

doi: 10.3969/j.issn.2095-1744.2022.09.013

都龙采场剥离废石中锡石高效预富集新技术

莫峰^{1,2}, 曹阳^{1,3}, 蓝卓越¹, 童雄¹, 谢贤¹, 谢瑞琦¹, 兰希雄⁴,
韩彬⁴, 符海桃⁴, 宋强¹

- (1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093;
2. 云南锡业股份有限公司大屯锡矿, 云南 个旧 661018;
3. 红河学院化学与资源工程学院, 云南 蒙自 661199;
4. 云南华联锌铟股份有限公司, 云南 文山 663701)

摘要:针对云南都龙采场剥离废石中有色金属的回收进行了高效预富集新技术研究。工艺矿物学研究表明,废石中不同目的矿物的共生关系整体较为简单。试验结果表明,将含锡0.1%左右的剥离废石原料分成-120~+25、-25~+5、-5~+0.5、-0.5 mm四个粒级,分别采用光电选矿机、粗粒跳汰机、细粒跳汰机和螺旋分选机等不同选矿工艺和设备组合对不同粒级含锡废石进行预富集回收,得到品位为0.290%、回收率大于56.82%、富集比2.74的锡精矿产品,该高效预富集新技术对保障战略金属锡资源安全、提高锡综合利用率、延长矿山服务年限具有重大意义。

关键词:剥离废石;锡石;预富集;光电选矿机;跳汰;螺旋分选机

中图分类号:TD952 文献标志码:A 文章编号:2095-1744(2022)09-0092-09

New Technology for Efficient Pre-concentration of Cassiterite in Waste Rock of Mining Stripping in Yunnan Dulong

MO Feng^{1,2}, CAO Yang^{1,3}, LAN Zhuoyue¹, TONG Xiong¹, XIE Xian¹, XIE Ruiqi¹, LAN Xixiong⁴,
HAN Bin⁴, FU Haitao⁴, SONG Qiang¹

- (1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China
2. Datun Tin Mine, Yunnan Tin Industry Co., Ltd., Gejiu 661018, China
3. School of Chemistry and Resources Engineering, Honghe University, Mengzi 661199, China
4. Yunnan Hualian Zinc & Indium stock Co., Ltd., Wenshan 663701, China)

Abstract: A new high-efficiency pre-enrichment technology was studied for the recovery of non-ferrous metals from waste rock of mining stripping in Yunnan Dulong. The process mineralogy results showed that the waste rock contains about 0.1% Sn, and the associated relationship of the different valuable minerals was relatively simple. The tin-containing stripped waste rock were divided into four size fraction (-120 - +25, -25 - +5, -5 - +0.5 and -0.5 mm). The photoelectric concentrator was used for pre-enrichment recovery for -120 - +25 mm size

收稿日期:2022-06-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51764024,51764025);云南省应用基础研究计划(2018FB086,2019FA021)

Fund: Supported by National Natural Science Foundation of China(51764024,51764025); Applied Basic Research Project of Yunnan Province(2018FB086,2019FA021)

作者简介:莫峰(1981—),男,博士,正高级工程师,主要从事矿物加工工程专业。

通信作者:蓝卓越(1976—),男,博士,副教授,主要从事矿物加工及资源绿色综合利用;

童雄(1965—),男,博士,二级教授,主要从事矿物加工及资源高效综合回收利用。

引用格式:莫峰,曹阳,蓝卓越,等.都龙采场剥离废石中锡石高效预富集新技术研究[J].有色金属工程,2022,12(9):92-100.

MO Feng, CAO Yang, LAN Zhuoyue, et al. Study on New Technology for Efficient Pre-concentration of Cassiterite in Waste Rock of Mining Stripping in Yunnan Dulong[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2022, 12(9): 92-100.

fraction. The coarse jig was used for pre-concentration recovery for $-25 \sim +5$ mm size fraction. The fine-grain jig was used for pre-concentration and recovery for the $-5 \sim +0.5$ mm size fraction. Pre-enrichment recovery was carried out by spiral concentrator for the -0.5 mm size fraction. By using different beneficiation processes and combined equipment to pre-enrich tin-containing waste rock with different size fraction, the obtained concentrate products had a tin grade of 0.29% with a recovery of 56.82%, and the enrichment ratio was 2.74. The new technology of pre-enrichment is of great significance to the security of strategic tin resources, the improvement of comprehensive utilization of tin resources, and prolonging the service life of mines.

