

文章编号: 1009-3850(2012)03-0087-14

## 重庆南川-武隆铝土矿矿物学、地球化学特征

李再会<sup>1</sup>, 闫武<sup>2</sup>, 廖朝贵<sup>1</sup>, 吕涛<sup>1</sup>, 杨波<sup>1</sup>

李军敏<sup>1</sup>, 陈莉<sup>1</sup>, 陈阳<sup>1</sup>

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 重庆南川-武隆铝土矿属于渝南-黔北铝土矿成矿带, 为喀斯特型铝土矿床。经显微镜、X射线粉晶衍射、矿物自动分析仪(MLA)、扫描电子显微镜等方法对该矿床矿物学的研究, 发现组成铝土矿的主要矿物为一水硬铝石、高岭石、绿泥石, 次要矿物为伊利石、一水软铝石、三水铝石、鲕绿泥石、菱铁矿、赤铁矿、针铁矿、黄铁矿、锐钛矿、金红石、磷灰石、石英、锆石、方解石、长石及稀土矿物等。矿石结构及矿物组合表明形成铝土矿的沉积/成岩环境为接近于潜流的环境。矿石结构和锆石形态指示成矿物质经过了短距离的搬运。地球化学研究结果显示, 组成铝土矿的主要化学成分为  $Al_2O_3$ 、 $TfFeO$ 、 $SiO_2$  和  $TiO_2$ , 铝土矿化过程中 REE、Zr、Hf、Nb、Ta、Th、Sc、Li 和 Ga 发生富集。形成铝土矿的母岩物质主要来自下伏页岩的风化作用, 灰岩和酸性火山岩对铝土矿的形成也有一定的贡献。结合稳定同位素资料, 认为铝土矿的形成可能与生物作用有关。

**关键词:** 铝土矿; 矿物学; 地球化学; 母岩; 重庆南川-武隆

**中图分类号:** P611.2<sup>+</sup>2

**文献标识码:** A

铝土矿床是典型的外生矿床, 一般根据其下伏基岩岩性, 铝土矿床主要分为两种类型<sup>[1]</sup>: (1) 红土型铝土矿, 其下伏基岩为铝硅酸盐; (2) 喀斯特型铝土矿, 其下伏基岩为碳酸盐岩。此外, 一些学者将铝土矿分为红土型、沉积型和喀斯特型 3 种类型<sup>[2,3]</sup>。铝土矿不仅是金属铝、镓和稀土元素的重要来源<sup>[4,6]</sup>, 还是金属铈的重要来源<sup>[7,8]</sup>。据估计<sup>[9]</sup>, 地壳中 193 万吨铈储量约有 75% ~ 80% 伴生在铝土矿中。中国铝土矿床主要分布在山西、河南、广西和贵州等省。近年来的勘查成果表明渝南-黔北铝土矿成矿带已成为我国重要的铝矿产资源基地。重庆武隆-南川铝土矿属于渝南-黔北铝土矿成矿带重要组成部分, 形成环境为障壁后泻湖半深湖-深湖环境<sup>[10]</sup> 或陆缘近海湖环境<sup>[11]</sup>。截止 2011

年底, 重庆地区已累计探明铝土矿资源量 2 亿吨。目前, 关于黔北铝土矿(贵州务、正、道地区)取得了一些研究进展<sup>[12-16]</sup>, 但重庆南川-武隆铝土矿床的地质和地球化学研究还很薄弱, 极大制约了重庆地区铝土矿的找矿和资源综合利用。重庆南川-武隆铝土矿的总体特征是: 富矿体少, 以中、低品位矿石为主, 矿石中稀土和稀散元素含量较高, 其中铈含量  $18.60 \sim 79.4 \times 10^{-6}$ , 平均  $36.68 \times 10^{-6}$ ; 镓元素含量  $24.6 \sim 146 \times 10^{-6}$ , 平均  $67.55 \times 10^{-6}$ <sup>[17]</sup>。REE =  $23.89 \sim 859.90 \times 10^{-6}$ 。本文通过详细的地质学、岩石学、矿物学及地球化学和 C、O、S 同位素的研究, 旨在揭示铝土矿的形成过程和环境, 并探讨形成铝土矿的母岩。

**收稿日期:** 2012-09-08

**作者简介:** 李再会(1967-), 男, 高级工程师, 主要从事岩石学及区域地质研究。E-mail: lizaihui@126.com

**资助项目:** 中国地质调查局项目资 [2010] 矿评 01-07-27

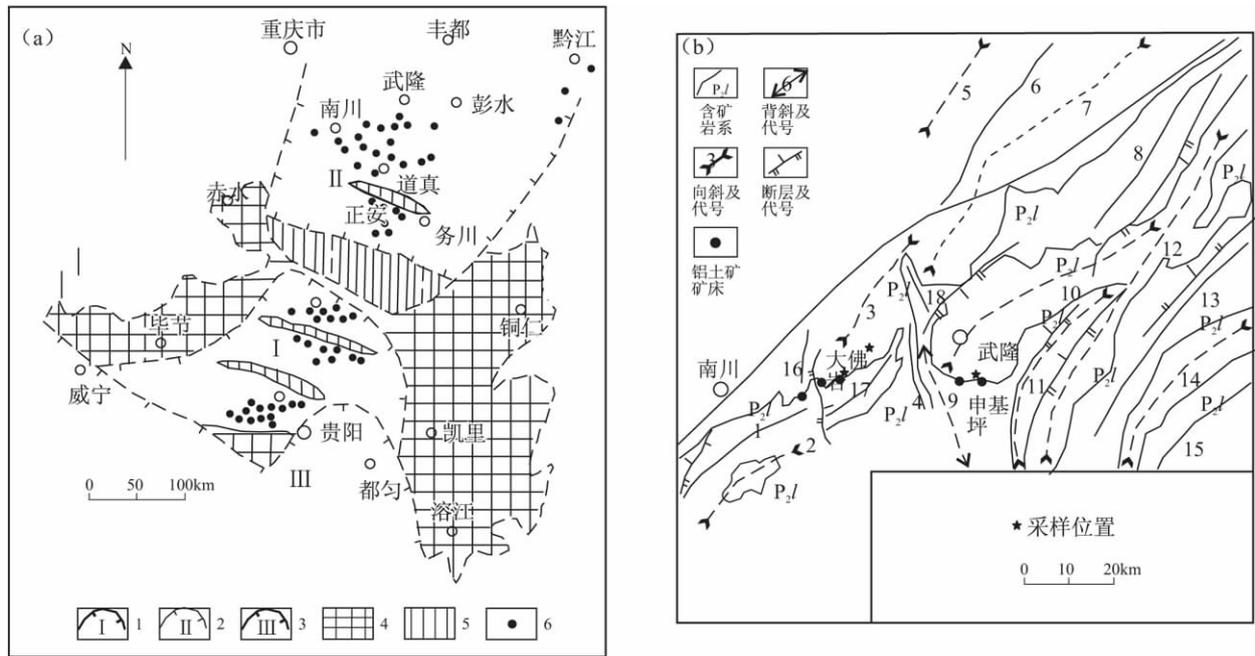


图1 渝南-黔北铝土矿分布图(a)及重庆南川-武隆铝土矿区构造纲要图(b)

1. 石炭系含矿岩系沉积区; 2. 二叠系含矿岩系沉积区; 3. 石炭系非含矿岩系沉积区; 4. 未沉积区; 5. 无矿带发育区; 6. 铝土矿床(点)

Fig. 1 Distribution of the bauxite deposits in southern Chongqing and northern Guizhou ( a ) and structural outline of the Nanchuan-Wulong bauxite deposit in Chongqing ( b )

## 1 地质背景

### 1.1 区域地质

重庆南川-武隆地区位于扬子地块西缘,区内岩石类型以沉积岩为主,岩浆岩不发育,岩石基本未发生变质作用。构造以阻挡式褶皱为主<sup>[18]</sup>(图1),并广泛发育北东向逆冲断层。区域出露的最老地层为上寒武统,最新地层为侏罗系沙溪庙组,缺失泥盆系和下石炭统地层。寒武系分布于背斜核部,三叠系、侏罗系分布于向斜核部。二叠系梁山组为铝土矿含矿岩系,不整合于志留系韩家店组页岩之上,局部不整合在石炭系黄龙组灰岩侵蚀面之上。重庆南川-武隆铝土矿属于渝南-黔北铝土矿成矿带的北部(图1),目前已发现1个大型铝土矿床(大佛岩矿床)和5个中型铝土矿床。

### 1.2 矿床地质

南川-武隆铝土矿赋存于中二叠统梁山组(相当于 Roadian 阶),不整合于志留系韩家店组之上,局部地段不整合在石炭系黄龙组灰岩之上(图2)。梁山组厚4.2~13.7m。岩性自下而上:底部为一层厚0.15~2.50m的褐黄、黄灰、灰白等色的小透镜状、串珠状页状粘土岩及褐铁矿;下部为灰、灰白、灰绿、黄绿及墨绿色绿泥石粘土岩、鲕绿泥石、鳞绿泥石粘土岩、高岭石粘土岩,局部见水平纹层理,常含

黑色有机质和植物碎片及黄铁矿团块,局部夹有透镜状菱铁矿或赤铁矿;中部为灰至深灰色铝土岩,致密状、土状、土豆状、致密豆状、砾屑状铝土矿;上部为灰色~深灰色铝土岩、粘土岩,顶部为黑色炭质页岩。铝土矿呈透镜状、不规则状,厚1.15~1.93m。铝土矿 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 59.24%~61.79%,其铝硅比值 A/S 为 3.51~6.90。

