

矿物加工工程

# 西南某铝土矿同步脱硫脱硅浮选试验研究

吴国亮<sup>1,2</sup>, 张建强<sup>1,2</sup>, 杜五星<sup>1,2</sup>

- 1. 中铝郑州有色金属研究院有限公司, 河南 郑州 450041;
- 2. 国家铝冶炼工程技术研究中心, 河南 郑州 450041

中图分类号: TD952.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)01-0093-06  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2019.12.002

**摘要** 西南某铝土矿  $Al_2O_3$  和  $SiO_2$  的品位分别为 56.86% 和 14.86%, S 含量为 1.57%, 为高效开发利用该铝土矿, 对其进行同步脱硫脱硅试验研究。浮选研究结果表明: 在  $Na_2CO_3$  为 pH 调整剂、 $CuSO_4$  为活化剂、SNS 为抑制剂、BA-1 为脱硫捕收剂、松醇油为起泡剂、EXA 为脱硅捕收剂的条件下, 原矿经过“一次粗选—一次精选—三次扫选”的同步脱硫脱硅工艺处理后, 可以得到  $Al_2O_3$  含量为 61.03%,  $SiO_2$  为 11.95%, S 为 0.19%, A/S 为 5.11 的铝土矿精矿。该工艺可以为该矿的利用提供指导, 同时也为该类型铝土矿的开发利用提供一种全新的技术思路。

**关键词** 一水硬铝石; 黄铁矿; 同步脱硫脱硅

## 引言

铝土矿是生产金属铝、耐火材料、研磨材料以及高铝水泥的重要原材料, 随着国内铝土矿资源的逐步贫化和枯竭, 以及开采方法的不科学, 直接用于生产氧化铝和高档耐火材料的铝土矿越来越少, 而大量高硅高硫铝土矿又不能得到合理利用<sup>[1-2]</sup>。低品质铝土矿选矿技术的开发对国内越来越“贫细杂”化铝土矿的利用, 对我国氧化铝行业的健康和可持续发展, 以及减轻对国外铝土矿矿石的依赖具有重大意义。目前, 工业上对低 A/S (铝硅比) 含硫铝土矿提质最为广泛的方法为浮选法, 比较成熟的工艺是先浮选脱硫后浮选脱硅的工艺流程, 但是该工艺流程存在工艺复杂和流程较长等问题<sup>[3-6]</sup>。西南某地存在大量的高硫、低 A/S 的铝土矿, 为经济合理地开发利用该资源, 本文采用同步脱硫脱硅新工艺对该高硫高硅铝土矿进行除杂提质试验研究。

## 1 矿石性质

### 1.1 矿石组成

对取自西南某地的代表性原矿样进行化学多元

素分析、X-衍射分析和物相组成分析以了解原矿性质, 为后续的浮选提供指导, 分析结果分别见表 1、图 1 和表 2。

表 1 原矿化学多元素分析结果 /%

Table 1 The chemical multielement analysis results of raw ore

Element	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	$K_2O$	CaO	MgO	S	A/S
Content	56.86	14.86	8.82	2.37	0.60	0.35	0.40	1.57	3.83

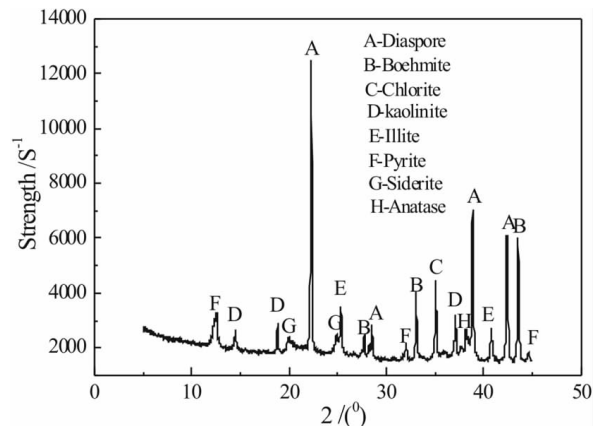


图 1 原矿的 XRD 图

Fig. 1 The XRD pattern of raw ore

表2 原矿物组成分析结果 /%

**Table 2** The phase analysis results of raw ore

Mineral	Diaspore	Boehmite	Chlorite	Kaolinite	Illite	Pyrite
Content	42.0	10.0	11.0	15.0	6.5	3.6
Mineral	Quartz	Siderite	Anatase	Calcite	Rutile	
Content	2.0	2.0	2.0	0.6	0.5	

