

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2019.02.008

引用格式: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,40(2):143-151.

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

陈斌锋,邹新勇,彭琳琳,周兴华,阙兴华,张青

(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:通过对赣南地区变质岩离子吸附型稀土矿床进行岩石学、稀土元素地球化学和矿床地质特征研究,探讨变质岩离子吸附型稀土矿床的控矿因素、矿床成因及下一步找矿方向。赣南地区变质岩的原岩时代主要为青白口纪—奥陶纪,变质岩的稀土元素丰度较高,属轻稀土富集型。已发现的离子吸附型稀土矿床主要赋存于震旦纪—青白口纪变质岩中,以青白口纪库里组和南华纪寻乌岩组为主。石城—宁都—瑞金浅变质岩区和会昌—安远—寻乌中深变质岩区可作为离子吸附型稀土矿勘查的首选地区。

关键词:赣南地区;变质岩;离子吸附型稀土矿;地质特征;找矿方向

中图分类号:P618.7

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2019)02-143-09

赣南地区指江西省赣州市所辖区域,是我国离子吸附型稀土矿的主要产区,其成矿母岩有花岗岩、火山岩、混合岩^[1]和近些年新发现的浅变质岩^[2]。赣南地区变质岩分布广泛,稀土资源找矿潜力巨大。受葛藤嘴稀土矿床的启发,江西省地质勘查基金管理中心和赣州市稀土资源远景调查评价项目组对赣南地区变质岩进行了系统的稀土资源远景调查,基本摸清了区内变质岩风化壳离子吸附型稀土矿床的分布特征,可为我国稀土战略提供强有力的资源保障,也为今后稀土矿勘查提供思路和方向。目前,国内外对花岗岩、火山岩和混合岩稀土成矿母岩的研究程度较高,研究成果也较丰富^[3-8],而对变质岩离子吸附型稀土矿的研究较少^[9-10]。为此,本文重点探讨赣南地区与稀土成矿关系密切的变质岩分布特征和离子吸附型稀土矿的找矿方向,为该区今后开展变质岩离子吸附型稀土矿调查选区提供参考。

1 变质岩特征

赣南地区变质岩分布较为广泛,出露面积约14 605 km²,占市域面积的37.06%^[11]。区域变质岩、热接触变质岩和断裂(动力)变质岩均有分布,其中区域变质岩大面积分布,热接触变质岩主要分布在岩浆岩侵入体外接触带,断裂(动力)变质岩呈线状发育在断裂带中,大多数分布在区域变质岩区^[12]。

1.1 变质作用时期

赣南地区变质岩的原岩时代主要为青白口纪—奥陶纪,变质作用可分为早古生代区域变质作用和中生代热接触变质作用。

(1)早古生代区域变质作用。青白口纪晚期—早古生代的一套连续沉积的巨厚岩系(志留系基本缺失),被中泥盆世及其以后的沉积岩不整合覆盖,

* 收稿日期:2018-06-09 修订日期:2018-07-12 责任编辑:谭桂丽

基金项目:基本科研业务费专项基金“赣南变质岩离子吸附型稀土矿成矿规律与找矿方向研究(编号:YYWF201527)”,财政部、工业和信息化部、国土资源部“江西省赣州市稀土资源远景评价”和中国地质调查局“华南重点矿集区稀有稀散和稀土矿产调查(编号:DD20160056)”项目联合资助。

