

新疆某大型铁矿伴生金锌的综合回收试验研究

陈慧杰，蒋升国，王星，张莉

(新疆维吾尔自治区矿产试验研究所，新疆，乌鲁木齐，83000)

摘要：为了综合回收新疆某大型铁矿伴生的有益元素金和锌，对具有代表性的矿石进行了矿石性质研究，查明了矿石中金矿物、锌矿物和铁矿物的赋存状态、嵌布粒度及它们与有益有害元素的共生关系。根据矿石性质，制定了优先浮选金矿物，金浮选尾矿经硫酸铜活化后浮选闪锌矿，锌浮选尾矿磁选铁的工艺流程。金浮选通过两段粗选两段精选获得金精矿金品位 27.38×10^{-6} ，金回收率 52.65%；锌浮选通过一段粗选两段扫选，锌粗精矿再磨至 -0.037 mm 85% 精选四段，获得锌精矿锌品位 49.53%，锌回收率 81.21%；锌浮选尾矿磁选回收铁，通过一段粗选一段精选，获得铁精矿铁品位 65.55%，铁回收率 84.71%。

关键词：铁闪锌矿；磁黄铁矿；浮选；分离；

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2019.04.010

中图分类号：TD952 文献标志码：A 文章编号：1000-6532 (2019) 04-0050-05

新疆某大型铁矿在伴生元素锌和金，为一个铁锌金复杂多金属矿。矿石中金属矿物种类多，共生关系比较复杂，闪锌矿含铁 7.93%，属于铁闪锌矿^[1]，可浮性较差。磁黄铁矿的含量较高且赋存状态复杂，铁闪锌矿与磁黄铁矿的分离工艺一直是选矿技术难题之一^[2-4]。按照地质平均品位将试验样品配矿为铁品位 37.55%，锌品位 1.60%，金品位 0.70×10^{-6} ，试验按照依次优先浮选金矿物，金浮选尾矿活化浮选闪锌矿，锌浮选尾矿磁选回

收铁的原则流程综合回收矿石中的金、锌、铁。试验取得了较好技术指标，能够为该矿石的综合利用提供技术支持并创造非常可观的经济效益。

1 矿石性质研究

矿石中金属矿物含量较高，种类多，主要为磁铁矿，次为闪锌矿、磁黄铁矿和褐铁矿，微量及少见矿物为黄铜矿、白铁矿、黄铁矿、毒砂和方铅矿，原矿化学多元素分析结果见表 1。

表 1 原矿化学多元素分析结果 /%
Table 1 The analysis results of multi-element of the run-of-mine ore

Fe	Zn	Cu	Pb	As	S	C	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	MgO	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	Au [*]	Ag [*]
37.55	1.60	0.03	0.06	0.21	1.74	1.44	13.24	3.98	0.17	2.97	0.11	12.98	0.25	0.09	0.70	1.20

*单位为 10^{-6} 。

磁铁矿是矿石中分布最广的金属矿物，含量 40% ~ 50%，多呈聚粒状分布，嵌布粒度较粗。

闪锌矿是矿石中伴生的主要金属矿物之一，含量 2% ~ 3%，多呈他形粒状，粒径多在 0.2 ~ 1.6 mm 之间，与磁铁矿呈连晶状分布。闪锌矿中多包裹磁黄铁矿、白铁矿和黄铜矿，被包裹的磁黄铁矿、白铁矿和黄铜矿粒径细小，部分磁黄铁矿沿闪

矿解理分布，为固溶体分离产物。闪锌矿电子探针分析结果表明，闪锌矿中 Fe 含量高，平均为 7.93%，属于铁闪锌矿。

磁黄铁矿为矿石中常见的伴生矿物，含量 1.5%，其产出状态可分为三类：（1）包裹于闪锌矿中，此类磁黄铁矿粒径细小，多小于 0.03 mm；（2）与磁铁矿呈规则状连生或闪锌矿呈不规则状

