

某铅锌矿床伴生金银在精矿产品中的分布及 药剂制度优化试验^①

聂世华

(湖南水口山有色金属集团有限公司, 湖南 衡阳 421513)

摘要: 某铅锌矿床富含金、银等有价值金属,为了提高产品经济效益,尽可能将伴生金、银富集在铅精矿中,结合生产实际查明了伴生金、银在选矿产品中的走向分布并开展了优化试验研究。结果表明,伴生金、银大部分富集在铅精矿中,且金、银回收率与铅回收率呈正相关关系。在原有选铅药剂制度不变条件下开展了辅助捕收剂试验,证实添加少量乙基黄药作辅助捕收剂,经一粗二精二扫闭路浮选,在铅精矿品位50%左右时,金、银在铅精矿中的富集程度较高,且铅精矿中锌互含较低,实现了金、银资源综合回收和产品经济效益最大化。

关键词: 铅锌矿; 伴生金银; 富集; 捕收剂; 金; 银

中图分类号: TD92

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.0253-6099.2023.03.018

文章编号: 0253-6099(2023)03-0079-05

Distribution of Gold and Silver Associated with Lead-Zinc Deposit in Concentrate Products and Optimization of Flotation Reagent System

NIE Shihua

(Hunan Shuikoushan Nonferrous Metals Group Co Ltd, Hengyang 421513, Hunan, China)

Abstract: A lead-zinc deposit is rich in valuable metals of gold and silver. In order to improve the economic benefits of products, the associated gold and silver should be enriched in lead concentrate to the maximum extent. Based on the actual situation in the production, the distribution of associated gold and silver in the products after mineral processing was ascertained, and then optimization tests were performed. The results showed that most of the associated gold and silver were concentrated in the lead concentrate, and the recovery of gold and silver was positively correlated with the recovery of lead. Without altering the original reagent regime for lead flotation, ethyl xanthate was introduced as an auxiliary collector in a close-circuit test adopting a flowsheet consisting of one stage of roughing, two stages of cleaning and two stages of scavenging. And the obtained lead concentrate with grade around 50% can have a high enrichment of gold and silver and a low content of zinc. It is concluded that gold and silver resources can be comprehensively recovered, which can bring in the maximized economic benefit.

Key words: lead-zinc ore; associated gold and silver; enrichment; collector; gold; silver

铅锌多金属硫化矿作为重要的有色金属矿产资源在国民经济中发挥着重要作用,广泛应用于冶金、机械、电气、化学和医药等领域^[1-2]。大多数铅锌硫化矿嵌布粒度微细、嵌布关系复杂,铅、锌等主金属矿物与金、银等稀贵金属紧密连生,导致伴生的稀贵金属元素难以单独回收,常富集在铅锌精矿产品中计价销售^[3-7]。湖南某铅锌矿床中赋存的有用矿物包括方铅

矿、闪锌矿、黄铁矿和金银矿物,原矿中金和银品位分别达到了2.8 g/t和99.6 g/t,经济价值巨大,但大部分金、银以显微或次显微形式存在,金、银矿物难以单体解离,只能随载体矿物一起进入铅、锌、硫精矿产品中。在产品销售过程中,金、银等稀贵金属在铅精矿中的计价系数更高,为进一步提高产品经济效益,需查明伴生金、银在选矿产品中的走向分布,以寻求更加合理的