第一作者简介:陈斌锋,1991年生,男,工程师,主要从事地质找矿工作。

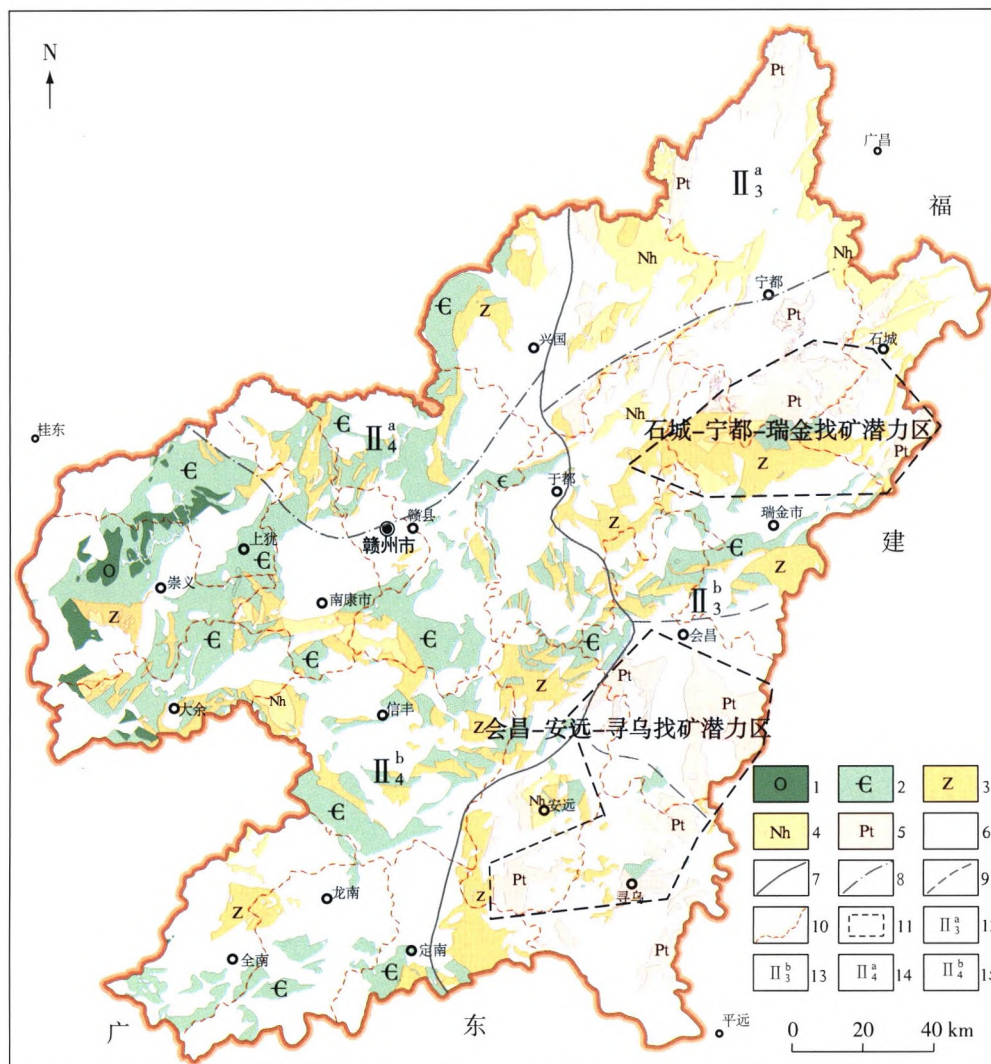
沉积盖层基本未变质。侵入于浅变质岩系并被中泥盆世沉积岩不整合覆盖的上犹花岗岩体和龙回花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄分别为 408.2 ± 4.7 Ma 和 443.9 ± 3.2 Ma^[13]。因此,推断早古生代变质作用时期主要为志留纪,即加里东运动晚期。

(2) 中生代热接触变质作用。主要为印支期和燕山期构造热事件的变质叠加和改造,大规模岩浆侵入和火山活动与不同围岩接触形成高热变质和接触交代变质,在深部岩体特别是岩体边部和顶部发生自变质作用^[12]。

1.2 变质岩分区

根据《中国区域地质志江西志》^[12],赣南地区

区域变质岩单元大致以兴国一定南为界,划分为 2 个区域:西部(罗霄山—诸广山加里东期造山带浅变质区 II₄)主要为寒武纪和奥陶纪变质的绿片岩相,以浅部低温动力变质岩为主,热隆变质范围有限且分布零星,可细分为北部罗霄山浅变质岩小区(II₄^a)和南部诸广山—大庾岭浅变质岩小区(II₄^b);东部(南武夷山加里东期造山带中深变质区 II₃)主要为前震旦纪变质岩,可细分为北武夷中深变质岩小区(II₃^a)和南武夷浅变质岩小区(II₃^b),而南武夷浅变质岩小区又细分为石城—宁都—瑞金浅变质岩区和会昌—安远—寻乌中深变质岩区(图 1)。



1. 奥陶系; 2. 寒武系; 3. 震旦系; 4. 南华系; 5. 青白口系; 6. 其他岩类分布区 7. 变质岩二级分区界线; 8. 变质岩三级分区界线; 9. 变质岩四级分区界线; 10. 县界; 11. 重要稀土潜力区范围; 12. 北武夷中深变质岩小区; 13. 南武夷浅变质岩小区; 14. 罗霄山浅变质岩小区; 15. 诸广山—大庾岭浅变质岩小区

图 1 赣南地区变质岩分布图(据 1:25 万赣南地区区域地质图修编)

Fig. 1 Distribution of the metamorphic rocks in South Jiangxi (modified from 1:250 000 regional geological map of South Jiangxi)

1.3 变质岩组合

赣南地区区域变质岩地层划分见表 1,可分为 3 个岩石组合^[12]。

(1)青白口纪晚期变质岩系。原岩为巨厚海相泥沙质和凝灰岩类,变质岩主要为千枚岩-变沉凝灰

岩-变杂砂岩组合。神山组以千枚岩为主;库里组以变砂岩和变沉凝灰岩为主,局部夹有变细碧岩、变石英角斑岩、变玄武岩和硅质岩层,主要分布于石城—宁都—瑞金浅变质岩区,是该区最主要的稀土含矿母岩。

表 1 赣南地区变质岩地层划分
Table 1 Stratigraphic division of the metamorphic rocks in southern Jiangxi Province

