第13卷 第2期
1998年5月

桂林冶金地质学院学报
JOURNAL OF GUILIN COLLEGE OF GEOLOGY

Vol.13, No.3
May, 1998

江西留龙金矿两类矿石成因的稀土与微量元素证据

张 乾 张宝贵 曹裕波 潘家永

（中国科学院地球化学研究所，贵阳，550002）

摘 要 留龙金矿产于赣南震旦系上施组变沉凝灰岩中，含金毒砂石英脉和含金铅锌硫化物石英脉均沿近南北向断裂产出。前者形成于低温条件，成矿流体以大气降水为主，铅同位素组成与变沉凝灰岩一致；后者形成于中—高温条件，成矿流体以岩浆水为主；铅同位素组成与加里东期花岗岩接近。含金毒砂石英脉与变沉凝灰岩具有相同的稀土参数和稀土模式，二者的微量元素呈现同步变化关系。含金铅锌硫化物石英脉与加里东期花岗岩稀土元素组成非常相似，微量元素曲线形态非常接近。表明矿石与所对应的岩石之间存在一定的成因联系。以上结论与矿床地质和地球化学特征吻合。

主题词 金矿床；矿床成因；稀土元素；微量元素；江西

分类号 P618.51；P611.1

1 矿床地质特征

留龙金矿位于赣南加里东褶皱带内。矿区地层主要为晚元古界（震旦系）上施组与下坊组。上施组为一套火山喷发沉积的凝灰质岩石，经受浅变质，成为变沉凝灰岩、变凝灰岩夹凝灰质砂岩等，岩石呈绿色、深绿色，主要工业矿体均产于其中；下坊组为正常沉积的砂、页岩类。矿区东、西为白垩系砾岩覆盖，东部有石炭系零星出露。

区内岩浆活动频繁，除震旦纪火山喷发作用外，加里东中—晚期似斑状黑云母花岗岩（K-Ar年龄340～360Ma）侵入于震旦系。燕山期有多次岩浆侵入活动，早期为黑云母花岗岩（呈岩基状）、似斑状黑云母花岗岩（呈岩株状）、K-Ar年龄140Ma；中期为似斑状黑云母花岗岩，呈岩瘤状分布于早期岩体内；晚期岩脉发育，规模较大的有辉绿岩脉、花岗斑岩脉，常穿切矿体。

构造以断裂为主，主构造线呈北北东向。区内岩浆岩及矿化均位于两条北北东向主断裂之间（图1）。另外还有近南北向、北北西向、北东向、东西向等多组规模较小的断裂，其中存在于上施组的近南北向断裂是最主要的控矿赋矿构造，大致以500m间隔排列。在下坊组及岩浆岩体内也有类似的断裂存在，但不含矿。

1992年8月5日收稿，12月1日改回。

第一作者简介：张乾，男，1955年出生，副研究员，矿床学、地球化学专业。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿床主要工业矿体呈脉状，受上施组中的近南北向断裂严格控制。按矿物组成，可分为含金毒砂石英脉型和含金铅锌硫化物石英脉型。两类矿体的围岩和控矿构造条件相同，却有不同的矿物组成和矿石组构（表1）。其地球化学特征也有明显差异。含金毒砂石英脉形成于低温条件，具有非常均一的硫同位素组成和与大气降水接近的成矿硫体，铅同位素组成与上施组变沉凝灰岩一致；而含金铅锌硫化物石英脉形成于中—高温条件，硫同位素组成略显分散，成矿流体性质更接近于岩浆水，方铅矿铅同位素组成与加里东期花岗岩长石铅一致。两类矿石铅同位素组成与燕山期花岗岩长石铅差异较大，后者含更高的放射成因铅。由表1可以看出，两类矿石均一的硫同位素组成表明，矿区各地质体都与火山或岩浆侵入活动有关，岩浆提供硫是可能的。

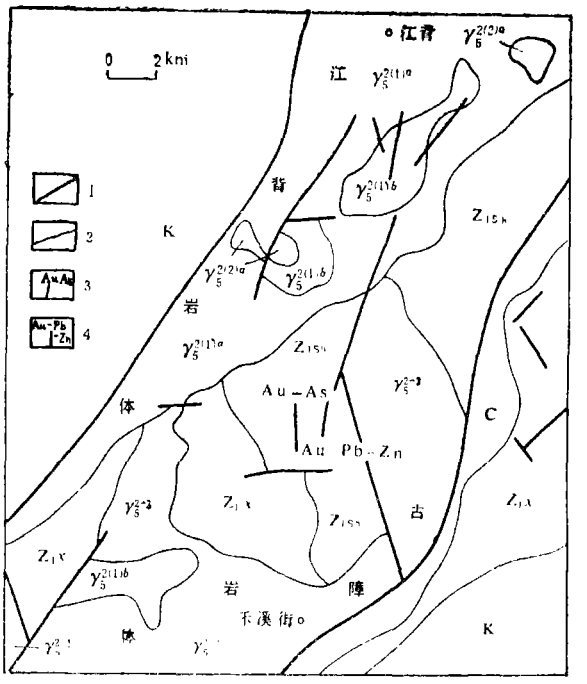


图1 留龙金矿地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Liulong gold deposit

