

小佟家堡子金矿床微量稀土元素特征

魏 军^{1,2}, 王恩德¹, 门业凯³, 何强文¹
(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 辽宁省有色地质局, 辽宁 沈阳 110819;
3. 东北大学秦皇岛分校 资源与材料学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘 要: 为进一步探讨小佟家堡子金矿床成矿物质来源及印支-燕山期岩浆活动对其成矿作用的影响, 对该矿床岩石进行微量稀土元素的测试和特征分析. 微量稀土元素特征显示, 与矿体相比, 盖县组片岩、大石桥组大理岩显示出相似的微量元素变化趋势以及稀土配分模式, 印支期花岗岩仅在 P、Zr、Hf 等微量元素上出现较大反差, 吕梁期-燕山期岩浆岩体在稀土配分模式上只有 Er 明显亏损, 反映金成矿与地层和岩浆岩关系密切; 稀土元素特征显示成矿热液为富 Cl⁻ 的还原性流体, 成矿物质来源和成矿流体来源具有复杂性, 吕梁期和燕山期花岗岩与盖县组片岩和大石桥组大理岩均为该矿体的形成提供了成矿物质, 且深部成矿物质也参与成矿, 矿床类型为岩浆热液叠加型金矿床.

关 键 词: 青城子矿集区; 小佟家堡子金矿床; 微量稀土元素; 岩浆热液叠加

中图分类号: P 612 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2018)05-0689-05

Characteristics of Trace Rare Earth Elements of Xiaotongjiapuzi Gold Deposit

WEI Jun^{1,2}, WANG En-de¹, MEN Ye-kai³, HE Qiang-wen¹
(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. The Bureau of Non-ferrous Geology of Liaoning Province, Shenyang 110819, China; 3. School of Resource & Materials, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China. Corresponding author: WEI Jun, E-mail: 53108422@qq.com)

Abstract: The trace rare earth elements of rocks and ores in Xiaotongjiapuzi gold deposit was analyzed to discuss the mineral sources and the effect of Indosinian-Yanshan magmatic activities on mineralization. Gaixian Formation schists and Dashiqiao Formation marbles exhibit similar variation trends of trace elements and rare earth distribution patterns, and Indosinian granite showed little difference in trace elements such as P, Zr and Hf, et al. Lyuliang-Yanshan period magmatic rock mass lacked Er, reflecting that gold mineralization was closely related to the strata and magmatic rocks. Characteristics of rare earth elements suggested that the ore-forming hydrothermal was a reductive fluid rich in Cl⁻, and metallogenic material source and ore-forming fluid source was complex. Lyuliang period granite, Yanshan period granite, Gaixian Formation schists and Dashiqiao Formation marbles all provided ore-forming material for the formation of ore bodies, and deep metallogenic material participated in the mineralization. Xiaotongjiapuzi gold deposit is a magmatic hydrothermal superimposition type gold deposit.

Key words: Qingchengzi ore concentration area; Xiaotongjiapuzi gold deposit; trace rare earth elements; magmatic hydrothermal

20 世纪 90 年代探明的小佟家堡子金矿床, 以及印支-燕山期岩浆活动对成矿作用的影响结论不一, 且侧重于金矿床矿石组构特征、硫化物特征、成矿流体特征和同位素测年^[1]等方面, 对金

矿床微量稀土元素的研究涉及较少且不系统. 地球化学性质极为相似的稀土元素,在成岩成矿过程中整体活动,除经受岩浆熔融外,整体组成特征基本不被破坏,其独特的地球化学特征可用于探讨矿床成因和成矿物质来源^[2-4],而微量元素可对稀土解译进行有效补充,解决成矿物质来源的一些问题^[5].

