

## 广西百色铝土矿工艺矿物学研究

陆薇宇, 罗海燕, 许霞

(广西冶金研究院, 广西 南宁 530023)

**摘要:**通过对广西百色某铝土矿矿石的多元素化学分析、光学显微镜鉴定等手段,对该铝土矿进行了详细的工艺矿物学研究,查明了矿石的物质组成、铝的赋存形式及矿物嵌布特征。研究表明:该试样  $\text{Al}_2\text{O}_3$  品位为 57.46%, 硅和铁含量较高,  $\text{SiO}_2$  为 6.97%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为 16.13%。该试样含铝矿物主要是一水硬铝石, 少量三水铝石和一水软铝石; 含硅矿物主要为高岭石, 少量绢云母和石英; 含铁矿物主要为赤铁矿和褐铁矿。一水硬铝石、高岭石及浸染状的赤铁矿和褐铁矿的粒度均较细(0.005~0.01mm), 部份胶结状的赤铁矿粒度较粗(0.01~2mm)。研究结果可为该铝土矿的除铁降硅选矿试验提供相应的依据和参考。

**关键词:**铝土矿; 工艺矿物学; 一水硬铝石; 矿物嵌布特征。

doi:10.3969/j.issn.1000-6532(2014)02.013

中图分类号:TD989;P618 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2014)02-0057-05

广西百色平果铝土矿为我国大型铝土矿矿床,与我国其他铝土矿相比,具有铁高硅高的特点<sup>[1]</sup>,广西百色某公司为解决生产三聚硫酸铝的原料供求问题,进行铝土矿的除铁降硅选矿试验,以提高  $\text{Al}_2\text{O}_3$  品位,使其达到生产三聚硫酸铝的质量要求。

### 1 矿石的物质组成

#### 1.1 原矿多元素分析

原矿为经过洗矿加工后的选矿产品,因此软质粘土的含量较少,矿石颜色多数呈黄色、灰黑色、灰白色,部分呈浅红色~暗红色。矿石的多元素分析结果见表1。

表1 矿石的多元素分析结果/%

Table 1 Analysis results of multi-elements of the ore

| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | CaO  | MgO  | Mn   | $\text{TiO}_2$ |
|-------------------------|----------------|-------------------------|------|------|------|----------------|
| 57.46                   | 6.97           | 16.13                   | 0.53 | 0.22 | 0.19 | 3.67           |

从表1可知,矿石中主要有用成分为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,

$\text{Al}_2\text{O}_3$  品位为 57.46%, 主要杂质成分  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ , 原矿铝硅比达到 8.24, 矿石中  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量较高,需要通过除铁脱硅实现  $\text{Al}_2\text{O}_3$  品位的提高。

#### 1.2 原矿矿物组成及含量

对矿石的光薄片进行显微镜下鉴定,查明其中铝矿物有一水硬铝石、三水铝石、一水软铝石;含硅矿物有高岭石、绢云母、绿泥石、水云母、黑云母、石英、白云母;含铁矿物有赤铁矿、褐铁矿、黄铁矿;此外,还有少量方解石、金红石等。矿物含量见表2。

表2 矿石的矿物组成及含量

Table 2 Mineral composition and content of the ore

| 名称   | 一水硬铝石 | 三水铝石 | 高岭石 | 一水软铝石 | 赤铁矿 | 褐铁矿 |
|------|-------|------|-----|-------|-----|-----|
| 含量/% | 58    | 4    | 10  | 1.2   | 10  | 5   |
| 名称   | 绢云母   | 方解石  | 石英  | 黄铁矿   | 炭质  | 其他  |
| 含量/% | 3     | 2    | 2   | 1     | 2~3 | <1  |

注:其他中包括金红石、水云母、绿泥石、黑云母、白云母、锆英石等微量矿物。

收稿日期:2013-08-30;改回日期:2013-09-26

作者简介:陆薇宇(1962-),女,高级工程师,主要从事工艺矿物学研究。

从表 2 可以看出,原矿中有用含铝矿物主要有一水硬铝石,占含铝矿物的 76.12%、其次为三水铝石和一水软铝石,分别占 5.25% 和 1.57%;高岭石、绢云母分别占含硅矿物的 66.67%,20%;含铁矿物主要为赤铁矿和褐铁矿,分别占含铁矿物的 62.5% 和 31.25%。由于铝土矿中的含硅矿物大多数为铝硅酸盐矿物,这些矿物本身含有 30%~40% 的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,通过物理方法将它们与一水硬铝石分离时必将带来  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的损失。

