

阿勒泰萨热阔布金矿的成矿流体：微量元素组成*

Ore-forming fluids in the Sarekoubu gold deposit, Altay, China: Trace element compositions

徐九华¹, 丁汝福², 谢玉玲¹, 单立华¹, 陈伟¹

(1 北京科技大学资源工程系, 北京 100083; 2 北京矿产地质研究院, 北京 010010)

XU JiuHua¹, DING RuFu², XIE YuLing¹, SHAN LiHua¹ and CHEN Wei¹

(1 Resource Engineering Department, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2 Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China)

摘 要 阿勒泰萨热阔布金矿包裹体的 ICP-MS 稀土元素研究表明, ΣREE 比中国其他造山型金矿的高几倍; 轻、重稀土分馏不明显, 轻稀土和重稀土内部分异也不明显; 无明显的 Eu 异常 ($\delta\text{Eu}=0.72\sim 1.77$), 与地幔岩辉石的 CO_2 流体相似。流体中富集的微量元素有 Cu、Zn、Mo、Cd、Se、Pb、W、Bi 等, 与矿物的共生组合一致, 结合硫同位素组成反映了深源特征。

关键词 萨热阔布金矿; 流体包裹体; 稀土元素; 微量元素

阿勒泰市西北郊萨热阔布金矿床的成因, 总的来讲与造山型金矿床特征相符 (Graupner et al., 2001; Wilde et al., 2001; Yakubchuk, 2004), 但至今仍有一些不同的观点。丁汝福等 (2001) 通过矿床地球化学特征研究, 认为矿床的形成经历了早期断陷火山-沉积盆地时期 (形成了火山-热水沉积预富集层和 VHMS 型铅锌多金属矿化) 和造山期金的最终成矿; 尹意求和李嘉兴 (2004) 根据围岩蚀变, 认为萨热阔布金矿床属断裂变质岩型金矿床; 矿床的成矿流体还以极富 CO_2 为特征 (Xu et al., 2005)。本文将报道该矿床成矿流体的微量、稀土元素特征, 为成因研究提供一些地球化学依据。

1 地质概况

萨热阔布金矿床位于阿尔泰山南缘的可可塔勒金-多金属成矿带内。该成矿带属于西伯利亚板块南缘泥盆纪火山型被动陆壳的边缘盆地, 总体构造呈北西-南东向。矿区内出露的地层主要有中上元古界和上古生界泥盆系, 下泥盆统康布铁堡组 (D_1k) 为主要含矿地层, 构成了麦兹和克朗复式向斜构造的两翼。萨热阔布金矿体产于康布铁堡组上亚组第二岩性段 ($D_1k_2^2$) 内, 与铁木尔特铅锌矿属同一含矿层位。萨热阔布金矿的控矿构造为阿巴宫断裂与克因宫断裂。阿巴宫断裂位于矿区的南侧, 是下泥盆统康布铁堡组 (D_1k) 与中泥盆统阿尔泰组 (D_2a) 的分界线; 克因宫断裂限定了矿区的北界。容矿断裂在控矿构造内呈右行雁行排列, 与控矿断裂带的交角为 $3\sim 15^\circ$, 具张裂性质, 碎裂现象普遍。主要容矿断裂有萨热阔布断裂带、乌拉斯沟断裂带和恰夏断裂带。

矿床围岩蚀变较发育, 严格受剪切破碎带控制, 分带性不明显。近矿围岩蚀变主要有黄铁矿化、硅化、绿泥石化和碳酸岩化。目前圈定的金矿体共有 5 条。矿体呈透镜状或短脉状, 沿走向有分支复合现象, 矿

*本文得到国家自然科学基金项目 (40572066) 的资助

第一作者简介 徐九华, 男, 1951 年生, 教授, 博士生导师, 从事矿床学方面的研究和教学。E-mail: jiuhuaxu@ces.ustb.edu.cn