1 成矿地质背景

小佟家堡子金矿床位于辽宁凤城北部,地处古元古代辽东裂谷中段、大石桥-草河口断拗的南翼与营口-宽甸断隆的衔接地带. 地层变质程度较深,以太古宇鞍山群变粒岩、混合花岗岩,辽河群大石桥组斜长浅粒岩、白云石大理岩、石榴子石矽线石云母片岩和盖县组黑云母片岩、矽线石云母片岩、黑云母变粒岩为主. 褶皱和断裂构造发育,褶皱以辽东裂谷早期(2 300 ~ 2 400 Ma)EW向榛子沟背斜为主;断裂构造含成矿前近SN向尖山子断裂、成矿期近EW向4组层间构造带以及成矿后NE,NW向断裂. 区内岩浆活动强烈,吕梁期至燕山期均有分布,矿区东部吕梁期大顶子花岗闪长岩岩株产出加剧辽河群变质与变形;印支期双顶沟二长花岗岩和新岭二长花岗岩分别以岩基状和不规则状分布在南部和北部;燕山期姚家沟侵入岩出露面积较小,为花岗斑岩和各类基性脉岩.

2 矿床体地质特征

小佟家堡子金矿床中不同岩性接触部位分布有4条含矿构造蚀变破碎带,构成3个矿化层位和I号、I-1号、II号及III号4个工业矿体,其中以II号矿体为主. 矿体长70~200 m,厚0.96~17.29 m,走向70°~90°,倾向北,倾角10°~30°,呈扁豆状、似层状,赋存于云母片岩与大理岩之间,容矿岩石以变粒岩为主^[6].

金矿石主要赋存在黑云变粒岩、硅化大理岩、硅质岩、云母片岩以及少量煌斑岩中,矿石以石墨化硅化大理岩和蚀变黑云变粒岩为主;结构主要为自形-半自形、半自形-它形、镶边和交代,局部可见压碎和环带,构造以层纹、条带、脉状和浸染状为主;矿石矿物成分简单,金属矿物质量分数占4.15%,其中黄铁矿2.66%,毒砂1.2%,其次含少量闪锌矿、方铅矿和黝铜矿,脉石矿物以白云石和石英为主,含少量绢云母和石墨;金矿物以晶

隙金为主,粒度<0.095 mm占82.84%,72.8%赋存于毒砂中,4.40%赋存于黄铁矿等硫化物中,其余分布在综合脉石内;硅化、黄铁矿化、碳酸盐化和石墨化等围岩蚀变与金成矿关系密切.

3 采样及测试分析

采集小佟家堡子金矿床各中段样品10件,送至澳实分析检测(广州)有限公司,采用等离子体质谱仪(ICP-MS)进行ME-MS81(硼酸锂熔融、等离子质谱定量)化验,各样品微量元素质量分数和稀土元素特征见表1,表2;利用原始地幔和球粒陨石数据对微量稀土元素进行标准化^[7],生成微量元素原始地幔标准化蛛网图(图1)和稀土元素球粒陨石标准化分布形式图(图2).

4 测试结果及讨论

原始地幔标准化的微量元素蛛网图中,矿体(样品3~8)与大理岩(样品1)、片岩(样品10)微量元素质量分数基本相同且曲线变化趋势基本一致(图1a),均表现Ba,Ta,Nb,Zr,Hf,Ti等元素明显亏损,而Rb,Th,U,La,Sr,Sm,Y等元素富集,反映三者成因方面的密切联系,盖县组片岩和大石桥组大理岩为矿源层;同时,双顶沟花岗岩体微量元素含量普遍高于矿体(图1b),二者微量元素质量分数表现出相似性和局部差异性:二者皆亏损Ba,Nb,Ti等高场强元素,富集Rb,La,Sm等大离子亲石元素,仅P,Zr,Hf等元素出现较大反差,显示成矿过程受印支期岩浆活动影响,部分成矿物质可能源自岩浆岩体,这与绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素年龄测定结果一致^[1].

