

滇东南丘北县大铁铝土矿稀土元素特征研究

王行军¹⁾, 王根厚^{1)*}, 周洁¹⁾, 崔银亮²⁾, 张道红²⁾, 李伟清³⁾, 范良军³⁾

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-jun¹⁾, WANG Gen-hou^{1)*}, ZHOU Jie¹⁾, CUI Yin-liang²⁾, ZHANG Dao-hong²⁾, LI Wei-qing³⁾, FAN Liang-jun³⁾

1) Earth Science and Resource Institute, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2) Yunnan Nonferrous Metals Geological Bureau, Kunming, Yunnan 650051;

3) 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 and ferrallitic rocks have obvious Ce positive anomalies and fairly obvious Eu negative, whereas most bauxite, ferrallitic rocks and aluminous claystone have no obvious Ce and Eu anomalies. REE characteristics of the aluminum-bearing rock series 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; metallogenetic material

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。

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

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。

*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。矿区内地层发育老母猪箐—猪头山复式背斜，呈近东西向展布，延伸约 40 km。矿区内地层断裂构造发育，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_2O_3 含量 39.86%~67.58%，平均值为 53%； SiO_2 含量 15%~35%，平均值为 20%； Fe_2O_3 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完成，采用美国 ThermorFisher 公司生产的等离子体质谱仪(ICP-MS)(X Series 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， $\text{REE}=116.10 \times 10^{-6} \sim 1869.70 \times 10^{-6}$ ，多数样品的 $\text{REE} > 500 \times 10^{-6}$ ；轻稀土总量总体高，但差别较大， $\text{LREE}=88.75 \times 10^{-6} \sim 1379.76 \times 10^{-6}$ ；重稀土总量同样相差很大， $\text{HREE}=10.85 \times 10^{-6} \sim 190.17 \times 10^{-6}$ ；轻重稀土分馏程度不等， $\text{LREE}/\text{HREE}=6.40 \sim 22.21$ ， $(\text{La/Yb})_N=4.01 \sim 19.35$ ；轻稀土元素分馏程度较低， $(\text{La/Sm})_N=1.63 \sim 3.88$ ；重稀土元素分馏程度较低， $(\text{Gd/Yb})_N=1.12 \sim 3.78$ ； $\delta\text{Eu}=0.68 \sim 0.99$ ，具中等铕负异常-无铕负异常； $\delta\text{Ce}=0.56 \sim 5.70$ ，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 号样品)(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 号样品)，第二组具铈正异常(3、8、9、10 号样品)，第三组无铈异常(2、4、6 号样品)(图 2)。

铁质岩稀土总量较低， $\text{REE}=128.37 \times 10^{-6}$ ；轻稀土总量较低， $\text{LREE}=75.96 \times 10^{-6}$ ；重稀土总量较低， $\text{HREE}=15.76 \times 10^{-6}$ ；轻重稀土分馏程度中等， $\text{LREE}/\text{HREE}=4.82$ ， $(\text{La/Yb})_N=4.59$ ；轻稀土元素分馏程度中等， $(\text{La/Sm})_N=3.18$ ；重稀土元素分馏程度较低， $(\text{Gd/Yb})_N=1.85$ ； $\delta\text{Eu}=1.04$ ，无铕异常； $\delta\text{Ce}=2.56$ ，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)。

