

云南省个旧市白云山霞石正长岩矿床地质特征*

Geological Characteristics of Baiyunshan Epheline Syenite Deposit,
Gejiu, Yunnan

陈百友 虞裕如 江鸿飞

(云南省有色地质勘查院, 云南 昆明 650216)

Chen Baiyou, Yu Yuru and Jiang Hongfei

(Yunnan Nonferrous Metals Survey Institute, Kunming 650216, Yunnan, China)

摘 要 白云山碱性侵入岩体具岩相分带特征。边缘相和过渡相由碱性正长岩类组成, 出露面积 6.5 km²。内部相由霞石正长岩类和白霞正长岩类组成, 出露面积 9.5 km²。内部相岩石及其风化壳以富铝、富碱, 尤其富钾、高 $(n(K_2O) + n(Na_2O)) / n(Al_2O_3)$ 、低铁为特征, 多数达到霞石矿工业指标要求。矿石质量与自然类型密切相关, 由霞石正长岩、方钠霞石正长岩→白霞霞石正长岩→霞石白霞正长岩、白霞正长岩→风化壳、碱闪霞石正长岩, 矿石质量逐渐下降。与俄罗斯霞石矿对比, 白云山霞石矿总体属 II 类矿石。白云山霞石正长岩矿床远景储量 23.95 亿吨, 具有较好的综合开发前景。

关键词 霞石正长岩 地质特征 白云山 云南

霞石矿是生产氧化铝、钾碱、钠碱、水泥和陶瓷等产品的重要矿物原料(于吉林等, 1997)。俄罗斯已有 50 多年的用烧结法工艺综合利用霞石矿的历史, 但中国目前尚无此先例。

云南省个旧市白云山霞石正长岩资源综合利用工作始于 1987 年。早在 1993 年, 国家计委就已将“积极开发利用个旧霞石正长岩资源, 建立钾肥、铝材、水泥等工业基地”列入西南和华南部分省区区域发展规划纲要。经过多部门 10 年的不懈努力, 于 1997 年底提交了白云山大型霞石正长岩矿床的地质勘探报告, 完成了霞石正长岩资源综合利用的烧结法工艺试验及技术经济评价, 认为该矿床具有较好的综合开发前景。本文重点介绍白云山霞石正长岩矿床的地质特征, 特别是矿石质量及其评价方法。

1 区域及矿区地质概况

矿区在大地构造位置上位于扬子地台西缘滇东南褶皱带个旧断褶束中。该断褶束具多期、多阶段岩浆活动, 燕山期酸性侵入岩尤为发育, 喜山期尚有碱性岩和富碱花岗岩侵入。本区矿产主要为与燕山期花岗岩有密切成因联系的锡多金属矿床和产于喜马拉雅期碱性岩中的霞石正长岩矿床。

白云山碱性岩体是金沙江—红河碱性岩带中的一个岩体, 南北长 5.5 km, 东西宽 2.0~3.5 km, 出露面积约 16 km², 呈岩株产出。东部与三叠系法朗组薄层灰岩、泥灰岩、砂页岩呈侵入接触; 西部和南部分别与燕山期斑状花岗岩(γ_5^{3a})和中粒花岗岩(γ_5^{3b})呈侵入接触; 北部则被喜马拉雅晚期细粒花岗岩(γ_6^b)侵入。该碱性岩体 K-Ar 法年龄为 59.5~62 Ma, 属喜马拉雅早期。 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 0.7038~0.7099, 表明该岩体物质成分主要来源于地幔, 并有少量陆壳物质混染。

*本文为云南省个旧市白云山霞石正长岩矿床地质普查及勘探的部分成果

第一作者简介 陈百友, 男, 1964 生, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查及研究工作。