Key words: waste rock of mining stripping; cassiterite; pre-concentration; photoelectric concentrator; jig; spiral concentrator

锡是重要的战略金属,市场需求巨大^[1-2]。我国锡矿资源储量位居世界第一,云锡集团是全球规模最大、产业链最长的锡生产基地和国家大型 I 类企业,锡产品占国内市场的 40%、国际市场的 20%;云南华联锌铜股份有限公司拥有都龙矿区铜街-曼家寨矿段的采矿权,探明锡金属储量超过 34 万 t,居全国第三,铜储量 6 720 t、锌储量 320 万 t,属于超大型锡多金属矿^[3-6]。但随着锡矿资源不断被开采,入选锡矿石“贫、细、杂”特点日益突出,严重制约了锡矿业的可持续发展。同时,采矿剥离过程产生 1 亿 t 的含铜锌锡有色金属废石,其中金属锡 10.91 万 t、锌 67.63 万 t、铜 10.47 万 t,相当于一个大型锡多金属矿山,潜在经济价值 450 多亿元^[7-9]。采场剥离含锡多金属废石量巨大、含锡量极低,全球目前没有有效的回收工艺和技术,只能丢弃到排土场进行堆存,导致大量的含锡多金属资源损失。因此,研发适合都龙矿区采场剥离废石的选矿预富集工艺,对此类资源的高效开发与利用具有重要意义。

重选是锡石多金属硫化矿选别的主要方法,当前选矿技术发展形势已从单一的选矿技术转向联合选矿技术,从回收单一锡精矿产品转向回收多种有用精矿产品的趋势。近年来,随着高速图像采集、高速图像处理、高效数字信号处理和稳定光源等技术的出现,基于机器视觉识别的智能选矿设备与技术的研究快速发展^[10]。奥地利人早在 1905 年已经开始利用物料表面的颜色差异进行分选,研发出了光电分选技术,由于当时识别速度慢、精度低,严重限制了光电分选的发展;上个世纪 40 年代光选技术在食品和农作物种子的加工处理中得到了推广;50 年代开始分选一些建筑材料,60 年代才开始应用于选矿工艺中,摆脱了手工拣选,提高了劳动生产率。英国 RTZ 公司和索特克斯等公司相继研发出多种规格的矿石拣选机,让矿石拣选设备的发展达到一个高峰^[11-13]。我国从 60 年代开始研究矿石的光电分选技术,国内工业研究和应用涉及较早的是在钨矿

中的选别,我国于 1969 年 10 月在黑钨矿山建成首条光电选矿生产线,80 年代我国已自行研发出数十种不同型号的拣选机。江西有色冶金研究所(赣州有色冶金研究所)于 1977 年开始研制激光选矿机,先后研制的机型有 GS-IA、GS-IB、GS-II、GS-III 型,其中 1982 年生产的 GS-III 型激光选矿机先后处理了江西小龙、漂塘、下垄、铁山垅、大吉山等钨矿矿石,以及秦岭、金厂峪矿、招远等金矿矿石,均获得了较好的效果。上世纪 80 年代至本世纪初,国外在矿石光电分选技术研究上取得了较多的成果,将传感技术、检测技术等应用于光选机中^[14-17]。但在国内该技术的发展由于管理、技术及市场的发展等因素致使光选机的研究工作出现停滞。

目前,国内已有众多高校和科研院所开展了类似的技术研究和应用^[18-21]。近 10 年来,矿山对成本的控制要求越来越高,对日益下降的入选原矿品位也提出了更高的要求。矿山企业在含矿废石的综合回收以及对夹带进入选厂原矿的废石进行预先抛废等方面开展了大量的研究工作,取得了突破性进展,也进一步促进了国内光电分选机的快速发展。国内研发、制造光电分选机的公司例如抚顺隆基、霍利斯特、赣州好朋友等,也如雨后春笋般得到迅速发展^[22-23]。本文以都龙矿区露天采场剥离的含有有色金属废石资源为研究对象,基于对现场锡矿的工艺矿物学分析,通过采场均匀采样、制样,首先对含锡剥离废石样品进行破碎,分成 $-120 \sim +25$ 、 $-25 \sim +5$ 、 $-5 \sim +0.5$ 、 -0.5 mm 四个不同粒级。针对 $+25$ mm 粒级废石,采用光电选矿机进行预富集; $-25 \sim +5$ mm 粒级废石,采用粗粒跳汰机进行预富集; $-5 \sim +0.5$ mm 粒级废石,采用细粒跳汰机进行预富集; -0.5 mm 粒级废石,采用螺旋分选机进行预富集。对不同粒级废石样品,开展实验室流程试验,研究探索不同条件下锡的富集和回收效果,最终确定回收剥离废石中锡多金属资源的最佳工艺技术条件,形成一整套废石预富集回收新技术,

该研究为同类型剥离废石中锡资源的回收提供了新的研究基础和技术支撑。

1 试验

1.1 矿样性质

试验所用的含锡剥离废石取自云南文山都龙矿区。将代表性试验样进行破碎、烘干、混匀、缩分后，磨细至 $-74\ \mu\text{m}$ 粒级用于工艺矿物学分析。样品化学多元素分析结果如表1所示，采场剥离废石矿样中的主要元素 Sn、Cu、Zn、Fe 和 S 的含量分别为 0.11%、0.12%、0.20%、8.23% 和 0.46%，但 CaO、MgO、 Al_2O_3 和 SiO_2 的氧化物脉石含量较高，表明废

