

## 江西金山金矿床稀土元素地球化学特征及意义

刘志远<sup>1,2</sup>, 金成洙<sup>1</sup>, 王荣湖<sup>1</sup>, 梁俊红<sup>1</sup>, 张开平<sup>3</sup>(1. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 辽宁有色丹东地勘院, 辽宁 丹东 118008;  
3. 江西金山金矿, 江西 德兴 334213)

**摘要:** 稀土元素在地质体中的丰度及分布形式与地质体的发生发展及物质组成有关。通过对比分析矿床的稀土元素组成特征及分布模式, 研究矿床围岩、蚀变带及各类矿物的稀土元素地球化学行为, 认为在高水/岩比值下热液蚀变作用使其稀土元素产生明显的带入和带出, 但成岩和成矿物质具有继承性演化的特点。含金石英脉的稀土元素地球化学特征表明成矿流体具有多源性。石英脉成因不同, 是不同成矿阶段热液与构造共同作用的产物。本次工作发现的硅质岩, 其地球化学特征表明是一种混有火山物质或陆源物质的过渡类型热水沉积岩, 可能指示该矿床早期存在热水喷流成岩成矿作用。

**关键词:** 含金石英脉, 硅质岩, 热水沉积, 稀土元素, 江西

稀土元素普遍被认为是惰性元素, 但在热液交代蚀变作用中具有一定程度的活动性, 因此被广泛用作地质体成因和演化的指示剂。金山金矿床为典型的受韧性剪切带控制的热液蚀变型金矿床。通过对不同空间分布的原岩、蚀变岩及矿石进行稀土元素地球化学研究, 旨在探讨岩石成因、矿质来源以及蚀变和矿化过程中稀土元素的地球化学行为。

## 1 矿床地质特征

金山金矿区位于江南台隆东南缘, 赣东北深大断裂北西侧。矿区地层主要是中元古界双桥山第三岩性组浅变质岩, 岩性为板岩、千枚岩、变质晶屑凝灰岩及变质杂砂岩夹多层变余鞍山玄武岩。矿区范围内未见岩岩出露, 矿区外围燕山期岩浆岩活动十分强烈。金矿体产出严格受NEE向推覆型韧性剪切带控制, 从剪切带边缘到应变中心依次出现初糜棱岩带-糜棱岩带-超糜棱岩带, 金矿体赋存于剪切带应变中心的糜棱岩、超糜棱岩带(图1)。金矿化类型有蚀变糜棱岩型和石英脉型两大类。前者是矿床的主体, 矿体平行剪切带呈层状、似层状产出, 矿石为含金超糜棱岩、糜棱岩、千糜岩等。石英脉型矿体主要产在蚀变糜棱岩型矿体上部或穿插其中, 规模小且不稳定。近矿围岩普遍遭受蚀变, 与金矿化有关的蚀变主要有硅化、黄铁矿化及绢云母化, 其次为绿泥石化和碳酸盐化。矿床矿物组合较为简单, 金属矿物主要是黄铁矿, 其次是毒砂、闪锌矿、黄铜矿及方铅矿等; 非金属矿物主要是石英, 其次为绢云母、钠长石、铁白云石及绿泥石等。

## 2 金山金矿床不同岩石、矿石稀土元素组成及分布模式

用于稀土元素研究的样品(10件)采自地下坑道内, 分析仪

器采用等离子光谱计, 测试由原地质矿产部沈阳综合岩矿测试中心完成。经检测表明分析精度达到要求, 数据可靠。球粒陨石标准化数据采用Boynton推荐数据。稀土元素组成见表1。

## 2.1 围岩的稀土元素组成及分布型式

矿体上盘砂质千枚岩及矿体下盘含碳千枚岩与矿区外围双桥山群千枚岩和德兴地区双桥山群浅变质岩系 $\Sigma$ REE平均值大致相近, 特征值 $\Sigma$ Ce/ $\Sigma$ Y、 $\delta$ Eu、 $\delta$ Ce等亦大体相近<sup>[1]</sup>, 配分曲线均表现为铈负异常、向右倾斜的轻稀土富集型(图2a), 它们应属同一沉积环境。变安山质玄武岩的稀土元素特征明显不同于其他围岩,  $\Sigma$ Ce/ $\Sigma$ Y值2.46,  $(La/Yb)_N$ 值1.86, 配分曲线为轻、重稀土元素分馏微弱的平整型, 是深源岩浆喷溢的产物。深部蚀变带中的变安山质玄武岩稀土元素特征有一些差异, 表现在 $\Sigma$ Ce/ $\Sigma$ Y值6.61,  $(La/Yb)_N$ 值6.74, 且有矿化显示, 配分曲线由平整型变为右倾轻稀土富集型, 说明在变质热液作用下, 稀土元素发生活化迁移。

