www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

# 滇东南丘北县大铁铝土矿稀土元素特征研究

王行军<sup>1)</sup>, 王根厚<sup>1)\*</sup>, 周 洁<sup>1)</sup>, 崔银亮<sup>2)</sup>, 张道红<sup>2)</sup>, 李伟清<sup>3)</sup>, 范良军<sup>3)</sup>

1)中国地质大学北京地球科学与资源学院,北京 100083;
 2)云南省有色地质局,云南昆明 650051;
 3)西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司,云南昆明 650051

摘 要:本文以丘北大铁铝土矿含铝岩系为研究对象,通过 ICP-MS 分析测试,研究了含铝岩系与下伏灰 岩、玄武岩的稀土元素特征。研究结果表明,丘北大铁铝土矿含铝岩系稀土配分模式曲线为向右倾斜的曲线, 与下伏马平组、黄龙组灰岩的稀土配分曲线相似,而与峨眉山组玄武岩的稀土配分曲线相差较大;灰岩具有 较明显的 Ce 负异常和 Eu 负异常,部分铝土矿和铁铝质岩具明显的 Ce 正异常和较明显的 Eu 负异常,而多 数铝土矿、铁铝质岩和铝质粘土岩则无明显的 Ce、Eu 异常。含铝岩系的稀土元素特征,反映出其成矿物质 来源于下伏灰岩而非玄武岩,同时也反映出铝土矿的成矿物质来源于风化壳,成矿物质搬运距离较近,与海 水的水合作用不甚明显。

关键词: 丘北; 大铁; 铝土矿; 稀土元素; 成矿物质 中图分类号: P618.7 文献标志码: A **doi:** 10.3975/cagsb.2013.s1.19

# **REE Characteristics of the Datie Bauxite Deposit in Qiubei County,** Northwest Yunnan Province

WANG Xing-jun<sup>1)</sup>, WANG Gen-hou<sup>1)\*</sup>, ZHOU Jie<sup>1)</sup>, CUI Yin-liang<sup>2)</sup>, ZHANG Dao-hong<sup>2)</sup>, LI Wei-qing<sup>3)</sup>, FAN Liang-jun<sup>3)</sup>

Earth Science and Resource Institute, China University of Geosciences, Beijing 100083;
 Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming, Yunnan 650051;
 Southwest Nonferrous Kunming Exploration Surveying and Designing Institute Inc., Kunming, Yunnan 650051

Abstract: With the aluminum-bearing rock series of the Datie bauxite deposit in Qiubei County as the study object, the authors studied REE characteristics of aluminum-bearing rock series and underlying limestone and basalt by means of ICP-MS analysis. The results show that the REE patterns of aluminum-bearing rock series in the Datie bauxite deposit are right-oblique curves, which are similar to REE pattern curves of the underlying Maping Formation and Huanglong Formation limestone but are quite different from the REE pattern curves of the Emeishan basalt. The limestone has fairly obvious Ce negative anomalies and Eu negative anomalies, some bauxite, ferrallitic rocks have obvious Ce positive anomalies and fairly obvious Eu negative, whereas most bauxite, ferrallitic rocks eries suggest that the ore-forming materials were derived from the underlying limestone instead of from the basalt, that the ore-forming materials of the bauxite were sourced from the weathering crust with small transport distance, and that the mineralization had no evident relationship with the hydration of the sea water.

Key words: Qiubei; Datie; bauxite; REE; metallogenic material

收稿日期: 2013-04-24; 改回日期: 2013-05-07。责任编辑: 闫立娟。

本文由"云南省铝土矿成矿规律与成矿预测研究"项目(编号: 20100610-02)资助。

第一作者简介: 王行军, 男, 1970 年生。博士, 高级工程师。主要从事区域地质矿产调查研究工作, 主要研究方向构造地质学。E-mail: wxj1861@163.com。

<sup>\*</sup>通讯作者: 王根厚, 男, 1963 年生。教授, 博士生导师。主要从事构造地质学的教学、科研工作, 主要研究方向构造地质学。E-mail: wgh@cugb.edu.cn。

丘北大铁矿铝土矿是云南有色地质局在 2008 年发现的铝土矿床,经过数年的地质勘探工作,现 已查明了其规模、产状、含矿岩系、控矿因素(云南 省有色地质局,2009)。前人对该矿床沉积型铝土矿 的含矿岩系、含矿岩系的沉积相、成矿期的岩相古 地理进行较为系统的研究(王训练等,2011),但前人 没有对沉积型铝土矿的地球化学特征进行系统研究, 更没有利用地球化学方法对沉积型铝土矿的成矿物 质来源进行系统研究,对成矿物质来源的研究多限 于定性研究(王训练等,2011;冯晓宏等,2009;蒋秀 坤等,2012)。

本次研究工作,系统采集了含矿岩系各类岩石 及下伏灰岩、玄武岩样品,本文重点对大铁铝土床 沉积型铝土矿的稀土元素特征进行了系统的研究, 对其成矿物质来源进行了探讨。

丘北县大铁铝土矿矿区内出露地层有泥盆系、 石炭系、二叠系、三叠系和第四系。泥盆系、石炭 系为海相碳酸盐岩,岩性以灰岩、含生物碎屑灰岩 为主;晚二叠世龙潭组为本区的主要含矿层位,为 一套海陆交互相沉积,下部由铝土矿、铁铝质岩、 铝质粘土岩以及煤线、硅质岩构成,上部为灰岩、 炭质灰岩、生物碎屑灰岩;晚二叠世峨眉玄武岩以 玄武岩为主,局部夹火山碎屑岩;三叠系以海相碎 屑岩为主,夹海相碳酸盐。矿区内发育老母猪箐— 猪头山复式背斜,呈近东西向展布,延伸约40km。 矿区内断裂构造发育,主要发育北西向、近东西向、 北东向三组断裂构造,其中北西向、近东西向断裂 规模较大(图1)。

