

河南嵩县九丈沟金矿稀土元素特征及成因意义

秦军强^{1,2}, 曲伟勋¹, 周宇乐¹

¹嵩县山金矿业有限公司, 河南 洛阳

²河南省地质矿产勘查开发局第二地质矿产调查院, 河南 郑州

收稿日期: 2022年5月31日; 录用日期: 2022年7月8日; 发布日期: 2022年7月15日

摘要

九丈沟金矿是豫西地区开发最为成功和效益最好的金矿床之一。矿区主要出露长城系熊耳群安山岩类。频繁活动的中生代岩浆侵入和发育的断裂构造背景使其具有光明的找矿前景。金矿体主要受断裂蚀变带控制。硅化、黄铁矿化与金的关系最为密切。综合金矿石与矿区及区域主要岩石的稀土元素配分模式对比、Y-Ho关系和LREE/HREE-ΣREE关系研究, 认为岩浆侵入活动与成矿的关系最为密切。

关键词

稀土元素, 地球化学, 九丈沟金矿, 嵩县, 河南

REE Characteristics and Genetic Significance of Jiuzhanggou Gold Deposit in Song County, Henan Province

Junqiang Qin^{1,2}, Weixun Qu¹, Yule Zhou¹

¹Song County Mountain Gold Mining Co., Ltd., Luoyang Henan

²No. 2 Institute of Geological & Mineral Resources Survey of Henan, Zhengzhou Henan

Received: May 31st, 2022; accepted: Jul. 8th, 2022; published: Jul. 15th, 2022

Abstract

Jiuzhanggou gold deposit is one of the most successful and profitable gold deposits in western Henan province. The mining area mainly exposed the Great Wall system xiong er group andesite. Because of frequent meso-Cenozoic magmatic intrusion and fault structure background, it has bright prospecting prospect. The gold orebody is mainly controlled by fault alteration zone. Silicification and pyritization are most closely related to gold. Based on the comparison of REE distri-

duction patterns, Y-HO relationship and LREE/HREE- Σ REE relationship between gold ore and main rocks in mining area and region, it is considered that magmatic intrusion is most closely related to mineralization.

Keywords

REE, Geochemistry, Jiuzhanggou Gold Deposit, Song County, Henan

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

九丈沟金矿地处华北地台南缘熊耳山多金属成矿带上,是区内典型的构造蚀变岩型金矿,企业经济效益连续6年位居河南省黄金矿山首位。区内矿产资源丰富,前人进行了大量的研究工作并取得一定的成果,但关于区内金矿的成矿物质来源,不同学者从不同角度提出不同的见解。部分学者认为矿床的形成与中生代岩浆侵入活动关系密切的[1];其他学者强调伸展及拆离断层对成矿的重要作用,尤其是滑脱拆离体系周边的构造蚀变岩型、爆破角砾岩型金矿床及银铅矿床[2]-[10];也有强调变质热液和混合热液对成因的贡献[11][12];更有认为古火山机构对成矿的控制作用,并举出了庙岭金矿是产出于庙岭-上秋盘古火山机构的西侧火山喷发群,矿区有两个探槽TC42、TC60处凝灰岩较发育地段矿体品位变好、厚度增加,赵岭、九丈沟、东湾等金矿区也位于该火山机构影响范围之内为例进行了佐证。从前人的研究成果来看,对矿床成矿物源的研究多集中于成矿地质特征、构造地质特征等方面,对地球化学方面的研究相对薄弱。稀土元素具有稳定的化学性质,是矿床成矿物源的示踪剂,能较好地指示矿床的成矿信息。本文利用稀土元素提供的信息视角,依据稀土元素的成因指示,探讨研究成矿物质与地层及岩浆岩的相互关系,指明矿床的成矿物质来源。

2. 成矿地质背景

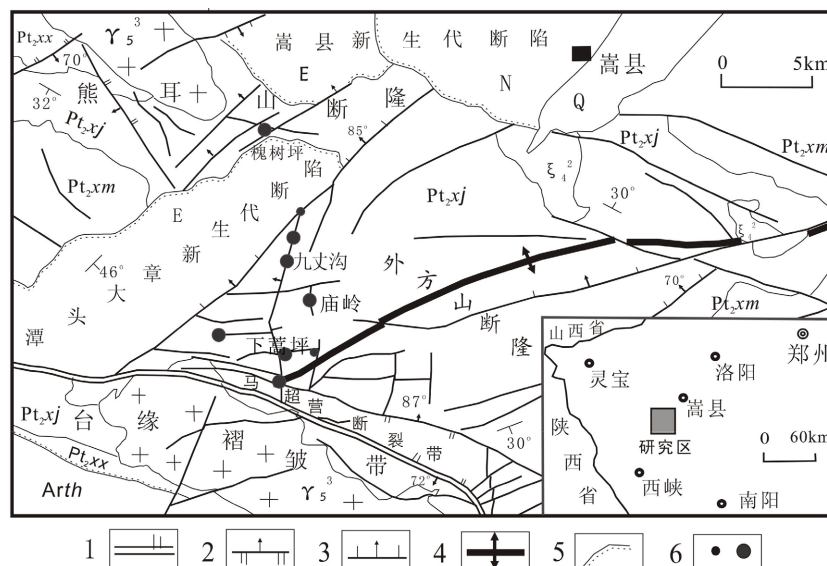
矿床位于华北地台南缘华熊台隆熊耳山隆断区,太古界变质基底和元古界沉积盖层发育,岩浆活动频繁,断裂构造发育。

