

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.04.006

引用格式:张青,陈斌锋,张兴文. 江西赣县峰山重稀土矿床地质、地球化学特征及意义[J]. 华东地质, 2020, 41(4): 359-367.

江西赣县峰山重稀土矿床地质、地球化学特征及意义

张青, 陈斌锋, 张兴文

(江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队, 赣州 341000)

摘要: 通过对江西赣县峰山重稀土矿床的地质和地球化学特征进行研究, 进一步探讨重稀土元素的富集规律及地质意义。赣县峰山花岗岩体风化壳离子吸附型高钇低铈型重稀土矿床位于大埠岩体西部, 是大埠花岗岩体高度分异演化的产物, 成矿母岩以黑云母二长花岗岩为主。地球化学特征显示: 花岗岩 SiO_2 含量较高 (70.42%~75.85%), $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$, 属于铝过饱和系列岩石; CaO 、 MgO 含量偏低, 属于高硅、富碱、贫钙镁过铝质高分异花岗岩。花岗岩 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 平均值为 0.90, 属于重稀土富集型。Eu 呈明显负异常, 多数样品 Ce 呈弱负异常, 表明稀土元素发生了不同程度的分异和富集, 成岩作用和风化作用共同导致了微量元素和稀土元素发生不同程度的分异和富集。

关键词: 离子吸附型重稀土矿床; 重稀土元素; 高分异花岗岩; 地球化学特征

中图分类号: P618.7

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2020)04-359-09

赣南地区是我国离子吸附型稀土矿的首次发现地和主要产地^[1-8]。大埠复式岩体是赣南地区重要的重稀土成矿母岩, 地表出露面积达 515 km²。近些年来, 赣南地区实施了“江西省赣县一定南县稀土矿调查评价”项目和“赣州市稀土资源远景评价”项目, 最新的地质调查成果显示, 该区发现了 8 处具有大型规模的稀土矿产地^[9]。峰山重稀土矿床位于大埠复式岩体西侧, 通过对峰山重稀土矿床进行地质、地球化学特征研究, 为进一步研究该矿床的成因提供元素地球化学信息, 并为赣南地区寻找同类型重稀土矿床提供勘查示范和参考资料。

1 区域地质概况

赣县峰山重稀土矿床位于南岭 EW 向复杂构造带东段北侧与武夷新华夏系隆起褶皱带西缘交接复合部位, 赣州盆地东南缘^[10-12]。区内构造岩浆活动频繁, 富含稀土元素的成矿岩体分布广泛, 大面积分布富含稀土元素的燕山期花岗岩体, 花岗岩

风化壳较发育, 区内具有优越的成矿地质条件 (图 1)。该区主要的稀土成矿母岩为大埠岩体 (ηJ_3), 该岩体为高硅、富碱、贫钙镁过铝质高分异花岗岩体^[13], 总体呈 NE 向展布, 受 NE 向断层控制, 侵入于震旦纪、寒武纪、二叠纪和侏罗纪地层中。岩体地表平面呈 NE 向长轴纺锤状, 面积约 274 km²。该区气候和地理环境适合风化壳的形成, 已知稀土矿床 (点) 数量众多, 是南岭稀土成矿带重要的成矿部位之一^[12, 14]。

2 矿床地质特征

研究区位于大埠岩体西北部 (图 2), 岩体主要侵入寒武纪变质岩中。该区脆性断层发育, 主要为 NE 向和近 EW 向 2 组断裂, 韧性剪切带沿 NE 向断裂带展布, 主要发育于研究区东部。