收稿日期：2018-04-03；改回日期：2018-04-19
作者简介：陈慧杰（1985-），女，选矿工程师，硕士研究生，主要从事选矿工艺研究与实践。

连生, 此类磁黄铁矿粒径较粗, 多在 0.3 ~ 2 mm 间, 其内包裹黄铁矿、白铁矿、毒砂和闪锌矿; (3) 磁黄铁矿交代毒砂分布。

原矿铁锌物相分析结果分别见表 2、3。

表 2 原矿铁物相分析结果

Table 2 Analysis results of iron phase in the raw ore

相别	磁铁矿 中铁	赤褐铁 矿中铁	硫化 铁中铁	菱铁 矿中铁	硅酸 铁中铁	全铁
含量 / %	32.30	1.93	0.33	1.02	2.02	37.60
分布率 / %	85.90	5.13	0.88	2.72	5.37	100.00

矿石中的铁主要赋存在磁铁矿中。

表 3 原矿锌物相分析结果

Table 3 Analysis results of zinc phase in the raw ore

相别	硫化锌 中锌	硫酸 锌中锌	锌铁尖晶 石中锌	氧化锌	总锌	全铁
含量 / %	1.35	0.00	0.18	0.07	1.60	37.60
分布率 / %	84.38	0.00	11.25	4.37	100.00	100.00

矿石中的锌主要赋存在硫化锌矿物中。

原矿中金品位较低, 显微镜下光片鉴定未找到金矿物, 原矿金物相分析结果见表 4。

表 4 原矿金物相分析结果

Table 4 Analysis results of gold phase in the raw ore

相别	硫化物 包裹金	自然 金	碳酸盐 包裹金	难溶硅酸 盐包裹金	褐铁矿 包裹金	总金
含量 / 10^{-6}	0.13	0.32	0.18	0.06	0.03	0.72
分布率 / %	18.06	44.44	25.00	8.33	4.17	100.00

金物相分析结果表明: 矿石中金矿物的赋存状态比较复杂, 浮选工艺能够回收的主要是自然金和硫化物包裹金。将浮选金精矿分级别进行 MLA (矿物自动分析) 鉴定, 浮选精矿中的金矿物主要为自然金、金银矿和银金矿, 金矿物粒度均小于 27 微米, 浮选金精矿中金矿物与毒砂的关系密切。

