

DOI:10.3639/j.issn1671-9492.2011.06.003

云南某复杂铅锌银硫化矿综合回收试验研究

苏建芳, 孙伟, 黄红军, 任盼

(中南大学 资源加工与生物工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 根据云南某复杂铅锌银多金属硫化矿石的原矿性质进行浮选试验研究。采用石灰抑制含铁矿物, 新型抑制剂 YZN 抑制锌, 新型捕收剂 BPB 捕收铅; 以硫酸铜作为选铅尾矿中锌矿物的活化剂, 丁基黄药作为锌矿物捕收剂, 可以实现铅锌的高效分离, 同时将大部分伴生银富集到铅、锌精矿中。在开路试验的基础上进行了实验室小型闭路试验, 获得铅精矿品位 50.45%、铅回收率 86.16%, 锌精矿品位 50.38%、锌回收率 71.80% 的选别指标, 银在铅精矿中的品位及回收率分别为 3062.33 g/t 和 60.63%, 银在锌精矿中的品位及回收率分别为 1 008.48 g/t 和 19.34%。

关键词: 铅锌银硫化矿; 新型药剂; 铅锌分离; 银回收

中图分类号: TD952.2; TD952.3; TD954 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-9492(2011)06-0008-05

Experimental Study on Comprehensive Recovery for a Complex Lead-zinc-silver Sulfide Ore in Yunnan

SU Jianfang, SUN Wei, HUANG Hongjun, REN Pan

(School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083)

Abstract: According to the properties of a complex sulfide lead-zinc-silver ore in Yunnan, experimental study on mineral processing has been conducted. Lead minerals are successfully separated from zinc minerals with CaO as pyrite depressant, new reagent YZN as zinc depressant, new reagent BPB as lead collector, CuSO₄ as zinc activator and butyl xanthate as zinc collector, during which most of the associated Ag is concentrated to lead and zinc concentrates. A closed-circuit laboratory flotation test has been conducted on the basis of open-circuit flotation experiments, from which a lead concentrate with 50.45% Pb and 86.16% recovery and a zinc concentrate with 50.38% Zn and 71.80% recovery are obtained. The grade and recovery of Ag in the lead concentrate are 3 062.33 g/t and 60.63% respectively. The grade and recovery of Ag in the zinc concentrate are 1 008.48 g/t and 19.34% respectively.

Key words: lead-zinc-silver sulfide ore; new reagents; lead-zinc separation; silver recovery

铅锌矿作为重要的有色金属矿产资源在国民经济中具有重要作用, 铅锌金属广泛应用于电气、机械、军事、冶金、化学、轻工业和医药业等领域。我国铅锌资源比较丰富, 约占世界总量的 20% 以上, 主要分布在云南、甘肃、广西、广东、湖南、江西、陕西、四川、新疆和内蒙古等省区^[1-3]。硫化铅锌矿中常伴生有银等贵金属元素, 在最大限度提高铅锌回收率的同时, 经济有效地回收其伴生的有价元素具有十分重要的意义。

铅锌银硫化矿的浮选分离在国内外已有大量研究。乔宗科^[4] 针对某细粒难选铅锌矿, 使用一种

新的 DS 抑制剂, 以丁基黄药和乙硫氮作组合捕收剂, 采用快速浮选流程, 获得了铅精矿品位 61.14%、铅回收率 81.43% 的指标。磨学诗^[5] 等人将调整剂石灰与捕收剂乙硫氮、丁基黄药同时加入磨机, 充分利用石灰对矿浆电位的调控与稳定作用, 实现铅与锌、硫铁的高效分离。王强^[6] 在研究了丰宁铅锌矿矿石性质的基础上, 采用优先浮选, 铅经过一次粗选、一次扫选、两次精选, 锌经过一次粗选、两次扫选、两次精选, 获得了铅精矿品位 66.04%、铅回收率 87.31%, 锌精矿品位 58.26%、锌回收率 82.13%, 银在铅精矿中的回收率 70.40% 的选别指

标。实践中多采用高碱工艺处理硫化铅锌矿石，传统的高碱工艺存在矿石伴生银回收率低的弊端^[7]。本研究针对云南某复杂难处理铅锌银硫化矿，进行了选矿试验研究，采用优先选别流程，使用新型锌抑制剂 YZN 和新型铅捕收剂 BPB，实现了铅锌矿物的高效分离，同时使伴生银较大限度地富集到铅、锌精矿中，在一定程度上克服了伴生银回收率低的弊端。