年代地层			岩石地层		主要岩石类型
界	系	统	组	代号	
下古生界	奥陶系	上统	石口组	O _{3s}	长石石英砂岩、岩屑杂砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩
		中统	对耳石组	O _{2-3d}	灰黑色中薄层状硅质板岩夹碳质板岩
		下统	茅坪组	O _{1m}	板岩、粉砂质板岩、含碳绢云母板岩、偶夹绿泥板岩
	寒武系	上统	水石组	Є _{3sh}	厚—巨厚层变余中细粒长石石英砂岩、粉砂质板岩
		中统	高滩组	Є _{2gt}	巨厚层状变余长石石英杂砂岩、夹条纹状粉砂质板岩、板岩
		下统	牛角河组	Є _{1nj}	高碳质板岩、含碳硅质岩、长石石英砂岩、凝灰质砂岩、泥质板岩
新元古界	震旦系	上统	老虎塘组	Z _{2l}	灰白色—浅灰色硅质岩夹碳质绢云千枚岩、绢云千枚岩
		下统	坝里组	Z _{1b}	变余长石石英砂岩、凝灰质砂岩、粉砂质板岩偶夹硅质板岩
	南华系	上统	沙坝黄组	Nh _{2-3s}	变余含砾砂岩、变余砂岩、千枚岩、磁铁石英岩
		下统	上施组	Nh _{1s}	千枚岩、千枚状变杂砂岩、变含凝灰质岩石
			寻乌岩组	Pt _{3x}	石英二云片岩、二云母片岩、黑云母变粒岩、黑云斜长片麻岩
	青白口系	上统	库里组	Pt _{3k}	变沉凝灰岩、变余长石石英砂岩、变砂岩
			神山组	Pt _{3s}	碳质千枚岩、绢云千枚岩、粉砂质千枚岩、凝灰质千枚岩

(2)南华纪—震旦纪变质岩系。下南华统上施组为千枚岩-千枚状变杂砂岩组合和含凝灰质岩石,上南华统沙坝黄组为千枚岩-磁铁石英岩-变余含砾砂岩组合。下震旦统坝里组为变杂砂岩-千枚岩组合,老虎塘组为硅质岩和硅质板岩组合。寻乌岩组为一套片岩、变粒岩和片麻岩组合,具跨时代沉积,其顶部地层时代可能属于早震旦世,主要分布于武夷山造山带变质岩区,目前在该段地层已发现呈一定规模的离子吸附型稀土矿床。

(3)寒武纪—奥陶纪变质岩系。主要分布在赣南西部罗霄复式向斜,变质程度比南华系—震旦系浅。寒武纪牛角河组和水石组为千枚岩(千枚状板岩)-变杂砂岩组合,局部有片岩-变粒岩。以底部碳质千枚岩、中部夹数层不稳定复成分砾岩、上部夹不纯灰岩为特征,有时可见变沉凝灰岩夹层。奥陶系为一套巨厚的以细砂、泥质为主的沉积岩夹硅质泥质岩层,变质矿物含量低,反映变质程度极浅,为泥质(页)岩、粉砂岩和细砂岩组合。

1.4 变质岩岩性特征

赣南地区变质岩有变沉凝灰岩、变砂岩、板

(页)岩、绢云板岩、绢云千枚岩、片岩、变粒岩和片麻岩类。变沉凝灰岩主要分布在石城—宁都—瑞金一带,为该区最重要的稀土矿成矿母岩,岩性为变余粉屑-细屑-中屑沉凝灰岩。变砂岩类在该区大面积分布,按矿物成分和含量,可分为变砂岩、变杂砂岩和变长石石英砂岩,组构特征基本保留,仅胶结物发生变质重结晶。板岩、千枚岩类常与变(杂)砂岩夹层或互层,变质矿物主要为绢云母,有时可见含量不等的绿泥石和黑云母雏晶,当新生片状矿物结晶形态较好时,显示丝绸光泽,过渡为千枚岩类。云母片岩、变粒岩和片麻岩类主要分布于寻乌—会昌、赣县清溪、兴国杨村和南康内潮,以云母片岩为主,有白云(英)片岩和二云片岩,偶见斜长变粒岩和角闪斜长片麻岩。

2 稀土元素地球化学特征

赣南地区寒武纪—青白口纪变质岩稀土元素含量见表 2,球粒陨石标准化稀土元素配分曲线见图 2。寒武纪—青白口纪各类变质岩稀土元素总量为 $(75.49\sim339.21)\times10^{-6}$,平均值为 257.20×10^{-6} ,稀

土元素总量较高。其中,泥质岩稀土元素总量平均值为 273.21×10^{-6} , 大于砂质岩稀土元素总量平均值 239.56×10^{-6} ; $\Sigma \text{Ce}/\Sigma \text{Y}$ 为 $2.92 \sim 6.31$, 平均值为 3.86, 属轻稀土富集型。各类变质岩稀土元素配分曲线形态基本呈右倾式, δEu 平均值为 0.53, 为 Eu 弱负

异常。多数样品无 Ce 异常, 仅库里组变细屑沉凝灰岩和神山组碳质千枚岩具 Ce 弱负异常。赣南地区寒武纪—青白口纪变质岩配分曲线形态基本相近, 表明青白口纪—寒武纪原岩沉积时构造环境平稳, 沉积物来源相同, 供给也相对稳定。

表 2 赣南地区变质岩稀土元素含量及特征参数

Table 2 Rare earth elements content and characteristic parameters of the metamorphic rocks in South Jiangxi