太华群是以片麻岩为主的中深变质岩组成,沉积盖层以中新元古界喷出岩、火山沉积岩和海相沉积岩为主,局部有少量中生界陆相沉积。

长城系熊耳群以海-陆交互相为主的中、基、酸性火山熔岩在区域金矿分布区的占有面积最大。熊耳群发育下部许山组、中部鸡蛋坪组和上部马家河组。赋矿围岩为鸡蛋坪组安山岩类。

区域构造以断裂为主,可分归为四组:近东西向的马超营断裂是区域一级构造,由三条逆冲平行断裂组成,宽度达4 km以上,走向270°~295°,北倾,倾角55°~80°,局部倒转,下切深度达30 km,是台缘基底型断裂,控制区域演化[13][14][15][16][17];北东向断裂是区域上的主要控矿构造,其次为近S-N向断裂,断裂带宽度5~50 m,局部可达100~200 m;北北西向断裂不发育,局部有矿化蚀变。近东西向断裂多为成矿前断裂,与NE向和近S-N向断裂交汇部位及其附近为成矿的有利地段[18][19](图1)。

近S-N向的九丈沟F₁断裂断续出露,长度约20 km,宽度10~50 m,局部可达100~200 m,北西倾,倾角一般超过50°。带内充填碎裂岩及构造角砾岩,局部地段矿蚀变强烈,构成工业矿体。区域主要金矿床九丈沟、店房、庙岭、东湾等都受该断裂控制,呈南北向串珠状。



Q: 第四系; N: 新近系; E: 古近系; Pt_{2x}: 中元古界熊耳群; Pt_{2xm}: 马家沟组; Pt_{2xj}: 鸡蛋坪组; Pt_{2xx}: 许山组; Arth: 太古界太华群; γ_3^3 : 燕山晚期花岗岩; ξ_4^2 : 华力西期正长岩; 1——区域性大断层; 2——逆断层; 3——正断层; 4——背斜; 5——不整合界线; 6——金矿床。

Figure 1. Structural outline of southern Song County

图 1. 嵩县南部构造纲要图

区域内, 古火山机构较多, 发育完整, 沿区域断裂带分布[20]。区域岩浆活动, 尤其是印支、燕山期岩浆活动频繁强烈。同位素定年反映出的金矿成矿时代多数为燕山期, 也有印支期形成的, 如庙岭、上宫、北岭等金矿床[21]。

印支期岩浆侵入规模小, 以碱性岩和碱性花岗岩为主, 也有煌斑岩脉。

燕山期主要为酸性岩浆侵入, 岩基、斑岩或小型岩株等, 出露面积大, 岩体多, 以合峪岩基规模最大, 还有五丈山和花山岩基等[22] [23]。

合峪二长花岗岩基是区域出露面积最大的燕山期侵入体, 达 784 km², 钾长石斑晶粗大为期特点, 位于研究区以南; 五丈山花岗岩体出露面积约 60 km² [24] [25], 岩体蚀变较强, 在其南部的外接触带近年来发现了大型的槐树坪金矿床, 位于研究区的西北部; 近北东-南西向展布的花山二长花岗岩体与五丈山岩体、太华群地层相接, 位于研究区的北部[25] [26]。

九丈沟金矿主矿体为 M₁-I, 严格受 F₁ 构造蚀变带控制。主要金属矿化为黄铁矿, 其次是方铅矿化, 围岩蚀变钾长石化、硅化最强, 绢云母化、高岭土化、绿泥石化次之。矿区距五丈山岩体较近, 地表及井下可见零星岩脉, 局部岩脉含金可达到工业品位, 有些品位可达(5~8) × 10⁻⁶, 作为矿体的一部分开采。