1 矿石物质组成

矿石中的有用矿物主要为方铅矿、闪锌矿和一定量的伴生银矿物；脉石矿物主要为白云石、石英、方解石等。原矿化学多元素分析结果见表 1，原矿 XRD 图谱见图 1。

表 1 铅锌银矿石化学多元素分析结果
Table 1 Chemical composition of the lead-zinc-silver ore sample

元素	Pb	Zn	Ag	Fe	Mn	W	Zr	Ni	Sn
含量	1.37	1.64	110.56	10.45	9.08	0.09	0.002	0.03	0.05

注：银含量单位为 g/t

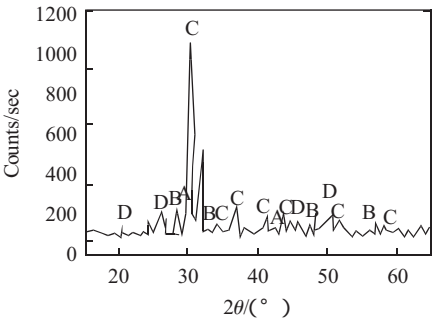


图 1 铅锌银矿石 XRD 分析结果

Fig.1 XRD analysis results of lead-zinc-silver ore sample

A—方铅矿；B—闪锌矿；C—白云石；D—石英

2 研究方法

2.1 试验试剂及设备

试验试剂包括矿浆调整剂石灰、新型锌抑制剂 YZN、新型铅捕收剂 BPB、锌活化剂硫酸铜、锌捕收剂丁基黄药，以及起泡剂松醇油。其中 YZN 和 BPB 为本单位最新研制的新型铅锌选别药剂。所用设备主要有 1.0 L 及 0.5 L XFD 型浮选机、XMQ-67 型 240×90 锥型球磨机、DL-5C 型真空过滤机以及 MPE 电热恒温鼓风干燥箱等。

2.2 试验方法

本试验采用优先浮选工艺进行铅锌银的浮选回收，即先抑锌浮铅后浮锌，大部分银随着铅精矿一起被回收，少部分银随着锌精矿被回收。为了确定铅锌浮选的最佳药剂制度，分别进行了铅浮选条件试验和锌浮选条件试验。铅浮选条件试验分别进行了磨矿时间试验、石灰用量试验、锌抑制剂 YZN 用量试验和铅捕收剂 BPB 用量试验；锌浮选条件试验分别进行了硫酸铜用量试验、丁基黄药用量试验。在条件试验的基础上进行开路试验及闭路试验，确定最终的药剂制度及选别流程，使铅、锌精矿指标达到工业应用标准。

3 试验结果与讨论

3.1 铅浮选条件试验

3.1.1 磨矿细度试验

欲使铅锌有用矿物在浮选过程中有效分离富集，必须控制矿石的磨矿条件，以达到矿石的有效单体解离^[8-9]，因此进行了磨矿细度试验。试验条件：磨矿时加入石灰，磨矿浓度 67% 左右，石灰 4 kg/t，锌抑制剂 YZN 6 kg/t，铅捕收剂 BPB 80 g/t，松醇油 100 g/t，磨矿细度分别为 -74 μm 粒级占 76.20%、81.78%、85.89%、88.94%、91.25%。试验结果如图 2 所示。由图 2 可知，随着磨矿细度的增大，铅精矿品位和回收率均呈现先上升后下降的趋势。当磨矿细度为 -74 μm 粒级占 80.78% 时，铅精矿品位和回收率均达到最大值。在整个磨矿细度范围内，铅精矿中锌的品位及回收率均处于较低值。由此确定铅浮选最佳磨矿细度为 -74 μm 粒级占 80% 左右。

