

刘平, 廖友常. 黔中—渝南沉积型铝土矿区域成矿模式及找矿模型[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2063–2082.

Liu Ping, Liao Youchang. Regional metallogenic model and prospecting criteria of sedimentary bauxite deposits in Central Guizhou–Southern Chongqing region[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2063–2082(in Chinese with English abstract).

# 黔中—渝南沉积型铝土矿区域成矿模式及找矿模型

刘 平 廖友常

(贵州省地矿局 106 地质大队, 贵州 遵义 563000)

**摘要:**黔中—渝南沉积型铝土矿的区域成矿模式概括如下: 志留纪末的广西运动和泥盆纪末的紫云运动等, 可能都是在峨眉地幔柱演化的壳幔相互作用阶段, 因地幔柱向地壳大量输送物质和辐射能量, 从而引发的地壳升降运动, 在此期间, 全区大面积抬升, 形成长期隆起区; 泥盆纪末准平原化; 早石炭世岩关期气候湿热, 暴露地表的早古生代岩石全面红土化、钙红土化, 形成的含三水铝石红土风化壳物质, 为沉积型铝土矿提供了物源。修文及息烽—遵义沉积区, 于早石炭世大塘期早—中期沉积了铝土矿含矿岩系—九架炉组。绥阳—正安一道真沉积区, 在晚石炭世的黄龙组石灰岩沉积并钙红土化之后, 于马平期沉积了铝土矿含矿岩系的大竹园组。3 个沉积区的铝土矿含矿岩系, 都是在以陆相为主的环境中沉积形成的。在成岩阶段, 铝土矿中的三水铝石逐渐变质为硬水铝石。由于各沉积区形成含三水铝石红土风化壳的母岩不同, 由此沉积而成的铝土矿及其含矿岩系, 在化学成分和矿物成分上也就有差异。

**关键词:**沉积型铝土矿; 红土风化壳; 区域成矿模式; 区域找矿模型; 黔中—渝南

**中图分类号:** P618.45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)06-2063-20

贵州境内铝土矿的成矿时期有 4 个, 分别是早石炭世、晚石炭世、中二叠世和晚二叠世。中二叠世铝土矿见于黔东南凯里、黄平一带, 分布范围小, 矿石储量较少。晚二叠世铝土矿分布局限, 矿石品位较低, 多未达工业要求。本文只讨论广泛分布于黔中—渝南、规模巨大、矿石质量较佳的石炭纪铝土矿的区域成矿模式及找矿模型。

## 1 黔中—渝南石炭纪沉积型铝土矿的分布

黔中—渝南石炭纪沉积型铝土矿, 分布于南起黔中清镇、修文, 向北经息烽、遵义、正安、道真、务川, 直至重庆市南川、武隆等地, 呈 NNE 向展布, 长约 370 km, 构成规模巨大的黔中—渝南铝土矿成矿

带。在成矿带内, 铝土矿床、点相对集中在 5 个片区内, 自南向北, 组成修文、息烽、遵义、正安、道真 5 个铝土矿带, 矿带之间为 NWW 向的无矿带或基本无矿带所间隔<sup>[1-4]</sup>。该 5 个铝土矿带, 分属于修文、息烽—遵义和绥阳—正安一道真 3 个沉积区。修文、息烽—遵义 2 沉积区的铝土矿, 产于早石炭世的含矿岩系, 岩石地层名为九架炉组(C<sub>1jj</sub>)<sup>[5, 6]</sup>; 绥阳—正安一道真沉积区的铝土矿, 产于晚石炭世含矿岩系, 岩石地层名为大竹园组(C<sub>2d</sub>)<sup>[6, 7]</sup>。铝土矿床、点及沉积区分布如图 1。

## 2 区域地质地貌背景

### 2.1 区域地质构造

黔中—渝南铝土矿成矿带, 位于扬子准地台(I

收稿日期: 2013-10-25; 改回日期: 2014-01-24

作者简介: 刘平, 男, 1935 年生, 高级工程师, 长期从事地质和矿产资源勘查工作, E-mail: lyc106@163.com。

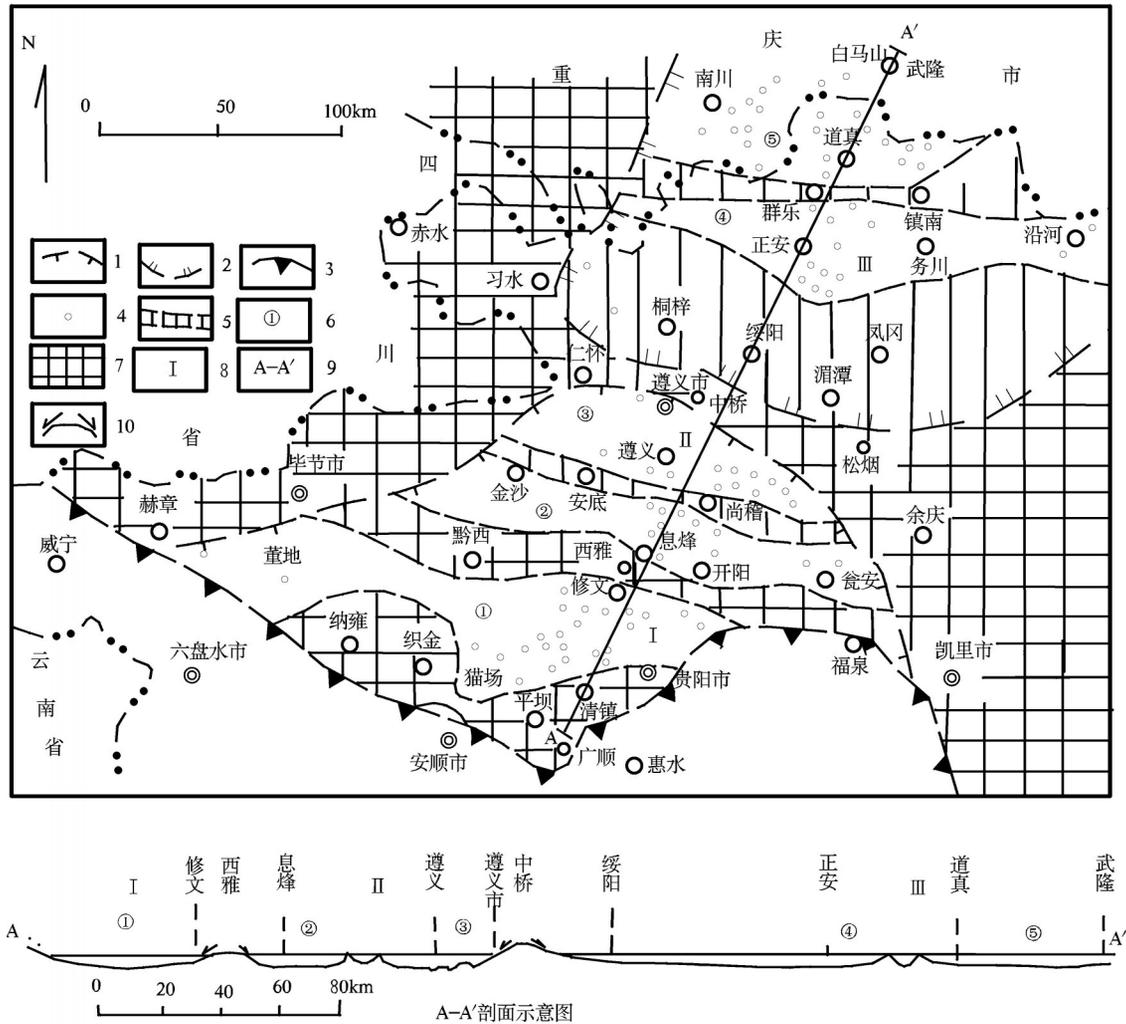


图1 黔中—渝南铝土矿含矿岩系沉积区分布图

1—九架炉组分布区(推测边界); 2—大竹园组分布区(推测边界); 3—石炭纪海相地层分布区(推测边界); 4—铝土矿床、点;  
 5—基本无矿带; 6—铝土矿带编号: ①—修文铝土矿带, ②—息烽铝土矿带, ③—遵义铝土矿带, ④—正安铝土矿带, ⑤—道真铝土矿带;  
 7—侵蚀、溶蚀、剥蚀区; 8—含矿岩系沉积区编号: I—修文沉积区, II—息烽—遵义沉积区, III—绥阳—正安—道真沉积区;  
 9—A—A'剖面示意图位置; 10—红土风化壳物质搬运方向

Fig.1 Distribution of bauxite-bearing rock series sedimentary areas in Central Guizhou-South Chongqing region  
 1-Distribution of Jiujialu Formation (inferred boundary); 2-Distribution of Dazhuyuan Formation (inferred boundary); 3-Distribution of Carboniferous marine strata (inferred boundary); 4-Bauxite deposit (ore spot); 5-Barren belt; 6-Serial number of bauxite belt: ①-Xiuwen bauxite belt, ②-Xifeng bauxite belt, ③-Zunyi bauxite belt, ④-Zheng'an bauxite belt, ⑤-Daozhen bauxite belt; 7-Erosion area, corrosion area, denudation area; 8-Serial number of ore deposition area: I-Xiuwen deposition area, II-Xifeng-Zunyi deposition area, III-Suiyang-Zheng'an-Daozhen deposition area; 9-Location of A-A' section; 10-Migration direction of ateredite weathering crust

级)内黔北台隆(Ⅱ级)的遵义断拱(Ⅲ级)中。大致在安顺—贵阳—凯里一线以北,为黔北台隆,是一个从震旦纪到晚三叠世中期的隆起区;该线以南为黔南台陷,这是一个与黔北台隆相对应的Ⅱ级构造单元,是泥盆纪到晚三叠世中期的坳陷区。大致在赫章—安顺—一线(即岷都—紫云—南丹断裂带)北东为遵义断拱,该线南西为六盘水断陷带,是黔北台隆

内一个与遵义断拱相对应的Ⅲ级构造单元。遵义断拱是泥盆纪、石炭纪的隆起区,六盘水断陷带是泥盆纪、石炭纪的沉积区<sup>[8]</sup>。

### 2.2 区域地貌

本区自都匀运动(奥陶纪与志留纪之间)和广西运动(志留纪与泥盆纪之间)后,在地壳不断隆升的同时,各种地貌作用也十分活跃,到泥盆纪末期,全

区已准平原化<sup>[5]</sup>。在已有准平原(泥质岩、碎屑岩分布区)、准溶原(碳酸盐岩分布区)的基础上,到铝土矿含矿岩系沉积之前和沉积过程中,又发育了不同类型、不同规模的多种地貌形态。除了泥质岩、碎屑岩分布区内的侵蚀地貌,如低山、丘陵、谷地、洼地等外,由于碳酸盐岩广泛分布,岩溶地貌甚为发育。

区内岩溶负地形个体形态主要有溶斗(岩溶漏斗)、溶洼(岩溶洼地)、溶盆(岩溶盆地)、溶原(岩溶平原)、溶湖(岩溶湖泊)等。溶盆、溶洼是区内数量最多、分布最广的岩溶负地形个体形态。溶洼面积一般小于0.5 km<sup>2</sup>。溶盆是由溶洼进一步发展、扩大而成的,面积一般大于5 km<sup>2</sup>。在溶盆、溶洼中,由于岩溶多次发育,常叠加有新的溶斗、溶洼、溶坑等,形成的盆中洼、洼中斗、洼中坑等甚为常见。溶原是由溶盆发育扩大而成的,面积可达数百至数千平方千米。

区内地貌正地形个体形态,主要有低山、丘陵及溶丘、残丘等。

根据区内铝土矿含矿岩系沉积前的地质构造、岩石组合及侵蚀、溶蚀地貌形态等,可分为6个地貌区,自南而北简述如下:

(1)纳雍—平坝丘陵、溶丘区:西部纳雍、织金一带是由下寒武统明心寺组、金顶山组泥岩、页岩、砂岩、粉砂岩等形成的丘陵区;东部平坝、长顺一带是由中—上泥盆统高坡场组白云岩形成的溶丘区,共同构成滇黔桂海与黔中古陆的分水岭。

(2)修文—董地准溶原区:呈近东西向分布,是修文沉积区所在位置。东部的修文溶原,是铝土矿及其含矿岩系的主要沉积区,构成修文铝土矿带主体;位于西部董地一带的溶盆—溶丘区,虽有含矿岩系沉积,但铝土矿较少见。