由表1分析结果可知,原矿中  $Al_2O_3$  的含量为 56.86%,  $SiO_2$  含量为 14.86%, A/S 仅为 3.82,属于中低品位铝土矿,其中有害杂质 S 含量为 1.57%,属于高硫铝土矿。该铝土矿必须经选矿处理后才能用于氧化铝冶炼。

由表2和图1的分析结果可知,原矿中主要有用矿物为一水硬铝石和一水软铝石;脉石矿物是以绿泥石、高岭石、伊利石等为主的硅酸盐类矿物;还有少量的黄铁矿、针铁矿、菱铁矿、金红石等矿物;矿石中的有害杂质 S 主要以黄铁矿的形式在原矿中赋存。综合来看,该矿石为高 S、低 A/S 型铝土矿,可以通过浮选脱硅提高矿石 A/S 和浮选脱硫降低有害杂质 S 含量,以满足氧化铝冶炼要求。

1.2 试剂及设备

碳酸钠 ( $Na_2CO_3$ )、盐酸 (HCl)、硫酸铜 ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )、丁基黄药 ( $C_4H_9OCSSNa$ )、戊基黄药 ( $C_5H_{11}OCSSNa$ ) 均为分析纯;自制阴离子混合脱硫捕收剂 BA-1;自制阴离子混合脱硫捕收剂 BA-2,抑制剂 SNS 分析纯,自制阳离子混合脱硅捕收剂 SW,自制阳离子混合脱硅捕收剂 FWA,自制阳离子混合脱硅捕收剂 EXA,松醇油工业品。

表3 磨矿细度试验结果

**Table 3** The test results of grinding fineness

Grinding fineness (-0.074 mm)	Product	Yield/%	Grade/%				A/S	Recovery/%		
			$Al_2O_3$	$SiO_2$	S			$Al_2O_3$	$SiO_2$	S
63%	Concentrate	86.08	58.33	13.55	0.85	4.30	88.31	78.50	46.61	
	Tailings	13.92	47.77	22.96	6.02	2.08	11.69	21.50	53.39	
	Raw ore	100.00	56.86	14.86	1.57	3.83	100.00	100.00	100.00	
69%	Concentrate	82.77	59.25	12.35	0.41	4.80	86.25	68.79	21.62	
	Tailings	17.23	45.38	26.92	7.14	1.69	13.75	31.21	78.38	
	Raw ore	100.00	56.86	14.86	1.57	3.83	100.00	100.00	100.00	
75%	Concentrate	79.97	59.05	12.96	0.52	4.56	83.05	69.74	26.49	
	Tailings	20.03	48.12	22.45	5.76	2.14	16.95	30.26	73.51	
	Raw ore	100.00	56.86	14.86	1.57	3.83	100.00	100.00	100.00	
81%	Concentrate	78.16	58.36	13.52	0.77	4.32	80.22	71.11	38.33	
	Tailings	21.84	51.49	19.66	4.43	2.62	19.78	28.89	61.67	
	Raw ore	100.00	56.86	14.86	1.57	3.83	100.00	100.00	100.00	

XMQφ240×90 型锥形球磨机, Rex pHS-3C 型 pH 计, BSA2202 型电子天平, DL5C 型真空抽滤机, XFG-63/1.5L/0.75L 挂槽式浮选机, 101A-1 型鼓风干燥箱。