白云山碱性岩体分带比较明显,可分为边缘相、过渡相及内部相。边缘相和过渡相由碱性正长岩类组成,呈不对称环状分布,出露面积约 6.5 km^2 ,出露宽度数十米至 500 m 不等,在岩体东北部出露较宽,可达 1500 m 。边缘相由角闪正长岩、霓辉正长岩、黑云母正长岩、碱长正长岩和石英正长岩等组成,东部偏基性,西部和南部偏酸性,岩石为细粒结构和似斑状结构,捕虏体及角闪石、黑云母析离体较发育。过渡相的岩石及其矿物组成与边缘相大体一致,但有中粗粒和似粗面结构出现,在靠近内部相一侧的碱性正长岩中可见少量($\leq 1\%$)霞石、方钠石和副长石类矿物,暗色矿物角闪石、辉石过渡为富碱种属即绿钠闪石、霓辉石等,并见形态各异、大小不等(数十平方厘米至数十平方米)、边界清楚的霞石正长岩分异体,且向内侧呈增多趋势。内部相由霞石正长岩类及其蚀变岩(白霞正长岩类)组成,出露面积约 9.5 km^2 ,以中粗粒结构为主,少量伟晶结构,暗色矿物含量较边缘相和过渡相少。部分中粗粒霞石正长岩和白霞正长岩中(特别是在内部相内侧)含 $5\% \sim 25\%$ (局部高达 40%)的细粒霞石正长岩或白霞正长岩团斑,这些团斑直径 $2 \sim 4 \text{ cm}$,矿物成分与围岩相似,主要由碱性长石和霞石或绢云母集合体组成。与围岩相比,团斑的碱性长石和黑云母含量略偏高,霞石或蚀变绢云母含量略偏低。

过渡相中的中粗粒霞石正长岩分异体和内部相中的细粒霞石正长岩或白霞正长岩团斑为岩浆液态不混溶作用的产物。边缘相与过渡相呈渐变过渡关系,而过渡相与内部相呈速变过渡关系,表明岩浆在侵入之前由于液态不混溶作用已在深部岩浆房形成了明显的成分分带,上为碱性正长岩类岩浆,下为霞石正长岩类岩浆(李志群等, 1992; 陶奎元等, 1989; 宋谢炎, 1990)。白云山碱性岩体岩相分带是同化混染作用、结晶分异作用及液态不混溶作用共同作用的结果。

白云山碱性岩为中度碱性—过碱性岩,里特曼指数(σ)变化范围为 $5.92 \sim 34.87$ 。从边缘相至内部相,岩石化学成分有规律地变化,即 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 MgO 含量逐渐降低, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 总量及 Al_2O_3 含量逐渐升高。

白云山碱性岩稀土元素总量(w_B)一般为 $(383.93 \sim 687.69) \times 10^{-6}$,其中碱性正长岩类、霞石正长岩类、白霞正长岩类的平均含量分别为 595.8×10^{-6} 、 439.7×10^{-6} 、 584.7×10^{-6} ,稀土配分型式相似,均为轻稀土富集型, $\Sigma \text{Ce} / \Sigma \text{Y}$ 为 $22.47 \sim 47.81$, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 $15.34 \sim 35.37$, δEu 为 $0.63 \sim 1.09$ 。主要岩石类型的土配分的总体相似性和局部差异性,反映了同源岩浆分异演化的特点。

热液蚀变集中于内部相,主要蚀变类型依次为绢云母化、方钠石化和钠沸石化。方钠石化主要见于内部相外带,常交代霞石,形成于岩浆结晶作用阶段晚期。钠沸石化和绢云母化形成于岩浆自变质作用阶段。早期为钠沸石化,交代副长石类矿物或沿微细裂隙充填交代,分布范围较局限;晚期为大范围面型绢云母化,主要交代副长石类矿物,形成白霞正长岩,产于岩体核部,局部受霞石正长岩中的节理裂隙控制,呈线型分布。

2 矿床地质特征

2.1 矿石自然类型及矿物成分

白云山霞石正长岩矿床由霞石正长岩、白霞正长岩及风化壳 3 种自然类型矿石组成。霞石正长岩型矿石按矿物成分又可分为碱闪霞石正长岩、方钠霞石正长岩及霞石正长岩 3 个亚类,并以后者为主。白霞正长岩型矿石为自变质蚀变型矿石,按蚀变强度可分为白霞霞石正长岩、霞石白霞正长岩及白霞正长岩 3 个亚类。风化壳型矿石是由霞石正长岩类和白霞正长岩类矿石风化而成的,呈土状、砂土状及疏松块状。各种自然类型矿石的矿物成分见表 1。