(3)西雅—黔西溶丘带:由中上寒武统娄山关群白云岩形成的岩溶丘陵,横亘在南部修文沉积区与北部息烽—遵义沉积区之间。

(4)息烽—遵义准溶原区:是息烽—遵义沉积区所在场所,以溶蚀地貌为主。铝土矿床、点主要集中在北部的遵义溶原内,构成遵义铝土矿带;南部的息烽—瓮安溶盆—溶丘区,是息烽铝土矿带赋存的场所,因溶盆、溶洼少而小,溶丘、残丘较多,以致矿床、点较少,规模亦较小。遵义矿带与息烽矿带之间,为尚稽—安底断续分布的溶丘、残丘所间隔。

(5)松烟—中桥—仁怀低山—丘陵带:主要为中奥陶统至下志留统的泥质岩、碎屑岩及少量碳酸盐岩等岩石组合形成的,以侵蚀为主的地貌类型。是息烽—遵义沉积区与绥阳—正安—道真沉积区的分界线,更是南部九架炉组与北部大竹园组沉积区的分水岭。

(6)黔北—渝南准平原:全区以侵蚀地貌为主,溶蚀地貌次之,形成有平原、丘陵、洼地、湖泊,兼有溶盆、溶洼、溶丘的地貌组合类型,是绥阳—正安—道真铝土矿及其含矿岩系的沉积区。南部桐梓、绥阳、凤冈一带,基底全为下志留统韩家店群页岩、泥岩组成的平原地带,含矿岩系大多已被剥蚀;中部正安一带,以韩家店群页岩、泥岩为主,仅有少量黄龙组灰岩残留。形成多个侵蚀洼地,是正安铝土矿带所在区域。北部道真、务川北部及渝南一带,除韩家店群页岩、泥岩外,还有较多黄龙组石灰岩,侵蚀、溶蚀洼地都有,是铝土矿床、点较多集中的地段,构成道真铝土矿带。在正安矿带与道真矿带之间的镇南—群乐一线,有近东西向断续分布的丘陵—溶丘带,将2矿带分隔开来。

综上,本区内存在2个明显的径流区,一个是早石炭世大塘期九架炉组沉积时,由北向南汇集的径流区,水流最终汇入南部的滇黔桂浅海;另一个是晚石炭世马平期大竹园组沉积时,自南向北汇集的径流区,水流最终汇入北部的渝鄂海湾<sup>[6]</sup>。

## 3 铝土矿含矿岩系概况

### 3.1 铝土矿含矿岩系特征

铝土矿含矿岩系的含义,是指产于广西运动及道真运动(晚石炭世达拉期与马平期之间)<sup>[6]</sup>侵蚀面上的,以铝土矿为主,兼有铁矿、硫铁矿、煤矿及耐火粘土矿的,由洪积相、冲积相、湖沼相、泥炭沼泽相等陆相为主的沉积物组成的一套沉积岩系。

根据含矿岩系特征,可分为上、下2个岩性段。

下段为铁质—粘土岩段或粘土岩段,主要由铁质粘土岩、绿泥石粘土岩、绿泥石岩、伊利石粘土岩、高岭石伊利石粘土岩等组成,时夹似层状、透镜状、扁豆状赤铁矿、绿泥石赤铁矿等。修文沉积区内铁矿常构成工业矿体,其它沉积区铁矿体少见。硫铁矿体较为普遍,但正安—道真沉积区相对较少见。各地粘土岩中常见植物化石碎片。

上段为铝质岩段或铝质-粘土岩段, 主要由各种类型的铝土矿、铝土岩以及伊利石粘土岩、高岭石粘土岩、炭质粘土岩等组成, 时夹硫铁矿层、劣质煤层等。粘土岩、铝土岩、铝土矿中, 常见植物化石碎片, 时见鳞木脐根座。层间侵蚀间断面较为常见。铝土矿矿石结构类型复杂多样, 尤以碎屑结构最为发育。矿石工业类型以低铁低硫铝土矿为主, 其次为高硫铝土矿和少量高铁铝土矿。

### 3.2 含矿岩系下伏地层

含矿岩系下伏地层因地而异, 分述如下。

修文沉积区: 含矿岩系的直接下伏地层皆为寒武系, 主要有下寒武统清虚洞组( $C_1q$ )石灰岩、白云岩, 厚约 200 m; 中寒武统高台组( $C_2g$ )泥质白云岩、页岩, 厚 30~50 m; 石冷水组( $C_2s$ )白云岩、泥质白云岩等, 厚 250~300 m; 中上寒武统娄山关群( $C_{2-3}ls$ )白云岩, 厚 500~767 m。

息烽—遵义沉积区: 直接下伏地层有娄山关群白云岩, 残留厚度 575~1045 m; 下奥陶统桐梓组( $O_1t$ )白云岩夹伊利石页岩, 残留厚度 63~122 m; 红花园组( $O_1h$ )生物碎屑灰岩, 厚 0~176 m; 湄潭组( $O_1m$ )伊利石页岩为主, 夹砂质、粉砂质伊利石页岩、粉砂岩等, 厚 0~317 m。在北部边缘地区, 有少量中、上奥陶统及下志留统岩石。全区以娄山关群白云岩及下奥陶统伊利石页岩及白云岩为主。

绥阳—正安一道真沉积区: 主要为下志留统韩家店群( $S_1hj$ )伊利石页岩、泥岩、粉砂质页岩夹砂岩、粉砂岩, 厚 0~500 m。正安附近以北有少量上石炭统黄龙组( $C_2h$ )石灰岩, 厚 0~14 m。

### 3.3 含矿岩系上覆地层

修文沉积区含矿岩系的直接上覆地层, 南部有下石炭统上司组( $C_1s$ )泥灰岩、页岩、瘤状灰岩等, 厚 0~10 m。大部分地区为摆佐组( $C_1b$ )白云岩、灰岩, 厚 6~90 m。

息烽—遵义沉积区和绥阳—正安一道真沉积区, 直接上覆地层皆为中二叠统梁山组( $P_2l$ )炭质页岩、粘土质页岩等(一般厚 0~10 m)和(或)栖霞组( $P_2q$ )石灰岩(厚度大于 50 m)。

### 3.4 含矿岩系保存状况

修文沉积区含矿岩系即九架炉组, 在早石炭世岩关期含三水铝石红土风化壳形成之后, 随即在大塘期早、中期沉积而成的, 并被大塘期晚期的上司

组和(或)德坞期的摆佐组所覆盖。从沉积形成到上覆地层掩盖, 中间无大的间断, 保存完整。

息烽—遵义沉积区的九架炉组, 在沉积之后大约经历 60 Ma 的间断期, 到中二叠世早期才被梁山组、栖霞组所覆盖, 显然遭到一定程度的剥蚀, 保存已不甚完整。

绥阳—正安一道真沉积区的大竹园组, 是在早石炭世岩关期含三水铝石红土风化壳形成后约 50 Ma, 才于晚石炭世马平期沉积而成的。其间曾有过海相黄龙组灰岩的沉积, 以及该灰岩的钙红土化。大竹园组沉积之后, 又经历约 25 Ma 的剥蚀, 到中二叠世早期才被梁山组、栖霞组所覆盖。由于剥蚀时间长, 所以大竹园组远不如九架炉组厚度为大。

## 4 铝土矿矿床地质特征

### 4.1 铝土矿矿体特征

铝土矿矿体剖面形态有层状、似层状、透镜状及漏斗状等, 修文和正安一道真沉积区多为层状、似层状及透镜状; 息烽—遵义沉积区多为似层状、透镜状及漏斗状。矿体一般 1 层, 少数 2~3 层, 息烽—遵义沉积区内一些大厚度的含矿岩系中, 最多可见 12 层矿体, 其累计厚度可达 73.05 m。矿体厚度以息烽—遵义沉积区变化最大, 多属不稳定类型, 修文沉积区多属较稳定类型, 正安一道真沉积区多属稳定类型(表 1)。

矿体平面形态多呈长条形、椭圆形及不规则形, 长轴方向有 NE 向、NW 向、近南北向和近东西向。矿体一般长 1000~3000 m, 宽 500~1000 m。修文矿带猫场矿区已知最大矿体长 6500 m, 宽 2500~3000 m。正安、道真矿带内, 矿体一般长 500~3000 m, 个别矿体较大, 如道真矿带大竹园矿区只有一个矿体, 长 5600 m, 宽与长近似; 正安矿带旦坪矿区矿体长达 8000 m。在息烽—遵义矿带内还有很多长 100~200 m, 宽 50~100 m 的小矿体。

清镇猫场矿区、正安凤王槽矿区和务川大竹园矿区沉积剖面见图 2~3。充分反映该 3 个矿区铝土矿体的大致情况。遵义一带矿体剖面形态变化较大, 笔者在此前的文章中<sup>[4]</sup>已有较多展示, 不再赘述。

### 4.2 铝土矿矿石结构构造

#### 4.2.1 矿石结构

黔中—渝南成矿带内, 各地的矿石结构大致如

表1 黔中—渝南各矿带铝土矿床主要地质特征  
Table 1 Main geological features of bauxite deposits in Central Guizhou-South Chongqing metallogenic belt

矿带名称	含矿岩系特征			矿体特征			矿床平均化学成分/%				A/S
	岩石地层	厚度/m	下伏地层	(最大)长度/m	(最大)厚度/m	厚度变化系数/%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TS	
修文	C <sub>1ij</sub>	10~20	Є <sub>2-3</sub> ls、Є <sub>2</sub> s、Є <sub>2</sub> g、Є <sub>1</sub> q	500~2800	2.0~6.0	32~75	66.97	8.80	3.81	0.49	7.61
	C <sub>1ij</sub> *	44		6500	16.6	大多数较稳定					
息烽	C <sub>1ij</sub>	6~12	O <sub>1m</sub> 、O <sub>1h</sub> 、O <sub>1t</sub> 、Є <sub>2-3</sub> ls	100~500	1.1~2.0	50~80	62.44	12.77	4.83	0.03	4.89
	C <sub>1ij</sub> *	21		1000	4	较稳定					
遵义	C <sub>1ij</sub>	10~30	O <sub>1m</sub> 、O <sub>1h</sub> 、O <sub>1t</sub> 、Є <sub>2-3</sub> ls	200~1500	1.5~7.0	78~108	63.41	8.46	9.79	0.18	7.50
	C <sub>1ij</sub> *	109.9		2640	38.79	大多数不稳定					
正安	C <sub>2d</sub>	4~7	C <sub>2h</sub> (少)	500~3000	1.0~2.0	23~45	58.08	11.07	8.85	1.31	5.25
	C <sub>2d</sub> *	12	S <sub>1hj</sub> (主要)	8000	4.97	稳定—较稳定					
道真	C <sub>2d</sub>	5~12	C <sub>2h</sub>	500~3000	1.0~3.0	38~50	65.59	9.75	4.6	0.75	6.73
	C <sub>2d</sub> *	19	S <sub>1hj</sub>	5600	6.3	稳定—较稳定					

注: C<sub>1ij</sub>—下石炭统九架炉组; C<sub>2d</sub>—上石炭统大竹园组; \*表示: 修文—15个矿床平均; 息烽—6个矿床、点平均; 遵义—12个矿床、点平均; 正安—10个矿床、点平均; 道真—12个矿床、点平均。

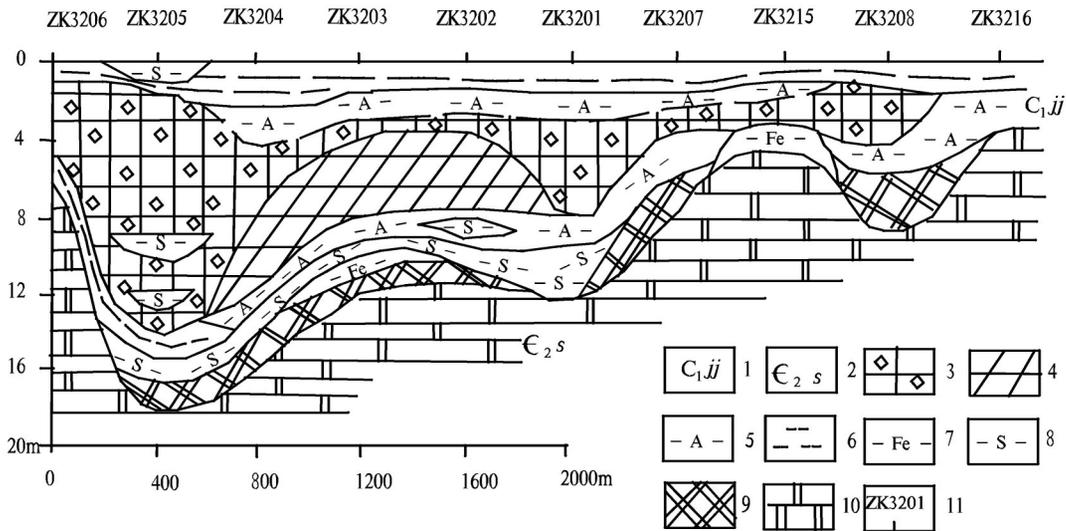


图2 清镇猫场矿区32线九架炉沉积剖面图<sup>①</sup>

1—九架炉组; 2—石冷水组; 3—碎屑状铝土矿; 4—致密状铝土矿; 5—铝土岩; 6—粘土岩; 7—铁质粘土岩; 8—硫铁矿层; 9—赤铁矿层; 10—白云岩; 11—钻孔及编号

Fig.2 The Jiujiayu sedimentary profile along No. 32 exploration line of the Maochang mining area in Qingzhen  
1-Jiujiayu Formation; 2-Shilengshui Formation; 3-Clastic bauxite; 4-Compact bauxite; 5-Allite; 6-Clay rock; 7-Ferruginous clay rock; 8-Pyrite bed; 9-Hematite bed; 10-Dolomite; 11- Drill hole and its serial number

同, 主要有以下5种:

(1)碎屑结构: 为区内最主要的结构类型, 由碎屑和胶结物两部分组成。碎屑有砾屑(2~15 mm)、砂屑(0.05~1.9 mm)、粉砂屑(<0.05 mm); 碎屑形态从棱角状—浑圆状都有, 以大小悬殊、无分选性、杂乱

分布的碎屑为多。碎屑占15%~80%, 胶结物为20%~85%。碎屑矿物成分主要由隐晶—粉晶硬水铝石组成, 其次为伊利石、高岭石、绿泥石、赤铁矿等, 胶结物与碎屑矿物成分大致相同。

(2)豆鲕(豆砾)结构: 分布仅次于碎屑结构。由

①蒋少军,等. 1:5万猫场幅、清镇幅区域矿产调查报告(内部资料). 贵州地矿局115地质大队区调分队. 1990.

