

大西沟某尾矿库尾矿有价值组分综合回收试验研究^①

袁 壮¹, 陈 雯¹, 李准湘¹, 李有仓², 张 强²

(1.长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012; 2.陕西大西沟矿业有限公司, 陕西 商洛 726409)

摘要: 对陕西大西沟某铁品位 15.70% 的选铁尾矿开展了有价值组分综合回收试验研究, 采用浮选铜硫、强磁选提铁、焙烧选铁、摇床重选-浮选提取重晶石和云母工艺, 获得了 TFe 品位 60.17% (S 含量 0.11%)、TFe 回收率 66.74% 的铁精矿, S 品位 47.86%、回收率 66.58% 的硫精矿, Cu 品位 19.79%、回收率 31.24% 的铜精矿, BaSO₄ 品位 86.96%、回收率 9.15% 的重晶石粗精矿和 K₂O 品位 6.66%、回收率 6.63% 的云母精矿, 实现了尾矿分质综合利用。

关键词: 尾矿库; 尾矿综合利用; 综合回收; 铁精矿

中图分类号: TD989

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2024.01.010

文章编号: 0253-6099(2024)01-0044-04

Comprehensive Recovery of Valuable Resources from Tailings in Tailings Pond of Daxigou Mine

YUAN Zhuang¹, CHEN Wen¹, LI Huaixiang¹, LI Youcang², ZHANG Qiang²

(1. Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co Ltd, Changsha 410012, Hunan, China; 2. Shaanxi Daxigou Mining Co Ltd, Shangluo 726409, Shaanxi; China)

Abstract: Experimental studies on comprehensive recovery of valuable resources in iron-dressing tailings with TFe grade of 15.70% were conducted by adopting processes consisting of Cu-S bulk flotation, high intensity magnetic separation to reclaim Fe minerals, roasting reduction of Fe minerals, and shaking table gravity separation and flotation separation to recover barite and mica. As a result, the experiment produced an iron concentrate with TFe grade of 60.17%, S content of 0.11% and iron recovery of 66.74%, a sulfur concentrate grading of 47.86% S at 66.58% recovery, a copper concentrate grading 19.79% Cu at 31.24% recovery, a barite rough concentrate with BaSO₄ content of 86.96% and recovery of 9.15%, and a mica concentrate with K₂O content of 6.66% and recovery of 6.63%, respectively. In this way, comprehensive utilization of tailings can thus be realized.

Key words: tailings pond; comprehensive utilization of tailings; comprehensive recovery; iron concentrate

矿产资源为人类现代化发展提供了强有力的支撑作用, 随着现代化发展规模不断扩大、进程不断加速, 人类对矿产资源的需求量与日俱增。前期受科研技术及经济成本等因素限制, 大量矿产资源被抛弃在尾矿库中, 造成了巨大的资源浪费, 更是严重影响了当地的生态环境^[1-4]。铁消耗量占金属总消耗量的 95% 左右^[5], 铁尾矿在全球范围内呈现产出量高、堆存量大的现象^[6]。我国作为“世界工厂”以及最大的发展中国家, 铁矿需求量巨大; 而我国铁矿石禀赋状态为“贫、细、杂、散”^[7-8], 铁矿生产过程中产生了大量尾矿

废弃物。2020~2021年, 我国工业固体废弃物综合利用率 20.59 亿吨, 利用率达 62.3%, 而其中尾矿综合利用率仅 3.12 亿吨, 综合利用率仅 18.9%; 我国尾矿年产量约 16.49 亿吨, 其中铁尾矿占 51%^[6,9]。国家政策层面, 《矿产资源节约和综合利用先进适用技术目录(2022年版)》^[10] 提出尾矿库“只减不增”管理要求^[11], 这对加快先进技术转化、实现尾矿综合利用产业化发展、提高矿产资源利用效率提供了较好的向导性作用。本文以陕西大西沟尾矿库尾矿为研究对象, 进行有价值组分综合回收试验研究, 实现尾矿分质综合

① 收稿日期: 2023-09-20

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFC1909802)

作者简介: 袁 壮(1994—), 男, 湖北孝昌人, 硕士, 工程师, 主要从事矿产资源选冶研究。E-mail: 872240548@qq.com

通信作者: 陈 雯(1965—), 女, 四川人, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事铁矿石选冶研究。E-mail: chen_wen@vip.sina.com