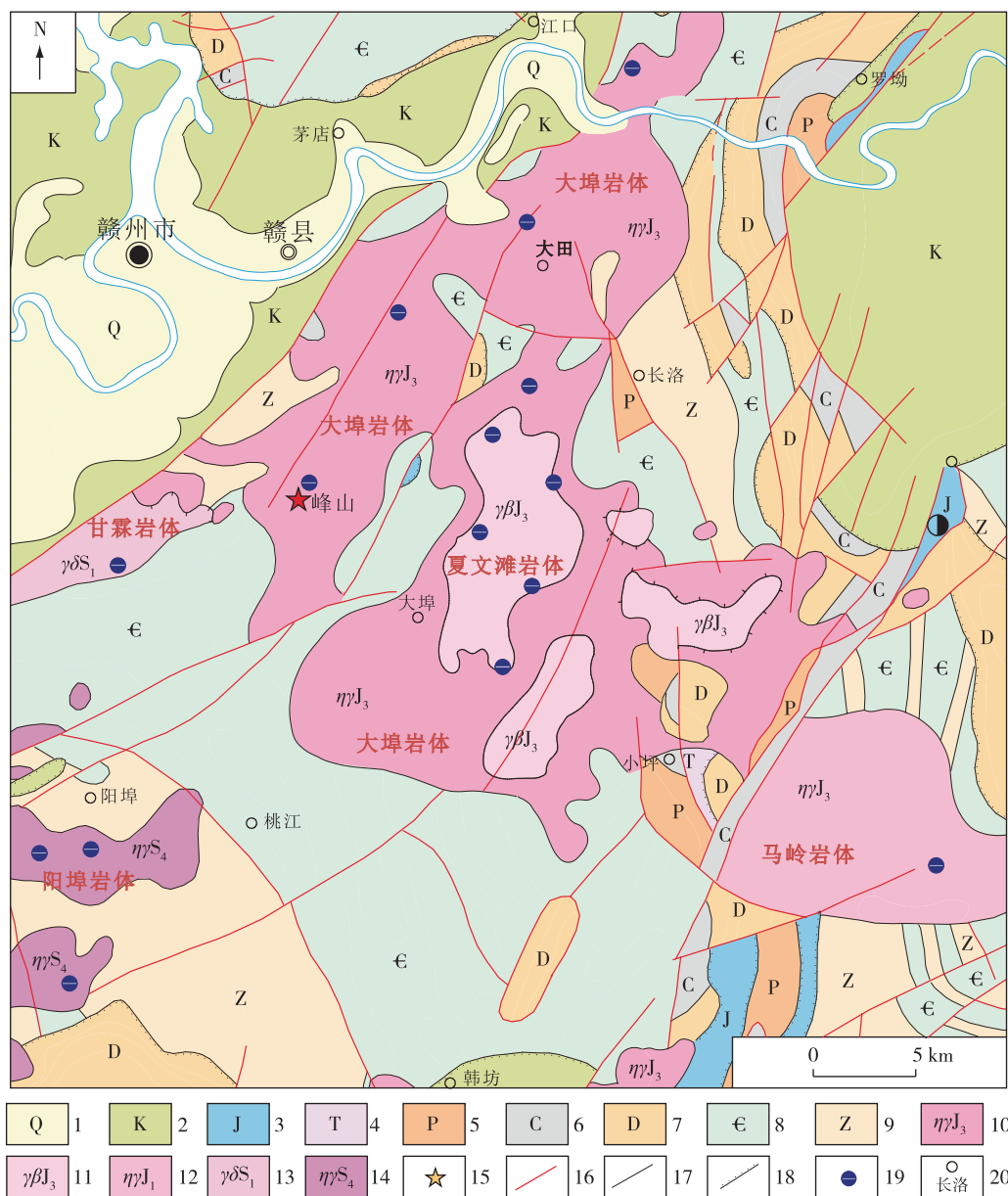
2.1 成矿母岩

成矿母岩为大埠岩体燕山早期岩体, 具有多期

* 收稿日期: 2020-04-28 修订日期: 2020-07-25 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 江西省地质勘查基金管理中心“江西省赣县一定南县稀土矿调查评价 (编号: 20090211)”和国土资源部、工业与信息化部、财政部“赣州市稀土资源远景评价 (编号: 财建[2013]559 号、赣财建[2013]121 号)”项目联合资助。

第一作者简介: 张青, 1988 年生, 男, 工程师, 主要从事地质矿产勘查工作。Email: 361729248@qq.com。



1.第四系;2.白垩系;3.侏罗系;4.三叠系;5.二叠系;6.石炭系 7.泥盆系;8.寒武系;9.震旦系;10.晚侏罗世大埠岩体;11.晚侏罗世夏文滩岩体 12.早侏罗世马岭岩体;13.早志留世甘霖岩体;14.晚志留世阳埠岩体;15.研究区;16.断层;17.地质界线;18.不整合界线;19.稀土矿床;20.地名

图1 赣县大埠地区重稀土矿床地质简图

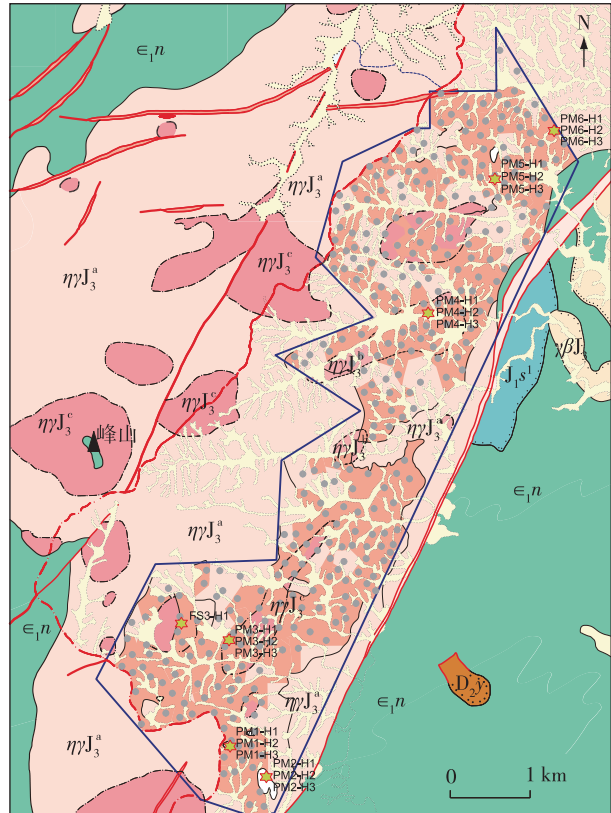
Fig. 1 Geological sketch map of HREE deposits in Dabu area, Ganxian

活动性,自早期到晚期演化过程中,岩体结构为中粗粒似斑状-中细粒似斑状-细粒含斑状。斑晶含量由斑状-少斑-含斑依次递减,均为黑云母二长花岗岩。岩体主要为中粒斑状黑云母二长花岗岩、中细粒少斑状黑云母二长花岗岩、细粒含斑黑云母二长花岗岩,成分主要由斜长石、钾长石、石英、黑云母等组成。斑晶以钾长石为主,其次为斜长石。早期

岩石基质粒径为2~5 mm,晚期岩石基质粒径为0.7~2 mm。

母岩中的稀有稀土矿和钛铁矿含量较高,硫化物矿物中常见辉钼矿和黄铁矿。副矿物组合类型表现为:中粒斑状、中细粒少斑状黑云母二长花岗岩为独居石-磷灰石型;细粒含斑黑云母二长花岗岩为锆石型。

岩石自交代作用与次生蚀变作用较强烈,蚀变种类多且范围广,以自交代蚀变作用为主,表现为钾长石化、钠长石化、白云母化、硅化,局部见绿泥石化、绿帘石化和叶蜡石化。



- 1.第四系;2.侏罗纪水北组;3.泥盆纪云山组;4.寒武纪牛角河组;5.夏汶滩岩体;6.大埠岩体第三次侵入体(细粒含斑黑云二长花岗岩);7.大埠岩体第二次侵入体(中细粒少斑黑云二长花岗岩);8.大埠岩体第一次侵入体(中粒斑状黑云二长花岗岩);9.稀土矿体;10.基岩区;11.实测断层;12.地质界线;13.峰山矿区范围;14.赣南钨矿工程;15.采样位置及编号