2.2 矿体形态、产状及规模

按白云山霞石正长岩矿床烧结法综合利用工业指标衡量,白云山碱性岩体的边缘相和过渡相岩石为围岩,内部相岩石及其风化壳为矿石,其中霞石正长岩(出露面积约为 5 km^2)多属 I 级矿石,大部分白霞正长岩(出露面积约为 4.5 km^2)及部分风化壳为 II 级矿石。白云山霞石正长岩矿床规模巨大,其中 I 级矿石远景储量为 9.63 亿吨,II 级矿石远景储量 14.32 亿吨,总计 23.95 亿吨。勘探块段仅为岩体

表 1 云南省白云山霞石正长岩矿床矿石矿物成分

矿石类型	主要矿物	暗色矿物	副矿物
角闪霞石正长岩	碱性长石 54%~74%，钠长石 2%~10%，霞石 4%~15%，方钠石 3%~5%	角闪石 8%~15%，霓辉石 1%~5%，黑云母 ≤2%	榍石 ≤2%，萤石 ≤2%，磷灰石 ≤1%
方钠霞石正长岩	碱性长石 43%~55%，霞石 15%~28%，方钠石 6%~20%，沸石 1%~6%，钙霞石少量	角闪石少量~3%，黑云母少量~2%，黑榴石少量~3%	萤石少量~5%，榍石少量
霞石正长岩	碱性长石 50%~54%，霞石 23%~35%，沸石少量~5%，钙霞石少量~3%，绢云母少量~2%	角闪石少量~3%，黑云母 2%~5%，黑榴石 2%~5%	榍石、磁铁矿、锆石少量，方解石少量~2%
白霞正长岩	碱性长石 52%~70%，霞石少量，白霞石（绢云母）30%~40%，沸石少量，钠长石少量	黑云母少量~2%，黑榴石少量~3%，角闪石少量	萤石少量~3%，方解石少量~2%，榍石和白钛石少量
风化壳	新生水铝硅酸盐矿物 40%~70%（其中高岭石占 70%，水云母 20%，蒙脱石 8%，三水铝石 ≤3%），残余碱性长石 30%~60%		

北段的一部分，长 800 m，宽 500 m，面积 0.4 km²，控制标高为 1850 m，按 100×100~200×200 m 基本网度进行勘探，探明 B+C+D 级矿石量 5554 万吨，其中 B+C 级 3961.5 万吨。

风化矿石断续分布于地表，矿体规模较小，形态不规则，厚度变化大，最厚达 99.40 m。霞石正长岩类矿石呈“层带”状，分布于内部相地表和浅部，矿体形态简单，厚度较大（达 152.11 m），延展稳定。白霞正长岩类矿石总体呈面形产于岩体核部，位于霞石正长岩之下，顶面波状起伏，内含大小不等的霞石正长岩蚀变残余体。部分白霞正长岩沿霞石正长岩原生节理呈线形分布。

白云山碱性岩体中后期岩脉不发育，普查区内现有工程揭露的夹石数量较少。夹石大都见于白霞正长岩中，厚达 64.65 m，向深部呈增多趋势，其次见于风化壳中。

2.3 矿石质量

2.3.1 霞石矿的有益、有害组分及质量参数

霞石矿的主要有益组分为 Al₂O₃、K₂O 及 Na₂O，它们的含量直接决定了企业的生产效益。伴生有益组分为 Ga、Li、Rb、Cs、Nb、Ta 等，但目前仅 Ga 能够工业回收。有害组分为 Fe₂O₃、MgO、TiO₂、S、Cl 等，其中 Fe₂O₃ 为主要有害组分。根据烧结法工艺要求，霞石矿的 Fe₂O₃ 含量必须 <5%，否则要经过选矿处理。

不仅化学组分的绝对含量影响着矿石的质量，而且化学组分的含量比值也具有重要意义。例如：碱比 (M_m) 不仅决定了碱溶出率的高低，而且影响整个生产工艺；硅比 (M_{si}) 和钙比 (M_{ca}) 决定了生产过程中的物料流量和霞石泥的输出量，若 SiO₂ 含量高，则为了保持一定的钙比 (M_{ca})，需在生料中配加的石灰石数量将大大增加，从而产出的霞石泥数量也相应增多。根据俄罗斯的生产经验，优质霞石矿的碱比 (M_m) 接近 1，硅比 (M_{si}) 接近 2.2，主要有益组分 Al₂O₃ 含量、质量指标 (I) 及碱比 (M_m) 是评价霞石矿质量的主要指标或参数。