## 2.2 蚀变带的稀土元素组成及分布型式

金山韧性剪切带内的3个构造蚀变岩带——初糜棱岩带、糜棱岩带和超糜棱岩带的 $\Sigma$ Ce/ $\Sigma$ Y、 $\delta$ Eu、 $\delta$ Ce、 $(La/Yb)_N$ 等特征值相近, 配分曲线表现为铈负异常、向右倾斜的轻稀土富集型。由应变强度中心向两侧稀土元素呈现有规律的变化, 即随应变强度增强,  $\Sigma$ REE逐渐降低。蚀变带与围岩双桥山群的区别是配分曲线位于其下部, 但形态相似, 只是 $\Sigma$ REE发生亏损, 其他特征值相近(图2b)。

## 2.3 矿石的稀土元素组成及分布型式

矿床矿石类型包括蚀变糜棱岩型和石英脉型(图2c)。蚀变糜棱岩型矿石的稀土元素组成变化较大,  $\Sigma$ REE值 $11.71 \times 10^{-6} \sim 79.19 \times 10^{-6}$ , 平均 $38.62 \times 10^{-6}$ ;  $\Sigma$ Ce值 $10.30 \times 10^{-6} \sim$

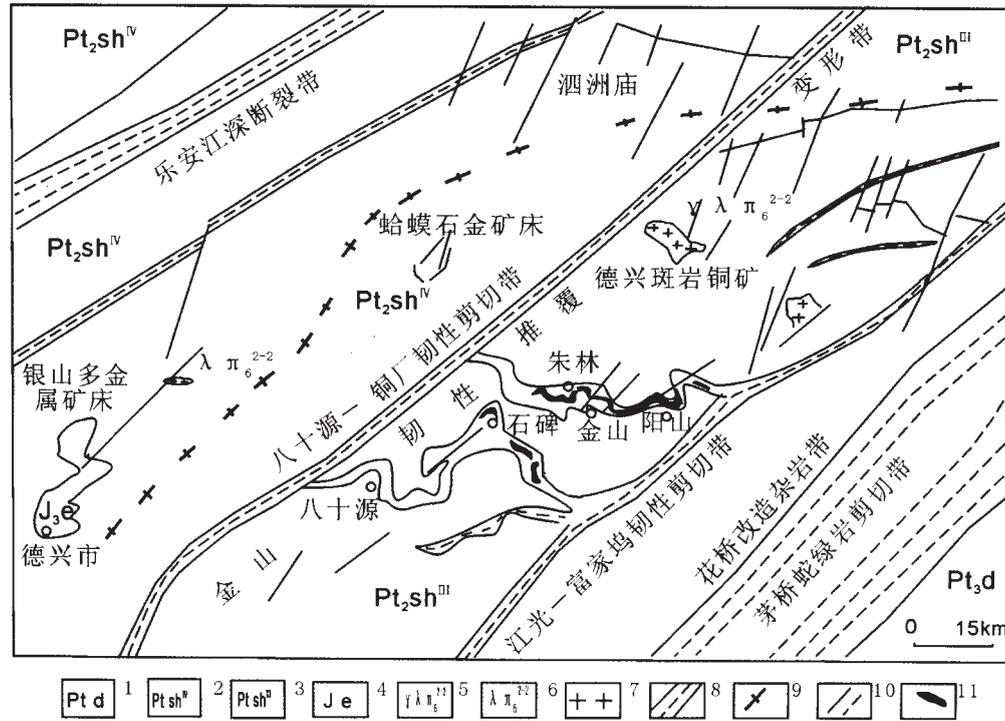


图 1 江西金山金矿区域地质简图  
(据华仁民)

Fig. 1 Geological sketch map of Jinshan gold deposit  
(after HUA Ren-min)

1—登山群(Dengshan group) 2—双桥山群第四岩性组(the fourth lithologic unit of Shuangqiaoshan group) 3—双桥山群第三岩性组(the third lithologic unit of Shuangqiaoshan group) 4—上侏罗统鹅湖岭组(Ehuling formation of Upper Jurassic) 5—花岗闪长斑岩(granodiorite porphyry) 6—英安斑岩(dacite porphyry) 7—岩体(intrusive rock) 8—韧性剪切带(ductile shear zone) 9—褶皱(fold) ;10—断裂(fault) ;11—金矿床(gold deposit)