矿化带位于老母猪箐—猪头山东西向复式背斜的西北翼,断续延伸约 25 km。矿体呈层状、似层状断续产出,由西向东主要可划分为架木格、古城、大铁和龙戛 4 个矿段(图 1)。目前圈定矿体 20 余条,矿体一般长 500~2000 m,厚 2.7~18.0 m,平均厚 6.4 m(云南省有色地质局, 2009)。矿石 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 39.86%~67.58%,平均值为 53%; SiO<sub>2</sub> 含量 15%~35%,平均值为 20%;Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 15%~20%;铝硅比值为 2.3~8.6,最高达 32.6(云南省有色地质局, 2009)。

矿石呈灰白色、灰色、深灰色、褐灰色。矿石 具致密状结构、碎屑状结构、团粒状结构、豆鲕状 结构和晶粒状结构等。矿石构造以块状构造为主, 条带状构造次之。矿石类型主要为碎屑状铝土矿, 其次为豆鲕状、致密状和半粗糙状铝土矿(云南省有 色地质局, 2009)。 目前,大铁铝土矿床获得铝资源量 5000 万吨, 已达到大型规模。

### 1 稀土元素地球化学特征

本次研究工作共采集了 41 件样品, 其中 28 件 样品的岩性为含铝岩系, 11 件样品岩性为下伏晚石 炭世威宁组灰岩, 其余 2 件样品为下伏中二叠世— 晚二叠世峨眉山组玄武岩。分析测试由河北省区域 地质矿产调查研究所实验室测试完成, 采用美国 ThermorFisher 公司生产的等离子体质谱仪 (ICP-MS)(X Serise 2)完成。分析结果见表 1。

1.1 含铝岩系稀土元素特征

含铝岩性的主要岩性有铝土矿、铁铝质岩、铁 质岩、铝质粘土岩,本次工作对其进行了分别采样。

铝土矿稀土总量总体较高,但差别较大, REE=116.10 × 10<sup>-6</sup>~1869.70×10<sup>-6</sup>, 多数样品的 REE > 500×10<sup>-6</sup>; 轻稀土总量总体高, 但差别较大, LREE=88.75×10<sup>-6</sup>~1379.76×10<sup>-6</sup>; 重稀土总量同样相 差很大, HREE=10.85×10<sup>-6</sup>~190.17×10<sup>-6</sup>; 轻重稀土 分馏程度不等, LREE/HLREE=6.40~22.21, (La/Yb)<sub>N</sub>=4.01~19.35; 轻稀土元素分馏程度较低, (La/Sm)<sub>N</sub>=1.63~3.88; 重稀土元素分馏程度较低, (Gd/Yb)<sub>N</sub>=1.12~3.78; δEu=0.68~0.99, 具中等铕负异 常 - 无铕负异常; δCe=0.56~5.70, 具中等铈负异常 - 强铈正异常, 部分样品具铈负异常, 说明部分铝 土矿成矿物质可能来源于海水之中(王中刚等, 1989; 刘英俊等, 1987)(表 1, 2)。稀土配分曲线按照其斜率 可分为两组,一组斜率较高,但铕负异常不明显(2、 3、4、5、6、8号样品);另外一组则斜率较低,但铕 负异常较明显(1、7、9、10样品)(图 2)。按照铈元素 的特征可以将稀土配分曲线划分为三组, 第一组具铈 负异常(1、5、7样品), 第二组具铈正异常(3、8、9、 10 样品), 第三组无铈异常(2、4、6 号样品)(图 2)。

铁质岩稀土总量较低, REE=128.37 × 10<sup>-6</sup>; 轻稀土总量较低, LREE=75.96×10<sup>-6</sup>; 重稀土总量较低, HREE=15.76×10<sup>-6</sup>; 轻重稀土分馏程度中等, LREE/HREE=4.82, (La/Yb)<sub>N</sub>=4.59; 轻稀土元素分馏 程度中等, (La/Sm)<sub>N</sub>=3.18; 重稀土元素分馏程度较 低, (Gd/Yb)<sub>N</sub>=1.85;  $\delta$ Eu=1.04, 无铕异常;  $\delta$ Ce=2.56, 具铈强正异常, 说明铁质岩形成于氧化条件、沉积 作用不明显(王中刚等, 1989; 刘英俊等, 1987), 也 预示着其可能直接来源于风化壳(表 1、表 2)。稀土 配分曲线为向右缓倾的较为平滑的曲线, 属轻稀土 富集型(王中刚等, 1989; 李昌年, 1992)(图 2)。



图 1 滇东南丘北县大铁矿区地质图(据云南有色地质局, 2009) Fig. 1 Geological map of the Datie bauxite deposit in Qiubei County, northwestern Yunnan Province (after Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, 2009)