2 试验研究

2.1 磨矿细度试验

合理的磨矿细度不仅对铝土矿选矿工艺和指标具有重要影响,还影响到后续铝土矿精矿产品的溶出性能。为获得较好的浮选指标,在 pH 调整剂  $Na_2CO_3$  用量 3 800 g/t、活化剂  $CuSO_4$  用量 60 g/t、抑制剂 SNS 用量 1 000 g/t、脱硫捕收剂 BA-1 用量 300 g/t、起泡剂松醇油用量 100 g/t (脱硫捕收剂与起泡剂的质量比为 3:1)、脱硅捕收剂 EXA 用量 160 g/t 的条件下,按照图2所示的工艺流程图进行磨矿细度试验,试验结果如图3所示。

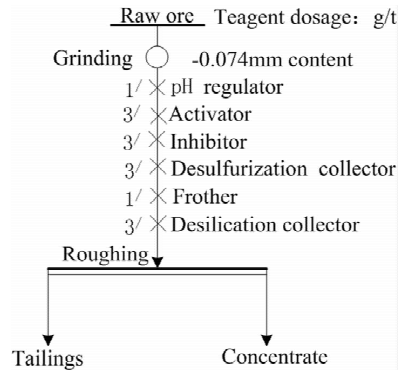


图2 粗选条件试验流程

**Fig. 2** The condition test flow chart of roughing

由表 3 磨矿细度试验结果可知,随着磨矿细度的不断增加,精矿产率不断降低,而精矿  $\text{Al}_2\text{O}_3$  品位先升高后降低, S 含量先降低后升高,当磨矿细度  $-0.074\text{ mm}$  含量增至 69% 以后,由于精矿夹杂严重,导致精矿  $\text{Al}_2\text{O}_3$  品位提升困难,反而略微降低,回收率下降,同时导致精矿 S 含量升高。磨矿细度  $-0.074\text{ mm}$  含量占 69% 时精矿  $\text{Al}_2\text{O}_3$  品位最高, S 含量也最低,回收率也较高,因此综合考虑磨矿细度  $-0.074\text{ mm}$  含量占 69% 时为最佳磨矿细度。

## 2.2 矿浆 pH 值试验

在浮选过程中矿浆 pH 值对矿物的表面电性和浮

选药剂的活性均有很大的影响,各种矿物只有在各自最适宜的 pH 范围内才能有效地实现浮选<sup>[7]</sup>。因为该铝土矿含硫且长期露天堆放导致酸化,磨矿后的矿浆为酸性,考察最佳 pH 时直接用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  进行调节。在磨矿细度  $-0.074\text{ mm}$  占 69%、活化剂  $\text{CuSO}_4$  用量  $40\text{ g/t}$ 、抑制剂 SNS 用量  $1\ 000\text{ g/t}$ 、脱硫捕收剂 BA-1 用量  $300\text{ g/t}$ 、起泡剂松醇油用量  $100\text{ g/t}$ 、脱硅捕收剂 EXA 用量为  $160\text{ g/t}$  的条件下,按照图 2 所示的工艺流程进行 pH 值试验,试验结果见表 4。

表 4 矿浆 pH 值试验结果

Table 4 The test results of pulp pH

pH value	Product	Yield/%	Grade/%				Recovery/%		
			$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	S	A/S	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	S
5	Concentrate	83.29	58.92	13.04	0.34	4.52	86.31	73.09	18.04
	Tailings	16.71	46.59	23.93	7.70	1.95	13.69	26.91	81.96
	Raw ore	100.00	56.86	14.86	1.57	3.83	100.00	100.00	100.00
6	Concentrate	82.77	59.25	12.35	0.41	4.80	86.25	68.79	21.62
	Tailings	17.23	45.38	26.92	7.14	1.69	13.75	31.21	78.38
	Raw ore	100.00	56.86	14.86	1.57	3.83	100.00	100.00	100.00
7	Concentrate	80.78	57.05	12.96	0.52	4.40	81.05	70.45	26.76
	Tailings	19.22	56.06	22.85	5.98	2.45	18.95	29.55	73.24
	Raw ore	100.00	56.86	14.86	1.57	3.83	100.00	100.00	100.00
8	Concentrate	81.98	58.76	13.52	0.55	4.35	84.72	74.59	28.72
	Tailings	18.02	48.22	20.96	6.21	2.30	15.28	25.41	71.28
	Raw ore	100.00	56.86	14.86	1.57	3.83	100.00	100.00	100.00