3. 稀土元素地球特征

3.1. 样品采集及测试

按照矿石和不同类型的岩石分别取样。本次主要选取井下不同中段的矿石取样。

前人对本区已经积累了大量的稀土元素数据可资引用, 不再重复工作。区域和矿区内不同类型及岩体的岩浆岩、岩脉, 熊耳群和太华群地层的岩石样品, 引用前人成果。

样品由甲级资质的河南省地矿局岩石矿物测试中心测试, 精度合格。

3.2. 金矿石及石英的稀土元素特征

样品测试结果见表 1。

样品分析结果表明, M_1 -I 主矿体的稀土总量 ΣREE 在 $(88.96\sim 622.26) \times 10^{-6}$ 之间, 平均 347.54×10^{-6} , 变动范围大, 可能暗示成矿活动中有多期次强度较大的流体活动冲击; 轻稀土元素与重稀土元素的比值 $L/H = 4.509\sim 14.268$, 表明轻稀土富集; $(La/Yb)_N = 3.255\sim 18.084$; $\delta Eu = 0.503\sim 0.718$ 之间, 表现为明显的负 Eu 异常特征, 而 Eu 出现负异常的情况, 可能与深源岩浆成分的大量带入有关[27]。经过标准化处理金矿石的稀土元素配分模式, 与前人取得的侵入岩样品的稀土元素配分模式, 较为相似, 暗示了它们具有相同或相近的物源, 即成矿继承了深源岩浆特征, 或者说成矿与深源岩浆有关(表 2、图 2)。

Table 1. REE composition of different geological bodies of Jiuzhanggou gold deposit ($\omega_B/10^{-6}$)

表 1. 九丈沟金矿床不同地质体稀土元素组成($\omega_B/10^{-6}$)

样号	名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
-20CM3-1	金矿石	90.5	175	23.3	91.6	17.8	3.59	13.9	2.47	13.4	2.75	7.75	1.39	8.15	1.35
-20CM3-2	金矿石	92.7	171	21.4	84.3	15.5	3.1	12.7	2.18	12.9	2.41	7.01	1.24	6.92	1.15
-20CM3-3	金矿石	73.1	136	16.6	66.8	12.5	2.56	10.6	1.86	10.8	2.14	5.75	1.05	6.08	0.98
-20CM5-7-1	金矿石	124	222	27.8	106	16.9	3.12	12.8	1.88	10.2	1.97	5.15	0.87	4.93	0.81
-20CM5-7-2	金矿石	148	282	35.9	131	21.4	3.96	15.6	2.5	14.5	2.53	6.65	1.16	6.14	1
20CM5-7-1	金矿石	88.3	161	20.4	80.3	13.1	2.23	10.4	1.72	10.1	2.06	5.71	1.03	6.1	0.93
20CM5-7-2	金矿石	65.9	122	15.7	62.6	11.9	2.54	10.4	1.89	11.5	2.24	6.07	1.07	6.06	0.97
20CM5-7-3	金矿石	103	194	24.2	90.8	15.5	2.71	11.4	1.78	9.37	1.99	5.49	1.01	5.74	0.97
20CM3-1	金矿石	66.5	132	17.1	64.5	11.4	2.08	8.54	1.42	8.26	1.77	5.2	0.99	5.5	0.98
20CM2-1	金矿石	95.9	176	22.5	90.4	15.7	2.98	11.8	1.84	9.97	2.11	5.54	0.92	5.43	0.9
20CM2-2	金矿石	93	168	22.4	86.8	14.7	2.91	11.2	1.77	9.88	1.92	5.44	0.95	5.35	0.95
60CM5-7-1	金矿石	45.7	84.5	10.7	43	7.6	1.54	6.17	1.02	5.91	1.13	3.06	0.54	3.03	0.48
60CM5-7-2	金矿石	66	127	15.8	59.3	10.2	1.91	7.61	1.33	7.6	1.5	4.14	0.76	4.14	0.67
60CM5-7-3	金矿石	51.3	85.7	10.2	42.3	7.51	1.56	5.88	1.06	6.16	1.18	3.08	0.51	2.99	0.49
60CM2-1	金矿石	72.4	135	17.5	66.3	11	2.15	8.42	1.45	8.73	1.75	5.04	0.96	5.5	0.99
60CM2-2	金矿石	28	52.4	6.75	28.3	5.76	1.21	5.23	1.02	6.68	1.65	4.86	0.93	5.8	0.98
60CM2-3	金矿石	59.2	106	13.4	53.2	9.73	1.76	7.79	1.35	8.24	1.74	5.11	0.99	5.52	0.92
DJ-3-2*	矿化石英脉	31.62	124.8	21.2	96.58	24.98	6.16	19.22	3.24	14.36	2.21	5.65	0.82	4.69	0.7
D2031*	矿石	57.49	114.1	13.72	53.36	9.36	1.64	8.39	1.43	8.66	1.72	4.98	0.85	5.51	0.87
300-CM12-1*	矿石	91.6	174.1	20.63	78.45	13.24	2.69	11.02	1.56	8.58	1.62	4.97	0.83	5.44	0.86
260-CM2-3*	矿石	20.38	36.56	4.23	17.57	3.14	0.58	2.24	0.32	1.68	0.31	0.81	0.13	0.87	0.14
260-CM5-2*	矿石	43.56	87.64	9.68	31.44	5.15	1.07	4.99	0.6	3.13	0.74	2.51	0.4	2.54	0.44
180-CM2-2*	矿石	137.6	257.9	30.13	111.6	16.93	3.15	14.7	1.84	9	1.67	5.11	0.82	5.13	0.79
140-CM3-1*	矿石	81.41	161.8	18.33	66.41	10.85	1.67	8.52	1.29	7.42	1.48	4.59	0.77	4.89	0.82
100-CM5-2*	矿石	43.14	81.67	9.78	39.47	7.64	1.54	6.28	1.15	7.45	1.48	4.17	0.7	4.72	0.74

