

青海铁矿伴生金银铜的综合回收

陈勇

(中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司 矿冶研发中心, 陕西 西安 710061)

摘要: 青海铁矿中伴生少量的金银铜, 这些伴生矿物达到回收标准, 实验采用先磁后浮及先浮后磁工艺流程进行对比实验研究, 研究结果表明, 采用先磁后浮流程可获得铁精矿含全铁 68.25%, 铁回收率 77.48%, 铜精矿含铜 28.60%, 铜回收率 41.14%, 铜精矿含金 18.60 g/t, 含银 1127.91 g/t, 金回收率 44.44%, 银回收率 46.23%, 实验指标较为理想, 达到了伴生矿产资源综合利用的目的, 对同类型矿产资源综合利用具有一定的参考价值。

关键词: 铁矿; 伴生; 多金属矿; 综合利用

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.04.003

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 04-0012-05

随着我国经济发展的不断推进, 矿产资源日趋贫化, 资源日益枯竭, 面对矿产资源领域不断出现的难题, 即“贫, 细, 杂”资源越来越多, 加上采矿成本和环保维护费的逐年上升, 企业对矿石综合回收开始重视, 尤其对提高资源的利用率^[1-3]。加大矿产资源综合利用力度, 提高有用组分综合回收和总体利用水平, 已成为矿产资源安全供应, 矿山可持续发展的战略需要^[4-6]。

1 矿石性质

实验样矿石类型为矽卡岩型铁矿石。磁铁矿为主要的目的矿物, 其次是含铜矿物。矿石中主要金属矿物为磁铁矿及少量黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、孔雀石、闪锌矿、方铅矿, 主要脉石矿物有钙铁榴石、伊利石、方解石、斜长石、闪石等。原矿化学多元素分析见表 1, 铁、铜物相分析结果见表 2。

表 1 原矿化学多元素分析结果/%

Table 1 Results of chemical multielement analysis of raw ore

Fe ₂ O ₃	TFe	mFe	Cu	Pb	Zn	S	As	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Au*	Ag*	烧失量
45.18	31.71	24.07	0.30	0.006	0.093	0.18	0.017	23.04	0.44	0.39	0.10	18.92	2.92	0.88	0.54	2.53	0.20	12.50	2.81

*单位为g/t。

表 2 原矿铁、铜物相分析结果

Table 2 Analysis results of iron and copper phase of raw ore

名称	TFe品位/%	分布率/%	名称	Cu品位/%	分布率/%
磁性铁中铁	24.11	75.82	硫化铜	0.11	36.18
碳酸铁中铁	0.11	0.35	氧化铜	0.19	62.50
赤褐铁中铁	2.45	7.70	结合铜	0.004	1.32
硅酸铁中铁	5.08	15.97			
黄铁矿中铁	0.05	0.16			
合计	31.80	100.00	合计	0.304	100.00

收稿日期: 2020-05-12

作者简介: 陈勇 (1982-), 男, 助理工程师, 主要从事矿产资源综合利用技术研究工资。

从表1中可以看出，主要回收目的矿物为磁铁矿，综合回收伴生金、银、铜。

2 选矿实验

2.1 实验方案的确定

主要回收的矿物为磁性铁，综合回收的矿物金、银、铜三种矿物，对于磁性铁采用弱磁场磁选工艺流程，而金、银、铜则采用浮选工艺流程。因此，对该矿石可采用两种工艺流程：

(1) 先浮后磁工艺流程，即先用浮选回收金、银、铜，浮选尾矿再用弱磁选法回收磁铁矿。

(2) 先磁后浮工艺流程，即先用弱磁场磁选回收磁性矿，弱磁尾矿再用浮选法回收伴生的金、银、铜、硫矿物。

2.2 先浮后磁工艺流程实验

2.2.1 磨矿细度实验

磨矿细度实验在调整剂 1000 g/t，捕收剂 Z-200 24 g/t，丁基黄药 10 g/t，起泡剂 2#油 20 g/t 的条件下，考查磨矿细度对金、银、铜回收的影响，磨矿细度实验结果见图1。