由表 4 试验结果可知,在 pH 值为 5 的偏酸性条件时,浮选脱硫效果较好,脱硅效果也较佳;当 pH 值为 6 时,浮选脱硅效果最好,脱硫效果也较佳;pH 值继续升高由于矿石已经酸化,碳酸钠添加量过大,导致浮选体系中电解离子浓度过高,致使浮选夹杂严重,脱硅的分选效果较差。综合考虑试验选择 pH = 6 时为最佳脱硫脱硅浮选环境,此时  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  用量为  $3\ 800\text{ g/t}$ 。

## 2.3 活化剂用量试验

为强化同步脱硫脱硅过程中脱硫的效果,需要对黄铁矿进行活化,目前黄铁矿浮选活化剂最常用的为  $\text{CuSO}_4$ <sup>[8]</sup>,所以本文不再对活化剂的种类进行试验研究,而是在磨矿细度  $-0.074\text{ mm}$  占 69%、pH 调整剂  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  用量  $3\ 800\text{ g/t}$ 、抑制剂 SNS 用量  $1\ 000\text{ g/t}$ 、脱硫捕收剂 BA-1 用量  $300\text{ g/t}$ 、起泡剂 2#油用量  $100\text{ g/t}$ 、脱硅捕收剂 EXA 用量为  $160\text{ g/t}$  条件下直接按图 2 所示流程进行  $\text{CuSO}_4$  用量试验,试验结果见图 4。

根据图 3 试验结果可知,添加活化剂  $\text{CuSO}_4$  的浮

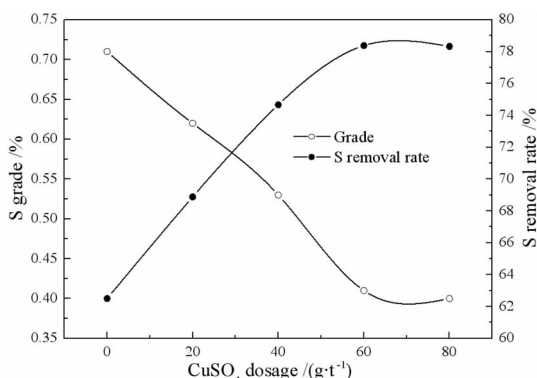


图 3 活化剂  $\text{CuSO}_4$  用量试验结果

Fig. 3 The dosage test results of activator  $\text{CuSO}_4$

选效果要比不添加的浮选效果好。还可以看出,随着  $\text{CuSO}_4$  用量的不断增加铝精矿的 S 含量不断降低,而 S 的脱除率在不断增加,当  $\text{CuSO}_4$  用量超过  $60\text{ g/t}$  以后精矿的 S 含量和 S 脱除率趋于平稳。综合考虑药剂用量和浮选效果活化剂  $\text{CuSO}_4$  用量为  $60\text{ g/t}$  时脱 S 效果最好。

## 2.4 脱硫捕收剂种类试验

脱硫捕收剂种类的选择对最终浮选指标的好坏至关重要,目前脱硫捕收剂主要是各类型黄药<sup>[9]</sup>,为了筛选出对该矿石具有较好脱硫效果的捕收剂,在磨矿细度-0.074 mm占69%、pH调整剂Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>用量3 800 g/t、活化剂CuSO<sub>4</sub>用量为40 g/t、抑制剂SNS用量1 000 g/t、脱硫捕收剂用量300 g/t、起泡剂松醇油用量100 g/t、脱硅捕收剂EXA用量为160 g/t条件下直接按图2所示流程进行试验,试验结果见图4。

