

doi:10.3969/j.issn.1671-9492.2023.04.012

“双碳”背景下江西某白钨矿选矿试验研究

沙迎华¹, 沙珉^{2,3}, 吴师金^{2,3}, 潘峰岗^{2,3}

(1. 河南省商丘生态环境监测中心, 河南 商丘 476000;

2. 江西有色地质矿产勘查开发院, 南昌 330030;

3. 自然资源部南昌矿产资源检测中心, 南昌 330030)

摘 要:江西某白钨矿在“双碳”背景下,围绕节能减排和节约土地(林地)资源为目的进行选矿试验研究,通过采用XRT分选粗抛废石、螺旋溜槽+摇床分级重选抛尾砂,实现粗抛早抛,废石、尾砂总产率为87.67%, WO_3 品位降为0.04%,粗抛早抛可以降低选矿作业能耗30%左右,粗抛早抛效果显著。摇床精矿和细泥采用浮选工艺进行选别,获得的选矿指标(全矿)为:钨精矿1产率0.31%、 WO_3 品位75.20%、 WO_3 回收率为56.32%,钨精矿2产率0.18%、 WO_3 品位46.10%、 WO_3 回收率为20.05%, WO_3 总回收率达76.37%,选矿效果良好。对粗抛早抛的废石和尾砂进行综合利用分析,废石满足建筑用碎石要求,尾砂满足机制砂特细砂要求。经估算,对废石和尾砂进行综合利用,大约节约土地(林地)16公顷,节约陆地碳汇1 684.64 t C,“双碳”效果明显。

关键词:“双碳”;节能减排;废石尾砂综合利用;粗抛早抛;陆地碳汇;白钨矿选矿

中图分类号:TD952

文献标志码:A

文章编号:1671-9492(2023)04-0086-08

Experimental Study on the Beneficiation of a Scheelite Mine in Jiangxi under the Background of “Double Carbon”

SHA Yinghua¹, SHA Min^{2,3}, WU Shijin^{2,3}, PAN Fenggang^{2,3}

(1. Shangqiu Ecological Environment Monitoring Center of Henan Province, Shangqiu 476000, Henan, China;

2. Jiangxi Institute of Nonferrous Geological and Mineral Exploration and Development, Nanchang 330030, China;

3. Nanchang Mineral Resources Testing Center, Ministry of Natural Resources, Nanchang 330030, China)

Abstract: Under the background of double carbon, the mineral processing test of a scheelite mine in Jiangxi was carried out for the purpose of energy saving and emission reduction and saving land (woodland) resources. By using XRT separation for rough throwing waste rock and spiral chute+table classification gravity separation for throwing tailings, the rough throwing and early throwing were realized, the total yield of waste rock and tailings was 87.67%, and WO_3 grade was reduced to 0.04%. The energy consumption of ore dressing operation can be reduced by about 30% by rough throwing and early throwing, and the effect of rough throwing and early throwing was remarkable. The concentrate and slime were separated by flotation process, and the indexes of tungsten concentrate 1 and tungsten concentrate 2 were 0.31% and 0.18%, WO_3 grade was 75.20% and 46.10%, WO_3 recovery was 56.32% and 20.05%, respectively. The total recovery of WO_3 was 76.37%, and the beneficiation effect was good. The comprehensive utilization analysis of the waste rock and tailings from the coarse dumping and early dumping showed that the waste rock can meet the requirements of construction gravel, and the tailings can meet the requirements of machine-made sand and superfine sand. It was estimated that the comprehensive utilization of waste rock and tailings can save about 16 hectares of land (woodland) and 1 684.64 t C of terrestrial carbon sink, and the double carbon effect was obvious.

Key words: double carbon; energy saving and emission reduction; comprehensive utilization of waste rock and tailing sand; coarse and early discarding waste rock and tailings; terrestrial carbon sink; scheelite ore processing

收稿日期:2023-02-08

作者简介:沙迎华(1971-),女,河南商丘人,学士,工程师,主要从事生态环境保护和监测工作。

通信作者:吴师金(1969-),男,江西南昌人,硕士,正高级工程师,主要从事物质组分和选矿试验研究。

“双碳”目标是加快生态文明建设和实现高质量发展的关键抓手^[1]，它将更深层次地推动矿业实现绿色、低碳及循环发展^[2]。实现“双碳”目标是一场深刻的经济社会系统性变革，将形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式及空间格局。根据任思达(2020)矿业经济绿色发展模式分类，江西属“技术、产业支撑型”类型^[3]。朴世龙^[4]在《中国陆地生态系统碳汇现状及其潜力》谈到：把碳排放量减为零的三个途径就是：减排，碳捕获、利用与封存，利用陆地和海洋的碳汇。矿山企业要实现“双碳”目标，主要手段是节能减排。节能可以达到减少碳排放目的，减排不仅是减少碳排放，更重要的是减少固体废物排放，固体废物的减排可以减少对土地的破坏，对森林覆盖率高的江西而言，就是减少对森林的破坏，保护森林的吸碳作用，以达到利用陆地碳汇目的。通过对矿山主要固体废物尾砂和废石