地层稀土总量 $\sum REE = 47.18 \sim 237.47$, $LREE/HREE = 2.41 \sim 8.39$,均值5.45,除14号样品外,其他样品 δEu 异常0.75~0.96(均值0.88), $\delta Ce = 0.86 \sim 0.97$,主要为 δEu 无亏损的轻稀土富集型,稀土模式^[8]平缓, δCe 表现为极弱负异常,基本保持沉积变质的特点;矿体稀土总量偏低, $\sum REE = 23.93 \sim 176.11$, $LREE/HREE = 3.90 \sim 7.83$,均值5.47,稀土配分模式图曲线左高右低缓倾斜,属轻稀土富集型,轻稀土分馏明显($(La/Sm)_N = 4.02 \sim 6.97$),重稀土分馏程度较低($(Gd/Yb)_N = 1.76 \sim 2.36$), δEu 异常0.65~0.97,属弱中等负异常到弱异常;岩浆岩 $\sum REE = 28.16 \sim 161.8$, $LREE/HREE = 3.37 \sim 19.97$,轻稀土富集且分馏明显($(La/Sm)_N = 3.53 \sim 10.64$),

重稀土有轻微分馏((Gd/ Yb)_N = 1. 99 ~ 4. 21).

表 1 小佟家堡子矿床微量元素数据 (质量分数 ×10 ⁶)																				
Table 1		Data of trace elements in Xiaotongjiapuzi gold deposit(mass fraction ×10 ⁶)																		%
编号	样品描述	Rb	Ba	Th	U	K	Ta	Nb	La	Ce	Sr	Nd	P	Zr	Hf	Sm	Ti	Y	Yb	Lu
1	条带大理岩	15.5	20	0.5	2.4	1 900	0.04	0.6	4.1	7	147.5	2.9	340	3	0.1	0.58	190	9.4	0.34	0.05
2	硅化岩	68.6	840	0.9	0.6	18 400	0.09	1.1	2.7	5.74	487	2.6	140	18.7	0.8	0.58	600	2	0.19	0.03
3	矿石	12.8	30	0.9	2.6	1 500	0.05	1	6.5	12.15	293	5.7	300	5.2	0.1	1.48	230	13.1	0.69	0.1
4	矿石	14.6	30	0.8	2.6	2 200	0.05	0.6	4.8	9.16	180	4.3	200	4.6	0.1	1.07	180	11	0.67	0.1
5	矿石	211	230	5.1	1.1	38 200	0.45	5.9	21.8	46.1	66.9	19.2	290	15.1	0.4	3.913	880	10.9	2.25	0.35
6	矿石	110.5	130	2.3	1.5	17 400	0.24	3.2	9.5	19	93.5	8.9	350	18.7	0.5	2.191	780	13.3	1.17	0.18
7	矿石	73.4	70	2.1	3.4	11 300	0.21	3.1	16.2	28.2	511	12	340	14.8	0.4	2.481	460	22	1.46	0.22
8	矿石	87.1	120	3.6	4.2	13 900	0.29	3.9	17.6	31.5	390	12.4	300	32.1	0.8	2.211	620	17.2	1.27	0.19
9	富矿石	221	480	10	3.7	50 900	0.86	11.3	38.9	76	219	31	630	55.5	1.6	5.964	330	27.8	2.73	0.42
10	片岩	188	220	3.5	1.2	31 900	0.3	4.1	16.1	33.5	282	15.2	230	29.5	0.7	3.073	200	9.5	1.63	0.26
11	双顶沟花岗岩	177	786	45.9	3.84	29 500	2.04	39	141	213	561	69.9	437	199	5.47	8.133	296	13.3	1.28	0.19
12	双顶沟花岗岩	194	952	33.1	3.17	35 500	1.31	26.3	77.5	118	561	40.5	415	198	5.47	5.042	577	9.23	0.87	0.145
13	双顶沟花岗岩	211	1 388	24.6	2.95	43 300	1.31	26.4	79.3	119	671	45.4	393	182	5.3	5.712	158	9.55	0.87	0.14
14	双顶沟花岗岩	218	950	31.1	3.33	38 600	1.69	33.2	57.3	119	563	43.1	524	236	6.5	5.893	236	11.7	1.16	0.187
15	双顶沟花岗岩	202	1 101	29.1	2.73	41 400	1.92	35.4	72.4	145	572	47.3	437	200	5.04	6.332	937	12.1	1.11	0.183
16	双顶沟花岗岩	204	576	39.4	4.24	29 300	1.75	35.3	86.9	150	458	50.8	655	271	7.13	6.4	3 476	12.2	1.12	0.183
17	双顶沟花岗岩	204	1 502	30.1	3.1	42 600	1.29	27.4	79.3	147	758	42.9	458	180	4.75	5.352	637	9.54	0.9	0.131