① 收稿日期: 2022-11-27

作者简介: 聂世华(1969—),男,湖南祁阳人,高级工程师,主要从事有色金属选矿技术研究及生产管理工作。

药剂制度和工艺流程,尽可能将伴生金、银富集到铅精矿中^[8-9]。

1 矿石性质

湖南某铅锌矿中有用元素铅主要以方铅矿形式存在,约占93.92%,其他以氧化物形式(如白铅矿、铅黑等)存在,约占6.08%;有用元素锌主要以闪锌矿形式存在,约占92.19%,其他以氧化物形式(如异极矿、红锌矿等)存在,约占7.81%;元素硫主要以黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等金属硫化物形式存在。有用元素金主要以微细自然金(小于1 μm)形式或以晶格金形式均匀分布于黄铁矿中,约占51.40%;其次以自然金、金银矿形式存在,颗粒较小(一般小于10 μm,大者近50 μm),约占48.60%。有用元素银主要以辉银矿、碲银矿、深红银矿和淡红银矿形式存在,颗粒较小(一般小于20 μm),约占79.14%;其次以类质同象形式存在于闪锌矿和和黝铜矿中,约占19.49%;微量银以自然银和金银矿形式存在,颗粒较小(一般小于20 μm),约占0.24%,微量氧化银约占1.13%。脉石矿物有石英、绢云母、绿泥石、透辉石、方解石、白云石等。矿石主要化学成分分析结果见表1。

表1 矿石主要化学成分分析结果(质量分数) %

Pb	Zn	S	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
3.84	3.81	9.54	2.8	99.6	56.38	0.11	1.83	2.09	0.44

1) 单位为 g/t。

由表1可知,矿石中 Au、Ag 含量分别为 2.8 g/t、99.6 g/t。按目前金属市场价格,伴生金、银价值甚至超过铅、锌、硫价值总和,因此综合回收伴生金、银经济效益显著。

2 试验研究

2.1 伴生金、银在选矿产品中的走向分布

现场生产流程为铅、锌、硫顺序优先浮选流程,选铅区为一粗二精三扫,选锌区为一粗三精三扫,选硫区为一粗一精四扫。铅区抑制剂为 D82(硫酸锌和亚硫酸盐的混合物),铅区捕收剂为 HQ77(黑药类),锌区抑制剂为 D52(亚硫酸盐类),锌区捕收剂为 HQ66(酯类),硫区捕收剂为丁基黄药。为探究伴生金、银在选矿产品中的走向分布,在一个月时间内取样 3 批次,考查了精矿产品指标与伴生金、银的赋存规律,结果见表2。

表2 伴生金、银在选矿产品中的分布情况

批次	产品名称	产率/%	品位/%					回收率/%				
			Pb	Zn	S	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	Pb	Zn	S	Au	Ag
1	铅精矿	7.93	45.53	4.33	21.43	18.04	1 110.8	92.25	9.31	17.97	49.28	80.37
	锌精矿	6.18	1.40	51.35	30.82	2.48	159.9	2.21	85.95	20.13	5.28	9.01
	硫精矿	11.61	0.66	0.93	41.49	9.54	57.9	1.94	2.91	50.95	38.18	6.13
	尾矿	74.28	0.19	0.09	1.39	0.28	6.6	3.61	1.83	10.95	7.26	4.49
	原矿	100.00	3.91	3.69	9.46	2.90	109.6	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	铅精矿	7.17	47.70	5.27	19.91	15.26	1 083.5	91.10	10.55	17.89	46.77	78.98
	锌精矿	6.21	2.13	49.47	30.39	2.75	220.8	3.52	85.69	23.64	7.29	13.94
	硫精矿	8.15	0.55	0.66	44.52	9.64	43.1	1.19	1.51	45.51	33.63	3.57
	尾矿	78.47	0.20	0.10	1.32	0.37	4.4	4.20	2.26	12.96	12.32	3.51
	原矿	100.00	3.75	3.58	7.98	2.34	98.3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3	铅精矿	8.07	49.12	7.12	17.37	16.40	1 208.2	93.21	15.61	16.57	50.42	84.10
	锌精矿	6.38	1.40	46.57	30.63	4.12	169.3	2.10	80.74	23.12	10.02	9.32
	硫精矿	9.67	0.52	0.56	42.61	8.87	41.7	1.18	1.46	48.71	32.67	3.48
	尾矿	75.89	0.20	0.11	1.29	0.24	4.7	3.51	2.19	11.59	6.89	3.10
	原矿	100.00	4.25	3.68	8.46	2.62	115.9	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