1—断层；2—地质界线；3—含金毒砂石英脉；4—含金铅锌硫化物石英脉

图中：K—白垩系；C—石炭系；Z_1sh—震旦系上施组；Z_1x—震旦系下坊组；$r_5^{2(2)a}$—燕山中期似斑状黑云母花岗岩；$r_5^{2(1)b}$—燕山早期花岗岩；$r_5^{2(1)a}$—燕山早期黑云母花岗岩，r_3^{2-3}—加里东期似斑状黑云母花岗岩

由上可知，含金毒砂石英脉型矿体是变沉凝灰岩中的成矿元素经低温热液改造形成。含金铅锌硫化物石英脉的形成与加里东期花岗岩有关。铅锌硫化物脉中残余毒砂及金与毒砂共生关系表明，铅锌硫化物形成之前，毒砂石英脉业已存在。

2 稀土元素特征

对矿区不同地质体（包括变沉凝灰岩，不同期次的岩浆岩及不同类型矿石）作了稀土元素分析（表2）并计算了稀土元素特征参数（表3）。

2.1 各地质体的稀土元素特征

2.1 变沉凝灰岩的稀土元素特征 变沉凝灰岩是矿体的围岩，是震旦系海底火山喷发沉积的产物，岩性主要有层状凝灰岩、凝灰质砂岩，局部夹有凝灰质熔岩、玻屑晶屑凝灰岩。岩石均遭受浅变质，矿物略具定向性。凝灰质熔岩的化学成分与中性偏基性的火山岩一致。

变沉凝灰岩稀土元素含量最高，稀土总量为315.140×10^{-6}～455.599×10^{-6}，轻、重稀土比值（LREE／HREE）大于10，最高达22.344，明显大于矿区各类花岗岩。说明凝灰岩在岩浆喷发沉积的演化过程中稀土元素发生了强烈的分异，因而更加富集轻稀土。该类岩石具有较高的$(La/Yb)_N$值（11.194—17.754），球粒陨石标准化模式为向右陡倾曲线（图

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1 留龙金矿两类矿体（矿石）的主要特征

Table 1 Principal features of two-type orebodies (ores) in Liulong gold deposist

类别		含金毒砂石英脉型	含金铅锌硫化物石英脉型
	矿体围岩	上施组变沉凝灰岩	上施组变沉凝灰岩
	控矿构造	近南北向断裂	近南北向断裂
	矿体形态	脉状、与断裂产状一致	脉状，与断裂产状一致，脉幅较大
	矿物组成	毒砂、石英为主，少量黄铁矿，金主要与毒砂共生，金高、铅锌低	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿为主，少量黄铜矿及残余状毒砂，金主要与石英和黄铁矿共生，含量变化大
	结构构造	脉状、浸染状、角砾状构造、粒状结构，石英细粒，透明度差	块状、浸染状构造，交代熔蚀普遍，石英粗大，透明度好
	均一温度（°C）	140～220	206～325
	$\delta^{34}S$ (‰)	−0.04～−1.04（8），平均−0.58	−2.35～−0.85（10），平均−0.83
	δD_{H_2O} (‰)	−57.6～−59.9（3）	−45.1～−51.6（3）
	$\delta^{18}O_{H_2O}$ (‰)	−2.03～+0.92（3）	+4.52～+7.03（3）
铅同位素组成 矿石	$^{206}Pb/^{204}Pb$	17.613～17.712（5）	17.822～18.067（7）
	$^{207}Pb/^{204}Pb$	15.478～15.544（5）	15.526～15.569（7）
	$^{208}Pb/^{204}Pb$	37.903～33.000（5）	37.972～38.307（7）
变沉凝灰岩	$^{206}Pb/^{204}Pb$	17.549～17.621（3）	
	$^{207}Pb/^{204}Pb$	15.478～15.514（3）	
	$^{208}Pb/^{204}Pb$	37.863～37.857（3）	
加里东期花岗岩长石	$^{206}Pb/^{204}Pb$	17.976～18.096（3）	
	$^{207}Pb/^{204}Pb$	15.539～15.559（3）	
	$^{208}Pb/^{204}Pb$	37.709～38.307（3）	
燕山期花岗岩长石	$^{206}Pb/^{204}Pb$	18.306～18.344（4）	
	$^{207}Pb/^{204}Pb$	15.605～15.638（4）	
	$^{208}Pb/^{204}Pb$	38.599～38.641（4）	

