

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.03.005

引用格式: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.

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

周雪桂,王水龙,袁承先,龚敏,邹东风,缪向亮,刘茜

(江西省地矿资源勘查开发中心,南昌 330030)

摘要:赣南浅变质岩离子吸附型稀土矿床是江西省近些年来新发现的稀土矿类型。文章主要研究赣南地区新元古代青白口纪库里组和神山组浅变质岩稀土矿点,通过野外地质调查和室内综合研究,总结了该类稀土矿床的地球化学特征。结果表明:该区浅变质岩以 SiO₂ 含量中等、K₂O/Na₂O 值较高、全碱含量中等、TF₂O₃ + MgO 及 CaO 较低为特点;稀土元素总量较高,轻、重稀土元素分馏明显,轻稀土富集, Eu 中等亏损,部分矿点已达到化学风化晚期阶段;各矿点风化壳的稀土元素配分模式与原岩类似,稀土元素富集程度主要受控于原岩稀土元素丰度和风化指数 CIA。

关键词:地球化学特征;离子吸附型稀土矿床;浅变质岩;宁都地区;赣南

中图分类号:P588.3;P618.7

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2018)03-194-08

自 1969 年江西省首次发现了离子吸附型稀土矿床以来,中国南方多个省区尤其南岭地区发现了风化壳离子吸附型稀土矿床^[1-2]。目前发现的大部分离子吸附型稀土矿床主要赋存于花岗岩风化壳中^[1,3-6],这是因为在火成岩类中,稀土氧化物含量达 0.02% 以上者主要为中酸性岩类,是亚热带形成离子吸附型稀土矿床的有利原岩^[7]。近些年来,基于江西省地质勘查基金项目,在浅变质岩风化壳中发现了具有工业规模的离子吸附型稀土矿床^[8],丰富了风化壳离子型稀土矿床的类型,拓宽了稀土矿床的找矿领域。前人对浅变质岩离子吸附型稀土矿床的研究主要集中在矿床地质特征的研究^[9-11],而地球化学特征方面的研究较少。

本文选择赣南宁都地区 8 个稀土矿点作为研究对象,探讨浅变质岩离子吸附型稀土矿床地球化学特征及找矿意义,以期对同类矿床找矿有所助益。

1 区域地质背景

赣南宁都地区位于华夏地块,东临武夷隆起,属于华南加里东造山带东段^[12-13]。该区经历新元古代—新生代多期构造-岩浆事件,地层出露齐全,岩浆活动强烈,基底褶皱及断裂发育,地质构造极为复杂(图 1)。区域地层自青白口系至第四系,仅缺失志留系、下泥盆统、中上三叠统和侏罗系,其余地层均有出露^[14]。

2 矿床地质特征

研究区出露的主要地层为晚青白口世神山组、库里组,晚白垩世周田组和第四系(图 2)。该区变质岩风化壳离子吸附型稀土矿床的含矿母岩为晚青白口世神山组和库里组^[9-11]。

神山组为整合或平行不整合于库里组之下

* 收稿日期:2017-06-28 修订日期:2017-10-23 责任编辑:谭桂丽

基金项目:江西省地质矿产勘查开发局“赣南变质岩风化壳离子型稀土矿成矿规律与资源潜力评价(编号:赣地矿办发[2013]70号)”项目资助。

第一作者简介:周雪桂,男,1970年生,高级工程师,主要从事矿产勘查与资源评价研究工作。

通讯作者简介:王水龙,男,1988年生,博士,地球化学专业。

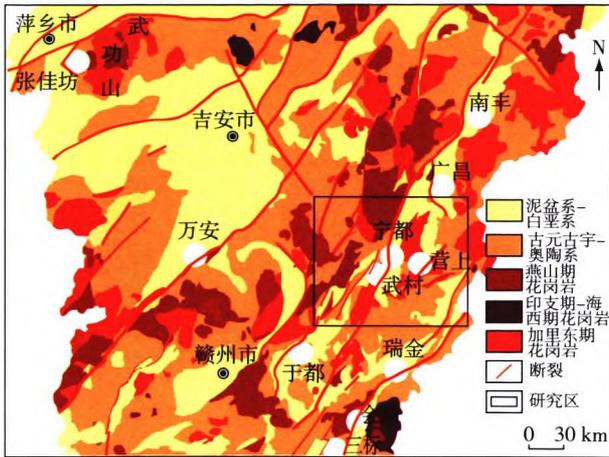


图 1 江西省中南部地区区域地质简图^[14]

Fig. 1 Simplified regional geological map of southern-middle Jiangxi Province

碳千枚岩,未见底;上段以灰黑色含碳绢云千枚岩为主,组成“下绿上黑”的岩石地层体^[15]。神山组下段原岩主要为复成分砂岩和长石砂岩,上段为泥、砂互层,推测其形成于次深海-陆棚边缘相带^[16]。

库里组为下伏于南华纪上施组海盆环境形成的火山沉积碎屑岩,岩性为变质沉凝灰岩夹变质粉砂岩、变质凝灰质粉砂岩、变质粉屑沉凝灰岩,厚度为2 424.5 m,广布于赣中南和赣南地区^[15]。库里组原岩主要为石英砂岩、长石砂岩、沉凝灰岩夹少量复成分砂岩,显示物源充足、水体相对稳定的陆棚火山碎屑岩沉积^[16]。