1) 单位为 g/t。

由表2可以看出,随着原矿品位变化,3种精矿产品选矿指标也存在一定差异。铅精矿铅回收率随原矿铅品位升高而增加,伴生金、银大部分富集在铅精矿中,其回收率与铅回收率呈正相关关系。初步分析认为,在生产实践中,为提高铅精矿中金、银回收率,可适

当提高铅回收率、降低铅精矿主品位,有利于含金、银黄铁矿上浮进入铅精矿中。

2.2 药剂制度试验

根据实际生产指标考查情况,为了提高铅精矿中的金、银,尽可能回收金、银到计价系数较高的铅精矿

中,针对选铅区域开展捕收剂种类试验,在原有生产流程基础上寻找合适的药剂制度,通过调节药剂用量,重点考查在不同品位铅精矿下金、银回收率变化情况。共进行了3组试验,其中第1组试验不添加辅助捕收剂乙基黄药,第2组添加辅助捕收剂乙基黄药4 g/t,第3组添加辅助捕收剂乙基黄药6 g/t。固定条件为:磨矿细度-0.074 mm 粒级含量78%,锌抑制剂D82用量300 g/t、铅捕收剂HQ77用量130 g/t。试验流程见图1,结果见表3。

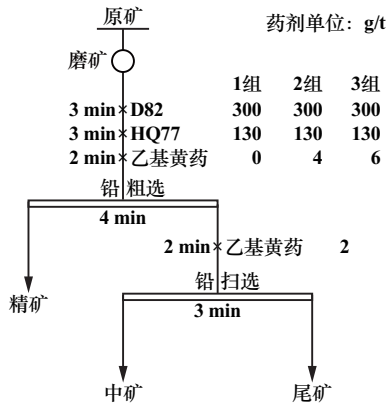


图1 药剂制度试验流程

第1组试验,铅粗选仅使用HQ77作捕收剂,铅粗精矿铅品位49.38%,铅粗精矿中金回收率27.97%、银回收率68.78%;铅粗精矿与中矿合并后金回收率38.20%、银回收率75.94%。第2组试验,铅粗选使用HQ77作捕收剂外,还加入4 g/t乙基黄药作为辅助捕收剂,此时铅粗精矿铅品位47.26%,铅粗精矿中金回收率33.20%、银回收率61.37%,铅粗精矿与中矿合并后金回收率50.54%、银回收率80.76%,金、银回收率较第1组试验有了较大幅度提高。第3组试验,加大铅粗选辅助捕收剂乙基黄药用量至6 g/t,此时铅粗精矿铅品位降至43.72%,铅粗精矿中金回收率35.97%、银回收率71.36%,铅粗精矿与中矿合并后金回收率51.00%、银总回收率81.78%,金、银回收率较第2组试验也有一定提高,但锌在铅精矿中的互含增加。

仅使用HQ77作铅捕收剂,铅精矿中金、银回收率均偏低,加入4 g/t乙基黄药作辅助捕收剂后,铅精矿铅品位有所下降,但铅精矿中金总回收率大幅提高,铅与银总回收率也有一定提高。继续加大乙基黄药用量至6 g/t,金、银回收率提高不明显且锌损失较大,适宜的辅助捕收剂乙基黄药用量为4 g/t。