豆粒、鲕粒及胶结物组成。常见的鲕粒有正常鲕、薄皮鲕、假鲕等, 鲕粒具同心层与核心, 同心层一般1~4层, 最多10层。豆粒同心层1~3层, 豆粒直径2~5 mm, 最大12 mm。豆鲕粒的核心常为<0.005 mm的硬水铝石组成的碎屑, 或与其他矿物组成的复碎屑。豆鲕的同心层多由泥晶与粉晶硬水铝石相间组成。此外常见豆粒与次浑圆—浑圆状的豆石(直径5~15 mm, 无同心层纹)构成豆砾状结构。

豆鲕结构按成因可分为2种, 一种是原红土风化壳中三水铝石铝土矿块砾中的豆鲕粒, 其特点是: ①由豆鲕粒组成的碎屑, 常具次棱角—次浑圆状; ②组成豆鲕粒的成分复杂, 常由铝矿物与赤铁矿交互叠置构成同心层纹; ③豆粒与鲕粒相互混生, 杂乱分布, 无分选性; ④豆鲕粒内部结构复杂, 常呈复鲕或复豆结构, 有的豆粒核心即为鲕粒或豆粒。此种成因的豆鲕结构最为普遍。另一种是在沉积时由铝氧溶胶凝聚而成的豆鲕粒。豆粒直径2~4 mm, 鲕粒直径0.1~1.9 mm, 均呈椭圆形, 长轴方向定向排列, 有核心, 核心常为铝矿物碎屑。豆鲕粒内部结构均一, 由凝胶状硬水铝石或软水铝石(勃姆石)组成, 同心层一般2~3层。这是在沼泽水体中, 由溶胶发生凝聚沉积而成的。此类豆鲕主要见于修文沉积区内沼泽相沉积中<sup>[5]</sup>。

(3)晶粒结构: 是以结晶细小的硬水铝石为主, 混有少量伊利石、高岭石和铁矿物组成的结构, 是土状、半土状、致密状矿石中常见结构。按晶粒大小和自形程度可分为隐晶结构、泥晶结构、细粉晶结构、粗粉晶结构等。

(4)凝胶结构: 是由非晶质氢氧化铝溶胶凝聚而成的结构, 由硬水铝石或软水铝石(勃姆石)集合体组成的, 常见的层纹凝胶结构、条带状凝胶结构和透镜状凝胶结构等。此类结构主要见于沼泽、泥炭沼泽形成的铝土矿石中<sup>[5]</sup>。

(5)交代结构: 在铝土矿中, 时见云母、粘土岩屑、黄铁矿等被硬水铝石交代, 有时又见硬水铝石被黄铁矿、菱铁矿交代。此类结构少见。

#### 4.2.2 矿石构造

(1)块状构造: 由前述主要结构单独或组合而成的块状体, 其内无细层、层系之分, 是最普遍、最重要的构造类型。

(2)递变层: 沉积型铝土矿与铝土岩之间, 颜色、

成分都是递变的, 无明显界线, 但又隐约能在宏观上予以划分。递变层反映了沉积渐进递变的成因。

(3)斜层理: 由硬水铝石组成的微细层理与层系之间呈角度相交。此类构造少见。

(4)层理: 铝土矿通常无层理或层理不清, 但有时确可见到少量交错层理、平行层理、水平层理等, 只是延长距离很短, 往往在1 m至数m范围内就被洪积物冲得杂乱不清。

#### 4.3 铝土矿矿石类型

主要分为自然类型和工业类型2种。

##### 4.3.1 矿石自然类型

该类型是按矿石结构、构造划分的一种类型, 在实际工作中易于辨认和区分。

(1)土状、半土状铝土矿: 矿石外表粗糙, 断口参差不齐, 疏松多孔, 吸水性强。矿石多呈浅灰、灰白色, 硬水铝石含量82%~93%,  $Al_2O_3$ 含量70%~80%, A/S多大于10。具碎屑结构和晶粒结构。

(2)碎屑状铝土矿: 外表粗糙, 断口参差不齐, 吸水性较强。硬水铝石占56%~85%。低铁的碎屑状矿石, 多呈灰色, 含 $Al_2O_3$ 60%~70%, A/S多6~8。高铁的碎屑状矿石多呈紫红、钢灰等色, 含 $Al_2O_3$ 40%~50%, A/S 4~9。

(3)豆鲕(豆砾)状铝土矿: 由豆粒、鲕粒(或豆石)与胶结物组成, 具豆鲕(豆砾)结构, 块状构造。表面不平整, 豆、鲕常被溶蚀成孔穴状。硬水铝石含量55%~78%。低铁豆鲕状矿石, 多呈灰、浅灰色, 含 $Al_2O_3$ 55%~60%, A/S 4~8。高铁的矿石多呈紫红色、褐黄色, 含 $Al_2O_3$ 40%~52%, A/S 4~7。

(4)致密状铝土矿: 矿石表面较为细腻, 致密状、块状构造, 隐晶结构。硬水铝石含量50%~65%, 低铁矿石 $Al_2O_3$ 含量40%~50%, A/S 2.6~6.0。自然类型矿石化学成分见表2。有的矿区缺乏其中某一类型。

##### 4.3.2 矿石工业类型

该类型是根据矿石品位、工业用途以及矿石中 $Fe_2O_3$ 、TS等杂质含量而划分的矿石类型, 主要有低铁低硫铝土矿、高硫铝土矿和高铁铝土矿3种。

(1)低铁低硫铝土矿: 铝土矿中 $Fe_2O_3$ 含量<15%, TS含量<0.8%的为低铁低硫铝土矿。矿物组合为硬水铝石—粘土矿物—铁矿物, 硬水铝石占70%~93%,  $Al_2O_3$ 为62%~80%, A/S 7~12。经详细可溶性试验证明, 这类矿石皆可用拜尔法生产氧化铝。

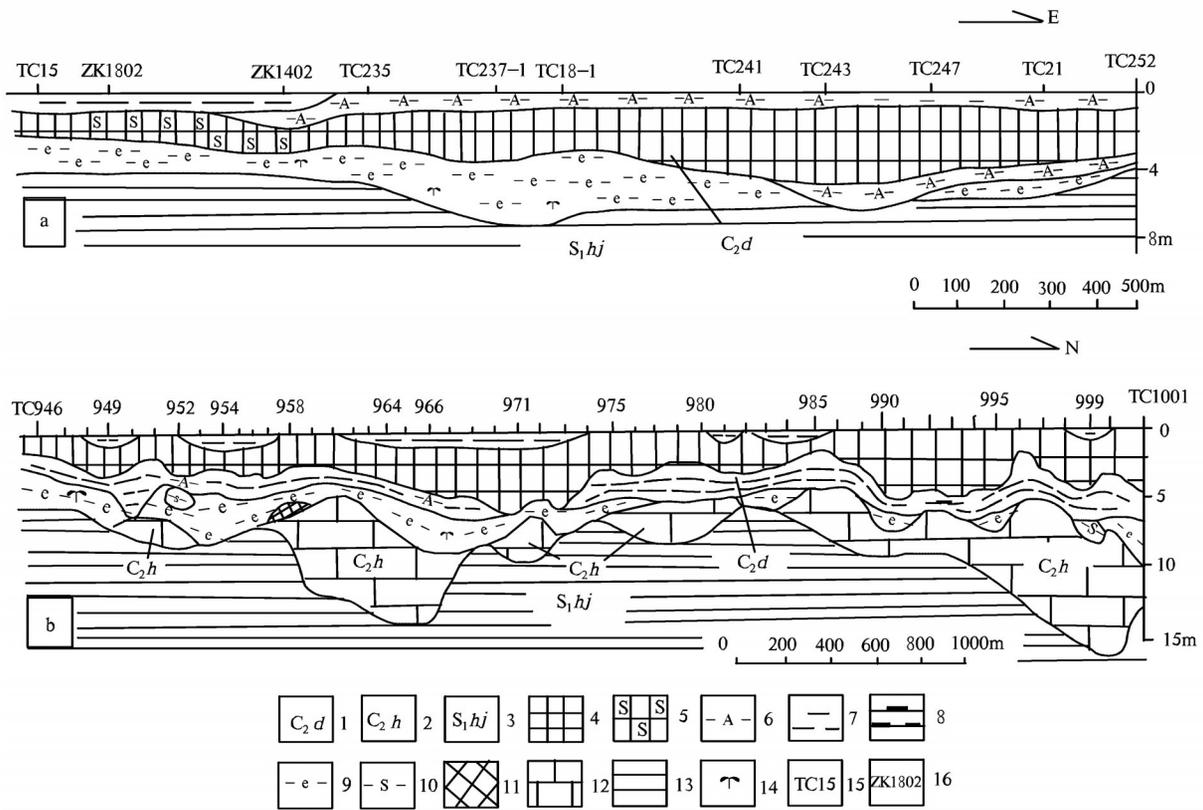


图3 正安凤王槽矿区<sup>①</sup>(a)与务川大竹园矿区<sup>②</sup>(b)大竹园组沉积剖面图

1—大竹园组; 2—黄龙组; 3—韩家店群; 4—低铁低硫铝土矿; 5—高硫铝土矿; 6—铝土岩; 7—粘土岩; 8—炭质粘土岩; 9—绿泥石粘土岩; 10—硫铁矿层; 11—赤铁矿层; 12—石灰岩; 13—泥岩、页岩; 14—植物化石碎片; 15—探槽及编号; 16—钻孔及编号

Fig.3 Sedimentary profile of Dazhuyuan Formation in the Fengwangcao deposit of Zheng'an (a) and the Dazhuyuan deposit of Wuchuan (b)

1—Dazhuyuan Formation; 2—Huanglong Formation; 3—Hanjiadian Group; 4—Low iron and low sulfur bauxite; 5—High sulfur bauxite; 6—Allite; 7—Clay rock; 8—Carbonaceous clay rock; 9—Chlorite clay rock; 10—Pyrite bed; 11—Hematite bed; 12—Limestone; 13—Mudstone, shale; 14—Fragments of fossil plants; 15—Trial trench and its serial number; 16—Drill hole and its serial number

前述土状、半土状及大部分碎屑状、豆鲕状矿石属于此类。

(2)高硫铝土矿: 凡铝土矿矿石中TS≥0.8%者皆属此类。前述碎屑状、豆鲕(豆砾)状及致密状矿石均可成为此类矿石。矿物组合为硬水铝石-粘土矿物-黄铁矿, 硬水铝石占72%~85%, 个别90%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 48%~75%, A/S 7~10。

此类高硫铝土矿, 长期以来一直被认为是难于利用的“呆矿”, 仅据修文、遵义、正安、道真4个铝土矿带中6个矿区统计, 高硫铝土矿约占该区铝土矿

矿石总量的30%<sup>[9]</sup>, 若不加以利用, 实为资源的极大浪费。据在务川大竹园矿区采集的高硫、低铝硅比矿石样(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 61.37%, SiO<sub>2</sub> 11.55%, A/S 5.31, TS 1.20%), 经中国地质科学院矿产综合利用研究所详细可溶性试验证明, 该样品经焙烧—湿法预脱硅工艺处理后, 不但能提高矿石铝硅比, 还能解决用高硫铝土矿生产氧化铝碱耗过高、不经济、难利用的问题<sup>[9]</sup>, 为高硫铝土矿找到了开发利用的途径。

(3)高铁铝土矿: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≥15%的铝土矿属于此类。矿石组合为硬水铝石-铁矿物-绿泥石-粘土矿

①蒲德昌, 罗太峰, 李塋, 等. 贵州省正安铝土矿新模矿区凤王槽矿段普查地质报告. 106地质大队, 1993.