的综合利用是减少固体废物排放的重要手段。江西某白钨矿将围绕节能和综合利用尾砂和废石两个方面进行选矿试验研究，以达到节能减排和节约土地及陆地碳汇的目的。

1 矿石性质

1.1 矿石主要化学成分分析

江西某白钨矿呈浸染状和细脉浸染状分布于花岗岩岩体及岩体接触带中，其围岩(或母岩)以花岗岩为主。矿石中金属矿物主要有白钨矿、黑钨矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿，少量或微量的自然铋、辉铋矿、辉钼矿、方铅矿等。非金属矿物主要有石英、白(绢)云母、长石、绿泥石、方解石等，还有少量或微量的磷灰石、黝帘石、榍石等。对矿石进行了主要成分分析，分析结果见表 1。由表 1 可知，WO₃品位为 0.85%，为主要回收组分。

表 1 矿石主要化学成分分析结果

Table 1 Results of main chemical composition analysis of ore /%

组分	WO ₃	S	As	Mo	Ca	Mn	Cu	Sn	Sb	Ba
含量	0.85	0.73	0.026	0.0063	1.16	0.096	0.037	0.014	0.0003	0.040
组分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
含量	72.98	12.67	3.37	1.06	1.91	0.89	3.26	0.40	0.11	0.25

1.2 矿石中钨的化学物相分析

对矿石中主要金属钨的化学物相进行分析，分析结果见表 2。由表 2 可知，钨主要赋存在白钨矿

中，WO₃ 占有率为 81.25%，其次为黑钨矿，WO₃ 占 16.25%。

表 2 钨物相分析结果

Table 2 Results of tungsten phase analysis of ore /%

钨相别	白钨矿中钨	黑钨矿中钨	钨华中钨	合计
WO ₃ 含量	0.65	0.13	0.020	0.80
占有率	81.25	16.25	2.50	100.0

1.3 矿石中主要金属钨矿物的嵌布特征

白钨矿主要呈脉状、细脉状、浸染状和细脉浸染状分布于以石英为主的非金属矿物中。与其他金属矿物黑钨矿、磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、毒砂、自然铋、辉铋矿等伴生。主要以他形粒状为主，粒径以 0.2~2 mm 为主，少量为 0.05~0.15 mm。其嵌布

粒度大于 0.074 mm 占有率为 95.62%。黑钨矿常呈细脉状分布于以石英为主的非金属矿物中，多为半自形板状或他形粒状。粒径以 0.2~1 mm 为主，部分为 0.05~0.2 mm，极少量小于 0.02 mm。其嵌布粒度大于 0.074 mm 占有率为 93.99%。钨矿物的嵌布特征见表 3。

表 3 主要钨矿物嵌布粒度统计

Table 3 Distribution size statistics of major tungsten-minerals

粒级/mm	数量/颗		占比/%		累计占比/%	
	白钨矿	黑钨矿	白钨矿	黑钨矿	白钨矿	黑钨矿
>1	26	10	48.21	25.13	48.21	25.13
1~0.5	30	28	19.73	26.54	67.94	51.67
0.5~0.287	31	33	12.70	18.48	80.64	70.15
0.287~0.175	35	46	8.68	15.19	89.32	85.34
0.175~0.074	45	43	6.31	8.65	95.63	93.99
0.074~0.043	51	48	3.30	4.14	98.93	98.13
<0.043	50	65	1.07	1.87		
合计	268	273	100.0	100.0	100.0	100.0

2 选矿试验

针对白钨矿的选矿,一般采用浮选工艺居多,对于嵌布粒度较细者也可采用浸出等化学选矿工艺^[5],对于白钨矿嵌布粒度较粗者采用单一重选工艺也能取得较好的选矿效果^[6]。但不管是浮选还是重选都需要将矿石磨到一定的细度,一般小于0.074 mm的量大于50%。刘庭忠等^[7]从非金属利用的角度采用浮选工艺曾讨论过“花岗岩型”矿全尾资源化综合利用的问题,并得出肯定的结论。通过全尾资源化综合利用虽然可以减少固废的排放,但没有减少磨矿,据统计,磨矿作业能耗占矿山整个选矿作业能耗的40%~60%^[8],因此没有达到节能目的,与“双碳”目标有一定差距。随着天然河砂资源的日渐枯竭,机制砂成为建筑用砂的主体成为大势所趋,花岗岩作为建筑骨料和机制砂原料也正方兴未艾^[9-11]。以矿山废石和尾矿等为原料,经除土处理,由机械破碎、整形、筛分、粉控等工艺制成的,级配、粒形和石粉含量满足要求且粒径小

