

某高硫磁铁精矿磁选—脱磁—复合活化反浮选脱硫试验*

廖军平^{1,2}, 黄自力^{1,2}, 崔军³, 叶子青^{1,2}, 石家力^{1,2}

(1. 武汉科技大学 资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430081; 2. 冶金矿产资源高效利用与造块湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430081; 3. 青海南川美格金属粉末开发有限公司, 青海 格尔木 730000)

摘要:对 TFe、S 品位分别为 55.61%、3.81%, 主要硫化矿为磁黄铁矿和黄铁矿的某磁选铁精矿进行了系统的磁选—脱磁—复合活化反浮选脱硫试验研究。试验结果表明, 该试样在磨矿细度 -0.038 mm 占 88.32% 条件下进行弱磁选, 磁选精矿脱磁后, 用硫酸调整矿浆 pH 值至 5.5, 以 $H_2C_2O_4 + CuSO_4 + Na_2S$ 为复合活化剂, 高级黄药(烃基碳原子数为 5~7, 下同) + 丁铵黑药为组合捕收剂, 进行了一粗两扫三精反浮选全流程闭路试验, 试验取得了铁精矿 TFe 品位 66.71%、TFe 回收率 81.57%、S 含量 0.33%, 副产品硫精矿 S 品位 29.98% 的良好指标。该研究较好地解决了矿山实际生产问题。

关键词:铁精矿; 脱硫; 浮选; 脱磁; 磁铁矿; 磁黄铁矿

中图分类号: TD951.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2019)04-0125-06

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.02.031

Desulfurization Experiment of a High Sulfur Iron Concentrate by Magnetic Separation – Demagnetization – Composite Activation Reverse Flotation

LIAO Junping^{1,2}, HUANG Zili^{1,2}, CUI Jun³, YE Ziqing^{1,2}, SHI Jiali^{1,2}

(1. Wuhan University of Science and Technology, College of Resources and Environmental Engineering, Wuhan 430081, China; 2. Metallurgy and Mineral Resources Efficient Utilization and Building Block Hubei Key Laboratory, Wuhan 430081, China; 3. Qinghai Nanchuan Meige Metal Powder Exploiting Co. LTD., Geermu 730000, China)

Abstract: Systematic magnetic separation – demagnetization – combined activation reverse flotation desulfurization experiments were carried out on a magnetic concentrate with the iron grade of 55.61% and the sulfur grade of 3.81% whose main sulfide ores are pyrrhotite and pyrite. The test results showed that the sample was subjected to a weak magnetic separation test under the condition of grinding fineness -0.038 mm accounting for 88.32%. After demagnetization of the magnetic separation concentrates, the closed – circuit test of the whole process of “one – stage roughing, two – stage scavenging, three – stage cleaning and reverse flotation” was carried out with the pulp pH of 5.5 adjusted by sulfuric acid, compound activator of $H_2C_2O_4 + CuSO_4 + Na_2S$, and combined collector of the advanced xanthate (hydrocarbyl carbon number is 5 – 7) and the ammonium butyl aerofloat. The test finally obtained the iron concentrate grade of 66.71%, the iron recovery of 81.57%, the sulfur content of 0.33%, and the by – product sulfur concentrate sulfur grade of 29.98%. The study better solved the actual production problems of the mine.

Key words: iron concentrate; desulfurization; flotation; demagnetization; magnetite; pyrrhotite

国民经济的快速发展需要大量的钢铁资源作为支撑, 而磁铁矿是钢铁行业的主要原料之一, 但我国

* 收稿日期: 2018 – 11 – 02

基金项目: 国家自然科学基金(51272188)

作者简介: 廖军平(1991 –), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为选矿及二次资源综合利用。

通信作者: 黄自力(1965 –), 男, 博士, 教授, 主要从事矿物加工与资源综合利用研究, E – mail: huangzili0424@163.com。