表中括号内为样品数

2），不同样品曲线的倾斜度及形态非常相似。Eu亏损不明显，δEu值在0.773～0.819之间，反映了深源岩浆来源的特点。

2.1.2 *岩浆岩的稀土元素特征* 加里东中晚期的似斑状黑云母花岗岩（古障岩体），其稀土总量为70.608×10^{-6}～132.542×10^{-6}，平均101.544×10^{-6}。LREE／HREE值为6.266～7.258，$(La/Yb)_N$值为8.315～8.697，表明富集轻稀土。和变沉凝灰岩相比，轻稀土富集程度稍低。Eu强烈亏损，δEu值为0.327～0.355，$(La/Sm)_N$值与$(Gd/Yb)_N$值接近，表明轻稀土曲线与重稀土曲线都以大致相等的斜率向右倾斜（图2）。

燕山期有多次岩浆侵入活动。燕山早期，第一次的黑云母花岗岩呈岩基状侵入于矿区北部，称江背岩体。第二次的细粒花岗岩及燕山中期的似斑状黑云母花岗岩呈岩株或岩瘤状侵入于早期的黑云母花岗岩及加里东期岩体内，形成复式岩体。燕山期花岗岩稀土元素特征与加里东期花岗岩有许多不同，前者稀土含量较高（150.454×10^{-6}～173.359×10^{-6}），轻稀土富集程度略高（LREE／HREE为8.241～9.635），稀土模式（图2）表现为轻稀土曲线右倾较陡，而重稀土曲线接近水平。二者δEu值较接近，说明其Eu亏损程度相当。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表2 留龙金矿稀土元素含量（10^{-6}）

Table 2 REE contents of Liulong gold deposit (10^{-6})

岩石及矿石	时代	样品序号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE
变沉凝灰岩	晚元古代（上施组）	1	101.218	184.014	21.915	71.776	12.432	2.325	8.980	1.418	6.875	1.411	3.863	0.628	3.474	0.470	34.800	455.599
		2	64.155	119.406	14.762	50.232	8.872	1.820	6.745	1.105	5.842	1.223	3.554	0.583	3.488	0.483	32.870	315.140
		平均	82.687	151.710	18.340	61.004	10.612	2.073	7.863	1.200	6.360	1.320	3.710	0.604	3.480	0.490	32.100	383.539
黑云母花岗岩	燕山期	3	29.337	55.567	6.841	22.782	4.499	0.524	3.560	0.578	3.059	0.627	1.923	0.335	2.169	0.323	18.330	150.454
		4	28.717	66.760	7.166	24.868	5.441	0.593	4.410	0.767	4.024	0.823	2.503	0.423	2.836	0.418	23.610	173.359
		平均	29.027	61.164	7.004	23.825	4.970	0.559	3.985	0.673	3.542	0.725	2.213	0.379	2.503	0.371	20.970	161.910
似斑状黑云母花岗岩	加里东期	5	11.483	21.756	3.124	11.165	2.910	0.300	2.698	0.475	2.410	0.408	1.011	0.153	0.835	0.108	11.703	70.608
		6	22.124	40.828	6.021	21.988	4.968	0.547	4.474	0.745	3.915	0.722	1.908	0.292	1.649	0.218	22.143	132.542
		平均	16.804	31.292	4.573	16.577	3.939	0.424	3.586	0.610	3.163	0.565	1.460	0.223	1.242	0.163	16.923	101.544
辉绿岩脉	燕山晚期	7	16.750	35.094	4.692	18.452	4.396	1.250	4.491	0.731	4.385	0.909	2.622	0.415	2.452	0.347	22.464	119.450
含金毒砂石英脉		8	7.538	6.102	1.211	3.884	0.634	0.118	0.434	0.073	0.360	0.074	0.220	0.038	0.236	0.035	1.752	22.709
		9	7.409	9.787	1.723	6.000	1.201	0.245	1.004	0.160	1.001	0.191	0.403	0.056	0.303	0.041	3.025	32.479
		平均	7.474	7.945	1.467	4.942	0.918	0.182	0.719	0.117	0.681	0.133	0.312	0.047	0.270	0.038	2.389	27.634
含金铅锌硫化物石英脉		10	8.342	13.472	2.235	8.176	1.807	0.371	1.713	0.307	1.803	0.346	0.907	0.134	0.770	0.126	8.297	48.804
		11	7.960	13.107	2.010	7.916	1.620	0.352	1.508	0.275	1.588	0.316	0.840	0.126	0.760	0.122	7.755	46.255
		平均	8.151	13.290	2.123	8.046	1.714	0.392	1.611	0.291	1.696	0.331	0.874	0.130	0.765	0.124	8.026	47.534