$68.25 \times 10^{-6}$ , 平均  $33.08 \times 10^{-6}$ ;  $\Sigma Y$  值  $1.40 \times 10^{-6} \sim 12.86 \times 10^{-6}$ , 平均  $5.54 \times 10^{-6}$ , 这是由于硅化等蚀变程度不同所引起, 其他特征值  $\Sigma Ce / \Sigma Y$ ,  $\delta Eu$ ,  $\delta Ce$  等相近. 除了  $\Sigma REE$  有较大亏损, 稀土元素特征值及配分曲线与蚀变带和围岩双桥山群相似, 为铈负异常, 向右倾斜的轻稀土富集型. 石英脉型矿石  $\Sigma REE$  明显低于蚀变岩型矿石, 而且特征参数值变化较大,  $\Sigma REE$  值  $4.25 \times 10^{-6} \sim 28.08 \times 10^{-6}$ ,  $\Sigma Ce / \Sigma Y$  值  $3.34 \sim 10.46$ ,  $(La/Lb)_N$  值  $3.78 \sim 10.50$ ,  $(La/Sm)_N$  值  $1.60 \sim 18.66$ ,  $(Gd/Yb)_N$  值  $1.39 \sim 2.50$ ,  $\delta Eu$  值  $0.26 \sim 1.19$ , 配分曲线各有不同的特点. 表明石英脉成岩、成矿过程的复杂性.

#### 2.4 硅质岩的稀土元素组成及分布型式

此次发现的硅质岩有别于矿山生产上的广义硅质岩. 经野外观察及镜下鉴定, 硅质岩呈烟灰色, 具有层纹状构造, 石英呈隐晶质及细粒他型不规则状, 产状上呈层状、似层状产出. 在 25 m、75 m 中段的样品稀土元素特征值分别为  $\Sigma REE$  值  $33.60 \times 10^{-6}$ ,  $75.58 \times 10^{-6}$ ,  $\Sigma Ce / \Sigma Y$  值 6.85、6.53,  $(La/Sm)_N$  值 3.09、3.16,  $(La/Yb)_N$  值 5.93、6.69,  $\delta Eu$  值 0.64、0.78,  $\delta Ce$  值 1.11、1.04. 与双桥山群相比  $\Sigma Ce / \Sigma Y$ ,  $(La/Sm)_N$  和  $(La/Yb)_N$  值降低, 稀土元素配分曲线仍有一定的相似性, 为铈负异常右倾轻稀土富集型(图 2d).

总之, 从干枚岩, 经初糜棱岩、糜棱岩、超糜棱岩到含金石英脉, 稀土元素具有明显的带入和带出;  $\Sigma REE$ 、 $\Sigma Ce$ 、 $\Sigma Y$  呈现降低的趋势;  $\Sigma Ce / \Sigma Y$  值显示轻稀土元素富集;  $(La/Yb)_N$  值表明轻、重稀土元素分馏中等, 铈亏损较明显, 铈基本没有明显的亏损或富集. 硅质岩和含金石英脉虽有相似性, 但又有自己的特点.

#### 3 稀土元素与成岩成矿作用

在基性火成岩和火山沉积岩的区域变质作用过程中, 稀土元素的重新分配具有化学性质. Allegre 等 (1978) 给出了地壳不同类型岩石的分区, 依据  $(La/Yb)_N - \Sigma REE$  图解来识别变质岩的原岩. 表 1 中各样品稀土元素分析数据的投影大多落在沉积岩钙质泥质区下部与大陆拉斑玄武岩交汇部(图 3), 说明原始物质主要来源于大陆地壳和深源火山沉积. 中元古界双桥山群优地槽含火山物质的泥沙质复理石建造为矿床的含金建造, 成矿物质具有一致性与继承性<sup>[1]</sup>.

##### 3.1 硅质岩的稀土元素地球化学

通过对硅质岩的岩石化学成分和稀土元素的测试分析, 认为其具有一定的热水沉积成因. 本区硅质岩  $SiO_2$  含量  $86.40 \times 10^{-2} \sim 91.62 \times 10^{-2}$ ,  $Al_2O_3$  含量  $2.50 \times 10^{-2} \sim 2.89 \times 10^{-2}$ , 在

SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 图解上落在热水区。典型热水沉积物的有效地球化学参数 Fe/Ti > 20、(Fe + Mn)/Ti > 20、Al/(Al + Fe + Mn) < 0.35<sup>[2]</sup>。本区硅质岩上述参数分别为 Fe/Ti 值 34.51、26.99、(Fe + Mn)/Ti 值 35.12、31.81，Al/(Al + Fe + Mn) 值 0.37、0.49。Al/(Al + Fe + Mn) 值介于纯热水沉积与纯远海生物沉积之间，其生物沉积的共同作用尚值得进一步研究。