石中脉石占比较高。表2为 Sn 物相分析结果，证明了含锡矿物主要为锡石，有 3% 左右的酸溶锡。代表样品中主要的矿物种类和嵌布关系如图1所示，样品中含有金属硫化矿、金属氧化物和多种脉石共计超过 20 余种。磁铁矿和锡石是主要的金属氧化物；磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿等是主要的金属硫化矿物；脉石矿物主要有透辉石、黑云母、石英、绿泥石、方解石、镁铝榴石等，同时还含有少量的钾长石、白云石、蒙脱石、绿帘石、滑石等。废石中锡石品位较低，矿物组成和共生关系较为简单，锡石结晶小，矿物间存在部分连生、包裹、浸染的情况。

表1 采场剥离废石多元素分析结果

Elements	Sn	Cu	Zn	As	S	CaO
Content	0.11	0.12	0.20	0.25	0.46	4.21
Elements	Al_2O_3	Fe	K	MgO	SiO_2	F
Content	18.43	8.23	1.10	3.26	45.74	0.75

表2 采场剥离废石中 Sn 物相分析

Sn phases	Cassiterite	Acid soluble tin	Total
Content	0.097	0.003	0.100
Distribution	97.00	3.00	100.0

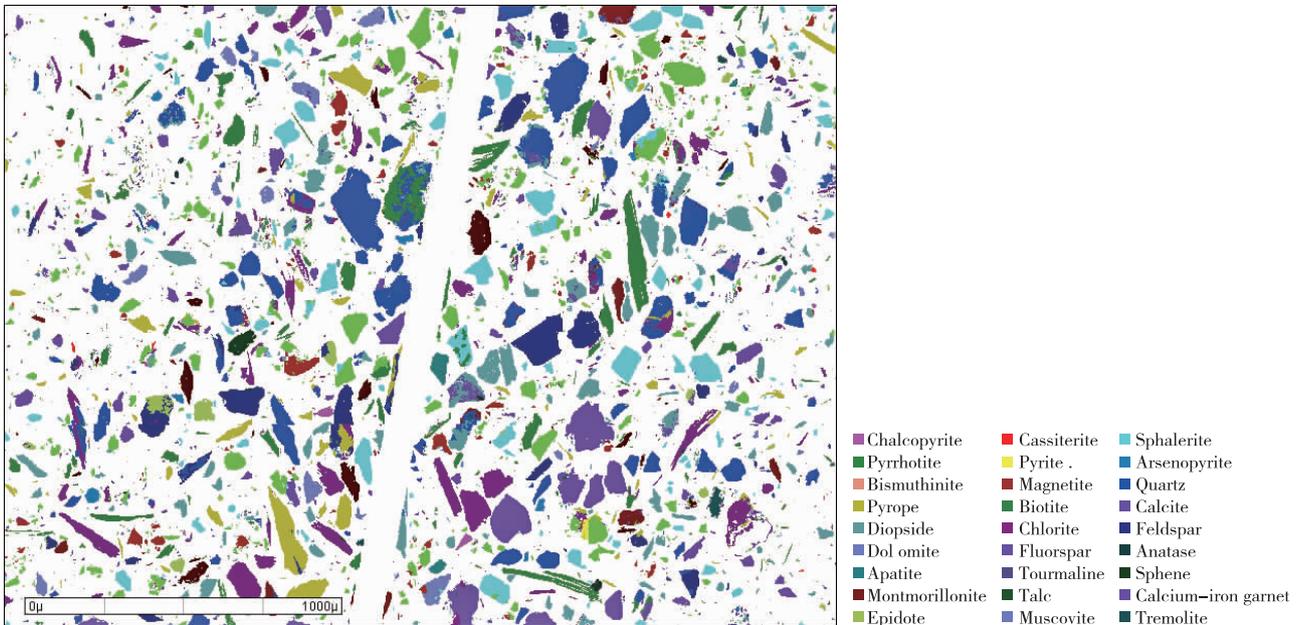


图1 采场剥离废石 MLA 分析结果

Fig. 1 Results of MLA analysis of waste rock of mining stripping

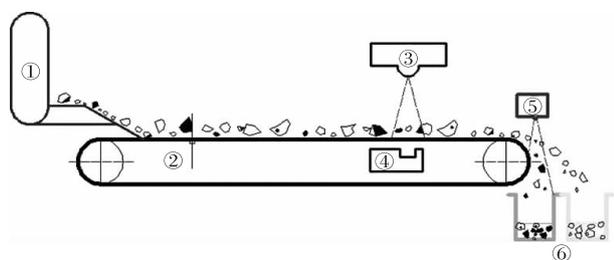
1.2 研究方法

1.2.1 光电分选试验

试验以赣州好朋友公司的 XRT-1200 机型为光电

分选设备，选用 $-120\sim+25\ \text{mm}$ 粗粒废石 2 000 kg，开展光电预富集试验研究。首先采用代表性矿石和废石各 20 kg 建立计算机分选模型，分别探索分选