利用,对尾矿资源二次开发利用具有指导意义。

1 矿样性质

试验矿样为陕西大西沟某尾矿库选铁尾矿。该铁尾矿原始粒度小于 2 mm,其化学多元素分析结果如表 1 所示,矿物组成及铁物相分析结果分别如表 2 和表 3 所示。矿样成分较为复杂,可供选矿回收的主要成分为 Fe、Cu、S、K₂O 和 BaSO₄;样品主要由云母、菱铁矿、石英、重晶石等矿物组成;铁作为主要回收成分,大部分赋存于碳酸盐中,加上分布在磁铁矿和赤(褐)铁矿中的铁,合计分布率为 67.07%,此为分选矿石中铁矿物时铁的最大理论回收率。

表 1 样品化学多元素分析结果(质量分数) %

TFe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Cu
15.70	14.79	6.01	40.09	10.25	0.29	0.44	0.07
BaSO ₄	K ₂ O	P	S	TiO ₂	C	烧失	
5.76	3.49	0.060	3.39	0.45	2.51	10.47	

表 2 样品矿物组成(质量分数) %

石英	菱铁矿	云母	重晶石	绿泥石	白云石	微斜长石	黄铁矿
19.31	16.62	39.02	4.83	6.87	4.00	7.40	1.95

表 3 样品中铁物相分析结果

铁物相	含量/%	分布率/%
碳酸铁中铁	6.06	38.60
磁铁矿中铁	0.81	5.16
赤褐铁矿中铁	3.66	23.31
硫化铁中铁	0.91	5.80
硅酸铁中铁	4.26	27.13
合计	15.70	100.00

对矿物主要产出形式进行分析,可知菱铁矿多为自形、半自形或不规则他形粒状,常呈浸染状与石英、绢云母等非金属矿物交生,或紧密镶嵌构成不规则团块状集合体,晶体粒度一般 0.01~0.2 mm,细小者可小于 0.01 mm,集合体粒度可达 0.6 mm 左右;褐铁矿矿物晶体粒度大小相差较为悬殊,一般在 0.01~0.1 mm 之间,细小者在 0.005 mm 以下;黄铜矿粒度一般介于 0.01~0.25 mm 之间,细小者小于 0.01 mm;绢云母含量较高,分布极为广泛,正交镜下多为彩色细小的鳞片状,鳞片宽度基本在 0.05 mm 以下;重晶石多为不规则粒状,晶体粒度变化较大,个别粗者可至 0.45 mm 左右,细小者在 0.005 mm 以下,一般在 0.01~0.20 mm 之间。

2 试验研究

分析主要矿物物理化学性质可知,矿样中铁矿物品位较低,且主要以菱铁矿与赤(褐)铁矿形式存在,需采用强磁选预处理以提高铁矿品位,再通过磁化焙烧-磨矿-磁选回收铁矿物^[12];铜和硫主要以黄铜矿和黄铁矿形式存在,可通过浮选进行回收;入烧原料中硫含量较高时,硫化物焙烧过程中部分硫会进入焙烧尾气,导致烟气中硫含量升高,增加烟气脱硫成本,并造成硫资源浪费,因此在焙烧前需脱除矿样中的硫矿物;硫酸钡和氧化钾主要以重晶石和云母形式存在,根据二者性质,制定了摇床重选-浮选处理工艺。故此,试验技术路线为:浮选铜和硫、强磁选提铁、焙烧选铁、重选-浮选提取重晶石和云母。

2.1 铜硫回收试验

根据矿石产出形式及晶体粒度,对样品进行磨矿处理,获得-0.074 mm 粒级占 76.80%的磨矿产品,实现黄铜矿与黄铁矿的单体解离。根据黄铜矿与黄铁矿均为硫化矿制定了一粗两精铜硫混合浮选-铜硫分离流程,最佳药剂制度下的试验流程及结果分别如图 1 和表 4 所示。铜硫混合浮选-铜硫分离获得了 Cu 品位 19.790%、回收率 31.24%的铜精矿与 S 品位 47.86%、回收率 66.58%的硫精矿。