图 2 赣县峰山重稀土矿区区域地质简图

Fig. 2 Regional geological sketch map of Fengshan HREE orefield in Ganxian

2.2 风化壳

研究区属中低山地貌,海拔 173.3~1 016.4 m,风化壳出露标高 136~619 m,相对切深 100~200 m。风化壳具面型分布,厚 3~27 m,平均厚 10.63 m。山体形态多呈不规则浑圆状或尖锥状,山坡下冲沟呈放射状。风化壳主要发育在平缓的

山顶和山坡上,植被发育较好。部分植被不发育的低丘地带,常见众多切沟,形成新的冲沟,风化壳遭受破坏。此外,部分山顶和山坡风化壳被剥蚀,裸露的基岩中发育少量花岗岩风化球。

矿区风化壳自上而下分为表土层、全风化层和半风化层。表土层一般厚 0~4 m,分为腐植土盖层和黏土层,一般山脊和山腰薄,山脚厚, SRE_2O_3 品位为 0.006%~0.037%,多数不含矿。全风化层厚 2~27 m,呈褐红色、肉红色、紫红色、黄褐色,少部分呈灰白色,质地较均一,结构松散,造岩矿物多数已被风化解体。长石被绢云母交代,残留物呈板状或柱状,大小为 1 mm×3 mm,多数被高岭土取代呈土状,手搓具滑感;石英颗粒较粗,粒径为 1~7 mm,呈灰白色;黑云母多析出铁质,部分蚀变为白云母。微裂隙较发育,裂隙被黏土矿物充填,黏土含量一般为 30%~50%,一般山脊和山腰厚,山脚薄, SRE_2O_3 品位一般为 0%~0.197%,矿体主要赋存于该层中下部。半风化层厚数米至几十米,黏土含量为 10%~20%,长石多呈碎粒状,局部发育高岭土化,锤之易呈碎块状, SRE_2O_3 品位一般为 0.01%~0.02%,仅少部分样品含有稀土矿化^[15]。

2.3 矿体

矿体主要分布于大埠岩体花岗岩风化壳中,一般长 1 000~3 000 m,宽 1 000~2 000 m,厚 1.0~16.0 m,平均厚 5.5 m,大多数稀土矿体赋存在 10 m 以浅的风化壳中。平面上,矿体多数呈阔叶状、圆状或椭圆状,少数边界被非矿工程分割成不规则的多边形或梅花形。剖面上,矿体呈似层状,随地形波状起伏,厚薄不一(图 3)。矿体总体倾角较地形坡度略平缓,山顶倾角一般为 5°~10°,山坡倾角为 20°~30°。一般山顶矿体较厚,山脊矿体厚度次之,山坡两翼及坡脚矿体较薄。矿区风化壳遭受剥蚀作用较强烈,大部分重稀土矿体被剥蚀出露于地表。单工程 SRE_2O_3 品位为 0.020%~0.109%,平均品位为 0.044%, TRE_2O_3 (稀土全相) 品位为 0.032%~0.226%,平均品位为 0.063%。矿石产品配分结果显示,重稀土元素总量占比 60.54%, Y_2O_3 含量占比 39.28%, Eu_2O_3 含量占比 0.44%,属于高钇低铈型重稀土矿床。

2.4 矿物

矿石矿物主要由黏土矿物、石英、残余长石、云母组成,其次为花岗岩中难风化解的磁铁矿、钦

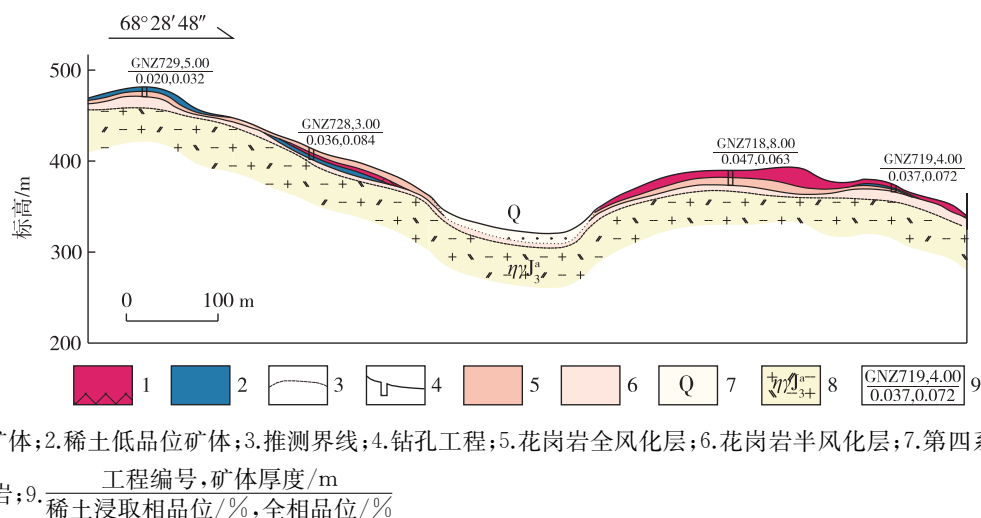


图3 赣县峰山重稀土矿床矿体剖面图

Fig. 3 Profile of the orebody in Fengshan HREE deposit, Ganxian

铁矿、锆石、独居石、榍石和磷灰石等。矿石中黏土矿物主要有高岭石、埃洛石、水云母等,含量为15%~40%,石英含量为40%~45%,残余长石含量为10%~25%,云母含量约5%。在风化壳形成过程中,黏土矿物是稀土离子的良好载体。