表3 药剂制度试验结果

序号	产品名称	产率/%	品位/%					回收率/%				
			Pb	Zn	S	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	Pb	Zn	S	Au	Ag
1	精矿	6.14	49.38	7.55	16.02	14.20	961.00	84.90	9.84	9.90	27.97	68.78
	中矿	2.14	12.77	6.9	25.32	14.90	287.00	7.65	3.13	5.45	10.23	7.16
	精矿+中矿	8.28	39.92	7.38	18.42	14.38	786.80	92.55	12.97	15.35	38.20	75.94
	尾矿	91.72	0.29	4.47	9.17	2.10	22.50	7.45	87.03	84.65	61.80	24.06
	原矿	100.00	3.57	4.71	9.94	3.12	85.80	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	精矿	7.06	47.26	7.03	20.16	14.4	912.20	84.64	9.35	14.27	33.20	61.37
	中矿	3.60	9.12	12.82	22.61	11.8	261.20	8.33	8.69	8.16	17.33	19.38
	精矿+中矿	10.66	34.38	8.99	20.99	13.52	692.35	92.97	18.04	22.43	50.54	80.76
	尾矿	89.34	0.31	4.87	8.66	1.55	18.40	7.03	81.96	77.57	49.46	19.24
	原矿	100.00	3.94	5.31	9.97	2.83	90.24	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3	精矿	6.64	43.72	8.00	18.86	14.40	863.70	74.12	10.90	13.52	35.97	71.36
	中矿	4.34	17.61	8.59	25.58	11.50	417.30	19.51	7.65	11.99	15.03	10.42
	精矿+中矿	10.98	33.40	8.23	21.52	13.25	687.25	93.64	18.55	25.51	51.00	81.78
	尾矿	89.02	0.28	4.46	7.75	1.60	20.20	6.36	81.45	74.49	49.00	18.22
	原矿	100.00	3.92	4.87	9.26	2.88	93.44	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

1) 单位为 g/t。

2.3 铅区闭路试验

以HQ77为铅捕收剂、乙基黄药为铅辅助捕收剂,在铅区开展闭路试验,控制铅精矿品位,分析不同品位铅精矿中金、银回收率变化情况。共开展了4次试验,试验结果见表4,流程见图2。从表4可知,铅精矿铅品位从53.59%降到41.24%,铅精矿中金回收率从32.83%

提高至46.43%,银回收率从75.86%提高至79.32%,铅回收率提高1.48个百分点。可见,适当降低铅精矿品位,铅精矿中金回收率会大幅提高,铅回收率和银回收率也有一定提高。铅精矿品位从49.38%降到44.98%甚至更低时,铅精矿中锌损失率大幅增加,且铅精矿品位45%左右就存在产品外销困难的情况,综合测算,品位

表4 铅区闭路试验结果

编号	产品名称	产率/%	品位/%					回收率/%				
			Pb	Zn	S	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	Pb	Zn	S	Au	Ag
1	铅精矿	8.68	41.24	8.92	21.06	15.5	835.5	93.56	19.28	21.97	46.43	79.32
	尾矿	91.32	0.27	3.55	7.11	1.7	20.7	6.44	80.72	78.03	53.57	20.68
	原矿	100.00	3.83	4.02	8.32	2.9	91.4	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2	铅精矿	8.03	44.98	8.86	19.46	15.1	911.9	93.34	16.25	17.37	42.25	78.23
	尾矿	91.97	0.28	3.99	8.08	1.8	22.2	6.66	83.75	82.63	57.75	21.77
	原矿	100.00	3.87	4.38	9.00	2.9	93.6	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3	铅精矿	7.38	49.38	8.79	17.57	14.6	1 001.8	93.14	13.68	13.41	37.98	77.18
	尾矿	92.62	0.29	4.42	9.04	1.9	23.6	6.86	86.32	86.59	62.02	22.82
	原矿	100.00	3.91	4.74	9.67	2.8	95.8	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
4	铅精矿	6.30	53.59	8.83	16.41	14.1	1 096.2	92.08	12.60	11.15	32.83	75.86
	尾矿	93.70	0.31	4.12	8.79	1.9	23.5	7.92	87.40	88.85	67.17	24.14
	原矿	100.00	3.67	4.42	9.27	2.7	91.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