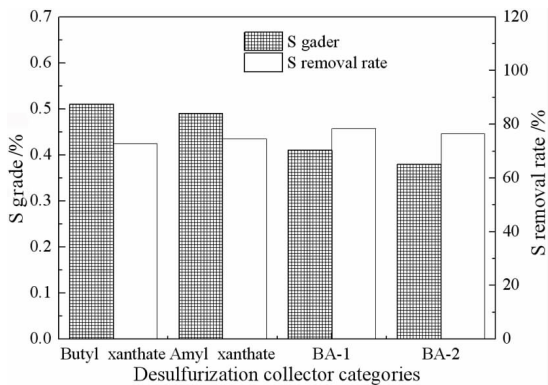


图4 脱硫捕收剂种类试验结果

Fig. 4 The test results of desulfurization collector categories

根据图4试验结果可知,自制脱硫捕收剂BA-1和BA-2的脱硫效果要比丁基黄药和戊基黄药的浮选效果好,通过对比BA-1和BA-2两种药剂浮选指标发现,两者精矿含S量差别不大,分别为0.41%和0.38%,但是BA-1的脱硫率要比BA-2的脱硫率高2.23个百分点,所以采用BA-1作为脱硫捕收剂。

## 2.5 脱硅捕收剂种类试验

铝土矿反浮选研究较长时期内处于瓶颈状态,其

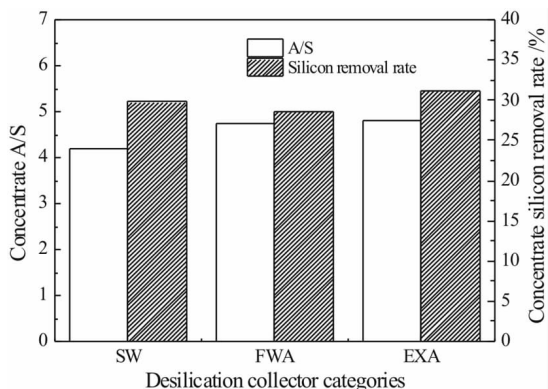


图5 脱硅捕收剂种类试验结果

Fig. 5 The test results of desilication collector categories

主要原因是大多数矿石中硅酸盐脉石矿物组分复杂,各种脉石矿物对分选条件和分选药剂种类要求不同,致使单一药剂很难对铝土矿有较好的分选效果<sup>[10]</sup>。在磨矿细度-0.074 mm占69%、pH值调整剂Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>用量3 800 g/t、活化剂CuSO<sub>4</sub>用量60 g/t、抑制剂SNS用量1 000 g/t、脱硫捕收剂BA-1用量300 g/t、起泡剂松醇油用量100 g/t、脱硅捕收剂用量为160 g/t条件下,按图2所示流程考察不同种类的自制药剂对脱硅的影响,试验结果见图5。

由图6试验结果可知,三种自制脱硅捕收剂对脱硅均有较好的效果,其中EXA对脉石矿物的捕收能力最好,精矿的A/S最高,FWA的次之。同时还可发现EXA的硅脱除率也最好,所以决定采用自制捕收剂EXA作为脱硅捕收剂。

## 2.6 药剂用量试验

浮选粗选药剂用量影响浮选结果的因素较多,试验量比较大,可以利用多因素组合正交试验法<sup>[11]</sup>来快速寻找合适的药剂条件。在磨矿细度-0.074 mm含量占69%、pH值调整剂碳酸钠用量3 800 g/t、活化剂CuSO<sub>4</sub>用量为40 g/t的条件下,按图2所示流程采用L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交表安排了三因素三水平9次试验考察抑制剂、脱硫捕收剂和脱硅捕收剂用量,试验影响因素及水平见表5,试验结果见表6。

表5 药剂用量试验影响因素及水平

Table 5 The influence factors and levels of reagent dosage tests

Level	Factors		
	A(SNS)	B(BA-1)	C(EXA)
1	0	200	160
2	800	300	180
3	1 000	400	200

根据表6正交试验结果可知,添加抑制剂SNS有助于强化分选效果提高精矿Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位,同时抑制剂对精矿的含S几乎没有影响。随着脱硫捕收剂BA-1用量的不断增加,精矿的含S量不断降低,当用量超过300 g/t后,精矿的含S量几乎不再降低,所以脱硫捕收剂的用量为300 g/t比较合适。随着脱硅捕收剂EXA用量的不断加大,精矿Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位先增加后降低,而Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>回收率却不断降低,当用量为160 g/t时,铝精矿的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>品位为59.25%,而回收率为86.25%,所以脱硅捕收剂用量160 g/t为最佳用量。

