

华南风化壳离子吸附型稀土矿床

张祖海

(江西有色地质研究所)

提 要 本文主要研究离子吸附型稀土矿床的地质特征、成矿地质条件及矿床类型。该类矿床经历了内生和外生两个成矿作用阶段。据成矿特点将成矿类型划为三类。稀土矿化富集具有一定的规律性,配分类型齐全,各稀土元素配分之间存在明显的相关关系。华南具有广阔的找矿远景。

关键词 稀土矿床 成因类型 地质特征 华南

华南风化壳离子吸附型稀土矿床为我国新发现的新型稀土矿床,它具有规模大、品位高、配分全、采冶易、提取工艺简单、成本低等特点,是我国及世界稀土金属工业新的重要原料来源。

一、成矿地质条件

本类稀土矿床的形成是颇为复杂和受多因素控制的,经历了内生和外生两个成矿作用阶段。

(一)岩石条件

稀土在不同岩石中的丰度极不均匀,能构成该类工业矿床的含矿地质体只有花岗岩、混合岩、火山岩及次火山岩。

自加里东期至燕山期,上述岩体均有稀土矿化现象(表1),并有从 ΣCe 矿化向 Σy 矿化转变的趋势,在燕山早期的花岗岩(风化壳)中稀土矿化现象达到顶峰。但晚侏罗世的火山岩却相反,以 ΣCe 占绝对优势。

稀土矿化类型与岩体产状、规模有一定的关系: Σy 矿化岩体一般呈岩株状(足洞、河田等),也有呈岩瘤状(江头)、岩脉状(嵩口)及产于岩基边部的(大田),岩体规模多在20平方公里以下; ΣCe 矿化岩体多呈岩基状(客坊、茜坑等),也有产于岩株中的(安西等),规模数十至百余平方公里;火山一次火山岩稀土矿化产于岩株状花岗岩斑岩中,或直接产于火山岩中。同时,具多成因、多期次侵入活动特点的复式岩体对稀土矿化有利。

稀土矿化类型与岩石造岩矿物含量及特征有关(韩琮光等,1988)。由表2可知: ΣCe 矿化类型的岩石中石英含量高于 Σy 矿化类型的岩石。 Σy 矿化的岩石斜长石以钠长石、更钠长

表 3 部分矿区岩石化学成分表(%)

Table 3 Chemical composition of rocks in some mines

矿 区	岩 性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失	总量
足洞 (ΣY)	中粒白云母花岗岩	74.88	0.05	13.44	0.21	1.42	0.08	0.19	0.58	3.97	4.61	0.06	0.57	100.28
	中粒黑云母花岗岩	74.58	0.15	13.34	0.56	1.25	0.05	0.18	0.73	3.65	4.80	0.05	0.60	100.03
下汶滩 (ΣY)	中粒黑云母 斑状花岗岩	73.85	0.15	13.83	0.56	1.29	0.06	0.35	0.69	3.47	4.79	0.07	0.81	99.92
	细粒黑云母 斑状花岗岩	75.22	0.06	13.06	1.03	0.80	0.11	0.19	0.44	3.62	4.67	0.04	0.78	100.02
河岭 (ΣCe)	花岗斑岩	70.34	0.44	14.59	2.01	0.64	0.25	0.57	0.55	3.37	6.70	0.05	0.92	100.33
	流纹质凝灰熔岩	75.55	0.25	12.13	1.18	1.01	0.07	0.34	0.42	2.74	5.36	0.04	0.70	99.85
莲花山 (ΣCe)	火山爆发角砾岩	71.00	0.16	11.63	0.80	1.02	0.18	0.10	0.26	3.55	4.98	0.25	5.88	99.83

石为主，白云母相对较高；ΣCe 矿化的岩石以钾长石含量高（微斜长石和条纹长石之和大于 40%）为特征，且斜长石以更长石为主，黑云母相对较高。从表 2 还可见稀土矿化与岩石中稀土矿物组合及含量有关。稀土矿化与岩石化学成分的关系，由表 3 可知：SiO₂ 均为 70~75% 之间，K₂O + Na₂O > 8%，且 K₂O > Na₂O，岩石富硅、富碱；Fe₂O₃、TiO₂ 以 ΣCe 矿化火山一次火山岩含量最高；Al₂O₃、FeO 则含量最少。

稀土矿化与含矿岩体的自交代蚀变作用有关，主要有钾长石化、钠长石化、白云母化、萤石化等。钾长石化在黑云母花岗岩中普遍表现为微斜长石化，含独居石略高；白云母化、钠化分别表现为黑云母被白云母交代形成蚀变黑云母、铁白云母等，更钠长石被钠长石交代，在铁白云母边部常见氟碳钙铈矿、钽铋矿、含铋钽石的包体和连生体；萤石化呈浸染状分布，常和白云母、铁白云母等呈连生体或在其附近出现，有的交代斜长石、黑云母，萤石含稀土品位可高达 0.3% 以上（足洞）。在火山岩中，仅火山相的花岗斑岩有较明显的自交代蚀变作用（河岭），镜下见钾长石中包裹有斜长石残晶与自形黑云母，而钾长石本身又往往有明亮干净的钠长石环边，也常见条纹长石环边，钠长石普遍交代钾长石等。综上所述，自交代蚀变作用早期以钾化为主，鉴于此期溶液碱性较强，而不利于稀土的大量沉淀，其稀土元素除部分呈独居石、磷钇矿晶出外，大部分趋于分散；随自交代蚀变作用的进行和加强，溶液向弱碱性或弱酸性方向发展，紧接着相继发生钠长石化、白云母化，原来以类质同像或微包体形式赋存于造岩矿物中的稀土元素亦随载体受到破坏和解析；到了晚期—萤石化阶段，稀土的沉淀剂 Ca、Fe 等相对富集，因此大量的稀土矿物在此期产出。