注:1 ~ 10 为自测数据,测试单位:澳实分析检测(广州)有限公司,2012;11 ~ 17 据段晓侠等,2012.

表 2 小佟家堡子金矿稀土元素数据										
Table 2 Data of REE in Xiaotongjiapuzi gold deposit										
编号	样品描述	ΣREE × 10 ⁶	LREE × 10 ⁶	HREE × 10 ⁶	LREE/HREE	La _N /Yb _N	La _N /Sm _N	Gd _N /Yb _N	δEu	δCe
1	条带大理岩	16. 94	14. 27	2. 67	5. 34	7. 81	6. 38	2. 12	0. 90	0. 88
2	硅化岩	13. 85	12. 31	1. 54	7. 99	10. 19	4. 66	2. 89	1. 01	1. 01
3	矿石	31. 37	25. 96	5. 41	4. 80	6. 24	4. 05	2. 36	0. 84	0. 91
4	矿石	23. 93	19. 05	4. 88	3. 90	4. 60	4. 02	2. 10	0. 97	0. 92
5	矿石	107. 64	92. 56	15. 08	6. 14	6. 57	5. 27	1. 76	0. 65	1. 01
6	矿石	49. 12	40. 94	8. 18	5. 00	5. 40	4. 02	2. 10	0. 89	0. 99
7	矿石	69. 32	59. 21	10. 11	5. 86	7. 32	6. 01	1. 92	0. 72	0. 91
8	矿石	69. 78	61. 22	8. 56	7. 15	8. 70	6. 97	1. 83	0. 79	0. 91
9	富矿石	176. 11	156. 16	19. 95	7. 83	9. 70	6. 19	2. 17	0. 74	0. 98
10	片岩	80. 71	69. 83	10. 88	6. 42	6. 78	5. 02	1. 88	0. 92	0. 97
11	硅质岩	95. 66	87. 26	8. 40	10. 39	16. 26	1. 97	1. 82	0. 37	0. 95
12	硅质岩	85. 20	72. 00	13. 20	5. 45	5. 74	3. 00	2. 20	0. 57	0. 89
13	硅质岩	91. 40	75. 60	15. 80	4. 78	4. 37	3. 18	2. 35	0. 56	0. 91
14	Ptld ₃	47. 18	33. 33	13. 85	2. 41	2. 66	3. 55	1. 04	2. 02	0. 86
15	大顶子花岗岩	28. 16	21. 72	6. 44	3. 37	5. 59	3. 96	1. 99	0. 94	0. 89
16	姚家沟花岗岩	64. 25	53. 04	11. 21	4. 73	6. 57	3. 53	2. 33	0. 50	1. 09
17	新岭花岗岩	135. 91	129. 43	6. 48	19. 97	36. 18	8. 53	4. 21	0. 57	0. 94
18	双顶沟花岗岩	161. 80	153. 37	8. 43	18. 19	33. 80	10. 64	2. 90	0. 92	0. 70
19	大理岩	70. 08	55. 29	14. 79	3. 74	4. 80	4. 50	1. 43	1. 75	0. 86
20	云母片岩	121. 40	100. 79	20. 61	4. 89	5. 49	4. 31	1. 75	0. 96	0. 91
21	变粒岩	237. 47	211. 34	26. 13	8. 09	8. 68	7. 62	1. 35	0. 75	0. 90
22	角砾状大理岩	62. 90	54. 40	8. 50	6. 40	11. 95	3. 45	2. 50	0. 92	0. 73
23	金矿体	28. 90	24. 20	4. 70	5. 15	7. 53	3. 00	3. 00	1. 15	0. 73
24	黄铁矿	9. 81	6. 51	3. 30	1. 97	2. 95	5. 44	0. 96	1. 44	0. 75
25	方铅矿	16. 12	11. 47	4. 65	2. 47	4. 01	4. 97	1. 09	3. 46	0. 77
26	闪锌矿	11. 52	7. 09	4. 43	1. 60	3. 32	9. 53	1. 49	0. 01	0. 89