Fleet(1983)系统研究过热水沉积物与非热水沉积物之间稀土元素特征上的差异，认为前者ΣREE低、Ce为负异常、HREE有富集趋势。本区2件硅质岩样品ΣREE分别为33.60 × 10<sup>-6</sup>、75.58 × 10<sup>-6</sup>，δEu为0.64、0.78，δCe为1.11、1.04，(Gd/Yb)<sub>N</sub>为1.59、1.84，此值较小显示HREE有一定的富集趋势。研究认为，本区硅质岩具有热水沉积特征，但并非典型的热

水沉积岩，还受到正常化学沉积作用的影响。同时通过经北美页岩标准化的稀土元素分布模式图(图4)也可以较好地区分热水沉积与非热水沉积，热水沉积岩的稀土配分曲线表现出不同程度的左倾特征，倾斜度越高热水沉积物比例越大<sup>[3]</sup>。矿区内的硅质岩在此图中显示为倾斜度不高的左倾斜特征(图4)，同样说明本区硅质岩不是典型的纯热水沉积岩，属于有混合物源的过渡类型。

利用硅质岩REE的δCe值可以判断其沉积环境。R. W. Murray和H. Shimizu在研究了大洋中脊、大洋盆地和大陆边缘等不同大地构造环境中的硅质岩后认为，从大洋盆地至滨海相Ce亏损逐渐不明显。区内硅质岩δCe值经北美页岩标准化为1.08，为浅海-大陆边缘沉积环境。结合本区构造环境，认

表1 金山金矿岩石、矿石稀土元素组成

Table 1 REE compositions of rocks and ores from Jinshan gold deposit

序号	岩石类型	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	变安山质玄武岩	6.59	14.71	2.29	10.60	3.05	1.14	3.79	0.77	4.26	0.94	2.64	0.43	2.39	0.37
2	变安山质玄武岩	14.10	34.80	4.19	16.40	3.31	1.13	3.63	0.61	3.13	0.56	1.44	0.22	1.41	0.22
3	石英脉(110m)	5.92	12.70	1.27	5.08	0.52	0.14	0.69	0.09	0.73	0.17	0.28	0.03	0.38	0.08
4	石英脉*	0.56	1.49	0.15	0.75	0.22	0.10	0.31	0.05	0.30	0.05	0.14	0.02	0.10	0.01
5	石英脉(0m)	2.67	4.25	0.69	1.44	0.09	0.02	0.43	0.07	0.38	0.12	0.20	0.03	0.25	0.07
6	硅质岩(75m)	13.80	31.00	3.55	13.70	2.75	0.74	3.17	0.52	2.72	0.51	1.28	0.22	1.39	0.23
7	硅质岩(25m)	5.89	13.90	1.47	6.60	1.20	0.26	1.32	0.15	1.20	0.29	0.46	0.07	0.67	0.12
8	糜棱岩化岩*	34.69	76.32	8.36	32.30	6.43	1.49	6.09	1.01	5.79	1.19	3.56	0.54	2.93	0.51
9	糜棱岩	29.77	65.77	7.29	28.31	5.76	1.54	5.43	0.93	5.20	1.08	3.28	0.44	2.78	0.50
10	超糜棱岩	17.00	39.20	4.23	16.40	3.03	0.73	3.36	0.37	3.01	0.52	1.53	0.25	1.59	0.25
11	含碳千枚岩	27.10	78.60	6.31	26.50	4.79	1.18	4.66	0.74	4.78	0.86	2.61	0.42	2.49	0.41
12	砂质千枚岩*	31.65	64.57	8.57	27.90	6.01	1.50	5.81	1.52	5.09	0.84	3.13	0.55	1.52	0.48
13	硅化千糜岩	24.20	57.00	6.28	24.10	4.65	1.24	5.36	0.90	5.42	0.98	3.11	0.56	3.04	0.48
14	蚀变岩型矿石*	6.49	15.20	2.08	7.43	1.54	0.34	1.40	0.28	1.39	0.29	0.86	0.15	1.04	0.13
15	双桥山群*	30.80	64.50	8.10	27.31	5.88	1.38	5.57	1.11	4.96	0.87	3.04	0.55	2.55	0.46