由图1可知，随着磨矿细度增加，铜精矿品位及回收率变化不大，故选磨矿细度-74 μm 50%为宜。

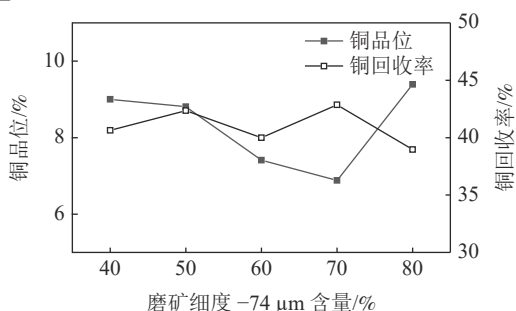


图1 磨矿细度实验结果

Fig.1 Results of grinding fineness test

2.2.2 调整种类及用量实验

磨矿细度-74 μm 50%；捕收剂 Z-200 24 g/t，丁基黄药 10 g/t；起泡剂 2#油 20 g/t 条件下做调整剂种类及用量实验。实验结果见表3。

由表3可以看出，通过几种调整剂对比，石灰、硫化钠做调整剂，铜品位和回收率指标较好，下面将对石灰和硫化钠做详细用量实验。

2.2.3 硫化钠和石灰用量实验

磨矿细度-74 μm 50%；捕收剂 Z-200 24 g/t，丁基黄药 10 g/t；起泡剂 2#油 20 g/t。硫化钠用量实

验结果见图2，石灰用量实验结果见图3。

表3 调整剂种类及用量实验结果

调整剂种类及用量/(g·t ⁻¹)	产品名称	产率/%	Cu品位/%	Cu回收率/%
不加 pH值6~7	铜粗精矿	2.60	5.20	43.55
	尾矿	97.40	0.18	56.45
	原矿	100.00	0.31	100.00
石灰500 pH值7~8	铜粗精矿	1.59	9.16	46.65
	尾矿	98.41	0.17	53.35
	原矿	100.00	0.313	100.00
硫酸铜500 pH值6~7	铜粗精矿	1.53	8.13	37.58
	尾矿	98.43	0.21	62.42
	原矿	100.00	0.33	100.00
硫化钠500 pH值6~7	铜粗精矿	2.19	6.67	48.34
	尾矿	97.81	0.16	51.66
	原矿	100.00	0.302	100.00
硅酸钠1000 pH值7	铜粗精矿	1.06	9.75	35.40
	尾矿	98.94	0.19	64.60
	原矿	100.00	0.291	100.00
亚硫酸钠500 pH值7	铜粗精矿	2.23	6.13	43.77
	尾矿	97.77	0.18	56.23
	原矿	100.00	0.313	100.00
碳酸钠1000 pH值7	铜粗精矿	1.48	8.81	42.35
	尾矿	98.52	0.18	57.65
	原矿	100.00	0.307	100.00