铁铝质岩稀土总量差别较大,多数样品稀土总 REE=84.18×10<sup>-6</sup>~1207.94×10<sup>-6</sup>, 多数样 量较高. 品的 REE > 400×10<sup>-6</sup>; 轻稀土总量同样差别较大, LREE=66.61×10<sup>-6</sup>~955.52×10<sup>-6</sup>; 重稀土总量亦差别 较大, HREE=7.39×10<sup>-6</sup>~109.57×10<sup>-6</sup>; 轻重稀土分馏 程度不等, LREE/HREE=2.42~27.22, (La/Yb)<sub>N</sub>= 4.33~45.39; 轻、重稀土元素分馏程度较低,  $(La/Sm)_N = 1.45 \sim 7.42$ ,  $(Gd/Yb)_N = 1.23 \sim 4.89$ ; δEu= 0.66~1.08, 具中等铕负异常-弱铕正异常; δCe=0.75~5.48, 具中等铈负异常-强铈正异常, 多数 样品具铈正异常、说明铁铝质的成矿物质没有经历 充分的沉积作用(王中刚等, 1989; 刘英俊等, 1987), 也预示着其可能直接来源于风化壳(表 1、表 2)。稀 土配分曲线向右缓斜 - 向右中等倾斜的较为平滑曲

线,多数曲线平行分布(图 3)。按照其斜率可分为三 组,一组斜率高(15、16 号样品),第二组斜率中等 (12、13、14、17、18、20 号样品),第三组斜率低(19、 22 号样品)(图 3)。按照铈元素的特征可以将稀土配 分曲线划分为三组,第一组具弱铈负异常(14、15、 16、18 样品),第二组具强铈正异常(12、13、17、 20、21、22 样品),第三组无铈异常(19 号样品)(图 3)。

铝质粘土岩稀土总量总体较高, REE=252.47 ×10<sup>-6</sup>~729.95×10<sup>-6</sup>,多数样品的 REE>400×10<sup>-6</sup>; 轻稀土总量较高,LREE=194.42×10<sup>-6</sup>~611.27×10<sup>-6</sup>; 重稀土总量中等,HREE=24.45×10<sup>-6</sup>~49.50×10<sup>-6</sup>;轻 重稀土分馏程度较高,LREE/HREE=7.25~14.17, (La/Yb)<sub>N</sub>=8.90~21.90;轻稀土元素分馏程度较高,  $(La/Sm)_N=2.11\sim6.10;$  重稀土元素分馏程度较高,  $(Gd/Yb)_N=1.95\sim3.98; \delta Eu=0.72\sim1.37,$  具中等铕负异 常-弱铕正异常,多数样品具铕负异常;  $\delta Ce=0.75\sim1.09,$  具中等铈负异常-弱铈正异常,多数 样品表现为铈弱负异常,说明铝质粘土岩经历了较 明显的沉积作用(王中刚等,1989;刘英俊等, 1987)(表 1、表 2)。稀土配分曲线向右缓斜-向右倾 斜斜率中等的较为平滑曲线,曲线平行分布,大致 可分为两组,两组曲线斜率不同,均属轻稀土富集 型(王中刚等,1989;李昌年,1992)(图 4)。

1.2 下伏灰岩稀土元素特征

灰岩样品主要采自下伏晚早二叠世马平组和晚 石炭世黄龙组(威宁组),岩性主要有砂质灰岩、生屑 灰岩两种类型。

表 1	大铁铅	出矿床	古城矿縣	设各类岩性	稀土元素	<b>{</b> 分析结果	极特	征参数-	−览表	
 	-						-			-

 Table 1
 REE analytical results and characteristic parameters of various kinds of rocks in the Fucheng ore block of the Datie bauxite deposit