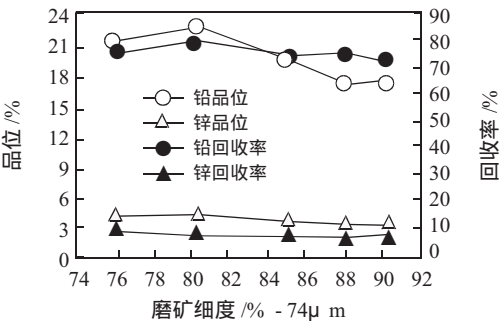


图 2 磨矿细度对铅浮选的影响

Fig.2 Effect of grinding fineness on lead flotation

3.1.2 石灰用量试验

石灰在硫化矿浮选中用作 pH 调整剂，石灰加在磨机中，可使矿浆电位获得更低且稳定的氧化还

原电位,有利于抑制磁黄铁矿、铁闪锌矿等^[10]。在上述试验的基础上,进行选铅石灰用量试验。试验条件:磨矿细度-74 μm 80%,抑制剂 YZN 6 kg/t,铅捕收剂 BPB 80 g/t,松醇油 100 g/t,石灰用量分别为 2、3、4、5、6 kg/t。试验结果如图3所示。由图3可知,当石灰用量为 4 kg/t 时,铅精矿品位和回收率分别为 23.41%和 79.61%,此时铅精矿中锌的品位和回收率分别为 4.26%和 8.83%,选别指标较理想。因此确定石灰的最佳用量为 4 kg/t。

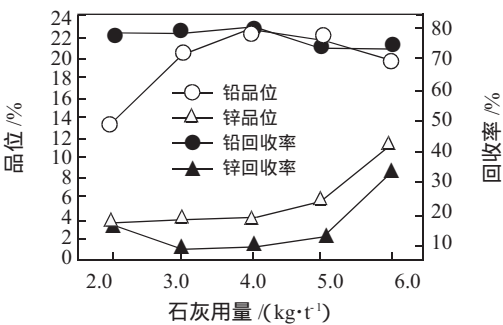


图3 石灰用量对铅浮选的影响

Fig.3 Effect of lime dosage on lead flotation

3.1.3 锌抑制剂用量试验

试验条件:磨矿细度-74 μm 占 80%左右,浮选药剂及用量分别为:石灰 4 kg/t,铅捕收剂BPB 80 g/t,松醇油 100 g/t,锌抑制剂用量分别为3、4、6、7、8 kg/t,进行浮选试验,试验结果如图4所示。由图4可知,新型抑制剂 YZN 对锌抑制效果明显。当锌抑制剂用量低于 6 kg/t 时,随着抑制剂用量的增加,铅精矿品位逐渐升高,铅精矿中锌品位和回收率明显下降,当抑制剂用量高于 6 kg/t 后,铅精矿品位、铅精矿中锌品位和回收率均变化不明显。在整个抑制剂用量范围内,铅精矿铅回收率呈略微下降的趋势。综合考虑药剂成本及选别指标等因素,锌抑制剂 YZN 用量以 6 kg/t 为宜。

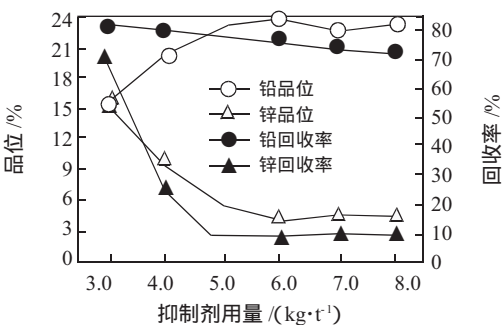


图4 YZN 用量对铅浮选的影响

Fig.4 Effect of YZN dosage on lead flotation

3.1.4 铅捕收剂用量试验

一般来说,在一定范围内适当增加捕收剂的用量,可以提高浮选速度并改善浮选指标,但用量过高或过低对浮选都不利。捕收剂用量过低,矿物浮选不充分,回收率不高;反之,捕收剂用量过高,浮选过程选择性降低,影响精矿品位^[11]。

在上述试验基础上,进行了铅捕收剂用量试验,试验条件:磨矿细度-74 μm 占 80%左右,浮选药剂及用量分别为:石灰 4 kg/t,锌抑制剂 YZN 6 kg/t,松醇油 100 g/t,铅捕收剂 BPB 用量分别为 65、70、75、80、90 g/t,进行浮选试验,试验结果如图5所示。由图5可知,随着捕收剂BPB 用量的增加,铅品位先逐渐升高后下降,铅回收率呈逐渐升高的趋势。当捕收剂用量为 80 g/t 时,铅精矿品位和回收率达到一个较大值。在整个捕收剂用量范围内,铅精矿中锌品位和回收率均处于一个较低值水平。因此,选定 80 g/t 作为铅捕收剂 BPB 最佳药剂用量。