3 地球化学特征

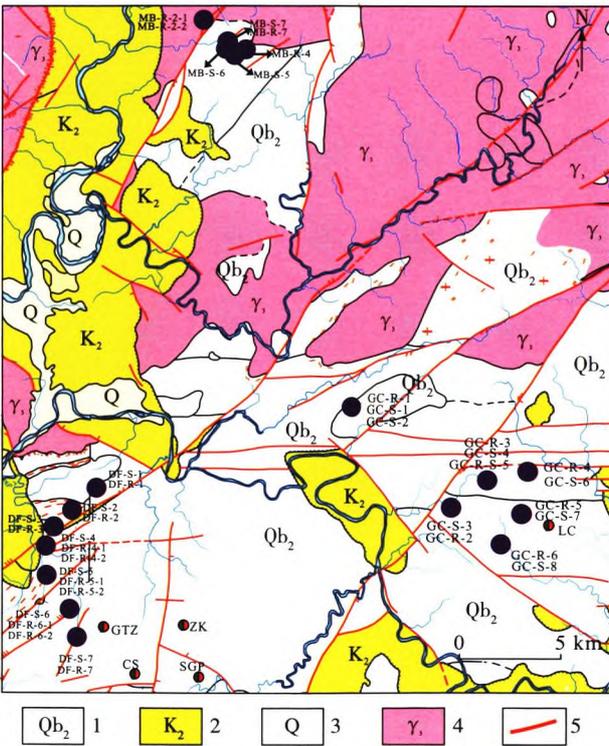
3.1 样品测试

本次研究选取 8 处稀土矿点进行采样分析。SGP 矿点、MB 矿点、ZK 矿点、GTZ 矿点、LC 矿点、CS 矿点和 GC 矿点主要为库里组变质沉凝灰岩夹变质粉砂岩、变质凝灰质粉砂岩、变质粉屑沉凝灰岩风化壳;DF 矿点主要为库里组和神山组绢云千枚岩夹含炭千枚岩、变质粉砂岩风化壳。各矿点风化层厚度不一,最厚处约 10 m。SGP 矿点、ZK 矿点、GTZ 矿点、LC 矿点和 CS 矿点在垂直剖面取风化壳样品 30 件,MB 矿点、GC 矿点和 DF 矿点在青白口纪地层取风化壳样品 38 件进行分析测试。

样品测试在江西省地质矿产勘查局赣南中心实验室、国土资源部南昌矿产资源监督检测中心完成。主量元素采用 PW 2403 型(D183)X 荧光光谱仪分析,分析精度优于 0.1%;微量元素使用 ICP-MS X2 型(D416)电感耦合等离子体质谱仪完成,分析相对标准偏差<10%。

3.2 主量元素

由 SGP 矿点、ZK 矿点、GTZ 矿点、LC 矿点和 CS 矿点剖面主量元素测试结果(表 1)可知,各矿点主量元素含量差别较小,SiO₂ 含量为 62.78%~68.69%,K₂O/Na₂O 多数 > 1,全碱含量为 2.39%~8.63%,具有相对较低的 TFe₂O₃ + MgO (4.11%~6.43%)和较低的 CaO 含量,说明原岩成熟度较低。较低的 TFe₂O₃ + MgO 代表物源区铁镁质组分较少,全碱含量中等说明岩石含有凝灰质^[12]。



1. 上青白口统;2.上白垩统;3. 第四系;4. 加里东期花岗岩;5. 断裂。

图 2 研究区地质简图

Fig. 2 Simplified regional geological map of the study area

的地层单元,下段为黄绿、灰、灰绿色中厚层状变余长石石英砂岩、中薄层状粉砂质千枚岩、绿泥绢云千枚岩组成的韵律互层,上部偶夹灰黑色含

表1 SGP、ZK、GTZ、LC、CS 稀土矿点剖面主量元素含量

Table 1 Major element contents of the profiles at SGP, ZK, GTZ, LC and CS REE ore occurrences