含矿岩系	厚度(m)	岩性描述
	>10	含生物屑灰岩
	0.10-3.15	灰黑色碳质页岩,含黄铁矿结核,含植物化石
	0.30-3.20	致密状铝土矿,局部夹少量砾屑,向上渐变为致密状粘土岩,局部地方在顶部出现砾岩,砾岩成分为铝土岩
	0.13-6.00	似层状、透镜状铝土矿,局部夹透镜状铝土岩、粘土岩
	0.10-3.21	致密状铝土矿,含黄铁矿,呈团块或星点状,局部夹透镜状铝土矿
	0.10-3.01	高岭土粘土岩,含黄铁矿结核,局部夹菱铁矿,赤铁矿
	0.25-2.16	绿泥石粘土岩、鲕绿泥石粘土岩、高岭土粘土岩
	0.66-2.50	透镜状粘土岩及褐铁矿,与下伏地层呈不整合接触,局部出现黄龙组灰岩,呈透镜状
	>10m	页岩,夹条带状灰岩,含三叶虫化石

图2 二叠系梁山组铝土矿含矿岩系柱状图

Fig. 2 Lithologic column through the ore-bearing rock series of the Nanchuan-Wulong bauxite deposit in Chongqing



图3 豆、鲕状铝土矿宏观露头(a)及显微结构照片(b)

Fig. 3 Field outcrops (a) and microphotograph (b) of oolitic and pisolitic bauxite ores

铝土矿石可分为3种构造类型:

**豆状构造:** 豆体具有圈层结构, 一般具有一个干净的包壳, 包壳厚度集中在0.1~0.3mm; 铝土矿胶粒的核心一般为粘土类或者相似的层状硅酸盐矿物集合体; 核心和包壳的边界不清, 相互包含。豆粒度大小一般为2mm~10mm(图3a)。

**致密块状构造:** 具隐晶质结构、变形砂状结构, 偶含鲕、豆。

**土状构造:** 矿石矿物分布均匀, 不具有豆、鲕、条带等不均匀体, 表面似松散的土状。由于强烈的风化作用或者成岩作用, 局部过渡成为蜂窝状构造, 表现为疏松多孔状。

## 2 样品的分析测试

样品分别采自重庆南川大佛岩矿区、水江九井

矿区、武隆车盘和贵州大竹园。X射线粉晶衍射分析在中国地质科学院矿产综合利用研究所分析测试中心的RIGAKU-RA型X射线粉晶衍射仪上进行。实验条件: 靶CuK $\alpha$ 1, 电压40kv, 电流80Ma, 扫描速度为8°/min, 扫描范围5~70°, 狭缝DS = SS = 1°, 工作环境温度18℃, 湿度30%。矿物相分析是在中国地质科学院矿产综合利用研究所分析测试中心的Mineral Liberation Analyser, (简称MLA)完成, 扫描电镜(SEM)分别在中国地质科学院矿产综合利用研究所分析测试中心的JXA-733和国土资源部西南矿产资源监督检测中心的日立S-4800扫描电子显微镜上完成。主量元素和微量元素在国土资源部西南矿产资源监督检测中心分别在日立180-80型和ELEMENT2上一用XRF和ICP-MS方法完成, 分析精度分别优于3%和5%。

表1 重庆南川-武隆铝土矿中矿物组成

Table 1 Mineral compositions in the bauxite ores from the Nanchuan-Wulong bauxite deposit in Chongqing

矿物类别	主要矿物	次要矿物
氧化物矿物	一水硬铝石	三水铝石、水软铝石、石英、玉髓、蛋白石、磁铁矿、钛铁矿、金红石、褐铁矿、赤铁矿、针铁矿
硅酸盐矿物	铁绿泥石、粘土矿物 (高岭石、伊利石、地开石、叶腊石等)	白云母、绢云母、楣石、铅石、
硫化物矿物		黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿
碳酸盐矿物		方解石、菱铁矿
其他类矿物		磷灰石、胶磷矿 稀土矿物

通过对样品进行显微镜下鉴定, 结合人工重砂、X射线衍射分析、电镜分析、能谱及探针分析等手段, 确定铝土矿石矿物组成, 结果见表1。从X射线衍射图谱(图4)可知, 样品中一水硬铝石、高岭石、绿泥石、赤褐铁矿等矿物峰值明显, 铝土矿中各矿物相分布见图5。

C、O、S同位素在核工业北京地质研究院分析测试研究中心的MAT253型质谱计上完成。 $\delta^{13}\text{C}$ 实验数据的测定精度均为 $\pm 0.1\%$ ; 实验数据以PDB为标准。 $\delta^{18}\text{O}$ 分别以PDB和SMOW为标准, 分析精密密度为 $\pm 0.2\%$ ;  $\delta^{34}\text{S}$ 相对标准为V-CDT, 分析精密密度为 $\pm 0.2\%$ 。

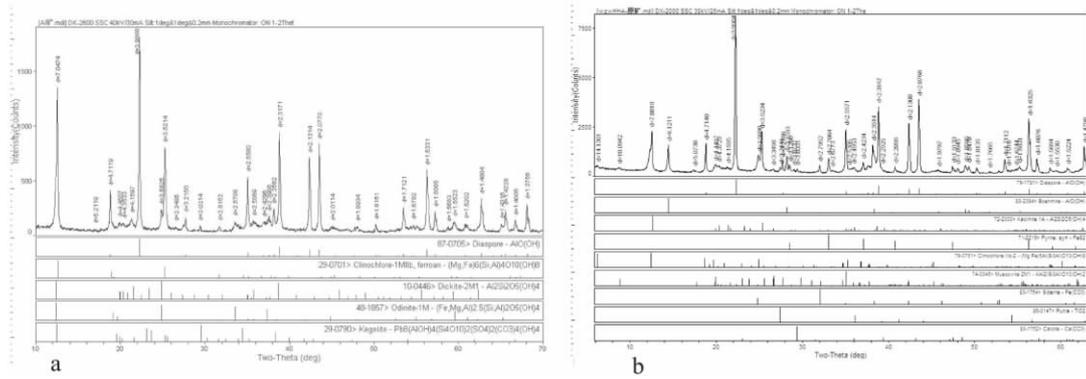


图4 铝土矿 X 射线衍射曲线图谱. a. 申基坪矿区; b. 大佛岩矿区

Fig. 4 X-ray power diffraction patterns for the bauxite ores from the Shenjiping mining district (a) and Dafuyan mining district (b) in Chongqing

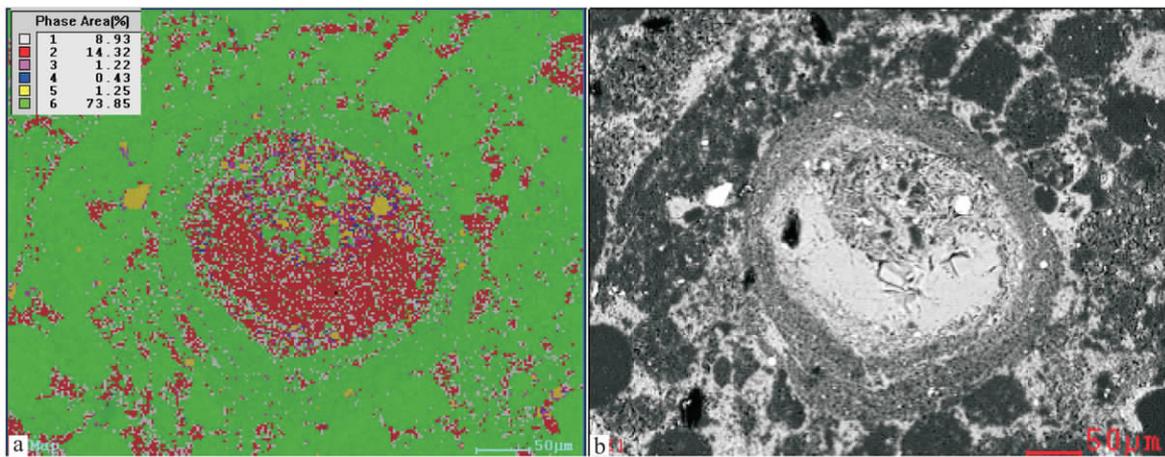


图5 铝土矿矿物相分布图. a. 为 X 射线能谱矿物相分布图; b. 为背散射图像

1、3、4 代表粘土矿物或泥质; 2. 含铁矿物; 5. 金红石; 6. 一水铝石

Fig. 5 SEM microphotographs showing the mineral distribution in bauxite ores

a. X-ray energy dispersive spectrum; b. Backscattered electron image. 1, 3 and 4 = clay minerals or mud; 2 = ferruginous minerals; 5 = rutile; 6 = diaspore

### 3 矿物学特征

一水硬铝石: 为主要矿石矿物, 主要有 3 种形式: (1) 隐晶质-胶状结构的一水硬铝石(图 6a), 为铝土矿的主要结构类型, 矿物结晶程度差, 一般晶粒小于 0.0005mm, 呈短柱状集合体; 与高岭石、绿泥石等粘土矿物相互紧密胶结; (2) 它形粒状结构, 粒度一般小于 0.015mm, 在矿石中常呈集合体形式与绿泥石、高岭石或泥质、炭质、铁质等混杂相嵌; (3) 半自形结构的一水硬铝石, 呈板柱状、片状, 径长 0.07~0.007mm(图 6), 常以多晶集合体形式产出, 嵌布于豆粒(鲕粒)内部或外壳。