Continued

100-CM2-2*	矿石	36.72	76.33	9.41	34.81	6.57	1.36	5.96	1.1	6.48	1.25	3.56	0.57	3.34	0.48
ZK24-0007-b5**	石英	0.88	1.54	0.21	0.89	0.22	0.15	0.34	0.08	0.61	0.14	0.43	0.06	0.10	0.05
ZK1-0008-b3**	石英	6.47	15.76	2.34	9.38	1.33	2.50	0.97	0.12	0.45	0.09	0.24	0.04	0.19	0.05
LD2102-5**	石英	1.17	1.04	0.17	0.71	0.13	0.09	0.11	0.02	0.09	0.05	0.06	0.02	0.06	0.01
WZS-6-1*	钾长石	0.75	1.14	0.41	0.35	0.05	0.24	0.05	0.01	0.03	0.02	0.04	0.00	0.05	0.01

注：带“*”的数据引自杨春蕾(2016) [29]，带“**”的数据引自郭爱锁(2013) [30]。

Table 2. REE parameters of different geological bodies of Jiuzhanggou gold deposit ($\omega_B/10^{-6}$)

表 2. 九丈沟金矿不同地质体稀土元素参数($\omega_B/10^{-6}$)

样号	名称	Σ REE	Σ LREE	Σ HREE	L/H	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N	(Sm/Nd) _N	δ Eu	δ Ce
-20CM3-1	金矿石	452.95	401.79	51.16	7.854	7.486	3.198	1.376	0.598	0.698	0.917
-20CM3-2	金矿石	434.51	388.00	46.51	8.342	9.031	3.762	1.481	0.566	0.676	0.924
-20CM3-3	金矿石	346.82	307.56	39.26	7.834	8.106	3.679	1.407	0.576	0.680	0.940
-20CM5-7-1	金矿石	538.43	499.82	38.61	12.945	16.957	4.615	2.095	0.491	0.649	0.910
-20CM5-7-2	金矿石	672.34	622.26	50.08	12.425	16.251	4.350	2.050	0.503	0.663	0.931
20CM5-7-1	金矿石	403.38	365.33	38.05	9.601	9.759	4.240	1.376	0.502	0.584	0.913
20CM5-7-2	金矿石	320.84	280.64	40.20	6.981	7.332	3.483	1.385	0.585	0.698	0.913
20CM5-7-3	金矿石	467.96	430.21	37.75	11.396	12.098	4.180	1.603	0.525	0.623	0.935
20CM3-1	金矿石	326.24	293.58	32.66	8.989	8.152	3.669	1.253	0.544	0.645	0.942
20CM2-1	金矿石	441.99	403.48	38.51	10.477	11.907	3.842	1.754	0.534	0.669	0.912
20CM2-2	金矿石	425.27	387.81	37.46	10.353	11.720	3.980	1.689	0.521	0.693	0.886
60CM5-7-1	金矿石	214.38	193.04	21.34	9.046	10.169	3.782	1.643	0.544	0.688	0.920
60CM5-7-2	金矿石	307.96	280.21	27.75	10.098	10.748	4.070	1.483	0.529	0.663	0.947
60CM5-7-3	金矿石	219.92	198.57	21.35	9.301	11.567	4.297	1.587	0.546	0.718	0.902
60CM2-1	金矿石	337.19	304.35	32.84	9.268	8.875	4.140	1.235	0.511	0.683	0.913
60CM2-2	金矿石	149.57	122.42	27.15	4.509	3.255	3.058	0.728	0.626	0.674	0.917
60CM2-3	金矿石	274.95	243.29	31.66	7.684	7.230	3.827	1.139	0.563	0.618	0.906
DJ-3-2*	矿化石 英脉	356.23	305.34	50.89	6.000	4.545	0.796	3.307	0.796	0.860	1.160
D2031*	矿石	282.08	249.67	32.41	7.703	7.034	3.864	1.229	0.540	0.566	0.978
300-CM12-1*	矿石	415.59	380.71	34.88	10.915	11.352	4.352	1.635	0.519	0.681	0.964
260-CM2-3*	矿石	88.96	82.46	6.50	12.686	15.793	4.083	2.078	0.550	0.669	0.948
260-CM5-2*	矿石	193.89	178.54	15.35	11.631	11.562	5.321	1.585	0.504	0.645	1.027
180-CM2-2*	矿石	596.37	557.31	39.06	14.268	18.084	5.113	2.312	0.467	0.611	0.964
140-CM3-1*	矿石	370.25	340.47	29.78	11.433	11.224	4.720	1.406	0.503	0.531	1.008
100-CM5-2*	矿石	209.93	183.24	26.69	6.865	6.162	3.552	1.074	0.596	0.680	0.957
100-CM2-2*	矿石	187.94	165.20	22.74	7.265	7.412	3.516	1.440	0.581	0.665	0.988