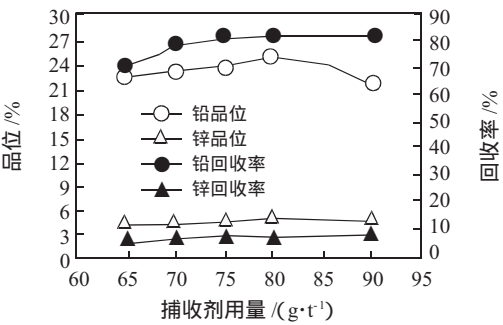


图5 BPB 用量对铅浮选的影响

Fig.5 Effect of BPB dosage on lead flotation

3.2 锌浮选条件试验

本试验采用优先浮选流程,选铅尾矿进入锌浮选作业。在选铅过程中锌矿物受到抑制,浮选之前必须对被抑制的锌矿物进行活化。从而进行了选锌活化剂和捕收剂的用量试验。铅浮选采用一段粗选、一段扫选,铅粗选药剂制度为:石灰 4 kg/t、YZN 6 kg/t、BPB 80 g/t、松醇油 100 g/t;铅扫选药剂用量为铅粗选药剂用量的一半;磨矿细度为 -74 μm 占 80%左右。

3.2.1 硫酸铜用量试验

为了考察活化剂硫酸铜用量对锌精矿品位及回收率的影响,对选铅尾矿进行了硫酸铜用量试验。试验条件:石灰 2 kg/t,丁基黄药 160 g/t,松醇油 100 g/t,硫酸铜用量分别为 400、600、800、1000、1200 g/t。试验结果如图6所示。从试验结

果可以看出，增加硫酸铜的用量，锌的回收率增大，但锌精矿品位下降。当硫酸铜用量为 800 g/t 时，锌品位和回收率分别达到 36.86%和 79.30%，选别指标较佳。综合考虑选别指标及选矿成本等因素，确定硫酸铜的最佳用量为 800 g/t。

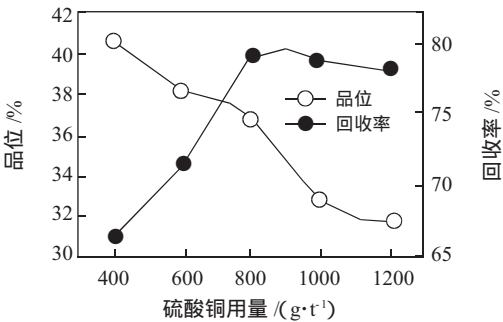


图 6 硫酸铜用量对锌浮选的影响

Fig.6 Effect of CuSO₄ dosage on zinc flotation

3.2.2 丁基黄药用量试验

试验条件：石灰用量 2 kg/t，硫酸铜 800 g/t，松醇油 100 g/t，丁基黄药用量分别为 100、120、140、160、180 g/t，进行浮选试验。试验结果如图 7 所示。由图 7 可知，随着丁基黄药用量的增加，锌精矿品位逐渐降低，锌回收率先上升后下降。当丁基黄药用量为 160 g/t 时，锌回收率达到最大值。综合考虑锌品位及回收率，锌粗选丁基黄药最佳用量定为 160 g/t。

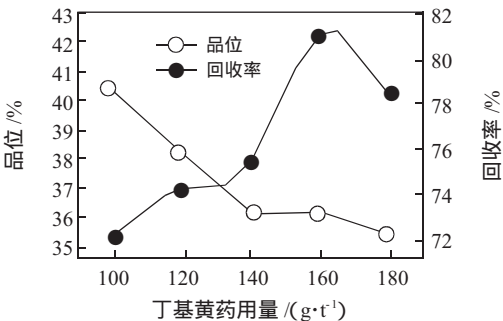


图 7 丁基黄药用量对锌浮选指标的影响

Fig.7 Effect of butyl xanthate dosage on zinc flotation

3.3 开路试验

根据上述试验，最佳磨矿细度为-74 μm 占80%左右，铅粗选最佳药剂制度为：石灰 4 kg/t、YZN 6 kg/t、BPB 80 g/t、松醇油 100 g/t；锌粗选最佳药剂制度为：石灰 2 kg/t、硫酸铜 800 g/t、丁基黄药160 g/t、松醇油 100 g/t。在条件试验的基础上进行了开路浮选试验，开路浮选试验流程见图 8，