3 样品特征及分析方法

3.1 样品特征

了解矿石及围岩的物质成分,进一步研究花岗岩基岩及风化壳主量、微量及稀土元素的含量及其分布特征,在研究区风化壳发育较完整的地区,在人工及自然剖面上,自上而下分别按全风化层、半风化层和基岩层(全层组合采样)依次采集了19件样品,其中全风化层样品6件,半风化层样品6件,基岩层样品7件,样品重约2 kg,具体采样位置见图2。

3.2 分析方法

采集的19件样品均在江西省地质矿产勘查开发局赣南中心实验室完成样品加工与实验测试工作,具体测试流程如下。

(1)硅酸盐全分析测试流程。将岩石粉碎、粗碎至厘米级块体,选取无蚀变及脉体穿插的新鲜样品,用纯化水冲洗干净,烘干并粉碎至200目。

(2)主量元素测试流程。将粉末样品称重量后加 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (1:8)助熔剂混合,使用熔样机加热至

1 150 °C使其在金铂坩埚中熔融成均一的玻璃片体。使用分光光度计(722 N)和原子吸收分光光度计(CAAM-2001)测试,误差 $<1\%$ 。

(3)微量元素测试流程。将200目粉末样品称重量后置于聚四氟乙烯熔样罐并加入 $\text{HF}+\text{HNO}_3$ 溶液,在干燥箱中将高压消解罐保持190 °C,72 h后取出,经过赶酸仪并将溶液定容为稀溶液上机测试。使用原子吸收分光光度计(CAAM-2001)、原子荧光光度计(HGY-1011 A)和ICP-MS PH计(NexION 300x, STARTER 3100)完成测试,监控标样GSR-2显示测试数据误差 $<5\%$,部分挥发性元素及极低含量元素的分析误差 $<10\%$ 。

4 测试结果

4.1 主量元素

峰山重稀土矿床成矿母岩主量元素含量见表1。赣县峰山重稀土矿床花岗岩 SiO_2 含量为70.42%~75.85%, $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$,属于铝过饱和系列岩石。 CaO 、 MgO 含量偏低,属高硅、富碱、贫钙镁过铝质高分异花岗岩。从早期到晚期,随着 SiO_2 含量的增加,岩石中的 CaO 、 FeO 、 MgO 含量减少。矿石化学成分的变化与花岗岩风化作用及其稀土矿化富集过程相关,岩石出现不同程度的脱硅富铝, SiO_2 含量明显减少,但有少数例外,各岩石 Al_2O_3 含量均明显增高, CaO 、 K_2O 和 Na_2O 含量减少, MgO 含量基本稳定,表明长石

等矿物减少,黏土矿物增多,矿石的化学成分变化 与矿物变化相吻合(图 4)。

表 1 峰山重稀土矿床花岗岩主量元素含量

Table 1 Major element contents of Fengshan HREE deposit

样品编号	类型	岩性	主量元素含量/%										烧失量
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	TF ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	
PM1-H1	全风化		71.95	14.07	1.00	0.08	0.77	0.63	5.11	2.56	0.05	0.01	3.80
PM1-H2	半风化	中粒斑状黑云二长花岗岩	75.85	13.79	0.90	0.08	0.77	0.71	4.31	0.28	0.03	0.03	3.26
PM1-H3	基岩		74.40	12.96	1.50	1.00	1.64	1.03	3.55	3.04	0.15	0.03	1.14
PM2-H1	全风化		71.60	15.17	2.00	0.23	0.55	0.95	4.60	0.09	0.20	0.01	4.26
PM2-H2	半风化	中粒斑状黑云二长花岗岩	72.02	14.76	1.00	0.23	0.55	0.71	3.47	2.32	0.03	0.01	5.06
PM2-H3	基岩		71.63	12.90	1.50	0.46	0.87	1.27	4.46	5.74	0.13	0.03	1.28
PM3-H1	全风化		72.70	13.93	1.50	0.08	0.55	0.71	4.33	1.88	0.03	0.01	4.26
PM3-H2	半风化	细粒含斑黑云二长花岗岩	71.98	14.76	0.90	0.19	0.55	0.48	4.14	3.17	0.01	0.01	3.86
PM3-H3	基岩		71.52	12.41	0.75	0.15	0.87	0.71	4.28	8.24	0.01	0.01	1.14
PM4-H1	全风化		71.78	15.45	2.00	0.08	0.11	1.11	2.80	0.15	0.25	0.02	5.78
PM4-H2	半风化	中细粒少斑黑云二长花岗岩	75.78	13.10	1.00	0.15	0.33	0.79	4.14	0.16	0.13	0.05	3.76
PM4-H3	基岩		72.48	13.24	2.25	1.23	1.63	1.27	3.27	2.19	0.35	0.05	1.94
PM5-H1	全风化		73.16	14.21	1.50	0.23	0.22	0.48	3.64	0.15	0.20	0.05	4.40
PM5-H2	半风化	中粒斑状黑云二长花岗岩	73.68	14.07	1.50	0.23	0.33	1.82	3.90	0.16	0.20	0.05	4.42
PM5-H3	基岩		72.80	13.52	2.00	0.85	2.19	0.48	3.47	2.01	0.25	0.08	2.16
PM6-H1	全风化		70.42	16.00	2.50	0.31	0.22	1.19	2.55	0.56	0.30	0.05	5.96
PM6-H2	半风化	中粒斑状黑云二长花岗岩	71.52	15.72	2.50	0.23	0.22	0.71	2.96	0.14	0.30	0.05	5.64
PM6-H3	基岩		72.08	12.00	1.75	0.31	0.66	1.27	3.72	0.11	0.25	0.05	2.78
FS3-H1	基岩	细粒含斑黑云二长花岗岩	74.78	12.83	1.00	0.23	0.87	1.03	3.20	0.10	0.05	0.05	1.94