1) 单位为 g/t。

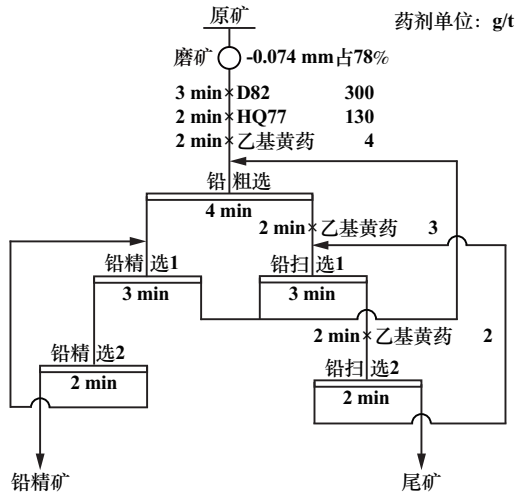


图2 铅区闭路试验流程

45%的铅精矿其价值实现率低于品位50%左右的铅精矿。因此,实际生产中铅精矿品位宜控制在50%左右。

3 生产指标

条件试验及闭路试验结果证明,铅区选择HQ77为捕收剂、乙基黄药为辅助捕收剂,控制好药剂用量及铅精矿品位,可以获得更好的经济效益。

统计了采用新药剂制度以来6个月的生产指标,结果见表5。采用该药剂制度后,在铅精矿品位49.47%条件下,铅回收率91.62%,铅精矿中金回收率38.32%、银回收率79.09%。生产指标优于闭路试验指标,现有生产工艺可以提高铅精矿中金、银回收率,实现了金、银资源的综合回收。

表5 现场生产指标

产品名称	产率/%	品位/%					回收率/%				
		Pb	Zn	S	Au ¹⁾	Ag ¹⁾	Pb	Zn	S	Au	Ag
铅精矿	7.13	49.47	3.71	20.61	14.35	1 138.48	91.62	8.11	12.15	38.32	79.09
锌精矿	5.70	1.49	50.05	31.89	2.26	156.01	2.21	87.51	15.03	4.82	8.66
硫精矿	16.79	0.49	0.39	42.09	7.30	52.41	2.14	2.01	58.45	45.91	8.57
尾矿	70.38	0.22	0.09	1.90	0.35	5.21	4.04	2.37	14.36	10.95	3.68
原矿	100.00	3.85	3.26	12.09	2.67	102.64	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

1) 单位为 g/t。

4 结论

1) 生产现场指标考查结果表明,伴生金、银大部分富集在铅精矿中,其回收率与铅回收率呈正相关关系。

2) 仅用HQ77作为铅捕收剂,铅精矿金、银回收率较低,添加少量乙基黄药作为辅助捕收剂后,铅精矿中铅品位有所下降,但铅精矿中金总回收率有大幅度提高,铅与银总回收率也有一定提高。

3) 在不改变原有生产流程的基础上,仅对铅区捕收剂由单一HQ77捕收剂调整为HQ77+乙基黄药的组合捕收剂,取得了较好的效果。

4) 铅精矿品位50%情况下,产品价值实现率较大,若继续降低品位,会造成铅精矿中锌互含过高,锌损失变大。

5) 现场连续生产6个月,铅精矿品位49.47%、铅回收率91.62%,铅精矿中金回收率38.32%、银回收率

79.09%; 锌精矿品位 50.05%、锌回收率 87.51%; 硫精矿品位 42.09%、硫回收率 58.45%。

参考文献:

- [1] 刘晓,张宇,王楠,等.我国铅锌矿资源现状及其发展对策研究[J].中国矿业,2015(S1):6-9.
- [2] 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.
- [3] 罗仙平,杨思琦,何坤忠,等.“十三五”期间我国铅锌硫化矿选矿技术进展[J].有色金属科学与工程,2022,13(3):117-129.
- [4] 方荣,杨森,英亚歌,等.陕县宽平金银铅锌多金属矿石优先浮选技术探讨[J].湖南师范大学学报(自然科学版),2021,44(5):128-135.

