

黔北务川瓦厂坪铝土矿床元素迁移规律研究

金中国¹, 向贤礼¹, 黄智龙², 刘玲¹

(1. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局, 贵州贵阳 550005;

2. 中国科学院地球化学研究所, 贵州贵阳 550001)

[摘要] 黔北务正道地区铝土矿床属古风化壳沉积型, 成矿母岩具多源性, 但主要来源于下覆的中下志留统韩家店组。本文依据 Grant 提出的质量平衡方程和图解法, 对瓦厂坪矿床在成矿过程中元素迁移的富集、贫化(亏损)规律进行了定量研究。结果表明, 主要成矿母岩韩家店组砂、页岩→中间产物铝土质页岩、粘土岩是主要元素 Al_2O_3 、 TiO_2 显著富集, 而 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 CaO 和 K_2O 明显亏损的过程, 也是铝质富集的重要阶段; 铝土质页岩→致密块状铝土矿形成时, 主要元素 Fe_2O_3 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 K_2O 明显富集, Al_2O_3 弱富集, SiO_2 、 Na_2O 亏损; 次生作用使铝土矿石中 Al_2O_3 、 TiO_2 、 MgO 进一步富集; 微量元素在铝土矿形成过程中总体表现出惰性元素逐步富集, 活泼元素逐渐亏损, 反映风化、迁移、再富集成矿的特点。

[关键词] 元素迁移规律 地球化学 铝土矿 瓦厂坪 贵州务川

[中图分类号] P595 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2011)06-957-10

Jin Zhong-guo, Xiang Xian-li, Huang Zhi-long, Liu-Ling. Regularities of elements migration in the Wachangping bauxite deposit in Wuchuan County, Northern Guizhou Province[J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47(6): 957-966.

0 引言

黔中和黔北地区铝土矿成因类型主要属于古风化壳沉积型(廖士范, 1986, 1989; 刘长岭, 1987; 刘巽锋等, 1990), 铝土矿成矿物质来源主要来自下伏碳酸盐岩或碎屑岩地层, 这些地层在古隆起的地质历史时期经历了数千万至数亿年的风化剥蚀和准平原化过程, 形成富含 Al、Ti、Si 等较惰性元素的风化壳, 后经不同距离的搬运、迁移, 在适宜的环境沉积分异形成铝土矿。黔北务正道地区铝土矿找矿取得重大突破后, 近年关于铝土矿成矿地质特征、成矿规律、矿床成因及找矿潜力分析的公开文献报道较多(武国辉等, 2006, 2008; 刘平, 2007; 金中国等, 2009), 但对铝土矿成矿过程中元素的迁移富集与贫化机理的定量研究, 本文尚属首次, 国内外相关方面的报道也较少。

众所周知, 铝土矿成矿母岩在铝土矿化过程中必定会伴随质量和体积的变化, 因此, 通过对比研究

新鲜岩石、矿化岩石、矿石的地球化学成分, 从微观角度定性讨论矿化过程中元素的活动规律, 为定量探讨主要成矿元素及伴生元素的迁移富集与贫化(亏损)机理提供科学证据, 同时为研究区域古沉积环境演变及成矿作用提供新的信息。关于铝土矿化作用过程中元素的迁移能力和富集作用, 已有众多学者的报道(Boulange *et al.*, 1990, 1994; Mongelli, 1997; Mordberg, 2001; Meyer, 2002; Laskou, Economou-Eliopoulos, 2007)。元素迁移的各种计算方法也较成熟, 包括: 体积因素方法(Gresens, 1967), 惰性元素方法(Nahon, 1973; Nesbitt, 1979; Markovics, 1979), 质量平衡方程和图解法(Grant, 1986)等。由于质量平衡方程和图解法是综合其他方法的优点发展起来的, 计算方便, 数据及图件能较直观地反映矿化过程中元素质量的变化特征, 因此, 本次利用此方法研究务川瓦厂坪铝土矿主要成矿母岩(韩家店组)→中间产物(铝土质页岩)→铝土矿过程中元素的迁移量及迁移比例。

[收稿日期] 2010-08-01; [修订日期] 2011-05-06; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 中国地质大调查项目(项目编号: [2006] 004-06) 和贵州省公益性、基础性研究项目(项目编号: [2007]-172) 资助。

[第一作者] 金中国(1965年—), 男, 博士, 研究员, 从事地质勘查与研究工作, E-mail: gzkyyzg@sina.com。

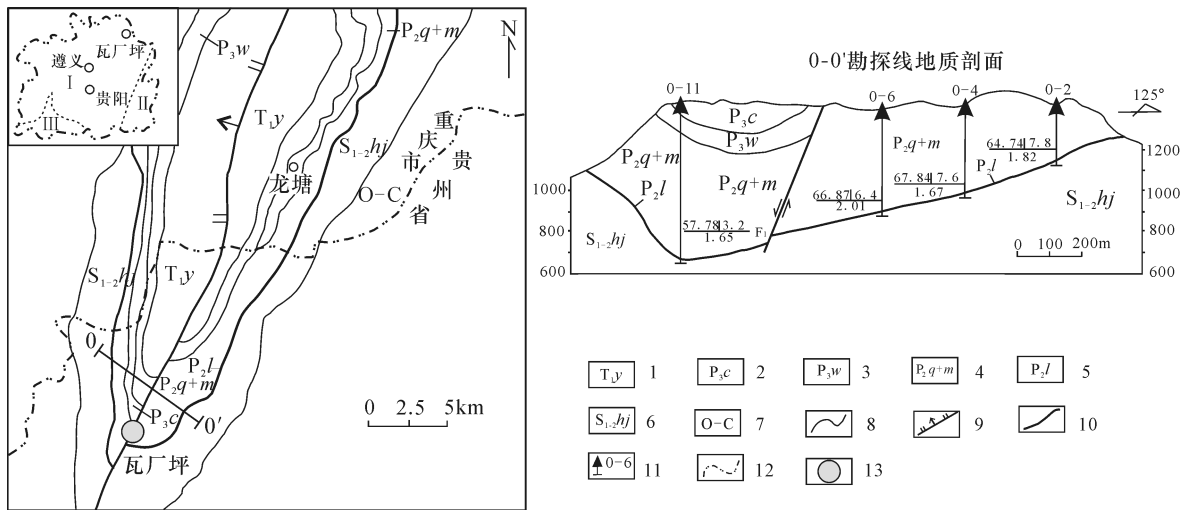


图 1 贵州务川瓦厂坪矿床区域地质及典型剖面图

Fig. 1 Map showing regional geology and typical cross section in the Wachangping ore district in Guizhou Province