(二)构造条件

含矿岩体及单个矿床或矿体的产出往往受到构造条件的控制。构造控岩、控矿的基本形式表现为三个方面(图 1)：

1. 东西向构造带主导控岩控矿：大余~会昌东西向构造带控制了一系列的岩体和若干稀

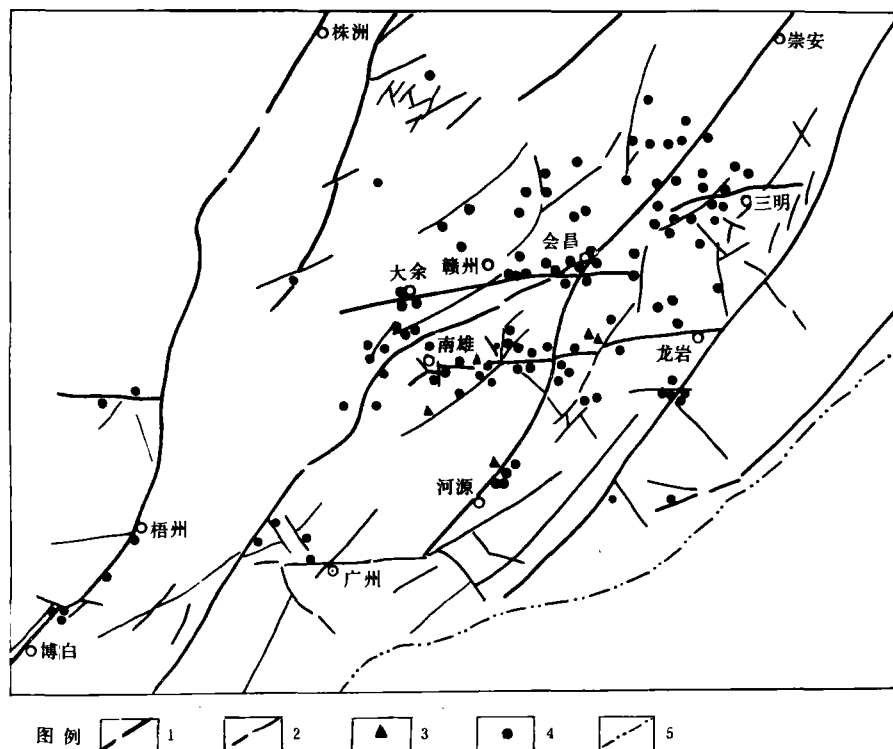


图1 华南风化壳离子吸附型稀土矿床分布略图

Fig. 1 Sketch of REE deposits distribution

土矿床的分布,如梅关、珠兰埠等;南雄~三南~寻邬东西向构造带控岩控矿更为明显,有足洞、关西等大型稀土矿床的产出。在广东的广州、福建的龙岩和三明一带,也具类似的控岩、控矿特征。

2. **新华夏系构造带主导控岩控矿**:在桂东南,主要受博白~梧州断裂控制的岩体中发现稀土矿床3处、矿点5处;以崇安~河源断裂为界,南、北两区的花岗岩、混合岩及火山一次火山岩中查明稀土矿床34处、矿点20余处,规模巨大的河岭火山一次火山岩风化壳离子吸附型稀土矿床就位于该断裂南部的中生代火山盆地中。

3. **东西向构造带与新华夏系构造带复合控岩控矿**:这种情况很普遍,实际上上述两构造带均以呈复合形式控岩控矿为主。如河岭稀土矿含矿岩体周围均由东西向构造带与新华夏系的主干断裂反接复合所限制。而且内部富矿地段常常是这两个构造体系的伴生低序次构造成分密集产出地段(图2)