于4.75 mm的颗粒可称机制砂,其按细度模数分为粗砂、中砂、细砂和特细砂^[12]。天然岩石、卵石或矿山废石经破碎、筛分等机械加工而成的、粒径大于4.75 mm的岩石颗粒可称建筑用碎石^[13]。因此,越粗抛废抛尾不仅可以减少磨矿量和磨矿时间,节约电能,而且被抛废石和尾砂还可以作为建筑碎石和机制砂进行综合利用。

2.1 XRT智能选矿预选抛尾

针对该矿石的选矿,执行粗抛早抛的原则,XRT智能选矿是粗抛早抛的有效手段之一。XRT智能选矿是针对粒径为10~60 mm的矿石,利用X射线分选技术将矿石和废石分离的一种高效低耗、环境友好的预选技术手段,应用前景十分广阔,通过XRT智能选矿分离废石,可提高入磨矿石品位,减少入磨矿石量和细粒尾矿生产量,显著降低了能耗^[14-16]。

矿石破碎后,通过孔径为60 mm和10 mm的网筛,将粒径介于10~60 mm的矿石通过XRT智能选矿分离废石,废石产率为52.7%,WO₃品位为0.03%,分离效果明显,结果见表4。

表4 XRT智能选矿结果
Table 4 XRT intelligent mineral processing results

粒度/mm	产品名称	产率/%	品位/%	回收率/%
60~10	粗抛粗精矿	28.9	1.06	74.97
	废石	52.7	0.03	3.87
小于10	粉矿	18.4	0.47	21.16
	原矿	100.0	0.41	100.0

2.2 分级重选抛尾

2.2.1 抛尾粒级选择

以XRT智能选矿粗抛废石后的粗精矿为对象,棒磨至小于3.2 mm并进行筛分分级,对大于0.074 mm粒级部分开展分级摇床重选抛尾砂试验,以确定粗粒级重选抛尾砂的可行性。分级重选抛尾砂

试验流程为:首先降预抛粗精矿破碎至小于3.2 mm后,筛分为3.2~2.0 mm、2.0~1.0 mm、1.0~0.5 mm、0.5~0.3 mm、0.3~0.154 mm、0.154~0.074 mm和小于0.074 mm七个粒级,并对0.074 mm以上的六个样品分别进行重选摇床试验。试验流程见图1,试验结果见表5。由表5可知,分别合并1~0.074 mm和0.5~0.074 mm各尾矿