湖北省地质实验研究所分析

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表3 留龙金矿稀土元素特征参数

Table 3 REE parameters of Liulong gold deposit

岩石或矿石	样品序号	LREE	HREE	LREE/HREE	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Yb)_N$	δEu
上施组变沉凝灰岩	1	393.680	17.619	22.344	17.754	5.121	2.067	0.773
	2	259.247	23.023	11.260	11.194	4.549	1.557	0.819
	平均	326.426	25.013	13.050	14.305	4.910	1.752	0.794
燕山期黑云母花岗岩	3	119.700	12.424	9.635	8.004	4.102	1.271	0.400
	4	133.545	16.206	8.241	6.601	3.320	1.251	0.370
	平均	126.549	14.391	8.794	7.226	3.674	1.259	0.384
加里东期似斑状黑云母花岗岩	5	50.738	8.097	6.266	8.697	2.482	2.781	0.327
	6	96.476	13.293	7.258	8.315	2.801	2.250	0.355
	平均	73.609	11.012	6.684	8.445	2.683	2.428	0.345
燕山晚期辉绿岩脉	7	80.634	16.352	4.931	4.330	2.397	1.456	0.960
含金毒砂石英脉	8	19.478	1.470	13.257	14.119	7.480	1.451	0.688
	9	26.365	3.087	8.535	13.230	3.862	2.212	0.761
	平均	22.928	2.317	9.896	13.681	5.673	1.830	0.726
含金铅锌硫化物石英脉	10	34.403	6.104	5.636	5.744	2.899	1.723	0.545
	11	32.965	6.669	4.943	5.640	3.093	1.566	0.589
	平均	33.686	5.822	5.786	5.688	2.302	1.646	0.565

燕山晚期的辉绿岩脉以稀土含量和轻稀土富集程度较低，无明显Eu亏损和模式曲线平缓右倾，有别于其他岩石。

2.1.3 *矿石的稀土元素特征* 矿床两种不同类型矿体的稀土元素含量及稀土参数和分布模式有明显差异：含金毒砂石英脉稀土含量（22.709×10^{-6}～32.479×10^{-6}，平均27.634×10^{-6}），低于含金铅锌硫化物石英脉（46.255×10^{-6}～48.804×10^{-6}，平均47.534×10^{-6}），前者较后者更富集轻稀土（LREE／HREE值为8.535～13.257，$(La/Yb)_N$值为13.230～14.119，δEu值为0.688～0.761），模式曲线向右倾斜较陡，与变沉凝灰岩相比，二者的稀土参数非常接近。铅锌硫化物石英脉轻稀土富集程度较低，两个样品的LREE／HREE值各为5.636和4.943，$(La/Yb)_N$值各为5.744和5.640，δEu值各为0.545和0.589，稀土模式与加里东期似斑状黑云母花岗岩较为接近。

2.2 岩矿石成因的稀土元素证据

2.2.1 *岩石成因的稀土元素证据* 矿区的岩石类型除下坊组砂、页岩为正常海相沉积岩外，其余岩石都与岩浆作用有关。经鉴定，变沉凝灰岩中主要是火山物质。距火山喷发中心不太远的范围内，一般海底火山物质沉积速率大于陆源物质的沉积速率。上施组凝灰质熔岩及火山碎屑和玻屑晶屑的存在说明该区位于火山喷发中心附近。变沉凝灰岩稀土元素具有分异强、含量高、富轻稀土、Eu亏损不明显等特征。幔源岩浆岩和火山岩不明显的Eu亏损是结晶分异作用或有壳源物质混入的结果[1]。辽宁南部含硼岩系中的幔源火山岩也有类似的情形[2]。

在稀土元素示踪图解中，变沉凝灰岩为壳幔混合型岩石（图3—a），位于花岗岩区与

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

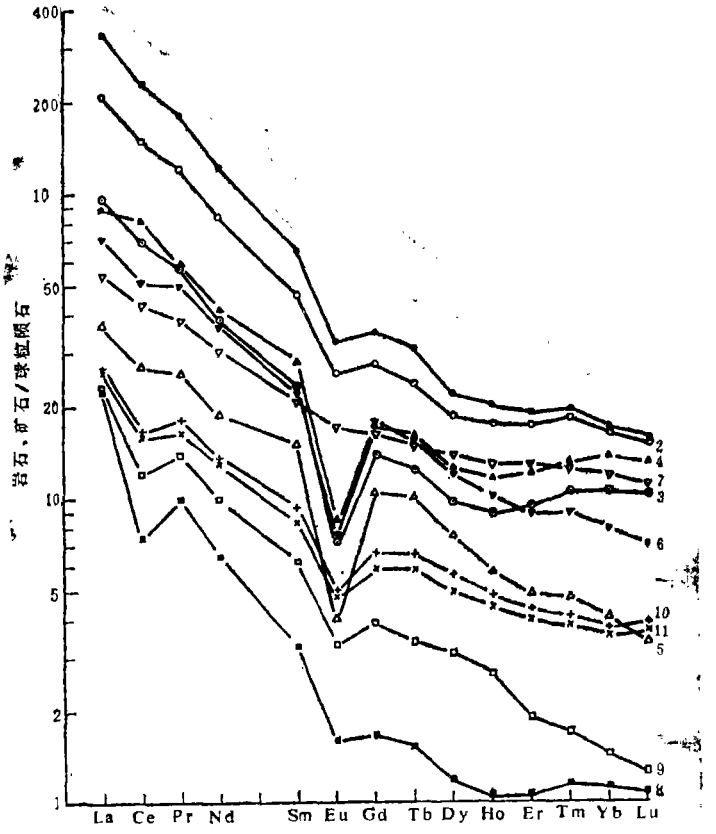


图2 留龙金矿稀土元素球粒陨石标准化模式（序号同表2）

Fig. 2 REE chondrite-normalized patterns of Liulong gold deposit (Symbols are the same as Table 2)