(三)表生条件

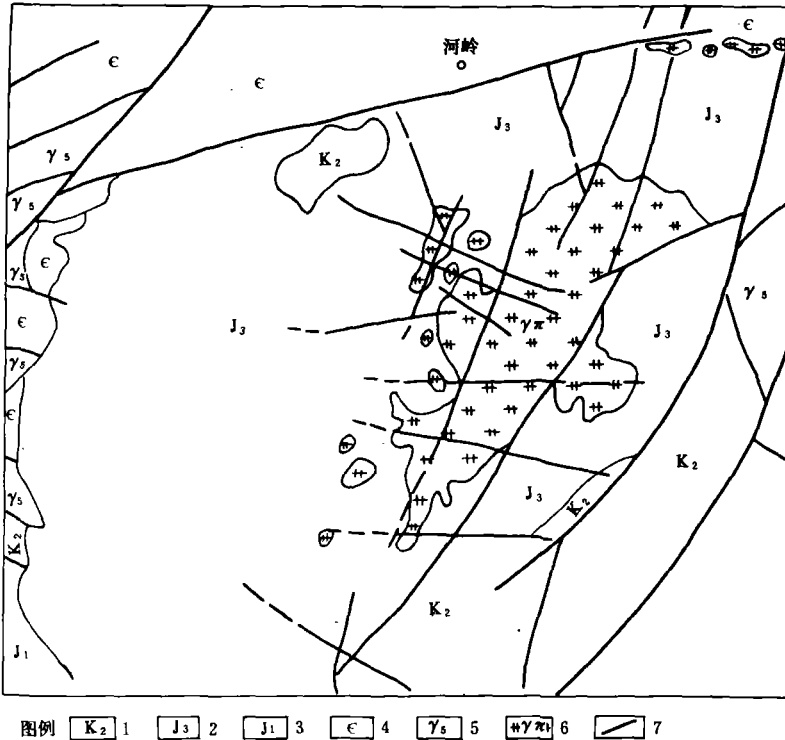


图2 河岭矿区地质略图

Fig. 2 Sketch map of Heling Area

本类矿床的形成经历了内生作用和外生作用两个成矿阶段,二者缺一不可。外生作用与地理气候、地势地貌等条件有密切的关系。

据现有资料,本类矿床分布于北纬 $22^{\circ}\sim 29^{\circ}$ 、东经 $106^{\circ}30'\sim 119^{\circ}40'$ 区域内,尤以北纬 $24^{\circ}\sim 26^{\circ}$ 之间矿床分布最为密集。这一区域属热带、亚热带气候,温湿多雨,植被发育,有机酸来源丰富,再加构造因素,以化学风化为主的表生作用强烈(风化 $>$ 剥蚀),常发育厚度较大的面型风化壳,致使风化壳中稀土含量高出于基岩数倍,富矿地段可高出10倍以上,如足洞基岩(白云母花岗岩, TRO 0.0356%)较贫矿石(花岗岩风化壳 TRO 0.0465%)低出1.31倍,较工业矿石(TRO 0.0804)低出2.26倍,较富矿石(TRO 0.117%)低出3.28倍,较局部(TRO 0.412%)低出11.57倍。河岭基岩较矿石中的稀土含量一般低出1.51~4.29倍。

矿床大多产于海拔高程 < 550 米,高差250~60米的丘陵地带,且以平缓低山和水系发育为特征。在局部特征上表现为:地形起伏小(坡角 $2^{\circ}\sim 4^{\circ}$,高差几十米)比起伏大、缓坡比陡坡、宽阔山头比狭窄山头、山脊比山坳、山顶比山腰、山腰比山脚更有利于成矿。例如下汶滩矿,矿区适处桃江两岸,均为海拔高程 < 500 米的丘陵区,相对高差多位于60~200米间,地势平缓,故区内花岗岩风化壳较为发育,不同地貌的稀土矿化强弱明显不同:(1)宽坡、复合形坡、缓坡风化壳中稀土矿化强,而窄、直线形、陡坡之稀土矿化相对较差;(2)同一山坡上,坡顶、坡梁矿

化好,坡缘、坡面较次;(3)在复合形坡上,平台地段矿化最佳,但经改造作用形成的平台地段之矿化并不理想;(4)山脊的鞍部及冲沟矿化弱。

二、矿床类型

离子吸附型稀土矿床从成因观点出发,可划分为三个类型(表 4)。

表 4 华南风化壳离子吸附型稀土矿床分类表
Table 4 Genetic classification of weathering crust ion adsorption REE deposit, south China

成矿系列	类	型	亚 型	离子相稀土	配分特征			实例
					ΣCe	ΣEu	ΣY	
风化壳系列	离子吸附类	花岗岩型		$> 60\%$			$> 50\%$	大田、下汶滩
					$> 50\%$			回龙、理亭
						$> 10\%$	$> 50\%$	足洞、烂岭
					$> 50\%$	$> 10\%$		桥下、五经富
					$> 30\%$	$> 8\%$	$> 30\%$	大塘、林头
		混合岩型		$> 60\%$	$> 50\%$			岚山
					$> 50\%$	$> 10\%$		安乐
					$> 30\%$	$> 8\%$	$> 30\%$	中村
		火山一次火山岩型	中酸性火山岩亚型	$> 65\%$	$> 50\%$			仁居、河岭
			次火山岩亚型			$> 10\%$	$> 50\%$	河岭、长塘

(据陈尊达修编 1988)

(一) 花岗岩风化壳离子吸附型稀土矿床: 由含稀土较高的花岗岩在有利的表生条件下风化,使离子相稀土迁移富集而形成的矿床,离子相稀土一般 $> 60\%$,有 ΣCe 、 Σy 、 ΣM 矿化,代表矿床有江西岚山和福建客坊、安乐等。

(二) 火山一次火山岩风化壳离子吸附型稀土矿床: 可细分为中酸性火山岩亚型和次火山岩亚型,其母岩前者主要为流纹质凝灰熔岩、凝灰岩、火山爆发角砾岩等,后者主要为超浅成相侵入的花岗斑岩和流纹斑岩等。离子相稀土 $> 65\%$,有 ΣCe 、 ΣM 矿化,代表矿床为江西的河岭、广东的长塘等。