一水软铝石: 多为隐晶至微晶粒状及砂屑, 一般粒度为 0.01~0.001mm, 砂屑大小为 0.3~2mm, 与硬水铝石、高岭石、褐铁矿成层组成鲕粒、豆粒。

高岭石: 铝土矿矿石中的高岭石多呈泥晶鳞片状, 粒度微细, 晶粒小于 0.003mm(图 6c), 集合体呈叠片状。

绿泥石: 绿泥石常呈鳞片状、纤维状集合体。与高岭石等粘土矿物一起构成基质, 构成豆粒(鲕粒)的核心, 或者呈结核状集合体嵌布于豆粒(鲕粒)内部。

鲕绿泥石: 呈粒状、球状鲕粒(图 6b)。

菱铁矿: 呈浅灰色粒状、结核状被粘土质胶结。

黄铁矿: 有两种分布形式: (1) 呈不规则团块状集合体, 与矿石中铝矿物及粘土矿物接触界面多不平整, 集合体内部常包含细小粘土矿物或少量铝矿物, 粒度一般 0.2~1.0mm(图 6e); (2) 呈细粒星散状, 粒度一般在 0.004~0.03mm 之间。这种形式的黄铁矿包裹于豆粒、鲕粒内部, 或与高岭土、绢云母、

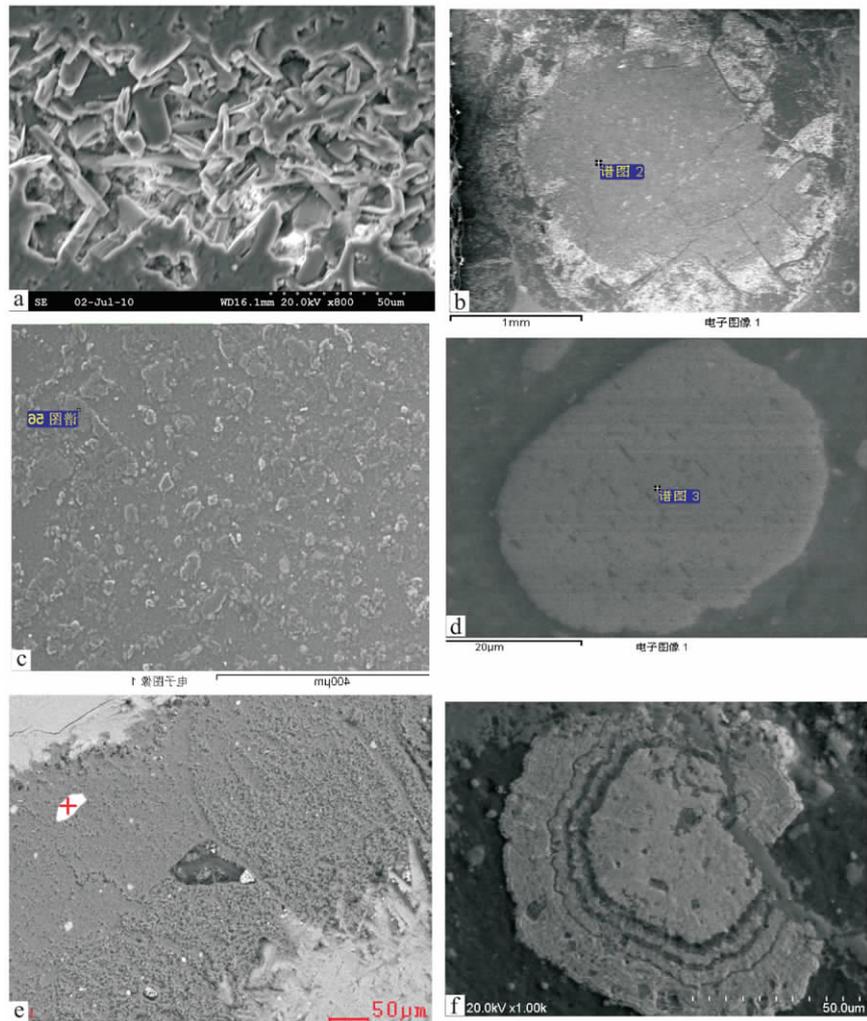


图6 铝土矿中矿物背散射图像

(a) 隐晶-胶状一水铝石; (b) 鲕绿泥石; (c) 高岭石; (d) 金红石; (e) 石英; (f) 粒状黄铁矿

Fig. 6 Backscattered SEM microphotographs for cryptocrystalline-colloform diaspore (a), chamosite (b), kaolinite (c), rutile (d), quartz (e) and granular pyrite (f) from bauxite ores

绿泥石等粘土矿物混杂交生嵌布于矿石基质中。

黄铜矿: 含量甚微, 分布零散。单晶呈它形粒状, 常以集合体形式产出, 集合体呈不规则状、港湾状等, 粒度  $0.03 \sim 0.07\text{mm}$ 。

钛矿物: 主要为金红石。多呈柱状, 板状, 晶体常因搬运受到破坏, 外形不完整, 棱角常有些磨蚀。粒度介于  $0.005 \sim 0.08\text{mm}$  之间(图 6d)。

长石: 为陆源碎屑物, 在矿石中偶尔可见, 呈半自形板柱状, 嵌布于豆粒核心。

石英: 在矿石中偶尔可见, 呈次棱角状、次圆状(图 6e), 也可呈不规则短带状与胶状一水硬铝石集合体交互嵌布。

锆石: 呈碎屑形态存在, 部分锆石表面具韵律环带, 显示了岩浆成岩。呈次棱角状、次圆状, 表明经过一定距离搬运。通过能谱分析发现, 锆石中的

钪的含量异常高(图 7a)。

稀土矿物: 呈独立矿物出现, 主要为方钨矿、氟碳钨矿、氟碳钙钨矿及磷钨矿稀土矿物(图 7b)。

图 8 为铝土矿各元素面扫描图

## 4 矿石成分

铝土岩样品主量、微量及稀土元素组成见表 2。

### 4.1 主量元素

$\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为  $25.49\% \sim 69.97\%$ ,  $\text{SiO}_2$  含量  $2.31\% \sim 41.88\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为  $0.64\% \sim 11.8\%$ ,  $\text{TiO}_2$  含量  $1.22\% \sim 7.56\%$ ,  $\text{FeO}$  含量为  $0.048 \sim 10.73\%$ , 碱金属 ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) 含量变化大 ( $0.23\% \sim 5.81\%$ )。  $\text{Al}_2\text{O}_3$  对  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  表现出负相关性。在个别样品中,  $\text{SiO}_2$  的含量高达  $41.88\%$ , 这可能与高岭石出现有关。大量高岭土矿物的出现稀释

表2 重庆南川-武隆铝土矿主量(%)、微量元素及稀土元素组成( $\times 10^{-6}$ )Table 2 Major (%), trace and rare-earth ( $\times 10^{-6}$ ) element compositions in bauxite, shale and limestone samples from the Nanchuan-Wulong bauxite deposit in Chongqing