玄武岩区的重叠区域而不进入沉积岩区（图3—b），为幔源物质结晶分异作用的产物（图3—c）。幔源物质在上升、喷发沉积的任何时刻，都有可能有壳源物质混入。上施组凝灰质砂岩的存在，说明喷发沉积过程中随同火山物质一起沉积的陆源物质，可能是混入的地壳物质的主要成分。

矿区不同期次花岗岩的稀土元素含量不同，但Eu元素强烈亏损是共同的特征。加里东期似斑状黑云母花岗岩的δEu值为0.327～0.355，燕山期黑云母花岗岩的δEu值为0.370～0.400，与华南重熔型花岗岩的δEu值一致[3]。花岗岩类岩石在图3中的分布表明，该类岩石是地壳物质部分熔融形成的壳型花岗岩，其前身很可能是更古老的沉积岩。研究资料表明，湘赣地区大规模的壳幔分异和地壳增长发生在1800Ma左右，1300～1400Ma是区域地壳增长的又一重要阶段，这两个时期形成的地壳物质构成了区内壳型花岗岩的源岩[4]。

辉绿岩脉的稀土元素具有分异程度低、曲线右倾平缓、Eu无异常的特点，与幔源基性岩的稀土元素类似[3]，位于大陆玄武岩附近（图3—B），显然属地幔来源岩石。

2.2.2 *矿石成因的稀土元素证据* 两类矿石的稀土元素与不同类型岩石对比发现，尽管稀土元素含量差别很大，但含金毒砂石英脉的各种稀土参数与变沉凝灰岩非常接近，含金铅锌硫化物石英脉的LREE／HREE值及（La／Sm）$_N$值都与加里东期花岗岩接近，而

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

与燕山期花岗岩及辉绿岩脉差别较大。从图3可知，含金毒砂石英脉与变沉凝灰岩位于同一区域（图3-a），含金铅锌硫化物石英脉与花岗岩更为接近（图3-a、b）。从平均稀土模式的对比（图3-d）中可以发现，含金毒砂石英脉与变沉凝灰岩有着一致的稀土模式，含金铅锌硫化物石英脉与加里东期花岗岩稀土模式接近（仅Eu亏损程度不同），而两类矿石与燕山期花岗岩稀土模式完全不同。这种对应关系反映出矿石与所对应岩石间存在的成因联系，与表1所得的结论吻合。

矿石与有成因联系的岩石具有相同的稀土参数和稀土模式并非偶然，吉林四平山门银矿床矿石与成矿母岩具有十分相似的稀土元素组成[5]，秦岭凤太矿田硅质岩中的石英脉与硅质岩稀土元素组成相似[6]。湖南黄金洞金矿矿石与围岩具有完全相同的稀土参数和稀土模式[7]等等。与留龙金矿类似，这些矿床稀土元素提供的矿石成因信息，与矿床地质和地球化学成因证据一致，反映了矿石与源岩的物源密切相关。然而对于那些矿质具有多种来源或多种成矿作用叠加形成的矿床，矿石的稀土元素组成变化很大，大部分矿石样品与围岩等地质体之间，不存在一致的对应关系。因此矿石稀土元素通过对比还可以确定矿质是否为单一来源。