2 结果与讨论

2.1 选矿原则流程的确定

根据矿石性质, 采用浮选工艺回收矿石中的金、锌, 浮选尾矿磁选回收铁。选矿原则流程确定为: 磨矿→优先浮选金→金浮选尾矿经硫酸铜活化后浮选锌→锌浮选尾矿磁选铁。

2.2 金浮选磨矿细度试验

为了综合考察磨矿细度对金、锌浮选的影响, 金浮选磨矿细度试验同时考察了金浮选作业和锌浮

选作业, 试验流程见图 1, 金精矿指标与磨矿细度的关系见图 2, 锌精矿指标与磨矿细度的关系见图 3。

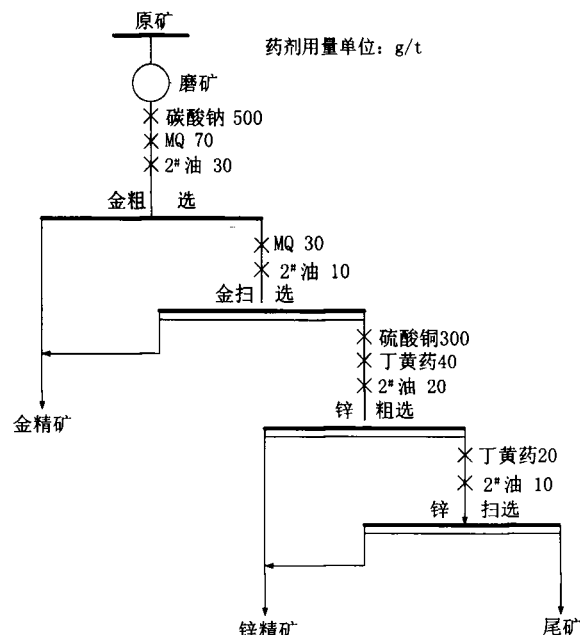


图 1 磨矿细度试验流程

Fig. 1 Test flow of grinding fineness

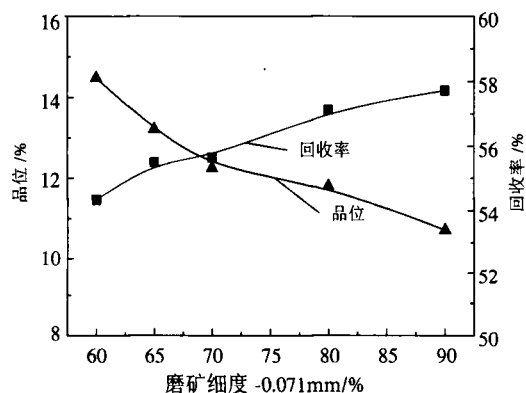


图 2 金精矿与磨矿细度的关系

Fig. 2 The relationship between gold concentrate and grinding fineness

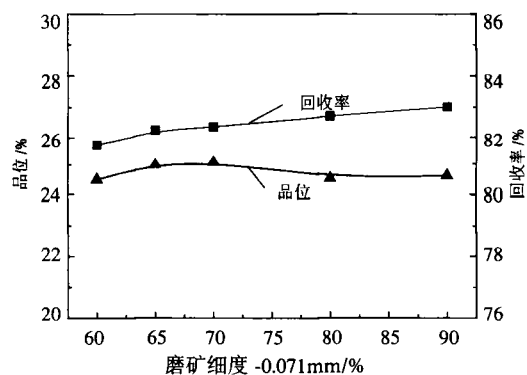


图 3 锌精矿与磨矿细度的关系

Fig. 3 The relationship between Zinc concentrate and grinding fineness

由试验结果可知：随着磨矿细度的增加，金精矿品位逐渐降低，金回收率逐渐增加，但增加幅度不大；锌精矿品位变化不显著，锌精矿回收率有增加的趋势，但增幅不大。结合矿石性质，矿石中金矿物的嵌布粒度微细，闪锌矿的嵌布粒度较粗，但闪锌矿颗粒中包裹磁黄铁矿，磁铁矿的嵌布粒度较粗，综合分析，金浮选磨矿细度确定为 -0.071 mm 65%，为了提高金精矿和锌精矿品位，后续可进行金精矿和锌粗精矿再磨再选，降低粗选磨矿成本。

2.3 金浮选捕收剂种类试验

金浮选作业尽可能地将矿石中已经单体解离的黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂等硫化物富集在金精矿中，一方面可以增加金的回收率，另一方面可以减少以上硫化物进入锌精矿，有利于提高锌精矿品位。试验流程见图 4，试验结果见表 5。

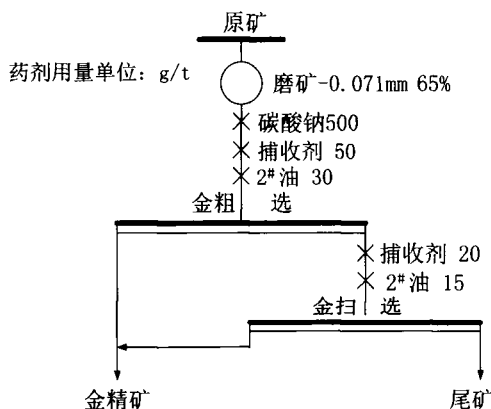


图 4 金浮选捕收剂种类试验流程

Fig.4 Test flow of gold flotation collectors

表 5 金浮选捕收剂种类试验结果

Table 5 Test results of gold flotation collectors

捕收剂种类及用量 / (g·t ⁻¹)	产品名称	产率 / %	品位		回收率 / %	
			Au/10 ⁻⁶	Zn/%	Au	Zn
丁黄药 50+20	金精矿	2.34	12.72	4.19	45.13	6.11
	尾矿	97.66	0.37	1.54	54.87	93.89
	原矿	100.00	0.66	1.60	100.00	100.00
MQ50+20	金精矿	2.59	15.00	5.06	57.09	8.19
	尾矿	97.41	0.30	1.51	42.91	91.81
	原矿	100.00	0.68	1.60	100.00	100.00

试验结果表明：捕收剂 MQ 对金的回收率比丁黄药显著增加，锌在金精矿中的损失也不严重，再次验证该矿石中的铁闪锌矿可浮性较差，金浮选捕收剂采用 MQ，用量为 50+20 g/t。