机的密度阈值和给矿量等不同条件对分选过程的影响,每次对选别后的精矿和尾矿分别取样、烘干、称重、制样、化验后计算富集比和回收率,找出该设备最佳的参数和模型。XRT-1200 光电分选机的基本原理是依据矿石与废石比重的差异进行选别,不同比重的原料在 X 射线源下呈现出不同的颜色,分离执行装置根据物料成像的颜色不同,由智能控制系统实现高效分选,其作用原理如图 2 所示。经过分级的块状物料在振动给料机的作用下被均匀分布到皮带上,物料经过 X 射线照射,不同物料由于密度、内部构造和光学特性的不同,其对 X 射线的吸收不同,从而使透过物料的 X 射线强度发生变化,探测器接收到 X 射线的强度信息并传给计算机系统,计算机根据预先设定的信号强度(颜色)进行分析,确定该矿块属于“精矿”或者“废石”,继而向分离执行机构发出动作指令,脉石被高压喷吹空气击中改变下落轨迹进入脉石槽,精矿落入精矿槽,分选过程结束。分选机喷吹的对象可以是废石,也可以是产品(即精矿),考虑节能以吹少数、抛多数为原则,同时保证设备在同样条件下更高的处理能力^[15,24-25]。采用 XRT-1200 光电分选机开展了-120~+25 mm 粗粒废石光电预富集试验研究,



①Feed hopper(feeder);②Belt transport equipment;③X-ray source;
④X-ray Receiving Sensor;⑤Injection system;⑥Feed bin

图 2 XRT-1200 型光电分选机结构示意图及工作原理图

Fig 2 Graph structure and working principle of XRT-1200 photoelectric separator

通过设备调试、建立计算机分选模型、参数设定和优化验证试验,分别探索了密度阈值和给矿量等不同条件的影响,对选别后的精矿和尾矿分别烘干、称重、制样、化验后计算富集比和回收率。

1.2.2 跳汰分选试验

跳汰试验主要开展了两个方面的研究,一是针对-25~+5 mm 粒级废石,采用广西鑫地矿山设备公司生产的工业机,开展粗粒跳汰预富集实验研究;二是针对-5~+0.5 mm 粒级废石,采用 LTA55/2 双室跳汰机,开展细粒跳汰预富集实验研究,分别探索跳汰机的冲程、冲次、处理量、床层厚度等不同条件的影响,对选别后的精矿和尾矿分别烘干、称重、制样、化验后计算富集比和回收率。

1.2.3 螺旋分选试验

试验针对-0.5 mm 粒级废石,开展不同型号螺旋分选机预富集的试验研究,包括 QL12AP 型螺旋分选机、QL11BK 型螺旋分选机、QL90AP 型螺旋分选机等三种型号,通过开展给矿量、给矿浓度等不同条件试验,对选别后的精矿和尾矿分别烘干、称重、制样、化验后计算富集比和回收率。

2 结果与讨论

2.1 -120~+25 mm 粒级废石的光电预富集试验

将准备好的-120~+25 mm 粗粒废石原料给入分选机的给料系统,由皮带输送经过检测区、分离区,最终得到精矿(原矿石)和尾矿(废石)两个产品。需先进行输送皮带、喷气嘴的校准,随后进行计算机分选模型的建立和调整,设定振动给料机频率和密度阈值。通过调试各参数条件试验,确定分选机的密度阈值为 180、给矿量 63~83 t/h、给矿频率为 40 Hz 时,获得了较好的回收率和富集比指标,其试验结果如表 3 所示。

表 3 密度阈值为 180 的光电分选机预富集的试验结果

Table 3 Experimental results of photoelectric pre-concentration under density threshold of 180

Test group number	Product name	Yield/%	Sn grade/%	Sn recovery/%	Sn enrichment ratio
1	Concentrate	19.07	0.184	55.33	2.90
	Tailing	80.93	0.035	44.67	
	Feeding	100.0	0.063	100.0	
2	Concentrate	20.39	0.314	64.63	3.17
	Tailing	79.61	0.044	35.37	
	Feeding	100.0	0.099	100.0	
3	Concentrate	22.02	0.192	63.62	2.89
	Tailing	77.98	0.031	36.38	
	Feeding	100.0	0.066	100.0	

由表3可知,针对-120~+25 mm的含锡废石(含锡0.05%~0.1%),通过光电分选机可获得精矿产率19.07%~22.02%、锡石富集比超过2.8、回收率超过55%的较好指标,如果试验原料中锡含量超过0.1%时,可以得到更好的回收效果。

2.2 -25~+5 mm 粒级废石的粗粒跳汰预富集技术

针对-25~+5 mm粒级废石,开展了粗粒跳汰预富集试验研究,探索跳汰预富集的最佳参数

和技术可行性。根据优化条件试验结果,确定跳汰机的冲程参数为18 cm、床层厚度为40 mm、处理量20~25 t/h、开展冲次108、114、120次/min的条件试验,试验结果如表4所示。由表4可知,冲次为114次/min时效果较好,获得了产率20.84%、锡品位0.181%、回收率49.05%的产品。但由于试验原料中锡含量波动大,导致跳汰机的产品产率控制存在一定难度,条件试验的最佳参数确定具有一定困难。