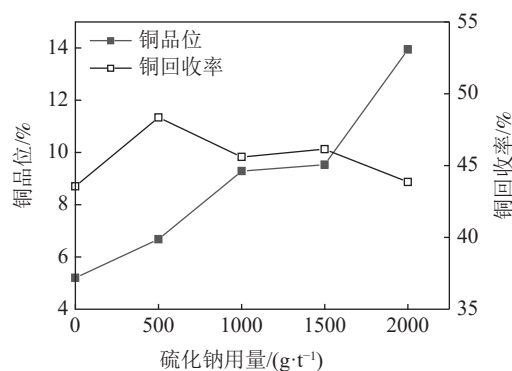


图2 硫化钠用量实验结果

Fig.2 Test results of sodium sulfide dosage

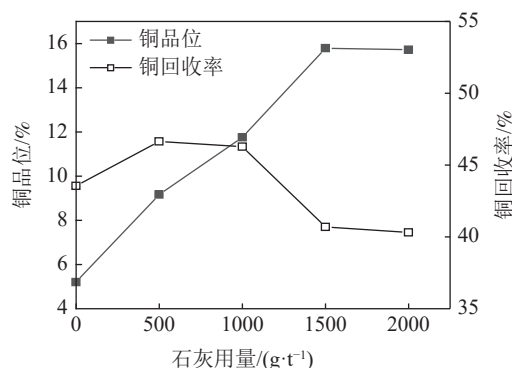


图3 石灰用量实验结果

Fig.3 Test results of lime dosage

从图2、3可知，硫化钠做调整剂，用量 1000~

1500 g/t 即可，石灰做调整剂，石灰用量 1000 g/t 即可。

2.2.4 捕收剂种类及用量

为使铜、金、银最大限度的回收，捕收剂的选择尤为重要，捕收剂既要 对铜、金、银选择性好，又要对其有较强捕收能力。实验固定条件：磨矿细度-74 μm 50%，调整剂石灰 1000 g/t，2#油 20 g/t。实验结果见表 4。

由表 4 可以看出，捕收剂 Z-200 配丁基黄药 优于其他几种捕收剂，捕收剂用量 Z-200 24 g/t，丁基黄药 10 g/t 即可。

2.2.5 浮选尾矿磁选实验

浮选尾矿磁选实验，经磁场强度实验粗选 磁场强度 119.37 kA/m，一精磁场强度 99.47 kA/m，二精磁场强度 87.54 kA/m，铁粗精矿再磨细度 -45 μm 91.80% 时，取得的指标较理想。

2.2.6 闭路实验

在综合条件实验及开路实验基础上进行了闭路实验，先浮后磁闭路实验工艺流程见图 4，先磁后浮闭路实验工艺流程见图 5，实验结果见表 5。

表 4 捕收剂种类及用量实验结果				
Table 4 Test results of type and dosage of collector				
捕收剂种类及用量/(g·t ⁻¹)	产品名称	产率/%	Cu品位/%	Cu回收率/%
Z-200 16	铜粗精矿	0.78	15.23	38.64
	尾矿	99.22	0.19	61.36
	原矿	100.00	0.308	100.00
Z-200 24	铜粗精矿	1.82	7.53	43.63
	尾矿	98.18	0.18	56.37
	原矿	100.00	0.314	100.00
Z-200 16 丁基黄药10	铜粗精矿	1.65	8.99	46.98
	尾矿	98.35	0.17	53.02
	原矿	100.00	0.315	100.00
Z-200 24 丁基黄药10	铜粗精矿	1.62	9.35	47.34
	尾矿	98.38	0.171	52.66
	原矿	100.00	0.319	100.00
丁基黄药50	铜粗精矿	0.77	15.16	38.24
	尾矿	99.23	0.19	61.76
	原矿	100.00	0.306	100.00
丁基黄药30 丁胺黑药20	铜粗精矿	1.40	10.20	45.98
	尾矿	98.60	0.17	54.02
	原矿	100.00	0.311	100.00
丁基黄药10 羟肟酸30	铜粗精矿	2.73	5.53	50.12
	尾矿	97.27	0.16	49.88
	原矿	100.00	0.302	100.00