2.4 锌浮选硫酸铜用量试验

金浮选尾矿经硫酸铜活化后浮选闪锌矿，硫酸铜用量试验结果见图 5。

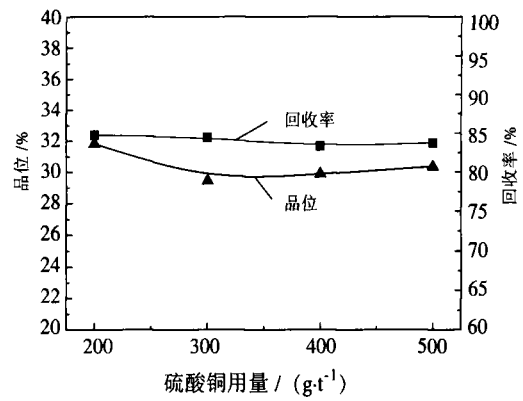


图 5 锌浮选硫酸铜用量试验结果

Fig.5 Test results of copper sulphate dosage in zinc flotation

试验结果表明：经硫酸铜活化后，锌精矿的回收率近 85%，硫酸铜用量从 200 g/t 增加至 500 g/t，锌精矿回收率增加不明显，活化剂硫酸铜用量为 200 g/t 即可。

2.5 锌浮选捕收剂用量试验

经硫酸铜活化后，丁基黄药作捕收剂浮选闪锌矿，丁黄药用量试验结果见图 7。

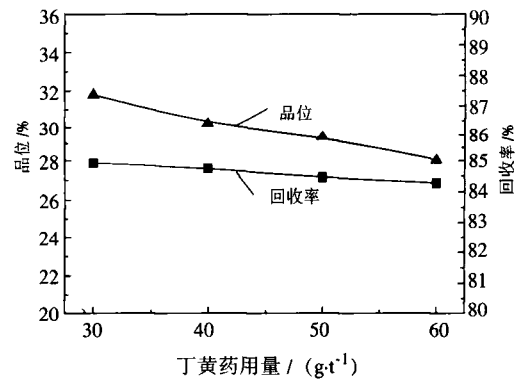


图 6 锌浮选捕收剂用量试验结果

Fig.6 Test result of collector dosage in zinc flotation

随着丁黄药用量的增加，锌精矿品位逐渐降低，锌精矿回收率基本不变，确定捕收剂丁黄药用量为 30 g/t。

2.6 锌精选再磨细度试验

根据矿石性质，闪锌矿的嵌布粒度较粗，多在 0.2 ~ 1.6 mm 之间，但闪锌矿中多包裹磁黄铁矿，此类磁黄铁矿的粒径细小，多小于 0.03 mm。要提高锌精矿品位，锌粗精矿必须再磨后抑制磁黄铁矿。锌粗精矿再磨精选试验流程见图 7，试验结果见图 8。

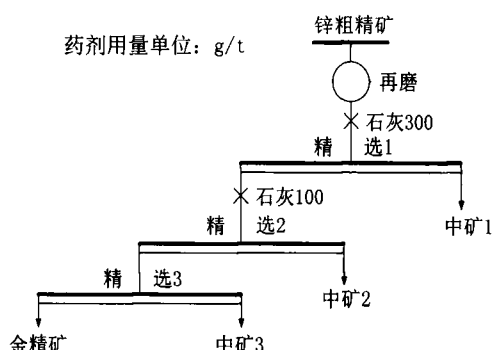


图7 锌精选试验流程

Fig.7 Test flow of zinc cleaning

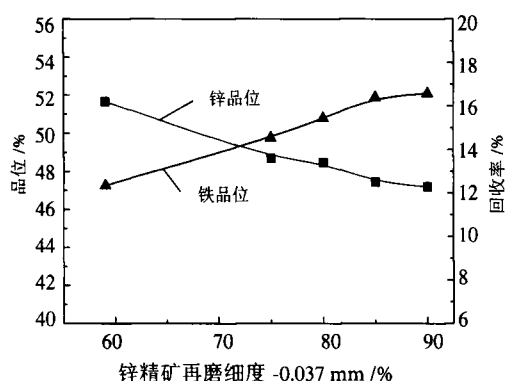


图8 锌精选试验结果

Fig.8 Test results of zinc cleaning separation

随着锌粗精矿再磨细度的增加，锌精矿品位不断升高，锌精矿中铁品位逐渐降低。通过再磨，闪锌矿与被包裹的磁黄铁矿解离，能够实现闪锌矿与磁黄铁矿的分离。根据试验指标确定锌粗精矿再磨细度为-0.037 mm 85%。