②李沛刚, 罗中孝, 樊正烈, 等. 贵州省务川县大竹园地区铝土矿普查地质报告. 1995.

物,硬水铝石 52%~72%,铁矿物 8%~15%,个别 25%,绿泥石 5%~10%;  $Al_2O_3$  为 40%~56%, A/S 2.6~7。前述碎屑状、豆鲕(豆砾)状、致密状矿石,均可成为此类型。过去,也曾一度认为是难以利用的“呆矿”。1980年代,贵州 106 地质大队在遵义仙人岩矿区详查及勘探阶段,先后采集多件高铁铝土矿样,经初步可溶性试验、详细可溶性试验及烧成试验,结果表明,该高铁铝土矿在不采取增铝降铁和铝、铁分离措施的情况下,可直接用拜尔法生产氧化铝,且矿石中的镓也可回收利用<sup>[10]</sup>。

各地高铁铝土矿几乎都处于矿区或矿段的边缘,毗邻无矿地带,表明高铁铝土矿位于地势较高的古红土风化壳的堆积区和剥蚀区附近<sup>[4]</sup>。

各种工业类型矿石分布不均衡,有的矿区 3 种矿石都有,有的矿区缺失高铁铝土矿,有的矿区只有高硫铝土矿,等等。几个代表性矿区工业类型矿石化学成分见表 2。

#### 4.4 铝土矿矿物成分

本区铝土矿中已发现矿物达 69 种之多,主要为铝矿物、粘土矿物、铁矿物、钛矿物,此四者之和往往可达矿物总量的 99%,其中又以硬水铝石、伊利石、高岭石、赤铁矿、绿泥石、锐钛矿及黄铁矿(局部地段)最为常见<sup>⑤</sup>。

根据人工重砂鉴定结果,结合薄片鉴定资料,按矿物成因和生成顺序,可将 69 种矿物分为 4 类:①碎屑矿物—指在沉积型铝土矿成矿前形成的,包括母岩中原有的矿物,即通常所说的陆源碎屑矿物;②原生矿物—指在沉积型铝土矿成矿过程中形成的矿物;③后生矿物—指沉积型铝土矿成矿作用后期或成岩过程中形成的矿物;④表生矿物—指上述某些矿物,在表生、氧化条件下新生成的矿物。详见表 3。

现将几种主要矿物概述如下:

##### 4.4.1 铝矿物

区内已发现的铝矿物有硬水铝石( $\alpha-Al_2O_3 \cdot H_2O$ )、软水铝石(又称勃姆石,  $\gamma-Al_2O_3 \cdot H_2O$ )、三水铝石( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ )、拜三水铝石 [ $Al(OH)_3$ ] 和微晶刚玉 ( $\alpha-Al_2O_3$ )。最重要的是硬水铝石,其他铝矿物含量甚微。

硬水铝石:斜方晶系。所见晶体呈板状、柱状、板柱状、叶片状、不规则状,常组成砂砾状、叠片状、晶簇状、细一隐晶集合体及少量胶状集合体。还可见到交代黄铁矿的立方体假象。大部分晶体完整,未见磨蚀现象,但少数隐晶集合体经磨蚀呈次圆一浑圆状。另有少量自形晶产于裂隙和豆鲕中心的空洞内,呈脉状、晶簇状,与锐钛矿、粘土矿物关系

表 2 黔中—渝南代表性铝土矿区矿石类型主要化学成分(%)

Table 2 Chemical composition of ore types in representative bauxite deposits in Central Guizhou-South Chongqing region (%)

矿石类型	修文矿带猫场矿区 <sup>①②</sup>				遵义矿带后槽矿区 <sup>③</sup>				道真矿带大竹园矿区 <sup>④</sup>			
	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	TS	A/S	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	TS	A/S	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	TS	A/S
自然类型												
半土状铝土矿	77.47	1.61	0.39	17.1	70.03	3.68	0.31	8.89	71.75	3.57	0.55	13.08
碎屑状铝土矿	71.42	1.45	0.28	8.92					67.02	4.24	0.44	7.03
豆鲕状铝土矿					63.13	8.94	0.35	7.47	61.73	8.82	0.32	6.49
致密状铝土矿	62.05	3.32	1.39	4.88	58.67	12.09	0.22	5.4	56.61	4.07	0.79	3.56
工业类型												
低铁低硫铝土矿	72.58	1.69	0.3	11.9	68.31	4.22	0.21	7.83	65.85	4.12	0.42	6.39
高硫铝土矿	60.36	9.23	4.74	7.4	68.82	4.04	1.02	9.65	61.83	5.18	2.16	6.08
高铁铝土矿	52.34	18.59	0.29	7.91	55.86	18.31	0.12	6.26				

注:空白表示没有该类型矿石,矿石自然类型据①,矿石工业类型据②。

①贵州地矿局 115 地质大队. 贵州清镇铝土矿猫场矿区地质特征及开采技术条件(内部资料). 1988.

②张成旺, 皇甫强, 冯学岚, 等. 贵州清镇铝土矿猫场矿区 0-24 线勘探地质报告(内部资料). 1993.

③杨祖庆, 郭文良, 朱成林, 等. 贵州省遵义县团溪铝土矿后槽矿区山头上矿段详细勘探地质报告(内部资料). 1988.

④雷志远, 翁中富, 廖友常, 等. 贵州务川县大竹园铝土矿区勘探地质报告(内部资料). 2009.

⑤陈友能, 李加澍, 汪生杰, 等. 贵州省遵义一息烽铝土矿沉积区含铝岩层划分对比及物质组成初步研究(内部资料). 1986.

表3 黔中—渝南成矿带铝质岩中矿物一览

Table 3 Minerals in aluminous rock in Central Guizhou-South Chongqing metallogenic belt

矿物名称	碎屑矿物	原生矿物	后生矿物	表生矿物
锆石、变锆石、金红石	大量			
磁铁矿 <sup>*</sup> 、榍石、电气石、磷灰石	少量			
石榴子石、黑云母、白云母	微量			
磷铝铈矿 <sup>*</sup> 、独居石	微量			
石英、碳硅石、绿帘石	微量			
伊利石	大量	少量		
高岭石	大量	大量		
绿泥石(铁绿泥石、镁绿泥石、锂绿泥石、鳞绿泥石、鲕绿泥石)	少量	大量	少量	
皂石、地开石、蒙脱石、多水高岭石		少量		
硬水铝石 <sup>*</sup>	大量	大量	少量	
软水铝石		少量		
三水铝石、拜三水铝石				少量
刚玉		微量		
磷钇矿 <sup>*</sup>		少量		
锐钛矿 <sup>*</sup>		大量		
板钛矿 <sup>*</sup> 、钛铁矿 <sup>*</sup>		少量		
白钛石				少量
方解石、白云石、铁白云石、菱镁矿			微量	
黄铁矿 <sup>*</sup>		大量	少量	
赤铁矿 <sup>*</sup> 、磁赤铁矿 <sup>*</sup> 、水赤铁矿 <sup>*</sup> 、纤铁矿 <sup>*</sup>	少量	大量		
菱铁矿 <sup>*</sup>		大量	少量	
针铁矿 <sup>*</sup> 、水针铁矿 <sup>*</sup>				少量
褐铁矿 <sup>*</sup>				大量
重晶石、石膏、黄钾铁矾矿 <sup>*</sup> 、软硬矿 <sup>*</sup> 、硬锰矿 <sup>*</sup>				少量
方铅矿 <sup>*</sup> 、闪锌矿 <sup>*</sup> 、黄铜矿 <sup>*</sup>			微量	
辉锑矿 <sup>*</sup> 、辰砂 <sup>*</sup> 、雄黄 <sup>*</sup> 、自然铜 <sup>*</sup> 、自然铅 <sup>*</sup> 、硫镉矿 <sup>*</sup>			微量	
明矾石、水铝英石				微量
孔雀石、铜兰				微量
炭质、有机质		少量		

注:主要据贵州地矿局106地质大队1979年以来铝土矿、铝土岩人工重砂鉴定、薄片鉴定、X衍射分析、红外吸收光谱分析、差热分析等结果编制,部分矿物据参考文献[5];\*硬水铝石的碎屑矿物,实指红土风化壳中的三水铝石碎屑,后在成岩过程中变质为硬水铝石的。

密切。颜色多为无色透明及淡黄、淡棕色透明等。单晶粒度<0.0003~0.9 mm,一般0.10 mm×0.18 mm~0.15 mm×0.2 mm。据前人研究,本区硬水铝石的氢氧同位素与世界最大的几内亚红土型铝土矿中的三水铝石相近,说明硬水铝石可能是由古红土风化壳中三水铝石变质而成的<sup>[2]</sup>。

#### 4.4.2 粘土矿物

是铝土矿的重要伴生矿物,主要有伊利石、高岭石、绿泥石,其他矿物含量较少。

(1)伊利石:在铝土矿、粘土岩中多呈粉砂级碎片,少数为砂砾屑。常见伊利石粘土岩屑与铝土矿碎屑相互伴生。铝土矿含矿岩系下伏奥陶系伊利

页岩中的伊利石结晶度指数为11.10~12.80,均属2M型。在铝土矿、铝土岩及伊利石粘土岩中的自生伊利石(纤维鳞片状集合体)结晶度指数较低,为3.66~6.00,均属1M型。表明铝土矿中伊利石可能主要来自古红土风化壳中伊利石页岩的碎屑。

(2)高岭石:具有多种产出状态,有的呈陆源碎屑(如长石、云母、岩屑)假象,由陆源铝硅酸盐矿物或岩石(粘土岩)分解转化而成;大量高岭石呈泥级—粉砂级细碎屑产出,显然是古红土风化壳中高岭石经洪水搬运再沉积的产物。少数高岭石呈凝胶状集合体分布于炭质粘土岩中,并交代植物化石碎片。

(3)绿泥石:以鲕绿泥石、铁绿泥石、磷绿泥石为主,另有少量镁绿泥石和锂绿泥石。它们呈显微鳞片状,为高铁铝土矿的重要伴生矿物。在铝土矿中,绿泥石常成为胶结铝土矿碎屑的胶结物。

#### 4.4.3 铁矿物

主要有赤铁矿、针铁矿、水针铁矿、菱铁矿及褐铁矿。赤铁矿常呈砂、砾级碎屑产出,或与硬水铝石、绿泥石相互伴生形成铁铝岩屑。为高铁铝土矿主要伴生矿物。

#### 4.4.4 钛矿物

铝土矿中钛矿物有多种,以锐钛矿为最多,约占钛矿物总量的80%以上<sup>[5]</sup>。锐钛矿为四方晶系,常见晶体为四方板状,少量呈四方双锥和板柱状,晶形完整,棱角分明,未见磨蚀现象。以蓝、浅蓝色为主,透明—半透明,单晶粒度<0.005~0.5 mm。是与硬水铝石在沉积时同时生成的原生矿物。

#### 4.4.5 稳定重矿物

这里的稳定重矿物,是指物理、化学性质稳定,比重大于3的陆源碎屑矿物。通常人工重砂鉴定报告给出的结果是体积百分含量,为了便于对比,须将结果换算成重量百分含量。全区能从体积百分含量( $\geq 1\%$ )换算成重量百分含量的稳定重矿物只有以下6种。

(1)锆石:四方晶系。晶体呈柱状、板柱状、针状,一般为四方柱与四方双锥的简单聚形。大多已被磨蚀成浑圆状。颜色以浅玫瑰色为主,透明;少数为灰黑、灰白色不透明的变锆石。