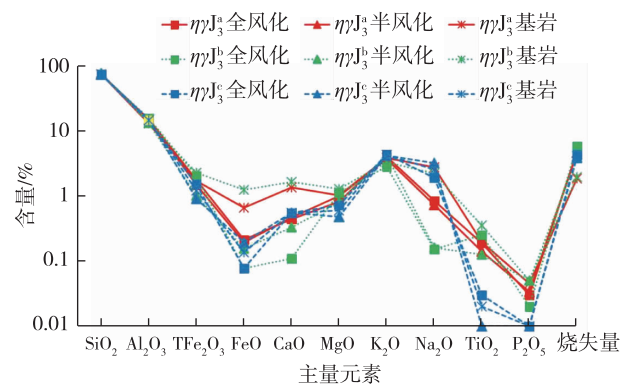


图 4 峰山重稀土矿床花岗岩主量元素含量变化曲线图

Fig. 4 Variation curves of major element contents in Fengshan HREE deposit

4.2 微量元素

峰山重稀土矿床花岗岩微量元素含量见表 2。

赣县峰山重稀土矿床花岗岩微量元素变化范围较广,如 Li 含量为 $(5.58 \sim 221.00) \times 10^{-6}$, Mo 含量为 $(0.40 \sim 87.60) \times 10^{-6}$, Mn 含量为 $(111 \sim 3\,703) \times 10^{-6}$, Ti 含量为 $(173 \sim 3\,029) \times 10^{-6}$, Cr 含量为 $(0.35 \sim 72.00) \times 10^{-6}$, Ba 含量为 $(9.7 \sim 455.0) \times 10^{-6}$, F 含量为 $(107 \sim 2\,041) \times 10^{-6}$ 。花岗岩地壳标准化微量元素蛛网图如图 5 所示。

4.3 稀土元素

峰山重稀土矿床花岗岩稀土元素含量见表 3, 花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图如图 6 所示。花岗岩稀土元素总量为 $(122.70 \sim 624.40) \times 10^{-6}$, 平均值为 260.49×10^{-6} , 稀土元素总量整体较高, 是有利的成矿母岩。 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 为 $0.17 \sim 2.48$, 平均值为 0.90 , 说明成矿母岩以重稀土元素为主。 δEu 平均值为 0.27 , δCe 平均值为 0.39 , 均呈明显负异常。