编号	$w_B/\%$									CIA	TRE ₂ O ₃	采样位置
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	LOI			
GTZ-S-1	66.24	18.06	5.50	0.65	0.82	2.48	0.56	0.56	4.18	75.11	0.024	0~1 m 风化层
GTZ-S-2	66.00	17.63	4.00	0.65	1.80	2.08	0.34	0.64	6.46	74.61	0.046	1~2 m 风化层
GTZ-S-3	66.25	17.56	5.00	0.55	0.59	2.12	0.34	0.42	7.04	78.76	0.080	2~3 m 风化层
GTZ-S-4	64.34	16.87	5.50	0.65	1.11	1.63	0.34	0.56	7.04	78.92	0.104	3~4 m 风化层
GTZ-R-1	58.39	20.77	4.50	0.65	5.25	2.18	0.34	1.96	5.18	67.72	0.113	半风化基岩
ZK-S-1	63.20	18.17	5.50	0.60	2.64	1.59	0.45	0.85	6.92	74.25	0.054	0~1 m 风化层
ZK-S-2	64.18	17.41	5.00	0.55	3.13	1.95	0.22	1.44	5.76	71.32	0.060	1~2 m 风化层
ZK-S-3	64.16	17.79	5.40	0.55	2.54	1.66	0.34	1.15	6.21	74.45	0.144	2~3 m 风化层
ZK-S-4	64.02	16.33	5.25	0.58	3.15	2.14	0.34	2.36	5.56	68.36	0.082	3~4 m 风化层
ZK-S-5	64.38	16.79	4.50	0.55	3.35	1.75	0.34	1.72	5.65	70.18	0.040	4~5 m 风化层
ZK-R-1	64.52	17.71	4.50	0.55	3.07	1.54	0.34	0.84	6.00	73.17	0.112	半风化基岩
LC-S-1	61.28	20.46	4.50	0.45	1.85	1.75	0.34	0.52	7.94	78.80	0.084	0~2 m 风化层
LC-S-2	65.32	18.63	4.50	0.50	1.95	1.42	0.34	0.56	6.62	78.61	0.074	2~4 m 风化层
LC-S-3	65.35	19.15	4.00	0.45	2.50	1.46	0.34	0.56	6.08	76.96	0.090	4~6 m 风化层
LC-S-4	65.82	17.86	4.35	0.45	2.05	1.55	0.34	0.62	6.75	76.83	0.088	6~8 m 风化层
LC-S-5	66.88	15.85	4.50	0.45	2.53	2.11	0.34	0.64	5.70	69.84	0.024	8~10 m 风化层
LC-R-1	67.55	16.57	3.25	0.43	2.50	2.10	0.34	0.56	5.76	70.94	0.022	半风化基岩
SGP-S-1	71.88	13.82	2.85	0.20	2.56	2.85	0.34	0.48	4.50	63.09	0.040	0~2 m 风化层
SGP-S-2	69.86	15.04	2.50	0.25	2.45	2.21	0.34	0.72	5.64	68.49	0.050	2~4 m 风化层
SGP-S-3	68.02	16.41	3.50	0.35	3.08	2.33	0.34	0.85	5.03	67.79	0.046	4~6 m 风化层
SGP-S-4	69.52	16.03	3.50	0.35	2.45	1.53	0.35	0.86	5.35	73.39	0.026	6~8 m 风化层
SGP-S-5	68.12	16.95	2.75	0.38	3.73	2.11	0.34	0.76	4.78	67.56	0.026	8~10 m 风化层
SGP-R-1	64.74	16.11	5.50	0.55	3.99	3.55	0.39	1.88	2.44	59.68	0.172	半风化基岩
CS-1	58.36	23.03	6.00	0.62	2.32	0.07	0.03	0.61	8.88	89.53	0.054	0~1 m 风化层
CS-2	59.09	21.86	5.56	0.59	2.33	0.06	0.07	0.66	9.70	88.82	0.056	1~2 m 风化层
CS-3	60.62	21.39	5.24	0.60	2.62	0.08	0.18	0.70	8.48	86.63	0.033	2~3 m 风化层
CS-4	62.80	20.77	4.23	0.50	4.12	0.09	<0.01	0.69	6.72	81.83	0.050	3~4 m 风化层
CS-5	66.61	19.01	3.04	0.47	4.19	0.10	<0.01	0.61	5.88	80.14	0.031	4~5 m 风化层
CS-6	63.36	18.58	5.00	0.65	5.94	0.15	0.02	1.58	4.62	73.43	0.025	半风化基岩
CS-R-1	68.59	15.44	3.42	0.48	6.76	1.87	0.11	0.46	2.77	59.27	0.054	基岩

注: CIA 指数以摩尔百分含量计算($CIA = \frac{x(Al_2O_3)}{[x(Al_2O_3) + x(CaO) + x(Na_2O) + x(K_2O)]} \times 100$), 样品编号 S 代表土壤, R 代表原岩。测试单位: 江西省地矿局赣南中心实验室。

随深度增加, CS 矿点主量元素具有以下特点(图 3)。(1) SiO₂、K₂O 和 Na₂O 含量逐渐增加, Al₂O₃、TFe₂O₃、TRE₂O₃、TiO₂ 含量逐渐减少, MgO 变化较小, CaO 没有统一的变化规律, 说明可能有次生氧化钙生成; (2) 挥发份含量(LOI)、化学蚀变指数(CIA)逐渐减小。

CIA 值可划分风化阶段: 风化早期 CIA < 65, 风化中期 CIA 为 65~85, 风化晚期 CIA > 85^[17]。由各矿点剖面主量元素与 CIA 的指数协变关系图

(图 4)可知, 这些矿点的岩石经历了风化早期阶段和中期阶段, K、Na、Ca、Mg 等活动性强的元素已基本完全风化, Ti 相对稳定, 只有极少数残留在风化壳中; LC 矿点、CS 矿点已达到化学风化晚期阶段, 进入脱硅富铝化阶段^[17-18]。

3.3 稀土元素

由 MB 矿点、GC 矿点、DF 矿点、CS 矿点稀土元素含量(表 2)可知, 4 处稀土矿点的稀土元素组分相似, 稀土元素总量为(148.48~881.12)×10⁻⁶, 轻、