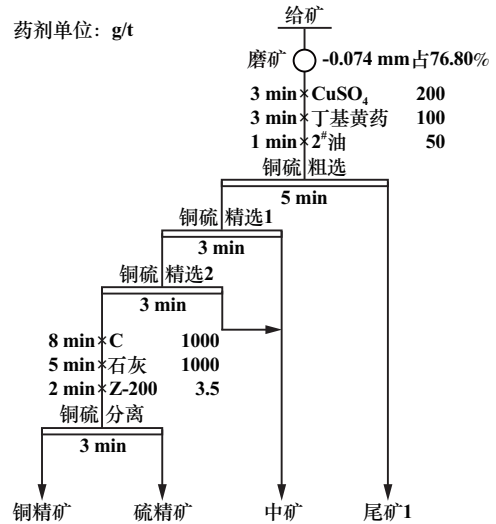


图 1 铜硫浮选试验流程

表 4 铜硫浮选试验结果

产品名称	产率/%	品位/%		回收率/%	
		Cu	S	Cu	S
铜精矿	0.11	19.790	32.05	31.24	1.10
硫精矿	4.66	0.410	47.86	26.28	66.58
中矿	3.63	0.194	5.07	9.69	5.50
尾矿 1	91.60	0.026	0.98	32.79	26.82
给矿	100.00	0.073	3.35	100.00	100.00

2.2 铁回收试验

铜硫混合浮选尾矿 1 铁品位 (13.94%) 较低, 后续焙烧能耗大、处理成本高, 考虑采用强磁选预处理提高其铁品位, 再磁化焙烧-磨矿-磁选以获得高品质铁精矿, 试验流程如图 2 所示, 结果见表 5。使用 ZHΦ560 强磁选机进行预处理, 在磁场强度 1.20 T、尾矿冲洗水压力 0.12 MPa、精矿卸矿水压力 0.15 MPa 条件下, 可获得作业产率 45.62%、TFe 品位 25.61%、铁作业回收率 83.82% 的强磁选精矿; 强磁选精矿在焙烧温度 750 °C、焙烧时间 90 min、中性气氛下磁化焙烧(无添加剂), 再经多段磨矿-磁选, 可获得铁精矿作业产率 16.95%、TFe 品位 60.17%、铁作业回收率 72.86% 的分选指标。对铁精矿进行了化学多元素分析, 结果如表 6 所示。铁精矿中 S 含量仅 0.11%, SiO₂ 和 Al₂O₃ 含量分别为 3.55%

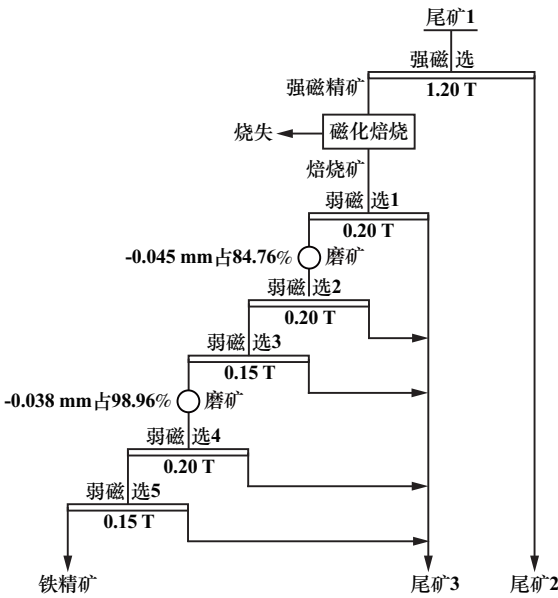


图 2 铜硫浮选尾矿 1 选铁试验流程

表 5 铜硫浮选尾矿 1 选铁试验结果

产品名称	作业产率/%	TFe 品位/%	作业回收率/%
强磁选精矿	45.62	25.61	83.82
烧失	9.12	—	—
铁精矿	16.95	60.17	72.86
尾矿 2	54.38	4.15	16.19
尾矿 3	19.55	7.85	10.96
给矿(尾矿 1)	100.00	13.94	100.00

表 6 铁精矿产品化学多元素分析结果(质量分数) %

Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cu	Ba	CaO
60.17	24.11	59.23	3.55	0.94	0.068	0.3	0.39
MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P	S	C	烧失
7.10	2.41	0.16	0.019	0.021	0.11	0.079	2.56

和 0.94%, MgO 含量为 7.10%, 四元碱度达到 1.67, 该铁精矿产品是较好的镁质球团生产原料。

2.3 重晶石、云母回收试验

采用图 3 所示流程进行了重晶石和云母回收试验, 结果如表 7 所示。其中 LH 为自主研发的抑制剂, 它是一种无机抑制剂和有机抑制剂的混合药剂。采用摇床重选-浮选联合工艺, 可获得作业产率 3.94%、BaSO₄ 品位 86.96%、作业回收率 51.11% 的重晶石粗精矿和作业产率 24.65%、K₂O 含量 6.66%、作业回收率 37.02% 的云母精矿。