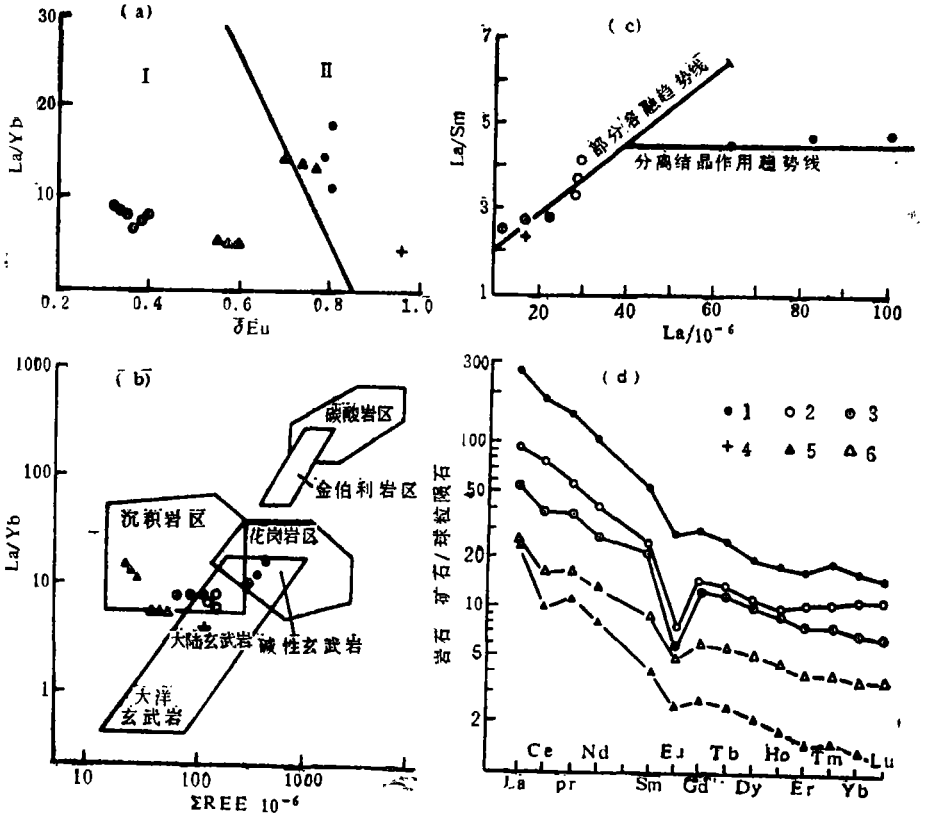


图3 留龙金矿岩石成因稀土元素图解

Fig. 3 REE diagrams of rock and ore genesis of Liulong gold deposit

a—La/Yb-δEu图（Ⅰ—壳型；Ⅱ—壳幔混合型）；b—La/Yb-ΣREE图；c—La/Sm-La图；d—岩石与矿石平均稀土模式对比

1—变沉凝灰岩；2—燕山期花岗岩；3—加里东期花岗岩；4—辉绿岩脉；5—毒砂石英脉；6—铅锌硫化物石英脉

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 微量元素特征

Au是该矿床最主要的有用元素，在矿石中的含量＞1g/t（表4），在花岗岩及辉绿岩中的含量与其克拉克值接近。变沉凝灰岩含Au $11\times10^{-9}\sim26\times10^{-9}$，平均$15\times10^{-9}$，为克拉克值的5倍。由于毒砂石英脉成因上与变沉凝灰岩有关，含金铅锌硫化物石英脉中金主要与交代残余毒砂及早期细粒石英有关。加上变沉凝灰岩中网脉状硅化现象非常普遍。故推测变沉凝灰岩是金的主要矿源岩。Ag，Zn在变沉凝灰岩中较高，Cu，Pb在凝灰岩及花岗岩中差别不大。W，Sn在铅锌硫化物石英脉中有较大的富集，在加里东期花岗岩中的含量（W，Sn分别达8×10^{-6}和22×10^{-6}）明显高于其他各类岩石。Cu，Pb，Zn在铅锌硫化物石英脉中可以综合利用，它们在与其有成因联系的加里东期花岗岩中没有明显的富集，这并不意味着岩浆分异出的含矿热液中其含量也低。

表4 留龙金矿岩石、矿石的数量元素（10^{-6}）

Table 4 Trace elements of rocks and ores in Liulong gold deposit

元素	变沉凝灰岩(5)		加里东期花岗岩(2)		燕山期花岗岩(3)		辉绿岩(1)		含金毒砂石英脉(2)		铅锌硫化物石英脉(2)	
	含量	富集系数	含量	富集系数	含量	富集系数	含量	富集系数	含量	富集系数	含量	富集系数
Au(10^{-9})	15	3.75	2.7	0.68	4.6	1.15	2.2	0.55	>1000	>250	>1000	>250
Ag	1.77	25.29	0.14	2.00	0.39	5.57	0.28	4.00	4.73	67.57	32.63	466.14
Cu	28.8	0.52	16	0.29	13	0.24	112	2.04	440	8.00	1044	18.98
Pb	33.6	2.69	22	1.76	38	3.04	8	0.64	1669	133.52	30000	2400.00
Zn	132	1.89	68	0.99	54	0.77	99	1.41	261	3.73	1112	15.89
W	2	1.33	8	5.33	1.6	1.07	2	1.33	2.5	1.67	25	16.67
Sn	5.94	2.97	22	11.00	6	3.00	6	3.00	7	3.50	85	42.50
U	1.88	0.70	10.9	4.04	9.9	3.67	2.9	1.07	0.7	0.26	1.4	0.52
Th	13.76	1.43	12.5	1.30	25.4	2.65	7.2	0.75	4.2	0.44	3.9	0.41
Rb	171	1.90	352	3.91	280	3.11	43	0.48	49.5	0.55	113	1.26
Sr	108	0.29	44	0.12	100	0.27	278	0.74	21	0.06	4	0.01
Ba	1888	4.44	198	0.47	288	0.68	302	0.71	641	1.51	345	0.81
Ni	20	0.27	5	0.07	7	0.09	151	2.01	4.1	0.05	3.5	0.05
V	48	0.36	18	0.13	16	0.12	245	1.81	11	0.08	11.7	0.09
Cr	13.8	0.14	24	0.24	14.33	0.14	282	2.82	8.3	0.08	21	0.21
Zr	371	2.25	93	0.56	70	0.42	108	0.65	231	1.40	85	0.52
Ti	6952	1.22	2710	0.48	2383	0.42	13520	2.37	1260	0.22	2790	0.49
Mn	1612	1.70	790	0.83	1110	1.17	1820	1.92	525	0.55	900	0.95
Co	8.2	0.33	—	—	—	—	59	2.36	—	—	—	—
Nb	11.6	0.58	14.21	0.71	13.82	0.69	5.48	0.27	—	—	—	—
Ta	1.12	0.56	3.88	1.94	2.92	1.46	0.65	0.33	—	—	—	—