序	ᅷᄽᄆ	产地	岩 性	分析结果(×10 <sup>-6</sup> )														
号	作巧			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
1	D29-YQ3	古城	鲕粒铝土矿	269.54	315.53	63.60	261.45	52.32	12.53	48.87	7.25	40.56	7.66	22.49	3.29	19.23	2.91	348.18
2	D29-YQ7	古城	鲕粒铝土矿	89.68	196.67	25.07	116.76	34.56	9.84	24.21	3.28	15.50	2.37	6.45	0.98	6.38	0.92	60.81
3	D31-YQ5	古城	鲕粒铝土矿	34.97	215.88	11.84	48.32	11.76	3.51	11.05	1.98	12.07	2.13	5.96	0.94	5.83	0.83	42.02
4	D31-YQ61	古城	鲕粒铝土矿	61.87	145.32	19.52	87.74	21.24	6.15	17.77	2.46	11.02	1.64	4.16	0.62	3.79	0.54	33.14
5	D31-YQ8	古城	鲕粒铝土矿	126.32	226.17	36.77	142.07	25.70	7.11	19.81	2.68	12.54	1.99	5.18	0.75	4.40	0.60	56.12
6	D31-YQ9	古城	鲕粒铝土矿	123.17	283.82	43.19	163.38	31.10	8.97	23.18	2.79	11.32	1.69	4.80	0.72	4.60	0.67	39.24
7	D41-YQ2	水米冲	鲕粒铝土矿	384.51	518.91	76.94	314.79	68.46	16.15	76.56	10.61	51.73	8.34	20.98	2.89	16.65	2.42	299.78
8	D43-YQ4	水米冲	鲕粒铝土矿	11.53	59.81	2.81	10.84	2.49	0.78	2.69	0.46	2.90	0.56	1.72	0.28	1.94	0.29	17.00
9	D45-YQ2	水米冲	鲕粒铝土矿	19.65	272.16	6.69	28.50	6.45	1.45	5.94	0.78	4.04	0.67	1.71	0.26	1.48	0.21	14.77
10	D68-YQ5	水米冲	鲕粒铝土矿	35.47	346.92	7.66	27.41	5.76	1.17	6.73	1.09	6.95	1.39	4.38	0.75	4.83	0.73	42.02
11	D40-YQ1	水米冲	铁质岩	17.07	33.27	4.19	17.25	3.38	0.80	3.67	0.66	4.42	0.92	2.77	0.43	2.51	0.39	36.65
12	D31-YQ2	古城	铁铝质岩	36.27	160.23	10.29	39.11	6.74	1.75	4.97	0.72	3.84	0.69	2.00	0.34	2.30	0.36	13.95
13	D31-YQ4	古城	铁铝质岩	49.14	157.61	13.78	53.04	9.32	2.58	6.79	0.96	4.85	0.80	2.32	0.36	2.39	0.36	18.30
14	D40-YQ2	水米冲	铁铝质岩	135.45	232.47	32.12	138.29	30.98	8.75	35.19	5.45	30.83	5.69	15.61	2.24	12.72	1.85	241.19
15	D40-YQ3	水米冲	铁铝质岩	265.65	410.13	60.65	192.15	22.52	4.42	14.25	1.95	9.37	1.51	4.41	0.63	3.95	0.54	42.75
16	D40-YQ4	水米冲	铁铝质岩	228.06	394.17	53.85	219.14	43.77	11.77	41.91	6.53	33.40	4.96	11.30	1.33	6.92	0.90	149.94
17	D41-YQ3	水米冲	铁铝质岩	44.96	313.32	9.78	36.23	7.11	1.56	6.93	0.93	4.92	0.88	2.54	0.39	2.40	0.35	26.30
18	D56-YQ2	古城	铁铝质岩	33.71	64.23	8.11	32.70	5.94	2.14	6.03	1.06	6.49	1.19	3.29	0.47	2.65	0.38	29.64
19	D56-YQ3	古城	铁铝质岩	41.24	101.27	14.63	62.28	17.92	6.33	22.51	4.72	31.06	5.86	16.83	2.62	14.81	2.18	127.16
20	D45-YQ3	水米冲	铁铝质岩	43.17	140.60	10.69	39.75	7.31	1.69	5.93	0.89	5.03	0.90	2.74	0.46	2.84	0.42	23.27
21	D68-YQ4	水米冲	铁铝质岩	23.03	274.68	6.08	23.56	4.59	1.00	4.62	0.55	2.94	0.54	1.57	0.24	1.54	0.23	16.62
22	D68-YQ6	水米冲	铁铝质岩	6.82	46.71	1.93	8.28	2.21	0.65	2.16	0.36	2.10	0.38	1.02	0.16	1.06	0.15	10.19
23	D29-YQ2	古城	铝质粘土岩	82.44	146.06	21.20	87.07	17.52	4.71	15.82	2.47	13.62	2.42	6.97	1.02	6.25	0.92	74.93
24	D29-YQ6	古城	铝质粘土岩	83.66	162.54	23.07	96.82	27.28	7.73	18.52	2.69	13.26	2.09	5.65	0.87	5.44	0.76	52.88
25	D31-YQ3	古城	铝质粘土岩	59.54	152.99	18.76	79.43	17.72	4.69	13.20	1.70	7.89	1.21	3.31	0.51	3.28	0.48	25.65
26	D43-YQ2	水米冲	铝质粘土岩	80.92	173.25	23.45	91.00	15.55	4.15	11.48	1.74	9.16	1.64	4.84	0.74	4.75	0.65	47.05
27	D68-YQ3	水米冲	铝质粘土岩	158.66	306.18	29.42	96.87	16.35	3.80	15.32	2.13	11.40	2.07	5.74	0.86	4.89	0.72	75.55
28	D67-YQ2	古城	铝质粘土岩	45.58	73.19	11.61	49.99	10.53	3.52	10.49	1.33	6.05	1.05	2.70	0.37	2.15	0.32	33.60
29	D29-YQ1	古城	生屑灰岩	6.54	8.56	1.25	4.87	0.99	0.24	1.17	0.19	1.27	0.29	0.80	0.12	0.74	0.11	14.16
30	D31-YQ1	古城	灰岩	9.54	15.09	1.76	6.72	1.54	0.40	1.31	0.19	1.08	0.23	0.62	0.08	0.45	0.06	12.56
31	D40-YQ0	水米冲	<b>売晶生屑灰岩</b>	4.84	9.12	1.13	3.85	0.70	0.17	0.95	0.16	1.11	0.23	0.70	0.11	0.64	0.09	11.42
32	D41-YQ1	水米冲	亮晶生屑灰岩	11.50	14.14	1.79	5.39	0.76	0.19	0.92	0.13	0.78	0.16	0.47	0.06	0.37	0.06	9.30
33	D43-YQ1	水米冲	<b>売晶生屑灰岩</b>	8.52	8.72	1.58	6.50	1.46	0.36	2.04	0.37	2.26	0.48	1.44	0.22	1.27	0.21	23.17
34	D45-YQ1	水米冲	<b>売晶生屑灰岩</b>	4.38	8.72	0.92	4.07	1.10	0.28	1.42	0.22	1.25	0.24	0.71	0.10	0.61	0.09	11.53
35	D56-YQ1	古城	生屑灰岩	4.48	7.80	0.85	2.71	0.60	0.18	0.89	0.17	1.25	0.29	0.85	0.13	0.77	0.12	12.81
36	D67-YQ1	古城	王府灰岩 三日4日二····	4.96	6.96	0.95	3.58	0.74	0.21	0.85	0.15	0.96	0.21	0.65	0.10	0.62	0.09	9.42
37	D68-YQ1	水米冲	一 元 品 王 肖 灰 岩	4.25	4.40	0.82	3.49	0.81	0.22	1.04	0.16	1.01	0.20	0.62	0.08	0.50	0.08	10.13
38	D31-YQ7	古城	<b>谷灰</b> 质灰岩	53.77	98.06	12.10	40.75	5.07	0.97	3.92	0.60	3.27	0.58	1.71	0.25	1.53	0.20	17.62
39	D67-YQ7	古城	砂质灰岩	43.21	97.37	11.12	43.96	9.01	2.27	8.17	1.31	7.40	1.33	3.81	0.58	3.51	0.53	34.03
40	D27-YQ5	梁木格	玄武岩	30.44	73.52	9.36	39.97	8.26	3.16	7.39	1.12	6.17	1.11	3.07	0.47	2.82	0.42	30.48
41	D28-YQ2	大黑箐	玄武岩	79.98	103.86	28.05	134.19	34.06	8.89	43.19	8.69	63.40	14.14	41.92	6.29	35.99	5.45	505.05