## 2 矿石的结构、构造

### 2.1 矿石的结构

(1)自形晶粒状结构:一水硬铝石主要呈长柱状或针状的自形晶结构,黄铁矿呈立方体自形晶结构产出。

(2)半自形~他形晶粒状结构:部分一水硬铝石呈他形晶粒状结构,石英、方解石呈半自形~他形晶粒状结构。

(3)鲕状结构:鲕粒有赤铁矿、褐铁矿、一水软铝石、三水铝石、一水硬铝石、绿泥石、高岭石等或单独或混合构成。

(4)胶状结构:赤铁矿、褐铁矿在矿石中常呈不规则的胶状结构充填于裂隙中。

(5)假象结构:部分褐铁矿由黄铁矿风化而成,保留黄铁矿的晶形,呈黄铁矿的假象产出。

(6)叶片状结构:三水铝石呈叶片状结构。

(7)显微鳞片结构:高岭石、绢云母常呈此结构。

### 2.2 矿石的构造

(1)豆、鲕状构造:这是矿石中最常见的构造(见图 1),大于 2mm 称豆状,小于 2mm 称鲕状,其外部形态主要呈椭圆状、圆球状或不规则的似浑圆状,其内部形态多种多样,有的豆粒内包含许多小鲕粒,其内部有具核心和不具核心之分,有具环带和不具环带结构之分。不具核心的豆鲕粒主要由针柱状或粒状的一水硬铝石及少量假象结构的粒间充填有

微晶质结构的高岭石及胶状褐铁矿。具核心的豆鲕粒的核心有的是一水软铝石和少量三水铝石构成,有的是针柱状一水硬铝石和褐铁矿构成,壳层有粒状的一水硬铝石构成。豆、鲕粒有的以铝矿物为主,有的以赤铁矿、褐铁矿为主,具环带的豆鲕粒一般多数成分为铁矿物。此种构造的矿石表面较粗糙。

(2)细网脉状结构:主要出现在以铝硅矿物为主的集合体中,其特点是赤铁矿、褐铁矿的细脉呈不规则状或交错网脉状穿插在铝矿石中,有时细脉呈定向分布,似波纹状,在细脉两侧出常有铁质扩散,扩散部分界限不清。

细脉状结构与细网脉状构造不同处在于细脉的边界清楚的且不与细脉交叉,构成细脉的边界的通常是绢云母或水云母。

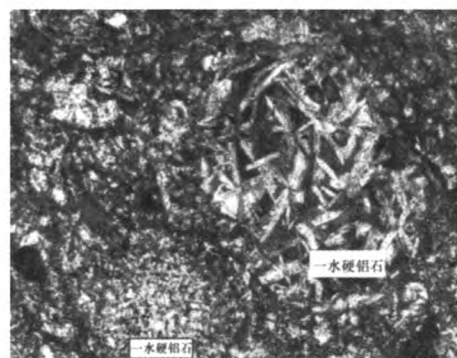


图 1 由一水硬铝石构成的豆鲕粒构造。

(显微镜下照片:透射光×200)

Fig. 1 Bean and oolitic structure made up of diaspore.

(3)斑点状、团块状构造:既有铁矿物集合体呈斑点状分布在铝土矿石中,也有一水硬铝石、三水铝石、高岭石等集合体呈斑点状分布在铁矿石中,斑点大小在 0.5~3mm 之间。

(4)浸染状构造:铝矿物(一水硬铝石、三水铝石、一水软铝石)和铁矿物(赤铁矿、褐铁矿)都有见到细小颗粒相互浸染,浸染粒度在 0.005~0.05mm 之间。

(5)星点状浸染构造:细粒至微细粒的黄铁矿在豆鲕粒铝土矿物的粒间呈稀疏的星点状浸染构造。

(6)凝胶状构造:主要由质点很细的高岭石、铁质、炭质构成,其中有少量鲕状一水硬铝石和三水铝石,矿石致密坚硬,断口呈贝壳状。

### 3 主要矿物特征描述

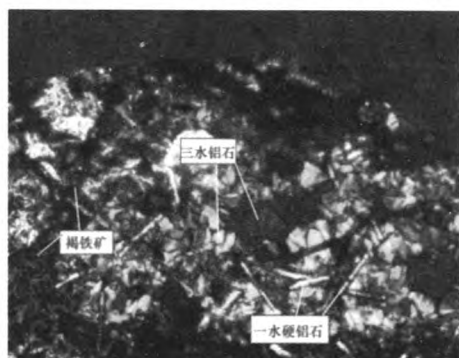
一水硬铝石:矿物颜色为白色,含有杂质的呈灰色、浅黄绿色、浅红色,透明。单晶体粒度极细,有针柱状、叶片状、粒状,少量为片状。细针状的粒度在 $0.001 \sim 0.005\text{mm}$ 之间,柱状的粒度在 $0.005 \sim 0.05\text{mm}$ 之间。针柱状的一水硬铝石常呈无反向性的杂乱嵌生,其粒间为铁矿物或高岭石充填,呈浸染状构造;而粒状一水硬铝石常呈颗粒之间紧密镶嵌的结构,在高岭石、绢云母及铁矿物中构成斑点状构造;一水硬铝石也常与其他矿物在一起构成豆鲕粒构造(见图2)。