(2)金红石:四方晶系。晶体呈柱状、针状,已被磨蚀成浑圆状。以桔红、桔黄色为主,透明—不透明。

(3)电气石:三方晶系。晶体呈短柱状,多已被磨成次圆—浑圆状。颜色以深棕色为主。

(4)楣石:单斜晶系。晶体呈扁平信封状、楔状、柱状,大部已磨成次圆—浑圆状。以黄褐色为主,粒度细小,比较少见。

(5)磷灰石:六方晶系。晶体呈六方柱状,已磨成次棱角—浑圆状。以白色为主,少见。

(6)磁铁矿:等轴晶系。常呈粒状、板状,多已磨成次圆—浑圆状。黑色不透明。

#### 4.4.6 稀土矿物

本区见有磷钇矿、独居石及磷铝铈矿,除磷钇矿外,其他甚微。

磷钇矿:四方晶系。晶体主要呈扁平四方双锥,少数为四方柱与四方双锥的聚形,呈短柱状。晶形完整,棱角分明,晶面光滑透亮,无色透明,少数为淡米黄色,透明。未见磨蚀现象。李加澍认为,此种磷钇矿是在铝土矿成矿过程中同时形成的<sup>①</sup>。

#### 4.4.7 硫化矿物:

硫化矿物种类甚多,有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿、辰砂等,除黄铁矿外,大多含量甚微。

黄铁矿:常呈立方体,少数为五角十二面体。一般为致密块状、细粒状、浸染状、细脉状、球状集合体等,偶见草莓状集合体。是高硫铝土矿的主要伴生矿物,具多阶段、多成因特征。

### 4.5 铝土矿矿石化学成分

#### 4.5.1 铝土矿的主要化学成分及稀散元素

表4列出了3个沉积区低铁低硫铝土矿的主要化学成分及稀散元素平均含量。据低铁低硫铝土矿(铝土矿化作用较为彻底,铁、硫等杂质较少,干扰较少)20个变量的相关分析,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与TiO<sub>2</sub>、LOI、Ga、Zr、Cr、Nb、Ta均呈正相关关系;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为负相关,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与Li为负相关,SiO<sub>2</sub>与Li为正相关。

3个沉积区铝土矿中,稀散元素各有特色。修文沉积区以含Zr、RE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为最高,Ga、Li含量最低为特色;息烽—遵义沉积区以Ga含量最高,Zr含量最低为特色;正安—道真沉积区以Li含量最高,RE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量最低独具特色。各沉积区铝土矿中Ga、Zr、Li的分布见图4。

区内铝土矿中伴生Ga,其含量已达综合利用工

①李加澍.在黔北铝土矿中发现表生作用形成的磷钇矿.黔北地质(内部刊物),1987,1.

表4 铝土矿主要化学成分及分散元素平均含量  
Table 4 Average content of main chemical compositions and scattered elements in bauxite

序号	沉积区	地层代号	样数/件	主要成分/%										A/S
				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TS	TiO <sub>2</sub>	LOI	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	
1	修文	C <sub>ijj</sub>	12	69.96	8.19	2.14	0.189	3.38	13.65	1.1	0.11	0.26	0.27	8.54
2	息烽—遵义	C <sub>ijj</sub>	93	64.28	10.2	7.02	0.176	2.98	13.21	1.43	0.12	0.06	0.22	6.3
3	正安—道真	C <sub>2d</sub>	31	64.87	9.94	6.11	0.073	3.39	13.81	0.29	0.11	0.17	0.9	6.53

序号	分散元素/10 <sup>-6</sup>										Ga	Zr	Li
	Ga	Ge	Cr	Zr	Li	Sr	Ba	Nb	Ta	RE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Σ(Ga+Zr+Li)	Σ(Ga+Zr+Li)	Σ(Ga+Zr+Li)
1	77	3	326	1685	52	354	741	76	5	1401	4.2	92.9	2.9
2	126	5	388	765	84	70	95	74	9	435	12.9	78.5	8.6
3	119	5.5	479	1007	535	141	232	71	6	274	7.2	60.6	32.2

注: 据贵州地矿局106地质大队1984年以来采样, 贵州省地质矿产中心实验室测试结果编制。

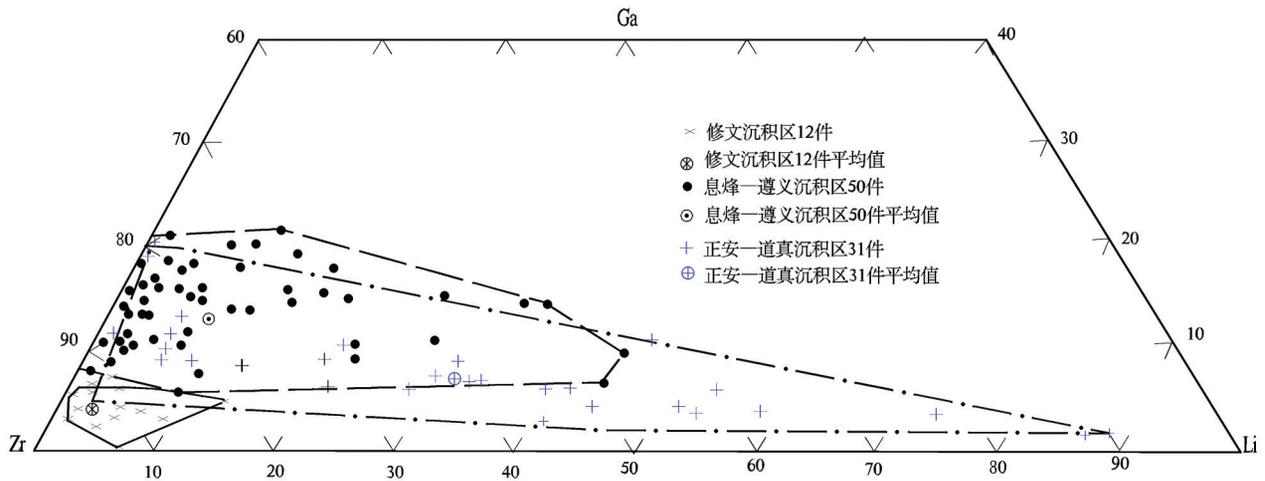


图4 黔中—渝南铝土矿 Ga-Zr-Li三角图解  
Fig.4 Ga-Zr-Li triangle diagram of bauxite from Central Guizhou-South Chongqing region

业要求。正安—道真沉积区铝土矿中含Li较高, 尤以道真及务川北部一带为高, 很多Li在  $1000 \times 10^{-6}$  以上, 能否被综合利用, 尚待研究。

4.5.2 铝土矿的稀土元素

各沉积区低铁低硫铝土矿的稀土元素含量及特征参数列于表5。其中,  $\Sigma REE$  和  $\Sigma Ce/\Sigma y$  都以修文沉积区为最大, 息烽—遵义沉积区次之, 正安—道真沉积区最少。而  $\Sigma (Er-y)/\Sigma REE$  与  $Y/\Sigma REE$  则修文沉积最少, 正安—道真沉积区最大。比较起来, 修文沉积区以轻稀土为主, 正安—道真沉积区则是轻稀土较少, 重稀土相对较多。图5展示了3

个沉积区铝土矿中稀土元素的分布及其特征。

4.6 铝土矿床成因类型

综合前述铝土矿含矿岩系及矿床地质特征, 本区铝土矿床皆属沉积成因类型, 但有所不同, 可划分为两个亚类。

(1) 产于碳酸盐岩侵蚀面上的硬水铝石沉积型铝土矿矿床: 铝土矿含矿岩系假整合覆盖于寒武系、下奥陶统、上石炭统黄龙组白云岩、石灰岩侵蚀面上。矿体呈似层状、透镜状和漏斗状。矿体长百余米至数千千米, 矿体厚度变化稳定—不稳定。矿石自然类型和工业类型齐备, 以低铁低硫型的碎屑状铝土矿为主。

表5 铝土矿稀土元素平均含量及特征参数

Table 5 Average content and characteristic parameters of rare earth elements in bauxite

序号	沉积区	地层代号	样品/件	主要成分/%				稀土元素/10 <sup>-6</sup>							
				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TS	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
1	修文	C <sub>ijj</sub>	9	70.3	7.04	1.3	<0.3	104.64	205.81	22.59	81.43	15.4	2.56	14.65	2.26
2	息烽—遵义	C <sub>ijj</sub>	16	71.19	7.82	2.08	0.45	50.58	95.23	9.53	25.36	4.86	0.94	4.79	1
3	正安—道真	C <sub>2d</sub>	10	68.38	7.52	3.59	0.36	39.25	84.32	7.82	24.45	5.43	1.39	5.88	1.28

序号	稀土元素/10 <sup>-6</sup>												
	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣCe	Σy	Σ(La-Na)	Σ(Sm-Ho)	Σ(Er-y)	
1	13.78	2.63	6.63	0.97	6.22	0.81	59.41	432.43	107.36	414.47	51.28	74.07	
2	6.11	1.4	3.68	0.78	4.56	0.72	35.15	186.5	58.19	180.70	19.10	44.89	
3	7.75	1.79	4.83	0.94	5.75	0.89	47.71	162.66	76.82	155.84	23.52	60.12	

序号	ΣREE/10 <sup>-6</sup>	ΣCe Σy	Σ(La-Nd) ΣREE	Σ(Sm-Ho) ΣREE	Σ(Er-y) ΣREE	La	La	Y	δEu	δCe
						Sm	Yb	ΣREE		
1	539.79	4.03	76.8	9.5	13.7	6.79	16.82	0.11	0.56	0.85
2	244.69	3.21	73.9	7.8	18.3	10.41	11.09	0.14	0.65	0.85
3	239.48	2.12	65.1	9.8	25.1	7.23	6.83	0.20	0.83	0.95

注: 主要据贵州地矿局106地质大队1990年以来采样, 宜昌地质矿产研究所岩矿测试室分析结果, 部分分析结果据参考文献[11]综合编制。

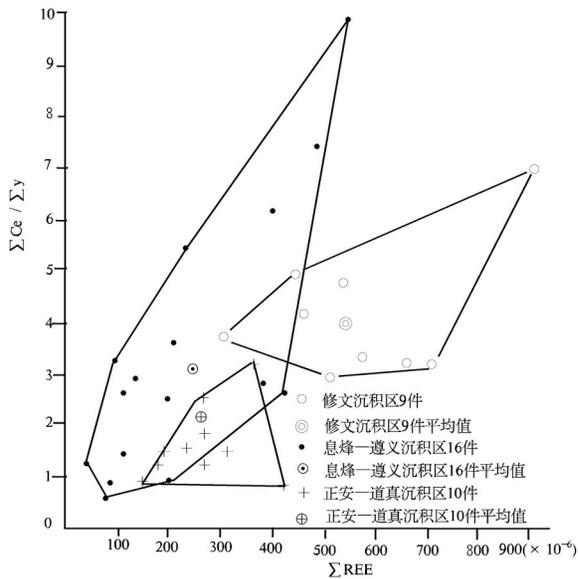


图5 黔中—渝南铝土矿 ΣREE-ΣCe/Σy 坐标图  
Fig.5 ΣREE-ΣCe/Σy coordinate graph of bauxite from Central Guizhou-South Chongqing region

修文沉积区的小山坝、林歹、燕垅、猫场等矿床, 息烽—遵义沉积区的后槽、仙人岩、苟江等矿床, 正安—道真沉积区的大竹园、大尖山、姚家林、新民、大塘等矿床均属此亚类。参见图2、图3-b。

(2)产于页岩、泥岩、粉砂质页岩、粉砂岩侵蚀面上的硬水铝石沉积型铝土矿矿床: 铝土矿含矿岩系假整合覆盖于下志留统韩家店群页岩、泥岩、粉砂质页岩等岩石的侵蚀面上。矿体呈层状、似层状、透镜状。矿体长数百米至8000 m。矿石自然类型品种齐全, 矿石工业类型地表以低硫型为主, 地下以高硫型为主, 高铁型铝土矿少见。属于此亚类的有正安凤王槽、旦坪等矿床, 如图3-a所示。

### 5 铝土矿成因

在本区含矿岩系的铝土矿、铝土岩乃至粘土岩中, 常见被磨蚀成次棱角—浑圆状的硬水铝石矿物碎屑, 以及由硬水铝石组成的矿石碎屑、豆鲕粒碎屑, 在砾级铝土矿碎屑中常见砾中砾、砾中鲕复合碎屑等, 说明在沉积型铝土矿形成之前, 已有大量铝矿物和铝土矿石存在。它们来自含三水铝石的红土风化壳。

黔中—渝南铝土矿成矿带, 到泥盆纪末至石炭纪初的紫云运动时期已准平原化, 同时地壳向南漂移, 全区处于7.8°~15.1°的范围。大约在早石炭世岩关期, 经红土化、钙红土化作用, 形成了覆盖全区的含三水铝石红土风化壳<sup>[6]</sup>, 为沉积型铝土矿及其

