

# 内蒙古哈达庙含金侵入杂岩体 稀土元素地球化学研究

聂凤军 张洪涛

(中国地质科学院矿床地质研究所)

**提 要** 本文利用哈达庙含金侵入杂岩体各主要岩石类型 REE 分析数据,结合野外地质产状和地球化学特征,论证了杂岩体 REE 贫化、富集规律与成岩岩浆结晶演化的关系。在此基础上,提出了成岩过程早期以矿物结晶分异作用为主,而晚期阶段受热重扩散效应制约的成岩模式,二种分异作用的交替进行为金矿床的形成提供了物质基础。同非金斑岩体热液蚀变岩相比,含金斑岩体的热液蚀变岩以 LREE 丰度明显增高为特征,其独特的分布型式和组成特点可作为该区斑岩体含金性评价的地球化学标志之一。

**关键词** 侵入杂岩体 金矿化 稀土元素 地球化学 哈达庙

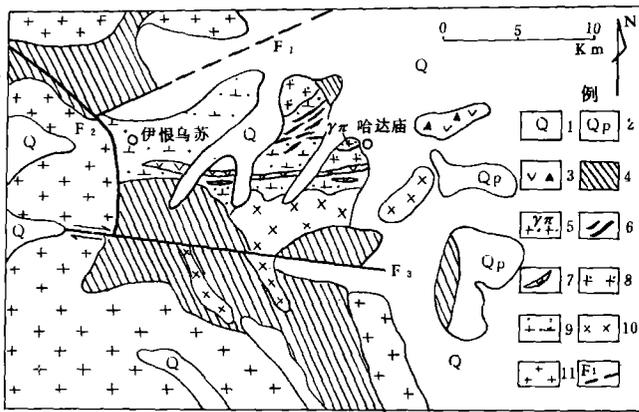
哈达庙含金侵入杂岩体位于内蒙古镶黄旗境内,杂岩体内部哈达庙金矿床的开采及外围一系列金矿化点的发现,引起了人们对侵入杂岩体的重视<sup>①(1)(2)</sup>。本文拟从 REE 地球化学角度进一步讨论含金侵入杂岩体地球化学特征,完善成岩成矿模式,为在该区评价含金斑岩体提供理论依据。

## 一、区域地质及岩体岩相学概况

哈达庙含金侵入杂岩体地处天山—内蒙古海西晚期地槽褶皱带川井—化德深大断裂(许多文献称 42°深大断裂)北侧的镶黄旗复向斜内。杂岩体受近东西向和次一级北东东向断裂构造控制,为一东西向延伸的不规则状块体,出露面积约 45km<sup>2</sup>,侵位于下二叠统呼格特组砂页岩和板岩地层中,西部和北部分别与燕山晚期黑云母花岗岩类和上石炭统阿木山组沉积岩系地层呈断层接触关系,东部为第四纪砂砾层覆盖,上侏罗统三道河组中酸性火山岩仅在本区东部地区有零星出露(图 1)

据野外地质调查,杂岩体从边缘到中心(由老至新)大体可划分为闪长玢岩,石英闪长岩,花岗闪长岩,花岗闪长斑岩,隐爆火山角砾岩和花岗斑岩。侵入杂岩体各类岩石化学成分见表 1。哈达庙金矿床主要沿花岗斑岩体与石英闪长岩接触带分布,金品位高达 69g/t。铅同位素地质研究表明<sup>①</sup>:杂岩体成岩岩浆是通过深熔作用形成的(其同位素年龄为 1300Ma),岩浆固结成岩时代,上限约为 182±2.6Ma,此后,另外一期岩浆活动形成了分布广泛、较为发育并且

①聂凤军等,内蒙古哈达庙含金侵入杂岩体基本地质特征及岩体成因问题,地质论评(待刊)



- 说明
- 1、第四系粘土层
  - 2、第四系砂砾堆积
  - 3、上侏罗统三道河组火山岩
  - 4、下二迭统呼格特组
  - 5、哈达庙合金花岗岩斑岩
  - 6、隐爆火山角砾岩带
  - 7、流纹质岩脉
  - 8、花岗闪长岩
  - 9、石英闪长岩
  - 10、闪长玢岩
  - 11、黑云母花岗岩
  - 12、断层或推测断层