序号	岩石类型	ΣREE	ΣCe	ΣY	ΣCe/ΣY	δEu	ΔCe	(La/Sm) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>
1	变安山质玄武岩	53.97	38.38	15.59	2.46	1.04	0.91	1.36	1.86	1.28
2	变安山质玄武岩	85.15	73.93	11.18	6.61	1.01	1.08	2.68	6.74	2.08
3	石英脉(110m)	28.08	25.63	2.45	10.46	0.73	1.07	7.16	10.50	1.47
4	石英脉*	4.25	3.27	0.98	3.34	1.19	1.21	1.60	3.78	2.50
5	石英脉(0m)	10.71	9.16	1.55	5.91	0.26	0.74	18.66	7.20	1.39
6	硅质岩(75m)	75.58	65.54	10.04	6.53	0.78	1.04	3.16	6.69	1.84
7	硅质岩(25m)	33.60	29.32	4.28	6.85	0.64	1.11	3.09	5.93	1.59
8	糜棱岩化岩*	181.21	159.59	21.62	7.38	0.73	1.05	3.39	7.98	1.68
9	糜棱岩	158.08	138.44	19.64	7.05	0.84	1.05	3.25	7.22	1.58
10	超糜棱岩	91.47	80.59	10.88	7.41	0.71	1.08	3.53	7.21	1.71
11	含碳千枚岩	161.45	144.48	16.97	8.51	0.77	1.40	3.56	7.34	1.51
12	砂质千枚岩*	159.14	140.20	18.94	7.40	0.78	0.93	3.31	14.04	3.08
13	硅化千糜岩	137.32	117.47	19.85	5.92	0.77	1.09	3.27	5.37	1.42
14	蚀变岩型矿石*	38.62	33.08	5.54	5.98	0.71	0.99	2.65	4.21	1.09
15	双桥山群*	157.10	137.98	19.12	7.22	0.74	0.96	3.29	8.14	1.76

\* 引自江西有色地勘局资料；( )内为中段标高，含量单位：10<sup>-6</sup>

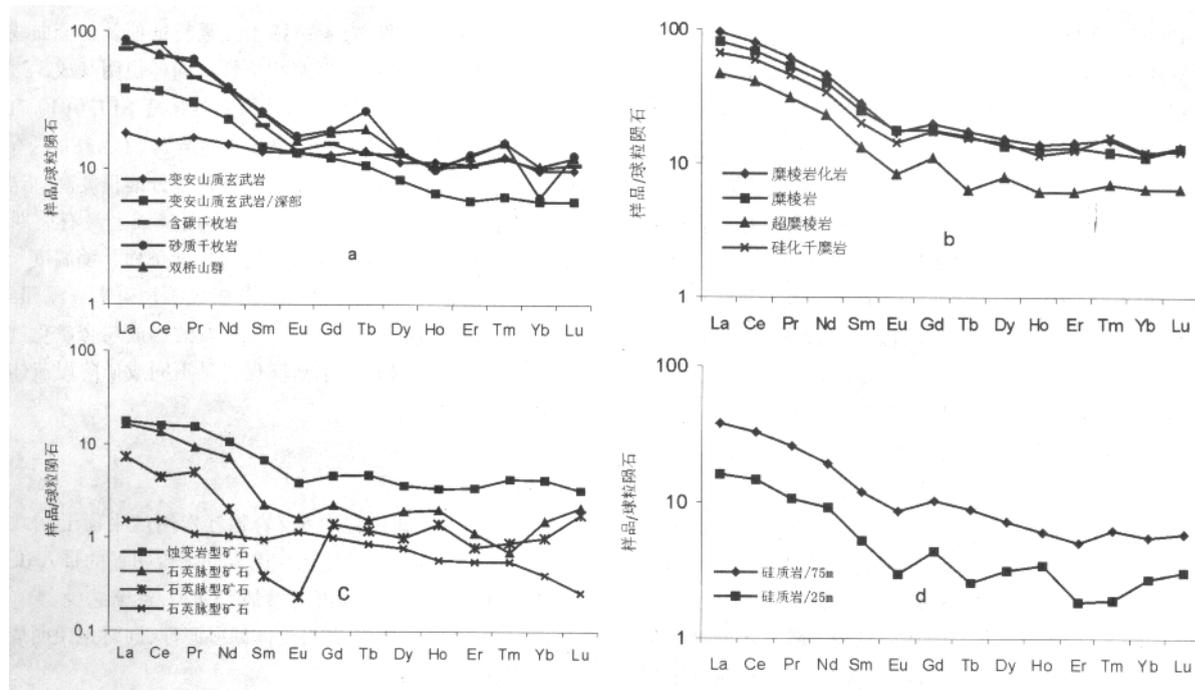


图 2 金山金矿床 REE 分布模式

Fig. 2 REE distribution patterns of Jinshan gold deposit

为硅质岩可能主要由热水喷流沉积作用形成，经热水与海水混合带入火山物质或陆源物质，初步判断金山金矿区内存在早期的热水喷流成岩成矿作用，热水沉积参加了金在矿源岩形成阶段的初步富集。