的铁矿石大多均有“高硫、嵌布粒度细且含硫铁矿与磁铁矿关系密切”的特点,经过磁选得到的铁精矿大都存在硫含量过高的问题^[1-3],根据钢铁冶炼要求可知,铁矿石中硫含量每升高0.1个百分点,焦比升高5个百分点^[4],高硫铁精矿炼铁产生的生铁,因含硫在其热加工过程中,会产生热脆等危害,降低钢铁产品质量^[5-6]。为了解决这些问题,需对高硫铁精矿进行选矿处理;磁选过程就能将大部分黄铁矿脱除,但磁黄铁矿因具有强磁性易混入磁选铁精矿中并产生“富集”效应,反浮选是去除磁黄铁矿的有效方法^[7]。国内对磁铁矿与磁黄铁矿分离研究较多,苏建芳等^[8]对硫主要以磁黄铁矿形式的加拿大某磁铁矿,用硫酸+硫酸铜作为活化剂,并用异戊黄药+丁铵黑药为捕收剂进行反浮选脱硫,较好地解决了矿山生产的实际问题。常宝乾等^[9]用新型活化剂TZ-12,对硫化矿以磁黄铁矿为主的青海某高硫铁精矿反浮选脱硫,为磁选高硫铁精矿提供了新的有效途径。

本文对某高硫磁铁矿进行了工艺矿物学研究,在此基础上展开系统的条件试验。最终在条件试验的基础上,通过全流程闭路试验获得 TFe 品位66.71%、S 含量0.33%、TFe 回收率68.00%的合格铁精矿。

1 试样性质研究

试样为某高硫铁矿的弱磁选铁精矿。对试样进行了化学多元素分析、铁物相分析和粒度组成结果见表1、表2和表3。

表1 试样化学多元素分析 /%

Table 1 Results of chemical multi-element analysis of the sample

Composition	TFe	S	Zn	Cu	CaO	SiO ₂	As	MgO	Other
Content	55.61	3.81	0.51	0.02	13.69	19.48	<0.02	3.32	4.54

由表1可知,试样 TFe 品位为55.61%,S 品位较高,达3.81%。依据铁精矿国家标准,TFe 含量大于60%,S 含量小于0.4%,因此该弱磁选铁精矿达不到炼铁要求,需要提铁降硫。

表2 试样铁物相分析 /%

Table 2 Results of iron phase analysis of the sample

Occurrence	Iron in magnetite	Iron in pyrite	Iron in pyrrhotite	Iron in hematite	Iron in silicate	Iron in siderite	Total iron
Content	45.91	1.81	2.53	1.42	3.67	0.27	55.61
Distribution ratio	82.56	3.25	4.55	2.55	6.60	0.49	100.00

从表2得知,试样中主要铁矿物为磁铁矿,分布

率为82.56%,其次是硫铁矿,其分布率为7.80%;其它铁则主要赋存于硅酸盐及赤铁矿中。

表3 试样粒度组成 /%

Table 3 Particle size composition of the sample

Particle size/mm	Yield	Grade		Distribuion ratio	
		TFe	S	TFe	S
+0.106	1.81	36.83	6.94	1.20	3.33
-0.106+0.075	5.49	43.99	6.52	4.35	9.49
-0.075+0.045	24.23	47.82	6.01	20.85	38.63
-0.045+0.038	25.17	54.73	5.67	24.79	37.86
-0.038	43.30	62.64	0.93	48.81	10.68
总计	100.00	55.61	3.81	100.00	100.00

由表3可知,试样-0.075 mm 含量占92.70%, -0.038 mm 含量占43.30%,且试样随着粒度减小,铁品位增加,硫品位降低,说明试样通过磨矿可能降低精矿硫品位。偏光显微镜下发现,主要金属矿物为磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿及赤铁矿等,脉石矿物主要是方解石、白云母、长石及绿帘石等。试样主要金属矿物产出形式如下:(1)磁铁矿多呈独立的单晶粒零散均匀分布(图1),晶粒间隙中可见细粒黄铁矿、黄铜矿分布,偶见闪锌矿及脉石矿物等连晶,