表 2 峰山重稀土矿床花岗岩微量元素含量
Table 2 Trace element contents of Fengshan HREE deposit

样品编号	类型	岩性	微量元素含量/ 10^{-6}																
			Li	Be	Cu	Zn	Nb	Mo	Ag	Sb	W	Pb	U	Mn	Sn	Ni	Zr	Hf	Ta
PM1-H1	全风化	中粒斑状黑云 二长花岗岩	10.70	1.47	17.10	140	24.5	0.52	0.070	0.21	4.91	66.1	6.74	292	6.03	23.2	73.3	2.49	1.57
PM1-H2	半风化		5.58	1.39	13.10	134	68.5	0.40	0.064	0.14	3.67	48.5	12.20	111	4.96	24.8	70.8	2.78	4.93
PM1-H3	基岩		82.70	5.45	14.60	150	22.7	0.77	0.084	0.25	4.39	39.8	16.80	513	7.22	10.2	89.1	2.00	1.80
PM2-H1	全风化	中粒斑状黑云 二长花岗岩	17.10	2.78	11.60	146	25.5	0.44	0.077	0.15	3.39	39.8	8.63	309	9.07	11.0	104.0	2.35	1.96
PM2-H2	半风化		9.95	1.08	10.00	152	77.2	0.66	0.084	0.17	4.62	54.4	23.00	484	4.48	13.9	109.0	4.21	5.02
PM2-H3	基岩		15.90	3.92	16.30	143	52.1	1.26	0.076	0.21	6.79	63.6	10.60	2 018	10.20	53.0	92.4	2.92	3.78
PM3-H1	全风化	细粒含斑黑云 二长花岗岩	18.10	4.04	20.10	202	52.7	1.48	0.081	0.27	12.30	66.3	10.70	2 111	9.73	17.1	93.1	2.88	3.63
PM3-H2	半风化		11.80	2.98	8.90	162	50.9	1.29	0.071	0.24	5.88	66.3	14.70	3 703	5.25	5.6	64.7	2.61	5.99
PM3-H3	基岩		31.60	6.67	12.20	127	68.9	1.26	0.072	0.29	6.75	72.2	28.40	2 605	12.50	92.0	69.6	2.86	11.20
PM4-H1	全风化	中细粒少斑黑云 二长花岗岩	45.00	1.18	11.60	152	27.6	2.52	0.020	1.62	3.58	17.7	3.02	1 013	17.60	13.0	150.0	3.72	2.19
PM4-H2	半风化		87.70	1.27	9.83	105	26.5	1.79	0.010	1.86	1.71	23.9	2.97	622	36.40	19.6	75.0	2.59	2.33
PM4-H3	基岩		219.00	9.22	37.50	201	27.1	4.34	0.020	1.85	4.35	22.7	5.28	1 067	22.00	13.4	156.0	4.11	2.77
PM5-H1	全风化	中粒斑状黑云 二长花岗岩	139.00	3.76	7.89	103	27.4	2.23	0	1.77	2.82	18.1	3.53	470	19.80	1.2	125.0	3.40	3.43
PM5-H2	半风化		62.80	1.61	7.87	96	26.6	3.62	0	1.69	3.21	25.8	3.55	675	19.20	15.9	125.0	3.26	1.91
PM5-H3	基岩		122.00	5.98	7.36	116	27.7	3.55	0	1.01	4.24	23.1	3.03	1 066	15.40	3.2	137.0	3.28	2.29
PM6-H1	全风化	中粒斑状黑云 二长花岗岩	16.20	2.23	18.10	91	26.8	5.09	0.010	1.86	2.65	22.9	4.60	598	20.00	29.3	131.0	3.41	2.77
PM6-H2	半风化		16.80	2.53	14.40	128	26.6	5.47	0.010	1.74	5.96	25.3	8.77	1 040	18.80	13.7	146.0	3.82	2.57
PM6-H3	基岩		14.70	4.58	10.70	119	22.5	3.84	0.010	1.44	3.12	25.0	5.35	626	10.80	3.3	115.0	3.11	2.48
FS3-H1	基岩	细粒含斑黑云 二长花岗岩	221.00	8.69	8.70	85	45.3	87.6	0.020	1.40	2.54	35.8	8.34	1 196	32.00	23.7	90.8	3.70	5.63
样品编号	类型	岩性	微量元素含量/ 10^{-6}																
			Sc	Ti	V	Cr	Co	Ga	Ge	Rb	Sr	Cd	In	Cs	Ba	Tl	Th	As	F
PM1-H1	全风化	中粒斑状黑云 二长花岗岩	2.56	401	4.94	32.70	0.97	9.77	1.81	554	20.90	0.16	0.04	17.7	164.0	2.76	25.2	1.63	107
PM1-H2	半风化		3.01	253	2.40	41.40	0.08	8.21	2.07	630	8.99	0.14	0.04	23.5	68.2	2.85	27.4	1.97	117
PM1-H3	基岩		12.00	906	14.50	17.40	1.41	15.80	1.76	388	79.80	0.36	0.07	13.6	455.0	1.85	33.0	1.44	741
PM2-H1	全风化	中粒斑状黑云 二长花岗岩	4.75	1 225	16.70	1.12	2.88	13.30	1.83	451	27.80	0.21	0.05	20.9	289.0	2.11	39.4	1.15	158
PM2-H2	半风化		1.91	224	1.35	17.10	3.12	9.90	3.12	532	4.57	0.13	0.03	19.6	56.3	2.61	35.7	1.20	123
PM2-H3	基岩		8.08	596	8.47	72.00	0.77	11.70	2.58	613	31.40	0.11	0.06	20.9	189.0	3.59	28.0	1.11	851
PM3-H1	全风化	细粒含斑黑云 二长花岗岩	8.67	598	9.11	22.50	2.45	11.80	2.52	608	43.80	0.19	0.07	20.9	202.0	3.69	26.9	1.30	120
PM3-H2	半风化		3.10	173	0.79	1.10	0.54	10.10	3.35	1 848	9.71	0.11	0.03	26.7	35.0	4.70	18.9	1.01	123
PM3-H3	基岩		11.80	245	2.81	3.09	3.08	8.73	2.97	772	8.64	0.45	0.06	30.7	9.7	3.44	21.8	1.01	141
PM4-H1	全风化	中细粒少斑黑云 二长花岗岩	5.87	2 520	43.00	19.80	24.90	21.40	2.94	385	21.30	0.21	0.07	7.1	301.0	0.86	11.7	0.54	347
PM4-H2	半风化		4.95	793	17.40	45.20	6.01	17.70	2.60	685	16.00	0.16	0.06	12.8	215.0	1.41	7.5	0.30	135
PM4-H3	基岩		14.20	3 029	56.70	19.30	11.20	25.10	2.63	546	133.00	0.38	0.10	17.4	365.0	1.11	15.1	0.34	933
PM5-H1	全风化	中粒斑状黑云 二长花岗岩	6.98	1318	27.70	0.35	7.42	18.80	2.48	611	19.70	0.23	0.07	26.5	174.0	1.40	11.2	0.34	380
PM5-H2	半风化		6.11	1 196	21.50	32.90	13.50	17.10	2.33	472	17.50	0.18	0.06	8.9	178.0	0.92	12.6	0.30	407
PM5-H3	基岩		12.80	2 646	39.50	2.27	10.30	24.30	2.13	480	86.30	0.22	0.07	12.5	345.0	0.92	9.7	0.24	209
PM6-H1	全风化	中粒斑状黑云 二长花岗岩	6.03	2 848	47.50	16.90	14.50	18.60	2.63	388	20.10	0.19	0.06	7.1	194.0	0.92	9.5	0.20	214
PM6-H2	半风化		5.93	2 881	49.50	15.20	10.20	21.60	2.67	492	24.50	0.23	0.07	8.3	267.0	1.18	12.5	0.43	195
PM6-H3	基岩		9.51	1 483	37.70	2.36	8.75	22.70	1.84	545	63.30	0.21	0.06	6.5	346.0	1.08	13.0	0.37	219
FS3-H1	基岩	细粒含斑黑云 二长花岗岩	9.31	279	5.10	54.10	7.54	12.40	3.53	916	10.40	0.36	0.07	47.9	18.6	1.61	13.7	1.99	2 041

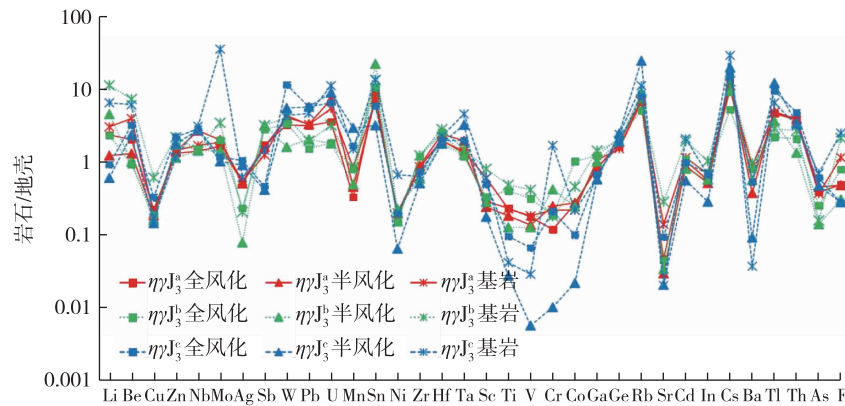
图 5 峰山重稀土矿床花岗岩地壳标准化微量元素蛛网图^[16]Fig. 5 Crust normalized trace elements spidergram of granite in Fengshan HREE deposit^[16]