表 6 药剂用量正交试验结果

Table 6 The orthogonal test results of reagent dosage

Factor combination level	Yield/%	Grade/%			A/S	Recovery/%		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	84.55	57.56	13.21	0.51	4.36	85.59	75.16	27.47
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	82.32	58.12	13.71	0.46	4.24	84.14	75.95	24.12
A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	78.99	56.92	14.26	0.42	3.99	79.07	75.80	21.13
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	80.55	58.37	13.15	0.49	4.44	82.69	71.28	25.14
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	79.02	58.85	12.78	0.43	4.60	81.79	67.96	21.64
A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	81.55	58.52	13.75	0.41	4.26	83.93	75.46	21.30
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	79.52	59.02	12.02	0.44	4.91	82.54	64.32	22.29
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	82.77	59.25	12.35	0.41	4.80	86.25	68.79	21.62
A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	80.25	59.42	12.43	0.36	4.78	83.86	67.13	18.40

### 2.7 闭路试验

在条件试验的基础上,为考察同步脱硫脱硅工艺处理该矿石的可行性和稳定性,按图 6 所示流程进行闭路试验研究,试验结果见表 7。

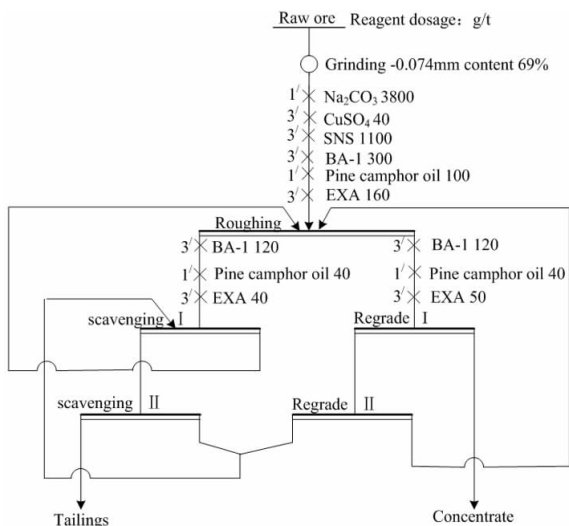


图 6 路试验流程图

Fig. 6 The test flowchart of closed circuit

表 7 闭路流程试验结果

Table 7 The test results of closed circuit

Product	Yield /%	Grade/%			A/S	Recovery/%		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S
Concentrate	78.95	61.03	11.95	0.19	5.11	84.74	63.49	1.01
Tailings	21.05	41.22	25.77	7.38	1.60	15.26	36.51	98.99
Raw ore	100.00	56.86	14.86	1.57	3.83	100.00	100.00	100.00

根据闭路试验结果可知,采用图 6 所示闭路流程处理 A/S 为 3.83 的原矿,可以得到 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 61.03%, SiO<sub>2</sub> 为 11.95%, S 含量为 0.19%, A/S 为 5.11 的铝土矿精矿。精矿相较于原矿 A/S 提高了 1.28, S 的脱除率达到 98.99%, 该精矿可以直接作为冶炼氧化铝

原料,证明了该同步脱硫脱硅工艺流程的可行性和稳定性,为该类型矿石的开发和利用提供了一种全新的技术思路。

### 3 结论

(1) 原矿 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 56.86%, SiO<sub>2</sub> 含量为 14.86%, A/S 仅为 3.82, 有害杂质 S 含量为 1.57%, 主要有用矿物为一水硬铝石和一水软铝石;脉石矿物是以绿泥石、高岭石、伊利石等为主的硅酸盐类矿物, 矿石中的有害杂质 S 主要以黄铁矿的形式在原矿赋存。