含矿岩系的形成,准备了丰富的物质。

据闽、琼、桂实地考察<sup>①</sup>,含三水铝石红土风化壳,为一种褐红、紫红色未固结的疏松红土,内含大量由三水铝石组成的铝土矿块砾。铝土矿块砾形态多样,有球状、砾状、豆鲕状、结核状、树枝状、管状、皮壳状等;块砾大小不等,小者数mm,大者1~2m,以0.5~10cm的球状、豆状、结核状者居多。铝土矿块砾与疏松红土的混合物称为原矿,除去疏松红土的纯净铝土矿块砾称为净矿。净矿品位:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 28.73%~56%, SiO<sub>2</sub> 4~9, A/S 3~9。

由于各沉积区基底地层和岩性的差异,由此残积而成的含三水铝石红土风化壳,以及由此形成的沉积型铝土矿及其含矿岩系就大有区别了,分述如下。

### 5.1 修文沉积区

在湄潭组(O<sub>1m</sub>)伊利石页岩沉积之后的早奥陶世宁国期末,首先在织金一带开始隆升,并逐渐向东北的修文、黔西一带扩展。都匀运动和广西运动,是两次近乎连续的上升运动,使原本覆盖全区的湄潭组及其之下的红花园组、桐梓组几乎被剥蚀殆尽,自北向南,地表已暴露出中上寒武统娄山关群、中统石冷水组、高台组和下统清虚洞组的白云岩、白云质灰岩及石灰岩。这大片的碳酸盐岩就成了含三水铝石红土风化壳的母岩,含三水铝石的红土风化壳就是沉积型铝土矿及其含矿岩系的物源。

据高道德等人研究,区内含矿岩系(九架炉组)上段的铝质岩及粘土岩,以冲洪积相沉积为主,较普遍的为冲洪积扇—洪泛洼地沉积和冲洪积扇—扇三角洲—洪控湖泊复合沉积等。如长冲、岩上、杨家庄、老荒坡等地都有冲洪积扇沉积的铝土矿;清镇燕垅矿区有扇三角洲沉积铝土矿;清镇猫场矿区为洪控浅水湖泊沉积铝土矿;修文小山坝、贵阳云雾山有洪泛洼地沉积的铝土矿,等等<sup>[5]</sup>。

修文沉积区铝土矿中,以锆石为特征矿物,这与铝土矿 Zr 含量最高相一致。分散元素中以 Zr 最多, Ga、Li 最少为特征(表4);稀土元素中以 ΣREE 含量最高,重稀土(Y/ΣREE)最少为特征(表5)。这种现象与形成含三水铝石红土风化壳的寒武系白云岩中的元素含量及其变化完全一致,如白云岩中 Ga、Zr、Li 含量(表6)及 ΣCe/Σy 值、y/ΣREE 值等(表7),都充分说明修文沉积区铝土矿与寒武系白云岩等有密切成因联系。

### 5.2 息烽—遵义沉积区

广西运动后,覆盖此区的湄潭组伊利石页岩,随着地壳不断隆升,侵蚀、剥蚀程度不断加深,使其之下的红花园组灰岩、桐梓组白云岩夹伊利石页岩,甚至娄山关群白云岩等渐次暴露地表,这些以下奥陶统伊利石页岩、白云岩为主的岩石,在早石炭世岩关期形成了含三水铝石的红土风化壳。本

表6 铝土矿及下伏岩石中 Ga、Zr、Li 含量及比值  
Table 6 Content and ratios of Ga, Zr, Li in bauxite and underlying rocks

沉积区	地层代号	岩矿石名称	样品数/件	主要成分/%			微量元素/10 <sup>-6</sup>			Ga	Zr	Li
				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ga	Zr	Li	Σ(Ga+Zr+Li)	Σ(Ga+Zr+Li)	Σ(Ga+Zr+Li)
修文	C <sub>1jj</sub>	铝土矿	12	69.96	8.19	2.14	77	1685	52	4.2	92.9	2.9
	E <sub>2g</sub> -E <sub>2-3ls</sub>	白云岩	4	2.23	2.36	2.02	2	13	1	12.5	81.3	6.2
息烽—遵义	C <sub>1jj</sub>	铝土矿	93	64.28	10.20	7.02	126	765	84	12.9	78.5	8.6
	O <sub>1m</sub>	页岩	4	24.60	46.91	9.54	38	119	55	18.0	56.1	25.9
	O <sub>1h</sub>	石灰岩	5	1.37	5.00	0.85	2	28	2	6.3	87.4	6.3
	O <sub>1t</sub>	页岩	7	21.28	46.66	8.95	31	204	41	11.2	73.9	14.9
	O <sub>1t</sub>	白云岩	5	2.94	3.88	5.50	4	98	5	3.7	91.6	4.7
正安—道真	C <sub>2d</sub>	铝土矿	31	64.87	9.94	6.11	119	1007	535	7.2	60.6	32.2
	C <sub>2h</sub>	石灰岩	3	1.72	1.28	1.89	3	26	71	3.0	26.0	71.0
	S <sub>1hj</sub>	泥页岩	5	22.86	51.09	10.33	35	198	64	11.8	66.7	21.5

注:资料来源与表4相同。

①刘平,陈有能.福建漳浦、海南蓬莱、广西贵港及平果铝土矿考察报告.黔北地质(内部刊物),1994.

表7 铝土矿及下伏岩石中REE特征参数  
Table 7 REE characteristic parameters in bauxite and underlying rocks

沉积区	地层代号	岩矿石名称	样品数/件	主要成分/%			REE/10 <sup>6</sup>			$\Sigma$ Ce	$\Sigma$ (Er-y)	y
				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\Sigma$ Ce	$\Sigma$ y	$\Sigma$ REE	$\Sigma$ y	$\Sigma$ REE	$\Sigma$ REE
修文	C <sub>1j</sub>	铝土矿 <sup>a</sup>	9	70.30	7.04	1.30	432.43	107.36	539.79	4.03	13.7	0.11
	E <sub>2g</sub> -E <sub>2-3ls</sub>	白云岩	5	2.45	2.82	1.70	39.75	13.33	50.48	2.98	19.2	0.16
息烽—遵义	C <sub>1j</sub>	铝土矿 <sup>a</sup>	16	71.19	7.82	2.08	186.50	58.19	244.69	3.21	18.3	0.14
	O <sub>1m</sub>	页岩	1	32.1	42.31	8.80	422.56	34.06	456.62	12.41	4.4	0.03
	O <sub>1h</sub>	石灰岩	1	0.79	3.97	0.84	16.10	5.80	21.90	2.78	18.0	0.13
	O <sub>1t</sub>	页岩	5	26.88	46.84	5.68	334.89	51.63	386.52	6.49	7.1	0.05
	O <sub>1t</sub>	白云岩	3	1.88	3.96	3.26	28.21	12.92	41.13	2.18	20.5	0.16
正安—道真	C <sub>2d</sub>	铝土矿 <sup>a</sup>	10	68.38	7.52	3.59	162.66	76.82	239.48	2.12	25.1	0.20
	C <sub>2h</sub>	石灰岩	2	0.95	0.73	1.38	37.46	48.74	86.20	0.77	40.8	0.36
	S <sub>1hj</sub>	泥页岩	3	23.72	49.79	10.21	200.83	52.66	253.49	3.81	15.1	0.12

注:资料来源与表5相同。

区碳酸盐岩广布,除在湄潭组伊利石页岩分布区形成一些侵蚀洼地外,大量的分布更为广泛的溶洼、溶坑、溶斗等岩溶负地形,因而以洪控溶洼、溶坑沉积的铝土矿及其含矿岩系最为特征。关于这种沉积,笔者2013年已在文中有较详细的报道<sup>[4]</sup>,不再赘述。

息烽—遵义沉积区的铝土矿中,以楣石、电气石相对较多为特征。与其他2个沉积区相比,铝土矿中稀散元素Ga含量最高,Zr含量最少(表4),这与最主要的成矿母岩湄潭组、桐梓组伊利石页岩中Ga、Zr、Li的含量比是一致的(表6)。在稀土元素中,与其他2沉积区相比, $\Sigma$ REE、 $\Sigma$ (Er-y)/ $\Sigma$ REE、y/ $\Sigma$ REE均处于中间位置(表5),可能与成矿母岩中页岩、白云岩、石灰岩形成的含三水铝石红土风化壳混合结果有关(表7)。

### 5.3 绥阳—正安—道真沉积区

覆盖本沉积区的下志留统韩家店群伊利石页岩、泥岩、粉砂质页岩、粉砂岩等,在早石炭世岩关期发生红土化作用,形成第1批的含三水铝石红土风化壳。经过大约50 Ma,发生了自北向南的“黄龙海侵”,黄龙组石灰岩主要沉积在正安以北的下志留统伊利石页岩等的侵蚀面上。道真运动(晚石炭世滑石板期至马平期之间)后期,地壳再次隆升,在第一批红土风化壳之上的黄龙组石灰岩钙红土化,形成第2批含三水铝石红土风化壳,随即于马平期沉积了晚石炭世的铝土矿含矿岩系一大竹园组。

根据大竹园组含矿岩系岩石特征推断,当时可能尚无永久性河道,多属洪控间歇性河道,洪积作用是最主要的,如正安凤王槽一带的洪泛洼地沉积;道真新民、姚家林一带的洪控溶洼—洼地沉积;务川大竹园一大尖山的洪控浅水湖泊—沼泽沉积等。

由于本区有下志留统韩家店群伊利石页岩的第1批红土化和黄龙组石灰岩的第2批钙红土化,2次红土风化壳物质的叠加,大大丰富了后来沉积的铝土矿及其含矿岩系的矿物成分和化学成分。

据人工重砂鉴定,本沉积区的铝土矿中,以磷灰石、磁铁矿2种陆源碎屑矿物最为特征。据正安张家院大竹园组含矿岩系剖面人工重砂鉴定结果(图6)可知,铝土矿中的磷灰石与磁铁矿,在下伏韩家店群砂质伊利石页岩中都有较多显示(表8)。在张家院北西的桴焉TC2083韩家店群粉砂质伊利石页岩的人工重砂中,磷灰石含量(重量%)高达近80%,表明铝土矿与韩家店群伊利石页岩有成因联系。特别值得一提的,在正安、道真9件铝土矿人工重砂中,有5件见到磷钇矿,磷钇矿晶形完整,未见磨蚀现象,是与硬水铝石同时期形成的原生矿物。另在张家院ZRZ-5豆鲷状铝土矿和附近BT2160大竹园组下段绿泥石粘土岩的人工重砂中,还见有微量独居石(陆源碎屑矿物),说明本区稀土元素可能主要呈矿物形式存在于含矿岩系中。

本沉积区铝土矿中Li含量最高(表4),稀土元素中 $\Sigma$ REE含量最少,但其中重稀土 $\Sigma$ (Er-y)/ $\Sigma$ REE

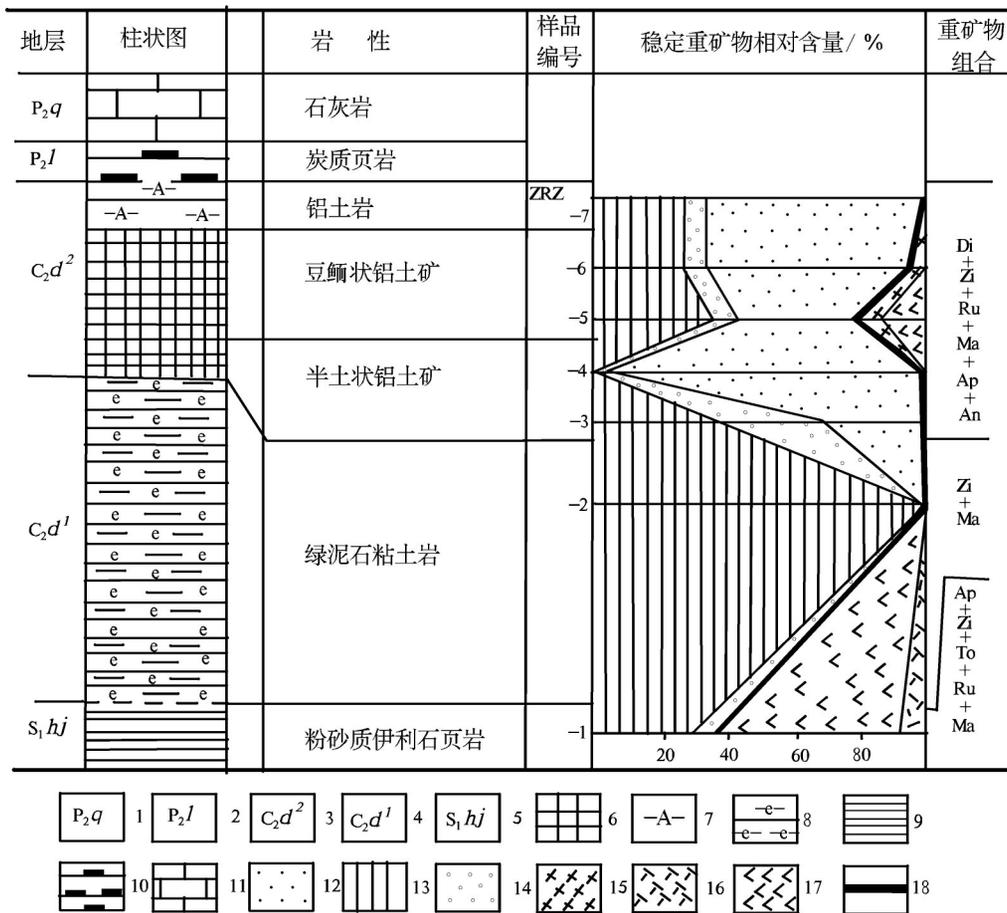


图6 正安矿带张家院含矿岩系剖面及重矿物组合

1—中二叠统栖霞组; 2—梁山组; 3—大竹园组上段; 4—大竹园组下段; 5—韩家店群; 6—铝土矿; 7—铝土岩; 8—绿泥石粘土岩; 9—页岩; 10—炭质页岩; 11—石灰岩; 12—硬水铝石(Di); 13—锆石(Zi) 14—金红石(Ru); 15—锐钛矿(An); 16—电气石(To); 17—磷灰石(Ap); 18—磁铁矿(Ma)