三水铝石:矿物颜色为白色,呈细鳞片状、叶片

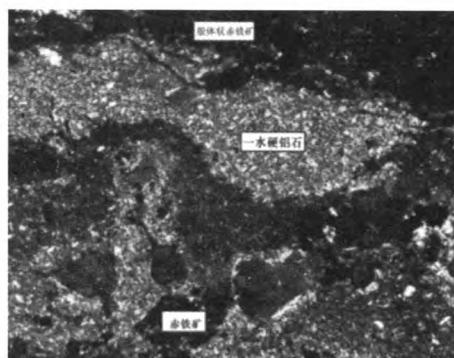
状、粒状,叶片状的粒宽为 $0.02 \sim 0.1\text{mm}$  细鳞片状的粒度为 $0.007 \sim 0.013\text{mm}$ 。三水铝石常与微晶高岭石充填在粒间;有时三水铝石呈不规则的细鳞片状,有数粒组成集合体不均匀地分布在褐铁矿、硅矿物构成的豆鲕粒中,有时粒状的三水铝石紧密镶嵌,构成似浑圆状的团粒。

一水软铝石:含量很少,呈极细小的片状,分布在一水硬铝石和三水铝石的粒间。粒度在 $0.001 \sim 0.006\text{mm}$ 之间。

高岭石:呈细鳞片状集合体产出,纯净的为白色,在矿石中因含有铁质、炭质等杂质,多数带有浅黄、粉红、浅黄绿、灰等色调,显微镜下呈微细粒或云雾状,常构成硬质粘土的基质成分或与水硬铝石、三水铝石、赤铁矿、褐铁矿组成豆鲕粒状构造,单晶粒度在 $0.005\text{mm}$ 以下。



a 假六方板状的三水铝石与针柱状的一水硬铝石共生(显微镜下照片:透射光 $\times 200$ )



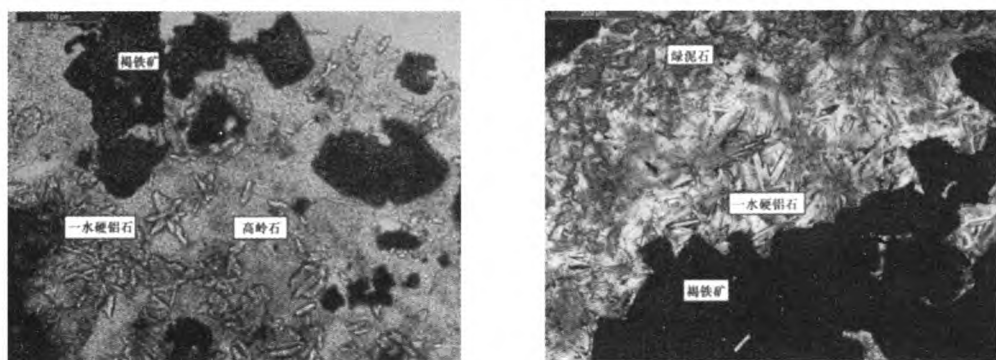
b 赤铁矿、褐铁矿(浅灰色)呈不规则状分布在一水硬铝石中(显微镜下照片:透射光 $\times 50$ )

图2 一水硬铝石的嵌布状况

Fig. 2 Dissemination of diaspore

赤铁矿:分为两种形态,其一呈显微鳞片状结构,与高岭石等泥质颗粒紧密聚集成泥质块状,在此基质中可见叶片状的三水铝石呈浸染状嵌布其中,局部较富集,浸染粒度在 $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ ;其二呈胶体状、豆鲕粒状产出,与豆鲕状构造的一水硬铝石、三水铝石、共生,或作为自形铝矿物的胶结物,粒度在 $0.01 \sim 2\text{mm}$ 。

