河南某铅锌矿的选矿试验研究与生产实践①

丁大森[1]，董怀擎[2]，卫小刚[2]
（1.湖南优新纯科技有限公司，湖南 株洲 412012；2.栾川县天铁矿业有限责任公司，河南 洛阳 471514）

摘　要：为了提高选矿技术指标，对河南某铅锌混合矿开展了选矿试验研究，采用铅硫混合浮选-铅硫分离、硫化锌浮选、氧化铅浮选、氧化锌浮选的分步浮选流程，小型闭路试验得到了合格铅精矿、锌精矿、硫精矿、氧化铅精矿、氧化锌精矿 5 个产品。采用试验推荐的流程进行了工业试生产，取得了较为理想的选矿技术指标，大大提高了矿产资源利用率。

关键词：铅锌矿；分步浮选；捕收剂；抑制剂；选矿工艺；氧化率；铅精矿；锌精矿；氧化铅精矿；氧化锌精矿；选矿回收率
中图分类号：TD92　　**文献标志码**：A　　doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2026.03.026
文章编号：0253-6099(2026)03-0180-06

Experimental Study and Production Practice of Lead-Zinc Ore from Henan

DING Dasen[1], DONG Huaiqing[2], WEI Xiaogang[2]
(1.*Hunan Youxinchun Technology Co., Ltd., Zhuzhou* 412012, *Hunan*, *China*; 2.*Luanchuan Tiantie Mining Co., Ltd., Luoyang* 471514, *Henan*, *China*)

Abstract: To improve mineral processing performance, experimental tests were carried out on the lead-zinc ore from Henan Province by adopting stepped flotation process, consisting of Pb-S bulk flotation, Pb/S separation, zinc sulfide flotation, lead oxide flotation and zinc oxide flotation. A small-scale closed-circuit test produced five products, including qualified lead concentrate, zinc concentrate, sulfur concentrate, lead oxide concentrate and zinc oxide concentrate. The recommended flowsheet was applied into industrial trial production, and satisfactory processing indicators were achieved. It is shown that the utilization rate of mineral resources can be greatly improved by adopting this technique.

Key words: lead-zinc ore; stepped flotation process; collector; depressant; mineral processing technique; oxidation rate; lead concentrate; zinc concentrate; lead oxide concentrate; zinc oxide concentrate; mineral processing recovery

河南某铅锌矿矿区内主要分布矽卡岩型铅锌矿体和热液充填型铅锌矿体。自该矿投产以来，生产指标一直不理想。该矿是某企业选矿厂的主要矿源，解决该矿选矿难题是推动企业可持续发展的重要举措[1]。试验攻关组针对该矿进行了试验研究，获得了较科学的选矿工艺；工业生产指标表明，选矿经济技术指标取得显著进步，企业产值、经济效益大幅提升。

1　矿石性质

河南某铅锌矿为多金属硫化氧化混合矿，矿物成分较复杂，矿石中主要有用矿物为黄铁矿、闪锌矿、菱锌矿、水锌矿、硅锌矿、方铅矿、白铅矿、砷铅矿、铅钒、菱铁矿等；脉石矿物主要为石英、白云石、斜长石、方解石；银矿物主要为辉银矿及少量金银互化物等。原矿矿物组成、原矿化学多元素分析以及铅、锌、银物相分析结果分别见表 1~4。

表 1　原矿矿物组成(质量分数)

Table 1　Mineral composition of raw ore　　%

方铅矿	白铅矿	砷铅矿	铅钒	闪锌矿	菱锌矿	水锌矿	硅锌矿
1.57	2.59	0.85	0.32	2.45	2.72	0.76	0.49
银矿物	黄铁矿	菱铁矿	石英	白云石	斜长石	方解石	其他
0.02	33.65	2.56	19.33	26.93	2.05	1.38	1.33

① **收稿日期**：2025-11-30
作者简介：丁大森(1968—)，男，湖南常德人，高级工程师，主要研究方向为复杂难选多金属矿石选矿。E-mail:514202149@qq.com