霞石矿的有关质量参数的计算公式（式中氧化物均为质量分数）如下：

$$M_m = [(0.66K_2O + Na_2O) / Al_2O_3] \times 1.645$$

$$M_{si} = (SiO_2 / Al_2O_3) \times 1.70$$

$$M_{ca} = (CaO / SiO_2) \times 1.07$$

$$AN = 161Al_2O_3 / (2.86SiO_2 + 1.61Al_2O_3 + Fe_2O_3)$$

$$Q^{C2S} = 0.0572QC \cdot SiO_2 / (2.86SiO_2 + 1.61Al_2O_3 + Fe_2O_3)$$

$$Q^{Na,K} = [(2.33K_2O + Na_2O)0.593h_{R2O}] / (ha^T \cdot Al_2O_3)$$

$$I = (1 + Q^{C2S} + Q^{Na,K}) / 0.16QC$$

质量指标 (I) 为用烧结法工艺处理霞石矿，获得 1 t 氧化铝及其他相应产品的价值总和与所耗燃料价值之比值，在一定程度上反映了潜在的经济效益。AN 为熟料中 NaAlO₃ 的百分含量， Q^{C2S} 为熟料中 Ca₂SiO₂ 含量， $Q^{Na,K}$ 为熟料中 Na 和 K 含量，QC 为生产每吨氧化铝熟料的燃料单耗， ha^T 为氧化铝溶出率， h_{R2O} 为碱溶出率。根据 M_m 和 AN 计算值可以分别给出 h_{R2O} 和 QC、 ha^T 的经验值。

2.3.2 矿床工业指标

白云山霞石正长岩矿床的工业指标是在地质勘探基础上，根据中俄双方工艺试验合作研究成果及拟

建年产 5.5 万吨氧化铝及相应钾、钠、水泥产品的规划要求,由地质、工艺、设计部门共同推荐,经云南省矿产储量委员会〔1997〕07 号文批准的。具体内容如下:

(1) I 级品矿石的边界指标: $w(\text{Al}_2\text{O}_3) \geq 21\%$, $I \geq 1.0$, M_m 0.7;

(2) II 级品矿石的边界指标: $w(\text{Al}_2\text{O}_3) 21\%$, $I \geq 1.0$, M_m 0.5;

(3) 首采块段最低工业指标: Al_2O_3 22%, $I \geq 1.05$, M_m 0.7;

(4) 夹石剔除厚度: ≥ 3 m;

(5) 分布于霞石正长岩内的呈线型分布的霞正长岩不再单独圈出,其数量可根据组成矿石的样品长度用统计法评价。

2.3.3 矿石化学成分及质量

白云山霞石正长岩矿床各种类型矿石的化学成分及质量参数见表 2。参考上述白云山霞石正长岩矿床工业指标,可将白云山矿区霞石矿分为 I_A级 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 21\%$, $I \geq 1.0$, $M_m \geq 0.8$)、I_B级 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 21\%$, $I \geq 1.0$, $0.8 > M_m \geq 0.7$)、II 级 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 21\%$, $I \geq 1.0$, $0.7 > M_m \geq 0.5$),其中霞石正长岩亚类和方钠霞石正长岩亚类属优质 (I_A级) 矿石,白霞霞石正长岩亚类属较高质量 (I_B级) 矿石,霞石白霞正长岩亚类、白霞正长岩亚类及部分风化壳型属较低质量 (II 级) 矿石,碱闪霞石正长岩亚类和部分风化壳型属贫矿石或非工业矿石。白云山霞石矿伴生有益组分为镓 (w_{Ga} 0.0017%~0.0030%) 和铷 (w_{Rb} 0.0211%~0.0730%)。有害组分 Fe_2O_3 、S、F、Cl 含量低,其中 w_{S} 含量一般为 0.007%~0.113%, w_{F} 0.02%~0.56%, w_{Cl} 0.0016%~0.15%。