地层	岩性	稀土元素含量/ 10^{-6}															特征参数	
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$
牛角河组	绢云千枚岩	71.50	95.81	13.20	53.8	9.49	2.08	7.29	1.44	6.55	1.40	2.91	0.56	3.39	0.52	30.42	300.34	4.51
	变质长石石英砂岩	44.80	74.63	8.88	33.9	6.61	1.30	6.01	1.23	6.55	1.55	3.39	0.65	3.80	0.62	35.40	228.96	2.87
老虎塘组	变质长石石英砂岩	48.30	97.40	12.10	39.4	6.68	1.01	5.21	0.54	3.58	0.43	1.38	0.24	1.48	0.26	—	218.01	15.62
沙坝黄组	绿泥绢云千枚岩	42.00	81.10	9.62	35.6	6.79	1.39	5.94	0.87	5.36	1.01	3.02	0.52	2.92	0.46	29.60	226.20	3.55
	绢云千枚岩	64.10	120.00	14.20	52.2	10.10	1.45	8.75	1.31	7.97	1.49	4.47	0.88	4.26	0.64	42.00	333.82	3.65
	含磁铁赤铁矿绢云千枚岩	53.90	100.00	11.40	40.1	6.88	1.06	5.51	0.86	5.38	1.08	3.39	0.64	3.47	0.54	31.70	265.91	4.06
上施组	砂质绢云千枚岩	31.90	63.90	8.11	29.3	5.73	0.86	4.87	0.82	4.94	0.97	2.99	0.45	3.10	0.50	27.80	277.75	3.63
	绿泥绢云千枚岩	37.00	69.40	9.11	33.6	6.87	1.33	6.25	0.98	6.04	1.15	3.50	0.68	3.67	0.61	32.30	212.49	2.85
	斑点状含砂粉砂质绢云千枚岩	60.10	116.00	12.20	43.8	8.09	1.04	6.53	0.99	5.83	1.12	3.42	0.59	3.45	0.54	32.30	296.00	4.40
库里组	变细粒长石砂岩	59.90	115.00	14.20	51.8	10.40	1.46	9.59	1.43	8.97	1.73	5.37	1.01	5.24	0.81	52.30	339.21	2.92
	变微细粒长石石英砂岩	41.30	79.60	9.46	34.0	6.67	1.01	5.62	0.88	5.20	0.99	2.94	0.48	2.84	0.44	27.50	172.04	3.89
	变质细屑沉凝灰岩	102.30	47.52	16.16	70.3	8.30	1.35	7.34	1.37	5.82	1.26	3.22	0.54	3.13	0.50	33.31	302.43	4.35
	变质粉屑沉凝灰岩	89.43	111.10	13.49	44.0	7.01	1.45	6.12	0.87	4.44	0.94	2.42	0.42	2.63	0.44	23.93	308.66	6.31
神山组	碳质千枚岩	16.75	16.01	4.03	18.6	2.84	0.69	2.19	0.35	2.02	0.46	1.25	0.24	1.48	0.24	8.38	75.49	3.55
	粉砂质千枚岩	72.98	96.61	14.77	57.2	8.69	1.98	7.26	1.03	5.61	1.23	3.22	0.55	3.28	0.52	25.80	300.71	5.20
寻乌岩组	变粒岩	40.20	72.68	9.11	32.9	6.38	1.11	5.82	1.01	5.42	1.02	2.95	0.50	2.99	0.48	27.67	210.27	3.39
	云母片岩	45.10	85.74	11.24	37.7	7.30	1.34	6.95	1.29	7.16	1.38	3.93	0.62	3.75	0.59	31.18	245.30	3.31
	片麻岩	26.10	54.07	5.85	21.7	3.96	0.66	3.76	0.67	3.79	0.77	2.38	0.43	2.55	0.44	20.45	147.51	3.19

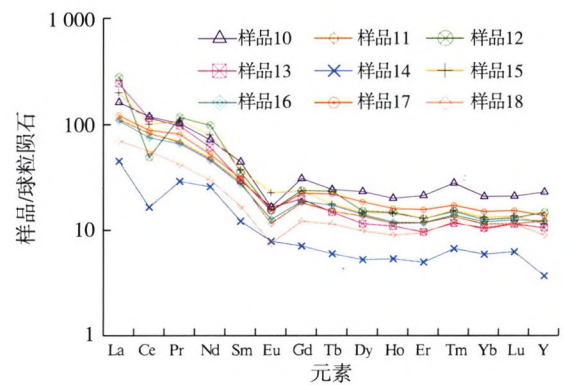
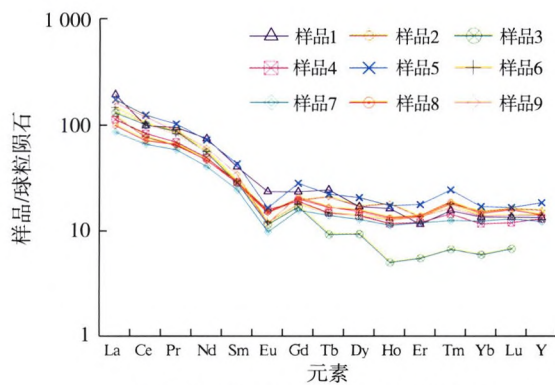


图 2 赣南地区变质岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图

Fig. 2 Chondrite-normalized REE distribution patterns of the metamorphic rocks in South Jiangxi