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
样品编号	TC046-4	TC044-7	TC044-6	TC103-5	DF01-40	DF01-8	DF01-5	DF02-3	DF02-5	DF02-6	CTC025-2	CTC006-4	ZK5701
岩性	铝土岩	铝土矿			铝土岩	铝土矿		粘土岩	铝土岩		铝土岩	铝土矿	
采样地点	南川洪官渡				南川大佛岩					武隆申基坪			
SiO <sub>2</sub>	25.01	21.78	22.12	23.18	41.02	14.44	11.45	40.31	2.31	22.96	41.88	8.68	22.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37.38	41.88	49.06	57.8	39.98	64.61	69.05	25.49	69.97	58.36	35.64	57.45	57.14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.4	9.04	4.52	1.59	1.7	2.38	1.23	10.41	8.66	1.59	6.12	11.08	2
FeO	8.45	7.72	1.12	0.083	0.46	0.36	0.16	3.08	0.048	0.052	0.08	1.25	0.9
CaO	0.2	0.12	0.13	0.11	0.32	0.22	0.01	1.4	0.082	0.13	0.06	0.092	0.061
MgO	2.85	2.91	1.93	0.61	0.82	0.04	0.35	3.11	0.04	0.4	0.24	0.04	0.36
K <sub>2</sub> O	1.63	1.36	2.48	0.26	3.03	0.46	0.63	5.77	0.24	0.7	3.44	0.93	1.36
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.04	0.04	0.04	0.5	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.6	0.11	0.06
TiO <sub>2</sub>	5.08	3.63	7.56	1.81	1.41	3.33	2.31	1.23	4.16	2	1.84	3.68	1.66
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.026	0.034	0.031	0.012	0.12	0.068	0.027	0.19	0.074	0.078	0.028	0.082	0.055
MnO	0.017	0.027	0.086	0.0027	0.0015	0.0065	0.0016	0.33	0.0085	0.0031	0.007	0.0033	0.0041
LO <sub>1</sub>	10.28	10.63	10.84	14.5	10.5	14.02	14.16	8.52	14.04	13.74	9.89	16.44	14.1
Li	1040	1000	816	657.65	1640	600	806	90.4	1.78	1160	349	81.4	1200
Be	4.252	14.923	6.87	4.39	4.24	16.34	2.793	8.054	11.015	6.479	8.67	9.168	7.719
Sc	31.2	41.1	34.6	3.3	34.6	7.48	20	29.3	16.8	8.63	18.6	23	17.3
V	449	546	538	477.5	361	559	397	183	542	333	128	409	335
Cr	559	788	780	149.85	202	232	193	119	274	108	182	242	359
Co	9.09	7.37	13.8	2.61	35	11	0.711	101	14.9	2.34	54.6	24.9	7.25
Ni	9.66	10.6	20	19.16	105	29.3	10.6	157	44.4	24	95.4	22.9	33.7
Cu	26	20.5	34.9	9.11	33	20.7	25.9	434	31.1	14.6	18.8	35.6	20.4
Zn	66.8	62.4	58.5	61.45	49.2	38.1	26.9	169.1	42.5	44.3	59.6	36.3	30.6
Ga	113	115	155	25.6	27.7	50.9	37.8	41	71.4	20.4	24.8	60.5	62.6
Ge	3.93	5.93	6.89	3.93	1.15	8.21	1.62	1.81	12.24	1.48	1.07	9.045	4.714
As	11.53	10.84	12.75	9.87	5.42	6.35	10.36	10.6	13.92	3.86	29.55	17.5	19.51
Rb	46.4	32	58.7	8.51	89.7	13.3	16.2	238	7.08	19.3	132	30.2	30.1
Sr	58.3	109	109	16.01	395	48.9	50.1	224	60	152	43.1	34.2	150
Y	49.2	46.1	88.2	15.45	46.5	17.7	27.2	662	33.2	25.5	37.1	30.8	30.3
Zr	1590	1140	2140	541.37	388	888	719	221	1160	565	440	1050	555
Nb	121	89.5	182	44.57	35.2	72.7	55.5	29.6	99	46.1	44.2	88.6	40.8
Mo	0.988	0.686	0.837	2.47	0.405	0.445	0.29	0.127	5.451	0.465	0.088	2.08	2
Ag	1.62	1.17	2.29	0.68	0.418	0.941	0.707	0.417	1.44	0.658	0.652	1.04	0.459
Cd	1.56	0.717	1.17	0.36	0.923	0.81	0.357	0.381	2.55	0.771	1.23	0.585	0.399
In	0.371	0.435	0.434	0.1	0.168	0.348	0.16	0.117	0.361	0.136	0.121	0.192	0.21
Sn	19.1	18.8	30.5	8.29	7.09	16.2	9.04	5.7	20.9	5.97	7.72	12.03	6.47
Sb	1.17	1.22	2.2	0.59	0.589	1.22	0.843	0.467	7.69	0.727	0.866	8.96	2.4
Cs	4.4	3.44	2.9	1.34	8.89	1.39	1.39	17.8	0.136	2.57	3.66	0.355	1.9
Ba	467	670	1010	35.11	705	71.5	50.6	741	38	155	525	102	133
La	7.01	4.32	10	2	244	7.38	7.71	185	18	103	17.6	4.14	29
Ce	13.9	26.7	43.5	7.9	358	12.3	23.3	162	38.1	229	31.9	10	54
Pr	1.47	1.58	3.08	0.55	36.2	1.04	2.48	40.4	3.13	17.1	6.62	0.983	5.35
Nd	5.75	7.83	14.4	2.18	96.9	3.47	9.91	176	11.8	43.2	30.7	4.3	20.9
Sm	2.05	3.21	5.78	1.08	16.9	1.02	2.8	47.4	3.28	6.41	7.42	1.89	4.17
Eu	0.865	1.78	2.063	0.38	6.367	0.385	0.785	14.323	0.972	1.719	1.298	0.808	1.154
Gd	3.6	5.38	9.31	2	15.99	1.68	3.22	64.77	4.03	7.06	6.89	2.8	4.41
Tb	0.898	1.04	1.9	0.44	2.01	0.377	0.696	12	0.845	0.996	1.39	0.591	0.798
Dy	7.08	6.76	12.8	2.87	8.87	2.74	4.57	73.9	5.38	4.91	8.61	3.89	4.7
Ho	1.69	1.53	2.84	0.62	1.52	0.579	0.959	14.8	1.2	0.953	1.83	0.871	0.99
Er	5.71	4.57	9.05	1.79	4.34	1.89	2.83	38.6	3.71	2.85	6.05	2.67	2.85
Tm	0.936	0.772	1.49	0.25	0.558	0.317	0.43	4.44	0.562	0.394	0.958	0.422	0.415
Yb	7.06	5.26	10.6	1.61	3.5	2.2	3.02	23.1	3.67	2.55	6.83	3.06	2.52
Lu	1.08	0.774	1.59	0.22	0.48	0.287	0.419	3.17	0.552	0.337	0.998	0.453	0.354
Hf	41	29.2	55	14.71	10.2	23.4	18.2	6.35	29.9	14.5	12.6	25.8	14.4
Ta	9.77	6.96	14.2	3.59	2.8	5.28	4.29	2.4	7.83	3.54	3.9	3.845	1.79
W	11.2	14.1	15.3	9.63	4.98	12.8	5.86	3.74	7.63	10.3	4.83	8.08	7.57
Tl	0.258	0.29	0.412	0.09	0.473	0.0746	0.0812	1.01	0.219	0.181	0.715	0.365	0.389
Pb	23	10.9	18.8	22.31	59	21.3	7.07	22.2	63.9	16.7	12.1	74.58	30.69
Bi	1.29	1.54	0.825	0.29	0.79	2.11	0.541	0.657	2.13	0.998	0.462	1.42	0.909
Th	91.9	136	126	27.39	31.9	36.4	35.5	48.9	44.7	34.6	34.8	36.1	62.6
U	13.4	15.9	22.3	11.56	8.44	18.3	10.1	5.32	19.5	12.4	7.05	18.8	8.41

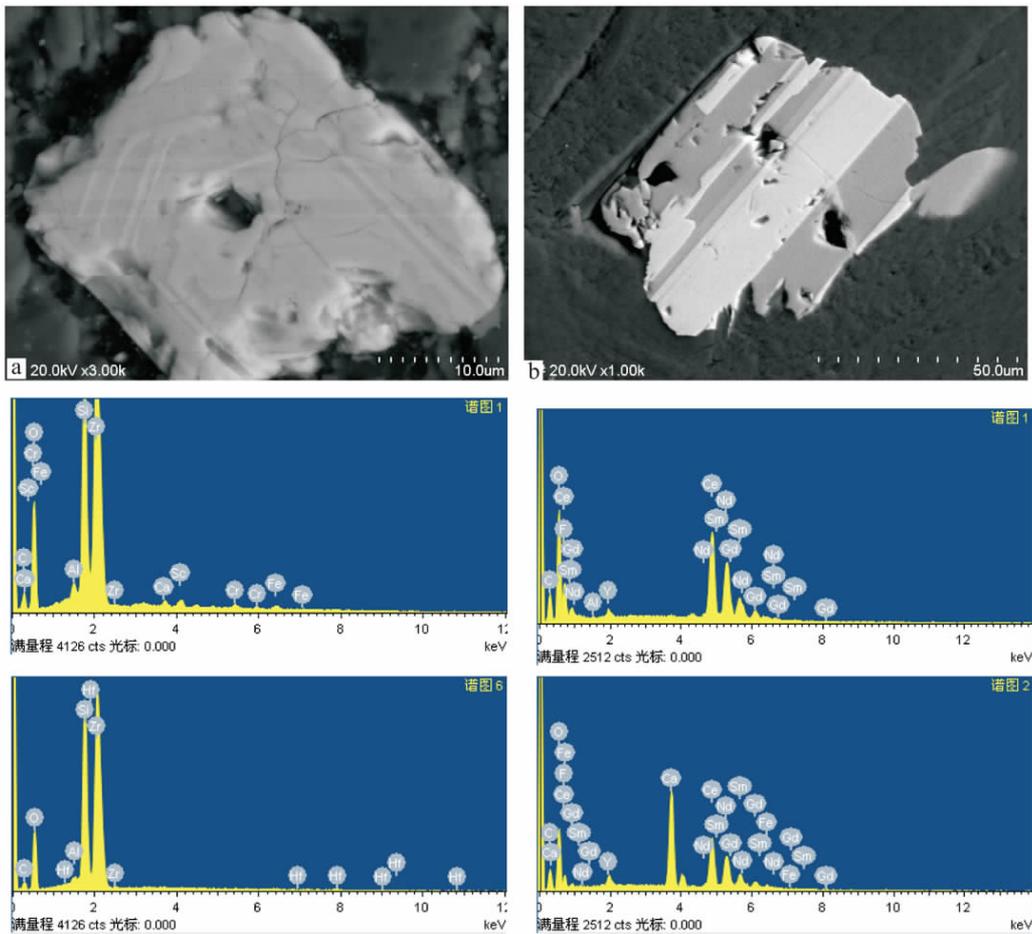


图7 铝土矿中锆石和稀土矿物背散射图像及能谱图

(a) 锆石; (b) 氟碳铈矿(浅色)和氟碳钙铈矿(深色)

Fig.7 Backscattered SEM microphotographs and X-ray energy dispersive spectra for zircon and rare-earth minerals in bauxite ores

(a) Zircon; (b) Bastnaesite (light) and parisite (dark)

了一水软铝石,结果造成了  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{SiO}_2$  的显示出负相关性<sup>[21]</sup>,同时,风化作用使  $\text{SiO}_2$  流失,也可使  $\text{Al}_2\text{O}_3$  相对富集。

主量元素三角图常用来进行铝土矿的分类、红土化程度的确定以及矿物分解变化趋势的判断<sup>[20-22]</sup>。在图9中,样品主要落在了粘土质铁质铝土矿范围,部分落在了铝土矿范围;在图10中,样品落在了弱到中等强度的红土化范围中。铝土矿化过程中矿物分解途径,显示铝土矿化是由于强去铁作用的结果(图11)。