注:1 ~ 10 为自测数据,测试单位:澳实分析检测(广州)有限公司,2012;11 ~ 14 据赵广繁等,1997;15 ~ 26 据孙立民等,1997.

金矿体稀土标准模式与地层一致(图 2a),反映成矿物质来源与地层有关,且矿石矿物中 Sm/Nd 为 0. 09 ~ 0. 30 < 0. 3,显示源于壳层的花岗岩类的部分特征^[9]; δEu 异常 0. 01 ~ 3. 46,范围较

宽,反映矿石具有多期性,表现岩浆热液叠加改造特征. 金矿体与岩浆岩稀土配分模式基本一致(图 2b),显示成矿物质与岩浆热液具有一定同源性,岩浆岩 Er 明显亏损,表明其具重熔再生特征.

稀土元素在不同压力条件下酸性硅酸盐熔体-蒸汽相共存体系中分异出的热液流体, δEu 异常具有不同的特征, 正 δEu 异常对应低压下低 Cl^- 浓度的弱氧化性流体, 负 δEu 异常对应高压下富 Cl^- 的还原性流体^[8,10], 小佟家堡子金矿床

矿石 $\delta\text{Eu} = 0.65 \sim 0.97$, 反映了成矿热液为富 Cl^- 的还原性流体, 与成矿流体特富含 CO_2 , CH_4 气体和 Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , 贫 Ca^{2+} , Mg^{2+} ^[1] 特征一致, 反映了岩浆热液叠加成矿作用。

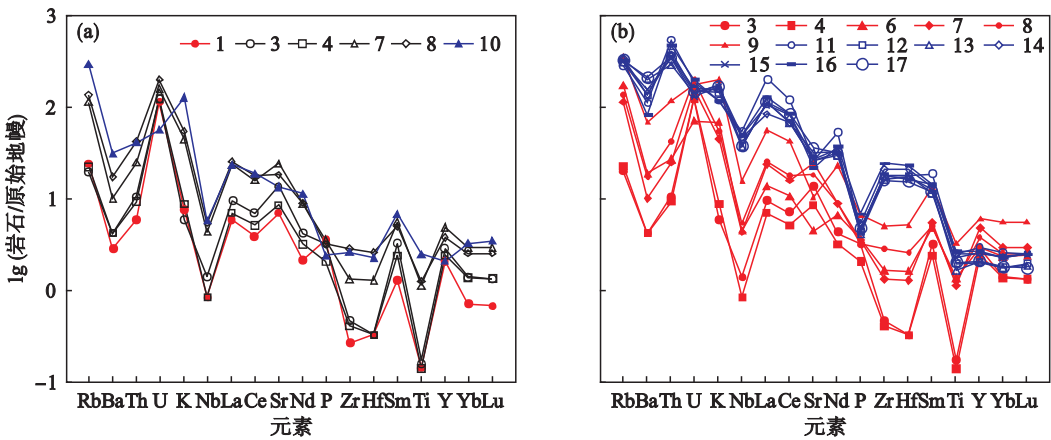


图 1 小佟家堡子金矿床微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 1 Primitive mantle standardization spider diagram of trace element in Xiaotongjiapuzi gold deposit