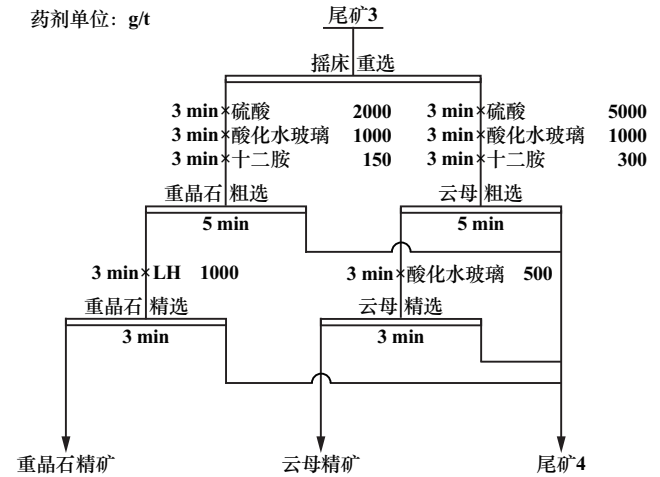


图 3 重晶石、云母重选-浮选试验流程

表 7 重晶石、云母重选-浮选试验结果

产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
		BaSO ₄	K ₂ O	BaSO ₄	K ₂ O
重晶石	3.94	86.96	0.16	51.11	0.15
云母	24.65	7.73	6.66	28.43	37.02
尾矿 4	71.41	1.92	3.90	20.46	62.83
给矿(尾矿 3)	100.00	6.70	4.44	100.00	100.00

2.4 推荐流程

根据前述试验结果, 得到较优条件下大西沟尾矿库尾矿开发利用全流程试验结果如表 8 所示, 试验流程见图 4。采用浮选铜硫、强磁选提铁、焙烧选铁、摇床重选-浮选提取重晶石和云母技术路线具有良好的可行性。

表 8 大西沟尾矿库尾矿样选矿试验结果

产品名称	产率/%	品位/%	回收率/%
铜精矿	0.11	Cu 19.79	Cu 31.24
硫精矿	4.66	S 47.86	S 66.58
铁精矿	15.53	TFe 60.17, S 0.11	TFe 66.74
重晶石	0.71	BaSO ₄ 86.96	BaSO ₄ 9.15
云母	4.41	K ₂ O 6.66	K ₂ O 6.63