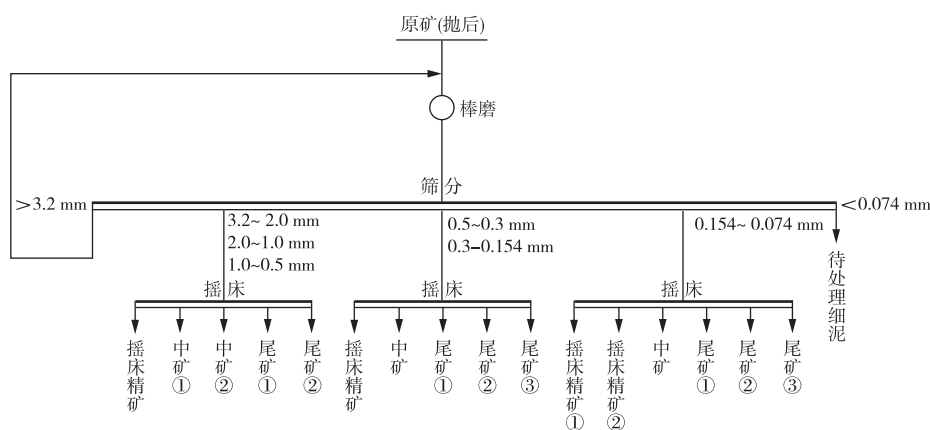


图1 分级重选抛尾试验流程

Fig. 1 Flowsheet of classification gravity separation tests

表 5 分级重选各粒级尾矿结果

Table 5 Results of classification gravity separation tests

/%

粒级/mm	产率	WO ₃ 品位	产品名称	作业产率	WO ₃ 品位	WO ₃ 作业回收率
3.2~2	24.64	0.74	尾矿 1	3.02	0.48	1.23
			尾矿 2	12.13	0.16	1.65
2~1	24.14	0.91	尾矿 1	1.99	0.12	0.2
			尾矿 2	6.08	0.092	0.47
1~0.5	16.7	1.39	尾矿 1	0.58	0.05	0.02
			尾矿 2	3.33	0.049	0.14
0.5~0.3	7.54	1.21	尾矿 1	2.36	0.053	0.1
			尾矿 2	0.58	0.057	0.03
			尾矿 3	1.91	0.036	0.06
0.3~0.154	7.51	1.56	尾矿 1	1.94	0.028	0.04
			尾矿 2	1.45	0.031	0.04
			尾矿 3	0.22	0.026	0.01
0.154~0.074	7.78	2.05	尾矿 1	1.92	0.054	0.09
			尾矿 2	2.34	0.021	0.04
			尾矿 3	1.55	0.039	0.05
<0.074	11.69	1.5				14.88
小计	100.0	1.18				
1~0.074	39.53	1.52	综合尾矿	18.18	0.026	0.62
0.5~0.074	22.83	1.61	综合尾矿	14.27	0.020	0.46

1~0.074 mm 尾矿作业产率为 18.18%，综合抛尾品位 WO₃ 0.026%，0.5~0.074 mm 抛尾作业产率为 14.27%，综合抛尾品位 WO₃ 0.020%。由此可知，重选抛尾粒级为 1 mm 以下。考虑生产实际，本次试验将重选抛尾粒级确定小于 0.5 mm。

2.2.2 螺旋溜槽+分级摇床抛尾试验

将粗抛废石后的矿石(含小于 10 mm 的粉矿)破碎至小于 1 mm，过 0.5 mm 网筛，筛上产品再经

磨矿返回 0.5 mm 网筛形成闭路。筛下产品再过 0.074 mm 筛，0.074 mm 筛上产品进行螺旋溜槽进行抛尾，螺旋溜槽参数为：给矿质量浓度 10%，精矿带宽 4 cm。螺旋溜槽精矿再分为 0.5~0.3、0.3~0.154、0.154~0.74 mm 三个粒级，三个粒级分别采用摇床的重选抛尾。0.074 mm 筛下产品(细泥部分)直接采用浮选回收白钨矿。试验流程见图 2，试验结果见表 6。

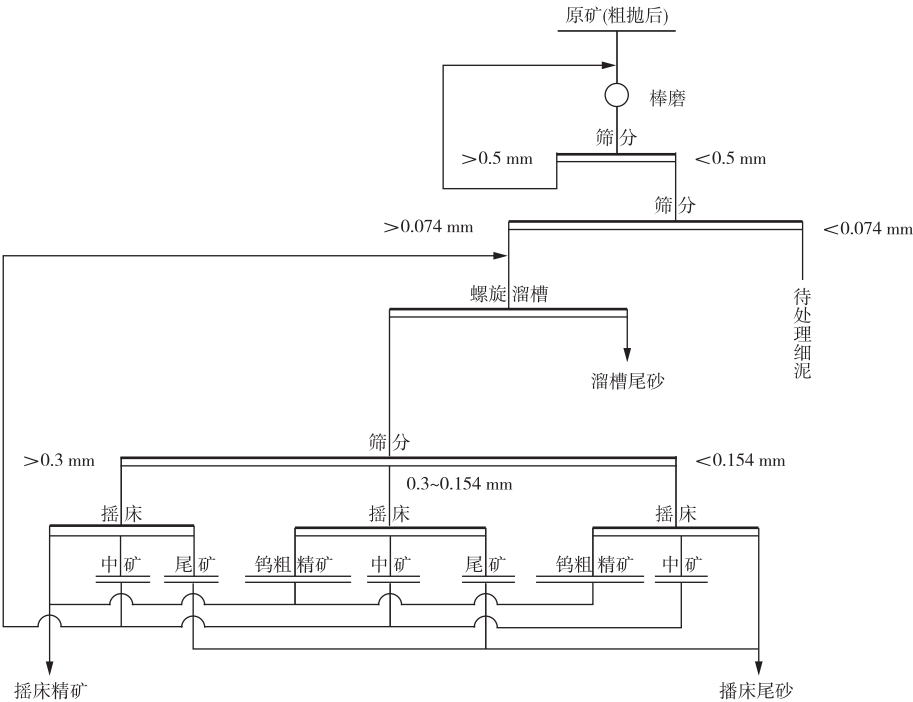


图 2 螺旋溜槽+分级摇床重选抛尾试验流程

Fig. 2 Flowsheet of gravity separation tests of spiral chute and shaker

表 6 螺旋溜槽+摇床重选试验结果

Table 6 Results of gravity separation tests of spiral chute and shaker /%

产品名称	作业产率	WO ₃ 品位	WO ₃ 作业回收率
摇床精矿	2.35	24.93	69.52
摇床尾砂	27.08	0.03	1.02
溜槽尾砂	46.84	0.07	4.12
小于 0.074 mm 待处理矿	23.73	0.91	25.34
给矿(粗抛废石)	100.0	0.84	100.0