Continued

金矿石平均		347.54	314.05	33.49	9.457	10.147	3.903	1.590	0.551	0.663	0.947
ZK24-0007-b5*	石英	5.70	3.89	1.81	2.149	5.933	2.516	2.744	0.761	1.677	0.862
ZK1-0008-b3*	石英	39.93	37.78	2.15	17.572	22.958	3.060	4.120	0.436	6.730	0.975
LD2102-5*	石英	3.73	3.31	0.42	7.881	13.147	5.661	1.479	0.563	2.301	0.561
石英平均		16.45	14.99	1.46	9.201	14.013	3.746	2.781	0.587	3.569	0.799
WZS-6-1	钾长石	3.15	2.94	0.21	14.000	15.000	15.000	1.000	0.143	65.306	2.056

注：带“*”的数据引自杨春蕾(2016) [29]，带“**”的数据引自郭爱锁(2013) [30]，计算结果有修改。

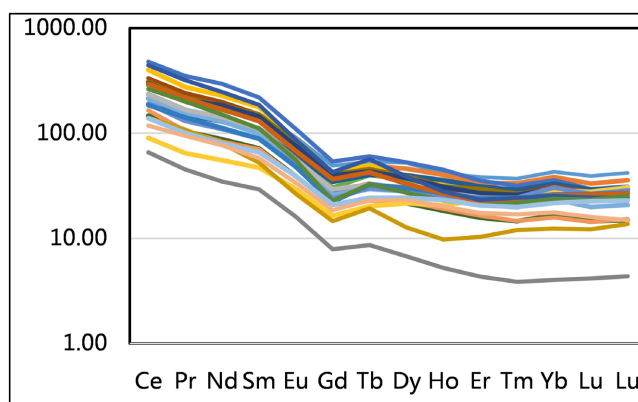


Figure 2. REE distribution model of gold ore (after Boynton, 1984) [28]

图 2. 金矿石稀土元素配分模式(球粒陨石值据 Boynton, 1984) [28]

从单矿物的稀土元素特征看，石英的稀土总量较低， ΣREE 在 $(3.73\sim 39.93) \times 10^{-6}$ 之间，平均 16.45×10^{-6} ，样品之间差异明显，说明成分较复杂，可能表明既有深源物质，也有矿化过程富集。轻稀土与重稀土元素的比值 L/H 为 2.149~17.572，表明轻稀土富集。 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 5.933\sim 22.958$ ，轻重稀土元素分馏较为明显； $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 2.516\sim 5.661$ ， $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1.479\sim 4.120$ ，轻、重稀土内部都有一定程度的分馏； $\delta\text{Eu} = 1.677\sim 6.730$ ，出现明显的正异常； $\delta\text{Ce} = 0.561\sim 0.975$ ，显示有轻度负异常。石英的纯度高，总量较低，其稀土元素主要来自包裹体[31]，应该与成矿热液相近。钾长石单矿物的稀土元素特征与石英相近(图 3)。

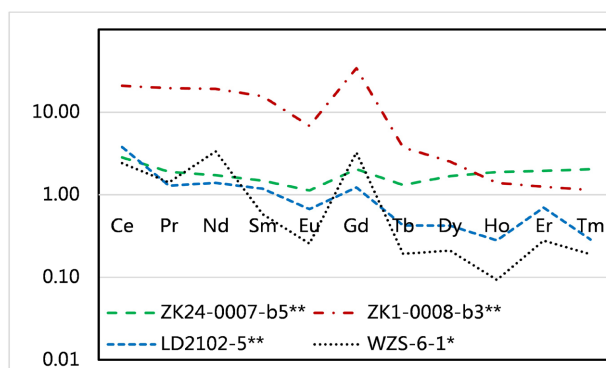


Figure 3. REE distribution model of quartz and potash feldspar chondrite (Sample numbers are the same as Table 1) (after Boynton, 1984) [28]

图 3. 石英、钾长石稀土元素配分模式(样号同表 1) (球粒陨石值据 Boynton, 1984) [28]

4. 成因意义

1) 通过矿石与不同类型岩石稀土元素配分模式对比, 成矿物质来自于岩浆岩体的可能性最大。

前人在本区留下了不同类型岩石样品的稀土测试成果, 通过与不同类型岩石样品的稀土元素配分模式比较发现, 矿石与其它地质体之间存在着部分相似性, 说明成矿过程中, 受到太华群变质岩、熊耳群火山岩、侵入岩及流体的影响[27] (图 4)。