1-下三叠统夜郎组;2-上二叠统长兴组;3-上二叠统吴家坪组;4-中二叠统栖霞组和茅口组;5-中二叠统梁山组;6-下、中志留统韩家店组;7-奥陶系、寒武系;8-地质界线;9-断裂;10-铝土矿层;11-钻孔及编号;12-省界;13-瓦厂坪矿床;
 $\frac{64.7417.8}{1.82} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ 含量} \mid \text{铝硅比}}{\text{矿层厚度(m)}}$;

I - 扬子地台; II - 华南褶皱带; III - 右江裂谷带

1-Lower Triassic Yelang Formation;2-Upper Permian Changxing Formation;3-Upper Permian Wujiaping Formation;4-Middle Permian Qixia & Maokou Formations;5-Middle Permian Liangshan Formation;6-Lower-Middle Silurian Hanjiadian Formation;7-Cambrian & Ordovian;
8-geological boundary;9-fracture;10-bauxitic seams;11- boreholes and number;12-the boundary of provinces; 13-Wachangping deposit;

$\frac{64.7417.8}{1.82} = \frac{\text{Content of Al}_2\text{O}_3 \mid \text{Ratio of Al-Si}}{\text{Thickness of theseams (m)}}$; I -Yangtze Platform; II -fold belt of South China; III - Youjiang rift zone

1 区域地质背景

区内广泛出露寒武系、奥陶系、志留系中下统、二叠系和三叠系地层,缺失志留系上统、泥盆系、石炭系下统及上统马平组地层。二叠系中统梁山组、石炭系上统黄龙组与下伏的志留系韩家店组呈假整合接触。梁山组为含矿层位,赋矿围岩主要是炭质页岩、钙质页岩、泥灰岩。区内无火成岩出露。

区域构造处于扬子准地台遵义断拱北北东构造变形区内,主体构造格架呈北北东向展布。断裂构造以逆冲断层为主,多形成于背斜轴部和向斜两翼。褶皱构造发育,常以复式背向斜形式出现,背斜多呈宽缓状,而向斜多为紧密状。区内已发现铝土矿床(点)20 余处,铝土矿床(点)均分布于向斜构造内。近年,已探明铝资源量约 1.5 亿吨,其中务川瓦厂坪铝土矿 4397 万吨^①(图 1)。

2 矿床地球化学特征

- (1) 铝土矿层中总体反映出 Al₂O₃ 与 TiO₂ 含量成正比(表 1),与 SiO₂ 含量成反比;土状、碎屑状铝土矿石 Al₂O₃ 含量和铝硅比均比致密块状、鲕状、豆状矿石高。
- (2) 含矿岩系底板的韩家店组(S₁₋₂hj)紫红色、绿色条带砂页岩中,Al₂O₃ 含量是 P₂l 炭质页岩、泥灰岩的 20 倍以上,是碳酸盐岩的 50 倍以上,表明 S₁₋₂hj 风化残留物可能为该区铝土矿的形成提供丰富的物源。
- (3) 稀土元素含量与矿石质量总体呈正相关关系,LREE/HREE 均大于 1,显示轻稀土较富集;铝土矿层及志留系韩家店组的稀土总量含量较接近。
- (4) Th、U、Ha、Zr、Ta 等元素地球化学特征显示(表 2),成矿物源既有强烈红土化作用产物,也可能有风化作用不彻底或者沉积混杂所致,具多源性,且铝土矿的主要物质来源与下伏基底 S₁₋₂hj 砂页岩关系密切。

表 1 瓦厂坪铝土矿床主元素分析结果(ω_B/%)

Table 1 Analysis results of major elements in the Wachangping bauxite deposit(ω_B/%)

取样位置	件数	分析项目											总计
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	V ₂ O ₅	Na ₂ O	CaO	MgO	MnO	烧失量	
P ₂ q	4	0.25	3.55	0.35	0.03	0.10	0.03	0.21	52.31	1.33	0.04	41.71	99.91
P ₂ l	6	0.92	12.38	1.41	0.04	0.03	0.23	0.26	40.92	5.36	0.45	37.97	99.97
矿层上部	7	45.31	28.72	5.68	1.29	0.05	0.64	0.77	1.17	1.87	0.029	14.32	99.85
矿层中部	7	61.87	14.74	4.22	2.07	0.05	0.13	0.43	0.75	1.39	0.019	14.22	99.89
矿层底部	6	33.84	38.22	11.24	0.82	0.05	1.59	0.79	1.15	1.02	0.08	11.28	100.08
C ₂ h	5	0.54	1.85	2.09	0.03	0.03	0.04	0.21	52.72	1.11	0.60	41.23	100.45
S ₁₋₂ hj	6	17.13	62.44	7.56	0.28	0.06	3.27	0.51	1.87	2.13	0.039	4.70	99.99

注:中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室,2007 年。

表 2 瓦厂坪铝土矿床稳定元素含量及比值(Al₂O₃、TiO₂ω_B/%,其它ω_B/10⁻⁶)

Table 2 Contents and ratios of stable elements in the Wachangping bauxite deposit
(Al₂O₃,TiO ω_B/%,others ω_B/10⁻⁶)

元素/比值	Sr	Ba	Zr	Nb	Th	U	Hf	Ta	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Be
P ₂ l	1172.12	92.43	69.67	9.6	8.77	10.49	1.87	0.73	45.31	1.29	0.93
矿层 18	80.22	113.35	711.45	61.83	70.98	12.05	20.13	5.49	61.87	2.07	6.19
S ₁₋₂ hj	230.17	340.35	181.8	17.65	27.47	3.05	4.96	1.35	17.13	0.28	4.30

元素/比值	Th/U	Al ₂ O ₃ /Zr	Al ₂ O ₃ /Nb	Sr/Ba	Al ₂ O ₃ /Hf	Al ₂ O ₃ /Ta	Al ₂ O ₃ /TiO ₂
P ₂ l	0.84	0.65	4.72	12.68	24.23	62.07	35.12
矿层	5.89	0.09	1.00	0.71	3.07	11.27	29.89
S ₁₋₂ hj	9.01	0.09	0.97	0.71	3.45	12.69	61.17