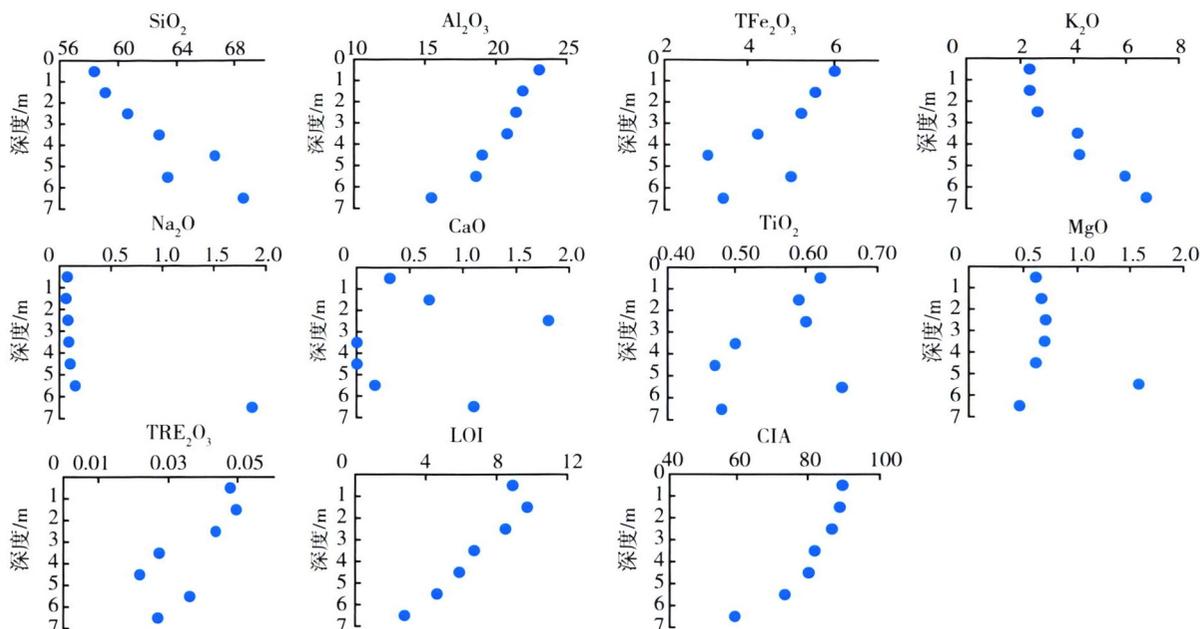


图 3 CS 矿点主量元素随剖面深度变化趋势图

Fig. 3 Diagrams showing the changing trend of major element contents with depth for the CS profile

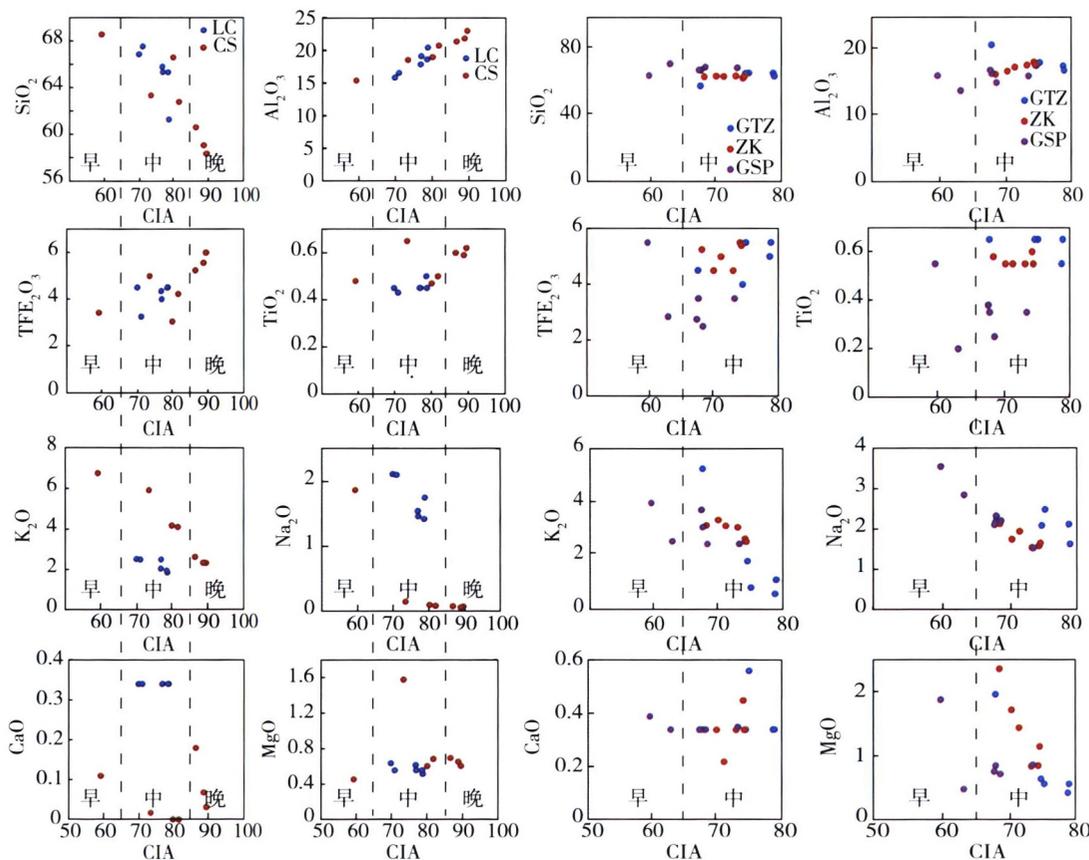


图 4 各矿点剖面主量元素与 CIA 指数关系图

Fig. 4 Correlation diagrams of major element contents vs. CIA index for profiles at all ore occurrences