Datie bauxite denosit

	表 2	大铁铝土矿床古城	矿段各类岩性稀土方	ī素分析结果及特	i征参数一览表	
Table 2	<b>REE</b> analytic	cal results and charac	cteristic parameters of	of various kinds of	rocks in the Fucheng	ore block of the

序														
号件司	样号	产地	石 性	REE	LREE	HREE	LREE/HREE	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	δEu	δCe		
1	D29-YQ3	古城	鲕粒铝土矿	1475.39	974.96	152.25	6.40	9.45	3.24	2.05	0.75	0.56		
2	D29-YQ7	古城	鲕粒铝土矿	593.46	472.58	60.08	7.87	9.48	1.63	3.06	0.99	0.98		
3	D31-YQ5	古城	鲕粒铝土矿	409.09	326.28	40.79	8.00	4.04	1.87	1.53	0.93	2.55		
4	D31-YQ61	古城	鲕粒铝土矿	416.96	341.83	41.99	8.14	11.00	1.83	3.78	0.94	1.00		
5	D31-YQ8	古城	鲕粒铝土矿	668.21	564.13	47.96	11.76	19.35	3.09	3.63	0.93	0.79		
6	D31-YQ9	古城	鲕粒铝土矿	742.62	653.61	49.77	13.13	18.07	2.49	4.07	0.98	0.94		
7	D41-YQ2	水米冲	鲕粒铝土矿	1869.70	1379.76	190.17	7.26	15.57	3.53	3.71	0.68	0.69		
8	D43-YQ4	水米冲	鲕粒铝土矿	116.10	88.25	10.85	8.13	4.01	2.91	1.12	0.91	2.46		
9	D45-YQ2	水米冲	鲕粒铝土矿	364.74	334.89	15.08	22.21	8.95	1.92	3.24	0.70	5.70		
10	D68-YQ5	水米冲	鲕粒铝土矿	493.25	424.38	26.84	15.81	4.95	3.88	1.12	0.57	4.85		
11	D40-YQ1	水米冲	铁质岩	128.37	75.96	15.76	4.82	4.59	3.18	1.18	0.69	0.92		
12	D31-YQ2	古城	铁铝质岩	283.55	254.39	15.20	16.73	10.64	3.38	1.74	0.88	1.97		
13	D31-YQ4	古城	铁铝质岩	322.60	285.46	18.84	15.15	13.86	3.32	2.29	0.95	144		
14	D40-YQ2	水米冲	铁铝质岩	928.80	578.05	109.57	5.28	7.18	2.75	2.23	0.81	0.82		
15	D40-YQ3	水米冲	铁铝质岩	1034.88	955.52	36.61	26.10	45.39	7.42	2.91	0.71	0.75		
16	D40-YQ4	水米冲	铁铝质岩	1207.94	950.76	107.24	8.87	22.22	3.28	4.89	0.83	0.83		
17	D41-YQ3	水米冲	铁铝质岩	458.61	412.96	19.34	21.35	12.65	3.98	2.33	0.67	3.44		
18	D56-YQ2	古城	铁铝质岩	198.01	146.81	21.56	6.81	8.57	3.57	1.84	1.08	0.91		
19	D56-YQ3	古城	铁铝质岩	471.42	243.67	100.59	2.42	1.88	1.45	1.23	0.96	0.99		
20	D45-YQ3	水米冲	铁铝质岩	285.69	243.20	19.22	12.65	10.25	3.71	1.69	0.76	1.53		
21	D68-YQ4	水米冲	铁铝质岩	361.79	322.94	12.32	27.22	10.12	3.15	2.43	0.66	5.48		
22	D68-YQ6	水米冲	铁铝质岩	84.18	66.61	7.39	9.01	4.33	1.94	1.64	0.90	3.06		
23	D29-YQ2	古城	铝质粘土岩	483.42	358.99	49.50	7.25	8.90	2.96	2.04	0.85	0.82		
24	D29-YQ6	古城	铝质粘土岩	503.27	401.10	49.29	8.14	10.36	1.93	2.75	0.99	0.88		
25	D31-YQ3	古城	铝质粘土岩	390.36	333.13	31.58	10.55	12.23	2.11	3.25	0.90	1.09		
26	D43-YQ2	水米冲	铝质粘土岩	470.38	388.32	35.00	11.09	11.47	3.27	1.95	0.91	0.95		
27	D68-YQ3	水米冲	铝质粘土岩	729.95	611.27	43.12	14.17	21.90	6.10	2.53	0.72	1.01		
28	D67-YQ2	古城	铝质粘土岩	252.47	194.42	24.45	7.95	14.30	2.72	3.98	1.01	0.75		
29	D29-YQ1	古城	生屑灰岩	41.30	22.45	4.68	4.79	5.97	4.14	1.28	0.69	0.68		
30	D31-YQ1	古城	灰岩	51.62	35.04	4.02	8.71	14.39	3.91	2.37	0.83	0.83		
31	D40-YQ0	水米冲	亮晶生屑灰岩	35.24	19.82	4.00	4.96	5.07	4.33	1.19	0.63	0.91		
32	D41-YQ1	水米冲	亮晶生屑灰岩	46.02	33.77	2.95	11.46	21.19	9.46	2.03	0.68	0.68		
33	D43-YQ1	水米冲	亮晶生屑灰岩	58.59	27.13	8.28	3.28	4.51	3.68	1.29	0.64	0.53		
34	D45-YQ1	水米冲	亮晶生屑灰岩	35.63	19.47	4.64	4.20	4.83	2.52	1.87	0.69	0.99		
35	D56-YQ1	古城	生屑灰岩	33.89	16.62	4.46	3.73	3.94	4.68	0.93	0.76	0.90		
36	D67-YQ1	古城	生屑灰岩	30.44	17.39	3.63	4.79	5.37	4.20	1.10	0.79	0.73		
37	D68-YQ1	水米冲	亮晶生屑灰岩	17.80	13.99	3.69	3.80	5.79	3.31	1.69	0.74	0.53		
38	D31-YQ7	古城	含炭质灰岩	240.41	210.72	12.07	17.46	23.66	6.67	2.06	0.64	0.89		
39	D67-YQ7	古城	砂质灰岩	267.60	206.93	26.64	7.77	8.30	3.02	1.88	0.79	1.05		
40	D27-YQ5	架木格	玄武岩	217.76	164.71	22.56	7.30	7.27	2.32	2.11	1.21	1.04		
41	D28-YQ2	大黑箐	玄武岩	1113.14	389.02	219.07	1.78	1.50	1.48	0.97	0.71	0.53		