三、矿床地质特征

(一) 风化壳结构模式

表生作用促使原生岩石分解和元素选择性迁移富集的结果,形成不同成份、不同发育程度的风化壳。据含矿花岗岩、混合岩及火山一次火山岩风化壳的发育特征,认为风化壳结构模式自上而下可分为四层(图 3):

1、**腐植层(A)**:灰褐色、含多量的植物根茎。主要由粘土、石英及腐植酸组成。厚 0~1 米。

2、**残坡积层(B)**:土黄~砖红色,少量植物残骸。主要由(含铁)粘土、石英及少量岩石碎块组成、结构疏松。厚 0.3~1 米。

3、**全风化壳(C)**:黄白~浅红色,由 80% 的粘土矿物和石英组成,余为钾长石和白云母。结构疏松,多孔易碎。厚度一般 4~10 米,约占整个风化壳厚度的 3/5 以上。为矿体的赋存层位。

4、**半风化层(D)**:基本保留原岩颜色和结构。长石已风化成高岭土和绢云母,粘土矿物含量低于 30%。厚度 2~3 米居多。

D 层之下即为基岩——含矿母岩,未风化。

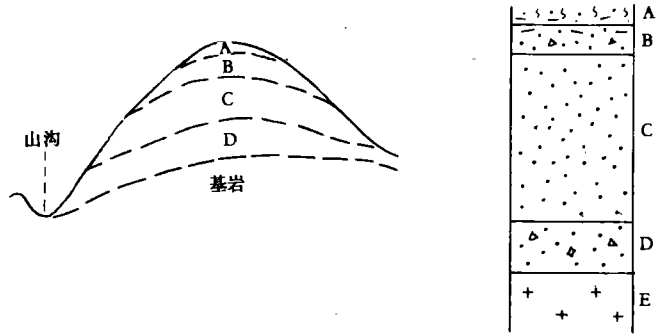


图 3 风化壳垂直剖面结构模式图

Fig. 3 Structural pattern of vertical profile in the weathering crust

(二) 稀土元素赋存状态及迁移形式

经大量实验研究表明稀土元素的赋存状态有三种:离子吸附相、单矿物相和类质同象或微包体分散相(表 5)。

据贵阳地化所的资料,认为该类矿床的形成,是以阳离子吸附于粘土矿物中的稀土元素,然后又以 $\text{TR}(\text{Ac})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 形式迁移的。这种醋酸盐在水中具有很大的溶解度,且由于其浓度较小、电离度相当大,从而保证了 TR^{3+} 形式存在于水介质中。看来稀土元素在矿床形成过程

中以这种方式迁移是合理的。

(三)矿化富集规律

稀土矿化在总体上是均匀的。通过典型矿床的解剖。发现各矿床稀土矿化富集具有相似的规律性：

表 5 部分矿区稀土元素赋存状态表
Table 5 Occurrence states of REE from some mines.

赋存状态	矿物名称	河岭(花岗斑岩)			足洞(黑云母花岗岩)			客坊(混合岩)
		含量(%)	TRO品位(%)	TRO占有率(%)	含量(%)	TRO品位(%)	TRO占有率(%)	TRO占有率(%)
离子吸附相	高岭石类粘土矿物	43.81	0.418	91.06	33.0	0.1255	41.42	61.54
	黑云母	1.61	0.029	0.23	5.0	0.0762	3.81	
	磁铁矿	3.0	0.0433	0.65				
	小计			91.94			45.23	
单矿物相	磷钇矿				254.7(g/t)	59.87	15.23	2.56
	独居石	0.0091			162.6(g/t)	60.63	9.86	
	铈钇矿		74.77	3.53				
	褐钇铈矿		65.13	2.97				
	小计			6.50	实测稀土单矿物重砂回收率 56.12%		44.74	
类质同象*	钾长石	17.0	0.0046	0.30	20.0	0.0076	1.52	35.90
	石英	34.0	0.005	0.85	40.0	0.0124	4.9	
	黑云母				5.0	0.0266	1.33	
	白云母		0.0303	0.32				
	锆石			微	227.5(g/t)	4.84	1.1	
	小计			1.47			8.85	
合计				99.91			98.2	100.0

* 类质同象或微包体分散相。

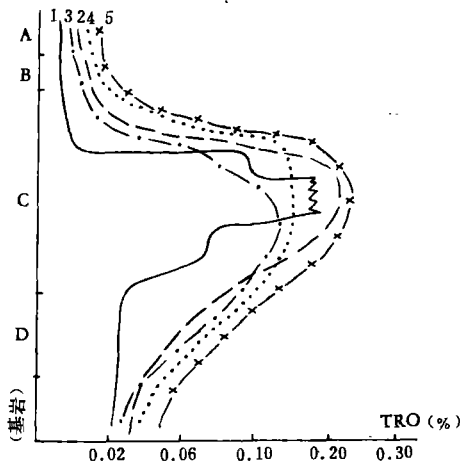
1、水平方向上矿化较稳定,品位变化不大(图 4)。

2、垂直方向上具明显的分层

性: A、B 层品位较低, 一般在 0.02% 以下; C 层即全风化层, 稀土矿化最富, 品位最高达 0.25%, 进入 D 层矿化减弱, 品位降低。由图 4 可见稀土矿化富集曲线呈现上、下小, 中间大的“凸字”型, 且常为突变关系(大塘尤为明显)。