表 3 峰山重稀土矿床花岗岩稀土元素含量及特征参数

Table 3 REE contents and characteristic parameters of granite in Fengshan HREE deposit

样品编号	岩性	稀土元素含量/ 10^{-6}														
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
PM1-H3	中粒斑状黑云二长花岗岩	20.12	14.75	4.42	20.38	4.57	0.44	5.93	1.32	7.77	1.80	4.66	0.94	6.35	1.06	107.72
PM2-H3	中粒斑状黑云二长花岗岩	20.59	13.57	6.24	29.07	8.29	0.40	9.01	2.12	12.73	3.04	8.36	1.72	11.10	1.78	185.16
PM3-H3	细粒含斑黑云二长花岗岩	7.41	4.92	2.81	14.87	5.55	0.16	7.45	1.83	11.09	2.69	7.22	1.40	8.52	1.37	165.22
PM4-H3	中粒斑状黑云二长花岗岩	152.61	56.13	20.32	84.05	14.04	1.44	14.53	2.93	16.11	3.43	8.38	1.51	8.92	1.32	238.69
PM5-H3	中粒斑状黑云二长花岗岩	25.49	27.68	5.52	24.56	3.65	0.57	3.33	0.51	2.64	0.56	1.48	0.28	1.78	0.28	24.36
PM6-H3	中粒斑状黑云二长花岗岩	21.99	27.53	5.20	23.73	3.61	0.56	3.40	0.55	3.05	0.69	1.94	0.40	2.74	0.44	30.29
FS3-H1	细粒含斑黑云二长花岗岩	13.04	16.07	4.83	25.97	6.18	0.18	6.20	1.35	8.76	2.17	6.33	1.37	9.29	1.49	89.07

样品编号	岩性	特征参数								
		Σ REE	Σ Ce	Σ Y	Σ Ce/ Σ Y	$(La/Sm)_N$	$(La/Yb)_N$	$(Gd/Yb)_N$	δ Eu	δ Ce
PM1-H3	中粒斑状黑云二长花岗岩	202.23	64.68	137.55	0.47	2.77	2.14	0.76	0.26	0.37
PM2-H3	中粒斑状黑云二长花岗岩	313.19	78.16	235.02	0.33	1.56	1.25	0.66	0.14	0.28
PM3-H3	细粒含斑黑云二长花岗岩	242.48	35.71	206.77	0.17	0.84	0.59	0.71	0.07	0.25
PM4-H3	中粒斑状黑云二长花岗岩	624.40	328.58	295.82	1.11	6.84	11.56	1.32	0.31	0.24
PM5-H3	中粒斑状黑云二长花岗岩	122.70	87.47	35.23	2.48	4.39	9.65	1.51	0.50	0.55
PM6-H3	中粒斑状黑云二长花岗岩	126.12	82.62	43.50	1.90	3.84	5.42	1.00	0.49	0.60
FS3-H1	细粒含斑黑云二长花岗岩	192.30	66.27	126.03	0.53	1.33	0.95	0.54	0.09	0.47

5 讨论

5.1 微量元素富集规律

微量元素对成岩成矿作用具有重要意义^[17-21]。由峰山重稀土矿床花岗岩地壳标准化微量元素蛛网图(图 5)可知,在次生成矿作用过程中,Li、Be、

Nb、Ta、Pb、U、Rb、Zr、Hf、W、Sn、Cs、Mo、Bi 等普遍富集,Cu、Ag、Ni、Sc、Ti、V、Co、Sr、In、Ba、As 等不同程度亏损,Sb、Mn、Cr、Cd、F 等无显著变化。在表生地球化学过程中,从全风化层到半风化层再到基岩层,Sb 和 F 具有由亏损到正常的变化趋势,表明风化过程导致成矿母岩 Sb 和 F 丢失。

通过分析峰山重稀土矿床微量元素地球化学

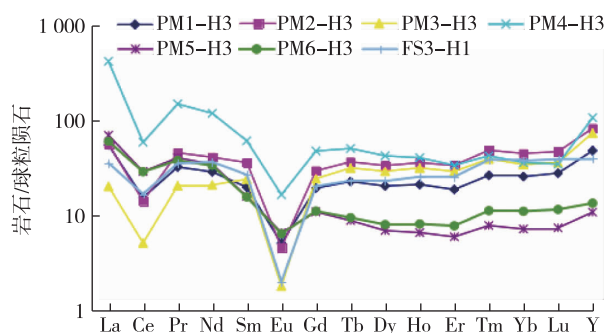


图6 峰山重稀土矿床花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of granite in Fengshan HREE deposit

特征,认为成岩作用和风化作用共同决定了风化壳离子吸附型稀土矿床中各类微量元素富集与亏损的变化规律。成矿母岩高分异演化过程中,经过岩浆充分演化,再到演化晚期,成矿母岩逐渐富集铈钪锂铍锆钨锡等成矿元素。因此,微量元素地球化学特征研究不仅有助于理解母岩的成岩作用,也为认识表生风化过程中元素迁移和富集的成矿作用提供直接的元素地球化学信息。

5.2 稀土元素富集规律

峰山重稀土矿床花岗岩的稀土元素总量整体较高,是有利的成矿母岩,岩体的稀土元素配分型式以重稀土元素为主。此外,花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线为海鸥型^[13], $(La/Sm)_N$ 平均值为3.08,轻稀土元素分馏明显。 $(Gd/Yb)_N$ 平均值0.93,重稀土元素分馏不明显。 δEu 平均值为0.27,呈明显的负异常。多数样品具有Ce弱负异常,说明岩体早期为轻稀土矿化,经过岩浆演化,晚期逐渐富集重稀土元素与铈钪锂铍锆钨锡等成矿元素,且岩浆大面积上侵,造成该区轻、重稀土混杂现象。