表4 -25~+5 mm 粒级废石的粗粒跳汰预富集试验结果

Table 4 Experimental results of jigging preconcentration of -25~+5 mm waste rock

Stroke times/(times · min ⁻¹)	Product name	Yield/%	Sn grade/%	Sn recovery/%	Sn enrichment ratio
108	Concentrate	10.64	0.208	38.24	3.59
	Tailing	89.36	0.040	61.76	0.69
	Feeding	100.0	0.058	100.0	
114	Concentrate	20.84	0.181	49.05	2.35
	Tailing	79.16	0.050	50.95	0.65
	Feeding	100.0	0.077	100.0	
120	Concentrate	12.65	0.145	21.47	1.70
	Tailing	87.35	0.076	78.53	0.89
	Feeding	100.0	0.085	100.0	

2.3 -5~+0.5 mm 粒级废石的细粒跳汰预富集技术

针对-5~+0.5 mm粒级废石,开展细粒跳汰预富集试验研究。探究了冲程、冲次、床层厚度对含锡废石预富集效果的影响,试验结果分别如表5~7所示。

由表5可知,随着冲程的增加,精矿含锡品位下降,而产率及回收率明显升高。当冲程为10.92 mm、给矿含锡0.103%时,可获得品位0.280%、回收率49.47%的精矿指标。综合考虑,确定最佳冲程为10.92 mm。

表5 冲程对含锡废石预富集影响的试验结果

Table 5 Experimental results of effect of stroke on pre-concentration of waste rock containing tin

Stroke/mm	Product name	Yield/%	Sn grade/%	Sn recovery/%	Sn enrichment ratio
9.36	Concentrate	15.30	0.323	45.46	
	Tailing	84.70	0.070	54.54	2.97
	Feeding	100.0	0.109	100.0	
10.92	Concentrate	18.28	0.280	49.47	
	Tailing	81.72	0.064	50.53	2.71
	Feeding	100.0	0.103	100.0	
12.48	Concentrate	24.56	0.218	50.51	
	Tailing	75.44	0.070	49.49	2.06
	Feeding	100.0	0.106	100.0	

表6 冲次对含锡废石预富集影响的试验结果

Table 6 Experimental results of effect of punching times on pre-concentration of waste rock containing tin

Stroke times/(times · min ⁻¹)	Product name	Yield/%	Sn grade/%	Sn recovery/%	Sn enrichment ratio
216	Concentrate	13.71	0.302	39.33	
	Tailing	86.29	0.074	60.67	2.87
	Feeding	100.0	0.105	100.0	
252	Concentrate	18.28	0.280	49.47	
	Tailing	81.72	0.064	50.53	2.71
	Feeding	100.0	0.103	100.0	
288	Concentrate	20.60	0.246	49.19	
	Tailing	79.40	0.066	50.81	2.39
	Feeding	100.0	0.103	100.0	

由表6可知,随着冲次的增加,精矿产率及回收率明显增加,但精矿品位有所下降;当冲次为252次/min时,可获得精矿含锡0.28%、回收率49.47%、富集比2.71的技术指标。综合考虑,确定跳汰机的最佳冲次为252次/min。

由表7可知,随着床层厚度的增加,精矿富

集比增加,但回收率呈明显下降趋势。因此,在保证精矿品位及富集比的前提下,可以通过适当减少床层厚度来提高精矿的回收率,综合考虑,最终确定床层厚度为35 mm,获得了精矿锡品位为0.396%、富集比2.56、回收率52.39%的较好指标。

表7 床层厚度对含锡废石预富集影响的试验结果

Table 7 Experimental results of effect of bed thickness on preconcentration of waste rock containing tin

Thickness of bed layer/mm	Product name	Yield/%	Sn grade/%	Sn recovery/%	Sn enrichment ratio
30	Concentrate	26.22	0.301	53.33	2.03
	Tailing	73.78	0.094	46.67	
	Feeding	100.0	0.148	100.0	
35	Concentrate	20.51	0.396	52.39	2.56
	Tailing	79.49	0.093	47.61	
	Feeding	100.0	0.155	100.0	
40	Concentrate	11.88	0.512	39.44	3.33
	Tailing	88.12	0.106	60.56	
	Feeding	100.0	0.154	100.0	

2.4 -0.5 mm 细粒废石的螺旋预富集技术

针对-0.5 mm 粒级废石,开展不同型号螺旋分选机预富集试验研究,寻找合适型号的螺旋分选机实现-0.5 mm 粒级废石中锡石的有效富集和回收,试验流程见图3,试验结果见表8。QL12AP型螺旋分选机是国内目前使用面最广、使用量最大的通用机型,其特点是结构参数适中、适用性强、处理量大、结构简单、操作容易、维修量少、生产稳定、选别直观、生产成本低、节能环保。通过前期条件试验确定QL12AP型螺旋分选机的最佳给矿量为4.5 t/(h/头)、给矿浓度为35%。QL11BK螺旋分选机是沁龙化学防腐有限公司新研制的螺旋分选机,该机结构采用黄金分割参数和刻槽螺旋槽面以提高重矿物的回收率。选别时,槽内层流流态占主导,层流带占槽面的3/4以上,有利于矿物按不同密度、粒度在槽面分带、分选。通过前期条件试验确定QL11BK型螺旋分选机的最佳给矿量为3.0 t/(h/头)、给矿浓度为32%。QL90AP型螺旋分选机最大的特点是随着选别过程的进行,螺旋断面曲线是分阶段变化的,其横向倾角逐步由大变小,有利于层流的展开,让重矿物得以扩张。通过前期条件试验确定QL90AP型螺旋分选机的最佳给矿量为2.0 t/(h/头)、给矿浓度为32%。