#### 4.2 微量元素

总体表现为富集  $\Sigma\text{REE}$ 、Zr、Hf、Th、U(图12)和 Sc、Ga、Li 的元素。相关性分析显示,  $\text{TiO}_2$  与高场强元素 HFSE( Zr、Hf、Nb、Ta 等) 呈显极高的正相关关系( $R^2 = 0.851 \sim 0.957$ )。反映了这些元素具有相似的地球化学行为,可能暗示这些元素主要赋存于金红石中,在铝土矿化过程中相对稳定。

#### 4.3 稀土元素

样品中稀土元素分布极不均匀,  $\Sigma\text{REE}$  最低为  $23.89 \times 10^{-6}$ , 最高为  $859.90 \times 10^{-6}$ 。表现为 LREE 富集,其  $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$  为 1.1 ~ 20.3, 具弱 Eu 负异常到正 Eu 异常。 $\delta\text{Ce}$  总体表现为正异常(图13),这与本区铝土岩中含铈稀土矿物相一致。与下伏的黄龙组灰岩和志留系页岩相比,页岩重矿物分异相对较强,铝土矿重稀土分异相对较弱而与灰岩较相似。

### 5 讨论

#### 5.1 铝土矿可能的母岩源区

主量元素和微量元素地球化学已成为研究铝土矿的形成,诸如母岩源区、铝土矿化过程中的成岩作用、后生作用、母岩矿物改变等方面不可缺少的工具<sup>[3,22,25]</sup>。Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Cr 和 Ni 被认为是在风化过程中不活动元素<sup>[26-29]</sup>,被广泛用来示踪铝

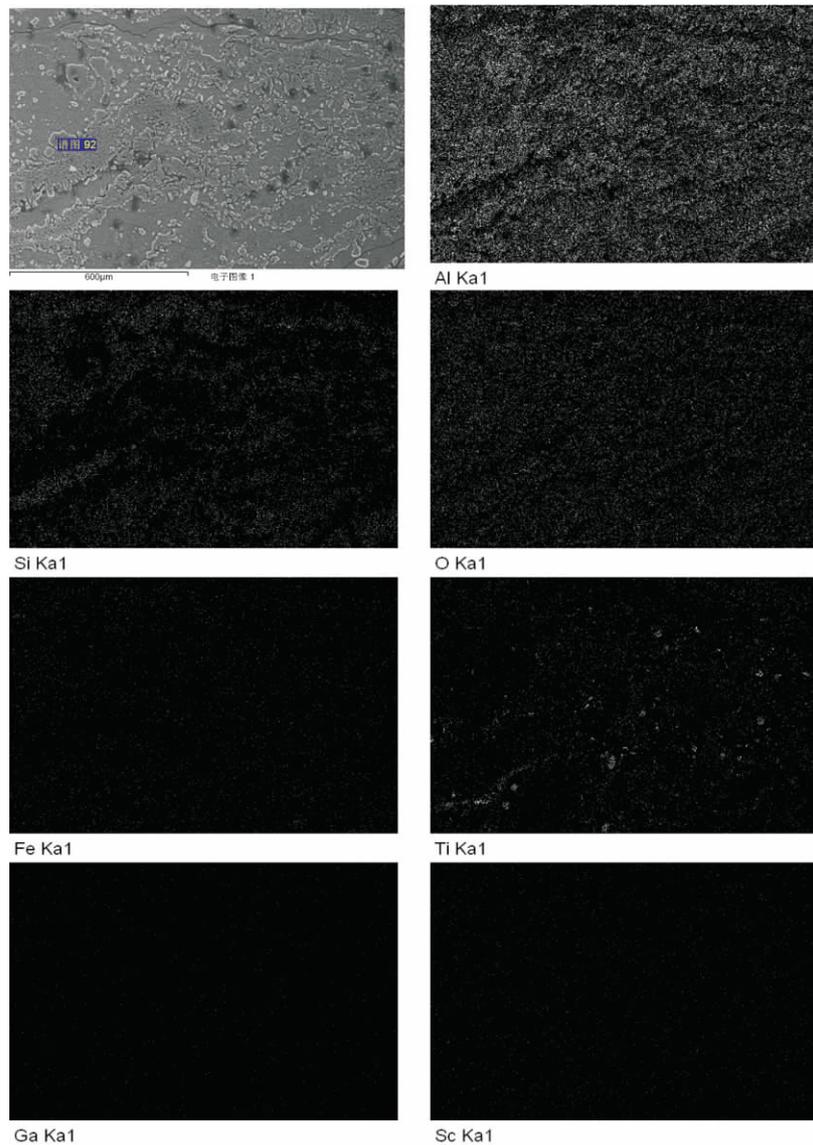


图8 铝土矿中 Al, Si, O, Fe, Ti, Ga, Sc 元素分布图

Fig. 8 Backscattered electron images showing the distribution of the elements Al, Si, O, Fe, Ti, Ga and Sc in bauxite

土矿的母岩源区<sup>[4,25,30,31]</sup>。

在 LogNi-LogCr 图中(图 14),本区多数样品集中于红土型铝土矿和喀斯特型铝土矿之间;在 Ga-Zr-Cr 三角图中(图 15),样品主要落在了粘土岩区,部分落在了粘土岩与酸性岩之间。此外,铝土矿中不活动元素与它的母岩有相似的比值<sup>[32]</sup>,也被用来确定母岩的源区<sup>[4]</sup>。在 Zr-Hf 和 Ni-Ta 图中,含矿岩系下伏页岩和灰岩都位于铝土矿样品构成的风化线上(图 16)。表明页岩和灰岩都可能是铝土矿的母岩。综上所述,本区铝土矿的母岩主要为页岩,灰岩和酸性岩浆岩也对铝土矿有一定的贡献。

## 5.2 主要矿物的形成

微量元素的含量和比值可以区分不同时代的铝土矿的矿物组成<sup>[34]</sup>。在 Mordberg 图解中(图

17),本区铝土矿落入了三水铝石,暗示原生的三水铝石在压实过程中失水转变成一水铝石<sup>[34,35]</sup>。一水硬铝石被认为是在还原的沉积/成岩环境下形成<sup>[36]</sup>。少量的一水硬铝石呈自形-半自形分布在基质中,是在成岩后生阶段由溶解的一水硬铝石重结晶形成<sup>[37]</sup>。

高岭石是铝土矿中常见的一种粘土矿物。它的成因可以是残余的、同生的或后生<sup>[38]</sup>。研究表明<sup>[36,38,39]</sup>,后生作用过程中的高岭土化是一个复杂的过程,不仅包括了复硅作用(resilification),还包括了二氧化硅的交代作用和 Al 的迁移。本区铝土矿中高岭石与一水铝石同时存在,暗示高岭石是由于溶解的二氧化硅原位代替了一水铝石中的铝<sup>[38]</sup>。

赤铁矿和鲕绿泥石在基质中不能同时沉淀<sup>[36]</sup>。

鲕绿泥石主要在还原环境中形成,而赤铁矿则在地表环境下形成。

黄铁矿是铝土矿中很常见的一种矿物<sup>[37]</sup>。微生物对沉积岩中黄铁矿形成起了重要作用<sup>[40]</sup>。黄铁矿的形成是因为有机物质和氧化物/氢氧化物的作用而形成<sup>[33, 34]</sup>,硫可以通过分解不完全的有机物质<sup>[41]</sup>、细菌还原硫酸盐<sup>[42]</sup>或者在海侵过程中通过海边孔隙水引入<sup>[33, 43]</sup>富集。 $\delta^{34}\text{S}$  值变化范围很大,  $-14.8\text{‰} \sim +3.9\text{‰}$ (本项目未刊资料),而黔北务正道地区铝土矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值变化范围更大<sup>[12]</sup>,表明至少在局部地区海水硫酸盐的细菌还原活动已经存在<sup>[44]</sup>,同时也暗示当时处于一种缺氧的环境<sup>[45]</sup>。

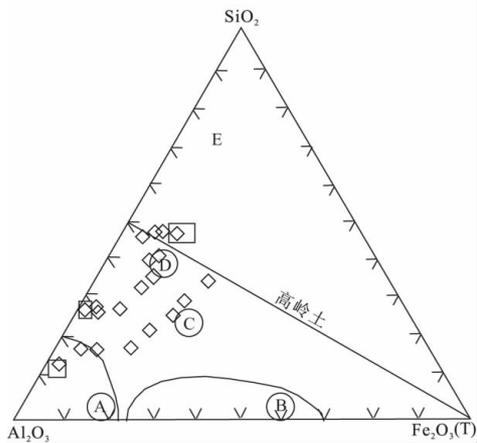


图9 铝土矿  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$  三角分类图<sup>[20]</sup>

A: 铝土矿; B: 铁质铝土矿; C: 粘土质铁质铝土矿; D: 分化的页岩; E: 页岩

Fig. 9  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$  diagram for the classification of the bauxite (after Boulange et al., 1996)

A. Bauxite; B. Ferruginous bauxite; C. Clayey-ferruginous bauxite; D. Weathering shale; E. Shale

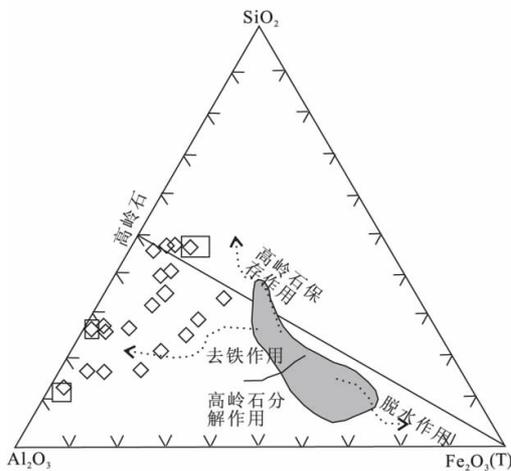


图10 铝土矿  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$  红土化程度图<sup>[21]</sup>