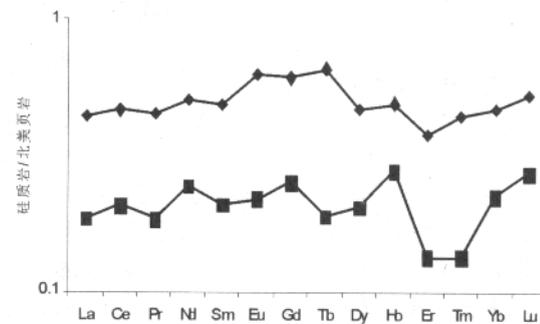


图 4 金山矿区硅质岩经北美页岩标准化 REE 分布模式

Fig. 4 REE distribution pattern of silicalites in Jinshan orefield standardized by North American shale

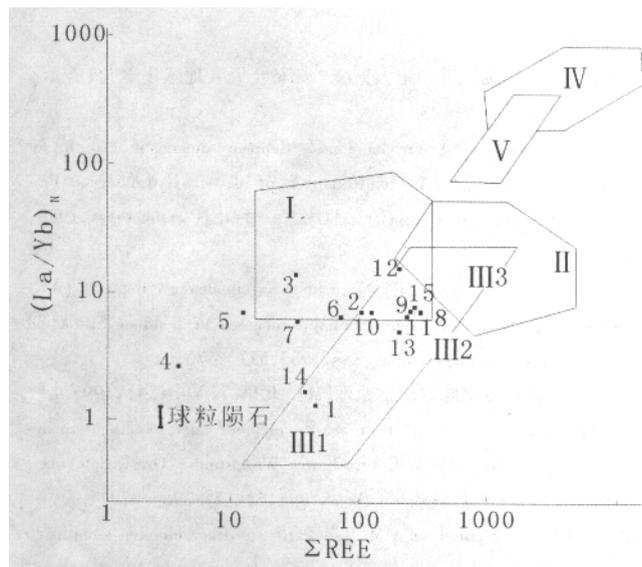


图 3 金山金矿床不同类型岩石  $(La/Yb)_N - \Sigma REE$  图解

Fig. 3  $(La/Yb)_N - \Sigma REE$  plot of different types of rocks in Jinshan gold deposit

I—钙质泥质沉积岩 (calcareous and argillaceous sedimentary rock) ; II—花岗岩 (granite) ; III 1—大洋拉斑玄武岩 (ocean tholeiite) ; III 2—大陆拉斑玄武岩 (continent tholeiite) ; III 3—碱性玄武岩 (alkali basalt) ; IV—碳酸盐 (carbonate) ; V—金伯利岩 (kimberlite)

### 3.2 蚀变过程中稀土元素地球化学

在低级变质作用过程中，稀土元素的活动性均涉及水或者流体，其实质是蚀变或交代作用，由此从岩石中获得金属，因此稀土元素可以作为水热体系中发生蚀变反应的示踪剂<sup>[4]</sup>。各蚀变带的稀土元素组成特征主要受原岩稀土元素组成、热液稀土元素浓度及组成、蚀变岩石的矿物成分及其形成的物理化学条件等因素控制。岩石在蚀变过程中破坏原生矿物释放稀土元素，同时新生矿物在晶格中结合稀土元素或在矿物颗粒表面、晶格缺陷及裂隙中吸附稀土元素，产生稀土元素的活化迁移及富集<sup>[5]</sup>。

超糜棱岩带蚀变作用主要有硅化、黄铁矿化和铁白云石化。从矿物学角度看，石英和黄铁矿均是贫稀土元素的矿物。硅化蚀变主要由绢云母与热液反应而生成：



绢云母分解的过程中释放其中的稀土元素,由于次生矿物很少富集稀土元素,因而被热液淋失。另外由于矿物相的稀释——碳酸盐矿物铁白云石不易容纳被交代矿物中的稀土元素。二者共同作用使 $\Sigma\text{REE}$ 大幅降低。区内蚀变反应发生在弱酸性环境中,这种弱酸性的热液活动,使重稀土元素相对原岩产生亏损,而轻稀土元素相对富集,因而 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 值仍较高。糜棱岩带蚀变以硅化、绢云母化及白云石化为主。由于硅化相对弱且绢云母相对富集轻稀土元素,所以与超糜棱岩带相比仅 $\Sigma\text{REE}$ 相对较高,其他特征值相似。糜棱岩化岩带蚀变主要有绿泥石化和方解石化。从矿物学角度看,虽然绿泥石相对富含重稀土元素,轻稀土元素含量相对较低,但 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 值仍相对较高,说明对原岩的稀土元素组成具有继承性。对矿床稀土元素的分析表明,稀土元素在热液蚀变过程中发生明显的活化转移。蚀变岩的稀土元素分布模式受原岩的影响,但均有稀土元素的丢失和轻、重稀土元素的分异。3个蚀变带的稀土元素配分曲线相似,仅 $\Sigma\text{REE}$ 随蚀变强度的增加而减少,暗示不同蚀变带热液流体成因和来源的一致性<sup>[6]</sup>。 $\delta\text{Eu}$ 为弱负异常,说明在成岩成矿过程中产生的热液含有较多还原物质,这与含金建造普遍存在含碳岩系有关。 $\text{Eu}^{+3}$ 被还原成 $\text{Eu}^{+2}$ ,而以 $\text{Eu}^{+2}$ 形式存在的 $\text{Eu}$ 进入热液被迁移未能保存下来,导致 $\text{Eu}$ 的分馏,出现负异常。由于稀土元素的重新分配具有等化学性质,各蚀变带 $\delta\text{Eu}$ 、 $\delta\text{Ce}$ 值变化不大。