褐铁矿:分为两种产出形态,其一呈黄铁矿的假象,由黄铁矿风化而来,黄铁矿的晶形,常数颗粒聚集在一起,嵌布在豆状一水硬铝石和三水铝石的集合体中,粒度在 $0.05 \sim 0.3\text{mm}$ ;其二呈胶体状,豆鲕粒状产出,胶体状的形态不规则,常作为一水硬铝石和三水铝石的胶结物,或呈细网脉状穿插于铝矿石中,细脉两侧常有铁质扩散(见图3)。



a 褐铁矿、一水硬铝石(针柱状)和高岭石(微晶)关系(显微镜下照片:透射光×200)

b 褐铁矿(呈黄铁矿假象)、一水硬铝石(针柱状)和绿泥石关系(显微镜下照片:透射光×200)

图3 褐铁矿嵌布关系

Fig. 3 Dissemination of limonite

黄铁矿:呈立方体的自形~半自形晶粒状产出,仅在豆鲕粒状和粗糙状铝土矿石中看见,多数分布在豆鲕粒的胶结物中。最大粒度为1mm,最小为0.05mm,多数为0.1~0.7mm之间。

金红石:呈长柱状,棕红色,在一水硬铝石较富集的局部可见分散的单颗粒,粒度在0.01~0.05mm。

石英:呈半自形~他形粒状,无色透明,通常呈散粒或数粒的集合体分布在矿石中,与三水铝石和一水铝石关系密切。长石粒度为0.01~0.03mm。

方解石:多数呈他形细粒状,少数呈半自形粒状集合体产出,以细粒紧密镶嵌的形态构成较纯净的块状。粒度在0.004~0.2mm之间。方解石多数与铝矿石关系不紧密。

绢云母:呈细鳞片状或集合体产出,颜色为白色或浅黄、浅红色。常呈细脉状、条带状穿插于矿石中,脉宽0.01~0.08mm,条带宽1~2mm;或呈几天后充填于矿石的裂隙、孔洞中,或富集成块状产出。单晶粒度在0.002~0.015mm之间。

水云母:无色,单晶呈片状,集合体呈手风琴状,粒宽0.01~0.02mm,与绢云母、高岭石共生。

## 4 有价及有害矿物的矿物学因素对选矿的影响

### 4.1 主要元素的赋存形式的影响

通过对光、薄片的显微镜下鉴定,查明矿石中铝、硅、铁的赋存形式。(1)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  品位为57.46%,铝的赋存形式主要为一水硬铝石,其次为三水铝石、

一水软铝石。(2) 主要杂质成分为铁和硅,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  品位为16.13%,铁主要赋存于赤铁矿、褐铁矿中,极少量存在于黄铁矿中;  $\text{SiO}_2$  的品位为6.97%,硅的赋存形式主要为高岭石,少量在绢云母、石英中。原矿铝硅比达到8.24,但矿石中  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量较高,需要通过除铁脱硅实现  $\text{Al}_2\text{O}_3$  品位的提高。

### 4.2 主要矿物的结构及粒度的影响

(1) 矿石中的有价矿物主要为一水硬铝石、三水铝石,显微镜下观测发现:铝矿物几乎都呈显微晶质结构,一水硬铝石多呈针柱状、细粒状,三水铝石呈叶片状、细鳞片状和细粒状,多数粒度在0.001~0.05mm。由于一水硬铝石和含硅脉石矿物之间存在的物理性质和形状因子等方面的差异,所以在破碎、磨矿过程中一水硬铝石和含硅脉石矿物之间就具有选择性破碎和解离的特性。矿物的破碎,首先从含硅脉石矿物开始,并沿一水硬铝石和含硅脉石矿物的交界处或含硅脉石矿物一边破碎<sup>[2]</sup>。这样在磨矿过程中一水硬铝石和含硅脉石矿物的粒度差别就很大,一水硬铝石更趋向于在较粗粒级中,而含硅脉石矿物主要分布在细粒级中,这就实现了一水硬铝石和含硅脉石矿物的选择性破碎。选择性破碎对一水硬铝石和含硅脉石矿物的单体解离、提高精矿的铝硅比是十分有利的,同时对简化工艺流程、放粗磨矿细度也是有利的<sup>[3-4]</sup>。但要注意,由于选择性破碎,含硅脉石矿物将越磨越细而造成泥化,会恶化浮选条件,同时也使尾矿的沉降发生困难。