表中：富集系数为元素含量与地壳克拉克值（泰勒，1964）之比；括号内为样品数；"—"未检出

辉绿岩脉以Cu，V，Co，Ni，Ti，Cr等易于在基性岩中富集的元素含量较高，Au，Pb，Rb，Nb，Ta等元素含量较低。据其穿切矿体的特点判断，辉绿岩脉形成较晚，与成矿无关。

有意义的是，除Co，Nb，Ta 3个元素（在一些岩石及矿石中的含量低于检出限0.01$\times10^{-6}$）外，将其余18种元素计算富集系数（表4），再以与稀土模式类似的方式作图

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（图4），每类岩石及矿石各形成一条曲线。将这些曲线进行对比可知，含金毒砂石英脉的曲线与变沉凝灰岩虽然位置不同（元素含量不同），但曲线形态却非常相似，变凝灰岩中成峰值的元素，毒砂石英脉中也呈峰值。铅锌硫化物石英脉的曲线与加里东期花岗岩之间也有类似变化关系。然而两类矿石与燕山期花岗岩之间不存在上述同步变化关系，与辉绿岩脉差别更大。尽管图4中元素的排列不象稀土元素那样有规律可循，而经反复试验，无论将元素的排列顺序如何打乱，毒砂石英脉与变沉凝灰岩、铅锌硫化物石英脉与加里东期花岗岩各自之间曲线的同步变化关系并不改变。上述现象似乎也说明了毒砂石英脉与变沉凝灰岩之间以及铅锌硫化物石英脉与加里东期花岗岩之间存在一定的成因联系。然而，除黄金洞金矿矿石与围岩微量元素存在十分一致的变化关系之外，还没有那个矿床对其所有地质体用同一方法同时定量测定足够多的微量元素以便对比，因此，这一思路有待进一步验证。

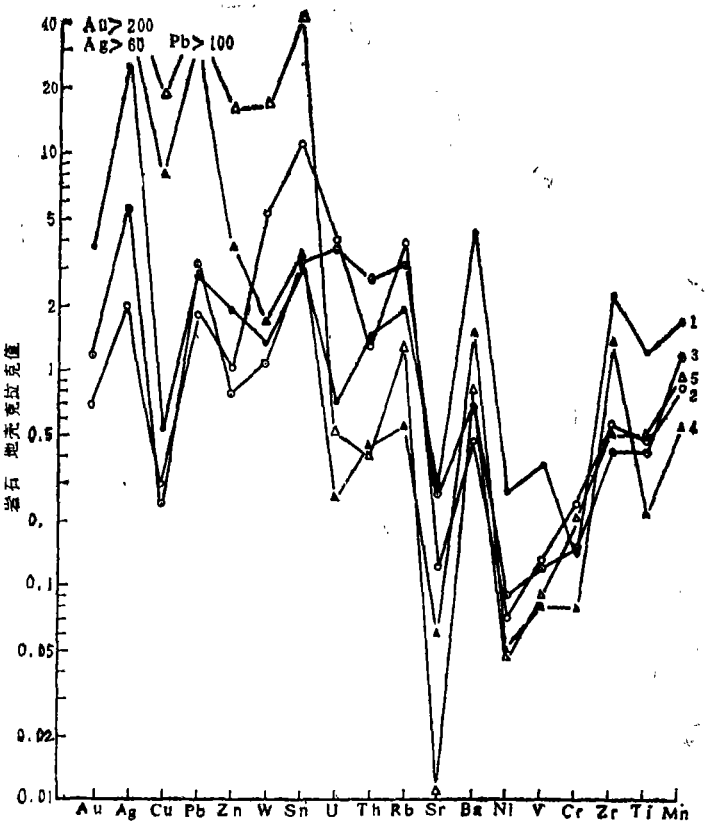


图4 留龙金矿微量元素地壳克拉克值标准化分布模式

Fig. 4 Trace element crustal average value-normalized patterns of Liulong gold deposit

1—变沉凝灰岩；2—加里东期花岗岩；3—燕山期花岗岩；4—含金毒砂石英脉；5—含金铅锌硫化物石英脉

4 结 论

（1）矿区岩浆活动强烈、构造断裂发育，存在矿物组成及地球化学特征完全不同的两类矿体。含金毒砂石英脉形成于低温，成矿流体以大气降水为主，铅同位素组成与变沉凝灰岩一致；含金铅锌硫化物石英脉形成于中一高温环境，成矿流体以岩浆水为主，铅同位素组