图1 哈达庙地区区域地质及侵入杂岩体分布略图

Fig. 1 Diagrammatic regional geological map of the Hadami intrusive complex, Inner Mongolia

常穿切杂岩体各主要岩相带的流纹质岩脉(墙)。有关杂岩体详细的岩相学,岩石化学和同位素地质学特征,笔者另文专述,<sup>[1]</sup>限于篇幅,这里不作深入讨论。

哈达庙侵入杂岩体各类岩石化学成分(重量%)

表 2

Table 1 Chemical composition (wt%) of different rock unit from the Hadami intrusive complex

序号	样品号	岩石名称	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	合计
1	H8701	花岗斑岩	70.45	0.29	12.95	0.67	2.71	0.04	1.01	2.45	3.18	3.64	0.05	1.46	0.36	1.23	100.49
2	H8706	同上	72.13	0.31	13.50	0.48	1.71	0.04	1.03	1.79	3.73	3.55	0.05	0.97	0.39	0.34	100.02
3	H8716 <sup>①</sup>	花岗斑岩	74.42	0.58	12.56	0.42	0.56	0.03	0.83	1.46	2.21	3.81	0.07	1.94	0.40	1.00	100.25
4	H8744	花岗闪长斑岩	63.16	0.68	15.44	2.59	2.98	0.07	2.56	4.80	3.02	2.57	0.13	1.34	0.54	0.02	99.88
5	H8741 <sup>②</sup>	同上	77.25	0.16	12.24	0.64	1.17	0.02	0.40	0.95	5.25	0.96	0.05	0.51	0.43	0.30	100.33
6	H8721	花岗闪长岩	63.12	0.66	15.27	2.15	3.40	0.07	2.47	4.66	3.01	2.63	0.12	1.20	0.62	0.02	99.40
7	H8725	同上	63.51	0.66	15.06	2.55	3.38	0.07	2.55	4.41	3.10	2.67	0.13	1.25	0.73	0.00	100.07
8	H8720	火山角砾岩	69.61	0.42	13.86	2.40	1.90	0.03	2.01	1.78	4.12	1.21	0.46	1.77	0.43	0.50	100.50
9	H8719	石英闪长岩	58.99	0.77	16.39	3.31	4.06	0.07	3.74	6.83	3.04	1.05	0.13	1.52	0.38	0.07	100.35
10	H8717	同上	59.26	0.81	16.09	2.94	4.40	0.06	3.73	6.60	3.09	1.14	0.13	1.73	0.33	0.23	100.54
11	H87170	闪长玢岩	51.87	0.65	16.09	1.08	6.84	0.18	8.28	9.95	2.45	0.43	0.07	1.25	0.23	0.03	99.40
12	H87131	流纹岩	74.19	0.18	12.16	2.74	0.23	0.01	0.28	0.43	3.03	5.16	0.02	1.77	0.35	0.09	100.64

测试单位:中国地质科学院岩矿测试研究所

①蚀变花岗斑岩

②蚀变花岗闪长斑岩

## 二、样品采集及分析方法

本次研究对采集到的 15 件岩石样品进行了全岩 REE 测定,其中包括闪长玢岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、隐爆火山角砾岩、花岗斑岩和流纹岩脉。为了探讨花岗岩类斑岩体热液蚀变过程中 REE 的迁移富集规律,有选择地采集了伊恨乌苏蚀变花岗闪长斑岩(不含金)和哈达庙蚀变花岗斑岩(含金)岩石样品。

对采集到的岩石样品,结合薄片观察进行初步筛选,然后粉碎加工进行 REE 定量分析。采用碱熔、EGDA—三乙醇胺提取、阳离子树脂交换,以 JA1160 电感耦合多道等离子光谱计测定。15 个 REE 分量平均相对偏差一般小于 10%,低含量 REE 平均相对误差一般低于 20%,对于那些低于球粒陨石丰度的全岩 REE 含量,其平均相对测定误差可达 50%。测试工作由中国地质科学院岩矿测试所伍新宇、阙松娇等完成。

## 三、主要岩石类型 REE 地球化学特征

各类岩石样品 REE 分析结果列于表 2,利用球粒陨石 REE 丰度值(赫尔曼 1979)<sup>①</sup>绘制的岩石样品球粒陨石标准化曲线见图 2, 3, 4。