体走向 NW—SE，顺地层展布。原生带矿石中金属矿物约占 15%，主要有自然金、银金矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿和自然铋；脉石矿物主要有石英、钾长石、斜长石、石榴石、碳酸盐、绿泥石及粘土矿物等。矿区主要有两种类型金矿石，即蚀变岩型和石英脉型。

2 流体包裹体 ICP-MS 稀土和微量元素研究

流体包裹体岩相学和显微测温研究表明，成矿流体极富 CO₂，很多成矿阶段的石英样品中绝大多数为纯 CO₂ 包裹体 (Xu et al., 2005)。挑选产出大量 CO₂ 包裹体的脉石英样品，应用热爆提取技术和电感耦合等离子质谱 (ICP-MS) 方法对包裹体中的稀土元素组成进行了测定。实验仪器为 Finnigan MAT 生产的 ELEMENT 型等离子质谱仪，分辨率 300，RF 功率 1.25 KW。主要实验条件为：样品气流速 1.04 L/min，辅助气流速 0.96 L/min，冷却气流速 14.0 L/min，分析室真空 6×10⁻⁶ Pa。包裹体中 H₂O 和 CO₂ 含量的气相成分分析在科学院地质与地球物理研究所进行，实验仪器为 RG202 四极质谱仪。

2.1 成矿流体的稀土元素特征

阿尔泰萨热阔布金矿床的脉石英中流体包裹体的稀土元素组成具有以下特征：

(1) 与已报道的造山型金矿床比较，石英流体包裹体中的稀土总量较高，脉石英 ΣREE (流体) (11.56~204.86) ×10⁻⁶，凝灰岩晶屑石英 (SR01) 包裹体的更高，ΣREE (流体) =845.35 (表 1、图 1)。而同一批测试数据中赤峰柴胡栏子金矿 ΣREE (流体) 为 (6.81~158.3) ×10⁻⁶。流体中的高稀土含量，与流体的富 CO₂ 有密切的关系，这已被很多研究证实。

表1 阿尔泰萨热阔布金矿CO₂流体稀土元素（经球粒陨石标准化）组成特点（w_B/10⁻⁶）

CO ₂ 流体/球粒陨石	SR01	SR03	SR05	SR18	SR20	SR30	SR23-Q	SR23-F
	凝灰岩晶屑石英	脉石英	脉石英	脉石英	糖粒状石英	脉石英	脉石英	萤石
La	397.5	52.8	113.8	6.1	15.0	83.6	23.7	12514.3
Ce	256.4	19.0	75.8	4.1	11.0	37.9	16.1	7229.3
Pr	280.9	22.9	69.4	3.7	10.6	52.1	15.0	8307.5
Nd	224.9	19.1	57.4	3.0	9.0	37.9	12.6	7503.3
Sm	171.1	14.5	45.8	2.6	8.2	23.4	11.6	6323.0
Eu	111.0	11.9	60.4	2.4	8.1	13.4	21.6	10006.7
Gd	136.0	15.0	38.4	2.2	7.9	12.3	12.7	6846.2
Tb	225.9	21.7	40.2	3.0	9.5	9.0	17.0	7788.6
Dy	322.4	35.3	49.4	4.1	14.7	8.7	22.6	8618.6
Ho	240.7	27.5	33.7	2.7	9.9	4.8	16.0	6327.2
Er	239.0	28.8	31.9	2.2	7.2	3.2	13.2	4944.4
Tm	262.8	27.1	28.4	1.5	5.2	2.3	12.4	3121.6
Yb	309.8	31.5	29.8	1.7	4.2	2.5	10.9	2561.6
Lu	312.8	31.2	28.0	0.8	3.7	2.4	10.2	2323.6
w(CO ₂ +H ₂ O)/10 ⁻⁶	41.4	57.8	40.0	56.5	73.3	55.5	43.9	32.9
流体ΣREE/10 ⁻⁶	845.35	81.84	204.86	11.56	33.38	104.79	52.26	24777.68
LREE/HREE	2.18	1.82	4.01	3.18	2.57	12.56	2.21	2.82
(La/Yb) _N *	1.28	1.68	3.82	3.61	3.56	33.41	2.17	4.89
(La/Sm) _N *	2.32	3.65	2.49	2.35	1.83	3.57	2.04	1.98
(Gd/Yb) _N *	0.44	0.48	1.29	1.32	1.88	4.90	1.16	2.67
δEu	0.72	0.81	1.43	0.98	1.00	0.75	1.77	1.52