### 3.3 成矿过程中稀土元素地球化学

岩石在热液作用下稀土元素发生活化、再分配,但只有在很高的水/岩比值下才能导致岩石中的稀土元素含量产生明显的变化<sup>[7]</sup>。金山金矿床在韧性剪切成矿作用过程中的水/岩比约为1:0.013<sup>[8]</sup>,在如此高的水/岩比值下,岩石产生强烈的硅化、黄铁矿化、铁白云石化等蚀变,同时伴随着稀土元素的淋失及分异。分析数据表明矿体稀土元素分布形态变化大且趋于复杂化,反映了成矿过程要明显复杂于成岩过程,成矿物质的来源、受控因素也趋于多源化与多因性<sup>[9]</sup>。蚀变糜棱岩型矿石的 $\Sigma\text{REE}$ 急剧减少,但总体上稀土元素其他特征值与双桥山群仍有相近之处,说明以热液交代方式形成的矿石在成矿过程中具有对成矿物源的继承性演化特点。这也是金成矿物质来源于双桥山群浅变质岩系的证据之一。

由表1和图2可以看出,与其他岩石、矿石相比石英脉型矿石稀土元素特征值变化很大。在剪切带由韧性向脆性变形过程中,由韧性剪切作用带来的具有深部来源的成矿热液,沿一系列次级剪切张性裂隙(R裂隙和D裂隙)充填而形成的含金石英脉。其 $\delta\text{Eu}$ 值1.19, $\delta\text{Ce}$ 值1.21,呈弱正异常,轻稀土元素和重稀土元素分馏很弱,配分曲线舒缓平坦,类似于深源物质或球粒陨石曲线的特点。认为在此类以充填成矿方式为主的成矿过程中,石英脉的稀土元素组成大致代表成矿流体的组成特征。而矿区110m中段的含金脉呈脉状、透镜体充填于剪切带中,展布方向与剪切带方向一致,为区域变质过程中由负变质侧分泌作用形成的不含石英脉经韧性剪切作用,以热液

交代方式而形成<sup>[10]</sup>,石英脉稀土元素特征值及配分曲线与蚀变糜棱岩型矿石和双桥山群有相似性,同样说明其成矿过程中对成矿物源的继承性。矿区0m中段石英脉, $\Sigma\text{REE}$ 值 $10.71 \times 10^{-6}$ ,呈降低趋势, $\delta\text{Eu}$ 值0.26,呈极大负异常, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 值18.66远大于 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 值1.39,显示轻稀土分馏程度高。这些特征反映出深部矿体在动力变质成矿作用基础上又有后期热液叠加成矿作用。结合其形成时的物理化学条件,随温度、压力升高, $\text{Eu}$ 主要以+2价形式存在,分析成矿物质来自深部,为燕山期岩浆热液的叠加成矿。总之,矿石的形成与金矿化过程关系密切,金在成矿过程中不断演化,是不同成矿阶段流体与构造共同作用的产物。

## 4 结论

(1)矿化蚀变过程中水/岩相互作用产生稀土元素的活化迁移,稀土元素在成矿流体-围岩间出现明显的带入和带出。3个构造蚀变带随应变强度的增加, $\Sigma\text{REE}$ 逐渐减少。

(2)稀土元素特征表明流体的多源性,同时也说明成矿作用的多期性和叠加性。

(3)以热液交代方式形成的蚀变糜棱岩型矿石具有对成矿物源的继承性演化的特点;石英脉型矿石形成过程中的热液种类及性质有一定的差异,在不同成矿阶段形成不同成因类型的含金石英脉。