### (一) REE 分布型式和组成特点(图 2)

1、哈达庙侵入杂岩体中闪长玢岩 REE 分布型式为一较平直的曲线,  $\Sigma\text{REE} = 58.52\text{ppm}$ ,  $\text{LREE}/\text{HREE} = 1.23$ ,  $\text{Sm}/\text{Nd} = 0.28$  和  $\delta\text{Eu} = 0.98$ , 全岩 REE 丰度、铕亏损程度、轻、重 REE 比值均与大陆基性杂岩体中的辉绿岩 ( $\Sigma\text{REE} = 51\text{ppm}$ ,  $\text{Sm}/\text{Nd} = 0.29$ ,  $\delta\text{Eu} = 0.92$ ) 和辉长岩<sup>②</sup> ( $\Sigma\text{REE} = 55\text{ppm}$ ,  $\text{Sm}/\text{Nd} = 0.27$ ,  $\delta\text{Eu} = 1.3$ ) 相吻合,结合铅同位素数据,可以推测,闪长玢岩同杂岩体内其它岩石类型一样,同是下部地壳或上地幔物质重熔作用的产物。

2、石英内长岩、花岗闪长岩、花岗闪长斑岩和花岗斑岩的 REE 丰度值变化范围为 96.31—136.29ppm,上述各类岩石 REE 丰度的算术平均值(ppm)分别为 110.88、133.88、134.01 和 93.93,均明显低于维诺格拉多夫(1962)<sup>[3]</sup>确定的地壳中性岩 ( $\Sigma\text{REE} = 196\text{ppm}$ ) 和酸性岩 ( $\Sigma\text{REE} = 290\text{ppm}$ ) 稀土元素丰度平均值,所有岩石样品 REE 分布型式相类似,均为一向右倾斜的曲线,  $\delta\text{Eu}$  值分别为 0.72、0.54、0.57 和 0.59,其组成特点完全可与西藏冈底斯山燕山晚期花岗闪长岩类 REE 地球化学特征<sup>[4]</sup>相对比。研究认为:它们是地壳物质深熔或部分熔融的产物。如果详细分析杂岩体各主要岩相的 REE 分布型式,不难看到:从石英闪长岩经花岗闪长岩到花岗闪长斑岩,REE 分布曲线图形逐步上移,  $\text{LREE}/\text{HREE}$  从 2.69、3.11 到 3.07。

①地质部矿床地质研究所,国外地质参考资料 20, 1981, 5

②地质部矿床地质所,国外地质参考资料, 20, 1981, 18

哈达庙侵入杂岩体各类岩石稀土元素丰度(ppm)及有关参数

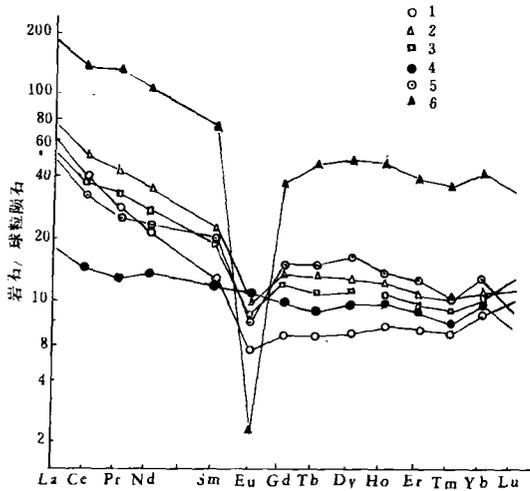
表 2

Table 2 Rare earth element abundance (ppm) and some parameters of different rock unit from the Hadamio intrusive complex