注：中国科学院地质与地球物理研究所和核工业部北京地质测试研究中心测定。*单位为1。

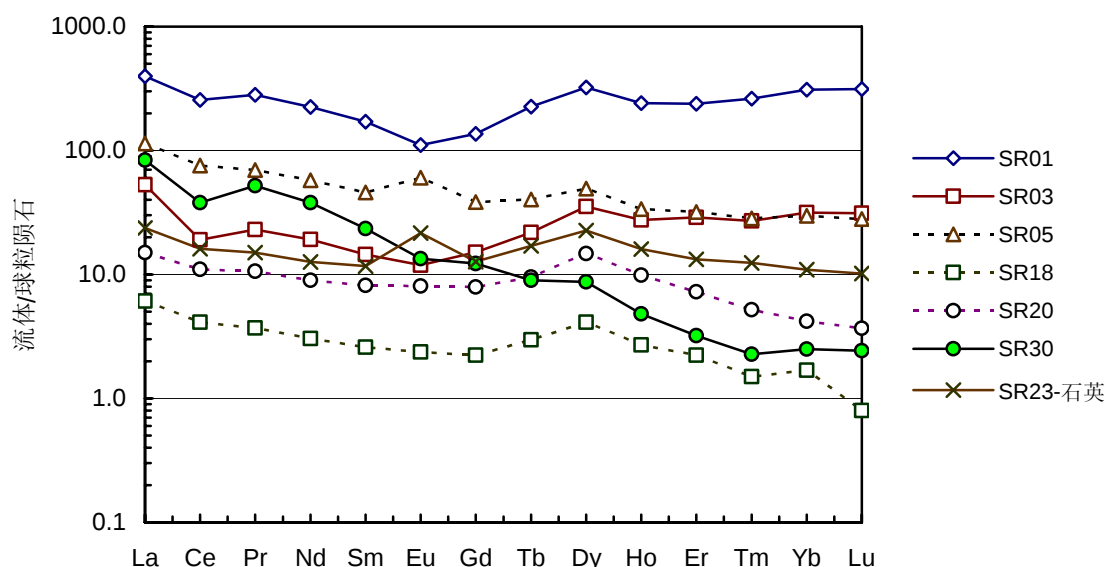


图1 阿勒泰萨热阔布金矿脉石英流体包裹体REE球粒陨石标准化配分模式图

(2) 脉石英流体包裹体的轻、重稀土分馏不明显, LREE/HREE 一般为 1.82~4.01, 仅 1 件样品为 12.56。这与地幔岩包裹体相似, 橄榄石流体包裹体的 LREE/HREE=2.13~17.96, 辉石的仅为 1.53~7.89 (徐九华等, 2003)。而很多造山型金矿床的流体轻、重稀土分馏均较明显, 玲珑-焦家式金矿的包裹体 LREE/HREE=6.07~26.41 (7 件), 乳山金矿的为 11.62~29.59 (3 件), 辽宁四道沟金矿的为 7.96~10.72 (3 件)。

(3) 流体包裹体 REE 的轻稀土和重稀土内部分异不明显, $(La/Sm)_N=1.83\sim3.57$, $(Gd/Lu)_N=0.44\sim4.9$ 。这与其它金矿床已有的资料相同。