6 结论

(1)峰山重稀土矿床主要发育表土层、全风化层和半风化层,稀土元素主要富集在全风化层,属于风化壳离子吸附型稀土矿,为高钪低铈型重稀土矿床。

(2)峰山重稀土矿床的成矿母岩为黑云母二长花岗岩,属高硅、富碱、贫钙镁过铝质高分异花岗

岩。高分异花岗岩演化、花岗岩风化作用与稀土矿化富集密切相关,岩体演化早期与轻稀土元素关系密切,经过岩浆演化,晚期逐渐富集重稀土元素及铈钪锂铍锆钨锡等成矿元素。

(3)分异演化作用和表生风化作用是控制风化壳离子吸附型稀土矿床微量元素和稀土元素迁移、富集的重要因素。

参考文献

- [1] 邓茂春,曾载淋,徐九发,等. 赣南离子型重稀土矿类型及找矿潜力[C]//2016年江西省地质学会论文汇编集Ⅲ. 2017:7.
- [2] 谢有炜,阙兴华,陈斌锋. 龙南上黄湾稀土矿地质特征及成矿条件分析[J]. 矿产与地质, 2017, 31(2): 295-299.
- [3] 彭琳琳,陈斌锋,邹新勇,等. 地质因素对离子吸附型稀土矿床勘查类型的影响[J]. 矿物学报, 2019, 39(4): 455-463.
- [4] 范飞鹏,肖惠良,陈乐柱,等. 南岭东段含稀土矿花岗岩体中暗色包体地质特征——以陂头岩体为例[J]. 华东地质, 2016, 37(1): 36-44.
- [5] 周雪桂,王水龙,袁承先,等. 赣南宁都地区变质岩离子吸附型稀土矿床地球化学特征及找矿意义[J]. 华东地质, 2018, 39(3): 194-201.
- [6] 陈斌锋,邹新勇,彭琳琳,等. 清溪岩体稀土矿床地质特征及重稀土找矿潜力[J]. 稀土, 2019, 40(4): 20-31.
- [7] 陈斌锋,邹新勇,彭琳琳,等. 赣南地区变质岩离子吸附型稀土矿床地质特征及找矿方向[J]. 华东地质, 2019, 40(2): 143-151.
- [8] 吴开兴,朱平,孙涛,等. 赣南大埠重稀土矿床矿化富集规律与控矿因素研究[J]. 稀土, 2017, 38(2): 1-10.
- [9] 曾载淋. 江西省赣州市稀土资源远景评价报告[R]. 赣州:江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队, 2017:1-132.
- [10] 刘细元. 1:5万大埠幅区域地质调查报告[R]. 南昌:江西省地质调查研究院, 2000.
- [11] 杨明桂,祝平俊,王光辉. 论华南构造—成矿单元划分[J]. 上海国土资源, 2018(4): 13-18.
- [12] 张青,陈斌锋,阙兴华. 大埠峰山重稀土矿床地球化学特征及其年代学意义[C]//江西省地质学会2020年论文汇编(1). 2020:171.
- [13] XIAO H L, CHEN L Z, FAN F P et al. Characteristics of highly differentiated granite and metallization of tungsten-tin, rare and rare earth metal in the eastern Nanling region, China [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2017(Supp 1): 100-101.

- [14] 张青.江西省赣州市赣县区稀土资源远景调查评价报告[R].江赣州:江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队,2017:1-112.
- [15] 吴澄宇,白鸽,黄典豪,等.南岭富重稀土花岗岩类的特征和意义[J].中国地质科学院院报,1992:46-61.
- [16] TAYLOR S R, MCLENNAN S M. The geochemical evolution of the continental crust [J]. *Reviews of Geophysics*, 1995, 33(2): 241-265.
- [17] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society London Special Publications*, 1989, 42(1): 313-345.
- [18] 李余华,张子军,龙庆兵,等.云南建水普雄铌稀土矿床微量和稀土元素地球化学特征[J]. *矿物学报*, 2019, 39(4): 474-483.
- [19] 周家喜,黄智龙,周国富,等.贵州天桥铅锌矿床分散元素赋存状态及规律[J]. *矿物学报*, 2009, 29(4): 471-480.
- [20] 金少荣,陈军,代德荣,等.黔西南高岭萤石矿床微量和稀土元素地球化学特征[J]. *矿物学报*, 2018, 38(6): 684-692.
- [21] ZHOU J X, HUANG Z L, ZHOU G F, et al. Trace elements and rare earth elements of sulfide minerals in the Tianqiao Pb-Zn ore deposit, Guizhou Province, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(1): 189-199.

Geological, geochemical characteristics and significance of Fengshan HREE deposit in Ganxian district, Jiangxi Province

ZHANG Qing, CHEN Bin-feng, ZHANG Xing-wen

(Ganman Geological Survey Party, Bureau of Geology and Exploration and Development of Mineral Researches of Jiangxi Province, Ganzhou 341000, China)

Abstract: By studying the geological and geochemical characteristics of Fengshan heavy rare earth element (HREE) deposit in Ganxian of Jiangxi Province, the paper further discusses the enrichment rule and geological implication of HREEs. The ion-adsorption high Y low Eu HREE deposit of Fengshan granite weathering crust is located in the west of Dabu rock mass, with biotite monzogranite as the main metallogenic parent rock. The geochemical characteristics show that the SiO_2 content (70.42% ~ 75.85%) in granite is high, $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$, belonging to the aluminum supersaturation series, with low CaO and MgO content, belonging to high silicon, rich alkali, poor calcium-magnesium peraluminous highly differentiated granite. The average $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ of granite is 0.90, belonging to HREE enrichment type. The obvious negative Eu anomaly, and weak negative Ce anomaly in most samples show different degrees of differentiation and enrichment of REEs, which are caused by both the diagenesis and weathering process.

Key words: ion-adsorption HREE deposit; heavy rare earth element; highly differentiated granite; geochemical characteristics