产生上述分层富集特征的原因可能有三个方面: 粘土矿物的含量; 介质酸碱性; 水介质下渗速度和强度。在 A、B 层, 一方面由于红土作用, Fe_2O_3 聚集转变成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体, 与粘土等发生凝聚, 中和了大量的负电荷, 而降低了粘土对稀土离子的吸附和交换能力; 另一方面由于水介质在此层下渗连度和强度大, 部份稀土离子与介质一起下渗或随地表径流转移散失。到了 C 层, 不但 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体剧减, 粘土含量增高, 而且渗水速度减慢, 淋溶强度变弱, 使弱酸性介质中含量较高的稀土阳离子, 在此层有充分的时间和较适宜的介质环境被粘土组分所吸附。至 D 层, 下渗水介质及其中的稀土阳离子和粘土矿物含量均基微。

3、与风化程度有关: 一方面风化程度越高, 风化壳厚度就越大, 矿化就越好, 如河岭矿区 TRO 平均品位 $\leq 0.1\%$ 的探井的风化壳厚度均 < 9 米, 而风化壳厚度 ≥ 9 米的地段, 其 TRO 品位均 $> 0.1\%$ 。另一方面, 风化愈深, 岩石粒度就愈细, 吸附作用就愈强, 细粒级矿物中以粘土吸附稀土能力最强^[1] (如河岭和足洞, 表 6 和图 5), 所以风化愈深, 稀土含量就愈高。



- 1. 大塘(广东); 2. 足洞(江西); 3. 五里亭(江西);
- 4. 河岭(花岗岩, 江西); 5. 客坊(福建)。

图 4 垂直剖面稀土矿化富集特征示意图
(据陈尊达, 1988; 张祖海, 1989)

Fig. 4 REE concentrating characteristics in weathering crust vertical profile.

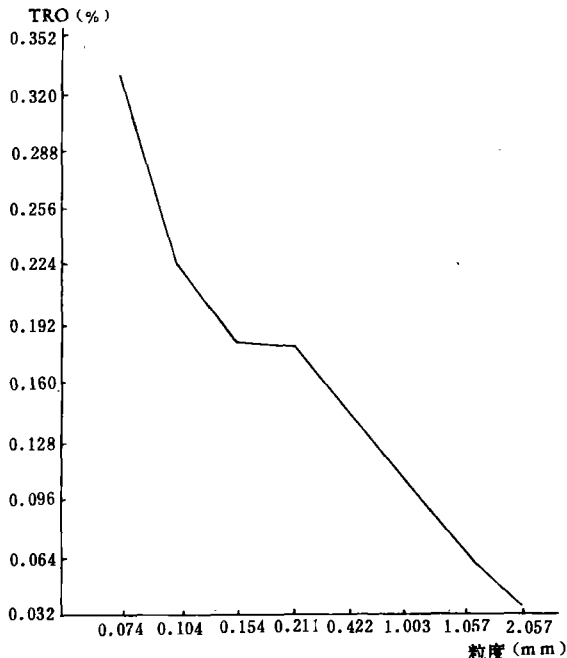


图 5 足洞原矿稀土含量与粒度关系图(据江西色勘二队)

Fig. 5 REE Contents—grain Size diagram of Zhudong mine

表 6 河岭矿风化岩石各粒级稀土含量及矿物成分表

Table 6 REE contents and mineral composition of different grain Size from Heling Mine

岩性	粒级 (mm)	重量 (g)	重量 百分比	TRO (%)	折合原矿中 TRO (%)	稀土分 布率 (%)	各粒级矿物成分 (%)					
							磁铁矿	粘土	长石	石英	云母	合计
花岗斑岩 风化壳	> 0.45	243	13.5	0.047	0.0063	8.49	3.3	29	—	67.7	—	100
	0.45~0.15	290	16.1	0.057	0.0092	12.40	9.4	27.2	—	63.4	—	100
	0.15~0.076	268	14.9	0.040	0.0060	8.09	3.7	19.2	—	77.1	—	100
	0.076~0.049	91	5.1	0.084	0.0043	5.80	4.2	61.9	—	33.9	—	100
	< 0.049	908	50.4	0.096	0.0484	65.22	—	100	—	—	—	100
	合计	1800	100	0.075 ^①	0.0742							
流纹质凝灰熔岩 风化壳	> 0.45	237	15.8	0.076	0.0120	4.86	2.6	24.2	5.1	67.5	0.6	100
	0.45~0.15	224	14.9	0.178	0.0265	10.73	3.3	54.9	4.3	36.8	0.7	100
	0.15~0.076	154	10.3	0.268	0.0276	11.17	0.9	86.9	10.0	2.0	0.2	100
	0.0076~0.049	92	6.1	0.303	0.0185	7.49	2.0	85.0	0.5	2.5	10.0	100
	< 0.049	793	52.9	0.307	0.1624	65.75	—	100	—	—	—	100
	合计	1500	100	0.266 ^①	0.2470							