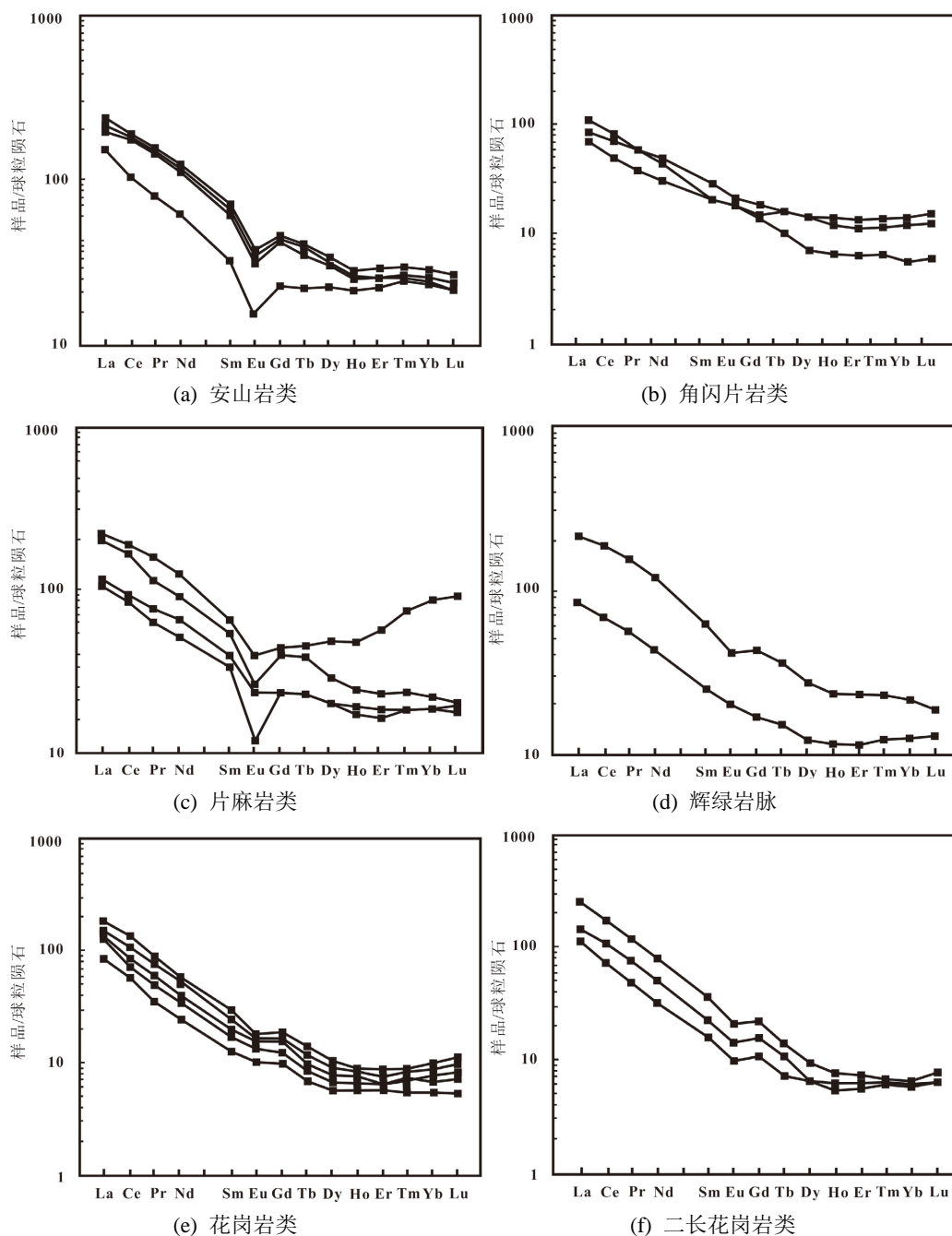


Figure 4. REE distribution patterns of magmatic and metamorphic rocks in the periphery of the mining area (after Boynton, 1984) [28]

图 4. 矿区外围的岩浆岩和变质岩的稀土元素配分模式(球粒陨石值据 Boynton, 1984) [28]

图中可以看出：矿石样品与花岗岩样品的稀土元素配分模式相近，应为成矿流体与深源岩浆之间的密切联系的指示。石英的稀土元素主要存在于流体包裹体中[32]，总量低，含石英英脉的稀土元素特征应能基本代表成矿流体的稀土特征[31] [33] [34]。

综上所述，成矿物质主要来自深源岩浆，成矿热液流经的其它岩石，包括变质岩，对成矿的叠加改造是微弱的。矿石中的高稀土元素含量应该是从岩浆热液中继承的。

2) Y、Ho 之间的关系也可指示成矿物质与岩浆热液间的亲密关系，而疏于变质岩。

Y、Ho 两种元素有着相同的离子电价和相近的离子半径，地球化学行为和特征相似。Y/Ho 在不同类型的岩浆岩、沉积岩及球粒陨石中无明显变化[35]，球粒陨石 Y/Ho 介于 24~36，与九丈沟金矿矿石的 Y/Ho 比 25.40~29.27 十分接近，说明深源岩浆流体对成矿的重要贡献，而且是主要的贡献。