(4)区内硅质岩是以热水沉积为主的过渡类型,为浅海-大陆边缘环境下沉积。对于金山金矿床早期存在热水喷流成岩成矿作用需作进一步的研究工作。

## 参考文献:

- [1] 杨子江. 金山韧性剪切带大型金矿床稀土元素地球化学[J]. 黄金地质, 1997, 3(2): 17—23.
- [2] Bostorm K. Genesis of ferromanganese deposits diagnostic criteria for recent and old deposits[A]. In: Ronap A, et al., ed. Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Center[C]. New York: Plenum Press, 1983. 473—483.
- [3] Fleet A J. Hydrothermal and hydrogenous ferromanganese deposits [A]. In: Ronap A, et al., ed. Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Center[C]. New York: Plenum Press, 1983. 537—570.
- [4] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [5] Whitney P R, Olmsted J F. Rare earth element metasomatism in hydrothermal systems: The Willsboro-Lewis Wollastonite Ores, New York, USA. [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1998, 62(17): 2965—2977.
- [6] Rolland Y, Cox S, Boullier A M. Rare earth and trace element mobility in mid-crustal shear zones: insights from the Mont Blanc Massif (Western Alps)[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2003, 214: 203—219.
- [7] Michard A. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1989, 53: 745.
- [8] 孙承轅, 张金春. 江西金山金矿韧性剪切过程中物质的迁移[J]. 矿床地质, 1994, 13(4): 371—379.
- [9] 曾键年, 林卫兵, 范永香. 江西金山金矿床成矿地球化学特征[J].

地质地球化学, 2002, 30(4): 26—33.

成矿特征[J]. 地质论评, 1994, 40(4): 361—367.

[10] 季俊峰, 孙承轅, 郑晴. 江西金山剪切带型金矿床中含金石英脉的

## SIGNIFICANCE AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF RARE EARTH ELEMENTS OF JINSHAN GOLD DEPOSIT, JIANGXI PROVINCE

LIU Zhi-yuan<sup>1,2</sup>, JIN Cheng-zhu<sup>1</sup>, WANG Rong-hu<sup>1</sup>, LIANG Jun-hong<sup>1</sup>, ZHANG Kai-ping<sup>3</sup>

(1. Institute of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. Institute of Nonferrous Geologic Exploration, Dandong 118008, China; 3. Jinshan Gold Mine, Dexing 334213, China; )

**Abstract:** The Abundance and distribution of rare earth elements(REE) are related to the formation and evolution of geologic bodies in Jinshan gold deposit. By analyzing and comparing the REE characteristics of wall rock, altered-rock zone and ores from the deposit, it is concluded that the REE migrated and enriched during the rock-fluid interaction, with inheritance of some constituents from original rocks at the same time. The geochemical characteristics of REE in the auriferous quartz veins indicate that the ore-forming fluids are multi-source in nature. The quartz veins are formed by the cooperation of hydrothermal alterations and structural movements at different ore-forming stages. The siliceous rock in the orefield, which was firstly found by the study, is geochemically a kind of hydrothermal sedimentary rock mixed with volcanic and/or terrigenous materials, suggesting a hydrothermal exhalative mineralization in the deposit.

**Key words:** auriferous quartz vein; siliceous rock; hydrothermal sedimentation; REE; Jiangxi Province

作者简介: 刘志远(1972—), 男, 1994年毕业于桂林工学院矿产普查与勘探专业, 现东北大学博士研究生, 通讯地址 辽宁省丹东市四道沟 103 地质队, 邮政编码 118008, E-mail//lzyuan21st@126.com 或 lzyuan21st@tom.com

(Continued from page 22)

**Abstract:** Yiermande gold deposit, Axi gold deposit and Tawuerbieke gold deposit in Western Tianshan area, formed in Late Proterozoic Tulasu volcanic basin, are three distinct types of ore deposits, with different wall-rock alteration features. The wall-rocks of Yiermande type of gold deposit produce such alterations as silicification, kaolinization, baritization and dickitization. The contents of As, Sb, Hg and Cu have a positive relation to Au. The wall-rocks of Tawuerbieke type show silicification, sericitization, chloritization and carbonation. The content of As in wall-rocks raise along with that of Au and Ag. The wall-rock alterations of Axi type include mainly sericitization, adularization, carbonation, silicification and illitization. The Se and As contents are positively related to Au and Ag in the altered rock.

**Key words:** Gold deposit; wall-rock alteration; metallogenic series; Western Tianshan

作者简介: 贾斌(1957—), 男, 教授级高工, 1982年毕业于长春地质学院, 现为东北大学博士生, 一直从事火山岩和金矿方面的研究, 通讯地址 沈阳市北陵大街 25 号, 邮政编码 110033, E-mail//syjiabin@cgs.gov.cn