灰岩的稀土元素特征可大致分为两组,一组为 稀土总量较低的生屑灰岩,另一组则为稀土总量较 高的砂质灰岩(炭质灰岩),稀土元素配分曲线为向 右倾斜的弱"V"字形曲线(图 5)。

生 屑 灰 岩 稀 土 总 量 低, REE=17.80 × 10<sup>-6</sup>~58.59×10<sup>-6</sup>;轻 稀 土 总 量 低,LREE=13.99× 10<sup>-6</sup>~35.04×10<sup>-6</sup>;重稀土总量低,HREE=2.95×10<sup>-6</sup>~ 8.28×10<sup>-6</sup>; 轻重稀土分馏中等,LREE/HLREE= 3.28×11.46, (La/Yb)<sub>N</sub>=3.94~21.19; 轻稀土元素分馏 程度中等, (La/Sm)<sub>N</sub>=3.31~9.46; 重稀土元素分馏程 度较低, (Gd/Yb)<sub>N</sub>=0.93~2.03;  $\delta$ Eu=0.63~0.83, 具中 等铕负异常 - 弱铕负异常;  $\delta$ Ce=0.56~0.91, 具中等 铈负异常 - 弱铈负异常(表 1、表 2)。

砂质灰岩稀土总量中等, REE=240.41 ×













10<sup>-6</sup>~267.93×10<sup>-6</sup>; 轻稀土总量较高,LREE= 206.93×10<sup>-6</sup>~210.72×10<sup>-6</sup>; 重稀土总量较低,HREE= 12.07×10<sup>-6</sup>~26.64×10<sup>-6</sup>; 轻重稀土分馏较强,LREE/ HLREE=7.77~17.46, (La/Yb)<sub>N</sub>=23.66~8.30; 轻稀土 元素分馏程度较高,(La/Sm)<sub>N</sub>=3.02~6.67; 重稀土元 素分馏程度较低,(Gd/Yb)<sub>N</sub>=1.88~2.06; δEu=0.64~ 0.79, 具中等铕负异常; δCe=0.89~1.05, 具中等铈负 异常 - 无铈负异常(表 1, 2)。









Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of limestone of Weining Formation in the Datie bauxite deposit (chondrite values after Boynton, 1984; serial number as for Table 1)

#### 1.3 下伏峨眉山组玄武岩稀土元素特征

峨眉山组玄武岩 1 件采自风化壳之下的半风化 岩石, 另 1 件则采自钻孔之中。

玄武岩稀土总量差别较大, REE=217.76 × 10<sup>-6</sup>~1113.14×10<sup>-6</sup>; 轻稀土总量同样差别较大, LREE=164.71×10<sup>-6</sup>~389.02×10<sup>-6</sup>; 重稀土总量亦有较大的差别, HREE=22.56×10<sup>-6</sup>~219.07×10<sup>-6</sup>; 轻重稀土分馏程度较低, LREE/HREE=1.78~7.30,