表 2　原矿化学多元素分析结果(质量分数)

Table 2　Multi-elemental analysis of raw ore　%

Pb	Zn	Au[1)]	Ag[1)]	S	Fe	P
4.29	4.01	0.48	133.60	13.32	24.33	0.01
WO_3	MgO	CaO	C	Al_2O_3	SiO_2	
0.01	9.35	19.41	0.53	5.77	18.82	

1) 单位为 g/t。

表 3　铅、锌物相分析结果

Table 3　Phase analysis of lead and zinc

元素	物相	含量(质量分数)/%	分布率/%
铅	硫化相中铅	1.26	29.37
	氧化相中铅	3.03	70.63
	合计	4.29	100.00
锌	硫化相中锌	1.59	39.65
	氧化相中锌	2.42	60.35
	合计	4.01	100.00

表 4　银物相分析结果

Table 3　Phase analysis of silver

银物相	含量/(g·t^{-1})	分布率/%
自然银、辉银矿	35.10	26.27
方铅矿、黄铁矿、闪锌矿中银	76.50	57.26
白铅矿、铅矾中银	18.20	13.62
其他矿物中银	3.80	2.85
合计	133.60	100.00

2　选矿试验研究

通过小型条件试验,确定最终工艺流程为:铅硫混合浮选、(混合粗精矿)铅硫分离(得硫化铅精矿与硫精矿)、(混合浮选尾矿)硫化锌浮选、(硫化锌浮选尾矿浓缩至 35%)氧化铅浮选、(氧化铅浮选尾矿)氧化锌浮选,氧化锌浮选尾矿即为最终尾矿。采用单因素条件试验得到浮选的优化工艺参数,反复验证,锁定较优试验条件,直至完成全流程闭路试验。

2.1　磨矿细度试验

有用矿物充分解离是有效提升精矿产品品位及有价金属回收率的前提。但磨矿细度太细,有用矿物出现“过粉碎”[2-3],超出可浮粒度区间,使得目的矿物完全上浮的难度增大,回收效果变差,直接影响有价元素的回收。

该矿中方铅矿具有易过粉碎特点,把握好磨矿细度非常关键[2]。磨矿细度试验流程及药剂制度见图 1,试验结果见图 2。结果表明:磨矿细度为-0.074 mm 粒级占 85.33%时,试样中有价元素回收率较高。原矿中铅、锌均有一定程度氧化,对回收产生较大干扰。后续平行试验结果表明,磨矿细度-0.074 mm 粒级占 85.33%也适于铅锌氧化矿物的选矿回收,对提高铅、锌精矿品位及氧化铅、锌回收率有帮助,确定磨矿细度为-0.074 mm 粒级占 85.33%。