(a)—矿体和围岩; (b)—矿体和岩浆岩。

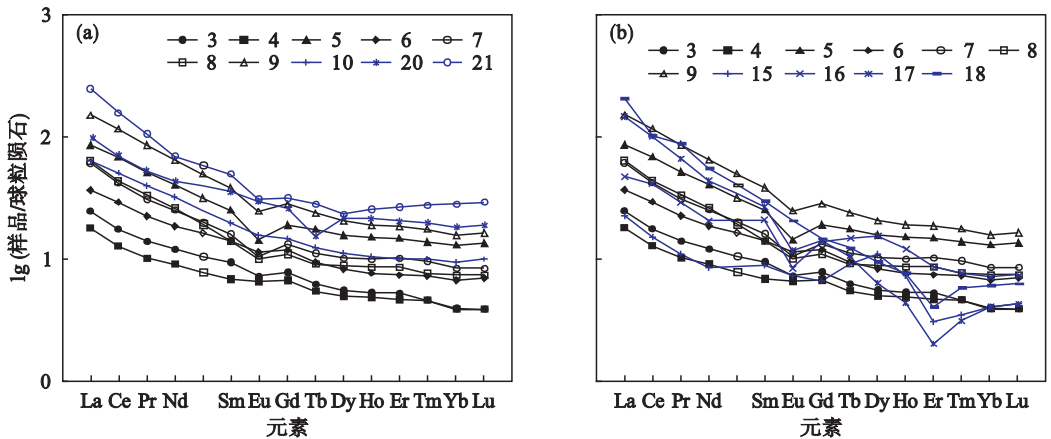


图 2 小佟家堡子金矿床稀土元素球粒陨石标准化分布形式图

Fig. 2 Distribution pattern of REE in the Xiaotongjiapuzi gold deposit

(a)—矿化体和围岩; (b)—矿化体和岩浆岩。

各岩矿体的 $(\text{La}/\text{Sm})_N - (\text{Gd}/\text{Lu})_N$ 图解 (图 3) 显示, 辽河群盖县组片岩、大石桥组大理岩, 金矿体以及燕山期姚家沟岩体、吕梁期大顶子花岗岩分布区间相近且近似重合; 而印支期新岭花岗岩与双顶沟花岗岩、金矿体以及盖县组片岩和大石桥组大理岩有良好的线性关系, 反映金矿成矿物质来源和成矿流体来源的复杂性, 矿体的形成与吕梁期花岗岩、燕山期花岗岩密切相关, 二者与片岩、大理岩均为矿体的形成提供了主要成矿物质; 同时, 部分成矿物质可能与区内广泛发育的印支期新岭花岗岩与双顶沟花岗岩均属同源岩浆分异演化的产物, 深部成矿物质随印支期岩浆热液活动上升至岩性界面转换处、层间剥离断层、褶皱

滑脱部位等位置富集成矿。

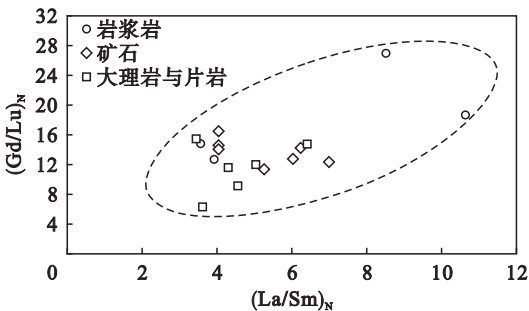


图 3 各岩矿体的 $(\text{La}/\text{Sm})_N - (\text{Gd}/\text{Lu})_N$ 图解

Fig. 3 $(\text{La}/\text{Sm})_N - (\text{Gd}/\text{Lu})_N$ plot of rock ore body