(2) 经闭路试验,可以得到精矿 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 61.03%, SiO<sub>2</sub> 为 11.95%, S 含量为 0.19, A/S 为 5.11 的优异浮选指标。精矿 A/S 相较于原矿提高了 1.28, S 的脱除率达到 98.99%, 该精矿可以直接作为冶炼氧化铝原料。

(3) 通过试验发现,同步脱硅脱硫工艺能够处理该矿石,为该类型矿石的开发和利用提供了一种全新的技术思路。

### 参考文献:

- [1] 熊道陵,马智敏,彭建城,等.高硫铝土矿中硫的脱除研究现状[J].矿产保护与利用,2012(5):53-58.
- [2] 杨卉芃,张亮,冯安生,等.全球铝土矿资源概况及供需分析[J].矿产保护与利用,2016(6):64-70.
- [3] 杜五星,戴惠新,翟德平.高硅铝土矿选矿脱硅的研究现状及进展[J].轻金属,2016(11):12-17.
- [4] 陈喜峰.中国铝土矿资源勘查发现现状及可持续发展建议[J].资源与产业,2016,18(3):16-22.
- [5] 王淀佐,胡岳华.细粒难分离矿物浮选组装表面化学——以铝土矿资源的高效综合利用为例介绍矿物浮选组装表面化学新技术的应用[C]//中国工程院化工冶金与材料工程学部学术会议.2008.
- [6] 蔡振波,徐会华,陈秋虎,等.广西某高硫铝土矿反浮选脱硅—聚团浮选脱硅试验[J].金属矿山,2016(3):98-102.
- [7] 胡岳华,印万忠,张凌燕,等.矿物浮选[M].长沙:中南大学出版社,2014:35.

- [8] 陈建华,童雄,甘恒,等.多金属硫化矿混合浮选高效活化剂试验研究[J].有色金属(选矿部分),2018(3):102-105.
- [9] 梁爽,路亮,吴桂叶.硫化矿捕收剂的研究进展[J].中国矿业,2018,27(S2):163-165.
- [10] 刘冰,邱跃琴.铝土矿浮选脱硅研究现状与展望[J].现代矿业,2012(5):131-133.
- [11] 刘炯天,樊民强,杨小生,等.试验研究方法[M].徐州:中国矿业大学出版社,2006:12.

## The Experimental Study on Synchronus Desulfurization and Desilication Flotation for the Bauxite in Southwest China

WU Guoliang<sup>1,2</sup>, ZHANG Jianqiang<sup>1,2</sup>, DU Wuxing<sup>1,2</sup>

1. Zhengzhou Non-ferrous Metals Research Institute Co. Ltd of CHALCO, Zhengzhou 450041, Henan, China;  
2. National Aluminum Smelting Engineering Technology Research Center, Zhengzhou 450041, Henan, China

**Abstract:** The grade of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  of a bauxite in southwest China is 56.86% and 14.86% respectively, and the sulfur content is 1.57%. A Synchronus desulfurization and desilicization experiments were carried out to develop and utilize this bauxite efficiently. The flotation research results show that under the conditions of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  as pH regulator,  $\text{CuSO}_4$  as activator, SNS as inhibitor, BA-1 as desulfurization collector, terpenic oil as frother and EXA as desilication collector, the concentrate of 61.03%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and 11.95%  $\text{SiO}_2$  were achieved after “one roughing – one cleaning – three scavenging” circuit. The sulfur content of concentrate is 0.19% and the rate of aluminum to silicon is 5.11. This process can provide guidance for the utilization of the mine and a new technical idea for the development and utilization of this type of bauxite.

**Key words:** diaspore; pyrite; synchronus desulfurization and desilication flotation

引用格式:吴国亮,张建强,杜五星.西南某铝土矿同步脱硫脱硅浮选试验研究[J].矿产保护与利用,2020,40(1):93-98.

Wu GL, Zhang JQ and Du WX. The experimental study on synchronus desulfurization and desilication flotation for the bauxite in southwest China[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(1): 93-98.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)