注:中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室,2007 年。

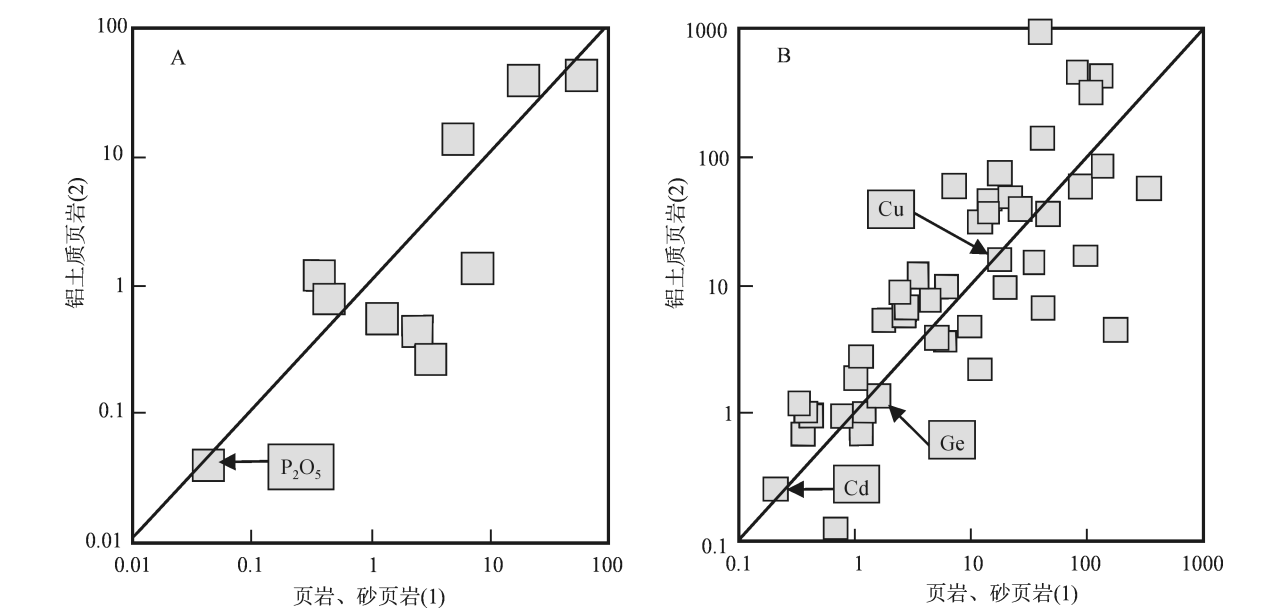


图 2 瓦厂坪铝土矿床主要母岩 (1)→铝土质页岩(2)形成 Grant 图解(图中箭头所指为相对不活动元素,下图相同)
Fig. 2 Grant diagrams showing major host rocks(1)→bauxitic shale(2) in the Wachangping bauxite deposit.
(arrows refer to relatively inactive elements ,the same in the following diagram)

(5) Sr/Ba 及 Be 含量揭示, 铝土矿形成环境可能主要为内陆河湖沼泽环境, 局部为局限海域的滨海前缘。

3 铝土矿成矿过程中元素迁移特征

3.1 方法简介

Grant (1986) 推导的质量平衡方程:

$$C_i^B = (M^A/M^B) \times (C_i^A + \Delta C_i) \quad (1)$$

式中 C_i^A 、 C_i^B 分别为元素 i 在蚀变前后岩石中的浓度, M^A 、 M^B 分别为蚀变前后岩石的质量, ΔC_i 为元素 i 的得失量。对于不活动元素, $\Delta C_i = 0$, (1) 式可变化为:

$$C_i^B = (M^A/M^B) \times C_i^A \quad (2)$$

可见, (2) 式为在 C_i^A - C_i^B 图解上为一条穿过原点(0,0)、斜率为 M^A/M^B 的直线, 即等位线。通过该图解可确定岩石蚀变(或矿化)过程中的不活动元素, 同时计算出斜率 $K = C_i^B/C_i^A$ (一种不活动元素) 或 $K = \sum C_i^B \times C_i^A / (\sum C_i^A)^2$ (两种或两种以上不活动元素, 最小二乘法拟合结果), 将 K 代入(1)式, 得岩石蚀变过程中元素得失量计算公式:

$$\Delta C_i = C_i^B/K - C_i^A \quad (3)$$

3.2 计算过程

从相关数据分析得知(金中国, 2009), 矿区内韩家店组岩石的地球化学成分相对稳定, 而铝土质页岩和铝土矿的地球化学成分均具有较宽的变化范围, 因而选用同一钻孔的样品进行元素活动规律计算更具代表性。本次研究样品采自 ZK7-4 钻孔, 其中 1 号样品为韩家店组页岩, 代表成矿母岩; 2 号样为梁山组中的铝土质页岩, 代表成矿中间产物; 3、4、5 号样分别为致密块状、鲕状、碎屑状或土状铝土矿(样品代号下同), 其 Al_2O_3 含量及 Al_2O_3/SiO_2 比值逐渐升高(表 3), 代表铝土矿化的富集过程。

Grant 图解表明, 从韩家店组页岩→铝土质页岩, 相对不活动的为 P_2O_5 、Cd、Cu 和 Ge(图 2A、B), 计算的斜率为 0.907; 从铝土质页岩→致密块状铝土矿, 相对不活动为 LOI(挥发分)、In、As、Sr、Dy 和 Ho 等(图 3A、B), 计算的斜率为 1.034; 从致密块状铝土矿→土状、碎屑状铝土矿, 相对不活动的为 MnO、 Fe_2O_3 、LOI、Cr、Sb、Hf 和 Ga(图 4A、B), 计算的斜率为 1.022。将每个过程中的斜率代入公式(3), 计算出元素的迁移量及迁移比(元素迁移量与元素在原岩中的含量之比)。