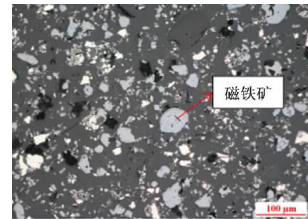


图1 磁铁矿单晶

Fig.1 Magnetite in single crystal

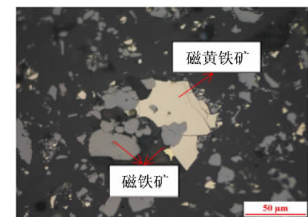


图2 磁铁矿与磁黄铁矿连生

Fig.2 Intergrowth of magnetite and pyrrhotite

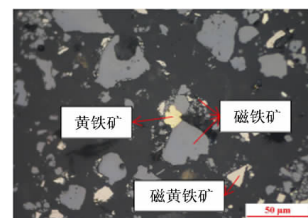


图3 磁铁矿与黄铁矿连生

Fig.3 Intergrowth of magnetite and pyrite ore

粒径 0.001 ~ 0.05 mm 之间;(2)黄铁矿部分与磁铁矿连晶分布(图 3),晶粒中可见极细粒的黄铜矿乳滴分布,或呈极细粒状分布在磁黄铁矿晶粒中,偶见分布在脉石矿物中,粒径 0.01 ~ 0.08 mm 之间;(3)磁黄铁矿多呈独立的单晶粒零散均匀分布,少部分与磁铁矿和黄铁矿连生(图 2),与黄铜矿共生,或呈极细小的粒状分布在脉石矿物中,粒径 0.005 ~ 0.06 mm 之间。从试样粒度组成和镜下观察结果可知,试样中磁铁矿与硫铁矿存在细粒连生体,因此试样细磨,可以提高磁铁矿单体解离度,降低其硫含量。

2 试验与结果分析

2.1 试验方案的确定

为确定具体试验方案,进行了探索试验。试样细磨后,分别进行先磁后浮和先浮后磁试验,两方案磁场强度和浮选药剂制度均一致,磁场强度为 119.36 kA/m,浮选的粗选药剂制度为:硫酸调整矿浆 pH 值至 5.5,然后依次加入草酸 100 g/t、硫化钠 25 g/t、硫酸铜 100 g/t 活化硫化矿,接着加入高级黄药 200 g/t,最后加入 2 号油 58 g/t。试验结果如表 4 所示。二者试验结果对比,铁粗精矿铁品位更高,硫品位更低,铁回收率更高;故选取先磁后浮试验方案。

表 4 先磁后浮与先浮后磁试验结果 /%
Table 4 Test results of magnetic - separation to flotation and flotation to magnetic - separation

Test schemes	Iron grade of iron rough concentrate	Iron recovery rate of iron rough concentrate	Sulfur grade of iron rough concentrate
Magnetic - flotation separation	65.22	82.87	0.90
Flotation - magnetic separation	64.97	83.13	1.05

2.2 磨矿细度试验

每次取 600 g 矿样,采用立式搅拌磨磨矿,磨矿质量浓度 65%,磁选磁场强度为 119.36 kA/m,结果

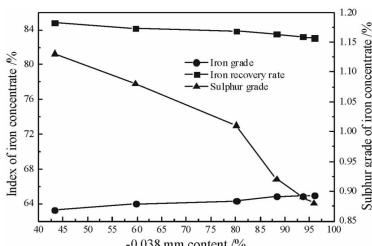


图 4 磨矿细度对磁选指标的影响

Fig. 4 Effect of grinding fineness on magnetic separation index

如图 4 所示。由图 4 可知,随着磨矿细度增加,磁选精矿铁品位逐渐升高,硫品位和铁回收率均逐渐降低。磨矿细度 - 0.038 mm 含量为 88.32% 时,磁选精矿 TFe 品位为 64.83%,S 品位为 0.92%,TFe 回收率为 83.52%;此时磁选精矿铁品位和铁回收率均较高,硫品位较低。综合考虑,确定磨矿细度 - 0.038 mm 含量占 88.32%。

2.3 脱磁对提铁降硫的影响

试样经过细磨弱磁选所得铁精矿,会产生磁团聚。因为磁铁矿和磁黄铁矿均为强磁矿物,二者产生异相磁团聚,使磁铁矿覆盖在磁黄铁矿表面,降低其可浮性,尤其是当矿物粒度细时,磁罩盖现象严重^[10-11],导致铁精矿铁回收率偏低及硫品位偏高。为解决这一问题,对弱磁选铁精矿先脱磁,然后依次加入草酸 100 g/t、硫化钠 25 g/t、硫酸铜 100 g/t 活化硫化矿,接着加入捕收剂高级黄药 200 g/t,最后加入 2 号油 58 g/t,浮选试验流程见图 7,试验结果见图 5。由图 5 可知,脱磁浮选铁精矿铁品位有所提升,硫品位有所降低,铁回收率也略有提升,故需要脱磁处理。