表2 MB、GC、DF、CS矿点稀土元素含量
Table 2 REE contents of MB, GC, DF and CS ore occurrences

样品编号	$\omega_B/10^{-6}$														
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
MB-R-2-1	38.9	112	8.63	31.3	6.02	0.53	5.41	0.95	6.14	1.3	4.13	0.65	4.60	0.72	36.4
MB-R-2-2	110.0	127	24.6	87.9	15.90	1.69	11.80	1.77	8.99	1.72	4.81	0.68	4.62	0.7	46.3
MB-R-4	65.0	131	13.6	48.5	7.91	1.33	6.51	0.92	5.33	1.05	3.13	0.47	3.05	0.49	28.3
MB-R-7	69.8	101	17.3	62.0	10.80	1.46	8.80	1.41	7.91	1.59	4.58	0.64	4.23	0.64	42.8
MB-S-5	54.9	124	11.8	42.0	7.86	0.78	6.64	1.08	6.44	1.33	4.01	0.62	4.35	0.67	36.9
MB-S-6	104.0	72.9	22.6	79.9	14.80	2.38	12.70	2.12	11.50	2.30	6.35	0.87	5.87	0.88	61.0
MB-S-7	103.0	160	20.5	72.9	13.10	1.22	10.60	1.66	8.80	1.77	5.22	0.77	5.21	0.80	48.9
GC-R-1	51.1	132	10.7	38.1	6.48	0.99	5.85	0.86	5.14	1.02	3.05	0.53	3.08	0.47	27.2
GC-R-2	61.1	109	13.3	47.3	8.38	1.12	7.07	1.15	6.94	1.51	3.96	0.58	3.91	0.59	35.3
GC-R-3	53.7	124	11.0	38.4	6.13	1.09	5.42	0.77	4.59	0.89	2.76	0.42	2.81	0.44	23.4
GC-R-4	107.0	179	23.8	86.5	14.40	2.63	11.70	1.75	9.27	1.85	5.21	0.72	4.62	0.69	47.3
GC-R-5	131.0	107	23.4	85.5	19.20	3.92	25.10	5.01	28.20	5.99	15.50	2.0	12.80	1.81	179.0
GC-R-6	66.7	132	14.5	51.1	8.31	1.37	7.07	0.98	6.34	1.04	3.13	0.46	3.06	0.46	27.8
GC-S-1	48.4	98.8	11.0	39.8	7.22	1.34	6.16	0.92	5.40	1.07	3.22	0.48	3.17	0.48	28.7
GC-S-2	59.1	146	14.6	53.1	9.28	1.54	7.63	1.15	6.48	1.30	3.92	0.59	4.04	0.60	34.2
GC-S-3	80.7	163	16.3	60.2	11.10	1.68	10.00	1.58	9.21	1.95	5.68	0.81	5.51	0.83	51.6
GC-S-4	60.2	144	12.9	44.7	7.03	1.25	6.11	0.88	4.97	0.96	2.90	0.44	2.83	0.45	25.4
GC-R-S-5	81.9	144	17.1	61.9	11.20	1.24	9.48	1.49	8.35	1.74	5.04	0.72	4.74	0.70	46.5
GC-S-6	153.0	184	32.3	114.0	19.80	3.50	15.90	2.42	12.30	2.48	6.72	0.90	5.77	0.82	64.3
GC-S-7	300.0	141	65.9	230.0	44.30	6.85	32.60	4.90	23.80	4.74	12.60	1.66	11.20	1.57	117.0
GC-S-8	92.0	164	18.5	65.4	10.70	1.65	8.81	1.24	6.82	1.34	4.01	0.58	3.80	0.57	36.3
DF-R-1	101.0	104	21.7	82.3	14.50	3.40	11.00	1.50	7.39	1.40	3.86	0.53	3.38	0.57	38.1
DF-R-2	58.1	116	13.4	48.0	8.99	1.10	7.58	1.23	7.13	1.49	4.47	0.71	4.82	0.73	39.6
DF-R-3	73.2	113	12.9	44.7	6.88	1.12	6.34	0.94	5.56	1.16	3.52	0.51	3.39	0.55	33.8
DF-R-4-1	52.3	151	11.2	40.3	7.05	1.17	6.42	0.95	5.64	1.11	3.44	0.52	3.55	0.56	28.8
DF-R-4-2	84.1	162	16.4	57.4	9.92	1.12	8.25	1.27	7.11	1.33	3.81	0.56	3.69	0.56	35.0
DF-R-5-1	34.0	69.7	7.51	27.1	4.62	0.75	4.07	0.66	4.16	0.85	2.71	0.42	2.87	0.46	22.5
DF-R-5-2	37.7	73.1	8.24	31.4	5.46	1.51	4.64	0.66	3.92	0.76	2.36	0.37	2.41	0.40	19.9
DF-R-6-1	35.1	62.2	6.8	24.5	4.31	0.91	4.11	0.83	4.55	0.93	3.25	0.43	2.75	0.48	24.1
DF-R-6-2	34.8	67.7	7.53	28.3	4.93	1.32	4.29	0.61	3.55	0.66	2.36	0.33	2.17	0.37	18.2
DF-R-7	103.0	226	23.9	90.1	18.40	2.80	14.70	2.22	11.40	2.16	5.92	0.82	5.68	0.87	52.7
DF-S-1	35.1	61.2	7.45	27.5	5.10	1.43	3.98	0.49	2.58	0.40	1.32	0.22	1.46	0.25	11.8
DF-S-2	51.1	132.0	12.3	44.8	7.80	1.31	6.59	0.96	5.60	1.13	3.40	0.52	3.44	0.53	29.8
DF-S-3	57.3	85.2	11.9	41.8	6.88	1.15	5.70	0.86	5.02	0.97	2.99	0.45	3.01	0.48	26.3
DF-S-4	86.2	169	17.0	59.5	9.52	1.31	8.00	1.17	6.66	1.37	4.08	0.59	3.99	0.62	36.9
DF-S-5	52.4	104	10.9	38.0	6.26	1.00	5.23	0.77	4.52	0.86	2.83	0.42	2.86	0.46	23.4
DF-S-6	132.0	56.6	26.3	93.2	19.60	3.21	18.10	2.95	14.50	2.73	7.19	0.99	6.67	1.07	72.8
DF-S-7	64.6	173	15.2	56.8	10.30	1.70	8.84	1.34	7.46	1.53	4.44	0.67	4.35	0.67	39.3
CS-1	135.0	179.0	24.8	79.9	14.30	2.90	13.40	1.96	11.40	2.20	6.08	0.88	5.27	0.76	64.7
CS-2	142.0	180.0	26.3	83.7	15.40	3.13	14.10	2.14	12.30	2.34	6.45	0.94	5.57	0.79	69.8
CS-3	124.0	156.0	23.3	74.2	13.60	2.84	12.80	1.95	11.40	2.15	5.89	0.86	5.13	0.73	63.8
CS-4	73.3	99.9	15.1	47.8	8.52	1.80	7.81	1.19	6.96	1.36	3.93	0.59	3.84	0.57	40.3
CS-5	47.0	99.7	10.0	32.6	6.11	1.34	5.70	0.83	5.08	0.99	3.02	0.50	3.26	0.52	30.0
CS-6	79.3	65.8	17.6	58.4	11.60	2.00	10.00	1.57	8.99	1.72	4.97	0.77	5.12	0.79	47.9
CS-R-1	127.0	54.5	22.9	71.9	14.80	3.87	17.90	3.08	18.50	3.64	9.98	1.40	7.63	1.02	107.0