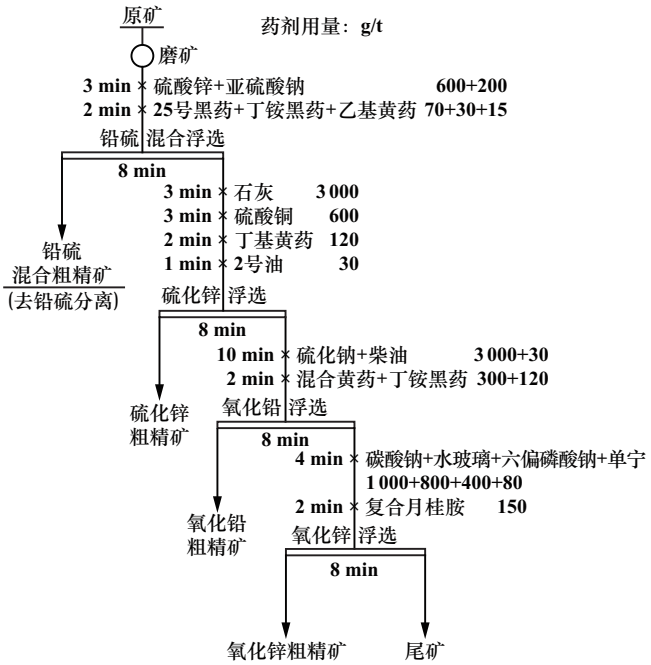


图 1　磨矿细度试验流程及药剂制度

Fig. 1　Flowchart of grinding fineness test and reagent system

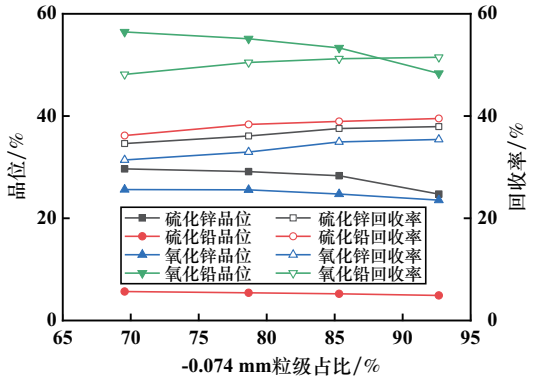


图 2　磨矿细度试验结果

Fig. 2　Test results of grinding fineness

2.2　铅硫混合浮选捕收剂种类筛选试验

黄药是有色金属硫化矿的有效捕收剂:乙基黄药(BR)捕收能力较弱但选择性较好;戊基黄药(ER)捕收能力强但选择性相对较差;Y89(FR)捕收能力强且选择性比戊基黄药好。25 号黑药(25$^{\#}$)是铅矿物的选择性捕收剂,丁铵黑药(DA)是铅硫矿物的选择性捕收剂,也是伴生金银的优良捕收剂[3]。合适的捕收剂应确保铅硫混合浮选作业中铅硫矿物获得较好回收效果的同时兼顾后续浮铅抑硫的铅硫分离效果。磨矿细度

-0.074 mm 粒级占 85.33%、硫酸锌用量 600 g/t、亚硫酸钠用量 200 g/t 条件下,进行了铅硫混浮捕收剂种类试验,黄药(BR、ER、FR)用量 17 g/t、25 号黑药用量 72 g/t、丁铵黑药(DA)用量 31 g/t,铅硫混合浮选捕收剂种类试验结果见图 3。图 3 结果表明,药剂用量一定时,不同组合形式的捕收剂对铅硫粗精矿品位及伴生金、银品位和回收率均有影响。铅硫混合浮选"轻拉轻压",有利于获得较好的铅硫分离效果,显著降低硫精矿中铅含量。对比分析混合浮选尾矿中铅、硫金属损失情况,铅硫混合浮选宜采用乙基黄药(BR)17 g/t、25 号黑药 72 g/t、丁铵黑药(DA)31 g/t 作为强化回收铅、硫、金、银的组合捕收剂。三者混合使用,充分发挥了药剂的协同作用,可有效提高硫化铅硫矿物及伴生金、银的浮选回收率。