3 矿床地质特征

在该区已发现的离子吸附型稀土矿主要分布在震旦纪—青白口纪变质岩中^[11],包括青白口纪神山组和库里组、南华纪寻乌岩组和震旦纪坝里组^[14-15]。葛藤嘴稀土矿为国内乃至世界首次在变质岩中发现的离子吸附型稀土矿床,其成矿母岩为青白口纪神山组和库里组,笔者以此为典型矿床进行说明。

3.1 地形地貌及风化壳

葛藤嘴矿区以山间盆地和丘陵为主,地形起伏平缓,总体西南部较高、中部较低,沟谷纵横。标高230.0~499.2 m,风化壳出露标高230~410 m,相对切深<150 m。剥蚀不强烈,风化壳具面型分布,厚度1.4~20.3 m,平均厚度9.53 m。山形多呈不规则的浑圆状或馒头状,冲沟呈放射状,风化壳主要分布在平缓的山顶和山坡。

葛藤嘴矿区风化壳自上而下分为表土层、全风化层、半风化层和基岩,与赣南地区花岗岩风化壳结构基本相同^[16-18]。表土层一般厚0.3~3.5 m,分为灰黑色腐植土盖层和深褐红色黏土层。腐植土呈灰黑色,结构松散,含植物根系,由亚黏土、亚砂土和腐植土组成。腐植土以下为红色黏土层,植物根系少,颜色与上层明显不同,黏结性强。表土层一般在山顶较薄,在山脊、山脚较厚,样品稀土浸取相品位为0.015%~0.035%,少数可达工业品位。全风化层厚1.40~20.30 m,呈褐红色和褐黄色,少数呈灰白色,松散土状结构。原岩矿物基本解体,长石多风化成高岭土,呈土状,手搓具滑感。石英颗粒多数为0.05~1.00 mm,呈灰白色。微裂隙发育,多被黏土矿物充填,黏土含量为30%~40%。全风化层在山头和山

腰厚度较大,山脚厚度较薄,矿体主要赋存于该层中上部;半风化层厚数米至几十米,黏土含量为15%~20%,岩石的坚硬程度提高,其颜色、结构构造与原岩差异较小,手搓较难碎成粉末。长石多为碎粒状,局部有高岭土化,与全风化层逐渐过渡,顶部富集稀土元素构成矿体。稀土浸取相品位一般为0.01%~0.02%,仅少数样品有稀土矿化。基岩厚度不详,为区域褶皱基底^[11]。

3.2 矿体分布

葛藤嘴矿区稀土元素主要呈离子吸附态赋存在变质岩风化壳中,矿体主要分布于矿区中部库里组一段和二段变沉凝灰岩、变砂岩风化壳中。统计参与资源量估算的231个工程,发现矿体埋深0~5 m的工程有79个,占34.2%;矿体埋深5~10 m的工程有86个,占37.2%;矿体埋深10~15 m的工程有53个,占22.9%;矿体埋深15 m以上的工程有16个,占6.9%,表明该区多数矿体赋存在15 m以浅的全风化层中。

矿体平面多呈阔叶状、椭圆状或馒头状,剖面呈似层状随地形波状起伏,厚薄变化见图3。矿体倾角平缓,山顶倾角一般为5°~10°,沿山坡变陡为20°~30°,总体倾角较地形坡度略平缓。山顶矿体较厚,山脊次之,山坡及坡脚矿体较薄。矿体沿地层走向连续成片,一般长1 000~3 000 m,宽500~2 000 m,厚1.1~18.0 m,平均厚5.66 m。231个含矿工程中有123个工程矿体出露地表,说明该区剥蚀较强烈,矿体多被剥蚀而变薄。单工程样品稀土浸取相品位0.035%~0.139%,平均品位0.070%。稀土品位在剖面上主要以“漏斗型”为主,说明其剥蚀作用较强^[14]。

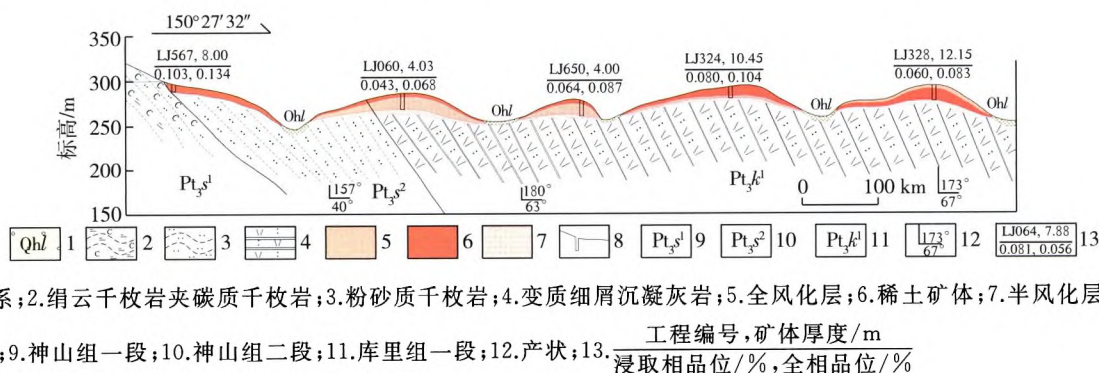


图3 赣南地区葛藤嘴变质岩离子吸附型稀土矿床矿体剖面示意图

Fig. 3 Schematic section showing the orebodies in the Getengzui metamorphic rock ion-adsorption REE deposit in South Jiangxi