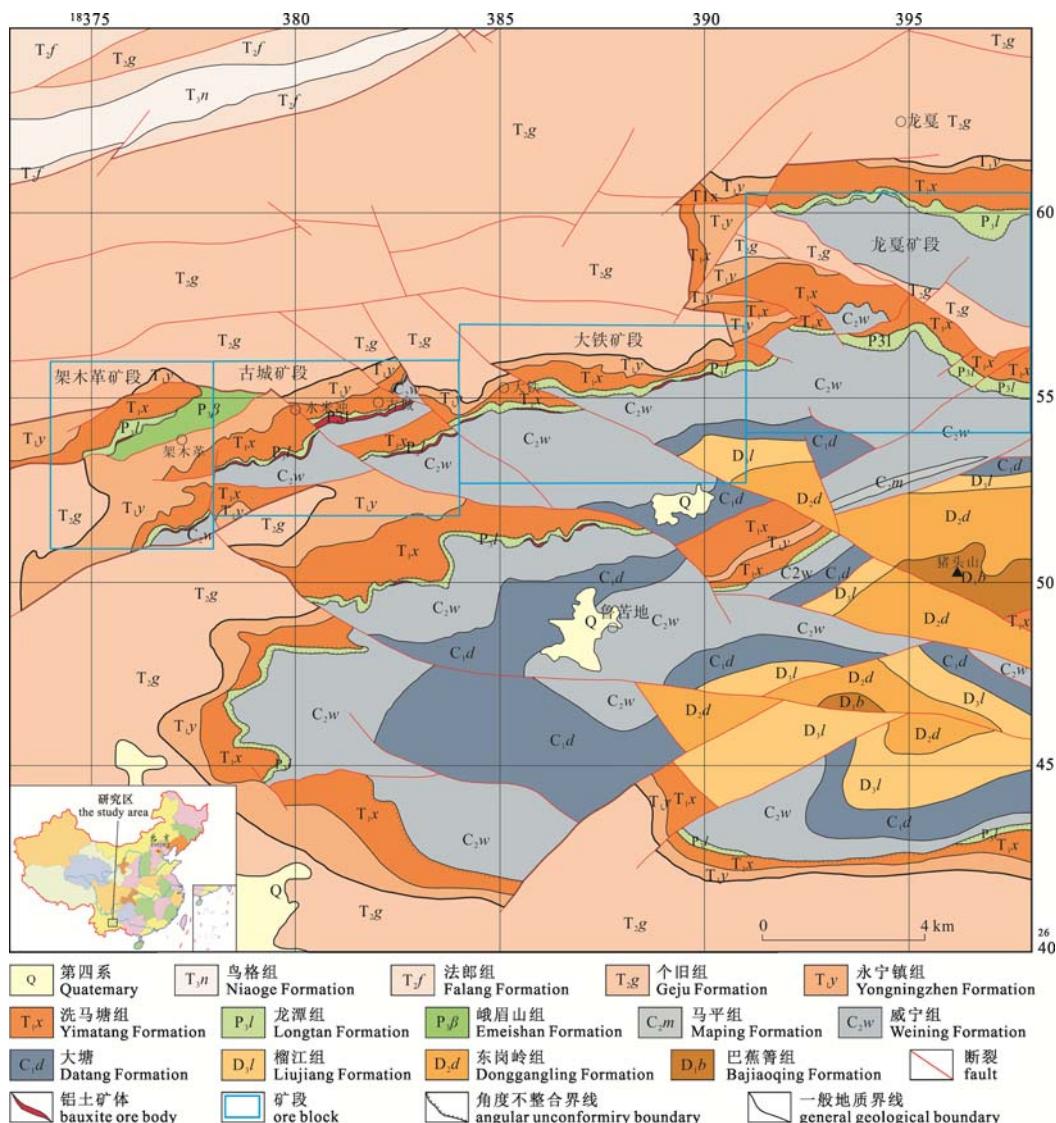


图 1 滇东南丘北县大铁矿区地质图(据云南有色地质局, 2009)

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, 多数样品稀土总量较高, $\text{REE}=84.18 \times 10^{-6} \sim 1207.94 \times 10^{-6}$, 多数样品的 $\text{REE} > 400 \times 10^{-6}$; 轻稀土总量同样差别较大, $\text{LREE}=66.61 \times 10^{-6} \sim 955.52 \times 10^{-6}$; 重稀土总量亦差别较大, $\text{HREE}=7.39 \times 10^{-6} \sim 109.57 \times 10^{-6}$; 轻重稀土分馏程度不等, $\text{LREE/HREE}=2.42 \sim 27.22$, $(\text{La/Yb})_N=4.33 \sim 45.39$; 轻、重稀土元素分馏程度较低, $(\text{La/Sr})_N=1.45 \sim 7.42$, $(\text{Gd/Yb})_N=1.23 \sim 4.89$; $\delta\text{Eu}=0.66 \sim 1.08$, 具中等铕负异常-弱铕正异常; $\delta\text{Ce}=0.75 \sim 5.48$, 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, $\text{REE}=252.47 \times 10^{-6} \sim 729.95 \times 10^{-6}$, 多数样品的 $\text{REE} > 400 \times 10^{-6}$; 轻稀土总量较高, $\text{LREE}=194.42 \times 10^{-6} \sim 611.27 \times 10^{-6}$; 重稀土总量中等, $\text{HREE}=24.45 \times 10^{-6} \sim 49.50 \times 10^{-6}$; 轻重稀土分馏程度较高, $\text{LREE/HREE}=7.25 \sim 14.17$, $(\text{La/Yb})_N=8.90 \sim 21.90$; 轻稀土元素分馏程度较高,