产号	样品号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ REE	δEu	$\frac{LREE}{HREE}$
1	H8701	花岗斑岩	19.70	37.23	3.39	12.82	2.56	0.40	2.01	0.32	2.33	0.52	1.44	0.21	1.54	0.29	12.83	97.55	0.56	3.54
2	H8706	花岗斑岩	18.47	38.17	3.24	12.02	2.48	0.42	1.80	0.31	2.33	0.43	1.48	0.21	1.63	0.30	13.02	96.31	0.63	3.48
3	H8716①	同上	31.18	60.10	4.87	16.96	3.00	0.48	1.79	0.33	2.29	0.50	1.28	0.21	1.51	0.31	11.04	135.85	0.63	6.05
4	H8744	花岗闪长斑岩	24.20	46.13	5.04	20.55	4.45	0.74	4.03	0.66	3.68	0.86	2.12	0.30	1.99	0.29	18.97	134.01	0.57	3.07
5	H8741②	花岗闪长斑岩	9.74	16.04	1.67	6.00	1.28	0.35	1.37	0.36	0.98	0.26	0.72	0.22	0.96	0.22	7.16	47.33	0.88	2.86
6	H8721	花岗闪长岩	23.74	46.57	4.99	19.95	4.29	0.69	3.92	0.61	3.61	0.82	2.08	0.30	1.90	0.14	17.85	131.46	0.55	3.21
7	H8725	同上	24.22	47.56	5.13	20.39	4.40	0.67	4.88	0.60	3.75	0.84	2.21	0.31	2.16	0.30	19.67	136.29	0.52	3.02
8	H8720	火山角砾岩	16.64	29.14	3.01	15.0	3.80	0.58	4.34	0.68	4.81	0.88	2.48	0.31	2.09	0.29	24.50	108.55	0.48	1.68
9	H8711	石英闪长岩	17.39	35.44	3.85	16.45	3.74	0.69	3.67	0.51	3.42	0.77	1.90	0.27	1.82	0.20	16.80	106.92	0.62	2.64
10	H8717	石英闪长岩	19.15	38.93	4.15	17.22	3.74	0.89	3.40	0.47	3.53	0.74	2.00	0.29	1.95	0.40	17.97	114.83	0.82	2.73
11	H87170	闪长玢岩	5.99	13.47	1.66	8.11	2.29	0.75	2.98	0.43	2.85	0.66	1.69	0.24	1.65	0.21	15.54	59.52	0.98	1.23
12	H87131	流纹岩	60.30	127.80	15.70	61.59	13.79	0.17	11.10	2.10	13.16	3.12	7.56	1.11	7.52	0.94	64.69	390.65	0.04	2.50

测试单位:中国地质科学院岩矿测试研究所

①蚀变花岗斑岩;②蚀变花岗闪长斑岩



说明

- 1、花岗斑岩(H8701)
- 2、花岗闪长岩(H8721)
- 3、石英闪长岩(H8717)
- 4、闪长玢岩
- 5、隐爆火山角砾岩(H8720)
- 6、流纹质岩脉

图 2 哈达庙侵入杂岩体各主要岩石类型球粒陨石标准化 REE 分布型式

Fig. 2 Chondrite - normalized REE patterns of different rock unite from the Hadamio intrusive complex

因此,花岗闪长岩类比花岗斑岩相对富集 HREE 为特征,变化趋势同钙—碱系列中酸性岩浆 REE 行为特点相吻合。从花岗闪长岩类到花岗斑岩,REE 组成特点和变化特征同前述石英闪长岩到花岗闪长岩类有所不同,即:REE 分布曲线图形明显下移,丰度值急剧下降,其变异趋势同一般钙—碱系列岩浆中 REE 演化特点并不完全一致。哈达庙侵入杂岩体中 REE 变化经历了贫化→富集→贫化过程,具有阶段性演化特征。

3、隐爆火山角砾岩  $\Sigma\text{REE} = 108.55\text{ppm}$ ,  $\text{LREE}/\text{HREE} = 1.68$  和  $\delta\text{Eu} = 0.48$ , 其分布型式和组成特点同石英闪长岩相近似, 但以铕明显亏损和 HREE 相对富集为特征, HREE 含量高于所有主要岩石类型。据此可以推测: 隐爆火山角砾岩与石英闪长岩和花岗闪长岩类一样同是壳源物质深熔作用的产物, 岩浆体系中挥发性组分大量聚集是引起岩浆在特定物理—化学环境中发生隐爆和造成 HREE 相对富集的原因。

4、流纹质岩脉  $\Sigma\text{REE} = 390.65\text{ppm}$ ,  $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.50$  和  $\delta\text{Eu} = 0.04$ , 其分布型式为一略向右倾的“V”字型, 组成特点与杂岩体内各主要岩石类型迥然不同, 全岩岩石样品富 REE (特别是富 HREE) 和明显的铕负异常均可同我国南岭地区部分壳源岩浆成因小岩体相对比<sup>[5]</sup>, 结合流纹质岩脉野外地质产状和岩矿特征, 笔者认为: 它是侵入杂岩体固结成岩之后, 另外一期岩浆活动的产物, 成岩物质来源与侵入杂岩体不尽相同, 源岩 REE 含量的差异是造成全岩 REE 丰度和分布型式明显不同的主要控制因素。