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

成与加里东期花岗岩接近。

（2）不同期次的花岗岩富集轻稀土，Eu强烈亏损，为地壳重熔型花岗岩，含金低。变沉凝灰岩稀土含量高，富轻稀土，Eu亏损不明显，为壳幔混合型火山沉积岩，含金高，为金的矿源岩。

（3）含金毒砂石英脉与变沉凝灰岩虽然稀土元素含量不同，但二者有十分相似的稀土参数和稀土模式，二者的18种微量元素分布曲线呈现同步变化关系。含金铅锌硫化物石英脉与加里东期花岗岩之间也具有非常接近的稀土参数和稀土模式。二者的微量元素曲线形态十分相似。而两类矿石与燕山期花岗岩及辉绿岩脉之间不存在上述关系。说明含金毒砂石英脉与变沉凝灰岩之间、含金铅锌硫化物石英脉与加里东期花岗岩之间存在一定的成因关系。与该矿床地质和其他地球化学特征所得结论吻合。

参 考 文 献

1 Cullers R L, Rare earth element Geochemistry, ed.by Henderson, P., Elsevier Science Publishers B.V., 1984P.275-303

2 李守义. 从稀土配分论辽南硼矿地质. 长春地质学院学报, 1983, (1): 39～52

3 王中刚、于学元、赵振华. 稀土元素地球化学. 北京：科学出版社, 1989, 165～191, 212～235

4 李献华. 湘赣粤交界地壳形成与演化模式. 开拓、创新、奋进，重庆：中国科学技术文献出版社重庆分社, 1990, 98～103

5 田维盛、邵俭波. 吉林四平山门银矿床地质特征. 矿床地质, 1991, 10(2): 152～160

6 魏合明，秦岭凤太矿田层控铅锌（铜）矿床的氧化硅产出特征及其硅质来源. 矿床地质, 1991, 10(4): 300～312

7 张乾、曹裕波、张宝贵等. 湖南黄金洞金矿床的稀土与微量元素地球化学——矿石成因证据. 地质与勘探, 1992, (11): 12～17

REE AND TRACE ELEMENT EVIDENCES OF TWO-TYPE ORE GENESIS IN LIULONG GOLD DEPOSIT, JiANGXI

Zhang Qian Zhang Baogui Cao Yubo Pan Jiayong

(*Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang*)

Abstract

Liulong gold deposit occurs in meta-sedimentary tuff (Shangshi Formation, Sinian System) in south Jiangxi. Both gold-bearing arsenopyrite quartz vein and gold-bearing Pb-Zn sulfide vein occur along near-SN faults. The former is formed under the low temperature condition, its ore-forming fluid is dominated by meteoric water and lead isotopic compositions are consistant with these of metasedimentary tuff. The latter is formed

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

under intermediate-high temperature condition, its ore-forming fluid is dominated by juvenile water and Pb isotopic compositions are very similar to these of Caledonian granite. Gold-bearing arsenopyrite quartz vein and meta-sedimentary tuff have the same REE parameters and same REE patterns. Trace elements of both reveal the same changing trend. REE compositions of gold-bearing Pb-Zn sulfide quartz vein are close to those of Caledonian granite. Trace element curves of both are very similar too. This indicates that there are some genetic relations. This conclusion completely tallies with geological and geochemical characteristics of the ore deposit.

Key words gold deposit; metallogenesis; rare earth; trace element; Jiangxi

西北“魔鬼谷”原是强磁性岩体及铁矿引起

在我国西北地区，有一个被称作“魔鬼谷”的山谷，它东起青海省茫崖镇的布伦台，西至新疆维吾尔自治区若羌县境内的沙山，长约100km，宽约30km，谷地平均海拔约3200m。这个谷地南有昆仑山，北有阿尔金山，两山夹峙，雨量充沛，气候湿润，加上冰川遍布、湖泊沼泽星罗棋布，虽然地处内陆，但林木繁茂，牧草秀美。然而，这个看似理想的天然优良牧场，一遇天气变化，即会变成阴森恐怖的地狱，平地生风，电闪雷鸣。尤其是滚滚炸雷，震得山摇地动，成片的树木被烧得身焦枝残。附近以游牧为生的少数民族千百年来均将此山谷视为禁地。偶尔有误入其中者，往往因遭雷击而绝少生还。

为了揭开“魔鬼谷”的奥秘，青海省地质科学工作者多次冒着生命危险对这一山谷进行实地科学探查，终于获得了重大突破。地质勘查证实，这一谷地地层中，除有大面积三叠纪火山喷发的强磁性玄武岩体外，还伴生分布有30多个铁矿及石英闪长岩体。经测试这里峰值高达1000～3000γ。由于这里的地下岩体和铁矿带所形成的强大磁场的电磁效应，引来了雷电云层中的电荷，因而产生了空气放电形成炸雷。雷电一旦遇到地面突出物体，就会产生尖端放电现象，牧场上的人和畜群就成了雷电轰击的目标。而这一谷地的牧草之所以生长繁茂，也正是由于雷电产生的高温使空气中的氮与氧化合生成二氧化氮，成了从天而降的优质化肥。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net