从表8可知,QL12AP型螺旋分选机的精矿锡

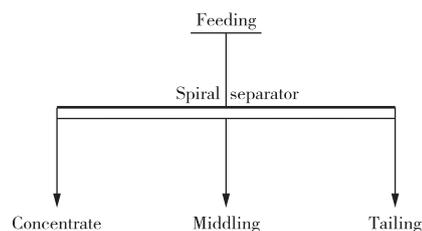


图3 螺旋分选机试验流程

Fig 3 Flowsheet of spiral separator

富集比和回收率偏低,分别为1.67和41.46%;QL11BK型螺旋分选机预富集效果较好,精矿锡回收率达到50.81%、富集比达到1.97;QL90AP型螺旋分选机精矿产率偏低,分析原因可能是横向离心力较大,导致物料往尾矿端移动,特别是尾矿产率达到48.93%,精矿锡的回收率为43.11%,但锡的富集达到3.85。

试验研究表明,QL12AP、QL11BK和QL90AP型三种螺旋分选机,对-0.5 mm 细粒级废石均有一定的预富集效果,其中QL11BK型螺旋分选机溜槽面上矿带分布更均衡、稳定,便于观察和矿浆截取,同时精矿锡回收率超过50%;如果将中矿返回螺旋分选机进行扫选处理,精矿中锡总回收率会进一步提高;尾矿粒度偏细,可以考虑利用分级、离心设备将细粒级废石物料进行脱泥、预富集再进行浮选回收,有利于进一步提高锡的总回收率。

表8 螺旋分选机预富集试验结果

Table 8 Preconcentration test results of spiral separator

Equipment types	Product name	Yield/%	Sn grade/%	Sn recovery/%	Sn enrichment ratio
QL12AP	Concentrate	24.80	0.237	41.46	1.67
	Middling	28.87	0.097	19.68	
	Tailing	46.33	0.119	38.86	
	Feeding	100.0	0.142	100.0	
QL11BK	Concentrate	25.81	0.280	50.81	1.97
	Middling	48.39	0.092	31.38	
	Tailing	25.80	0.098	17.81	
	Feeding	100.0	0.142	100.0	
QL90AP	Concentrate	11.20	0.558	43.11	3.85
	Middling	39.87	0.106	29.24	
	Tailing	48.93	0.082	27.65	
	Feeding	100.0	0.145	100.0	

2.5 采场剥离废石中锡石预富集新技术原则流程

针对矿山采场剥离含锡废石,经破碎筛分成 $-120\sim+25$ 、 $-25\sim+5$ 、 $-5\sim+0.5$ 、 -0.5 mm四个不同粒级,通过开展废石高效预富集技术研究,形成了光电预选—粗粒跳汰—中细粒跳汰—细粒螺旋的分级分选集成新技术,研发出的废石高效预富

集原则工艺流程见图4,技术指标见表9。由表9可知,对于含锡采场剥离废石,通过废石预富集流程进行回收,可获得锡富集为2.74、回收率为56.82%、品位0.290%的精矿产品,可作为原料进入主体选别流程。

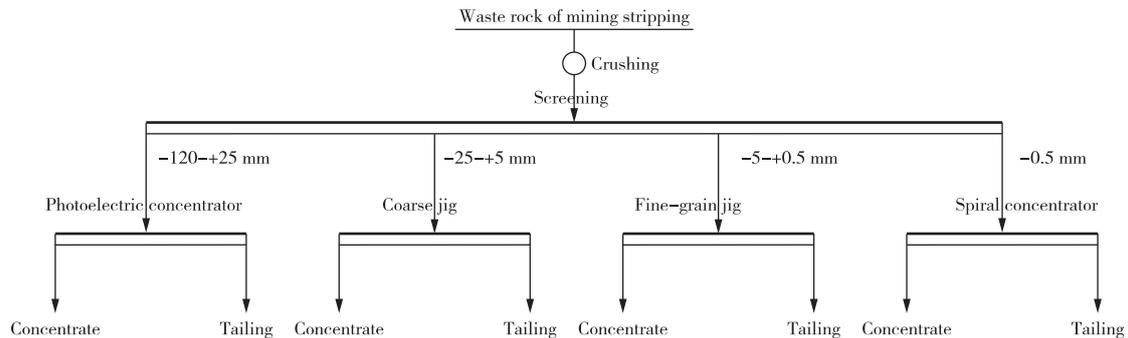


图4 采场剥离废石预富集原则工艺流程图

Fig. 4 Principle processing flowsheet of pre-concentration of waste rock of mining stripping