由表 6 可知,螺旋溜槽+分级摇床重选试验可获得产率 2.35%、WO₃品位 24.92%的摇床精矿,WO₃作业回收率为 69.52%。而尾砂(摇床尾砂+溜槽尾砂)作业产率为 73.92%,WO₃品位 0.059%。综上所述,粗抛早抛效果显著,为了考查粗抛早抛对全矿钨元素的回收影响,将对粗抛早抛过程中小于 0.074 mm 的细泥和摇床精矿分别进行浮选。

2.3 浮选试验

2.3.1 摇床精矿浮选试验

为保证钨精矿 WO₃品位 > 65% 且硫含量 < 0.7%,摇床精矿浮选试验采用四次脱硫浮选一粗一扫三精浮钨流程,试验流程见图 3 浮选段左侧部分,试验结果见表 7。由表 7 可知,浮选尾矿 1 WO₃含量为 7.69%,较高,不可抛尾,需进一步回收,本文不讨论。

表 7 摇床精矿浮选试验结果

Table 7 Results of shaker concentrate flotation tests /%

产品名称	作业产率	品位		作业回收率	
		WO ₃	S	WO ₃	S
钨精矿 1	28.27	75.20	0.089	84.38	0.18
硫精矿 1	34.09	3.05	40.00	4.13	97.01
浮选尾矿 1	37.64	7.69	1.05	11.49	2.81
摇床精矿	100.0	25.19	14.06	100.0	100.0

2.3.2 细泥部分浮选试验

小于 0.074 mm 的细泥部分采用四粗三精浮选脱硫后再三粗四精浮选回收钨,试验流程见图 3 浮选段右侧部分,试验结果见表 8。由表 8 可知,小于 0.074 mm 细泥部分浮选回收钨闭路试验可获得钨

精矿 2 选矿指标为作业产率 1.59%、WO₃品位 46.10%,WO₃作业回收率 81.06%;硫精矿 2 选矿指标为作业产率 1.69%、S 品位 19.35%,S 作业回收率 10.69%。

表 8 小于 0.074 mm 细泥部分浮选试验结果

Table 8 Results of fine mud less than 0.074 mm flotation tests /%

产品名称	作业产率	品位		作业回收率	
		WO ₃	S	WO ₃	S
钨精矿 2	1.59	46.10	3.94	81.06	7.69
硫精矿 2	1.69	6.36	19.35	11.88	40.11
浮选尾矿 2	96.72	0.07	0.44	7.06	52.20
-0.074 mm 样品	100.0	0.90	0.82	100.0	100.0

2.4 选矿试验结果

选矿试验全流程见图 3,试验结果见表 9。对所有试验结果进行综合分析,由表 9 可知:1)钨精矿 1 产率 0.31%,WO₃品位 75.20%,对原矿 WO₃回收率为 56.32%;2)钨精矿 2 产率 0.18%、WO₃品位 46.10%,对原矿 WO₃回收率为 20.05%;3)钨精矿 1 和钨精矿 2 综合 WO₃品位为 64.51%、WO₃总回

收率为 76.37%,满足钨矿产资源合理开发利用“三率”最低指标要求(试行)中选矿回收率大于 64%的要求;4)粗抛废石粒度为 10~60 mm,产率为 52.70%,WO₃品位为 0.03%,粗抛效果显著;5)螺旋溜槽+分级摇床尾砂,粒度为 0.074~0.5 mm,产率为 34.97%,WO₃品位为 0.05%,螺旋溜槽+分级摇床早抛尾砂效果良好。