试验结果见表 2。由表 2 可知，此开路流程可使铅精矿品位和回收率分别达到 51.50%和63.66%，锌精矿品位和回收率分别达到 50.66%和67.61%。

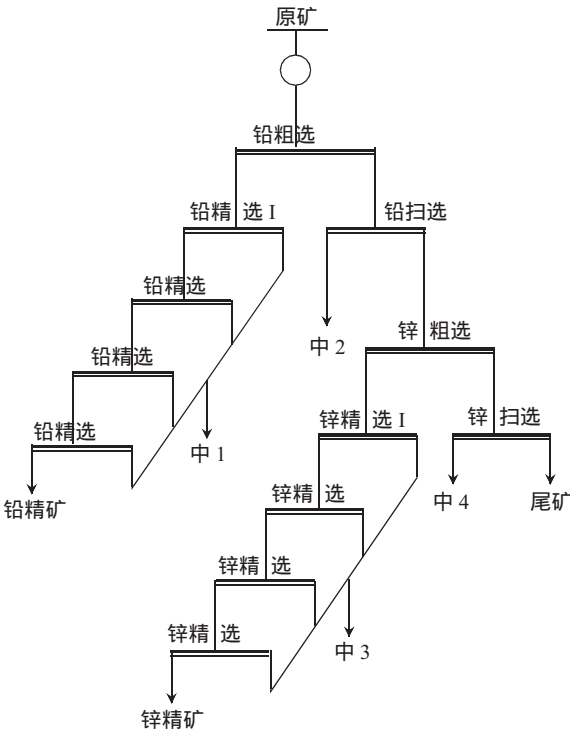


图 8 铅锌开路浮选试验流程

Fig.8 Flowsheet of open circuit test of lead-zinc flotation

表 2 铅锌开路浮选试验结果

Table 2 Results of open circuit test of lead-zinc flotation

产物	产率	品位		回收率	
		Pb	Zn	Pb	Zn
铅精矿	1.53	51.50	55.60	63.66	3.79
锌精矿	3.02	1.25	50.66	3.04	67.61
中 1	2.89	6.56	3.49	15.31	4.47
中 2	2.31	3.17	8.42	5.92	8.61
中 3	1.94	0.71	5.50	1.11	4.73
中 4	1.77	0.83	4.5	1.18	3.52
尾矿	86.54	0.14	0.19	9.78	7.27
原矿	100.0	1.24	2.26	100.0	100.0

3.4 闭路试验

在条件试验及开路试验的基础上，进行了实验室小型闭路试验。闭路试验工艺流程如图 9 所示，试验结果见表 3。由表 3 可知，采用图 9 所示流程，可获得各产品指标具体如下：铅精矿品位 50.45%、铅回收率 86.16%，锌精矿品位 50.38%、锌回收率71.80%，铅精矿中银品位和回收率分别为 3.0623 g/t 和回收率 60.63%，锌精矿中银品位和