(La/Yb)<sub>N</sub>= 1.50~7.27;轻稀土元素分馏程度较低,
(La/Sm)<sub>N</sub>=1.48~2.32;重稀土元素分馏程度较低,
(Gd/Yb)<sub>N</sub>=0.97~2.11;δEu=0.71~1.21,具中等销负异常-弱铕正异常;δCe=0.53~1.04,具中等铈负异常
—无铈异常(表 1, 2)。稀土配分曲线向右缓倾的较为平滑曲线(图 6)。

#### 2 成矿物质来源探讨

#### 2.1 稀土元素地球化学特性

稀土元素是第三副族元素,地球化学性质稳 定。前人研究表明,稀土元素的分配在沉积作用、 成岩作用,甚至低级变质作用过程中,基本保持不 变,也就是说稀土元素一般不受成岩作用的影响(王 中刚等,1989;刘英俊等,1987;陈德潜等,1990;陈 平等,1997)。因此,稀土元素是研究沉积岩物质来源 的示踪剂。

Ce 在氧化条件下,以 Ce<sup>4+</sup>存在,而与其它稀土 元素分离;在弱酸性条件下,Ce<sup>4+</sup>极易水解而在原地 停留下来,使淋出的溶液中贫 Ce,因此造成海水中 的 Ce 强烈亏损;因此,对于沉积岩 Ce 负异常,反映 了它是海相的生物或化学沉积(王中刚等,1989)。

在沉积作用过程中,稀土元素的分离与稀土元素的 水合和吸附特征及稀土络合物的溶解性有关,重稀 土容易与碳酸盐及有机质形成络合物而迁移,由于 其稳定性较高较晚保存在海水中;而轻稀土则较易 受粘土矿物的吸附而富集,因而粘土岩轻稀土富集 积(王中刚等,1989)。





#### 2.2 铝土矿成矿物质讨论

目前对于铝土矿的成矿模式形成了较为统一的 意见, 即"古风化壳—沉积"模式(廖士范, 1994; 刘 长龄, 1992; 成功等, 2010; 梁秋原等, 2013)。但对于 滇东铝土矿的成矿物质来源却存在较大的分歧。严 健(2011, 验收会交流), 认为滇东南铝土矿产于龙 潭组底部的区域性角度不整合面之上,区域性角度 不整合面之上的地层为二叠系、石炭系、泥盆系、铝 土矿的矿体厚度、品质与角度不整合面的时限呈正 比,其成矿物质来源于下伏的碳酸盐岩;高泽培 (2011, 验收会交流), 则依据大铁矿区铝土矿之下 发育峨眉山组玄武岩、局部地段二者直接接触、TiO2 含量高等, 认为滇东南地区铝土矿的成矿物质主要 来源于峨眉山组玄武岩;王训练等(2011),尝试用 剥蚀量估算的办法来分别计算峨眉山玄武岩和石炭 系—叠系灰岩风化剥蚀可能提供的铝的数量来探讨 铝土矿的成矿物质来源, 计算结果表明滇东南地区 铝土矿来源较为复杂,主要来源于峨眉山组玄武岩, 次要来源为下伏碳酸盐岩(王训练等,2011)。冯晓宏 等(2009),依据滇东南铝土矿含铝岩段中含有较多 的凝灰岩、凝灰质粘土岩,确定玄武岩为铝土矿的 主要成矿物源。蒋秀坤等(2012), 认为红舍克沉积型 铝土矿的成矿物质来源复杂、来源于越北古陆的岩 浆岩、变质岩。

前人(叶霖等,2007;李普涛等,2008),利用稀 土元素稳定的地球化学特性,对贵州修文小山坝铝 土矿和广西靖西县三合铝土矿的成矿物质进行了研 究;研究表明,含铝岩系的稀土配分曲线与下伏的 娄山关群泥质白云岩、茅口灰岩相似,因此确定其 成矿物质来源于下伏碳酸盐岩。

对比大铁矿区含铝岩系岩石的稀土配分曲线和 下伏的灰岩和玄武岩的稀土配分曲线可以发现,含 铝岩系岩石的稀土配分曲线与灰岩相近,而与玄武 岩相差较多。含铝岩系岩石的稀土配分曲线与下伏 灰岩的稀土配分曲线大致平行,说明二者存在着明 显的亲缘关系,含铝岩系继承了灰岩的地球化学特 征;二者稀土配分曲线存在较大差异的位置有两处 ——Ce、Eu,这是由两种元素的地球化学性质和含 铝岩系成矿物质所经历的地质过程有关;灰岩在晚 二叠世温暖湿润的条件,快速化学风化,形成了铁 质风化壳,在风化壳之中 Ce、Eu 富集,如果风化壳 的物质快速沉积则会形成铈正异常、铕负异常变弱; 如果风化壳的物质搬运距离较长,其与海水进行较 长时间的作用,Ce、Eu 异常变弱,轻稀土富集,形成 斜率较大的较平滑曲线(铝质粘土岩)。通过稀土配 分曲线的对比,发现大铁铝土矿区含铝岩系的稀土 配分曲线与下伏灰岩的稀土配分曲线较为一致,而 与下伏玄武岩稀土配分曲线相差较大,这也预示着 大铁铝土矿的成矿物质来源于下伏灰岩,而非下伏 玄武岩。