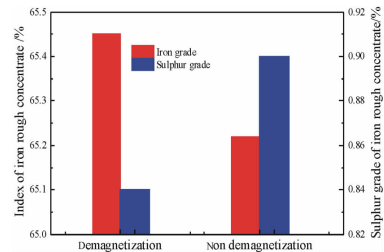


图 5 脱磁对分选指标的影响

Fig. 5 Effect of demagnetization on separation index

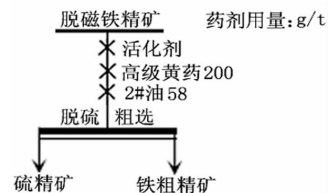


图 6 活化剂试验流程图

Fig. 6 Flowsheet of activator test

2.4 调整剂试验

2.4.1 活化剂筛选试验

试验矿样经磨矿后磁选,脱除了黄铁矿和其他非磁性脉石矿物,磁选精矿在硫酸调整矿浆 pH 值为 5.5 条件下,进行多种活化剂筛选试验,试验流程和固定条件见图 6,试验结果见表 5。由表 5 可知,

草酸 + 硫化钠 + 硫酸铜复合活化与它们单一活化所得铁粗精矿硫品位最低,且铁品位最高;因此选择草酸 + 硫化钠 + 硫酸铜作为复合活化剂。

表 5 活化剂筛选试验结果

Table 5 Test results of activator screening

Activator	Iron grade of iron rough concentrate/%	Iron recovery rate of iron rough concentrate/%	Sulfur grade of iron rough concentrate/%
H ₂ C ₂ O ₄ 100 g/t	65.13	83.45	0.94
Na ₂ S 25 g/t	65.46	82.87	0.85
CuSO ₄ 100 g/t	65.50	82.77	0.82
Na ₂ S 25 g/t + CuSO ₄ 100 g/t	65.89	82.51	0.73
H ₂ C ₂ O ₄ 100 g/t + Na ₂ S 25 g/t + CuSO ₄ 100 g/t	66.00	82.22	0.61

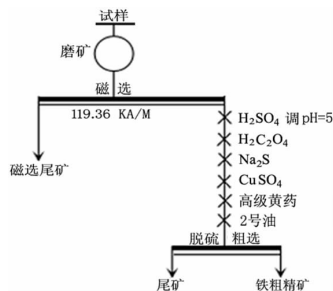


图 7 浮选试验流程

Fig. 7 Flowsheet of flotation test

2.4.2 草酸用量试验

试样按图 7 进行试验,固定矿浆 pH 值为 5.5,硫化钠用量 25 g/t,硫酸铜用量 100 g/t,高级黄药用量 200 g/t,2 号油用量 58 g/t,改变草酸用量,考察草酸用量对脱硫选粗选指标的影响如图 8 所示。随

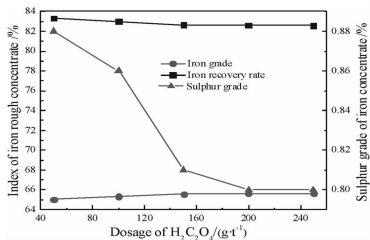


图 8 H₂C₂O₄ 用量对脱硫粗选指标的影响

Fig. 8 Effect of H₂C₂O₄ dosage on desulfurization roughing index

着草酸用量的增加,铁粗精矿铁品位先增加后基本不变,硫品位和铁回收率均先减小后基本不变。草酸用量为 150 g/t 时,铁粗精矿 TFe 品位为 65.55%,S 品位为 0.81%,TFe 回收率为 82.65%;此时铁粗精矿铁品位较高,硫品位较小,铁回收率也较高;综合考虑确定草酸用量为 150 g/t。

2.4.3 硫化钠用量试验

试样按图 7 进行试验,当矿浆 pH 值为 5.5,草酸用量 150 g/t,硫酸铜用量 100 g/t,高级黄药用量 200 g/t,2 号油用量 58 g/t,改变硫化钠用量,考察它对脱硫粗选指标的影响,试验结果如图 9 所示。随着 Na₂S 用量的增加,铁粗精矿铁品位和硫品位均先增后减,铁回收率先减后增。当 Na₂S 用量为 30 g/t 时,铁粗精矿 TFe 品位为 65.81%,S 品位为 0.65%,TFe 回收率为 82.33%;此时铁粗精矿铁品位最高,硫品位和铁回收率均最低;从铁粗精矿铁品位和硫品位两方面考虑,确定 Na₂S 用量为 30 g/t。