## (二)关于侵入杂岩体 REE 的阶段演化特点

如前所述, 哈达庙侵入杂岩体各主要岩石类型在 REE 分布型式和组成特点上的相似性暗示了其成岩物质来自同一或相似的岩浆源, 同时, 各种岩相在 REE 变异特征上的差异也反映了不同的成岩物理—化学条件和演化阶段。一般来讲, 在中偏酸性岩浆演化过程中, 即从闪长玢岩经石英闪长岩到花岗闪长岩类, REE 贫化、富集规律主要受 REE 晶体化学性质、造岩矿物和副矿物种类与含量制约。岩浆演化初期, 离子半径较小的 HREE 优先参与矿物的结晶作用, 从而在早期结晶形成的矿物中富集 HREE<sup>[6]</sup> (如锆石、独居石、榍石等), 而离子半径较大的 LREE 则趋于在残余熔浆中富集, 从而在岩浆结晶晚期形成偏酸性, 富 LREE 的岩石类型。从闪长玢岩经石英闪长岩到花岗闪长岩类, HREE 逐步富集趋势同岩体中锆石含量从  $2\text{g/t}$  经  $8\text{g/t}$  到  $21\text{g/t}$  的增高相一致。

同上述中偏酸性岩浆演化过程中 REE 地球化学性状相比, 酸性岩浆 REE 变异特点变化多样、更为复杂。随着岩浆中钙、镁、铁质组分大大减少, 长英质组分急剧增加, 岩浆性质会发生一定的变化如熔浆聚合作用增强, 粘度增大。另外, 挥发性组分的大量聚集亦可改变岩浆的分异方式, 如热重扩散效应的产生<sup>[7]</sup>。在此, 矿物结晶分异作用已不再是岩浆 REE 演化的唯一控制因素。因此, 很难用结晶分异解释杂岩体中从花岗闪长岩类到花岗斑岩 REE 逐渐贫化的现象。结合野外地质特征和其它岩矿证据, 笔者认为本区酸性岩浆中 REE 贫化特征可归因于三个方面: 其一, 杂岩体成岩岩浆体系中的热重扩散效应可导致大量长英质组分在岩浆房顶部富集, 由于 REE 可同钙、镁、铁等元素发生广泛置换作用, 因此, 岩浆房底部富镁、铁、钙矿物的部位以富 LREE 为特征, 从而引起 LREE 分异, 造成花岗斑岩体内部 LREE 贫化。其二, 实验数据表明, 尽管  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$ 、 $\text{H}_2\text{O} + \text{F}$  等挥发性组分气—液间的 LREE 分配系数远小 1, 但是纯  $\text{CO}_2$  气—液间的分配系数可达 50<sup>①</sup>。如果岩浆体系中存在有大量  $\text{CO}_2$ , 那么  $\text{CO}_2$  将会从熔浆中带走大量 LREE。哈达庙含金斑岩体中大量原生、富  $\text{CO}_2$  气液包裹体的存在表明, 岩浆结晶晚期以富  $\text{CO}_2$  为特征。其三, 同花岗闪长岩类相比, 花岗斑岩中锆石和磷灰石含量略有

①地矿部南京地矿所, 国外地质科技资料选集, 23 (1983), 125

减少亦是造成全岩 REE 贫化的因素之一。

综上所述,哈达庙侵入杂岩体各主要岩石类型 REE 的阶段性演变趋势从另外一个角度揭示了岩浆演化的复杂过程。在闪长玢岩、石英闪长岩和花岗闪长岩类形成过程中,全岩 REE 贫化、富集规律主要受矿物结晶分异作用控制,而在花岗斑岩体中形成过程中,REE 分布型式和组成特点变化受结晶分异和热重扩散双重效应制约,从而造成岩浆演化过程中 REE 变化的不连续性。