Fig.6 Geological section and heavy mineral assemblage of Zhangjiayuan ore-bearing rock series in the Zheng'an ore belt  
1—Middle Permian Qixia Formation; 2—Liangshan Formation; 3—Upper Dazhuyuan Formation; 4—Under Dazhuyuan Formation; 5—Hanjiadian Group; 6—Bauxite; 7—Allite; 8—Chlorite clay rock; 9—Shale; 10— Carbonaceous shale; 11—Limestone; 12—Diaspore (Di); 13—Zircon (Zi); 14— Rutile (Ru); 15— Anatase (An); 16— Tourmaline (To); 17— Apatite (Ap); 18— Magnetite (Ma)

和y/ΣREE相对最高(表5)。从表4、表6可见, 铝土矿中稀散元素 Ga、Zr主要来源于下志留统韩家店群的伊利石页岩。而Li的高含量来自黄龙组石灰岩(大竹园组下伏黄龙组灰岩较多的道真及务川北部铝土矿中Li含量, 显著高于黄龙组灰岩很少的正安矿带铝土矿中Li含量)。铝土矿中的重稀土, 也与黄龙组石灰岩密切相关(表7)。

综合前述, 通过铝土矿和下伏基底岩石稀散元素、稀土元素及人工重砂的对比, 表明沉积型铝土矿与形成含三水铝石红土风化壳的基底母岩, 有着显著的成因联系。

## 6 区域成矿模式

区域成矿模式是区域矿产地质工作成果的总结和概括, 是区域成矿规律的展示<sup>[12]</sup>。黔中—渝南沉积型铝土矿的区域成矿模式概括如下。

黔中—渝南石炭纪铝土矿及其含矿岩系, 均位于扬子准地台西部长期隆起的遵义断拱内。都匀运动和广西运动, 是加里东构造阶段两次重要的地壳升降运动, 它们的发生、发展实为一次近于连续的演化过程。这2次运动, 使全区的寒武纪、奥陶纪和早志留世海相地层, 先后抬升, 隆起为陆。经长

表8 正安铝土矿带张家院含矿岩系剖面人工重砂中稳定重矿物含量(%)  
Table 8 The content of heavy mineral assemblage in heavy fraction from Zhangjiayuan ore-bearing rock series of the Zheng'an ore belt

样号	地层代号	岩性	锆石	金红石	电气石	榍石	磷灰石	磁铁矿	硬水铝石	锐钛矿	磷钇矿
ZRZ-7	P <sub>2</sub> <sup>l</sup>	炭质页岩/铝土岩	28.3	6.3	少			0.1	65.3	微	
-6		豆觔状铝土矿	27.6	6.2	少	微	少	0.01	63.9	2.3	
-5	C <sub>2</sub> d <sup>2</sup>	豆觔状铝土矿	37.7	7.8	0.14	微	12.7	0.16	31.2	10.3	微
-4		半土状铝土矿	少	少	少	微		0.03	99.97	少	
-3		铝土岩	39.1	34.8	微		少	0.1	26.0		
-2	C <sub>2</sub> d <sup>1</sup>	绿泥石粘土岩	98.0	少	少			2.0	微		微
-1	S <sub>1</sub> h <sub>j</sub>	粉砂质伊利石页岩	28.4	5.2	7.5		58.3	0.6		少	

注:硬水铝石、锐钛矿、磷钇矿不是陆源碎屑矿物,由于它们在含矿岩系中的重要性,也一并列入统计和制图之列,样号与图6相同。

期风化、剥蚀,到泥盆纪末期,全区已准平原化。

紫云运动是晚泥盆世末期至早石炭世的一次升降运动。在此期间,地壳发生了向南飘移的活动。黔中、黔南的贵阳、惠水、平塘、罗甸以及遵义、道真等地,大约从晚泥盆世晚期的北纬24°,到早石炭世岩关期的北纬15°,大塘期晚期北纬8.7°,晚石炭世北纬7.8°~8.2°,当时已处于赤道附近的热带气候区<sup>[4]</sup>。长期暴露地表的寒武系、奥陶系和下志留统的碳酸盐岩、泥页岩及碎屑岩等,到早石炭世岩关期,发生了钙红土化、红土化作用,形成了覆盖全区的含三水铝石的红土风化壳,为沉积型铝土矿及其含矿岩系准备了充足的成矿物质。早石炭世大塘期早中期海退期间,于修文和息烽—遵义2沉积区沉积了早石炭世铝土矿含矿岩系—九架炉组。

黔北的绥阳—正安—道真沉积区,早石炭世岩关期形成第1批含三水铝石红土风化壳之后,晚石炭世滑石板期—达拉期,发生一次小规模海侵,沉积了厚度不大的黄龙组石灰岩,紧接着,黄龙组石灰岩钙红土化,形成了第2批含三水铝石红土风化壳,并于马平期海退过程中,沉积了晚石炭世铝土矿含矿岩系—大竹园组。广泛分布于川、滇、黔的峨眉山玄武岩,是目前中国唯一被国际地学界公认的大火成岩省<sup>[13]</sup>,胡瑞忠等就峨眉地幔柱的活动列出了5条证据,确认峨眉山大火成岩省就是峨眉地幔柱活动的产物,峨眉地幔柱玄武岩浆的主喷发期,基本限定在256 Ma<sup>[14]</sup>。王登红根据地幔柱自核幔边界上升到地表,最终以大规模岩浆作用的形式喷发或侵位这样一个复杂的演化过程,划分为4个

演化阶段,即:(1)初始阶段,(2)上升阶段,(3)壳幔相互作用阶段,(4)喷发—消退阶段<sup>[15]</sup>。

都匀运动、广西运动、紫云运动和道真运动,大约发生在距今443.8~306 Ma<sup>①</sup>,此时段为峨眉山玄武岩主喷发期(距今256 Ma)之前50~187.8 Ma,正处在峨眉地幔柱演化的壳幔相互作用阶段,地幔柱可向地壳大量输送物质和辐射能量,从而引发地壳发生一系列变化。扬子准地台内的长期隆起区遵义断拱,就是在此阶段发生和定型的,含三水铝石红土风化壳和沉积型铝土矿,也都是在此阶段相继形成的。

黔桂运动是中二叠世与晚石炭世马平期之间的构造运动,其间缺失早二叠世地层。此运动引发了大规模海侵,中二叠统梁山组、栖霞组,假整合覆盖在九架炉组和大竹园组之上。

东吴运动是晚二叠世与中二叠世之间的构造运动,与之相伴的是,在贵州西部和中部,有大量峨眉山玄武岩的喷发和同源辉绿岩的侵入<sup>[8]</sup>,这是峨眉地幔柱喷发阶段的产物。

燕山运动为白垩纪初与侏罗纪末的一次强烈造山运动,影响甚广,几乎波及贵州全省及渝南一带,使晚白垩世以前的地层普遍发生褶皱、断裂,奠定了现今所见地质构造和地貌发育的基础。铝土矿及含矿岩系即分布在燕山运动形成的一些向斜之中。

喜马拉雅运动,在本区是反映在古近纪始新世至第四纪之间的一系列构造运动。这次运动使石炭纪铝土矿及其含矿岩系遭到破坏和剥蚀,同时,也使部分铝土矿暴露在地表或地表附近,发生了表

①全国地层委员会编委会,2012年9月颁发的《中国地层表(试用稿)》。



图7 黔中—渝南石炭纪沉积型铝土矿区域成矿模式

Fig.7 Metallogenic model of Carboniferous sedimentary bauxite deposits in Central Guizhou-South Chongqing region

生富集作用。

本区沉积型铝土矿的区域成矿模式见图7。

### 7 区域找矿模型

区域成矿模式、矿床成矿模式是矿产勘查的地质理论基础,找矿模型是矿产勘查工作的实际指导。找矿模型的具体内容全面反映了发现矿床或寻找矿床所必要的成矿信息和方法手段<sup>[12]</sup>。

根据陈毓川等人提出的建立找矿模型的原则和方法,笔者尝试建立黔中—渝南沉积型铝土矿的区域找矿模型。在建立区域找矿模型之前,需要先

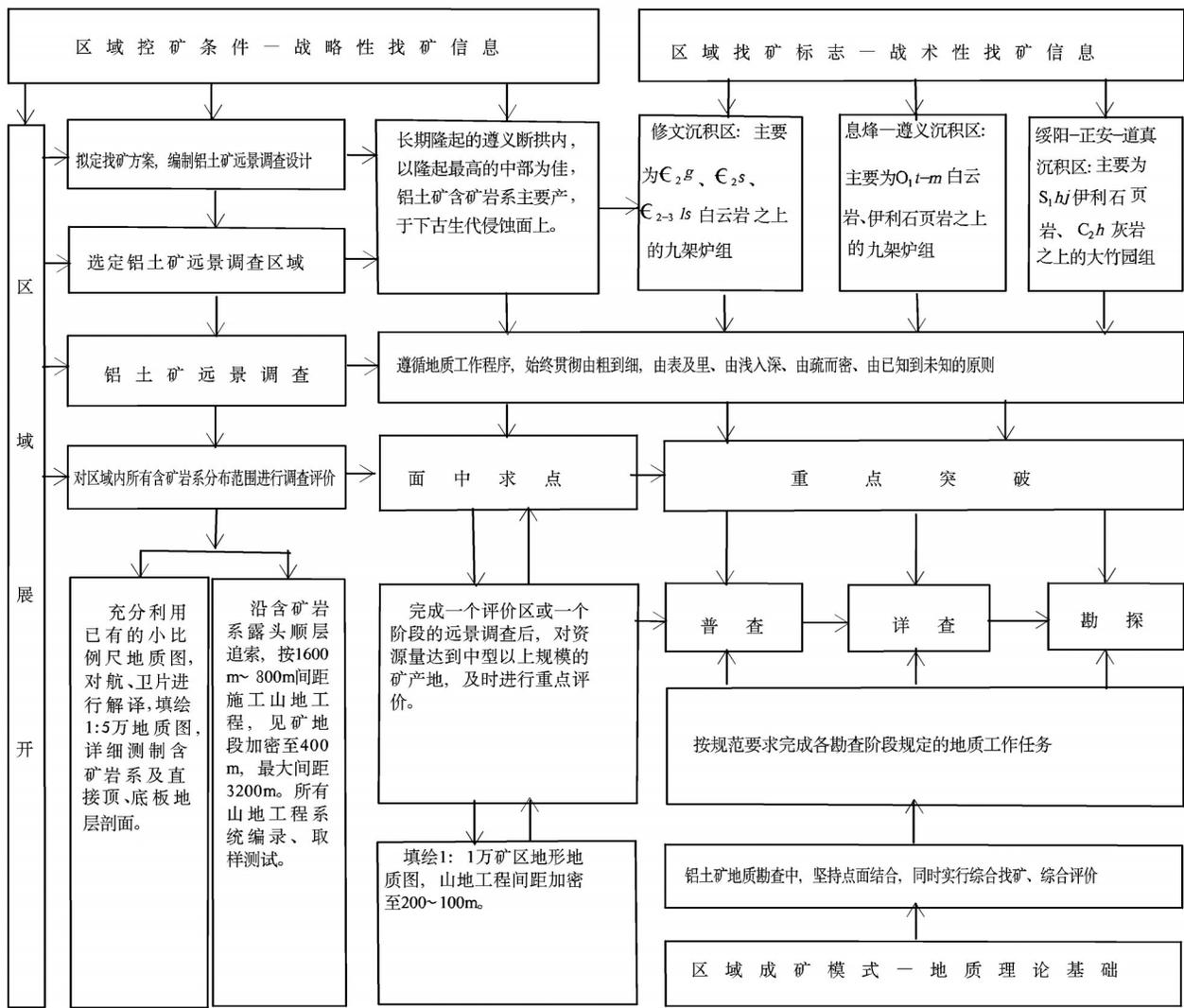
概括区域控矿条件和找矿标志,这些都是必要的找矿信息。

#### 7.1 区域控矿条件

(1)构造条件:在地壳演化过程中,曾经有过长期隆起的历史,遵义断拱就是长期构造隆起区。

(2)地层条件:在地史经历中,有过长期的大范围的沉积间断,代表地层之间假整合的古侵蚀面,是沉积型铝土矿聚集的重要部位。

(3)岩性条件:以含有大量铝硅酸盐矿物的岩石,如页岩、泥岩为佳;碳酸盐岩以含有泥质者为佳,有利于形成含三水铝石的红土风化壳。



$C_{2g}$  中寒武统高台组,  $C_{2s}$  中寒武统冷水组,  $C_{2-3ls}$  中上寒武统娄山关群,  $O_{1t-m}$  下奥陶统桐梓组-湄潭组,  $S_1hj$  下志留统韩家店群,  $C_2h$  上石炭统黄龙组