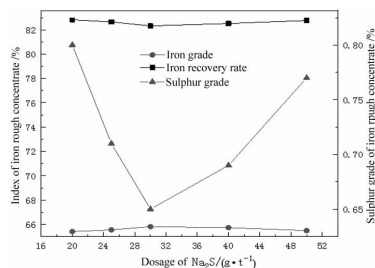


图 9 Na₂S 用量对脱硫粗选指标的影响

Fig. 9 Effect of Na₂S dosage on desulfurization roughing separation index

2.4.4 硫酸铜用量试验

试样按图 7 进行试验,固定矿浆 pH 值为 5.5,草酸用量 150 g/t,硫化钠用量 30 g/t,高级黄药用量 200 g/t,2 号油用量 58 g/t,硫酸铜用量,考察它对脱硫粗选指标的影响,试验结果如图 10 所示。随着 CuSO₄ 用量的增加,铁粗精矿铁品位和硫品位均先增后减,铁回收率先减后增。当 CuSO₄ 用量为 180 g/t 时,铁粗精矿 TFe 品位为 66.02%,S 品位为 0.57%,TFe 回收率为 81.97%;此时铁粗精矿铁品位最高,硫品位和铁回收率均最低;从铁粗精矿铁品位和硫品位两方面考虑,确定 CuSO₄ 用量为 180 g/t。

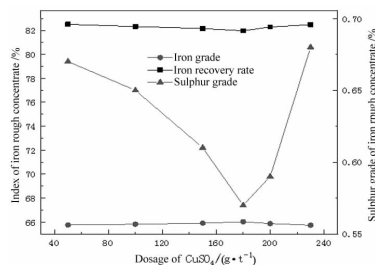


图 10 CuSO₄ 用量对脱硫粗选指标的影响

Fig. 10 Effect of CuSO₄ dosage on the index of desulfurization roughing index

2.5 捕收剂试验

2.5.1 捕收剂种类筛选试验

试样按图7进行试验,矿浆pH值为5.5,2号油用量为58 g/t及前面确定的活化剂用量条件下,考察捕收剂种类(5种捕收剂或其组合:乙黄药、高级黄药、乙黄药+高级黄药(1:1)、乙黄药+丁铵黑药(1:1)、高级黄药+丁铵黑药(1:1)总用量均为200 g/t)对脱硫粗选指标的影响,结果如表6所示。不同捕收剂所得铁粗精矿的铁品位和铁回收率变化不大,当捕收剂用高级黄药+丁铵黑药做组合捕收剂时,铁粗精矿硫品位最低,故确定高级黄药+丁铵黑药作为捕收剂进行试验,且丁铵黑药本身具有起泡性能,不需要2号油作为起泡剂。

表6 捕收剂种类对脱硫粗选指标的影响 /%

Table 6 Effect of collector types on iron roughing index

Types of reagent	Iron grade of iron rough concentrate	Iron recovery rate of iron rough concentrate	Sulfur grade of iron rough concentrate
Ethyl xanthate	65.88	82.30	0.59
Senior butyl xanthate	66.02	81.97	0.57
Ethyl xanthate + senior butyl xanthate	65.95	82.00	0.58
Ethyl xanthate + ammonium aerofloat	66.10	81.72	0.53
Senior butyl xanthate + ammonium aerofloat	66.17	81.45	0.49

2.5.2 捕收剂用量试验

确定调整剂用量和捕收剂种类的前提下,考察捕收剂高级黄药+丁铵黑药(1:1)总用量对脱硫粗选指标的影响,结果如图11所示。随着捕收剂总用量的增加,铁粗精矿铁品位先增加后不变,硫品位先减小后不变,铁回收率先减小后不变。当捕收剂总用量为250 g/t时,铁粗精矿TFe品位为66.29%,S品位为0.44%,TFe回收率为81.28%;此时铁粗精矿铁品位最高,硫品位最小,铁回收率较高;故确定捕收剂总用量为250 g/t。