测试单位:国土资源部南昌矿产资源监督检测中心;样品编号S代表土壤;R代表原岩。

重稀土元素分馏明显,属轻稀土富集型。在球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图上(图 5),各矿点稀土元素的配分模式基本相似,均呈轻稀土相对富集、重稀土相对亏损的右倾型,具有中等程度的 Eu

负异常。球粒陨石标准化稀土元素配分曲线相互平行,只有位置高低差异,说明各矿点的稀土元素总量略有不同,且所有矿点稀土元素具有相近的物源。

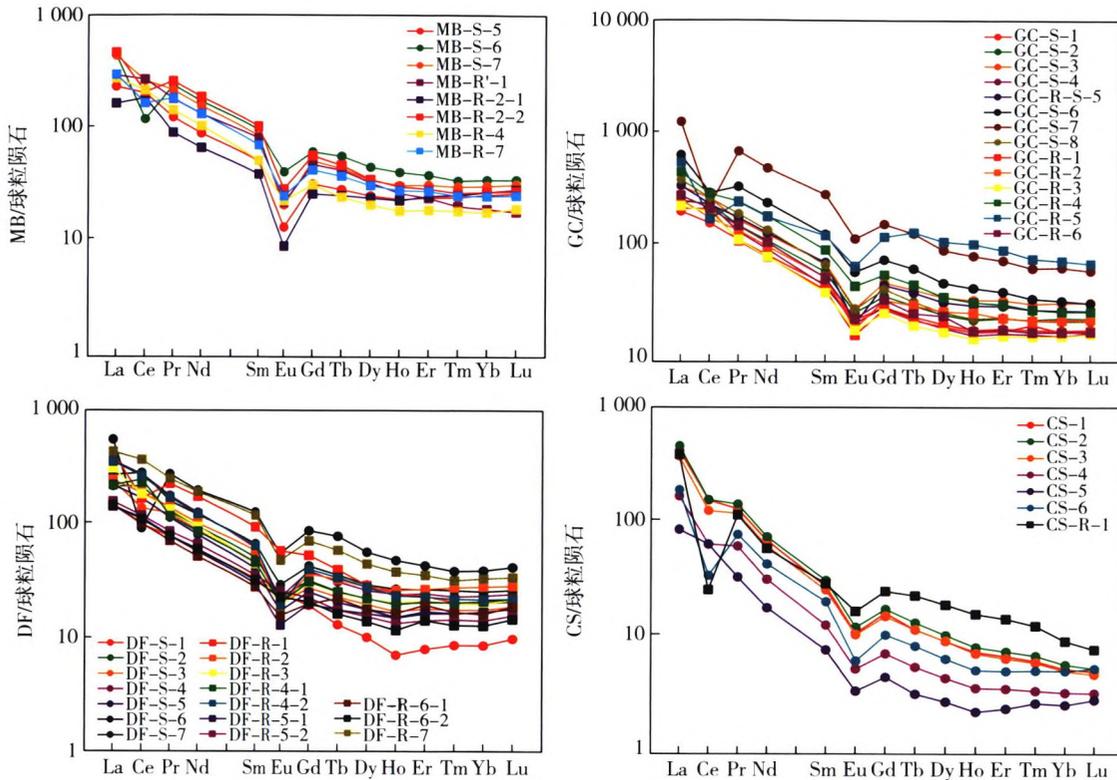


图 5 各矿点样品球粒陨石标准化稀土元素配分模式图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE distribution patterns of MB, GC, DF and CS ore occurrences