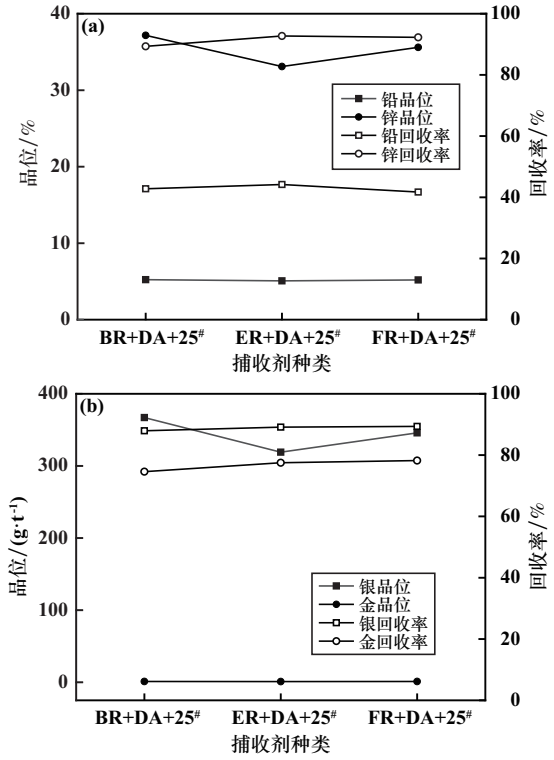


图 3 铅硫混合浮选捕收剂种类试验结果

Fig. 3 Test results of collector types in Pb-S bulk flotation

2.3 氧化铅浮选硫化钠用量试验

硫化锌浮选尾矿经浓缩后再进行氧化铅浮选。硫化钠是氧化铅矿物浮选的硫化剂和活化剂,确定适宜的硫化钠用量是优化氧化铅浮选指标的重要因素。硫化钠用量太大,增加药剂消耗,选矿成本上升;硫化钠用量太小,目的矿物硫化不彻底,达不到良好的矿化效果,氧化铅矿物上浮不完全,影响氧化铅回收率。柴油用量 30 g/t、Y 戊黄药(Y89 与戊基黄药按质量比 1∶1 混合)用量 300 g/t、丁铵黑药用量 120 g/t、2 号油用量 5 g/t条件下,进行了硫化钠用量试验,结果见图 4。在捕收剂及其他调整剂用量不变的情况下,仅仅改变硫化钠用量,氧化铅矿物的作业回收率变化较明显,硫化钠用量 3 000 g/t 时,氧化铅及伴生金银浮选回收率均较高。硫化钠用量 3 000 g/t 为宜。

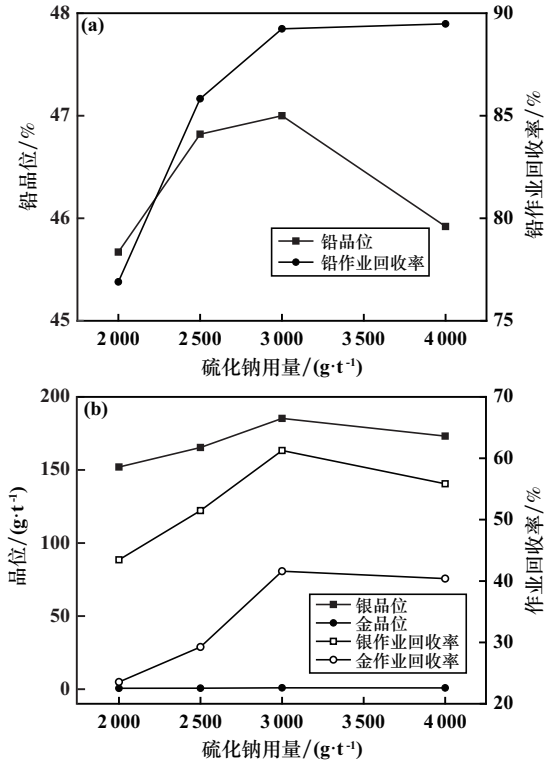


图 4 硫化钠用量试验结果

Fig. 4 Test result of Na_2S dosage

2.4 氧化锌浮选

2.4.1 抑制剂种类筛选试验

氧化铅浮选尾矿再进行氧化锌浮选。该尾矿中含泥较高,氧化锌矿物嵌布粒度不匀,氧化锌矿物的浮选富集难度较大[4-6],寻找合适的抑制剂以提高氧化锌的浮选指标极为重要。使用适宜的脉石矿物抑制剂,可有效提升氧化锌精矿的品位与浮选回收效果:单宁对方解石、斜长石、白云石等脉石矿物有较好的抑制作用;水玻璃与碳酸钠配合使用对石英、硅酸盐矿物等脉石矿物有较好的抑制作用;六偏磷酸钠能与钙、镁及多价金属离子生成络合物[6],从而抑制含铁矿物以及石英、硅酸盐等脉石矿物,六偏磷酸钠还能降低矿物表面的电位,促进阳离子捕收剂的吸附,从而优化氧化锌矿物的浮选[6]。氧化锌捕收剂复合月桂胺用量 160 g/t 条件下,进行了抑制剂种类试验,其中单宁(D)用量 80 g/t、水玻璃(S)用量 800 g/t、碳酸钠(T)用量 1 000 g/t、六偏磷酸钠(L)用量 400 g/t、柠檬酸钠(N)用量 500 g/t、酒石酸(J)用量 350 g/t,抑