Fig. 10  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$  diagram showing the degree of lateritization (after Schellman, 1986)

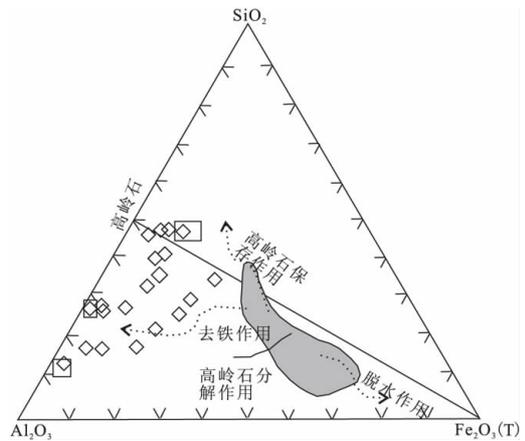


图11 铝土矿化过程中矿物分解途径图<sup>[22]</sup>

Fig. 11 Geochemical paths of dismantlement indicating various trends followed during the process of bauxitization (after Meshram et al., 2011)

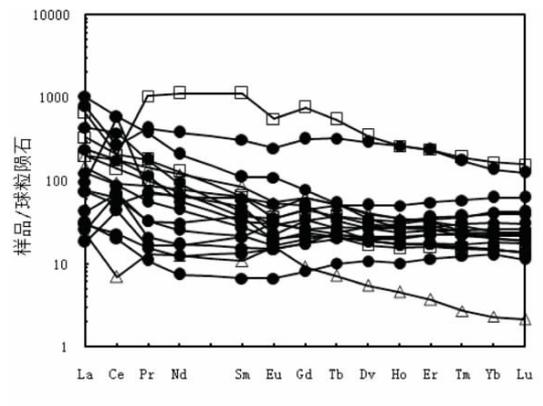


图12 铝土矿、页岩、灰岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图<sup>[23]</sup>

Fig. 12 Chondrite-normalized REE distribution patterns of bauxite, shale and carbonate rocks (McDonough, 1984)

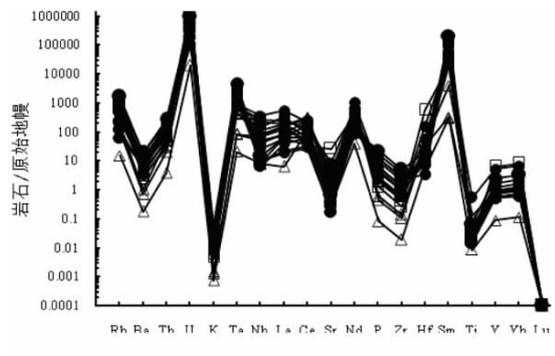


图13 铝土矿、页岩、灰岩微量元素原始地幔标准化蛛网图<sup>[24]</sup>

Fig. 13 Primitive mantle-normalized trace element spidergram for bauxite, shale and carbonate rocks (after McDonough et al., 1992)<sup>[24]</sup>

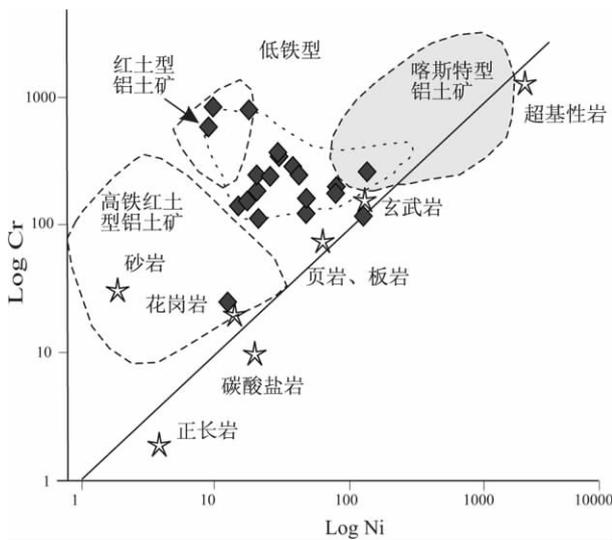
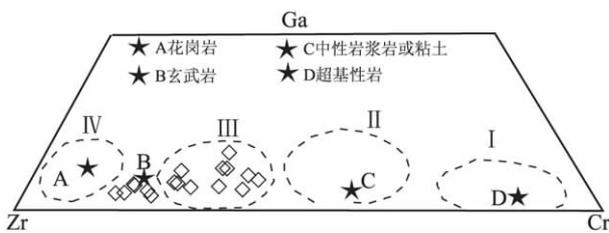
图 14 铝土矿 Cr-Ni 源区判别图<sup>[33]</sup>

Fig. 14 Binary correlation diagram of Cr/Ni in karst and lateritic bauxites in different parent rocks various precursor rocks (after Schroll et al., 1968)<sup>[33]</sup>

图 15 铝土矿源区 Ga、Zr、Cr 判别图<sup>[4]</sup>

I: 超基性岩; II: 基性岩; III: 中性岩或粘土岩; IV: 酸性岩

Fig. 15 Ternary plot for the concentration of Ga, Zr and Cr in samples of Mediterranean karst bauxites and Arkansas lateritic bauxite deposits (after Calagari et al., 2007)

A, B, C and D stand for the concentration values of Zr, Cr and Ga in Ultrabasic, basic, intermediate, and acidic igneous rocks, respectively. The numbers I, II III and IV represent the area of influence of ultramafic, mafic, intermediate, and acidic precursor rocks, respectively

### 5.3 铝土矿的形成环境

研究表明<sup>[35]</sup>, 在地表环境沉淀三水铝石, pH 值应该在 4.5~6.5 之间, 溶解在水中的二氧化硅量应小于  $10^{-4.5}$ 。鲕绿泥石在还原环境、低压条件下形成 (如果 pH 值在 7~8, Eh 值高于 -0.2; 如果 pH 值在 8~9, Eh 值高于 0)。赤铁矿和针铁矿沉淀, 要求 pH 值高于 7, Eh 值高于 0.2。黄铁矿沉淀, Eh 则要保持低于 -0.3 以下。锐钛矿的出现指示了铝土矿形成于还原环境和低的 pH 环境<sup>[45]</sup>。Özlü 等<sup>[46]</sup> 认为矿物组合中包含同生成矿作用的一水硬铝石, 暗示可能是在碱性还原环境。黄铁矿与赤铁矿同时出

现, 反映了在成岩过程中氧化还原环境波动交替<sup>[42]</sup>。

铝土矿沉积(成矿)环境的地球化学特征可以用渗流(在高地势)和潜流(在低地势)来表示<sup>[30, 36, 46-49]</sup>。渗流的特征是在基质和鲕粒中有相当的氧化矿物, 伴随三水铝石和一水软铝石的最初的含铁矿物主要为赤铁矿和针铁矿。相反, 潜流形成的铝土矿基质有含较少的氧化矿物, 贫三价铁, 伴随一水硬铝石和一水软铝石的主要含铁矿物有针铁矿、菱铁矿和黄铁矿, 有或没有绿泥石(鲕绿泥石)。

上述提到的矿物形成条件可以用来推测本区铝土矿的形成环境。根据本区铝土矿的矿物组合及岩石结构, 认为本区铝土矿沉积/成岩环境既不是完全的渗流也不是完全的潜流, 可能是位于二者的转换部位, 更靠近潜流的环境<sup>[31]</sup>。

### 5.4 铝土矿的形成过程

研究表明<sup>[1, 2, 36, 50-52]</sup>, 铝土矿主要形成在炎热、潮湿的赤道附近。在早石炭纪黔北-渝南位于北纬  $8.2^\circ$  的赤道附近<sup>[15]</sup>, 炎热潮湿的气候为铝土矿的形成提供了必要的条件。晚石炭世晚期, 广西运动使早古生代地层隆起并暴露地表<sup>[18]</sup>, 经长期的红土化形成了铝土矿的成矿母质。中二叠世黔北-渝南与整个华南一起经历了一次大的海侵<sup>[18]</sup>, 海水从东、西、北 3 个方向入侵。渝南-黔北地区处于潮坪-泻湖环境<sup>[17]</sup>, 先期风化的物质被地表径流体搬运, 带到低洼的地方沉积下来。这个时期主要形成的矿物是三水铝石、鲕绿泥石、黄铁矿、针铁矿以及鲕粒结构的铝土矿。经过压实等成岩作用, 三水铝石转变为一水铝石。后期的构造运动把铝土矿层抬升到地表浅部, 在地下水的作用下铝土矿进一步富集。

## 6 总结

(1) 重庆南川-武隆铝土矿主要矿物包括一水硬铝石、高岭石、绿泥石; 次要矿物包括伊利石、一水软铝石、三水铝石、鲕绿泥石、菱铁矿、赤铁矿、针铁矿、黄铁矿; 微量矿物有锐钛矿、榍石、金红石、绿帘石、石英、锆石、方解石、长石及稀土矿物等。矿石组构特征与矿物组合暗示, 铝土矿形成于渗流和潜流转换的环境。矿石结构构造和锆石形态学指示形成铝土矿的成矿物质经过了短距离的搬运。

(2) 地球化学分析表明, 铝土矿石主要化学成分是  $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $TFeO$  和  $TiO_2$ 。REE、Zr、Hf、Nb、Ta、Th、U、Sc 和 Ga 在铝土矿化过程中明显富集。根