- [5] 杨宏焱.锡铁山铅锌矿提高伴生金银经济效益研究[J].现代矿业,2021,37(7):165-166.
- [6] 毛志丹,谢克强,孔德全,等.云南某复杂硫、氧混合铅锌矿浮选实验研究[J].矿冶工程,2021,41(6):34-37.
- [7] 王妍,王旭,薛凯,等.内蒙古某含银多金属硫化矿强化选别试验研究[J].矿冶工程,2021,41(5):49-52.
- [8] 颜顺德,黄安平.某含金银铅锌矿石选矿试验研究[J].黄金,2022,43(9):68-72.
- [9] 陈章鸿,刘四清,陈思雨,等.基于硫酸调浆的铜铅锌多金属矿浮选分离工艺研究[J].矿产综合利用,2022(2):79-85.

引用本文:聂世华.某铅锌矿床伴生金银在精矿产品中的分布及药剂制度优化试验[J].矿冶工程,2023,43(3):79-83.

(上接第74页)

3) 采用阶段磨矿-阶段选别工艺,经两段磨矿及一粗一精磁选,所得精矿(精矿2)TFe品位65.45%、TFe回收率65.98%、mFe回收率95.69%,产品指标较好。精矿2细磨至 $-30.8\ \mu\text{m}$ 粒级占97.59%,经弱磁选可得到TFe品位71.90%、回收率60.20%的超纯铁精矿;中矿扫选后可得到TFe品位69.87%、回收率35.21%的超级铁精矿。矿石可选性较好。

参考文献:

- [1] 温子龙.2019年中国铁矿供需现状及未来发展建议[J].冶金经济与管理,2020(1):28-31.
- [2] 常艳,杜晓慧,张百忍.国外低品位铁矿发展现状分析[C]//第二届地学文献学术研讨会论文集.2013:297-300.

- [3] 段希祥,宦秉炼,曹亦俊.自然矿块抗压强度测定研究[J].有色金属,2000,52(3):11-14.
- [4] 刘瑜.柿竹园多金属矿1500吨/日选矿厂磨矿过程优化试验研究[D].江西:江西理工大学资源与环境工程学院,2015.
- [5] 黄晓毅,杨平伟,陈晓博,等.青海某低品位金矿邦德球磨功指数测定研究[J].有色金属设计,2020,47(4):28-30.
- [6] 罗帆.哈氏易磨性与邦德功指数的换算验证及其评价[J].水泥,2007(10):34-36.
- [7] 胡芳,陈泽宗.某微细粒难选铁矿尾矿选矿工艺研究[J].矿冶工程,2021,41(6):81-83.
- [8] 徐彪,李肖,胡敏捷,等.本溪某铁矿制备超级铁精矿试验研究[J].矿冶工程,2019,39(3):67-69.

引用本文:肖硕,黄自力,黄涛,等.澳洲某铁矿石可磨可选性研究[J].矿冶工程,2023,43(3):72-74.

(上接第78页)

- [5] 周杰强,严峥,梅光军,等.重庆某铝土矿反浮选脱硫脱硅工艺技术研究[J].矿冶工程,2022,42(1):61-63.
- [6] 马智敏,陈兴华,王玉才,等.铝土矿选矿脱硅技术研究现状及前景展望[J].矿产综合利用,2015(1):1-6.
- [7] 吴边华,周长春.铝土矿浮选脱硅捕收剂研究现状及发展前景[J].矿业研究与开发,2009,29(2):41-44.
- [8] 凌石生,张文彬.铝土矿反浮选脱硅药剂研究概述[J].国外金属选矿,2008(2):20-24.
- [9] 胡岳华.铝硅矿物浮选化学与铝土矿脱硅[M].北京:科学出版社,2004.

- [10] 范晓慧,姜涛,邱冠周,等.铝土矿焙烧-碱浸脱硅新工艺[J].矿冶工程,2002,22(3):83-85.
- [11] 周培富,潘碟,杨成.微生物对低品位铝土矿生物浸矿的应用潜力[J].生物技术,2019,29(1):96-99.

引用本文:杨林,张锦仙,阚赛琼,等.云南某堆积型高铁铝土矿铝、硅、铁分离工艺试验研究[J].矿冶工程,2023,43(3):75-78.