制剂种类试验结果如图 5 所示。由图 5 可见,采用单宁 80 g/t、水玻璃 800 g/t、碳酸钠 1 000 g/t、六偏磷酸钠 400 g/t 的组合抑制剂,可以获得较高的氧化锌粗精矿品位及锌作业回收率。因此选用单宁、碳酸钠、水玻璃、六偏磷酸钠作为氧化锌浮选的组合抑制剂。

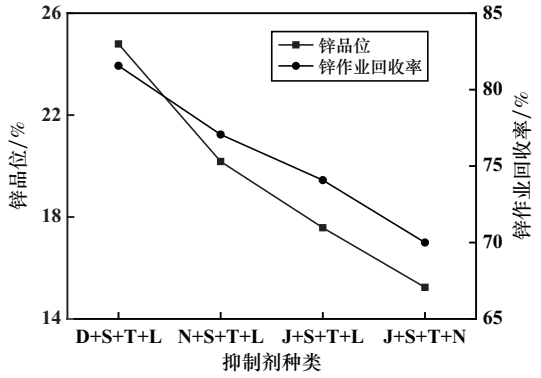


图 5　抑制剂种类试验结果

Fig. 5　Test result of depressant type

2.4.2　捕收剂种类筛选试验

为了有效提高氧化锌回收率,氧化锌捕收剂应在氧化锌最大限度上浮的同时有效提高氧化锌粗精矿品位[7-8]。以单宁 80 g/t、水玻璃 800 g/t、碳酸钠 1 000 g/t、六偏磷酸钠 400 g/t 为组合抑制剂,捕收剂用量 160 g/t 条件下,进行了氧化锌捕收剂种类试验,结果见图 6。从图 6 可知,采用复合月桂胺为氧化锌矿物捕收剂,取得了较好的选矿回收效果。确定选择复合月桂胺为氧化锌矿物的捕收剂,适宜用量为 160 g/t。

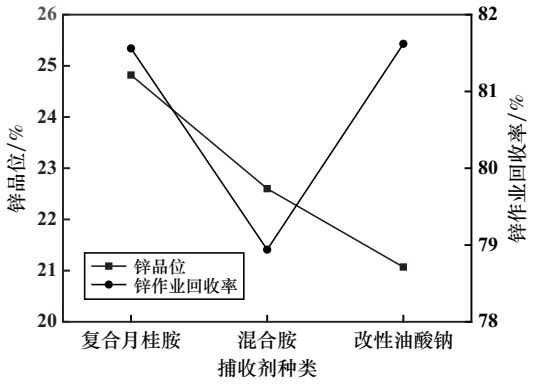


图 6　氧化锌捕收剂种类试验结果

Fig. 6　Test results of zinc oxide collector type

2.5　闭路试验

在条件试验基础上,进行了闭路试验,试验结果见表 5,闭路试验流程及药剂制度如图 7 所示。其中乙丁黄药为乙基黄药和丁基黄药按质量比 1∶1混合。闭路试验获得了产率 2.31%,铅品位 55.23%、银品位 4 384.40 g/t、金品位 4.82 g/t,铅、银、金回收率分别为 29.73%、75.81%、23.16%的硫化铅精矿;产率3.22%、锌品位 47.32%、锌回收率 38.00%的硫化锌精矿;产率 3.82%,铅品位64.31%、银品位 450.50 g/t、金品位 3.79 g/t,铅、银、金回收率分别为 57.24%、12.88%、30.12%的氧化铅精矿;产率 5.91%、锌品位 30.83%、锌回收率 45.43%的氧化锌精矿;产率25.35%、硫品位 46.97%、硫回收率 89.38%的硫精矿。原矿中硫化铅、硫化锌、氧化铅、氧化锌实现了分步浮选,资源综合利用率得以提升。