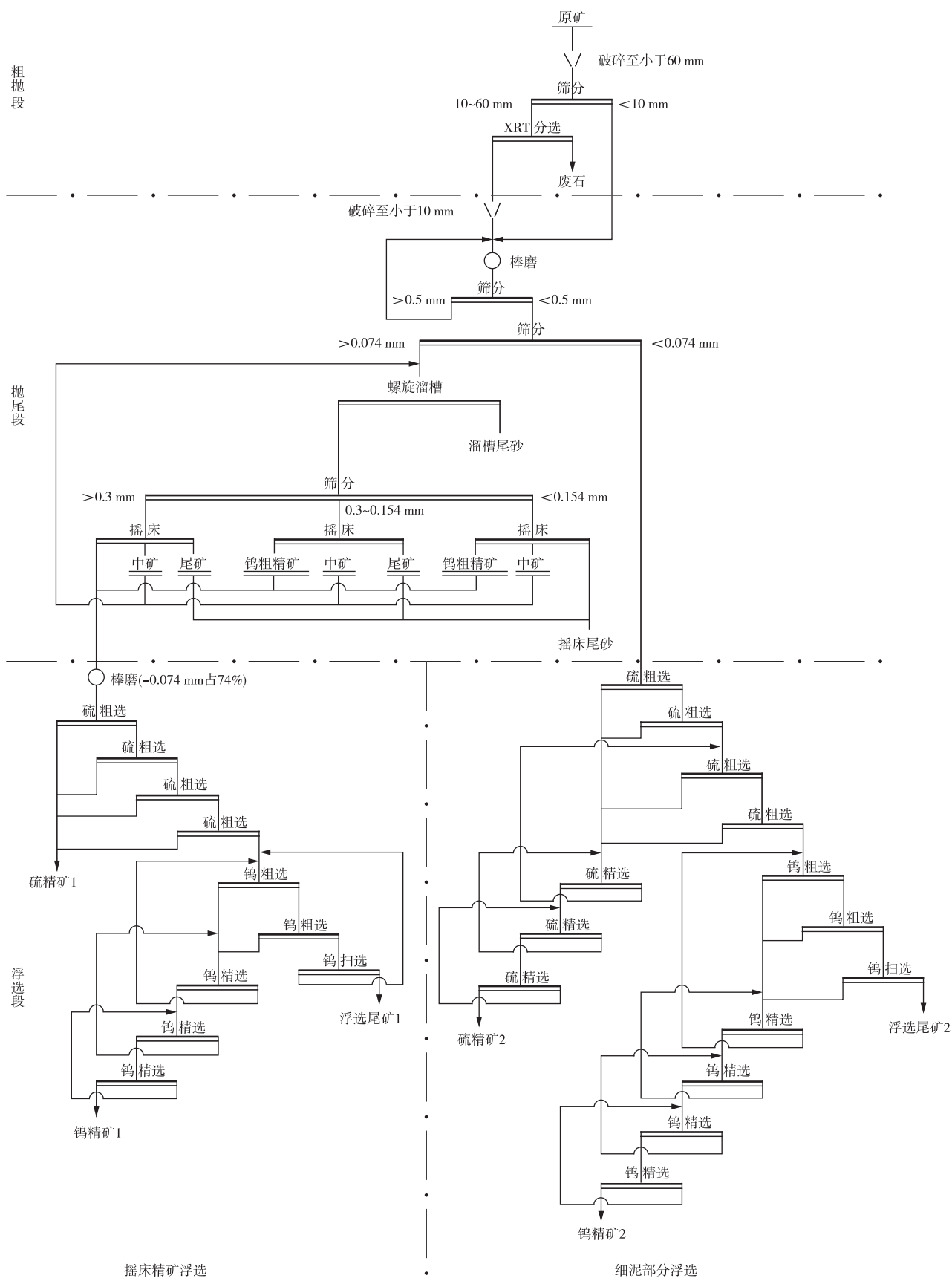


图 3 选矿试验全流程

Fig. 3 Full flowsheet of beneficiation tests

表9 选矿试验结果

Table 9 Comprehensive results of beneficiation tests

/%

产品名称	产率	WO ₃ 品位	WO ₃ 回收率
钨精矿 1	0.31	75.2	56.32
钨精矿 2	0.18	46.1	20.05
硫精矿 1	0.38	3.05	2.8
硫精矿 2	0.19	6.36	2.92
浮选尾矿 1	0.42	7.69	7.8
浮选尾矿 2	10.85	0.07	1.73
溜槽尾砂(0.5~0.074mm)	22.15	0.07	3.58
摇床尾砂(0.5~0.074 mm)	12.82	0.03	0.98
废石(10~60 mm)	52.7	0.03	3.82
原矿	100.0	0.41	100.0