由表 1 可知,GTZ 矿点、SGP 矿点稀土元素含量随风化剖面由上到下逐渐增加,且 GTZ 剖面稀土元素变化较 SGP 剖面明显,原岩在风化过程中稀土元素没有次生富集,反而减少。LC 矿点和 CS 矿点稀土元素含量随风化剖面由上到下逐渐减少,原岩在风化时稀土元素次生富集明显,有利于形成离子吸附型稀土矿床。

CS 矿点 CIA 指数变化最明显,LC 矿点 CIA 指数变化次之,SGP 矿点、ZK 矿点、GTZ 矿点 CIA 指数变化不明显。CIA 指数在垂向剖面上的指示效果比稀土元素总量 TRE_2O_3 对风化壳剖面深度的指示

4 讨论

4.1 稀土元素富集特征

各稀土矿点 CIA 指数、稀土元素总量与风化壳剖面深度关系如图 6 所示。随剖面深度增加,稀土元素总量变化各异,风化壳从深部到表层,LC 矿点和 CS 矿点稀土元素总量增加,GTZ 矿点稀土元素总量减少,SGP 矿点和 ZK 矿点稀土元素波动较大;

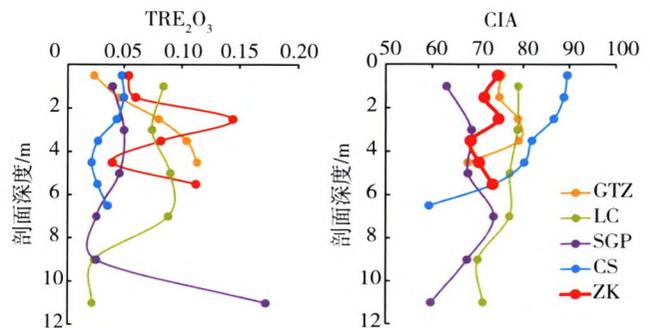


图 6 稀土元素总量、CIA 指数与风化壳剖面深度关系图

Fig. 6 Diagrams showing the relationship of ΣREE vs. depth and CIA index vs. depth of weathering crust

效果好。

以稀土矿点原岩作为基数(>1, 稀土富集), 计算各矿点的稀土元素富集系数。稀土元素富集系数与 CIA 指数关系如图 7 所示, 风化壳稀土元素富集程度与 CIA 指数具有密切关系, 其中风化指数最高的 LC 矿点和 CS 矿点, 其风化壳稀土元素富集程度较高, 而其他矿点稀土元素富集程度相对较低。

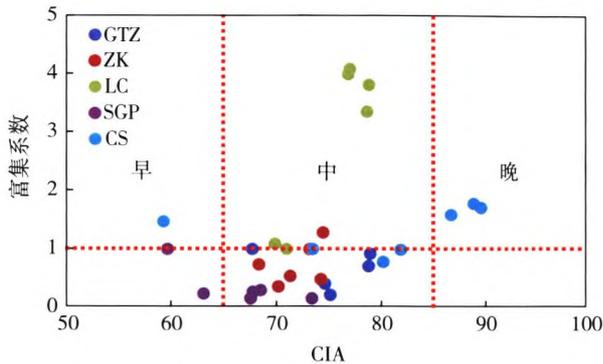


图 7 稀土元素富集系数与 CIA 指数关系

Fig. 7 Diagram showing the relationship between REE enrichment coefficients vs. CIA index

地表岩石的风化过程可分为碎屑阶段、钙沉淀或饱和和硅铝阶段、酸性硅铝阶段和富铝化阶段^[19]。本次研究显示(图 4), LC 矿点、CS 矿点 SiO_2 与 CIA 指数呈负相关, Al_2O_3 与 CIA 呈正相关, 说明该风化壳已进入中晚期风化, 经强烈的淋溶作用, 硅酸盐与铝硅酸盐中的硅酸部分淋失, 铝开始富集。野外观察到风化壳呈砖红色, 稀土元素野外快速测试显示此类风化壳稀土元素含量相对较高。因此, 风化壳在经历风化的中晚期阶段时, 稀土元素富集程度最好, CIA 是指示风化壳离子吸附型稀土矿富集程度的重要参数之一。

4.2 启示

近年来, 在福建省龙岩市万安地区寒武纪林田组浅变质岩系风化壳中发现了同类型稀土矿床, 且均为轻稀土富集型^[20], 其时代明显晚于赣南变质岩风化壳型稀土矿床含矿母岩。因此, 变质岩风化壳型离子吸附型稀土矿的形成与变质岩时代无关。此外, 以往寻找离子吸附型稀土矿床往往寻找花岗岩类岩体。但是, 在广东禾尚田首次发现了灰岩风化壳离子吸附型富铈稀土工业矿床^[21]。因此, 风化壳离子型稀土矿床找矿应拓展思路, 不能局限于花

岗岩类岩体。

各类风化壳的稀土元素主要来自母岩。江西神山组和库里组均具有 ΣREE 较高、轻稀土元素富集、Eu 亏损、曲线右倾的特征^[16]。龙岩市万安寒武纪林田组也具有稀土元素富集的特征^[20], 与上地壳和太古宙页岩相似^[22]。赣南赋稀土矿的花岗岩风化壳成矿母岩是燕山期 S 型花岗岩, 此类花岗岩物质来源于地壳^[6], 说明离子吸附型稀土矿的成矿物质可能主要来自母岩。