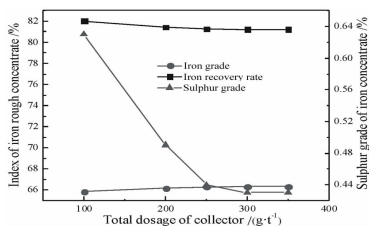


图11 捕收剂总用量对脱硫粗选指标的影响

Fig. 11 Effect of collector total dosage on desulfurization roughing index

2.6 全流程闭路试验

以上条件试验在确定磨矿细度、调整剂和捕收剂的基础上,还分别进行了扫选次数、精选次数、六偏磷酸钠等条件试验,受文章篇幅限制,未展开详述。在开路试验的基础上,进行了全流程闭路试验,试验流程图如图12所示,试验结果见表7。由表7可知,全流程闭路试验采用该工艺流程和药剂制度能使该试样有效脱硫,从而获得TFe品位66.71%、S含量0.33%、TFe回收率68.00%的合格铁精矿。

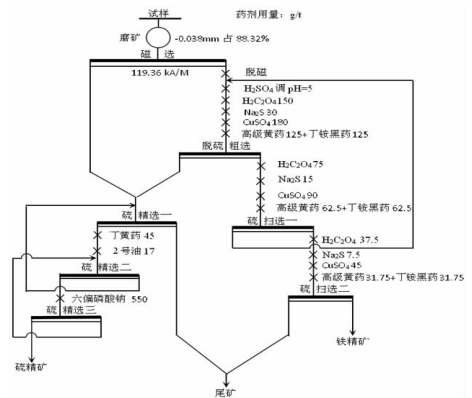


图12 全流程试验闭路流程

Fig. 12 Flowchart of whole closed-circuit test

表7 全流程闭路试验结果 /%

Table 7 Test results of whole closed-circuit process

Product	Yield	Grade		Rate of recovery	
		TFe	S	TFe	S
Iron concentrate	68.00	66.71	0.33	81.57	5.89
Sulfur concentrate	10.85	51.58	29.98	10.06	85.38
Tailings	21.15	21.99	1.57	8.37	8.73
Raw ore	100.00	55.61	3.81	100.00	100.00

3 结论

(1) 试样主要有用矿物为磁铁矿,主要硫化矿为磁黄铁矿,其次为黄铁矿。磁铁矿嵌布粒度较细,磁铁矿与硫化矿之间,存在相互包裹交代或连生的复杂关系,试样细磨使磁铁矿充分单体解离。

(2) 磁黄铁矿具有性脆、易泥化、易氧化、可浮性较差等性质,试样细磨经磁选脱除非磁性矿物,但在该过程中,磁黄铁矿粒度减小、被氧化,且与磁铁矿产生磁团聚;为了解决该难点,浮选前,需对试样进行脱磁和活化磁黄铁矿。

(3) 对脱磁后的磁选精矿,以H₂C₂O₄+CuSO₄+Na₂S为复合活化剂,高级黄药+丁铵黑药为组合捕

收剂,进行一粗两扫三精闭路浮选试验,得到 TFe 品位 66.71%、S 品位 0.33%、TFe 回收率 81.57% 的合格铁精矿,脱硫率达 91.34%,副产品硫精矿 S 品位 29.98%,S 回收率 85.38%。

参考文献:

[1] 孟宪瑜. 磁铁矿与磁黄铁矿的浮选分离的试验研究[J]. 有色矿冶, 2011, 27(5): 16 - 17.
 [2] 高洪山, 杨奉兰. 磁黄铁矿与磁铁矿的浮选分离实践[J]. 矿产保护与利用, 1997(4): 33 - 35.
 [3] 赵璐, 葛英勇, 余俊, 等. 内蒙古某磁选铁精矿浮选脱硫试验研究[J]. 矿冶工程, 2018, 38(2): 58 - 60.
 [4] 于慧梅, 王化军. 包钢选厂高硫磁选铁精矿反浮选脱硫试验