3.3 计算结果

3.3.1 成矿母岩→铝土质页岩

代表成矿母岩韩家店组→中间产物铝土质页岩, 即铝土质页岩形成过程。该过程中主要元素 Al_2O_3 、 TiO_2 、 Na_2O 和 LOI 明显富集(迁移量为正值), 迁移比例分别为 255.32%、112%、183.97% 和 91.14%, 该阶段是铝质富集的重要阶段, 而 SiO_2 、 Fe_2O_3 、MgO、CaO 和 K_2O 亏损(迁移量为负值)(表 3、图 5-A), 表明铝质富集过程中的脱铁及 MgO、CaO 和 K_2O 流失作用; 微量元素 Li、Sc、V、Cr、Ni、Ag、In、Sn、Ga、As、Zr、Nb、Hf、Ta、Pb、Bi、Th 和 U 等均明显富集, 尤以 Li、Pb、Cr 最为显著, 迁移比例均大于 500%, 而 Co、Cs、Ba、Zn、Rb、Sr、W 和 Tl 等相对亏损(表 3、图 6-A); 轻稀土元素(LREE)(La→Gd)相对亏损; 而重稀土元素(HREE)(Tb→Lu)明显富集, 表明本区铝土质页岩形成过程中 LREE 和 HREE 具有不同的活动规律。

3.3.2 铝土质页岩→致密块状铝土矿

该过程代表块状铝土矿形成过程, 该过程中主要元素 Fe_2O_3 、MnO、MgO、CaO、 K_2O 明显富集, 迁移比例均大于 100%, Al_2O_3 弱富集, 而 SiO_2 、 Na_2O 为亏损元素(表 3、图 5-B); 微量元素均明显富集, 尤以 Ag、Nb、Sn、Mo、Hf、Ta、Th、U 显著, 迁移比例均大于 100%, 而 Be、Sc、Co、Ni、Cu、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Pb 和 Er 等相对亏损(表 3、图 6-B)。

3.3.3 致密块状铝土矿→土状、碎屑状铝土矿

代表致密块状铝土矿→半土状、碎屑状铝土矿, 即土-半土状、碎屑状铝土矿形成过程。该过程中主要元素仅 Al_2O_3 、 TiO_2 、MgO 进一步富集, 其余为不同程度的亏损(表 3、图 5-c), 微量元素中 Be、Sc、V、Cr、Ag、Sn、Ba、Ge、As、Sr、Y、Nb、Mo、REE、Hf、Ta、Tl、Bi、Th 和 U 等均呈不同程度富集, 以 Co、Cd、Ge、Mo、La、Ce、Pr 最显著, 而 Li、Cs、Ba、Zn、Zr 为亏损元素(图 6-c)。稀土元素中轻稀土元素富集程度相对高, 而重稀土元素富集程度低, 表明铝土矿进一步富化过程中, 轻、重稀土元素具有差异性活动特征。

据研究(MacLean 等, 1997), 在风化过程中, Y 通常被视为较稳定的不迁移元素, 但在黔北瓦厂坪研究区它具有明显的迁移富集特征, 推测 Y 应在勃姆石和水铝石中富集, 因为这两种矿物具有较强的吸附能力。

表 3 瓦厂坪铝土矿形成过程中质量平衡计算

Table 3 Calculations of the mass balance in the process of Wachangping bauxite mineralization

样品号	1	2	3	4	1→2 (铝土质页岩形成)		2→3 (块状铝土矿形成)		3→4 (土状铝土矿形成)	
名称	韩家店组	铝土质页岩	块状铝土矿	土状铝土矿	迁移量	迁移比	迁移量	迁移比	迁移量	迁移比
SiO ₂	59.02	43.44	27.07	10.79	-11.12	-18.84	-17.25	-39.72	-12.01	-53.20
TiO ₂	0.36	1.16	1.76	2.65	0.92	255.32	0.54	46.78	0.84	48.23
Al ₂ O ₃	19.89	38.39	47.41	65.68	22.44	112.84	7.47	19.47	10.95	20.53
Fe ₂ O ₃	7.80	1.31	4.05	1.80	-6.36	-81.48	2.61	199.08	—	—
MnO	0.042	0.002	0.006	0.004	-0.04	-94.75	0.00	190.22	—	—
MgO	2.48	0.44	3.28	2.41	-1.99	-80.44	2.73	621.15	-1.74	-42.46
CaO	1.25	0.56	1.21	1.41	-0.63	-50.60	0.61	109.03	0.33	31.45
Na ₂ O	0.45	0.78	0.64	0.39	0.41	91.14	-0.16	-20.62	-0.34	-46.98
K ₂ O	3.14	0.26	1.15	0.13	-2.85	-90.87	0.85	327.89	-0.15	-54.55
P ₂ O ₅	0.043	0.038	0.042	0.037	—	—	0.00	6.92	-0.03	-42.51
LOI	5.32	13.70	13.27	14.42	9.79	183.97	—	—	—	—
Li	38.6	911	1785	481	965.85	2502.68	815.97	89.58	-682.20	-59.19
Be	6.22	9.39	8.41	10.8	4.14	66.51	-1.25	-13.36	4.82	83.23
Sc	14.4	45.1	25.1	33.0	35.33	245.10	-20.81	-46.14	8.43	35.27
V	108	320	583	286	243.97	225.09	244.59	76.55	24.83	9.74
Cr	81.2	446	826	294	410.18	505.44	353.96	79.44	—	—
Co	20.1	9.34	2.66	28.8	-9.77	-48.68	-6.77	-72.45	25.52	965.73
Ni	40.5	140	3.84	16.9	113.41	280.25	-135.83	-97.34	8.79	113.97
Ag	0.36	0.69	1.86	1.23	0.40	111.10	1.11	160.60	0.09	8.43
Cd	0.063	0.054	—	0.158	—	—	-0.05	-100.00	0.12	382.67
In	0.074	0.334	0.321	0.211	0.29	400.36	—	—	-0.03	-13.71
Sn	1.74	5.24	25.9	8.08	4.04	232.12	19.81	378.23	0.96	13.75
Sb	1.20	0.99	4.22	1.22	-0.11	-8.94	3.09	311.43	—	—
Cs	11.9	2.19	2.90	0.25	-9.44	-79.62	0.61	27.90	-2.20	-89.97
Ba	347	56.5	220	18.07	-284.62	-82.04	156.68	277.29	-53.70	-75.23
Cu	17.2	15.6	12.5	10.2	—	—	-3.56	-22.81	4.91	95.99
Zn	96.3	16.9	27.9	21.3	-77.59	-80.60	10.07	59.47	-29.06	-58.24
Ga	21.5	47.4	127	76.8	30.72	142.57	75.39	159.06	—	—