回收率分别为 1 008.48 g/t 和 19.34%，银在铅锌精矿中的总回收率达到了 79.97%，试验结果较为理想。

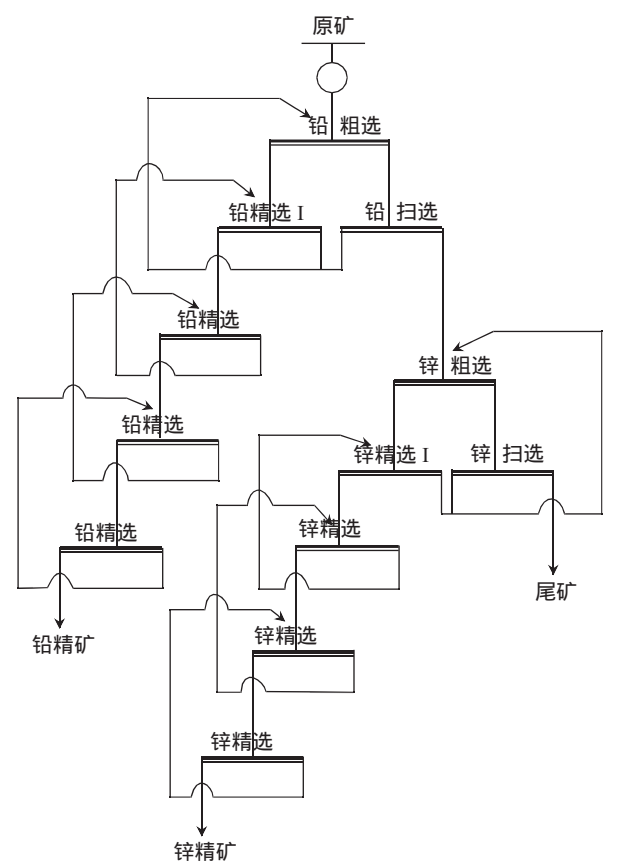


图 9 铅锌闭路浮选试验流程

Fig.9 Flowsheet of closed circuit test of lead-zinc flotation

4 结论

- 1) 矿石性质分析表明，原矿有用矿物主要为方铅矿、闪锌矿和一定量的伴生银矿物，在磨矿细度-74 μm 占 80%左右时，方铅矿和闪锌矿基本达到单体解离，在此磨矿细度条件下选别指标较好。
- 2) 研究表明，本单位最新研制的新型锌抑制剂 YZN 和新型铅捕收剂 BPB 对本研究所处理的复杂铅锌银硫化矿石具有高效的浮选分离效果。
- 3) 本研究采用高碱优先浮选工艺进行复杂铅

表 3 闭路浮选试验结果

Table 3 Results of closed circuit test of lead-zinc flotation

产品名称	产率	品位			回收率		
		Pb	Zn	Ag/(g·t ⁻¹)	Pb	Zn	Ag
铅精矿	2.11	50.45	8.64	3062.33	86.16	9.61	60.63
锌精矿	2.70	1.74	50.38	1008.48	3.81	71.80	19.34
尾矿	95.19	0.13	0.37	26.21	10.03	18.59	20.03
原矿	100.0	1.23	1.89	124.51	100.0	100.0	100.0

锌银硫化矿的高效浮选分离。在探索试验和条件试验的基础上进行了开路试验和实验室小型闭路试验，可以得到铅精矿品位 50.45%、铅回收率 86.16%，锌精矿品位 50.38%、锌回收率 71.80% 的选别指标。银在铅锌精矿中的总回收率达到 79.97%。

参考文献

[1] 刘守信.云南某地铅锌多金属硫化矿选矿试验研究[D]. 昆明:昆明理工大学 2007.

[2] 戴自希.世界铅锌资源和开发利用现状[J]. 世界有色金属 2004(3) 22-29.

[3] U. S. Geological Survey ,Mineral Commodity Summaries [Z]. 2007.

[4] 乔宗科. 提高某铅锌矿铅精矿质量的研究[J]. 有色金属(选矿部分) 2007(1) :4-6.

[5] 磨学诗,黄伟中,张雁生,等. 提高多金属硫化铅锌矿浮选指标的研究[J]. 有色金属(选矿部分) 2007(1) 9-12.

[6] 王 强. 强化铅锌矿中伴生银回收的试验研究[D]. 沈阳:东北大学 2004.

[7] 叶雪均. 低碱度下组合抑制剂对铅铁硫化矿的抑制性能及作用机理[J]. 南方冶金学院学报 2004(2) :1-5.

[8] Y Peng , S Grano , D Fornasiero , et al. Control of grinding conditions in the flotation of galena and its separation from pyrite[J]. International Journal of Mineral Processing 2003 ,70(1-4) :67-82.

[9] Y Peng , S Grano , D Fornasiero , et al. Control of grinding conditions in the flotation of chalcopyrite and its separation from pyrite[J]. International Journal of Mineral Processing 2003 ,69(1-4) :87-100.

[10] 黄红军. 云南某铅锌硫化矿浮选新工艺的研究[J]. 矿产综合利用 2008(1) 3-6.

[11] 胡岳华,冯其明. 矿物资源加工技术与设备[M]. 北京: 科学出版社 2006 209-210.