#### 3 结论

(1)丘北大铁矿区铝土矿含铝岩系的稀土配分 曲线与下伏马平组、黄龙组(威宁组)灰岩的稀土配 分曲线一致,而与下伏峨眉山组玄武岩的稀土配分 曲线相差较大。

(2)丘北大铁矿区铝土矿的成矿物质来源于下 伏马平组、黄龙组(威宁组)灰岩。

**致谢**:在野外工作期间,得到了云南省有色地质局、西南 有色昆明勘测设计(院)股份有限公司、云南有色地质三〇 六队大力支持,在此表示诚挚的谢意!

## 参考文献:

- 陈德潜, 陈刚. 1990. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京: 冶金工 业出版社: 59-173.
- 陈平, 柴东浩. 1997. 山西地块石炭纪铝土矿沉积地球化学 研究[M]. 太原: 山西科学出版社: 99-127.
- 成功,杨震,黄壁. 2010. 板茂铝土矿地质特征及成因分析[J]. 轻金属,10: 8-12.
- 冯晓宏,王臣兴,崔子良,刘宇淳,张兴恒.2009. 滇东南铝土 矿成矿物质来源探讨[J]. 云南地质,28(3):233-242.
- 蒋秀坤,李亚辉. 2012. 云南文山红舍克铝土矿成因分析[J]. 云 南地质, 31(3): 316-319.
- 李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大 学出版社: 74-125.
- 李普涛, 张起钻. 2008. 广西靖西县三合铝土矿稀土元素地球化 学研究[J]. 矿产与地质, 22(6): 536-540.
- 廖士范. 1994. 论铝土矿床成因及矿床类型[J]. 华北地质矿产杂 志, 9(2): 153-160.
- 刘英俊,曹励明. 1987. 元素地球化学导论[M]. 北京: 地质出版 社: 57-80.
- 刘长龄.1992.论铝土矿的成因学说[J].河北地质学院学报, 15(2):195-204.
- 梁秋原,刘文佳,王燕. 2013. 滇中地区铝土矿床地质特征及成 矿规律[J]. 地球学报,34(s1):163-167.
- 王训练,周洪瑞.2011. 云南省铝土矿主要成矿期岩相古地理和 构造环境研究[R]. 北京:中国地质大学.
- 王中刚,于学元,赵振华. 1989. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社: 247-291.
- 叶霖,程曾涛,潘自平.2007.贵州修文小山坝铝土矿中稀土元素地球化学特征[J].矿物岩石地球化学通报,26(3): 228-233.
- 云南省有色地质局. 2009. 云南省铝土矿找矿行动计划勘查工作 方案[R]. 昆明: 云南省有色地质局.

#### **References:**

- BOYNTO W V. 1984. Geochemistry of the rare earth element: meteorite studies[J]. Rare earth element geochemistry, 66-114.
- CHEN De-qian, CHEN Gang. 1990. Practical REE geochemistry[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press: 59-173(in Chinese).
- CHEN Ping, CHAI Dong-hao. 1997. Sedimentary geochemistry of Carboniferous bauxite deposits in Shanxi massif [M]. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press: 99-127(in Chinese with English abstract).
- CHENG Gong, YANG Zhen, HUANG Bi. 2010. Bauxite geological characteristics and genetic analysis of Banmao[J]. Light metal, 10: 8-12 (in Chinese with English abstract).
- FENG Xiao-hong, WANG Chen-xing, CUI Zi-liang, LIU Yu-chun, ZHANG Xing-heng. 2009. The ore sources explore of bauxite in Southeast Yunnan[J]. Yunnan Geology, 28(3): 233-242(in Chinese with English abstract).
- JIANG Xiu-kun, LI Ya-hui. 2012. Cause Analysis of bauxite in Wenshan Hongsheke, Yunnan[J]. Yunnan Geology, 31(3): 316-319(in Chinese with English abstract)
- LI Chang-nian. 1992. Trace elements in igneous petrology[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 74-125(in Chinese).
- LI Pu-tao, ZHANG Qi-zuan. 2008. County Sanhe Bauxite REE geochemical study of Jingxixiansanhe in Jingxi[J]. Mineral Resources and Geology, 22(6): 536-540(in Chinese with English abstract).
- LIAO Shi-fan. 1994. Causes and type of deposit of the bauxite [J]. Journal of North China Geology and Mineral Resources, 9(2): 153-160(in Chinese with English abstract).
- LIU Chang-ling. 1992. The causes of bauxite doctrine[J]. Hebei Geological Institute, 15(2): 195-204(in Chinese with English abstract).
- LIU Ying-jun, CAO Li-ming. 1987. The Introduction of element geochemistry[M]. Beijing: Geological Press: 57-80(in Chinese).
- WANG Xun-lian, ZHOU Hong-rui. 2011. The lithofacies paleogeography and tectonic environment of primary epoch of bauxite mineralization of Yunnan province[R]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese).
- WANG Zhong-gang, YU Xue-yuan, ZHAO Zhen-hua. 1989. REE geochemistry[M]. Beijing: Science and Technology Press, 247-291(in Chinese).
- LIANG Qiu-yuan, LIU Wen-jia, WANG Yan. 2013. Geological Characteristics and Metallogenic Regularity of Bauxite Deposits in Central Yunnan[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(s1): 163-167(in Chinese with English abstract).
- YE Lin, CHENG Zeng-tao, PAN Zi-ping. 2007. Bauxite REE geochemical characteristics of Xiuwenxiaoshanba in Guizhou[J].
   Mineralogy Petrology and Geochemistry, 26(3): 228-233(in Chinese with English abstract).
- Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau. 2009. The work plan of prospecting exploration action plan about Yunnan Province bauxite deposit[R]. Kunming: Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau(in Chinese).