地质与勘探									2011 年	
续表										
样品号	1	2	3	4	1→2 (铝土质页岩形成)		2→3 (块状铝土矿形成)		3→4 (土状铝土矿形成)	
Ge	1.57	1.40	1.11	2.99	—	—	−0.32	−23.20	2.14	268.52
As	12.1	30.9	31.3	16.3	21.99	181.89	—	—	3.53	28.40
Rb	171	4.34	25.8	2.63	−165.88	−97.20	20.60	474.56	−2.89	−52.89
Sr	134	83.7	86.9	79.6	−41.21	−30.86	—	—	14.71	23.29
Y	26.2	39.1	55.1	49.6	16.92	64.65	14.20	36.34	17.71	57.42
Zr	127	427	1122	587	344.06	271.31	658.54	154.22	−158.11	−21.59
Nb	14.1	36.8	82.4	62.6	26.51	188.06	42.86	116.36	12.55	25.74
Mo	0.20	0.25	5.10	8.78	0.07	35.12	4.68	1867.05	7.88	1110.02
La	45.6	35.4	1.72	19.5	−6.61	−14.49	−33.72	−95.29	15.83	485.49
Ce	88.0	58.2	5.74	57.4	−23.79	−27.04	−52.68	−90.46	47.10	518.80
Pr	9.70	4.76	0.68	4.62	−4.46	−45.95	−4.09	−86.08	3.61	393.82
Nd	34.8	15.1	3.71	15.8	−18.14	−52.15	−11.50	−76.19	11.47	287.54
Sm	6.03	3.63	2.97	4.87	−2.02	−33.57	−0.76	−20.90	2.89	153.06
Eu	1.16	0.69	1.49	1.35	−0.39	−33.95	0.74	107.16	0.56	72.60
Gd	4.99	3.94	6.06	5.36	−0.65	−13.11	1.93	48.93	1.96	59.76
Tb	0.79	0.95	1.20	1.08	0.26	32.94	0.22	22.69	0.34	47.05
Dy	4.50	7.44	7.78	7.26	3.70	82.25	—	—	2.14	43.10
Ho	1.02	1.89	1.77	1.72	1.06	104.61	—	—	0.58	52.91
Er	2.72	5.74	4.96	4.99	3.60	132.43	−0.94	−16.30	1.61	49.10
Tm	0.40	0.95	0.79	0.73	0.65	161.93	−0.19	−19.64	0.24	51.69
Yb	2.72	6.68	5.38	5.37	4.64	170.20	−1.47	−22.00	1.66	46.22
Lu	0.38	0.99	0.77	0.74	0.72	190.00	−0.25	−25.25	0.19	34.45
Hf	3.38	11.9	25.8	15.1	9.77	289.05	13.07	109.54	—	—
Ta	1.12	2.73	6.08	4.84	1.90	169.76	3.15	115.40	1.05	28.35
W	41.7	6.8	48.9	276	−34.24	−82.11	40.58	599.98	233.34	631.55
Tl	0.680	0.125	0.257	0.099	−0.54	−79.66	0.12	98.24	0.03	53.41
Pb	7.21	57.3	21.8	9.32	55.98	776.66	−36.25	−63.25	3.37	58.62
Bi	0.33	1.19	2.04	1.46	0.98	292.81	0.78	65.64	0.28	24.49
Th	17.5	73.0	151	65.2	63.06	361.07	73.27	100.33	13.36	26.48
U	2.50	8.58	19.8	19.2	6.96	278.35	10.62	123.74	8.78	88.07

注:① 主要元素单位为 wt% ,微量元素单位为(×10^{−6}) ;② 迁移比为元素迁移量与元素在原岩中的含量之比(%) ;③ 原始数据由中科院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室 2007 年 12 月分析。

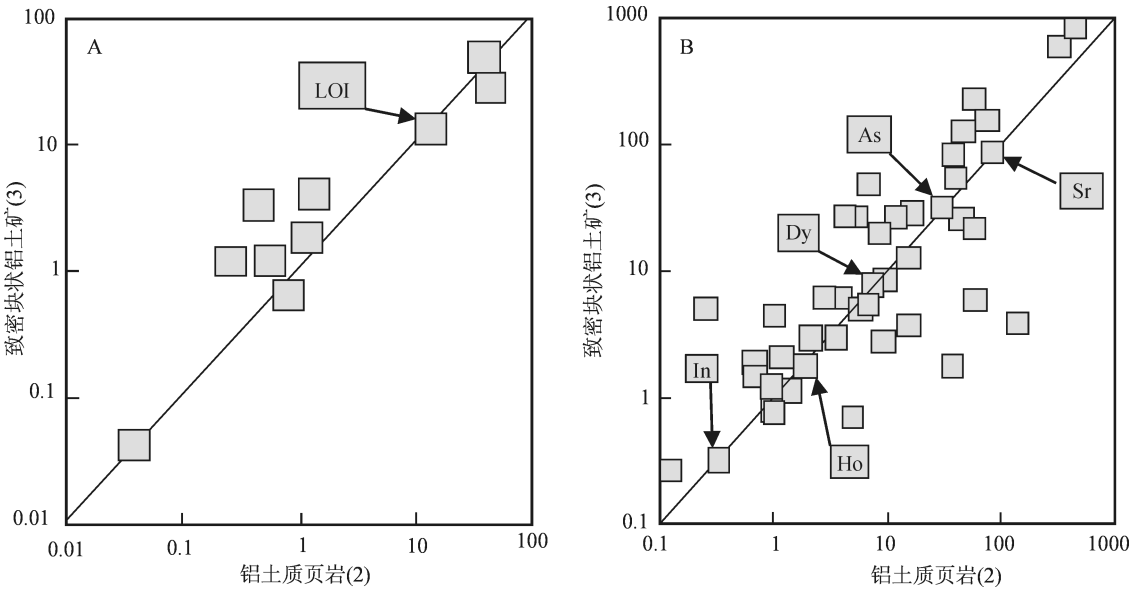


图 3 瓦厂坪铝土矿床铝土质页岩(2)→致密块状铝土矿(3)形成 Grant 图解
Fig. 3 Grant diagrams showing Bauxitic shale (2)→dense,compact masses of bauxite (3) in the Wachangping bauxite deposit