3.3 矿石组成

矿石矿物主要由黏土矿物、石英、残余长石和云母类组成,次为变质岩中难风化分解的磁铁矿和磷灰石。矿石中黏土矿物主要有高岭石、埃洛石和水云母,含量为15%~40%;石英含量为30%~40%,残余长石含量为5%~10%,绢云母含量为15%。在风化壳形成中,黏土矿物是稀土离子的良好载体。矿石的化学成分以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主,含量占82.51%;其次为 Fe_2O_3 、 FeO 和 MgO ,总含量占7.69%, K_2O 、 TiO_2 和 Na_2O 总含量占5.89%。

该区各地层渗透系数远小于赣南地区花岗岩稀土矿的渗透系数,平均值为赣南地区花岗岩的2%~10%,渗透系数最大者为神山组二段全风化粉砂质千枚岩,最小者为库里组二段全风化变粉屑沉凝灰岩。矿石浸取相配分结果表明: ΣYO 为26.14%, Y_2O_3 为13.52%, Eu_2O_3 为0.89%,La、Nd和Y占比最大,其次为Pr、Sm和Gd,表明该区为低钇富铈型轻稀土矿床。

4 控矿因素及矿床成因

4.1 控矿因素

(1)成矿时代。该区风化壳的形成时间应在第三纪以后,部分地区风化壳形成的时限可能始于晚更新世,但稀土元素富集时限至少始于早一中更新世。风化壳形成后必须保持一定时间,使表层剥蚀一定厚度,剥蚀速率小于稀土元素向下迁移的速度,从而使被剥蚀部分的稀土元素充分聚集在下部并逐渐发育^[19]。风化壳离子吸附型稀土矿床的表生成矿时代为早更新世—全新世,稀土成矿富集时代主要为中更新世。

(2)变质作用。目前,关于变质作用中稀土元素是否活动、变质过程中存在明显流体时稀土元素的地球化学行为如何等问题的认识仍有较大争议^[20]。低压变质作用中,大多数岩石稀土元素含量保持不变;中压变质作用中,在花岗岩化带变质岩中稀土元素含量发生变化,在花岗岩化较弱的地区,变质岩中的稀土元素含量稳定^[21];高压变质作用中,稀土元素不活动^[22]。赣南地区变质岩稀土元素主要赋存在稀土氟碳酸盐矿物、独居石和磷钇矿中,变质作用中稀土元素含量不发生大的变化。在变质作用中,岩石结构构造的变化将对岩石的耐风化程度产生影响,片状、板状和千枚状构造不利于

岩石风化。一般情况下,区域变质作用不改变母岩的稀土元素丰度,但中深变质作用改变母岩的结构构造,提高岩石的耐风化程度,不利于成矿。

(3)成矿物质来源。赣南地区震旦纪—青白口纪变质岩在成岩早期沉积了一套稀土元素丰度较高的海底凝灰质和陆源碎屑物,以库里组变沉凝灰岩、变余砂岩和寻乌岩组片岩、片麻岩、变粒岩为主,稀土元素平均含量为 257.20×10^{-6} ,远大于南岭地区离子型稀土成矿母岩含量的下限值(150×10^{-6})^[18]。在母岩中,这些稀土矿物主要赋存在易风化的稀土硅酸盐和稀土氟碳酸盐矿物中,少数赋存在难风化的磷钇矿和独居石中,易风化的稀土矿物为稀土矿的形成提供了必要基础。

(4)构造。区域性断层控制变质岩的展布,稳定的大地构造环境可促进厚大风化壳的形成与保存。基岩中发育的断层、节理和裂隙,形成有利的氧化环境,有利于母岩风化^[19]。赣南地区位于华南板块南华活动带,基底褶皱以近EW向展布,NE向和NW向断裂交织呈网络格架。构造体系的交接复合部位对成矿有利,各类矿床(点)及异常分布较密集。

(5)地貌。新构造运动决定了地貌的发育和风化壳的保存程度,只有风化壳的剥蚀速度小于或等于风化壳的形成速度,风化壳才能发育和保存。赣南地区低缓丘陵发育,相对高差30~200 m,一般山顶和山脊的风化壳厚度大,常形成富矿体;陡壁或沟谷的风化壳厚度小,矿体较薄或不发育。

(6)气候和植被。风化壳的化学作用强度随温度、湿度的增加而增大,植被的发育可加速母岩风化解离,保存风化壳,使地表水偏酸性,将稀土离子向地下淋滤、迁移、富集,形成稀土矿床。赣南地区属亚热带季风气候,雨量充沛,气候湿润,植被发育,岩石物理、化学风化作用强烈,有利于风化壳的形成。

(7)稀土元素富集成矿。风化壳中稀土元素富集成矿是长期不断的次生富集过程。原岩中长石风化成黏土,矿物中的稀土元素解离,由于地表天水pH值一般为弱酸性,解离出的稀土元素随天水向下淋滤,被黏土矿物吸附,稀土元素初步富集。随着风化作用向深处拓展,初步富集的稀土元素随淋滤水向下迁移,再次沉淀并进一步富集。该过程不断进行,上部稀土元素逐渐增多,在全风化层中富集,并形成超过母岩稀土元素丰度2~8倍的稀土