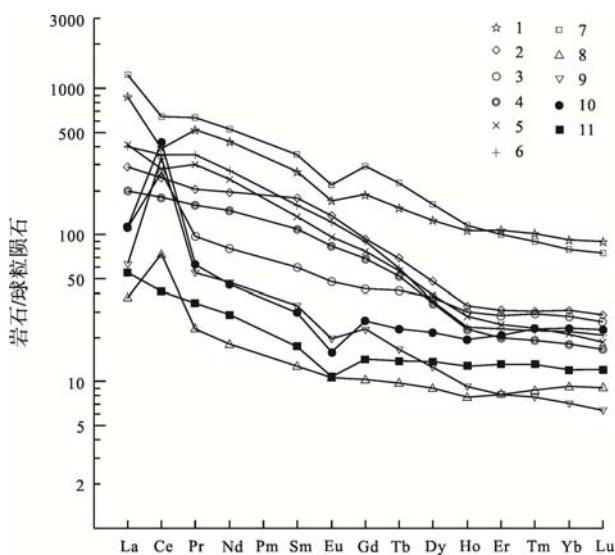


图2 铝土矿、铁质岩稀土元素配分模式曲线图
(球粒陨石值据 Boynton, 1984; 序号同表1)

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of bauxite and ferruginous rocks in the Datie bauxite deposit (chondrite values after Boynton, 1984; serial number as for Table 1)

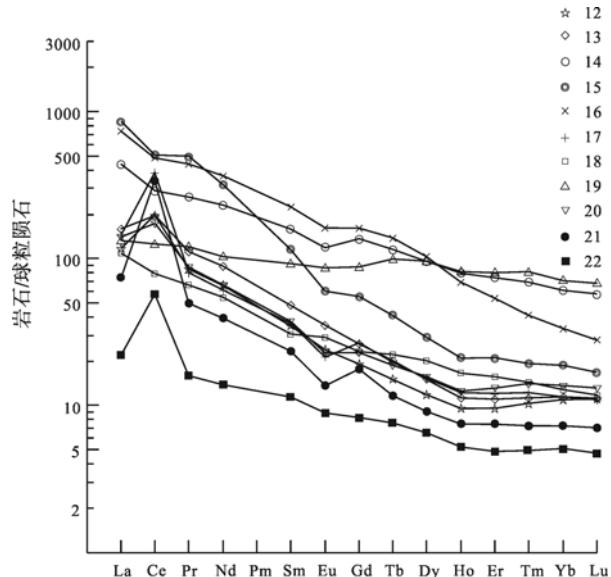


图3 铁铝质岩稀土元素配分模式曲线图(球粒陨石值据 Boynton, 1984; 序号同表1)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of ferallitic rocks in the Datie bauxite deposit (chondrite values after Boynton, 1984; serial number as for Table 1)

10^{-6} ~ 267.93×10^{-6} ; 轻稀土总量较高, LREE= 206.93×10^{-6} ~ 210.72×10^{-6} ; 重稀土总量较低, HREE= 12.07×10^{-6} ~ 26.64×10^{-6} ; 轻重稀土分馏较强, LREE/HREE=7.77~17.46, $(\text{La/Yb})_N=23.66 \sim 8.30$; 轻稀土元素分馏程度较高, $(\text{La}/\text{Sm})_N=3.02 \sim 6.67$; 重稀土元素分馏程度较低, $(\text{Gd}/\text{Yb})_N=1.88 \sim 2.06$; $\delta\text{Eu}=0.64 \sim 0.79$, 具中等铕负异常; $\delta\text{Ce}=0.89 \sim 1.05$, 具中等铈负异常-无铈负异常(表1, 2)。