(2) 杂质矿物中的硅矿物主要为高岭石、绢云母、石英,一水硬铝石常常与高岭石等铝硅酸盐矿物

一起构成鲕粒,或呈胶质或隐晶质出现,一水硬铝石、三水铝石与主要含硅矿物之间的嵌布关系复杂,高岭石、绢云母常呈团块状或细小鳞片状均匀地散布在矿石中彼此紧密镶嵌,解离较难。应以一水硬铝石富连生体作为选矿富集和回收的对象,因此对矿石采用粗磨入选较为有利。选择性磨矿—粗细粒分选工艺试验流程<sup>[5]</sup>。

(3)赤铁矿部分呈显微鳞片状结构或隐晶质结构,与高岭石等泥质颗粒紧密聚集成泥质块状,褐铁矿部分呈黄铁矿的假象,呈黄铁矿的晶形,常数颗粒聚集在一起,嵌布在豆状一水硬铝石和三水铝石的集合体中,粒度在0.05~0.3mm。原矿有一部分较富集的铁矿物(约占35%),因此选矿后有可能使精矿含铁量下降,但是大部分铁铝矿物紧密共生,互相浸染,粒度细小,甚至呈胶体、铁染、类质同象形态存在,要使其得到较好的单体解离是困难的,因此也就难以用机械选矿方法使铝、铁矿物彻底分离,要比较彻底的除铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 5\%$ )时,势必影响 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的回收,应考虑采用浮选法来解决。

## 5 结 语

试样中含铝矿物有一水硬铝石,含量为58%,三水铝石含量为4%,一水软铝石只有1.2%,铝矿物几乎都呈显微晶质结构,一水硬铝石多呈针柱状、细粒状,三水铝石呈叶片状、细鳞片状和细粒状,多数粒度在0.001~0.05mm之间;含硅矿物主要为高

岭石,次为绢云母、石英,常呈团粒状、细小鳞片状或细粒状散布在矿石中。主要含铁矿物为赤铁矿和褐铁矿。矿石的结构、构造比较复杂,大部分呈铁、铝、硅集合体(如豆、鲕粒)存在,铁铝硅矿物之间共生关系紧密、复杂,相互浸染,粒度细小,甚至呈胶体、铁染形态存在,要用机械选矿方法使其得到较好的单体解离是困难的。含硅脉石矿物在破碎、磨矿过程中易碎、易磨、易泥化,在磨矿过程中将越磨越细,最终成为超细粒的矿泥;再加上磨矿过程中产生的新矿泥一起影响整个浮选过程,恶化浮选条件,影响选矿精矿的质量和精矿的浓缩、沉降、过滤等,也影响尾矿的沉降。由于矿泥对选矿脱硅工艺的影响很大,所以磨矿细度不宜太细<sup>[6]</sup>。阶段磨矿、阶段选别是最适合该铝土矿的矿石性质。

## 参考文献:

- [1]孙志伟,鹿爱莉,盖静.广西铝土矿资源开发与采矿用地模式探讨[J].中国矿业,2010,19(2):71-74.
- [2]范振林,马苗卉.利用国外铝土矿资源的安全评价与策略[J].中国矿业,2010,19(3):13-15.
- [3]陈志友,李旺兴,陈湘清.铝土矿中铝硅矿物晶体结构的综述[J].轻金属,2008(2):6-9.
- [4]吴良士,白鸽,袁忠信.矿产原料手册[M].北京:化学工业出版社,2007.43-49.
- [5]陈晓青,杨进忠,毛益林,等.重庆赵家坝中低品位铝土矿选矿试验研究[J],矿产综合利用,2011(5):12-14.
- [6]红钢.河南铝土矿的矿石性质及其对选冶工艺的影响[J],矿冶,2002(1):27-32.

## Study on Process Mineralogy for Guangxi Baise Bauxite Ore

Lu Weiyu, Luo Haiyan, Xu Xia

(Guangxi Metallurgical Research Institute, Nanning, Guangxi, China)

**Abstract:** Through the chemical analysis of multi-elements of Guangxi Baise bauxite ore and the identification of optical microscopy, the research on mineralogical process was carried on this ore, verifying the ore material composition, occurrence and mineral dissemination characteristics of aluminum. The research results showed that the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  grade of the samples was 57.46% and the content of  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  was 6.97% and 16.13% respectively, which is relatively high. The minerals containing aluminum of the samples are mainly, a small amount of gibbsite and boehmite, minerals containing silicon mainly as kaolinite, a small amount of sericite and quartz; minerals containing iron mainly as hematite and limonite. The size of diaspora, kaolinite and disseminated hematite and limonite is relatively fine (0.005~0.01mm), and the cemented hematite is relatively coarse (0.01~2mm). The research results can provide reference for iron removal and silicon reduction process.

**Keywords:** Bauxite; Process mineralogy; Diaspora; Mineral dissemination characteristics.