矿体^[18]。

4.2 矿床成因

在成岩早期,赣南地区震旦纪—青白口纪变质岩沉积了一套稀土元素丰度较高的地层,为稀土矿化提供了必要的物质基础。在构造运动影响下,地壳抬升形成适宜的地形地貌条件,在新生代以化学作用为主的表生作用下,适宜的亚热带季风气候,pH值为5.5~6.5,原岩矿物遭受不同程度的风化破坏和分解,硅酸盐矿物含量减少并转变为黏土矿物,形成以高岭石和石英为主的松散变质岩风化壳,稀土元素随矿物分解,在稀土矿物中呈离子态并随天水下渗迁移,被具有较强吸附能力的黏土矿物吸附、捕获,稀土元素不断富集,最终形成稀土矿体,并严格受成矿母岩风化壳控制^[11,14]。

4.3 找矿标志

(1)地层岩性。已发现的稀土矿床主要分布在库里组和寻乌岩组,成矿母岩为震旦纪—青白口纪变沉凝灰岩、变粉砂岩、凝灰质千枚岩、片岩、片麻岩和变粒岩,原岩呈巨厚层状,岩性较单一,是变质岩稀土矿床最重要的地层岩性标志。

(2)地球化学特征。母岩含火山物质或稀土含量高的陆源碎屑物,其含量大于南岭稀土成矿母岩下限值,具较高的稀土元素丰度。

(3)地形地貌。丘陵地貌或山岭低缓区,相对高差30~200 m,山坡平缓、山脊圆滑,切割较小地段,基岩出露少,面型风化壳发育。

(4)构造。断裂发育,为风化作用提供有利的空间条件。岩石基本无硅化,有利于风化作用。

(5)外生作用。亚热带季风气候,温暖潮湿,雨量充沛,四季分明,水系发育,植被茂盛,易形成深厚的硅铝质风化壳。

5 找矿方向

变质岩是赣南地区稀土矿床的成矿母岩之一,稀土元素丰度基本达到离子吸附型稀土矿床成矿的最低要求,且多数地区均发育风化程度不一的风化壳,初步查明变质岩风化壳发育面积为583 km²,占变质岩总面积的3.99%。但变质岩中离子吸附型稀土矿仅见于震旦纪以前的地层,包括青白口纪神山组、库里组和南华纪寻乌岩组,而震旦纪及以后的寒武纪、奥陶纪和部分泥盆纪浅变质岩中未发现一定规模的变质岩离子吸附型稀土矿,仅在赣县

坳子下岩体东北部接触带附近的震旦纪坝里组中发现稀土矿化,但不具规模。岩浆上侵时与围岩发生混合岩化作用,使变质岩围岩也含有一定的稀土矿物,远离岩体无稀土矿化,离子吸附型稀土矿的岩石类型主要有变沉凝灰岩、千枚岩、变余砂岩、片岩、变粒岩和片麻岩。野外勘查及综合研究表明,石城—宁都—瑞金浅变质岩区和会昌—安远—寻乌中深变质岩区(图1),可作为离子吸附型稀土矿勘查的首选地区,具有较好的寻找离子吸附型稀土矿的找矿前景。

5.1 石城—宁都—瑞金找矿潜力区

该区是武夷变质岩带变质作用最浅的地段,属于宁都—于都小拗陷与闽西南拗陷之间的局部隆起区,剥蚀浅,出露地表的为加里东期造山带的浅部,花岗质岩浆活动与地热活动较弱。该区广泛分布青白口纪神山组、库里组和震旦纪坝里组、老虎塘组浅变质岩,以变砂岩、变沉凝灰岩、千枚岩和凝灰质千枚岩为主。青白口纪神山组和库里组为离子吸附型稀土矿的母岩,分布面积为1 400 km²,风化壳面积约300 km²。母岩稀土元素丰度普遍较高,平均丰度为 384×10^{-6} ,部分千枚岩稀土元素含量也较高,但岩石不易风化^[14]。成矿母岩具有相似的稀土元素配分特征,属轻稀土富集型,在球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图^[9]中,Ce和Eu显示负异常,Pr和Nd显示正异常,说明浅变质岩类具有相似的原岩特征。目前,已发现葛藤嘴、大粮田、固村和小姑等中—大型稀土矿床,在瑞金—石城地区有大面积分布的稀土成矿母岩未进行调查,说明该区具有寻找大型变质岩离子吸附型稀土矿的巨大潜力。

5.2 会昌—安远—寻乌找矿潜力区

该区变质岩原岩时代为南华纪—寒武纪,寒武系以浅变质岩为主,南华系—震旦系变质程度极不均匀,为不同变质相、变质矿物的共生组合,2种变质程度悬殊的岩类“混居一室”。如安远孔田地区寻乌组片麻岩呈极不规则的树枝状分布于韧性剪切带中,其揉皱变形强烈,与周围变质岩界线模糊,可见混染现象。该区稀土成矿母岩主要为中深变质的寻乌组,以片岩、变粒岩和片麻岩夹变余长石石英砂岩为主,分布面积约1 000 km²,圈定风化壳面积约200 km²,主要分布在寻乌北部澄江一带、安远县南部孔田地区和会昌县高排、中村地区。寻乌