表9 采场剥离废石预富集技术指标

Table 9 Technical index of pre-concentration of waste rock of mining stripping

Product name	Beneficiation process	Yield/%	Waste rock grade/%	Sn		Enrichment ratio	Operation recovery/%
				Concentrate yield/%	Concentrate grade/%		
Waste rock of mining stripping ($-120\sim+25$ mm)	Photoelectric concentrator	44.00	0.099	8.97	0.314	3.17	64.63
Waste rock of mining stripping ($-25\sim+5$ mm)	Coarse jig	30.00	0.077	6.26	0.181	2.35	49.05
Waste rock of mining stripping ($-5\sim+0.5$ mm)	Fine-grain jig	22.00	0.155	4.51	0.396	2.56	52.39
Waste rock of mining stripping (-0.5 mm)	Spiral concentrator	4.00	0.142	1.03	0.280	1.97	50.81
Total		100.0	0.106	20.77	0.290	2.74	56.82

3 结论

通过开展采场剥离废石中锡石高效预富集新技

术研究工作,基本确定了废石预富集新技术的原则工艺流程和基本技术要点,证明废石预富集在技术上可行,具备开展工业试验的条件。

研究成果表明,将矿山剥离含锡废石原料分级成四个不同粒级(-120~+25、-25~+5、-5~+0.5、-0.5 mm),针对-120~+25 mm 粒级,可以采用光电选矿机进行预富集回收;针对-25~+5 mm 粒级,可以采用粗粒跳汰机进行预富集回收;针对-5~+0.5 mm 粒级,可以采用细粒跳汰机进行预富集回收;针对-0.5 mm 粒级,可以采用螺旋分选机进行预富集回收。通过对不同粒级含锡废石采用不同选矿工艺和组合设备进行预富集,可以得到锡回收率为 56.82%,富集比 2.74,品位为 0.290%的精矿产品。

本技术研究成果如果能够顺利实施并投入生产应用,对提高矿山的锡资源综合利用率、延长矿山的生产服务年限具有重大意义,并且该技术对铜、锌和铁金属可实现同步富集与回收,具有可观的潜在经济价值和社会效益。下一步将利用该研究成果,开展工业试验和综合流程试验,形成一套系统的针对采场剥离废石中含锡多金属资源的预富集技术成果,为采场剥离废石资源的大规模综合利用提供科学依据。

参考文献:

- [1] 曹阳,童雄,谢贤,等. 锡石选别中的影响因素和工艺药剂研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(9): 2512-2529.
CAO Yang, TONG Xiong, XIE Xian, et al. Research progress of influencing factors and processes reagents in cassiterite beneficiation[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31(9): 2512-2529.
- [2] 陈禹蒙. 锡石与方解石、斜绿泥石的浮选分离基础研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2019.
CHEN Yumeng. Basic research on flotation separation of cassiterite, calcite and clinocllore[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2019.
- [3] 何东,韩彬. 都龙矿区螺旋溜槽尾矿中锡石回收工艺试验研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2016(6): 44-47, 55.
HE Dong, HAN Bin. Experimental study on the cassiterite recycling process of spiral sluice tailings of Dulong mine [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2016(6): 44-47, 55.
- [4] 何东,兰希雄. 都龙难选多金属矿中锡石回收工艺流程的研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2015(1): 36-40.
HE Dong, LAN Xixiong. Study on cassiterite recovery process on a refractory polymetallic ore of Dulong[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2015(1): 36-40.
- [5] 兰希雄,何东,何庆浪. 细粒锡石浮选工艺研究实践与展望[J]. 矿物学报, 2016, 36(4): 544-548.
LAN Xixiong, HE Dong, HE Qinglang. Practice and prospect on flotation of fine cassiterite [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2016, 36(4): 544-548.
- [6] 卢致明,韩彬. 微细粒锡石选别的研究进展及思考建议[J]. 世界有色金属, 2019(7): 180-182.
LU Zhiming, HAN Bin. Research progress and thinking suggestions for the selection of fine-grained cassiterite[J]. World Nonferrous Metals, 2019(7): 180-182.
- [7] 周永诚. 氧化型脉锡尾矿锡铁综合回收的新工艺与机理研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2014.
ZHOU Yongcheng. Study on new technology and mechanism of comprehensive recovery of tin and iron from oxidized vein tin tailings[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2014.
- [8] 杨志全,杨文才,张宗国,等. 锡尾矿用作二级及以下公路路面底基层材料的试验与效果指标预测模型研究[J]. 硅酸盐通报, 2019, 38(8): 2578-2585.
YANG Zhiquan, YANG Wencai, ZHANG Zongguo, et al. Test and effect indexes prediction model of tin tailings used as subbase material of secondary and below highway pavement[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2019, 38(8): 2578-2585.
- [9] 谢禹,叶国华,胡艺博,等. 锡尾矿的资源现状、特点与再选研究进展[J]. 矿冶, 2020, 29(2): 91-97.
XIE Yu, YE Guohua, HU Yibo, et al. Resource status, characteristics and reconcentration progress of tin tailings resources [J]. Mining and Metallurgy, 2020, 29(2): 91-97.
- [10] 陈莉. 基于机器视觉的大型复杂结构件在线质量检测技术及系统研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2019.
CHEN Li. On-line quality inspection technology and system research of large complicated structural component based on machine vision[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [11] 刘丽娜. 颗粒物料颜色分选系统的设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2006.
LIU Lina. Design of grain color sorting system[D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2006.
- [12] 计时鸣,张立彬,王烈鑫. 物料分选过程中的模式识别技术与智能化[J]. 农业工程学报, 1998, 14(1): 188-193.
JI Shiming, ZHANG Libin, WANG Liexin. Pattern recognition and intelligent control techniques in classification procedure of material[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1998,