3) 样品的稀土总量集中投点于太华群变质岩、熊耳群火山岩和燕山期花岗岩区。熊耳群火山岩是赋矿围岩，对样品的改造是必然的；投点于太华群分布区，应与熊耳群与太华群老变质基底的重熔继承有关；投点于燕山期花岗岩区，可能暗示深部岩浆参与了成矿作用，剔除围岩对矿石的继承因素，燕山期花岗岩的成矿作用应当受到重视(图 5)。

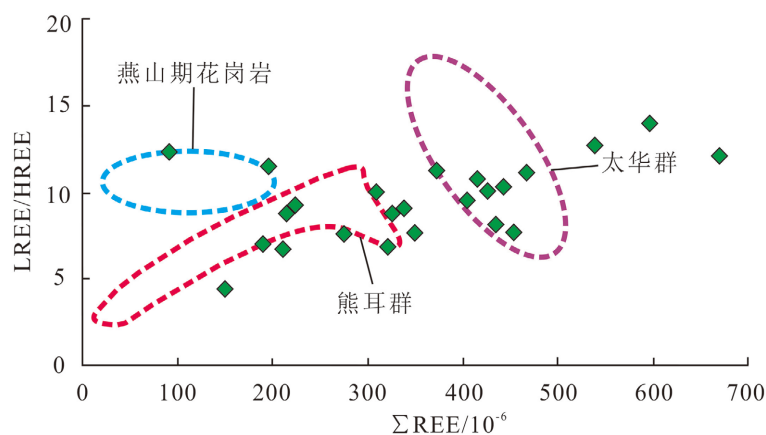


Figure 5. Diagram of LREE/HREE- Σ REE relationship of Jiuzhanggou gold Deposit (after Zhang *et al.*, 2020) [36]

图 5. 九丈沟金矿 LREE/HREE- Σ REE 关系图解(底图据张苏坤等, 2020) [36]

5. 结论

1) 九丈沟金矿稀土元素总量 Σ REE 在 $(88.96\sim 622.26) \times 10^{-6}$ 之间，轻稀土相对富集，重稀土相对亏损，同时 δ Eu 表现出负异常。

2) 九丈沟金矿与区内岩浆岩的稀土元素配分模式相一致，同时矿石的 Y/Ho 特征及 LREE/HREE 均显示，九丈沟金矿的成矿物质主要来源于岩浆岩的侵入。

基金项目

中国地质调查局科研项目(12120114035401)和山东黄金集团科研项目资助。

参考文献

- [1] 刘国营, 刘国庆. 青岗坪金矿床地质特征及成因探讨[J]. 桂林工学院学报, 2009, 29(3): 323-326.
- [2] 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 171-190.

