云南冶金,2022(8):60-66.

- [2] 汪淑慧.分选矿石的x射线辐射分选法[J].国外金属矿选矿,2007(8):4-8.
- [3] 印万忠,刘明宝,韩跃新,等.矿石拣选及X-射线辐射预选技术评述[J].2011中国矿产资源综合利用与循环经济发展论坛,2011(6):54-57.
- [4] 郑光婷,谢帮敏.云南某白钨矿光电预先抛废矿石分料和堆叠情况研究[J].云南冶金,2023(2):56-60.
- [5] 孙照焱,蒋康生,尹华功,等.XNDT-104智能分选系统在闪星铋业的应用[J].有色金属设计,2019,46(3):128-131.
- [6] 张瑕,宗艳芳.低品位矿石预选抛废技术研究及工业化应用[J].世界有色金属,2020(19):158-159.
- [7] 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.
- [8] 印万忠,吴尧,韩跃新,等.X射线辐射分选原理及应用[J].中国矿业,2011,20(12):88-92.
- [9] 杨小平.物理选矿[M].北京:冶金工业出版社,2014.
- [10] 孙明俊.我国铜铅锌多金属硫化矿选矿工艺研究现状[J].中国矿山工程,2022,51(1):98-100.