#### 四、热液蚀变过程中 REE 地球化学特点

哈达庙侵入杂岩体中心地带花岗岩类小岩体分布广泛,较为发育,其中部分小岩体不同程度地发育有金矿化、个别可构成具工业价值的金矿体(如哈达庙花岗斑岩),但也有部分岩体尽管也遭受到不同程度热液蚀变、地质产状、岩石学和矿物学特征可同含金小岩体进行对比,但金矿化发育程度较弱,难以构成金矿体。为了探讨这些小岩体在成矿地质特征上的异同点,笔者利用 REE 数据对有代表性的伊恨乌苏非含金花岗闪长斑岩和哈达庙含金花岗斑岩分别进行了对比研究,四件全岩 REE 球粒陨石标准化分布型式见图 3 和 4。

伊恨乌苏蚀变花岗闪长斑岩  $\Sigma\text{REE} = 47.33\text{ppm}$ ,  $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.86$  和  $\delta\text{Eu} = 0.88$ , 分布型式为一右缓倾的曲线,与新鲜岩石样品图式基本相似,(图 3),反映了它们在成因上的继承演化关系,蚀变岩以 REE 明显贫化,不明显的铕负异常和 HREE 相对富集为特征。镜下观察:蚀变主要由钠长石化、绿泥石化、硅化、绢云母化和泥化,热液蚀变的强度和广度与全岩 REE 贫化程度为同消长关系。

哈达庙含金花岗斑岩体蚀变岩的  $\Sigma\text{REE} = 135.85\text{ppm}$ ,  $\text{LREE}/\text{HREE} = 6.05$  和  $\delta\text{Eu} = 0.63$ 。同新鲜岩石样品相比,蚀变岩 REE 丰度明显增高,其中 LREE 含量的增加幅度尤为明显,而 HREE 和  $\delta\text{Eu}$  基本与原岩相同(图 4)。镜下观察:热液蚀变类型主要有钾长石化,电气石化,硅化,绿泥石化和绿帘石化,蚀变强度和广度均不及前述的伊恨乌苏花岗闪长斑岩。

研究表明,蚀变岩中 REE 分布型式和组成特点不仅受原岩 REE 丰度支配,同时也反映了岩浆期后热液性质和蚀变作用的物理—化学条件。伊恨乌苏斑岩体随着热液蚀变强度的增加,许多造岩矿物(长石、黑云母、角闪石)和铁氧化物发生分解,从而释放出 Ca、Fe、Mg、Al、Sr、K 和 Rb(表 1),由于三价稀土元素可与上述元素发生广泛置换作用,如 Sm—Er 对 Ca, La 和 Ce 对 K 等,所以钙、钾,铁和镁等元素的淋滤也必然造成 REE 的系统贫化。(蚀变岩/未蚀变岩) REE 分布曲线在 Sm 到 Lu 段内的跳跃式变化,暗示了岩体热液蚀变过程中各 HREE 的稳定性程度很不相同,蚀变岩 REE 明显亏损的特点,表明 REE 的大量淋失与天水混入致使岩浆溶液 REE 浓度降低有关,热液蚀变作用从岩体中大量浸出 REE,然后以易溶络合物方式迁移丢失。

一般来讲,随着斑岩体热液蚀变作用增强,REE 逐渐被淋滤贫化。但是在哈达庙花岗斑岩体的蚀变岩中,观察到的却是相反的变化趋向,即从新鲜岩石样品到蚀变岩,REE 丰度非但没有降低,而且略有富集(图 4),变异特征同许多含金斑岩体蚀变岩相带相类似<sup>[8]</sup>,很难用通常的 LREE、HREE 分离理论来解释。蚀变岩富 REE 的特点反映了参与岩体热液蚀变的溶液

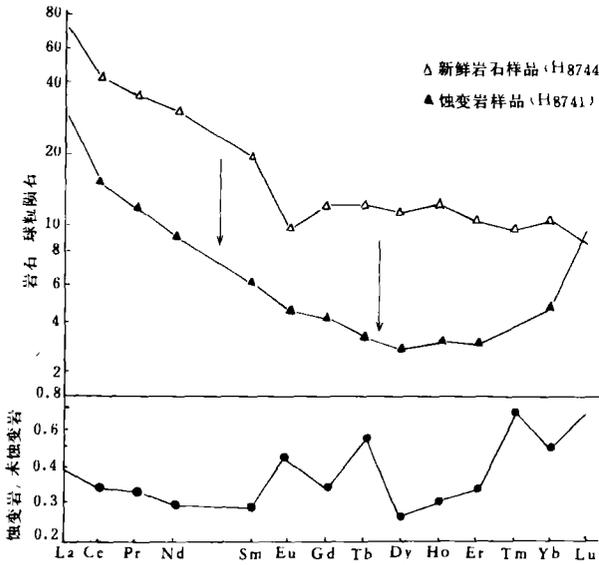


图3 伊恨乌苏非含金花岗闪长斑岩体蚀变岩与未蚀变岩球粒陨石标准化REE分布型式

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of unaltered and altered rock samples from the Yihen-wusu gold-free granodiorite porphyry