- 14(1):188-193.
- [13] 卢熠昌,于中山.煤矸光电分选系统及抗干扰技术研究[J].矿业研究与开发,2020,40(1):144-147.
LU Yichang, YU Zhongshan. Study on a coal gangue photoelectric sorting system and its anti-interference technology [J]. Mining Research and Development, 2020,40(1):144-147.
- [14] 敖顺福,朱家锐,徐峰,等.预选抛尾技术应用进展[J].矿产保护与利用,2021,41(4):157-163.
AO Shunfu, ZHU Jiarui, XU Feng, et al. Application progress of preconcentration and discarding technology[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources,2021,41(4):157-163.
- [15] 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.
DI Wangping, WU Zhihu. Preconcentration and discarding technology of intelligent photoelectric dressing equipment [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section),2021(1):117-121.
- [16] 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):73-77,106.
HONG Yonghua, LAN Xixiong, HE Qinglang, et al. Research practice on comprehensive recovery of valuable metals from waste rock resources in Dulong mining area[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section),2020(5):73-77,106.
- [17] 杨丘,唐远,郭劲,等.光电分选技术进展及其在磷矿选别中的应用与展望[J].化工矿物与加工:1-9[2022-02-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1492.tq.20220124.1436.022.html>.
YANG Qiu, TANG Yuan, GUO Jin, et al. Application and progress of photo-electric sorting technique in phosphate ore beneficiation[J]. Industrial Minerals & Processing: 1-9 [2022-02-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1492.tq.20220124.1436.022.html>.
- [18] 龙筱晔,翟丽娜,杨岳,等.矿物光电分选领域专利技术综述[J].矿业装备,2015(6):98-101.
LONG Xiaoye, ZHAI Lina, YANG Yue, et al. Overview of patented technology in the field of photoelectric mineral separation[J]. Mining Equipment, 2015(6):98-101.
- [19] 姚龙海,叶庆.光电探测器阵列型激光告警系统信号分选与码型识别算法的设计[J].光学与光电技术,2007,5(6):63-65.
YAO Longhai, YE Qing. Signal sorting and code identification algorithm for laser warning system of electro-optic detector array[J]. Optics & Optoelectronic Technology,2007,5(6):63-65.
- [20] 赵跃民,张亚东,周恩会,等.清洁高效干法选煤研究进展与展望[J].中国矿业大学学报,2022,51(3):607-616.
ZHAO Yuemin, ZHANG Yadong, ZHOU Enhui, et al. Research progress and prospect of clean and efficient dry coal preparation[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2022,51(3):607-616.
- [21] 朱金波,尹建强,杨晨光,等.矿物组分对智能分选X射线识别规律研究[J].洁净煤技术,2021,27(1):202-208.
ZHU Jinbo, YIN Jianqiang, YANG Chenguang, et al. Study on the X-ray recognition law of intelligent sorting by mineral components [J]. Clean Coal Technology,2021,27(1):202-208.
- [22] 刘勇,刘牡丹,周吉奎,等.废弃电路板拆解技术研究现状及展望[J].中国资源综合利用,2016,34(10):47-50.
LIU Yong, LIU Mudan, ZHOU Jikui, et al. Disassembly technology research status and prospect of waste printed circuit board [J]. China Resources Comprehensive Utilization,2016,34(10):47-50.
- [23] 杨文涛,陶天一,白皓,等.电子废弃物机械-物理协同强化资源化利用的研究进展[J].过程工程学报,2020,20(12):1363-1376.
YANG Wentao, TAO Tianyi, BAI Hao, et al. Research progress on waste electric and electronic equipment mechanical-physical synergy and resource utilization[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2020, 20(12):1363-1376.
- [24] 罗仙平,宁湘菡,王涛,等.智能分拣选矿技术的发展及其应用[J].金属矿山,2019,48(7):113-117.
LUO Xianping, NING Xianghan, WANG Tao, et al. Development and application of intelligent picking technology[J]. METAL MINE,2019,48(7):113-117.
- [25] 彭尉,何鹏宇.某锑矿石的X射线智能预选试验与实践[J].金属矿山,2019,48(9):92-97.
PENG Wei, HE Pengyu. Pre-selection test and practice of a antimony ore using the X-ray intelligent concentrator[J]. Metal Mine,2019,48(9):92-97.

(编辑 汪东芳)