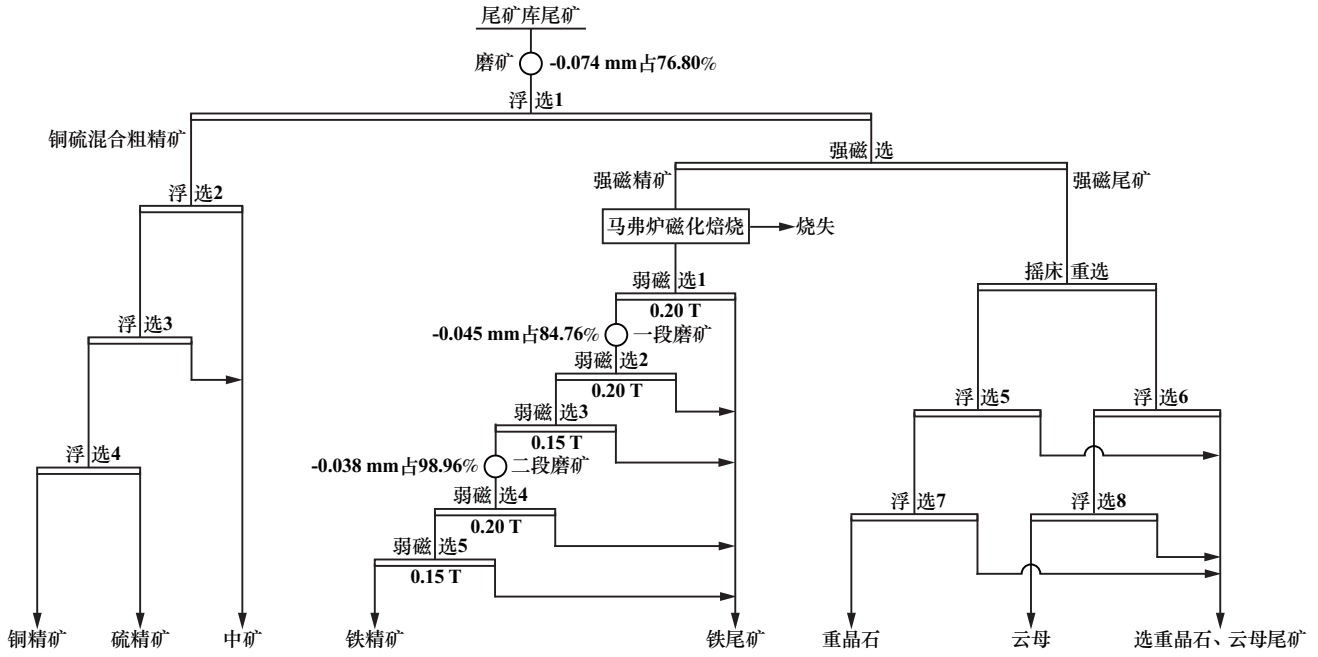


图 4 尾矿库尾矿样综合利用试验流程

3 结 论

1) 陕西大西沟尾矿库尾矿样中 TFe 品位 15.70%, 铁主要以菱铁矿形式存在, 选铁理论回收率为 67.07%; 其他组分 Cu、S、K₂O 和 BaSO₄ 可作为综合回收对象。

2) 采用浮选铜硫、强磁选提铁、焙烧选铁、摇床重选-浮选提取重晶石和云母工艺流程, 可获得产率 15.53%、TFe 品位 60.17%、铁回收率 66.74% 的铁精矿 (S 含量 0.11%), 产率 4.66%、S 品位 47.86%、硫回收率 66.58% 的硫精矿, 产率 0.11%、Cu 品位 19.79%、回收率 31.24% 的铜精矿, 产率 0.71%、BaSO₄ 含量 86.96%、回收率 9.15% 的重晶石精矿和产率 4.41%、K₂O 含量 6.66%、回收率 6.63% 的云母精矿, 实现了分质综合利用。研究结果对此类矿石的开发利用具有指导意义。

参考文献:

[1] 刘文博, 姚华彦, 王静峰, 等. 铁尾矿资源化综合利用现状[J]. 材料导报, 2020, 34(增刊 1): 268-270.
 [2] 梁艳涛, 赵振兴. 铁尾矿资源综合利用现状及意义[J]. 现代矿业, 2020, 36(11): 156-157.
 [3] 徐晓衣, 孟庆波, 李双棵, 等. 高硅型有色金属尾矿资源清洁高效

综合利用研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(4): 69-72.
 [4] 杨文寿. 某含铜金银多金属硫化矿尾矿资源综合利用试验研究[J]. 矿冶工程, 2022, 42(3): 84-87.
 [5] 佚名. 中国矿业氧吧之十一 金属矿产 铁矿[J]. 资源与人居环境, 2007(5): 21-26.
 [6] 顾晓薇, 艾莹莹, 赵昀奇, 等. 铁尾矿资源化利用现状[J/OL]. 中国有色金属学报: 1-29 [2023-06-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1238.TG.20220112.1844.002.html>.
 [7] 陈 雯, 张立刚. 复杂难选铁矿石选矿技术现状及发展趋势[J]. 有色金属(选矿部分), 2013(增刊 1): 19-23.
 [8] 刘 旭. 某低品位难选菱铁矿磁化焙烧-磁选试验研究[J]. 矿冶工程, 2021, 41(6): 6-9.
 [9] 孙志勇, 林 栋, 张 芹. 中国铁尾矿资源的综合利用途径[J]. 自然资源情报, 2023(8): 1-5.
 [10] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告(2022 年版)[M]. 北京: 地质出版社, 2022.
 [11] 中华人民共和国自然资源部. 矿产资源节约和综合利用先进适用技术目录(2022 年版)[EB/OL]. <http://gi.m.mnr.gov.cn/202209/P020220905573929124872.xlsx>.
 [12] 杨晓峰, 刘双安, 宋均利. 某尾矿预富集-磁化焙烧-磁选工艺试验研究[J]. 矿冶工程, 2019, 39(2): 57-60.

引用本文: 袁 壮, 陈 雯, 李淮湘, 等. 大西沟某尾矿库尾矿有价值组分综合回收试验研究[J]. 矿冶工程, 2024, 44(1): 44-47.