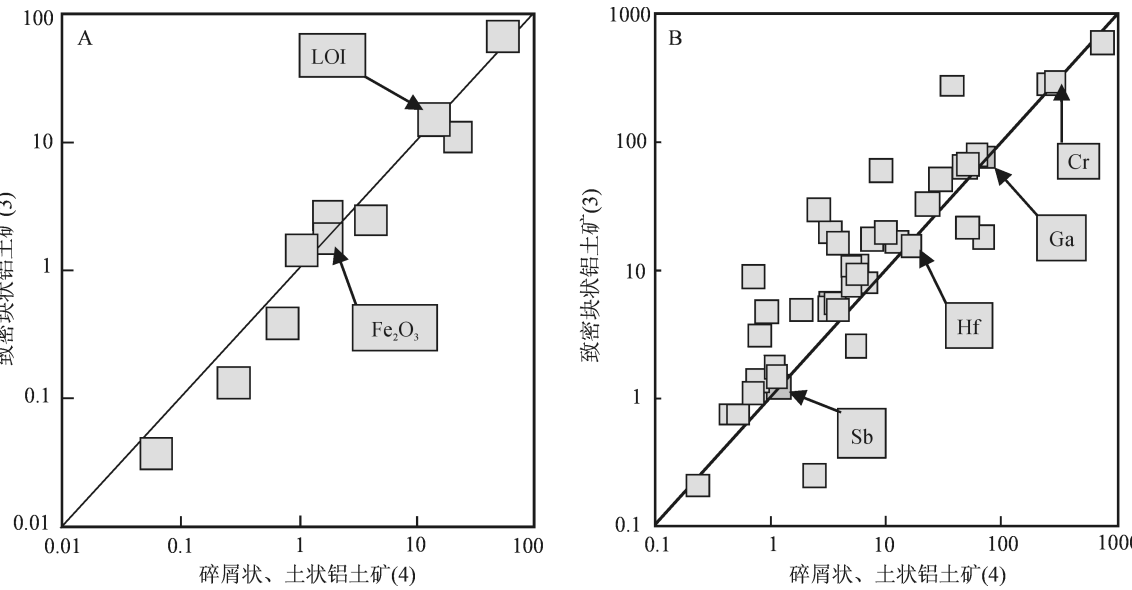


图 4 瓦厂坪铝土矿床致密状、块状铝土矿(3)→土状、碎屑状铝土矿(4)形成 Grant 图解
Fig. 4 Grant diagrams showing dense and compact masses of bauxite(3)→bauxite in earthy and clastic forms(4) in the Wachangping bauxite deposit

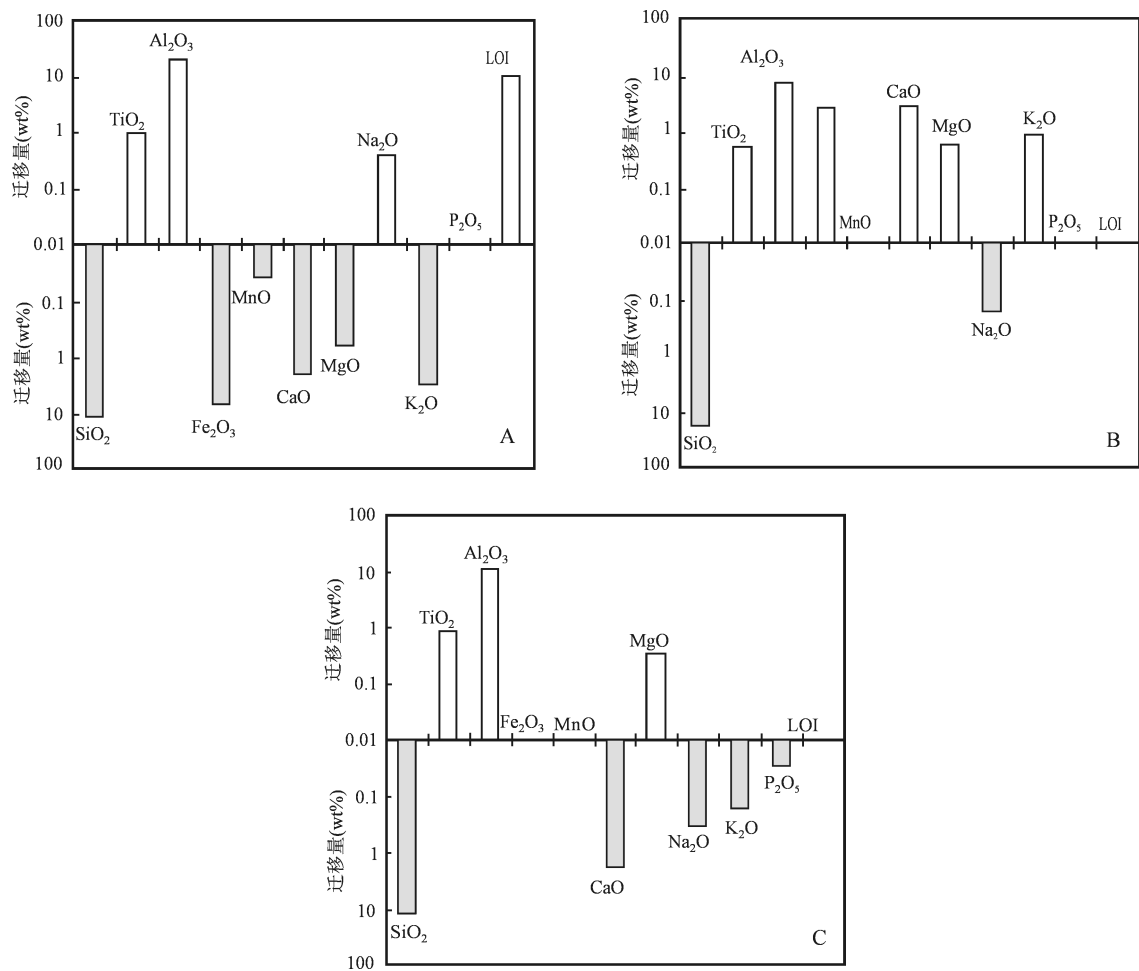


图 5 铝土矿形成过程主要元素质量平衡计算结果

Fig. 5 Calculation results of major elements mass balance during the formation process of bauxite

A-页岩→铝土质页岩;B-铝土质页岩→致密块状铝土矿;C-致密块状铝土矿→土状铝土矿
A-shale→bauxitic shale;B-bauxitic shale→dense, compact masses of bauxite;
C-dense, compact masses of bauxite→bauxite in earthy form