3 碳中和探讨

从选矿试验研究结果可以发现,通过 XRT 分选粗抛、螺旋溜槽+分级摇床抛尾等粗抛早抛可以有效提高矿石的综合利用。在节能降耗和利用陆地碳汇方面都作出了极大贡献。

3.1 节能减排

1)通过 XRT 分选粗抛,让废石不进入磨矿作业,从而降低选矿能耗。与传统工艺相比,通过 XRT 分选粗抛,该矿 52.70%的废石(粒度在 10~60 mm)不进入磨矿作业。前面已阐述,单磨矿作业能耗占整个选矿作业能耗的 40%~60%,为了讨论方便,该矿取低值 40%。换言之,通过 XRT 分选粗抛废石,可以降低该矿选矿作业 21%的电耗,节能效果明显。

2)通过螺旋溜槽+分级摇床抛尾砂,降低磨矿强度,达到降低选矿能耗目的。按传统白钨矿浮选流程,需磨至小于 0.074 mm 的矿石量占总量 75%左右。通过试验,该矿磨至全部小于 0.5 mm 就可以通过螺旋溜槽+分级摇床并进行抛尾,因此近 35%的矿石粒度只需要从小于 10 mm 磨至小于 0.5 mm 即可,并不需要继续磨细至小于 0.074 mm。根据经验,磨矿越细,其需要的能耗呈非线性增加,一般可以通过邦德方程式计算^[17]:

$$W = 10 \left(\frac{W_i}{\sqrt{d_f}} - \frac{W_i}{\sqrt{d_p}} \right)$$

式中:W 为由 d_p 粒度磨至 d_f 粒度所需要的功; W_i 为邦德功指数。

通过计算,该矿 $W_{0.074}$ (粒度由 10 mm 磨至 0.074 mm 所需要的功)为 33.60 W_i , $W_{0.5}$ (粒度由 10 mm 磨至 0.5 mm 所需要的功)为 10.98 W_i ,即:磨矿至 0.5 mm 可以降低能耗 67%。也即,通过螺旋溜槽+分级摇床抛尾砂可以降低整个磨矿作业能

耗的 23.5%,降耗作用明显。

综上所述,通过 XRT 分选粗抛废石和螺旋溜槽+分级摇床抛尾砂,可以降低整个选矿作业能耗的 30%左右。

3.2 利用陆地碳汇

陆地碳汇即为陆地生态系统碳汇,指陆地生态系统在一定时间内通过光合作用所贮存的大气二氧化碳总量(中国气象服务协会、区域陆地碳汇评估技术指南 T/CMSA 0027—2022)。其不仅包括陆地上除森林、灌丛等有植被覆盖的生态系统,还包括道路、河流水系、建筑用地、裸地/裸土/裸岩、沙漠、冰川等无植被覆盖的土地覆盖类型。该矿通过对废石、尾砂综合利用,能够在开采和尾砂阶段减少对陆地植被的破坏,从而具备节约陆地碳汇的潜力。

选矿试验结果表明,该矿可以利用废石量占全矿的 52.7%,粒径为 10~60 mm,满足建筑碎石的要求;利用尾砂量占全矿的 34.97%,粒径为 0.074~0.5 mm,满足机制砂特细砂的要求。换言之,占全矿 87.67%的废石和尾砂可被利用。为了讨论方便,先假设该矿为可开采矿石量为 300 万 t 的中小型白钨矿。即采出矿石中 263 万 t 的废石和尾砂可被综合利用。通过对废石、尾砂综合利用,该矿可以:

1)减少尾矿库的建设,从而减少了尾矿对林地的压占破坏,减少林地植被被破坏,节约陆地碳汇。若采用传统白钨矿浮选工艺,该矿将增加 263 万 t 尾砂排入尾矿库。一般情况,小于 0.074 mm 占 50%以上的尾砂,其容重在 1.27 t/m³左右,263 万 t 尾砂则需要有效库容量为 207 万 m³尾矿库。根据江西省地形地貌特点,尾矿库基本为沟谷型库,有效库容量为 207 万 m³尾矿库粗略估算需压占土地 11 公顷左右。即通过对废石、尾砂综合利用,该矿可以不建尾砂(矿)库,直接节省土地 11 公顷左右。

2)减少建筑用碎石(或机制砂)同类矿石的开

采,降低开采时破坏林地植被,从而节约了陆地碳汇。该矿预选抛废的废石和尾砂有 263 万 t 可作为建筑用碎石和机制砂。如若新建一个开采量为 263 万 t 建筑碎石用(或机制砂用)花岗岩矿,一般需要另破坏土地(森林植被)面积 5 公顷(含生产辅助用地)。

由此可见,通过对废石、尾砂综合利用,可节约土地 16 公顷左右。根据江西地形地貌和植被覆盖特点,节约的土地基本为有林地。据文献,江西省 2001~2010 年森林植被净初级生产力(NPP)平均值为 $522.71 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})^{[18]}$;矿区附近区域 2020 年植被平均碳密度为 $105.29 \text{ t C}/\text{hm}^2^{[19]}$ 。经估算,通过对废石、尾砂综合利用,可以节约森林土地面积 16 公顷,节约碳汇 1 684.64 t C。