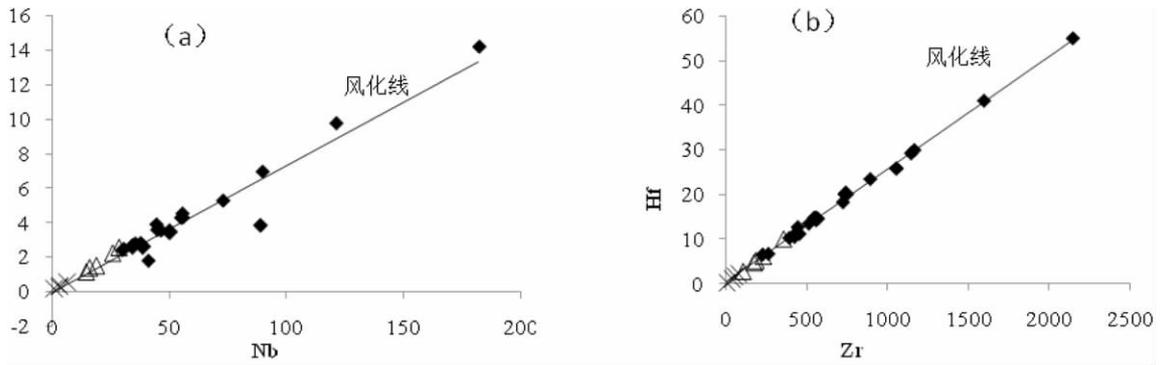


图 16 铝土矿、页岩和灰岩的 Nb and Ta(a) 和 Zr and Hf(b) 相关图

Fig. 16 Diagrams displaying a positive correlation between Nb and Ta (a) and Zr and Hf (b) for bauxite, shale and carbonate rock samples

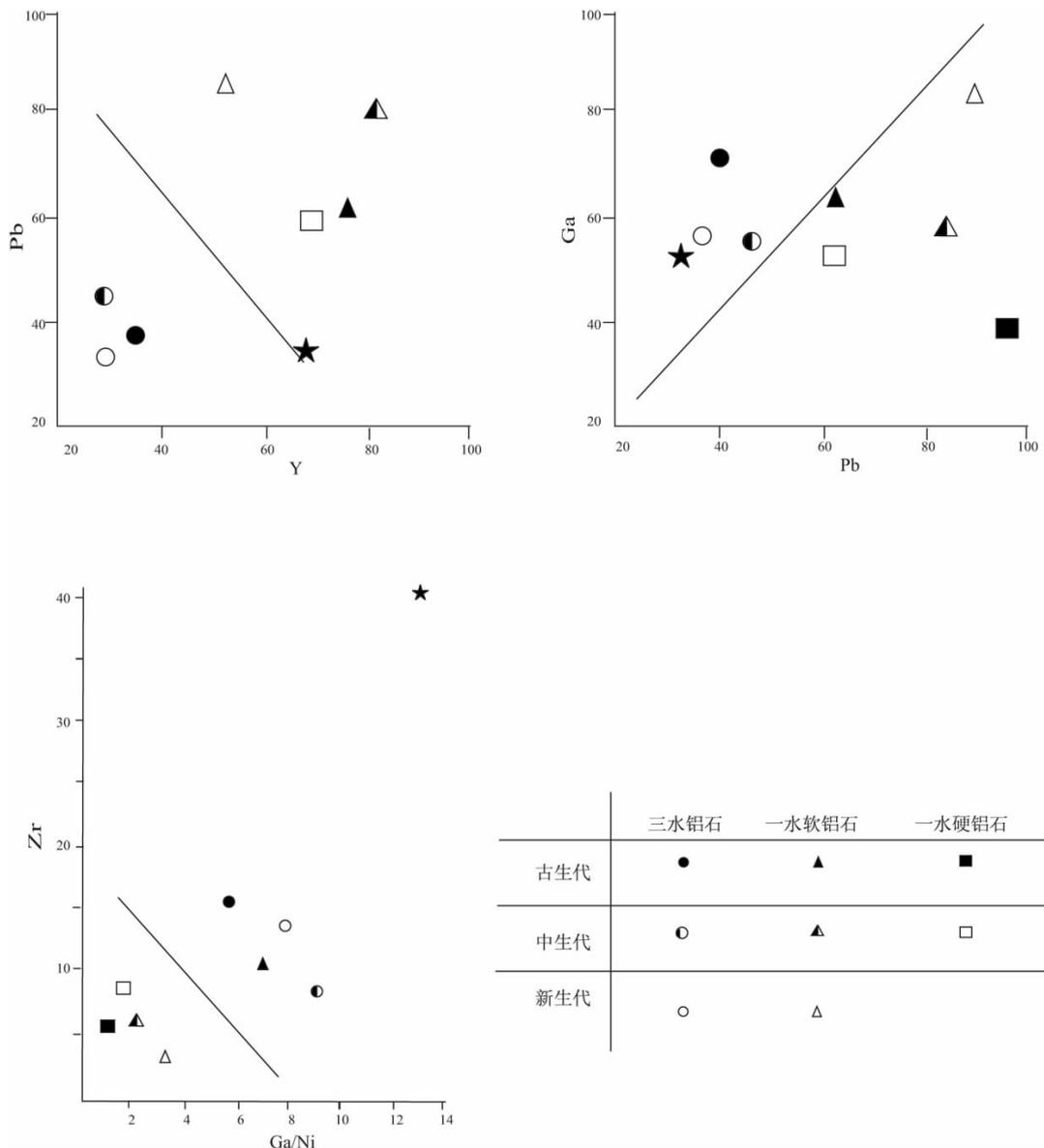


图 17 不同时代形成的铝土矿的微量元素比值图

星号代表本区铝土矿样品

Fig. 17 Plots showing the trace element ratios in bauxites of different ages and mineral forms of Al (after Mordberg, 1993)

据地球化学特征,铝土矿的成矿母岩可能主要来源于伏页岩,碳酸盐岩和酸性火山岩对铝土矿的形成也有一定的贡献。

野外工作得到了重庆地调院及重庆市 107 地质队的帮助,在此表示感谢。

#### 参考文献:

- [1] DENG J, WANG Q F, YANG S J, LIU F, ZHANG Q Z, YANG L Q, YANG Y H. Genetic relationship between the Emeishan plume and the bauxite deposits in Western Guangxi, China: Constraints from U-Pb and Lu-Hf isotopes of the detrital zircons in bauxite ores [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, 37 ( 5 - 6 ) : 412 - 424.
- [2] BOGATYREV B, ZHUKOV V, TSEKHOVSKY Y. Formation conditions and regularities of the distribution of large and superlarge bauxite deposits [J]. *Lithology and Mineral Resources*, 2009, 44 ( 2 ) : 135 - 151.
- [3] DARIUSH ESMAEILI HR B, KANANIAN AE A A. Petrography and geochemistry of the Jajarm karst bauxite ore deposit, NE Iran: Implications for source rock material and ore genesis [J]. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 2010: 267 - 284.
- [4] CALAGARI A A, ABEDINI A. Geochemical investigations on Permo-Triassic bauxite horizon at Kanisheeteh, east of Bukan, West-Azarbaidjan, Iran [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2007, 94(1-3) : 1 - 18.
- [5] EVANS A M. *Ore Geology and Industrial Minerals - An Introduction* [M]. London: Blackwell, 1993. 389.
- [6] WANG Q, DENG J, LIU X F, ZHANG Q, SU S L, JIANG C Z, ZHOU F. Discovery of the REE minerals and its geological significance in the Quyang bauxite deposit, West Guangxi, China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, 39(6) : 701 - 712.
- [7] 张玉学, 何其光, 邵树勋, 张书英. 铝土矿钪的地球化学特征 [J]. *地质地球化学*, 1999, 27(2) : 55 - 62.
- [8] 张玉学. 分散元素钪的矿床类型与研究前景 [J]. *地质地球化学*, 1997, 4: 93 - 97.
- [9] 张邦安. 从钨、锡、铀、钽、铝、锆等矿物原料中提取钪 [J]. *湿法冶金*, 1989, 3: 38 - 41.
- [10] 张启明, 江新胜, 秦建华, 崔晓庄, 刘才泽. 黔北-渝南地区中二叠世早期梁山组的岩相古地理特征和铝土矿成矿效应 [J]. *地质通报*, 2012, 31(4) : 259 - 268.
- [11] 陈阳, 尹福光, 李军敏, 李再会, 贾德龙, 廖朝贵. 南川铝土矿沉积相特征 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2012, 32(1) : 106 - 112.
- [12] 鲁方康, 黄智龙, 金中国, 周家喜, 丁伟, 谷静. 黔北务正-道地区铝土矿镓含量特征与赋存状态初探 [J]. *矿物学报*, 2009, 29(3) : 373 - 377.
- [13] 武国辉, 金中国, 鲍森, 毛佐林. 黔北务正道铝土矿成矿规律探讨 [J]. *地质与勘探*, 2008, 44(6) : 31 - 35.
- [14] 金中国, 武国辉, 黄智龙, 鲍森, 周家喜. 贵州务川瓦厂坪铝土矿床地球化学特征 [J]. *矿物学报*, 2009, 29: 458 - 462.
- [15] 刘平. 黔中-川南石炭纪铝土矿的地层及成矿时代 [J]. *中国区域地质*, 1992, 4: 376 - 384.
- [16] 刘平. 黔中-川南石炭纪铝土矿的地球化学特征 [J]. *中国区域地质*, 1995, 18(2) : 210 - 217.
- [17] 丁俊, 廖朝贵, 闫武, 等. 重庆市大佛岩、吴家坪、申基坪铝土矿区铝土矿伴生元素钪、锂、镓综合评价地质报告 ( R ) . 成都地质矿产研究所, 2011.
- [18] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- [19] MAMELI P, OGGIANO G, ENRICO G DI. Geological, geochemical and mineralogical features of some bauxite deposits from Nurra ( Western Sardinia, Italy ) : insights on conditions of formation and parental affinity [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2007, 96(5) : 887 - 902.
- [20] BOULANGE, BOUZAT, POULIQUEN M. Mineralogical and geochemical characteristics of two bauxitic profiles, Fria, Guinea Republic [J]. *Mineralium Deposita*, 1996, 31(5) : 432 - 438.
- [21] SCHELLMAN W. A new definition of laterite [A]. Banerji P K. *Lateritisation Processes* [C]. Geological Survey of India Memoir, 1986, 120(1-2) : 11 - 17.
- [22] MESHRAM R R, RANDIVE K R. Geochemical study of laterites of the Jamnagar district, Gujarat, India: Implications on parent rock, mineralogy and tectonics [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 42(6) : 1271 - 1287.
- [23] BCDONOUGH W V. *Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies* [A] Henderson P. *Rare earth element geochemistry* [C]. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 1984. 63 - 114.
- [24] MCDONOUGH W F, SUN S, RINGWOOD A E et al. K, Rb and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle [J]. *Geochim et Cosmochim Acta*, 1992, 56: 1001 - 1012.
- [25] MACLEAN W H, BONAVIA F F, SANNA G. Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo Deposit, Sardinia [J]. *Mineralium Deposita*, 1997, 32(6) : 607 - 616.
- [26] MACLEAN W H, KRANIDIOTIS P. Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration; Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec [J]. *Economic Geology*, 1987, 82(4) : 951 - 962.
- [27] MACLEAN W H, BARRETT T J. Litho-geochemical techniques using immobile elements [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1993, 48(2) : 109 - 133.
- [28] PANAH I, YOUNG G M, RAINBIRD R H. Behavior of major and trace elements ( including REE ) during Paleoproterozoic pedogenesis and diagenetic alteration of an Archean granite near Ville Marie, Québec, Canada [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, 64(13) : 2199 - 2220.
- [29] KURTZ A C, DERRY A, CHADWICK O A, ALFANO, M J. Refractory element mobility in volcanic soils [J]. *Geology*, 2000, 28(8) : 683 - 686.
- [30] ZARASVANDI A, CARRANZA E J, ELLAHI S S. Geological, geochemical, and mineralogical characteristics of the Mandan and Deh-now bauxite deposits, Zagros Fold Belt, Iran [J]. *Ore Geology Reviews*, 2012, 48: 125 - 138.
- [31] LIU X F, WANG Q F, DENG J, ZHANG Q Z, SUN S L, MENG J