①为原矿化验品位数据

(四)稀土配分特征

1、配分类型：由图 6 可将稀土配分划分为 3 类 5 型。钪族稀土配分类 (ΣCe)—轻稀土选择配分型①；中轻稀土选择配分型③；稀土完全配分类型 (ΣEu) ⑤；钇族稀土配分类 (ΣY)—重稀土选择配分型②；中重稀土选择配分型④。表明该类矿床稀土配分类型齐全。

2、不同岩石类型的风化壳矿床具有不同的配分特点。由图 3 可见花岗岩类风化壳矿床以 ΣCe 矿化占优势，也有 ΣEu 矿化和 ΣY 矿化；混合岩类及火山一次火山岩类风化壳矿床，均以 ΣCe 矿化为主，有 ΣEu 矿化，无 ΣY 矿化。

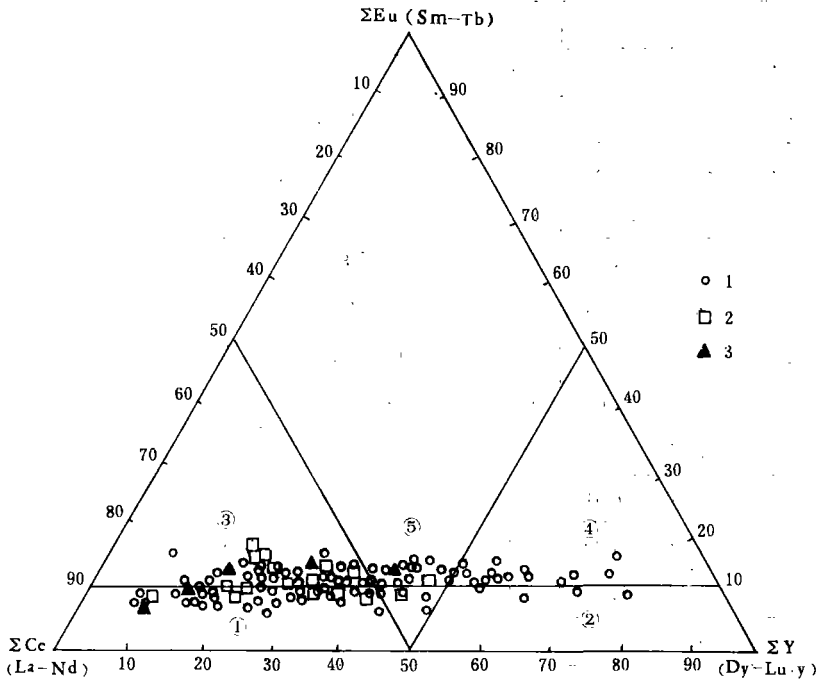
3、水平方向上：B 层中 $La < Ce$ ；C 层中则 $La > Ce$ (表 7)。

4、垂直方向上： $\Sigma Ce + \Sigma Eu$ 主要富集于 A、B、C 层，Ce 富集于 A、B 层，La、Pr、Nd、Sm 富集于 C 层； ΣY (尤其 Y) 则相反，主要富集于 D 层^② (表 4)。

造成上述稀土配分或矿化分层富集特点的原因，主要是由于稀土阳离子水解作用的影响，除 Ce^{4+} 最易水解外， $\Sigma Ce + \Sigma Eu$ 较 ΣY 更易于水解^③。Ce 在 A、B 层中含量最高的原因，还与其在风化壳中多以 Ce^{4+} 存在及有机质对 Ce 的影响有关。

鉴于 La/Ce 比值由 A、B $\rightarrow$ C、D $\rightarrow$ 基岩变化为 $< 1 \rightarrow > 1 \rightarrow < 1$ (表 3)，似可拟用 La/Ce 比值指示样品在风化壳中的大致位置，如 $La/Ce > 1$ 指示样品在风化壳的中部 C、D 层位。

关于 C 层中 La、Pr、Nd、Sm 的富集程度或富集顺序，可由单个稀土元素在 C 层中的浓度富集系数 ρ 来表示， ρ 值愈小者愈先富集， ρ 值愈大者愈后富集，由表 7 可见河岭矿区花岗斑岩风



说明: 1、花岗岩型; 2、混合岩型; 3、火山一次火山岩型

图6 风化壳离子吸附型稀土矿床 REE 分组配分三角图(据陈尊达, 1988)

Fig. 6 $\Sigma\text{Ce}-\Sigma\text{Eu}-\Sigma\text{Y}$ diagram of REE distribution of weathering crust ion adsorption REE deposits.

化壳 C 层中 $\rho_{La} = 0.288 < \rho_{Pr} = 0.315 < \rho_{Sm} = 0.582 < \rho_{Nd} = 0.633$, 所以富集顺序为 $\text{La} \rightarrow \text{Pr} \rightarrow \text{Sm} \rightarrow \text{Nd}$; 而在流纹质凝灰熔岩风化 C 层中。 $\rho_{Sm} = 0.235 < \rho_{Nd} = 0.252 < \rho_{Pr} = 0.282 < \rho_{La} = 0.303$, 富集顺序为 $\text{Sm} \rightarrow \text{Nd} \rightarrow \text{Pr} \rightarrow \text{La}$ 。