含量亦为气液包裹体成分分析所证实<sup>(2)</sup>。LREE与Cl<sup>-</sup>，Cl<sup>-</sup>与Au关系的进一步研究将为评价含金岩体和探讨金成矿物质来源开辟新的途径。

### 结 论

通过对哈达庙含金侵入杂岩体全岩REE分布型式和组成特点研究可得到以下几点结论：

1、哈达庙含金侵入杂岩体各主要岩相的REE地球化学演化过程分为两个阶段。从闪长玢岩、石英闪长岩、隐爆火山角砾岩到花岗闪长岩或花岗闪长斑岩，REE变异趋势主

可能是一种富REE、Au、Cl<sup>-</sup>、F<sup>-</sup>和CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>的成矿溶液，有资料表明，由此溶液沉淀形成的白钨矿，其REE含量可高达374ppm<sup>(8)</sup> (La 12ppm, Ce65ppm, Nd121ppm, Sm68ppm, Eu54ppm, Tb23ppm, Yb12ppm, Lu19ppm)。溶液中金属来源同原岩造岩矿物和副矿物的解体有关，而热液沉淀物中REE的迁移富集主要受几个重要的络阴离子团控制，如Cl<sup>-</sup>与LREE，F<sup>-</sup>或CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>与HREE常形成易溶络合物搬运<sup>(9)</sup>，并在特定地质构造部位和物理化学条件下，沉淀形成富REE矿物相或岩相带，如果这样的溶液对原岩进行蚀变作用，可造成原岩REE含量的增高。

含矿斑岩体与非含矿斑岩体热液蚀变过程中，REE变异特点的差异除了同原岩REE含量有关外，最主要的影响因素是岩浆期后热液的REE含量和络阴离子的种类，本区含金成矿溶液富LREE、Cl<sup>-</sup>、和W的特征是造成含金斑岩体蚀变岩LREE富集的控制因素，Cl<sup>-</sup>

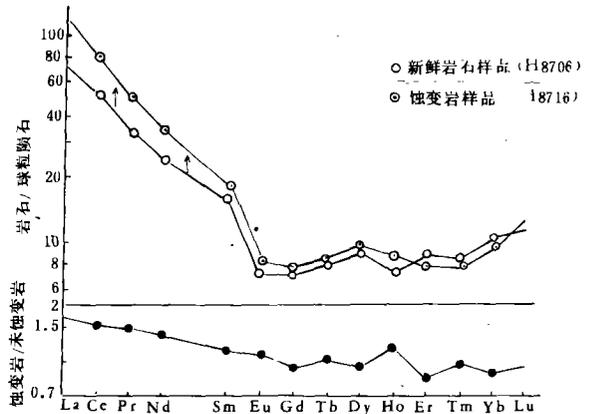


图4 哈达庙含金花岗斑岩体蚀变与未蚀变岩球粒陨石标准化REE分布型式

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of unaltered and altered rock samples from the Hadamiao gold-bearing granite porphyry.

要受岩浆矿物结晶分异作用控制,而从花岗闪长岩类到花岗斑岩,REE的贫化与富集则受结晶分异和热重扩散双重效应影响。

2、各主要岩相REE分布型式和组成特点与我国南方壳源或混源深熔型花岗岩类相似,结合铅同位素数据和和其它地质证据,推测它们是1300Ma前含基性岩成分较多的壳源物质通过深熔作用形成的。

3、蚀变花岗岩类斑岩体REE地球化学研究结果表明,非含矿蚀变岩以REE强烈亏损和铈异常不显著为特点,而含矿蚀变岩以REE明显富集为特征,蚀变岩REE变异趋势暗示了成矿溶液是一种富REE、Au、 $F^-$ 、 $Cl^-$ 和 $CO_3^{2-}$ 的热液,REE分布型式可作为评价岩体含矿性的一种地球化学指标。