表 5　闭路试验结果

Table 5　Closed-circuit test results

产品名称	产率/%	品位/%					回收率/%				
		Pb	Zn	S	Ag[1)]	Au[1)]	Pb	Zn	S	Ag	Au
硫化铅	2.31	55.23	3.35	16.51	4 384.40	4.82	29.73	1.93	2.86	75.81	23.16
硫化锌	3.22	1.73	47.32	26.52	23.50	0.31	1.30	38.00	6.41	0.57	2.08
氧化铅	3.82	64.31	0.89	1.08	450.50	3.79	57.24	0.85	0.31	12.88	30.12
氧化锌	5.91	1.82	30.83	0.54	19.70	0.25	2.50	45.43	0.24	0.87	3.07
硫精矿	25.35	0.72	0.87	46.97	43.60	0.39	4.25	5.50	89.38	8.27	20.57
尾矿	59.39	0.36	0.56	0.18	3.60	0.17	4.98	8.29	0.80	1.60	21.00
原矿	100.00	4.29	4.01	13.32	133.60	0.48	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

1) 单位为 g/t。

3　工业生产实践

2024 年 8 月,在充分应用选矿试验研究成果的基础上,采用本试验推荐的工艺流程,在康瑞矿业有限公司白土选厂(200+300) t/d(2 条铅锌铜生产线改造合并)流程改造工程上进行了工业生产(试生产流程与小型闭路试验流程相同),共处理原矿 4 637 t,生产指标如表 6 所示。

2022—2024 年,该厂采用硫氧混合浮选工艺:磨矿细度-0.074 mm 粒级占 78%,矿浆给入一粗三精三扫浮铅作业,得到铅精矿;浮铅尾矿经一粗三精三扫浮选锌,得到锌精矿与最终尾矿。三年平均生产指标见表 7。