相关分析^[5]: 由表 8 知各稀土元素氧化物间存在明显的相关关系, La_2O_3 、 CeO_2 、 Pr_6O_{11} 、 Nd_2O_3 、 Sm_2O_3 相互间和 Gd_2O_3 、 Tb_2O_3 、 Dy_2O_3 、 Ho_2O_3 、 Er_2O_3 、 Tm_2O_3 、 Yb_2O_3 、 Lu_2O_3 、 Y_2O_3 相互间均为正相关关系, 说明在演化过程中的正消长关系; 而 La_2O_3 、 CeO_2 、 Pr_6O_{11} 、 Nd_2O_3 、 Sm_2O_3 与 Gd_2O_3 、 Tb_2O_3 、 Dy_2O_3 、 Ho_2O_3 、 Er_2O_3 、 Tm_2O_3 、 Yb_2O_3 、 Lu_2O_3 、 Y_2O_3 之间互为负相关关系, 说明演化过程中的反消长关系。各配分类型间的相关关系(表 9)均为正值, 且配分类型由①→⑤相关关系逐渐减小, 说明各配分类型间均有正相关关系, 各配分类型相邻间相关更为密切, 反映了各配分类型间具有继承性。认识这些相关关系, 对于找矿具有指导意义。

表 7 风化壳垂直剖面上稀土配分特征一览表
Table 7 REE distribution characteristics in weathering crust vertical profile

矿区		河 岭								足洞	
风化壳		花岗斑岩				流纹质凝灰熔岩				白云母花岗岩	
		A. B	C	D	基岩	A. B	C	D	基岩	B	C
样数		8	15	5	3	1	4	1	1		
TRO (%)		0.09	0.228	0.098		0.124	0.208	0.102		0.0375	0.1305
La ₂ O ₃		17.33	26.39	26.05	18.82	16.59	23.55	18.08	8.29	2.977	6.57
Ce ₂ O ₃		47.16	19.86	24.39	32.40	32.46	7.60	12.50	50.68	4.72	1.7
Pr ₂ O ₃		7.33	9.8	7.45	6.40	6.10	8.00	6.24	3.43	1.61	2.02
Nd ₂ O ₃		18.62	28.99	18.36	20.44	24.89	30.79	24.59	11.21	5.37	8.18
Sm ₂ O ₃		2.48	4.43	2.8	2.94	5.94	6.88	5.57	2.68	2.39	3.88
Eu ₂ O ₃		0.63	0.57	0.62	0.31	< 0.43	0.62	< 0.56	0.21	—	0.14
Gd ₂ O ₃		1.55	2.32	3.07	2.58	2.94	4.96	5.75	2.48	7.9	8.07
Tb ₂ O ₃		0.23	0.34	0.61	0.35	0.41	0.75	0.90	0.54	1.58	1.23
Dy ₂ O ₃		0.60	0.96	1.99	1.32	1.27	2.48	3.40	2.41	11.58	9.53
Ho ₂ O ₃		0.63	0.51	0.57	0.33	< 0.44	0.68	0.66	0.50	2.42	1.9
Er ₂ O ₃		0.4	0.57	1.04	0.50	0.94	1.50	1.78	1.01	9.4	4.79
Tm ₂ O ₃		0.20	0.16	0.21	0.12	< 0.14	0.20	< 0.18	0.19	1.07	0.69
Yb ₂ O ₃		0.64	0.60	0.83	0.34	0.45	0.61	1.06	1.09	7.63	4.69
Lu ₂ O ₃		0.20	0.16	0.19	0.25	< 0.14	0.21	< 0.18	0.11	0.74	0.62
YO ₃		2.55	5.00	11.82	9.1	6.78	11.08	18.28	15.17	40.45	45.97
ΣCe		90.44	85.04	76.25		80.04	80.10	61.41		14.67	18.47
ΣEu		4.89	7.66	7.10		9.80	13.21	12.78		11.87	13.32
ΣY		5.22	7.96	16.65		10.16	16.76	25.54		73.28	68.18
La/Ce		0.367	1.329	1.068	0.581	0.511	3.099	1.446	0.104	0.629	3.747
ρ ^①	La		0.288				0.303				
	Pr		0.315				0.282				
	Nd		0.633				0.252				
	Sm		0.582				0.235				

① $\rho = \left| \frac{C_D - C_C}{C_D} \right|$, 式中 C_D 、 C_C 分别为半风化层(D)和全风化层(C)的稀土品位