图8 黔中—渝南石炭纪沉积型铝土矿区域找矿模型

Fig.8 Prospecting model for Carboniferous sedimentary bauxite deposits in Central Guizhou-South Chongqing region

(4)气候条件: 本区成矿前和成矿时古纬度为  $7.8^{\circ}\sim 15.1^{\circ}$ , 靠近赤道附近, 属炎热多雨的热带气候区, 便于母岩红土化、钙红土化。

(5)沉积条件: 在准平原基础上, 叠加有若干侵蚀、溶蚀洼地, 尤以面积较大、基底起伏较小的负地形最为有利, 常可形成大型、超大型矿床。

(6)保存条件: 沉积型铝土矿形成之后, ①应有新沉积的岩层及时覆盖在含矿岩系之上, 免遭剥蚀; ②断裂构造不发育; ③岩溶不发育。

### 7.2 区域找矿标志

(1)构造标志: 在遵义断拱内, 褶皱构造(主要是向斜)两翼及转折端, 断裂构造两侧。

(2)地层标志: 铝土矿含矿岩系主要位于中、上寒武统, 下奥陶统, 下志留统和上石炭统黄龙组之上, 中二叠统梁山组、栖霞组之下, 修文沉积区多在下石炭统摆佐组之下。

(3)地貌标志: 中二叠统栖霞组石灰岩比较坚硬, 常形成悬崖、峭壁、陡坡, 甚为突出, 极易识别。

(4)共生矿产标志:赤铁矿、绿泥石赤铁矿、硫铁矿、煤矿,是铝土矿的常见共生矿产,在这些矿产附近,往往有铝土矿存在。

(5)铝土矿露头标志:这是最直接的找矿标志。

(6)放射性标志:铝土矿含矿岩系的放射性强度,明显高于下伏寒武系、奥陶系白云岩和上覆摆佐组白云岩、栖霞组石灰岩的强度。含矿岩系的粘土岩为7~80 $\gamma$ ,一般在15~40 $\gamma$ ;铝土矿为20~146 $\gamma$ ,一般在50~80 $\gamma$ 。而上覆、下伏灰岩、白云岩多在10 $\gamma$ 以下。

### 7.3 区域找矿模型

可能由于铝土矿物理性质、化学性质的特殊性,也可能由于地球物理找矿和地球化学找矿方法上存在的局限性,以致目前在地球物理勘查和地球化学勘查中,对沉积型铝土矿,尚无明确找矿效果。

地球化学专家冯济舟告知,除广西平果堆积型铝土矿在区域化探图件中有明显异常外,山西、贵州、河南等主要沉积型铝土矿产地,均无异常显示。铝土矿含矿岩系厚度较薄,且又无特殊物理性质,在大片沉积岩分布区的航片、卫片上,也无突出影像标志。即使借助栖霞组灰岩的影像特征,可以解译出铝土矿含矿岩系的影像地层单元,也难以圈定其中的铝土矿体。因此,在建立沉积型铝土矿区域找矿模型方面,物探、化探及遥感等方法,尚不能提供更多有价值的找矿信息,只能根据当前现状,建立地质经验找矿模型<sup>[12]</sup>。

区域成矿模式是建立区域找矿模型的地质理论基础。区域控矿条件是战略性找矿信息,解决到何处去找矿的问题,是拟定找矿方案、编制地质设计的宏观标志。区域找矿标志是战术性找矿信息,解决在实际工作中如何找到矿的问题,二者缺一不可。

在建立区域找矿模型、拟定找矿方案以及在地质勘查过程中,应始终坚持我国地质工作者从几十年实践经验、教训中总结出来的以下2条原则。

(1)坚持“区域展开,重点突破,面中求点,点面结合”的原则。

(2)遵循地质工作程序是地质工作的客观规律,按照由粗到细、由表及里、由浅入深、由疏而密、由已知到未知的原则,去进行地质工作和部署勘查工程。地质勘查由区域性找矿—远景调查和矿产地的普查、详查、勘探等工作阶段组成,是一个循序渐进的过程。各个工作阶段可以缩短,但不应超越。

黔中—渝南沉积型铝土矿的区域找矿模型归纳如图8。

**致谢:**审稿专家及责任编辑杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

### 参考文献(References):

- [1] 刘平. 初论贵州之铝土矿[J]. 贵州地质, 1987, 4(1): 1-12.  
Liu Ping. An initial discussion on Guizhou bauxite[J]. Guizhou Geology, 1987, 4(1): 1-12(in Chinese with English abstract).
- [2] 刘平. 五论贵州之铝土矿—黔中—川南成矿带铝土矿含矿岩系[J]. 贵州地质, 1995, 12(3): 185-203.  
Liu Ping. On the bauxite in Guizhou Province—V: The bauxite-bearing rock series in central Guizhou—southern Sichuan ore-forming zone[J]. Guizhou Geology, 1995, 12(3): 185-203(in Chinese with English abstract).
- [3] 刘平. 黔北务一正一道地区铝土矿地质概要[J]. 地质与勘探, 2007, 43(5): 29-33.  
Liu Ping. Bauxite geology in the Wuchuan-Zhen'an-Daozhen area, northern Guizhou[J]. Geology and Prospecting, 2007, 43(5): 29-33(in Chinese with English abstract).
- [4] 刘平, 廖友常. 试论遵义高铁铝土矿与低铁铝土矿的分带性及形成机制[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 949-966.  
Liu Ping, Liao Youchang. The zonation and genetic mechanism of Zunyi high and low-ferrous bauxites[J]. Geology in China, 2013, 40(3): 949-966(in Chinese with English abstract).
- [5] 高道德, 盛章琪, 石善华, 等. 贵州中部铝土矿地质研究[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1992: 4-7, 17, 63-64, 25-26.  
Gao Daode, Sheng Zhangqi, Shi Shanhua, et al. Studies on the Bauxite Deposits in Central Guizhou, China[M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1992: 4-7, 17, 63-64, 25-26(in Chinese with English abstract).
- [6] 刘平, 廖友常. 黔中—渝南铝土矿含矿岩系时代探讨[J]. 中国地质, 2012, 39(3): 661-682.  
Liu Ping, Liao Youchang. A tentative discussion on the age of bauxite-bearing rock series in central Guizhou—Southern Chongqing area[J]. Geology in China, 2012, 39(3): 661-682(in Chinese with English abstract).
- [7] 刘平. 论黔北—川南石炭系大竹园组[J]. 中国区域地质, 1996, (2): 123-130.  
Liu Ping. The carboniferous Dazhuyuan formation in Northern Guizhou—Southern Sichuan[J]. Regional Geology of China, 1996, (2): 123-130(in Chinese with English abstract).
- [8] 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1987, 556-557, 525-535.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Guizhou Province. Regional Geology of Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987, 556-557, 525-535(in Chinese).
- [9] 廖友常, 李元坤, 史光大. 焙烧—湿法预脱硅工艺处理高硫低铝硅比铝土矿石的试验研究及效果——以贵州务川大竹园铝土矿区矿石为例[J]. 中国地质, 2011, 38(1): 129-137.

- Liao Youchang, Li Yuankun, Shi Guangda. An experimental study of treating the high-sulphur low-alumina silicified bauxitic ore with the pre-desilicification technology of firing-wet method: A case study of the aluymite ore from Dazhuyuan, Wuchuan County, Guizhou Province[J]. *Geology in China*, 2011, 38(1): 129-137(in Chinese with English abstract).
- [10] 廖友常. 一水硬铝石型高铁铝土矿的拜尔法溶出研究——以遵义仙人岩矿石为例[J]. *中国地质*, 2012, 39(5): 1387-1396.
- Liao Youchang. The bayer dissolving method for the diaspore type high-iron bauxite: A case study of the ore from Xianrenyan rock in Zunyi[J]. *Geology in China*, 2012, 39(5): 1387-1396.
- [11] 陈代演, 王华. 贵州若干铝土矿床稀土元素地球化学研究[J]. *贵州地质*, 1997, 14(2): 132-144.
- Chen Daiyan, Wang Hua. A study on REE geochemistry of some bauxite deposits in Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 1997, 14(2): 132-144(in Chinese with English abstract).
- [12] 陈毓川, 朱裕生. 中国矿床成矿模式[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 8-15.
- Chen Yuchuan, Zhu Yusheng. *Mineral Deposit Models of China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 8-15.
- [13] 徐义刚. 地幔柱构造、大火成岩省及其地质效应[J]. *地学前缘*, 2002, 9(4): 341-353.
- Xu Yigang. Mantle plumes, large igneous provinces and their geologic consequences[J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(4): 341-353(in Chinese with English abstract).
- [14] 胡瑞忠, 陶琰, 钟宏, 等. 地幔柱成矿系统: 以峨眉山地幔柱为例[J]. *地学前缘*, 2005, 12(1): 42-54.
- Hu Ruizhong, Tao Yan, Zhong Hong, et al. Mineralization systems of a mantle plume: A case study from the Emeishan igneous province, southwest China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(1): 42-54(in Chinese with English abstract).
- [15] 王登红. 地幔柱的概念、分类、演化与大规模成矿——对中国西南部的探讨[J]. *地学前缘*, 2001, 8(3): 67-72.
- Wang Denghong. Basic concept, classification, evolution of mantle plume and large scale mineralization: Probe into wouthwestern China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8(3): 67-72(in Chinese with English abstract).

## Regional metallogenic model and prospecting criteria of sedimentary bauxite deposits in Central Guizhou-Southern Chongqing region

LIU Ping, LIAO You-chang

(No. 106 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Zunyi 563000, Guizhou, China)

**Abstract:** The metallogenic model and prospecting criteria of sedimentary bauxite deposits in Central Guizhou-South Chongqing region are summarized as follows: Guangxi movement took place at the end of the Silurian and Ziyun movement that occurred at the last stage of the Devonian period, which might both have been in the crust-mantle interaction phase of the E'mei mantle plume evolution. The transportation of a large amount of materials and radiation energy from the mantle plume to the crust led to the rise-and-fall movement of the earth's crust. During this period, large area of the region was uplifted, leading to the formation of the long-term uplifted area. At the end of the Devonian, the pediplanation occurred. In the Early Carboniferous Yanguanian period, the climate was humid and rainy. Exposed surface rock in the Lower Paleozoic experienced laterization and calc-laterization. Laterite weathering crust with gibbsite provided sources for the sedimentary bauxite. In Xiuwen and Xifeng-Zunyi sedimentary areas, the bauxite-bearing rock series of Jiujialu Formation formed at the Early Carboniferous Datang Stage. Suiyang-Zheng'an-Daozhen sedimentary area deposited bauxite ore-bearing rock series of the Dazhuyuan Formation in the Mapping period which, after the formation of the limestone of the Late Carboniferous Huanglong Formation, generated calc-laterization. As the deposition region formed different parent rocks containing gibbsite-laterite weathering crust, the deposited bauxite ore-bearing rock series have different chemical and mineral compositions.

**Key words:** sedimentary bauxite deposit; laterite weathering crust; regional metallogenic model; regional prospecting criteria; Central Guizhou-South Chongqing region

**About the first author:** LIU Ping, male, born in 1935, senior engineer, long engages in the study of geology and mineral resources exploration; E-mail: lyc106@163.com.