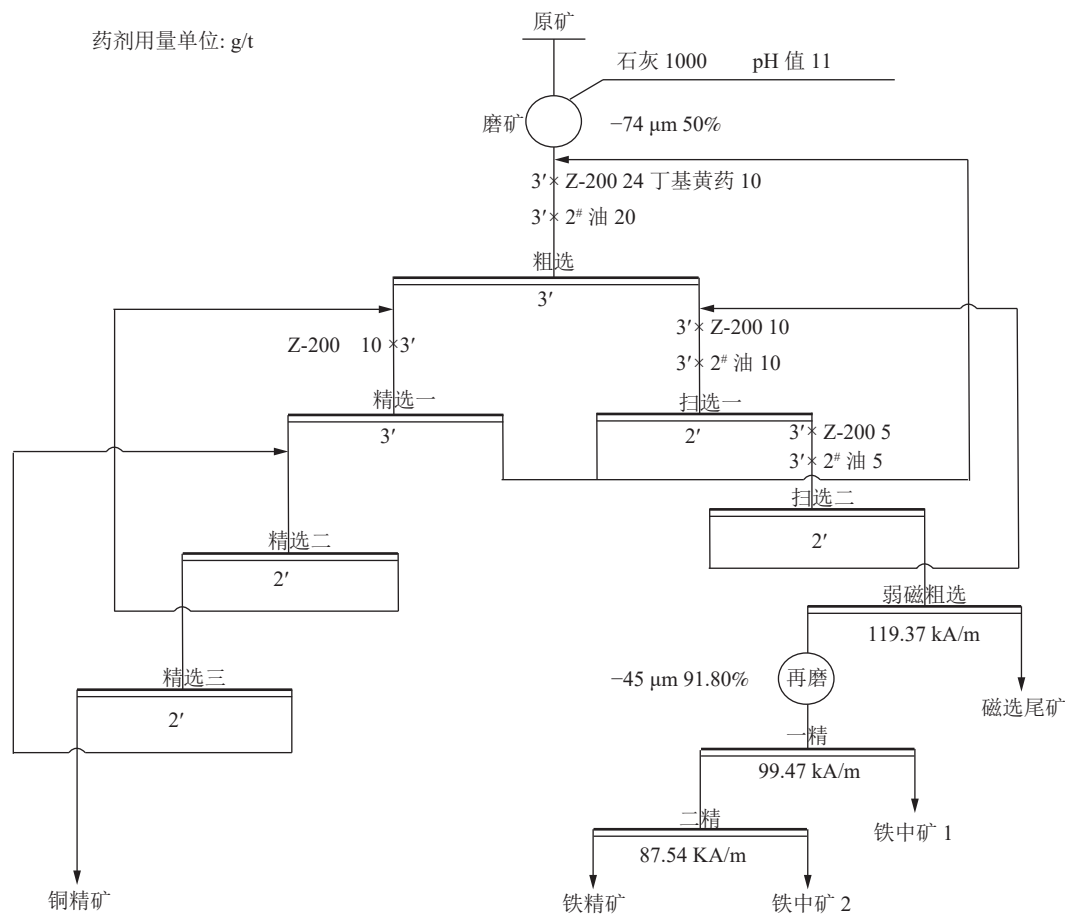


图 4 先浮后磁闭路实验工艺流程

Fig.4 Process flow of floating first and then magnetic closed-circuit test

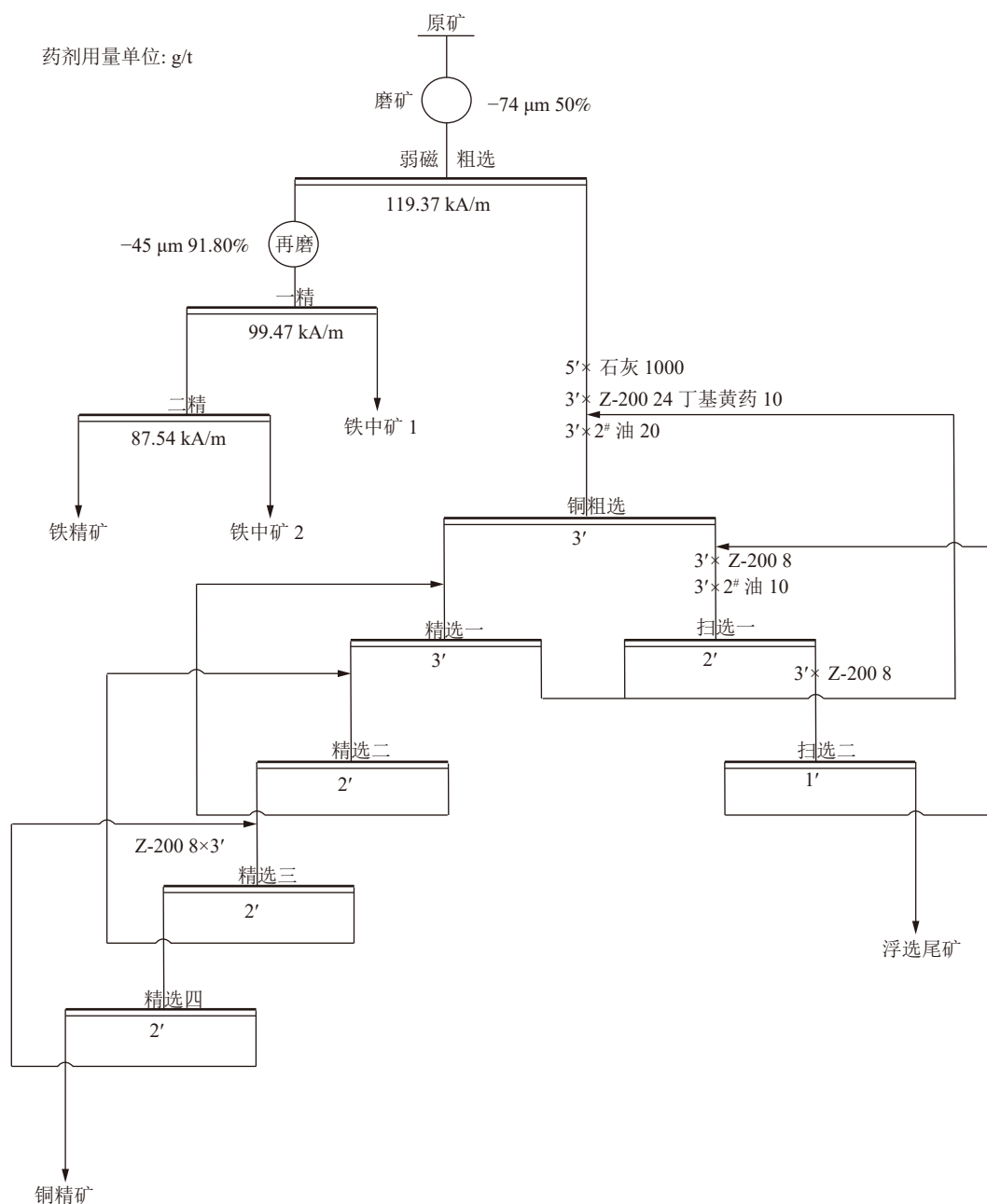


图5 先磁后浮闭路实验工艺流程

Fig.5 Process flow of magnetic first and then floating closed-circuit test

3 结 语

(1) 实验矿石类型为矽卡岩型铁矿石。原矿 TFe 品位 31.56%、mFe 品位 24.07%，伴生矿物 Cu 品位 0.302%，Au 品位 0.20 g/t、Ag 品位 12.50 g/t、S 品位 0.18%，伴生铜、金、银均达综合回收要求。实验在充分回收铜的前提下，将金、银也进行了综合回收，产品达到品级要求。金、银主要富集于铜精矿中，可计价。

(2) 矿石中伴生的有价元素采用两种工艺进行回收，实验指标：先浮后磁工艺流程，可获得

铜精矿产率 0.74%，铜精矿品位 18.38%，铜精矿含金 10.0 g/t，含银 876.35 g/t，铜回收率 44.59%，金回收率 40.44%，银回收率 51.71%；铁精矿产率 34.34%，铁精矿品位 67.83%，全铁回收率 73.29%。