2.7 金锌浮选全流程开路试验

试验流程见图9，试验结果见表6。

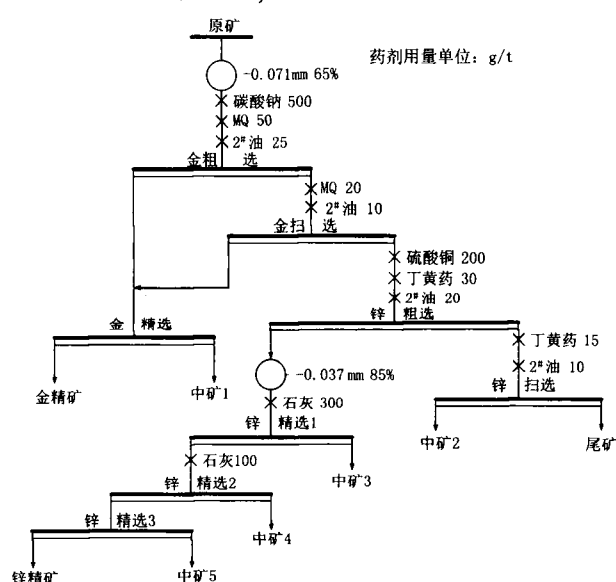


图9 开路试验流程

Fig.9 Open-circuit test flowsheet

表6 开路试验结果

Table 6 Open-circuit test results

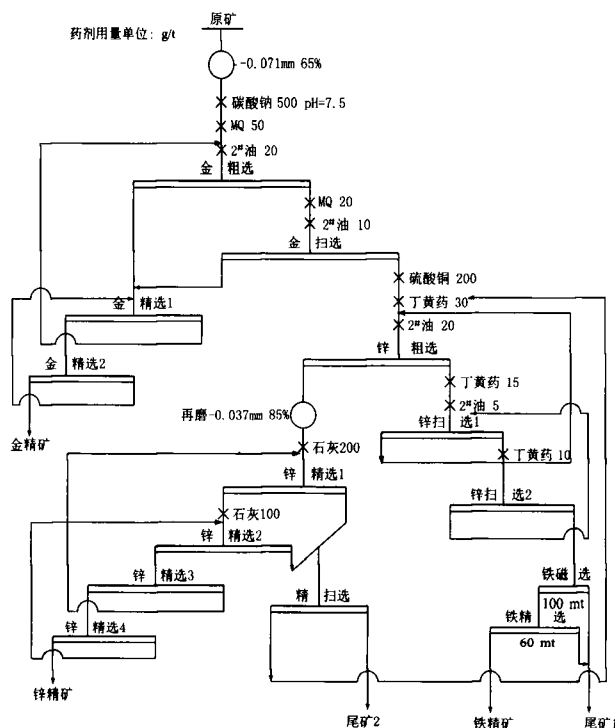
产品名称	产率 / %	品位 / %			回收率 / %		
		金 / 10 ⁻⁶	锌 / %	铁 / %	金	锌	铁
金精矿	1.31	28.57	5.07	27.80	53.39	4.04	0.99
中矿1	1.13	3.09	3.54	20.20	4.97	2.43	0.62
锌精矿	2.18	2.04	51.75	14.20	6.36	68.86	0.85
中矿5	0.16	/	23.28	25.30	/	2.33	0.11
中矿4	0.62	/	12.45	27.80	/	4.74	0.47
中矿3	1.54	2.29	8.33	26.30	5.04	7.82	1.11
中矿2	0.78	/	4.03	24.70	/	1.90	0.52
尾矿	92.28	0.23	0.14	37.80	30.32	7.88	95.32
原矿	100.00	0.70	1.64	36.59	100.00	100.00	100.00