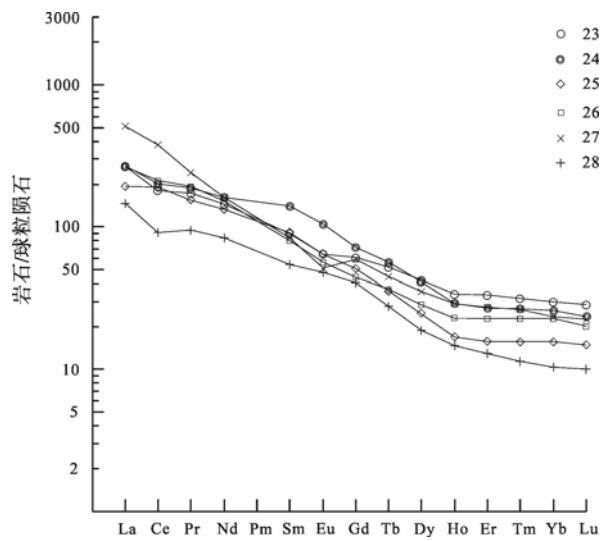


图4 铝质粘土岩稀土元素配分模式曲线图
(球粒陨石值据 Boynton, 1984; 序号同表1)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of clay rocks in the Datie bauxite deposit (chondrite values after Boynton, 1984; serial number as for Table 1)

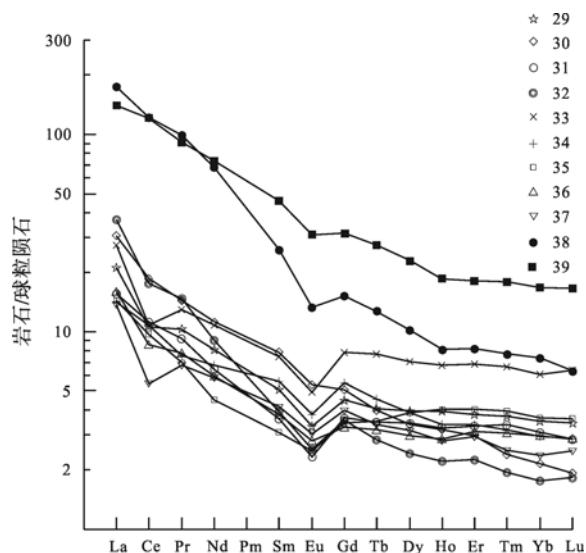


图5 灰岩稀土元素配分模式曲线图(球粒陨石值据 Boynton, 1984; 序号同表1)

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, LREE= 217.76×10^{-6} ~ 1113.14×10^{-6} ; 轻稀土总量同样差别较大, LREE= 164.71×10^{-6} ~ 389.02×10^{-6} ; 重稀土总量亦有较大的差别, HREE= 22.56×10^{-6} ~ 219.07×10^{-6} ; 轻重稀土分馏程度较低, LREE/HREE=1.78~7.30,

$(La/Yb)_N = 1.50 \sim 7.27$; 轻稀土元素分馏程度较低, $(La/Sm)_N = 1.48 \sim 2.32$; 重稀土元素分馏程度较低, $(Gd/Yb)_N = 0.97 \sim 2.11$; $\delta Eu = 0.71 \sim 1.21$, 具中等铕负异常 - 弱铕正异常; $\delta Ce = 0.53 \sim 1.04$, 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^{4+} 存在, 而与其它稀土元素分离; 在弱酸性条件下, Ce^{4+} 极易水解而在原地停下来, 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(王中刚等, 1989)。

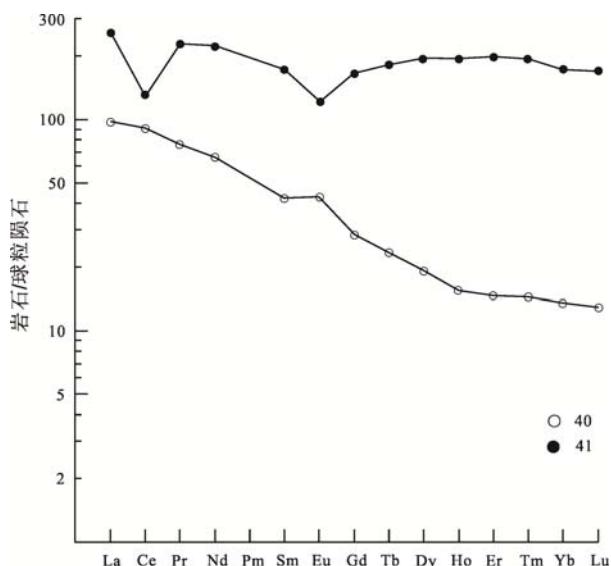


图 6 玄武岩岩稀土元素配分模式曲线图
(球粒陨石值据 Boynton, 1984; 序号同表 1)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of basalts of Emeishan Formation in the Datie bauxite deposit (chondrite values after Boynton, 1984; serial number as for Table 1)

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、 TiO_2 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.
- 季昌年. 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:**
- BOYNTON 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 Jingxiansanhe 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 Metallogenetic 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).