5 结论

(1) 宁都地区青白口纪变质岩离子吸附型稀土矿床中, 浅变质岩系的地球化学特征表现为 SiO_2 含量中等、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值较高, $\text{TFe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 和 CaO 较低, 稀土元素总量较高, 轻稀土富集, Eu 亏损中等。

(2) 浅变质岩经历了风化的早期阶段和中期阶段, 部分矿点已达到化学风化晚期阶段; 稀土元素富集程度主要受制于原岩稀土元素丰度和风化指数 CIA。

参考文献

- [1] 池汝安, 田君. 风化壳淋积型稀土矿化工冶金[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] 袁忠信. 中国稀土矿床成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2012.
- [3] 张恋, 吴开兴, 陈陵康, 等. 赣南离子吸附型稀土矿床成矿特征概述[J]. 中国稀土学报, 2015, 33(1): 10-17.
- [4] 王登红, 赵芝, 于扬, 等. 离子吸附型稀土资源研究进展、存在问题及今后研究方向[J]. 岩矿测试, 2013, 32(5): 796-802.
- [5] 吴学敏, 周敏娟, 罗喜成, 等. 江西西北部锂及稀有金属成矿条件及找矿潜力分析[J]. 华东地质, 2016, 37(4): 275-283.
- [6] 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.
- [7] 杨岳清, 赵芝, 王成辉. 风化壳离子吸附型稀土矿成矿作用及制约条件[J]. 地质论评, 2016, 62(B11): 429-431.
- [8] 曾载淋, 王先广, 邹新勇, 等. 江西省宁都县葛藤嘴矿区稀土矿普查报告[R]. 赣州: 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队, 2015.
- [9] 刘仁生, 李强, 龚敏, 等. 赣南变质岩风化壳离子吸附型

- 稀土矿找矿新前景[J]. 地球科学前沿, 2014, 4(6): 419-425.
- [10] 李奇,赵鹏坤.江西龙潭地区新型稀土矿找矿远景分析[J]. 科学与财富, 2015, 7(36):370-370.
- [11] 赵芝,王登红,邹新勇,等.江西宁都葛藤嘴浅变质岩离子吸附型稀土矿成矿模式[J]. 地质论评, 2016, 62(Z):421-422.
- [12] 张芳荣,吴富江,黄新曙.赣中南新元古代潭头群变质沉积岩物源及构造背景[J]. 东华理工大学学报:自然科学版, 2009, 32(2):134-140.
- [13] 舒良树,孙岩,王德滋,等.华南武功山中生代伸展构造[J]. 中国科学, 1998, 28(5):431-438.
- [14] 张芳荣.江西中—南部加里东期花岗岩地质地球化学特征及其成因[D].南京: 南京大学, 2011.
- [15] 江西省地质矿产局.江西省区域地质志[M].北京: 地质出版社, 1984.
- [16] 时国,郭福生,谢财富,等.赣中相山铀矿田基底变质岩原岩恢复及其形成环境[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 457-468.
- [17] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. Nature, 1982, 299:715-717.
- [18] 冯连君,储雪蕾,张启锐,等.化学蚀变指数(CIA)及其在新元古代碎屑岩中的应用[J]. 地学前缘, 2003, 10(4):539-544.
- [19] 王敦,东野光亮.地质学与地貌学教程[M].北京: 中国农业出版社, 2005.
- [20] 丘文.龙岩市万安稀土矿区变质岩风化壳离子吸附型稀土矿的发现及其找矿意义[J]. 世界有色金属, 2017, (4):242-244.
- [21] 黄华谷,胡启锋,程亮开,等.广东禾尚田矿区新类型风化壳离子吸附型稀土矿的发现及意义[J]. 地质与勘探, 2014, 50(5):893-901.
- [22] Taylor S R, McClennan S M. The continental crust: Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks[J]. Journal of Geology, 1985, 94(4):632-633.

Geochemistry characteristics of ion-absorbed rare earth deposits in low-grade metamorphic rock in the Ningdu area, southern Jiangxi Province and its prospecting significance

ZHOU Xue-gui, WANG Shui-long, YUAN Cheng-xian,
GONG Min, ZOU Dong-feng, MIAO Xiang-liang, LIU Xi

(Geology and Mineral Resource Exploration and Development Center of Jiangxi Province, Nanchang 330030, China)

Abstract: Ion-absorbed rare earth deposits in low-grade metamorphic rock are new-type rare earth deposits found recently in Jiangxi Province. This study mainly focused on Neoproterozoic low-grade metamorphic rocks of the Shenshan and Kuli Formations in southern Jiangxi Province. Based on field geological survey and experimental tests, the geochemical characteristics of the deposits of this kind were summarized. The low-grade metamorphic rocks in the study area are characterized by moderate SiO_2 and total alkali contents, high $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratios, low $\text{TFe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ and CaO contents. They show high total ΣREE and ΣLREE , distinct LREE/HREE fractionation, as well as moderate Eu depletion. This study shows that parts of occurrences have been at the late stage of chemical weathering. Besides, the weathering crust in each rare earth ores display similar REE distribution patterns as their protoliths. The enrichment degree of REEs depends mainly on REE abundances and CIA values of protoliths. And weathering crust inherits the REE patterns of the protolith.

Key words: geochemical characteristics; ion-absorbed rare earth deposit; low-grade metamorphic rocks; Ningdu area; southern Jiangxi Province