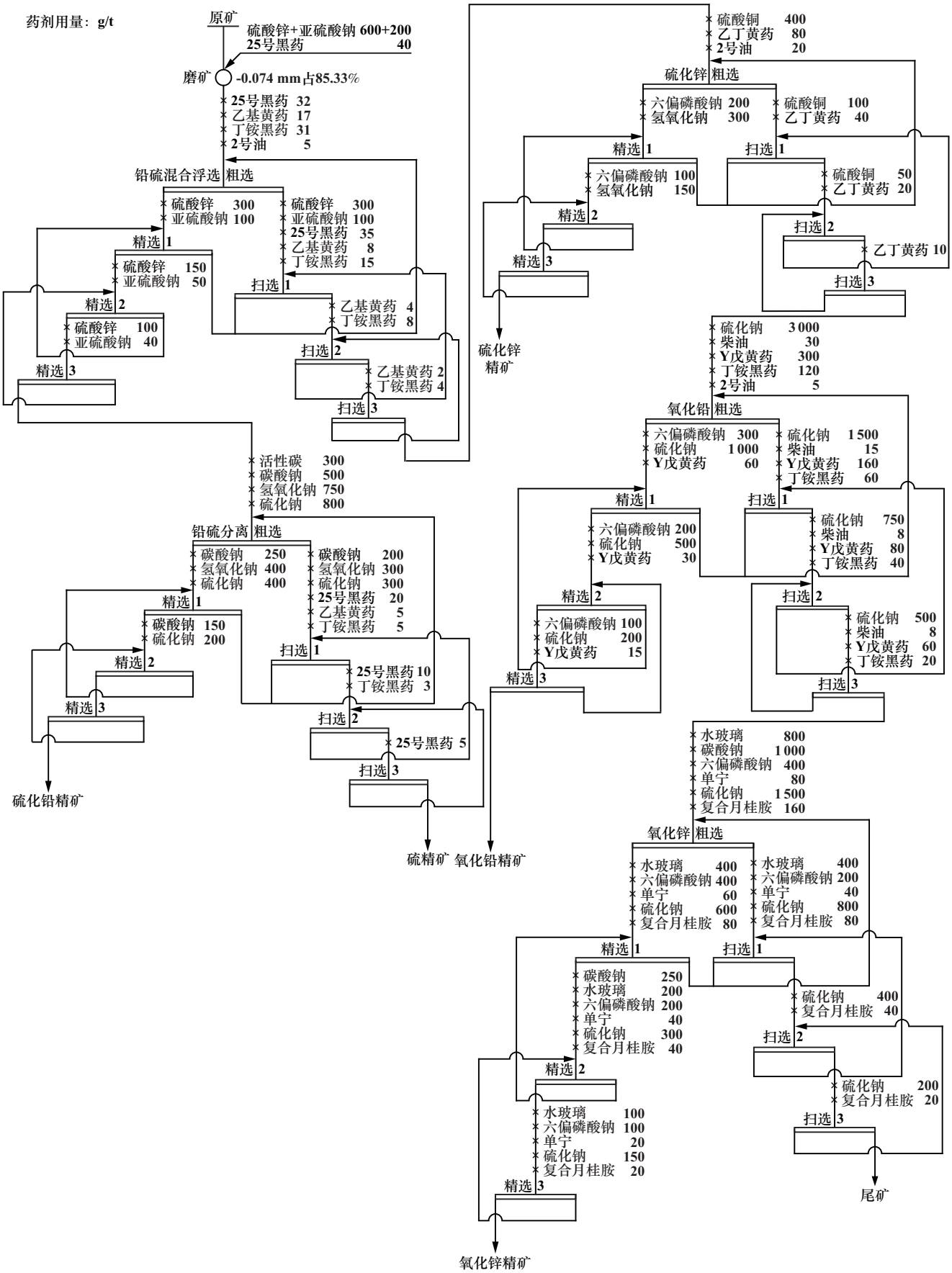


图 7 闭路试验流程及药剂制度

Fig. 7 Flowchart of closed-circuit test and reagent system

表 6　工业生产指标

Table 6　Industrial production indicators

产品名称	产率/%	品位/%					回收率/%				
		Pb	Zn	S	Ag[1)]	Au[1)]	Pb	Zn	S	Ag	Au
硫化铅	2.69	60.49	2.41	17.43	4 149.70	5.04	33.13	1.45	2.98	70.22	28.90
硫化锌	3.87	0.92	48.77	28.38	34.80	0.27	0.72	42.29	6.99	0.85	2.23
氧化铅	4.35	66.83	0.61	0.92	784.20	3.58	59.20	0.59	0.26	21.46	33.20
氧化锌	6.27	1.27	33.66	0.47	18.30	0.22	1.62	47.29	0.19	0.72	2.94
硫精矿	28.93	0.29	0.38	48.33	31.70	0.27	1.71	2.46	89.00	5.77	16.65
尾矿	53.89	0.33	0.49	0.17	2.90	0.14	3.62	5.92	0.58	0.98	16.08
原矿	100.00	4.91	4.46	15.71	159.00	0.47	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

1) 单位为 g/t。

表 7　2022—2024 年平均生产指标

Table 7　Average production indicators from 2022 to 2024

产品名称	产率/%	品位/%					回收率/%				
		Pb	Zn	S	Ag[1)]	Au[1)]	Pb	Zn	S	Ag	Au
铅精矿	4.87	54.73	4.85	20.25	2 234.80	2.75	56.84	5.42	6.65	70.05	29.35
锌精矿	4.42	2.28	44.83	30.77	139.50	0.93	2.15	45.46	9.18	3.97	9.01
尾矿	90.71	2.12	2.36	13.75	44.50	0.31	41.01	49.12	84.17	25.98	61.64
原矿	100.00	4.69	4.36	14.82	155.40	0.46	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