先磁后浮工艺流程，可获得铁精矿产率 34.35%，铁精矿品位 68.25%，全铁回收率 73.94%；铜精矿产率 0.43%，铜精矿品位 28.60%，铜精矿含金 18.60 g/t，含银 1347.91 g/t，铜回收率 41.14%，金回收率 44.44%，银回收率 46.44%。

表 5 闭路实验结果
Table 5 Closed circuit test results

工艺流程	产品名称	产率/%	品位/%				回收率/%			
			Cu	Au*	Ag*	TFe	Cu	Au	Ag	TFe
先浮后磁	铜精矿	0.74	18.38	10.0	876.35	20.95	44.59	40.44	51.71	0.49
	铁精矿	34.34	0.11	0.09	5.46	67.83	12.46	16.94	14.95	73.29
	中矿2	0.46	0.16	0.11	7.24	21.24	0.33	0.55	0.26	0.31
	中矿1	4.26	0.14	0.13	6.88	11.57	1.97	3.28	2.34	1.55
	尾矿	60.20	0.20	0.12	6.40	12.89	40.65	38.79	30.74	24.36
	原矿	100.00	0.305	0.183	12.54	31.78	100.00	100.00	100.00	100.00
先磁后浮	铁精矿	34.35	0.12	0.10	5.39	68.25	13.71	18.89	14.81	73.94
	中矿2	0.90	0.15	0.11	7.24	45.12	0.33	0.56	0.56	1.29
	中矿1	4.25	0.13	0.12	6.80	18.05	2.01	2.78	2.32	2.43
	铜精矿	0.43	28.60	18.60	1347.91	11.63	41.14	44.44	46.44	0.16
	尾矿	60.07	0.21	0.10	7.45	11.70	42.81	33.33	35.87	22.18
	原矿	100.00	0.299	0.18	12.49	31.70	100.00	100.00	100.00	100.00

*单位为g/t。

(3) 金、银回收率不高, 主要原因是矿石中的载体矿物铜粒度微细, 并且被脉石矿物包裹, 因此造成金、银回收率受到一定影响。

参考文献:

- [1] 张铃, 蒋太国, 方建军, 等. 铜矿中伴生金银综合回收研究进展[J]. *贵金属*, 2020(5):1-8.
- ZHANG L, JIANG T G, FANG J J, et al. Research progress on comprehensive recovery of associated gold and silver in copper mines[J]. *Precious Metals*, 2020(5):1-8.
- [2] 冯博, 朱贤文, 彭金秀, 等. 有色金属硫化矿中伴生金银资源回收研究进展[J]. *贵金属*, 2016, 37(2):70-76.
- FENG B, ZHU X W, PENG J X, et al. Research progress on recovery of associated gold and silver resources in nonferrous metal sulfide ores[J]. *Precious Metals*, 2016, 37(2):70-76.
- [3] 宛鹤. 复杂多金属矿石共(伴)生金银综合利用的试验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
- WAN H. Experimental study on the comprehensive utilization

of gold and silver in complex polymetallic ores [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2009.

[4] 徐莲芳. 我国有色金属及黄金的综合回收技术[J]. *世界有色金属*, 1999(10):19-21.

XU L F. Comprehensive recovery technology of non-ferrous metals and gold in my country[J]. *World Non-ferrous Metals*, 1999(10):19-21.

[5] 孙长泉. 铜铁矿石伴生金银的综合回收[J]. *中国矿业*, 1999(4):54-56.

SUN C Q. Comprehensive recovery of gold and silver associated with copper and iron ore[J]. *China Mining Industry*, 1999(4):54-56.

[6] 高洪山, 肖春泉. 浅析提高有色金属伴生金银综合回收水平的几个重要途径[J]. *矿产保护与利用*, 1994(3):35-38+55.

GAO H S, XIAO C Q. Analysis on several important ways to improve the comprehensive recovery level of gold and silver associated with non-ferrous metals[J]. *Mineral Protection and Utilization*, 1994(3):35-38+55.

(下转第 20 页)