岩组母岩稀土元素丰度平均值为 201.03×10^{-6} , 轻、重稀土元素比值为 $3.19 \sim 3.39$, 平均值为 3.30 , 属轻稀土富集型。在球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图2)中, 曲线呈左陡右缓的不对称“V”型, Eu明显负异常。会昌—安远—寻乌中深变质岩区丘陵发育, 在寻乌澄江和安远孔田发现中型变质岩离子吸附型稀土矿床, 而外围还有稀土成矿母岩未调查, 说明该区具有寻找中—大型变质岩离子吸附型稀土矿的巨大潜力。

6 结 论

(1) 赣南地区变质岩分布广泛, 变质岩原岩时代主要为青白口纪—奥陶纪, 发育风化程度不同的风化壳。该区各类变质岩稀土元素丰度较高, 基本达到离子吸附型稀土矿床成矿的最低母岩要求。

(2) 赣南地区已发现的离子吸附型稀土矿床主要分布在青白口纪—震旦纪变质岩中, 以青白口纪库里组、神山组变沉凝灰岩、变粉砂岩和南华纪寻乌岩组片岩、片麻岩和变粒岩为主, 今后找矿方向应以这些岩性为主。

(3) 赣南地区东北部石城—宁都—瑞金浅变质岩区和东南部会昌—安远—寻乌中深变质岩区, 可作为离子吸附型稀土矿勘查的首选地区。

参考文献

- [1] 王登红, 赵芝, 于扬, 等. 我国离子吸附型稀土矿产科学研究和调查评价新进展[J]. 地球学报, 2017, 38(3): 317-325.
- [2] 赵芝, 王登红, 邹新勇, 等. 江西南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.
- [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] 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.
- [6] 王登红, 王瑞江, 李建康, 等. 中国三稀矿产资源战略调查研究进展综述[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 361-370.
- [7] 赵芝, 王登红, 陈郑辉, 等. 南岭离子吸附型稀土矿床成矿规律研究新进展[J]. 地质学报, 2017, 91(12): 2814-2827.
- [8] 赵芝, 王登红, 陈振宇, 等. 南岭东段与稀土矿有关岩浆岩的成矿专属性特征[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38(2): 255-263.
- [9] 王臻, 赵芝, 邹新勇, 等. 赣南浅变质岩岩石地球化学特征及稀土成矿潜力研究[J]. 岩矿测试, 2018, 37(1): 96-107.
- [10] 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.
- [11] 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队. 江西省赣州市稀土资源远景评价报告[R]. 2017: 1-132.
- [12] 江西省地质矿产勘查开发局. 中国区域地质志江西志[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 691-748.
- [13] 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.
- [14] 江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队. 江西省宁都县葛藤嘴稀土矿普查报告[R]. 2015: 1-65.
- [15] 王阳平, 赵鹏坤. 江西省古溪地区新型稀土矿找矿远景分析[J]. 中国高新技术企业, 2016(30): 152-153.
- [16] 池汝安, 田君. 风化壳淋积型稀土矿评述[J]. 中国稀土学报, 2007, 25(6): 641-650.
- [17] 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.
- [18] 袁忠信, 李建康, 王登红, 等. 中国稀土矿床成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2012.
- [19] 吴澄宇. 赣南粤北地区风化壳离子吸附型稀土矿床研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 1988.
- [20] 刘丛强, 唐红峰. 变质作用中稀土元素再分配及其对流体作用的指示意义[J]. 中国科学: 地球科学, 1999(6): 520-526.
- [21] B.A. 马克雷金娜, 朱和宝. 中等压力变质作用和花岗岩化过程中的稀土元素[J]. 地质地球化学, 1980(10): 23-33.
- [22] 赵大贤. 高压变质作用中的稀土元素行为[J]. 世界地质, 1992(4): 73-80.

Geological characteristics and prospecting direction of the metamorphic rock ion-adsorption REE ore deposit in South Jiangxi

CHEN Bin-feng, ZOU Xin-yong, PENG Lin-lin, ZHOU Xing-hua, QUE Xing-hua, ZHANG Qing

*(Geological Survey Team of Gannan, Bureau of Geology and Mineral Exploration
and Development of Jiangxi Province, Ganzhou 341000, China)*

Abstract: Based on the geological features of metamorphic rock ion-adsorption REE ore deposit in Southern Jiangxi, this study investigated ore-controlling factors and ore-forming mechanism using petrography and geochemistry analysis, and finally outlined the future prospecting direction in this area. The protolith age of metamorphic rocks in Southern Jiangxi is mainly in the Qingbaikou period-Ordovician period. The metamorphic rocks are characterized by high REE concentration, suggesting that the deposit belongs to LREE enriched type. The ion-adsorption type REE ore deposits, which have been found to occur mainly in the metamorphic rocks of Sinian period-Qingbaikou period, consist predominantly of Kuli Formation of Qingbaikou System and Xunwu Formation of Nanhuan System. The Shicheng-Ningdu-Ruijin epimetamorphic area and the Huichan-Anyuan-Xunwu mesometamorphic rock area are the first choice for exploration of the ion-adsorption REE ore deposits.

Key words: South Jiangxi; metamorphic rocks; ion-adsorption REE ore; geological characteristics; prospecting direction