4、隐爆火山角砾岩的REE丰度可与石英闪长岩相类比,但LREE/HREE明显降低,HREE相对富集,可归因于成岩岩浆中大量挥发性组分的富集。

5、杂岩体中分布的流纹质脉岩以富REE和明显铈负异常为特点,无论是REE丰度,还是分布型式均与杂岩体各主要岩相迥然不同,因此,可以推测,流纹质脉岩是另外一期岩浆活动的产物,物质来源与杂岩体不同。

本研究工作是国家七五期间重点科研项目《自乃庙—镶黄旗绿片岩—斑岩铜、钼、金矿成矿机制及隐伏矿床预测》子课题研究成果的一部分,研究工作得到长春地院陈琦教授,内蒙古地矿局一〇三地质队赵贵麟高级工程师指导,野外工作承蒙张德生、孙浩和樊建廷工程师大力协助,笔者在此一并致谢。

## 参考文献

- [1] 聂凤军、张洪涛、孙浩、樊建廷,内蒙古哈达庙含金隐爆火山角砾岩带地质特征及成因探讨,地球探索,创刊号,1988
- [2] 聂凤军、张洪涛、孙浩、樊建廷,内蒙古哈达庙金矿床地质特征及矿床成因探讨,矿床地质,8(2)1989
- [3] Wedepohl, K. H., 1971, Yttrium and Lanthanides, 39, 57-71-E-11. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg
- [4] 赵振华、王一先、钱志鑫、张玉泉、王中刚,西藏南部花岗岩类稀土元素分布模式,地球化学,(1)1981
- [5] 满发胜,与华南某些钨矿床有关的花岗岩类的稀土模式特征及其成因问题,矿床地质,4(1)1985
- [6] Henderson, p., Rare earth element partition between sphene, apatite and other coexisting minerals of the Kangerdlugaaug intrusion, E. Greenland. Contrib. Mineral. petrol. 72 1980, 81-85
- [7] Hildreth, w., The Bishop Tuff; evidence for the origin of compositional zonation in silicic magma chamber. In: C. E. Chapin and W. E. Elston (Editors), Ash Flow Tuffs. Geol. Soc. Am. Spec. paper, 180, 1979, 43-75
- [8] Ludden, J. N., Robert, R. D. F. and Taylor, R. P., Trace element mobility in alteration zones associated with Archean Au lode deposits. Economic Geology, 79 (5) 1984, 1139.
- [9] R. P 泰勒和 B. J. 弗赖尔,借助稀土元素地球化学解释热液矿床的形成(聂凤军译)地质地球化学,(5)1985, 21

**GEOCHEMISTRY OF RARE EARTH ELEMENT IN THE HADAMIAO  
GOLD—BEARING INTRUSIVE COMPLEX, XIANGHUANGQI,  
NEI MONGGOL (INNER MONGOLIA)**

*Nie Fengjun Zhang Hongtao*

*(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences)*

**Abstract**

The systematic analysis and the patterns of REE of major rock phase from the Hadaminjo intrusive complex are presented here, which furnish further evidence for rock—forming process.

1. The REE patterns of major rock phase from the complex all exhibit a rightward decline curve with a faint negative Eu— anomaly. REE content increases progressively from dioriteporphyrite (58.52ppm) through quartz diorite (110.888ppm) and cryptoexplosion volcanic breccia (108.55ppm) to granodiorite (134.38ppm) and grannodiorite porphyry (134.01ppm), whereas dropped distinctly from granodiorite porphtry to graniteporphyry (96.93ppm). It was suggested that the former is attributed to mineral crystalline differentiation of magma, the latter is the result of integrate effect of multiple differentiation.

2. The REE content increases from unaltered to altered rock sample in the Hadamio gold—bearing graniteporphtry. Conversely, REE content has obviously depletion from unaltered to altered rock sample in Yihenwusu gold—free granodiorite porphyry.

3. The REE patterns of rhyolites (REE = 390.65ppm) has a v—shaped curve with a strong negative Eu anomaly. Study shows that rhyolite is quite different form the complex on their original magma.

In term of these REE characters, isotopic data and other geological evidences, it has been suggested that rock—forming material was originated mainly from the partial melting or anatexis of proterozoic basement 1300Ma ago. Major rock phase of the complex were formed at different evolutionary stage of a comagma. REE patterns of the gold—bearing altered rocks from the graniteporphry can be taken as an indicator for gold prospecting in this area