与俄罗斯正在开采的希宾(科拉)霓霞-磷霞岩矿床 ($w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 28.6%, $M_m=1.00$, $I=1.44$) 和基雅-沙尔茨磷霞岩矿床 ($w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 26.7%, $M_m=0.79$, $I=1.25$) 相比,白云山霞石正长岩矿床矿石质量稍差,但可与俄罗斯已勘探的萨昆假白榴石正长岩矿床 ($w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 21.4%, $M_m=0.95$, $I=1.23$) 类比。与俄罗斯霞石矿对比,白云山霞石矿总体属 II 类矿石。

表 2 云南省白云山霞石正长岩矿床矿石化学成分及质量参数

矿石类型	$w_B/\%$						质量参数	
	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	SiO_2	TFe_2O_3	M_m	I
霞石正长岩类								
碱闪霞石正长岩	19.00~21.20	8.64~9.74	2.57~5.13	0.76~3.12	54.07~58.72	3.64~4.96	0.70~0.88	0.92~0.98
方钠霞石正长岩	21.56~22.35	7.92~9.08	6.23~8.20	2.35~2.40	52.77~52.84	3.17~3.87	0.99~1.06	1.09~1.15
霞石正长岩	22.22~22.73	11.25~12.52	4.42~5.03	1.12~2.57	52.95~53.54	2.29~3.06	0.88~1.02	1.13~1.20
白霞正长岩类								
白霞霞石正长岩	22.16~23.07	11.08~12.48	2.85~4.04	1.82~2.62	52.22~54.88	1.71~2.54	0.73~0.76	1.01~1.14
霞石白霞正长岩	22.63~23.06	11.34~12.46	1.29~1.65	1.25~1.56	55.51~55.53	2.24~2.45	0.58~0.70	1.00~1.05
白霞正长岩	22.79~24.61	12.25~13.91	0.27~0.63	0.57~1.22	55.17~57.43	2.00~3.11	0.64~0.70	1.06~1.08
风化壳	23.12~24.72	10.30~12.48	0.51~1.34	0.05~0.49	48.95~56.34	2.38~5.55	0.23~0.61	0.94~1.07
平均								
详查区	22.80	11.30	2.90	1.50	54.80	2.70	0.74	1.07
勘探区	22.60	11.70	3.50	1.50	54.50	2.70	0.82	1.12

3 主要结论

(1) 白云山碱性岩体分带比较明显,可分为边缘相、过渡相及内部相。由边缘相至内部相,岩石由细粒结构过渡为中粗粒结构,局部为伟晶结构,副长石类矿物由无到大量出现,石英从局部大量出现(由于同化混染花岗岩类岩石)至无,碱性暗色矿物和黑榴石从少到普遍存在, SiO_2 和 TFe_2O_3 含量降低, $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 总量及 Al_2O_3 含量增高。

(2) 白云山霞石矿由霞石正长岩型、白霞正长岩型及风化壳型 3 种矿石自然类型组成,并以前 2 种类型为主,其中霞石正长岩型矿石多属优质矿石,白霞正长岩型和风化壳型矿石多属较低质量矿石。

(3) 霞石正长岩类矿石呈“层带”状,产于内部相地表和浅部,矿体形态简单,厚度较大,延展

稳定。白霞正长岩类矿石总体呈面型分布，产于岩体核部（位于霞石正长岩之下），部分受节理裂隙控制，呈线型产于霞石正长岩之中。风化壳型矿石分布于地表，矿体规模较小，形态不规则，厚度变化大。

（4）白云山霞石矿远景储量 $2.39 \times 10^9 \text{ t}$ ，具有较好的综合开发前景。

参 考 文 献

- 于吉林, 周宰星. 1997. 河南安阳九龙山霞石正长岩矿床地质特征. 建材地质, (5): 13~15.
- 李志群, 张泰身, 李正才. 1992. 个旧碱性侵入岩体岩浆液态分异作用的动力学机制. 西南矿产地质, (6): 43~48.
- 陶奎元, 薛怀明. 1989. 论南京娘娘山碱性岩浆房的梯度及其成因机制. 岩石矿物学杂志, (4): 289~299.
- 宋谢炎. 1990. 新疆黄山杂岩体岩浆液态不混溶性岩石学特征及其成因. 成都地质学院学报, (3): 38~45.

<http://www.kcdz.ac.cn/>