- [3] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张作衡, 王义天, 王志良, 赵财胜, 杨富全, 李厚民. 大陆动力学演化与成矿研究: 历史与现状——兼论华南地区在地质历史演化期间大陆增生与成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(3): 193-205.
- [4] 童航寿. 拆离构造理论与找矿实践(四)——变质核杂岩体构造的厘定和识别[J]. 铀矿地质, 1999, 15(3): 161-167.
- [5] 郭保健, 徐孟罗, 王志光, 戴塔根. 熊耳山北坡拆离断层带地球化学特征及其与金银矿化的关系[J]. 矿产与地质, 1997, 11(1): 21-26.
- [6] 梅秀杰, 耿怡智, 庞绪成. 嵩县南部古火山机构控矿作用及找矿方向[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2008, 27(4): 410-413.
- [7] 高光明, 彭恩生, 郭宇杰. 河南熊耳山北坡西段的变质核杂岩和拆离断层[J]. 中南矿冶学院学报, 1993, 24(5): 579-584.
- [8] 胡正国. 小秦岭(陕西段)变质杂岩核构造与金矿[J]. 大地构造与成矿学, 1994, 18(2): 147-154.
- [9] 石铨曾, 秦国群, 李明立, 周旭, 冯有利. 豫西后造山阶段的剥离伸展构造与金矿化[J]. 河南地质, 1993, 11(1): 28-36+81.
- [10] 童航寿. 拆离构造与成矿作用[J]. 铀矿地质, 1993, 9(2): 76-82.
- [11] 许令兵, 王文达, 秦臻, 刘国华, 王忠. 祁雨沟角砾岩型金矿成矿物质来源探讨[J]. 矿产勘查, 2010, 1(1): 39-49.
- [12] Chen, Y.J., Pirajno, F., Li, N., et al. (2009) Isotope Systematics and Fluid Inclusion Studies of the Qiyugou Breccia Pipe-Hosted Gold Deposit, Qinling Orogen, Henan Province, China: Implications for Ore Genesis. *Ore Geology Reviews*, **35**, 245-261. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2008.11.003>
- [13] 张元厚, 张世红, 韩以贵, 张慧军. 华熊地块马超营断裂走滑特征及演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(2): 169-176+193.
- [14] 丁渊洪. 马超营深大断裂带的控矿特征及其找矿意义[J]. 地球科学与环境学报, 1999, 21(1): 33-37.
- [15] 杨守渠. 利用重磁成果探讨豫西断裂构造[J]. 河南地质, 1988, 6(3): 52-64.
- [16] 刘红樱, 胡受奚, 周顺之. 豫西马超营断裂带的控岩控矿作用研究[J]. 矿床地质, 1998, 17(1): 71-82.
- [17] 燕建设, 王铭生, 杨建朝, 徐育新. 豫西马超营断裂带的构造演化及其与金等成矿的关系[J]. 中国区域地质, 2000, 19(2): 166-171.
- [18] 卢欣祥, 尉向东, 于在平, 王义天, 薛良伟, 叶安旺, 索天元, 晋建平. 小秦岭-熊耳山金成矿作用与区域构造的耦合[J]. 黄金地质, 2004, 10(1): 1-5.
- [19] 卢欣祥, 尉向东, 于在平, 叶安旺. 小秦岭-熊耳山地区金矿的成矿流体特征[J]. 矿床地质, 2003, 22(4): 377-385.
- [20] 李云, 赵玉. 河南嵩县南部熊耳群古火山构造与成矿关系研究[J]. 华南地质与矿产, 2009(3): 28-36.
- [21] 任富根. 熊耳山-崤山地区金矿成矿地质条件和找矿综合评价模型[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1-130.
- [22] Han, J., Yao, J., Chen, H., et al. (2014) Fluid Inclusion and Stable Isotope Study of the Shagou Ag-Pb-Zn Deposit, Luoning, Henan Province, China: Implications for the Genesis of an Orogenic Lode Ag-Pb-Zn System. *Ore Geology Reviews*, **62**, 199-210. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.03.012>
- [23] 王志光, 崔毫, 徐孟罗, 等. 华北地块南缘地质构造演化与成矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997: 1-310.
- [24] 赖相濡. 熊耳山-外方山地区中生代花岗质岩石对金成矿作用的约束[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2015: 1-65.
- [25] 李永峰. 豫西熊耳山地区中生代花岗岩类时空演化与钼(金)成矿作用[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2015: 1-143.
- [26] 郭跃闪. 河南省洛宁县龙门店银矿床地球化学特征[D]: [硕士学位论文]. 焦作: 河南理工大学, 2015: 1-93.
- [27] 庞绪成, 郭跃闪, 杨剧文, 赵定生, 张凯涛, 赵少攀. 河南省洛宁龙门店银铅矿稀土元素地球化学特征及地质意义[J]. 中国稀土学报, 2015, 33(6): 747-760.
- [28] Hugh R. Rollison, 杨学明, 杨晓勇, 等. 岩石地球化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000.
- [29] 杨春蕾. 河南省嵩县九仗沟金矿地质地球化学特征[D]: [硕士学位论文]. 焦作: 河南理工大学, 2016: 1-98.
- [30] 郭爱锁. 河南嵩县槐树坪金矿床地质地球化学特征[D]: [硕士学位论文]. 焦作: 河南理工大学, 2013: 1-89.
- [31] 李厚民, 沈远超, 毛景文, 刘铁兵, 朱和平. 石英、黄铁矿及其包裹体的稀土元素特征——以胶东焦家式金矿为例[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 267-274.
- [32] 庞奖励, 裘愉卓. 二道沟金矿床中的稀土元素地球化学特征[J]. 中国稀土学报, 1996, 14(2): 97-102.
- [33] 张岩, 顾雪祥, 章永梅, 程文斌, 孙雨沁. 内蒙古柳树沟金矿床石英和黄铁矿的稀土元素地球化学特征及成矿意

- 义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(1): 23-30.
- [34] Peucker, E.B. and Schnier, C. (1992) Investigation of Rare Earth Elements in Quartz from the Bavarian Pfahl, Germany, by Means of Instrumental Neutron Activation Analysis. *Nuclear Geophysics*, **6**, 249-260.
- [35] Bau, M., Koschinsky, A., Dulski, P. and Hein, J.R. (1996) Comparison of the Partitioning Behaviors of Yttrium, Rare Earth Elements, and Titanium between Hydrogenetic Marine Ferromanganese Crusts and Seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**, 1709-1725. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(96\)00063-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(96)00063-4)
- [36] 张苏坤, 刘耀文, 汪江河, 等. 熊耳山上宫金矿稀土元素特征及对金矿物质来源的指示意义[J]. 地球学报, 2020, 41(6): 938-948.