表 8 各稀土元素氧化物间的相关矩阵表
Table 8 Correlation matrix of REE oxides

	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃
La ₂ O ₃	1	0.9414	0.9912	0.9926	0.9435	0.8939	-0.8881	-0.9683	-0.8925	-0.8942	-0.9917	-0.9741	-0.9879	-0.9879	-0.9863
CeO ₂		1	0.9967	0.9595	0.8565	0.7076	-0.9567	-0.9565	-0.9597	-0.7398	-0.9310	-0.8611	-0.8994	0.9243	-0.9827
Pr ₂ O ₃			1	0.9991	0.9367	0.8356	-0.9131	-0.9707	-0.9994	-0.8320	-0.9885	-0.9646	-0.9940	-0.9799	-0.9987
Nd ₂ O ₃				1	0.9309	0.8409	-0.9162	-0.9756	-0.9982	-0.8342	-0.9867	-0.9638	-0.9739	-0.9767	-0.9988
Sm ₂ O ₃					1	0.9135	-0.7142	-0.8364	-0.9490	-0.8895	-0.9765	-0.9743	-0.9806	-0.9815	-0.9347
Eu ₂ O ₃						1	-0.6091	-0.7814	-0.8513	-0.9838	-0.8983	-0.9329	-0.9333	-0.9117	-0.8538
Gd ₂ O ₃							1	0.9704	0.8974	0.6394	0.8443	0.7827	0.8094	0.8242	0.9133
Tb ₂ O ₃								1	0.9630	0.7957	0.9349	0.9008	0.9185	0.9217	0.9760
Dy ₂ O ₃									1	0.8452	0.9933	0.9698	0.9812	0.9861	0.9981
Ho ₂ O ₃										1	0.8881	0.8982	0.9196	0.9079	0.8542
Er ₂ O ₃											1	0.9851	0.9961	0.9979	0.9891
Tm ₂ O ₃												1	0.9924	0.9807	0.9630
Yb ₂ O ₃													1	0.9965	0.9779
Lu ₂ O ₃														1	0.9821
Y ₂ O ₃															1

(据伍东森、陈厚彦、徐家骝, 1988)

各配分类型间相关关系
Table 9 Correlation matrix of REE distribution type

表 9

配分类型	①	②	③	④	⑤
①	1	0.9278	0.6697	0.3216	0.1650
②		1	0.8963	0.6466	0.5150
③			1	0.9163	0.8392
④				1	0.9860
⑤					1

(据伍东森、陈厚彦、徐家骝, 1988)

四、矿产资源及找矿建议

(一) 矿产资源概况

据陈尊达等(1989)统计,截止1988年底,华南共发现离子型稀土矿床大型5处,中型33处,小型61处,矿点102处。探明工业储量(氧化稀土)约 $\times\times$ 万吨,推测远景储量约 $\times\times$ 万吨。花岗岩风化壳、混合岩风化壳及火山一次火山岩风化壳离子吸附型稀土矿床储量占总储量的百分比,各为54.77%、7.36%及37.87%。已发现的资源在江西、广东、广西、福建及湖南等省的分布,分别为 $\times\times$ 万吨、 $\times\times$ 万吨、 $\times$ 万吨、 $\times\times$ 万吨及0.X万吨。预测潜在资源约 $\times\times\times$ 万吨,可见找矿前景广阔。

(二) 找矿建议

首先要认识成矿母岩特征。该类型矿床稀土矿化在燕山早期达到最高峰,在此期的花岗岩和中酸性火山一次火山岩中找矿大有可为;但加里东期、海西~印支期及燕山晚期的混合岩及花岗岩风化壳成矿也不可忽视。注意研究岩体产状、成因、造岩矿物、稀土矿物、自交代蚀变作用特征,这些特征对稀土成矿具有决定性意义。

同时要认识成矿外部条件。北纬 $24^{\circ}\sim 26^{\circ}$ 属亚热带温湿气候,最有利于风化壳发育;含矿岩体的风化作用远大于剥蚀作用,其地貌多为低山丘陵地带。赣南中部、粤中南和粤东、闽西南、桂东南等海拔高程小于550米、高差250~60米的丘陵地带,有利于风化壳的生成和保存,是寻找该类型稀土矿床的有利场所。

综上所述,找矿方向为:(1)南雄~三南(定南、龙南和全南)~寻邬~武平~龙岩区;(2)信丰~会昌区;(3)宁都~宁化~三明区。这三个区带为最佳找矿区带。此外,在大余~韶关、河源~和平、博白~岭溪、兴国~宁都等区段也具较好的找矿前景。最近在赣南、闽西北、桂东又发现了新的大型稀土矿床,可以预见,随着找矿工作的不断深入,在上述远景区找矿将取得更大的突破。

参阅了陈尊达等的专题研究报告和韩琮光的手稿,在此深表谢忱。

参 考 文 献

- [1]江西省有色地勘二队,江西省稀有稀土矿床地质特征及找矿方向,1978,131—165
- [2]张祖海,南岭东段火山岩风化壳离子吸附型稀土矿床地质特征,华东有色矿产地质,(1)1989
- [3]宋云华,酸性火山岩类风化壳中稀土元素的地化实验研究,地球化学,(3)1986
- [4]РОНОВ·А·В,ИДР.ГЕОХИМНА,1967,3~19
- [5]伍东森等,试论我国南方离子吸附型稀土矿床稀土元素配分特征,华东有色矿产地质,(2)1988

A STUDY ON WEATHERING CRUST ION ADSORPTION TYPE REE DEPOSITS, SOUTH CHINA

Zhang Zuhai

Jiangxi Non-ferrous Metals Geological Institute

Abstract

This study deals extensively with metallogenetic conditions and genetic classification and geological characteristics of weathering crust ion adsorption rare earth elements deposits. This type of REE deposits is suffered endogenetic and epigenetic metallization. They are divided genetically into 3 types based on metallogenetic characteristics: (1) granite—weathering crust type; (2) migmatite—weathering crust type (3) volcanic—subvolcanic weathering crust type. Deposits show some regularities on REE mineralization. There are five types of REE distribution clearly correlated. There is a splendid prospecting area in south China.