4 结论

1)矿石可以利用 XRT 分选粗抛废石,废石粒度为 10~60 mm,废石率高达 52.7%,废石 WO_3 品位仅为 0.03%,粗抛废石效果显著。利用溜槽+分级摇床抛尾砂,尾砂粒度为 0.074~0.5 mm,尾砂率为 34.97%,尾砂 WO_3 品位为 0.03~0.07%,抛尾砂效果良好。

2)通过 XRT 分选粗抛废石—溜槽+分级摇床抛尾砂—浮选试验流程,获得了产率 0.31%, WO_3 品位 75.20%、回收率为 56.32%的钨精矿 1 和产率 0.18%, WO_3 品位 46.10%、回收率为 20.05%的钨精矿 2, WO_3 总回收率达到 76.37%,选矿指标较好。

3)XRT 分选粗抛的废石可以作为建筑碎石综合利用,溜槽+分级摇床抛出的尾砂可用作机制细砂综合利用,综合利用率高达 87.67%。同时还可以降低磨矿能耗,通过估算,可以降低整个选矿作业能耗的 30%左右。另外,通过利用废石和尾砂,可以节约有林地 16 公顷,经估算可以节约碳汇 1 684.64 t C。

4)通过对废石和尾砂进行粗抛早抛的选矿流程,可以实现节能减排和节约陆地碳汇目的,且效果明显。XRT 抛废石—溜槽+分级摇床抛尾砂—浮选流程可以作为同类矿山选矿流程借鉴。

参考文献

- [1] 高世楫,俞敏.中国提出“双碳”目标的历史背景、重大意义和变革路径[J].新经济导刊,2021(2):4-8.
GAO Shiji, YU Min. The historical background, significance and reform path of China's "dual carbon" goal[J]. New Economy Leader, 2021(2):4-8.
- [2] 林卫星,张莞涛,刘奇,等.“双碳”目标下矿产资源开发布局思考[J].矿业研究与开发,2022,42(6):153-159.
LIN Weixing, ZHANG Yuantao, LIU Qi, et al. Thoughts on the layout of mineral resources development under carbon peak and carbon neutrality goals[J]. Mining Research and Development, 2022, 42(6):153-159.
- [3] 任思达.中国矿业经济绿色发展研究[D].武汉:中国地质大学,2019.
REN Sida. Research on evaluation of green development of China's mining economy [D]. Wuhan: China University of Geosciences(Wuhan), 2019.
- [4] 朴世龙.中国陆地生态系统碳汇现状及其潜力:格致论道第 83 期·双碳专场. http://self.kepu.net.cn/self_yj/202207/t20220727_501913.html.
PIAO Shilong. The Status and Potential of Carbon Sequestration of Terrestrial Ecosystem in China: Gechilundao No. 83 • Double Carbon Special Session. http://self.kepu.net.cn/self_yj/202207/t20220727_501913.html.
- [5] 陈瑜.白钨矿选矿工艺综述[J].矿业工程,2022,20(1):39-41.
CHEN Yu. Summary of tungstite beneficiation engineering process [J]. Mining Engineering, 2022, 20(1):39-41.
- [6] 吴师金,刘庭忠.新疆某白钨矿物质组分特征及赋存状态研究[J].有色金属(选矿部分),2020(6):8-13,18.
WU Shijin, LIU Tingzhong. Study on material composition characteristics and occurrence state of tungsten in a scheelite mine in Xinjiang[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2020(6):8-13,18.
- [7] 刘庭忠,吴师金,卢一,等.“花岗岩型”矿全尾资源化综合利用[J].矿产综合利用,2020(4):42-47.
LIU Tingzhong, WU Shijin, LU Yi, et al. Study on comprehensive utilization of the whole tail of "granite type" ore [J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(4):42-47.
- [8] 文书明,刘建,李成必,等.矿石碎磨能耗数学模型[J].中南大学学报(自然科学版),2018,49(9):2115-2120.
WEN Shuming, LIU Jian, LI Chengbi, et al. A mathematical model describing energy consumption of crush and grinding [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2018, 49(9):2115-2120.
- [9] 刘方,吴家乐,何涛,等.深中通道花岗岩机制砂的生产与应用[J].武汉理工大学学报,2020,42(9):6-12.
LIU Fang, WU Jiale, HE Tao, et al. Production and application of granite sand manufactured in Shenzhen-Zhongshan Bridge [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2020, 42(9):6-12.