1) 单位为 g/t。

对比表 6 和表 7 数据可见,采用硫化铅锌、氧化铅锌分步浮选工艺,在原矿品位基本接近的情况下,铅、锌精矿品位和回收率均有大幅提升,其中的伴生银、金得到富集,还获得了硫精矿,经济效率显著。

4　结论

河南某铅锌混合矿矿物组成复杂,有用矿物嵌布粒度较细且共生关系密切。工业试生产验证结果表明,采用硫化铅锌、氧化铅锌分步浮选工艺,能有效提高铅、锌、金、银品位和回收率,大幅提高工业产值,提升矿产资源综合利用率,助推企业技术进步与可持续发展。

参考文献(References):

[1] 杨晓坤,董方浏,李丽. 全球主要铅锌矿业公司锌矿资源与开发利用及其对我国的启示[J]. 中国矿业, 2022,31(5):27-33.
YANG Xiaokun, DONG Fangliu, LI Li. Exploitation and utilization of zinc resources of major lead and zinc companies in the world and enlightenments to China[J]. China Mining Magazine, 2022,31(5):27-33.

[2] 江振坤,娄忠权,崔瑞. 关于减少过粉碎现象的主要措施研究[J]. 湖南有色金属, 2024,40(2):18-22.
JIANG Zhenkun, LOU Zhongquan, CUI Rui. Research on the major measures to reduce overgrinding[J]. Hunan Nonferrous Metals, 2024,40(2):18-22.

[3] 丁大森,王德发,邓检华. 西藏墨竹工卡县帮浦矿区东段氧化矿的试验研究及生产实践[J]. 资源信息与工程, 2021,36(1):53-58.
DING Dasen, WANG Defa, DENG Jianhua. Research and productive practice of oxidized ore in the east section of Bangpu mining area, Maizhokunggar county, Xizang autonomous region[J]. Resource Information and Engineering, 2021,36(1):53-58.

[4] 林悦,邹松,余新阳,等. 新型浮选药剂提高青海某铅锌矿金属回收率的研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(5):77-81.
LIN Yue, ZOU Song, YU Xinyang, et al. Improvement of metal recovery from lead-zinc ore in Qinghai by new flotation reagents[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(5):77-81.

[5] 梁溢强,张宇,徐安勋,等. 青海某多金属矿综合利用回收工艺研究[J]. 矿冶工程, 2025,45(5):82-87.
LIANG Yiqiang, ZHANG Yu, XU Anxun, et al. Comprehensive utilization and recovery of polymetallic ore in Qinghai[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2025,45(5):82-87.

[6] 刘炅. 难选氧化锌矿石全粒级浮选新药剂研究[D]. 南宁:广西大学, 2019.
LIU Jiong. Study on new agents for refractory zinc oxide ores by full-size flotation[D]. Nanning: Guangxi University, 2019.

[7] 梁家荣,杨业国,丘海峰,等. 广西某硫化铅锌矿浮选分离试验研究[J]. 矿冶工程, 2024,44(6):46-49.
LIANG Jiarong, YANG Yeguo, QIU Haifeng, et al. Flotation separation of lead-zinc sulfide ore in Guangxi[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2024,44(6):46-49.

[8] 周艳飞,王建安,沈发明,等. 某高氧化率硫化铅锌矿混合浮选试验研究[J]. 矿冶工程, 2023,43(4):78-81.
ZHOU Yanfei, WANG Jian'an, SHEN Faming, et al. Experimental study on bulk flotation of highly oxidized lead-zinc sulfide ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2023,43(4):78-81.

引用本文:丁大森,董怀擎,卫小刚. 河南某铅锌矿的选矿试验研究与生产实践[J]. 矿冶工程, 2026,46(3):180-185.

DING Dasen, DONG Huaiqing, WEI Xiaogang. Experimental study and production practice of lead-zinc ore from Henan[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2026,46(3):180-185.