研究[J]. 金属矿山, 2012, 41(1): 63 - 66.
 [5] 陈雯. 浮选分离某磁铁矿和富含磁黄铁矿的试验研究[J]. 金属矿山, 2003(5): 33 - 35.
 [6] 刘占华, 孙体昌, 孙昊, 等. 从内蒙古某高硫铁尾矿中回收铁的研究[J]. 矿冶工程, 2012, 32(1): 46 - 49.
 [7] 白丽梅, 李萌, 张茹, 等. 黄铜矿与磁黄铁矿的浮选分离研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2015(6): 71 - 77.
 [8] 苏建芳, 王中明, 刘书杰, 等. 加拿大某磁铁矿脱除磁黄铁矿浮选试验研究[J]. 矿产综合利用, 2017(4): 42 - 45.
 [9] 常宝乾, 张世银. 某富硫磁铁矿脱硫工艺技术研究[J]. 现代矿业, 2010, 26(8): 123 - 124.
 [10] 伍喜庆, 谢鑫, 曹扬帆, 等. 黄铁矿的自磁化及其在浮选中的应用[J]. 中国有色金属学报, 2016, 26(12): 3238 - 3244.
 [11] 汤朝荣. 磁黄铁矿的可浮性研究及强化浮选[J]. 有色金属(选矿部分), 1986(1): 13 - 17.

引用格式: 廖军平, 黄自力, 崔军, 等. 某高硫磁铁矿磁选—脱磁—复合活化反浮选脱硫试验[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(4): 125 - 130.

LIAO Junping, HUANG Zili, CUI Jun, et al. Desulfurization experiment of a high sulfur iron concentrate by magnetic separation - demagnetization - composite activation reverse flotation[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(4): 125 - 130.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E - mail: kcbh@chinajournal.net.cn

(上接第 124 页)

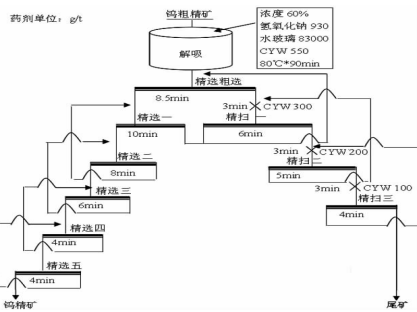


图 5 加热精选段工艺流程图

Fig. 5 Flowsheet of heating - cleaning stage process

4 结论

该白钨矿矿石 WO₃ 品位 0.68%, 褐铁矿含量 3.85%, 碳酸盐脉石矿物含量高达 14.48%, 二者的存在增加了白钨矿回收难度, 常规选矿流程回收率小于 57%。

脱泥作业减轻了细泥对钨浮选的影响, 脱出的细泥产率达到 6.33%, WO₃ 的损失率仅为 3.62%, 其细度达到 97.78% ~ 0.010 mm, 实验室试验证明无法回收。

原矿采用旋流器预先脱泥技术可以解决该矿石的浮选问题, 采用原矿一次粗脱泥、泥再脱泥; 一次粗选、一次精选和一次扫选浮硫; 一次粗选、二次精选和三次扫选浮钨; 钨浮粗精浓缩加温解吸; 一次粗选、五次精选和三次扫选流程。该流程泡沫顺稳定、精矿 WO₃ 品位波动小、WO₃ 回收率大幅度提高。全流程试验取得了钨精矿 WO₃ 品位 68.80%、回收率 81.87% 的指标, 为该矿的高效利用提供了技改依据。

参考文献:

[1] 国土资源部. 中国矿产资源年报(2016)[R]. 北京: 国土资源部, 2017.
 [2] 曹飞, 杨卉芃, 等. 全球钨矿资源概况及供需分析[J]. 矿产保护与利用, 2018(2): 145 - 150.
 [3] 徐福德. 小柳沟风化型白钨矿选矿工艺流程改进[J]. 矿产保护与利用, 2011(8): 49 - 52.
 [4] 左珍新, 王洪岭, 等. 新疆某白钨矿石选矿试验[J]. 金属矿山, 2017(11): 103 - 107.
 [5] 韦华祖, 郭玉武. 湖南某碳酸岩型白钨矿选矿工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2018(3): 52 - 55.
 [6] 李天光, 邱显扬, 等. 湖白钨矿浮选药剂研究现状[J]. 材料研究与应用, 2018(12): 8 - 12.

引用格式: 罗良飞, 胡宜斌, 刘铭, 等. 甘肃某难选含碳酸盐矿物白钨矿选矿工艺改进研究[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(4): 121 - 124, 130.

LUO Liangfei, HU Yibin, LIU Ming, et al. The improvement research on dressing process of refractory scheelite ore containing carbonate minerals in Gansu[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2019, 39(4): 121 - 124, 130.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E - mail: kcbh@chinajournal.net.cn