- Y. Mineralogical and geochemical investigations of the Dajia Salento-type bauxite deposits, western Guangxi, China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2010, 105(3): 137 – 152.
- [32] VALETON I, BIERMANN M, RECHE R, ROSENBER F. Genesis of nickel laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous, and their relation to ultrabasic parent rocks [J]. *Ore Geology Reviews*, 1987, 2(4): 359 – 404.
- [33] SCHROLL E, SAUER D. Beitrag zur Geochemie von Titan, Chrom, Nickel, Cobalt, Vanadium und Molibdan in Bauxitischen Gesteinen und problem der stofflichen herkunft des Aluminiums [J]. *Travaux de ICSOBA*, 1968 5: 83 – 96.
- [34] MORDBERG. Patterns of distribution and behaviour of trace elements in bauxites [J]. *Chemical Geology*, 1993, 107(3 – 4): 241 – 244.
- [35] TEMUR S, KANSUN G. Geology and petrography of the Masatdagi diasporic bauxites, Alanya, Antalya, Turkey [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006, 27(4): 512 – 522.
- [36] D'ARGENIO B, MINDSZENTY A. Bauxites and related paleokarst: tectonic and climatic event markers at regional unconformities [J]. *Eclogae geologica Helvetiae*, 1995, 88(3): 453 – 499.
- [37] KALAITZIDIS S, SIAVALAS G, SKARPELIS N, ARAUJO C V, CHRISTANIS K. Late Cretaceous coal overlying karstic bauxite deposits in the Parnassus-Ghiona Unit, Central Greece: Coal characteristics and depositional environment [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2010, 81(4): 211 – 226.
- [38] DANGIC A, MENG J. Kaolinization of bauxite: a study in the Vlasenice bauxite area, Yugoslavia. I. Alteration of matrix [J]. *Clays and Clay Minerals*, 1985, 33(6): 517 – 524.
- [39] DANGIC A. Kaolinization of bauxite: a study of the Vlasenice bauxite area, Yugoslavia. II. Alteration of oolites [J]. *Clays and Clay Minerals*, 1988, 36(5): 439 – 447.
- [40] LASKOU M, ECONOMOU E M. The role of microorganisms on the mineralogical and geochemical characteristics of the Parnassos-Ghiona bauxite deposits, Greece [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2007, 93(2): 67 – 77.
- [41] ALTSCHULER Z S, SCHNEPFE M M, SILBER C C, SIMON F O. Sulfur diagenesis in Everglades peat and origin of pyrite in coal [J]. *Science* 1983, 221: 221 – 227.
- [42] OZTURK H, HEIN J R, HANILCI N. Genesis of the Do? ankuzu and Morta? Bauxite Deposits, Taurides, Turkey: Separation of Al, Fe, and Mn and Implications for Passive Margin Metallogeny [J]. *Economic Geology*, 2002 97(5): 1063 – 1077.
- [43] JUDIT G H. Iron-rich encrustation on the footwall of the Gúnt bauxite ( Vértes Hills, Hungary) –evidence for preservation of organic matter under exceptional conditions [J]? *Sedimentary Geology*, 1994, 94(1 – 2): 73 – 83.
- [44] 侯可军, 李延河, 万德芳. 鞍山-本溪地区条带状硅铁建造的硫同位素非质量分馏对太古代大气氧水平和硫循环的制约 [J]. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2007, 37(8): 997 – 1003.
- [45] OZLU N. Trace-element content of “Karst Bauxites” and their parent rocks in the mediterranean belt [J]. *Mineralium Deposita*, 1983, 18(3): 469 – 476.
- [46] OZLU N. New facts on diasporic genesis in the Akseki-Seydisehir bauxite deposit ( Western Taures, Turkey) [J]. *Travaux Du ICSOBA*, 1985, 14 – 15: 53 – 62.
- [47] KOMLOSSY G. Paleogeographic implications of karst bauxite genesi [J]. *The International Committee for study of Bauxite, Alumina & Aluminium, Travaux*, 1985, 19: 15 – 22.
- [48] MINDSZENTY A, D'ARGENIO B, BOGNAR L. Cretaceous bauxites of Austria and Hungary: lithology and paleotectonic implications [J]. *The International Committee for study of Bauxite, Alumina & Aluminium, Travaux*, 1986, 16: 13 – 39.
- [49] BARDOSSY G. Karst bauxites, bauxite deposits on carbonate rock [J]. *Developments in Economic Geology*, 1982, 14: 1 – 441.
- [50] HORBE A M C, ANAND R R. Bauxite on igneous rocks from Amazonia and Southwestern of Australia: Implication for weathering process [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2011, 111(1 – 2) ( 1 – 12).
- [51] ANAND R R, PAINE M. Regolith geology of the Yilgard Craton, Western Australia: implication for exploration [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2002, 49: 3 – 162.
- [52] TORSTEN S. Lateritic bauxite in central Germany and implications for Miocene palaeoclimate [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1997, 129(1 – 2): 37 – 50.

## Mineralogical and geochemical characteristics of the Nanchuan–Wulong bauxite deposit in Chongqing

LI Zai-hui<sup>1</sup>, YAN Wu<sup>2</sup>, LIAO Chao-gui<sup>1</sup>, LU Tao<sup>1</sup>, YANG Bo<sup>1</sup>, LI Jun-min<sup>1</sup>, CHEN Li<sup>1</sup>, CHEN Yang<sup>1</sup>

(1. *Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China*; 2. *Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China*)

**Abstract:** The Nanchuan–Wulong bauxite deposit in Chongqing are ascribed to the karst bauxite deposit hosted in southern Chongqing–northern Guizhou bauxite belt. The mineralogical analysis on the basis of microscopic examination, X-ray power diffraction patterns, MAL and SEM-EDS has revealed that diaspore, kaolinite and chlorite are the major minerals in the bauxite ores with the minor minerals such as illite, boehmite, gibbsite, chamosite, siderite, hematite, goethite, pyrite, anatase, rutile, apatite, quartz zircon, calcite, feldspar and small amounts of rare-earth minerals. The ore fabrics and mineral assemblages indicate that the Nanchuan–Wulong bauxite deposit were formed in the depositional-diagenetic environments close to the phreatic zone. Both the ore textures and morphology of zircon grains also indicate that much of bauxitic soils were once transported in a short distance. Geochemically, the major chemical compositions in the bauxite ores consist of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TFeO}$ ,  $\text{SiO}_2$  and  $\text{TiO}_2$ . The elements REE, Zr, Hf, Nb, Ta, Th, Sc, Li and Ga are enriched as well in the bauxitization processes. The underlying shale, carbonate rocks and acidic volcanic rocks are believed to contribute the mother materials to the formation of the bauxite deposits. In addition, the formation of the bauxite deposits may have something to do with microorganisms.

**Key words:** bauxite; mineralogy, geochemistry; parent rock; Nanchuan–Wulong zone in Chongqing