4 结论

(1) 瓦厂坪铝土矿矿床地球化学特征研究表明,成矿母岩较复杂,具多源性,但主要元素和微量元素的富集与韩家店组具有相似性,揭示中下志留统韩家店组是最重要的成矿母岩。

(2) 质量平衡方程和图解法计算结果显示,韩家店组砂、页岩→铝土质页岩、粘土岩过程中,主要元素 Al_2O_3 、 TiO_2 明显富集,迁移比例高,该阶段是铝质富集的重要阶段,而 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 CaO 和 K_2O 亏损,表明铝质富集过程中的脱硅、脱铁及 MgO 、 CaO 和 K_2O 流失作用;该过程还表明,原岩经

风化残积、各种运力作用搬运沉积,大量元素由于地球化学性质、物理特性相近或相似,均与成矿元素 Al 同迁移、同富集。

(3) 韩家店组→铝土质页岩→铝土矿, Al_2O_3 的含量明显增加,且 Al_2O_3 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 与 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 SiO_2 呈负相关关系,与 TiO_2 呈显著的正相关,充分反映出铝土矿成矿过程中, K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 SiO_2 易发生溶解、淋滤流失,而 TiO_2 由于难溶、地球化学性质稳定,与 Al_2O_3 同迁移,同富集。

(4) 铝土矿形成过程中微量元素总体表现出惰性元素逐步富集,活泼元素逐渐亏损,反映出风化、迁移富集成矿特征。

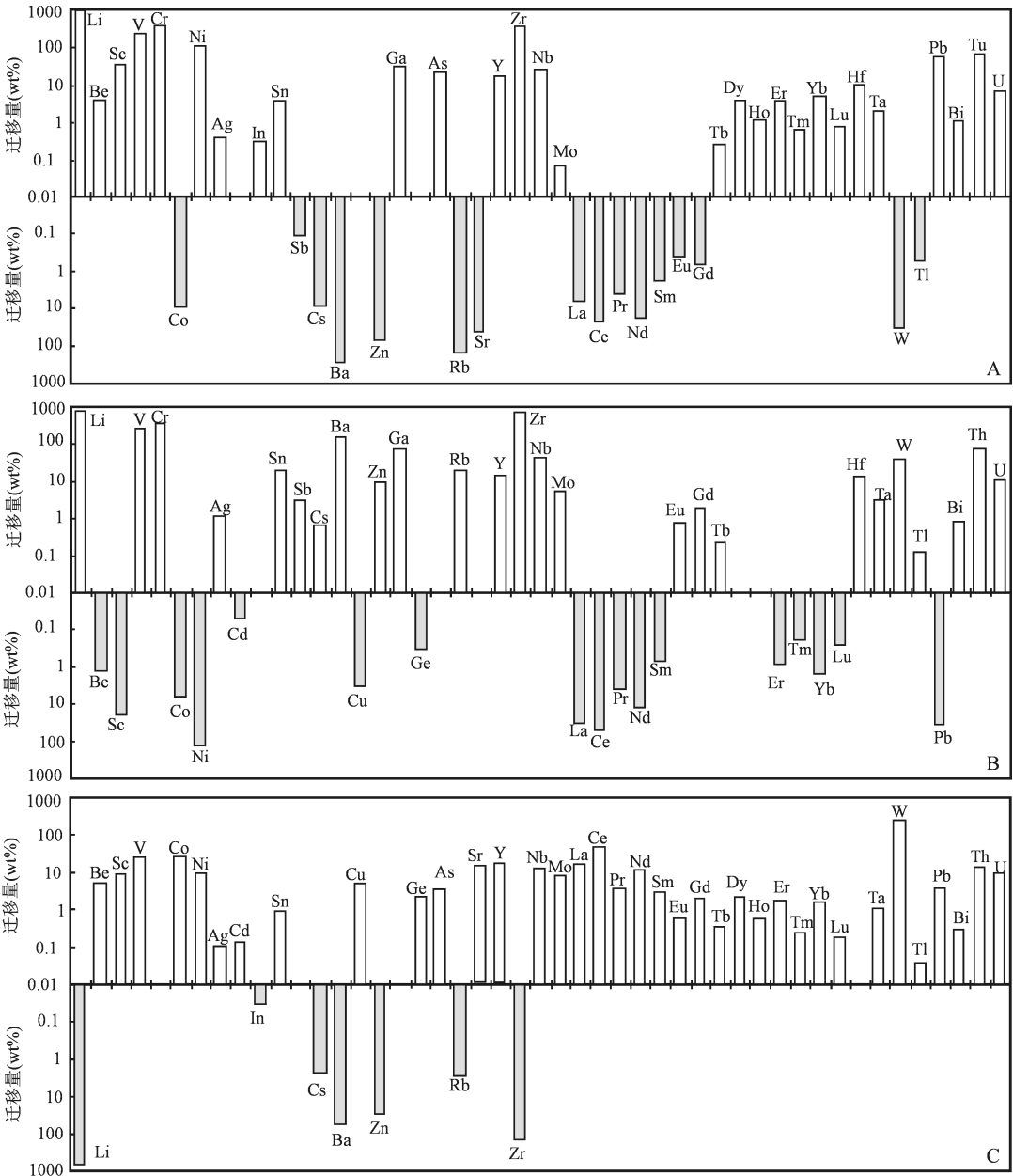


图 6 瓦厂坪铝土矿床铝土矿形成过程微量元素质量平衡计算结果
Fig .6 Calculation results of trace element mass balance during the formation of the Wachangping bauxite deposit

[注释]

① 苏书灿,赵远由. 2007 贵州省务川县瓦厂坪铝土矿区详查报告 [R].