注：个别中矿因产率太小未做金品位分析。

全流程开路试验结果表明，金精选一段金品位 28.57g/t，金回收率 53.39%。锌三段精选锌精矿品位 51.75%，锌回收率 68.86%。

2.8 金锌铁综合回收全流程闭路试验

分析开路试验指标，确定中矿返回方式及地点，制定闭路试验流程及药剂制度见图10，闭路试验结果见表7。



10 闭路试验流程

Fig.10 Process of closed-circuit test

表 7 闭路试验结果

Table 7 Results of closed-circuit test

产品名称	产率 /%	品位			回收率 /%		
		金 /10 ⁻⁶	锌 /%	铁 /%	金	锌	铁
金精矿	1.33	27.38	6.85	29.98	52.65	5.78	1.09
锌精矿	2.59	2.44	49.53	14.19	9.12	81.21	1.00
尾矿 2	1.67	2.32	4.21	27.30	5.58	4.45	1.24
浮选尾矿	94.41	0.24	0.14	37.67	32.65	8.56	96.67
原矿	100.00	0.69	1.58	36.78	100.00	100.00	100.00
铁精矿	47.54	/	0.15	65.55	/	/	84.71
尾矿 1	46.87	/	/	9.38	/	/	11.96

3 结 论

(1) 新疆某大型铁金锌多金属矿，矿石性质复杂，金、锌的品位较低，闪锌矿含铁较高。根据矿石性质，制定了优先浮选金矿物，金浮选尾矿经硫酸铜活化后浮选闪锌矿，锌浮选尾矿磁选铁的工艺流程，能够综合回收矿石中的金、锌、铁。

(2) 全流程闭路试验获得金精矿金品位 27.38×10^{-6} ，金回收率 52.65%；获得锌精矿锌品位 49.53%，锌回收率 81.21%；获得铁精矿铁品位 65.55%，铁回收率 84.71%。试验指标良好。

(3) 金回收率偏低的主要原因是原矿金品位较低，金的赋存状态复杂，原矿中自然金和硫化物包裹金的比例为 62.50%，金的嵌布粒度微细，一部分金包裹在闪锌矿中。

(4) 锌精选出产品尾矿 2，尾矿 2 是包裹在闪锌矿中细粒磁黄铁矿的出口，是保证锌精矿品位的关键。尾矿 2 中金品位 2.32×10^{-6} ，锌品位 4.21%，该铁矿日处理量达 5000 t，尾矿 2 的产量可观，应单独存放，后续工作中仍需继续研究综合回收尾矿 2 中的金和锌。

参考文献：

[1] 童雄,周庆华,何剑,等.铁闪锌矿的选矿研究概况[J].金属矿山,2006(6): 8-12.
[2] 杜显彦,韩统坤,冯博,等.铁闪锌矿与磁黄铁矿分离技术现状与进展[J].四川有色金属,2013(4): 11-15.
[3] 聂光华,李师,邱盛华.某铁闪锌矿浮选试验研究[J].矿冶工程,2012,32(4): 44-47.
[4] 饶峰.铁闪锌矿的活化与磁黄铁矿的抑制机理试验研究[D].昆明:昆明理工大学,2006.

Comprehensive Recovery of Gold and Zinc Associated with a Large Iron Ore in Xinjiang

Chen Huijie, Jiang Shengguo, Wang Xing, Zhang Li

(Minerals Experimental Institute of Xinjiang Uygur Autonomous Region, xinjiang, Urumqi, China)

Abstract: This paper is studying on the recovery of the beneficial elements gold and zinc in a large iron ore in Xinjiang. Based on the research of ore properties of representative sample, the occurrence state, the particle size, the symbiotic relationship between the gold minerals, zinc minerals and iron minerals in the ores have been identified, According to the ore properties, the process flow of mineral processing is determined: preferential flotation of gold minerals, gold flotation tailings activated by copper sulfate flotation of sphalerite, and zinc flotation tailings magnetic separation of iron, The gold concentrate is recovered by two roughing and two scavenging, the gold grade of concentrate is 27.38×10^{-6} , and the gold recovery rate is 52.65%. The zinc is separated through one roughing and two scavenging flotation, the zinc coarse concentrate is regrinded to -0.037 mm 85%, and then four cleaning, the zinc grade of concentrate is 49.53% and the recovery rate of zinc is 81.21%. Finally, the iron is obtained by Zinc flotation tailings magnetic separation, through one roughing and one cleaning, iron concentrate grade of iron concentrate 65.55%, iron recovery rate of 84.71%.

Keywords: Christophite; Pyrrhotite; Flotation; Separate;