[References]

Boulange B, Muller J B, Sigolo J B. 1990. Behaviour of the rare earth elements in a lateritic bauxite from syenite (Bresil) [J]. Chemical Geology, 84: 350-351
Boulange B, Colin F. 1994. Rare earth element mobility during conversion of nepheline syenite into lateritic bauxite at Passa Quatro, Minas Gerais, Brazil [J]. Applied Geochemistry, 9: 701-711
Grant J A. 1986. The isocon diagram: A simple solution to Gresens's e-

quation for metasomatic alteration [J]. Economic Geology, 81: 1976-1982.
Gresens R L. 1967. Composition - volume relationships of metasomatism [J]. Chemical Geology, 2: 47-65
Jin Zhong-guo, Wu Guo-hui, Zhao Yuan-you, Su Zhi-liang. 2009. Geological characteristics of Wachangping bauxite deposit in Wuchuan, Guizhou Province [J]. Mineral Resources and Geology, 23 (2): 137-141 (in Chinese with English abstract)
Jin Zhong-guo, Wu Guo-hui, Huang Zhi-long, Bao Miao, Zhou Jia-xi. 2009. The geochemical characteristics of Wachangping bauxite deposit in Wuchuan County, Guizhou Province, China [J]. Acta Miner-

- alogica Sinica. ,29(4):458-462(in Chinese with English abstract)
- Laskou M,Economou-Eliopoulos M. 2007. The role of microorganisms on the mineralogical and geochemical characteristics of the Parnassos-Ghiona bauxite deposits, Greece[J]. Journal Of Geochemical Exploration,93:67-77
- Liao Shi-fan. 1986. Genesis and sedimentation process of bauxite in China[J]. Acta Sedimentologica Sinica,4(1):1-7
- Liao Shi-fan. 1989. A research on the paleogeographic and oreforming conditions for early carboniferous paleo-weathered crust bauxite deposits in Guizhou, Sichuan, Hunan and Hubei [J]. Acta Geologica Sinica,63(2):148-157(in Chinese with English abstract)
- Liu Chang-ling. 1987. Genetic types of bauxite in China[J]. Science in China series B), 17(5):535~543(in Chinese with English abstract)
- Liu ping. 2007. Bauxite geology in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, northern Guizhou [J]. Geology and Prospecting,43(5):29-33(in Chinese with English abstract)
- Liu Xun-feng. 1990. Discussions on the genesis for paleokarst lateritic bauxite in northern Guizhou[J]. Acta Geologica Sinica,64(3):238-246(in Chinese with English abstract)
- MacLean W H, Bonavia F F, Sanna G. 1997. Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo Deposit, Sardinia[J]. Mineralium Deposita,32:607-616
- Meyer F M, Happel U, Hausberg J, Wiechowski A. 2002. The geometry and anatomy of the Los Pijiguaos bauxite deposit, Venezuela[J]. Ore Geology Reviews,20:27-54
- Mongelli G. 1997. Ce-anomalies in the textural components of Upper Cretaceous karst bauxites from the Apulian Carbonate platform (southern Italy) [J]. Chemical Geology,140:69-79
- Mordberg L E, Stanley C J, Germann K. 2001. Mineralogy and geochemistry of trace elements in bauxites: the Devonian Schugorsk deposit [J]. Russia Mineralogical Magazine,65:81-101
- Nesbitt H W. 1979. Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite[J]. Nature,279:206-210
- Norton S A. 1973. Laterite and bauxite formation[J]. Economic Geology,68:353-361
- Wu Guo-hui, Liu You-ping, Zhang Ying-wen. 2006. Geological characteristics and Bauxite resources potential in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, northern Guizhou [J]. Geology and Prospecting,42(2):39-43(in Chinese with English abstract)
- Wu Guo-hui, Jin Zhong-guo, Baomiao, Miao Zuo-lin. 2008. Bauxite metallogenetic regularity in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, northern Guizhou [J]. Geology and Prospecting,44(6):31-35(in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 金中国, 武国辉, 赵远由, 苏之良. 2009. 贵州务川瓦厂坪铝土矿床地质特征[J]. 矿产与地质, 23(2):137-141
- 金中国, 武国辉, 黄智龙, 鲍森, 周家喜. 2009. 贵州务川瓦厂坪铝土矿床地球化学特征[J]. 矿物学报, 29(4):458-462
- 廖士范. 1986. 我国铝土矿成因及矿层沉积过程[J]. 沉积学报, 4(1):1-7
- 廖士范. 1989. 黔川湘鄂早石炭世古风化壳铝土矿床的古地理与成矿条件的研究[J]. 地质学报, 63(2):148-157
- 刘长龄. 1987. 中国铝土矿的成因类型[J]. 中国科学(B辑), 17(5):535-543
- 刘平. 2007. 黔北务-正-道地区铝土矿地质概要[J]. 地质与勘探, 43(5):29-33
- 刘翼锋. 1990. 论黔北铝土矿的古喀斯特-红土型成因[J]. 地质学报, 64(3):238-246
- 武国辉, 刘幼平, 张应文. 2006. 黔北务-正-道地区铝土矿地质特征及资源潜力分析[J]. 地质与勘探, 42(2):39-43
- 武国辉, 金中国, 鲍森, 毛佐林. 2008. 黔北务正道铝土矿成矿规律探讨[J]. 地质与勘探, 44(6):31-35

Regularities of Elements Migration in the Wachangping Bauxite Deposit in Wuchuan County, Northern Guizhou Province

JIN Zhong-guo¹, XIANG Xian-li¹, HUANG Zhi-long², LIU Ling¹

- (1. Guizhou Nonferrous Metal and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau, Guiyang, Guizhou 550005;
2. Institute of Geochemistry Chinese Academy Sciences, Guiyang, Guizhou 550002)

Abstract: The bauxite deposits in the Wuchuan-Zhengan-Daozhen area of northern Guizhou Province are of the sedimentary paleo-weathered crust type. The host rocks are mainly from the underlying middle and lower Silurian Hanjiadian Formation and other sources. Based on the mass balance equation and graphic methods proposed by Grant, element enrichment and dilution rules of element migration in the ore-forming process in the Wachangping bauxite deposit were quantitatively investigated. The results show that during the conversion of Hanjiadian Fm. sandstone and shale as host rocks to the intermediate product bauxitic shale, which was an important stage of aluminous enrichment, the bauxite was markedly depleted in SiO₂, Fe₂O₃, MgO, CaO and K₂O, while the major elements of Al₂O₃ and TiO₂ were significantly enriched. In the conversion process of bauxitic shale to dense and compact bauxites, major elements of Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, and K₂O were markedly enriched, while enrichment of Al₂O₃ was weak, and SiO₂ and Na₂O were depleted. The compounds of Al₂O₃, TiO₂, and MgO were enriched furthermore by the effects of secondary action. During the bauxite ore-forming process, inert elements were enriched markedly, while the active elements were reduced gradually. All these reflect the characteristics of weathering, migration and then enrichment and mineralization.

Key words: element migration rule, geochemistry, bauxite, Wangchangping, Wuchuan county in Guizhou Province