(4) 流体 REE 无明显的 Eu 异常, $\delta Eu=0.72\sim1.77$, 与地幔岩辉石的 CO_2 流体极为相似 (Peter, 2002), $\delta Eu=0.45\sim1.10$, 地幔橄榄石则具弱的负异常。而很多造山型金矿床则具有明显的 Eu 正异常, 如赤峰柴胡栏子金矿, $\delta Eu=1.51\sim8.12$, 乳山金矿 3.43~5.71, 玲珑-焦家金矿 1.05~7.09。

2.2 流体的微量元素特征

采用对 REE 同样的方法, 对 ICP-MS 获得的微量元素进行了校正, 求得包裹体水中的微量元素含量, 然后再以上地幔丰度 (黎彤, 1988) 标准化后作出微量元素分布蛛网图 (图 2)。相对于上地幔丰度而言,

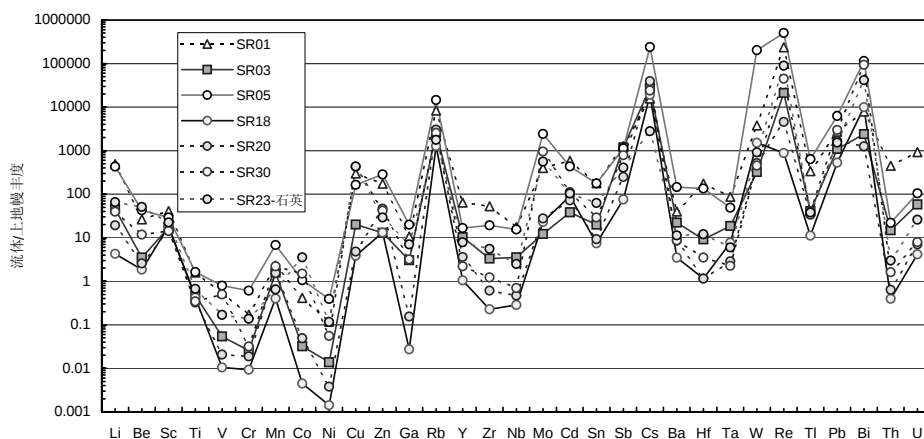


图2 萨热阔布金矿流体包裹体微量金属元素特征

成矿流体中微量元素有些明显地富集,另一些则贫化。富集系数 K (流体中含量/上地幔元素丰度) 大于 1 的元素主要为金属成矿元素,如 Cu、Zn、Mo、Cd、Se、Pb、W、Bi 等,它们在成矿流体中富集。这与金矿床的矿物共生组合是一致的,Cu、Pb 等常以黄铜矿、方铅矿等金属硫化物形式与金银矿物伴生,Bi 的大量富集,导致了自然铋矿物的形成(钟长华等,2005)。富集系数小于 1 的元素有铁族元素 Ti、V、Cr、Co、Ni,它们在成矿流体中亏损,与金矿床的矿物共生组合中也吻合,几乎不存在这些元素的独立矿物。

本矿区 6 件硫化物(3 件黄铁矿、3 件黄铜矿)的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 4.39~8.57‰,基本上反映了深源特征,与 CO_2 流体的 $\delta^{13}\text{C}$ 得到的信息(Xu et al., 2005)一致。

3 结 语

萨热阔布金矿床脉石英包裹体的 ICP-MS 稀土元素分析研究表明,成矿流体富含稀土元素, ΣREE 比国内其他造山型金矿的高几倍;轻、重稀土分馏不明显,轻稀土和重稀土内部分异也不明显;无明显的 Eu 异常, $\delta\text{Eu}=0.72\sim 1.77$,与地幔岩辉石的 CO_2 流体特征相似。成矿流体中 Cu、Zn、Mo、Cd、Se、Pb、W、Bi 等微量元素富集,与矿物共生组合一致。

参 考 文 献

- 丁汝福,王京彬. 2001. 马忠美等. 新疆萨热阔布火山喷流沉积改造型金矿地球化学特征. 地质与勘探, 37(3): 11~15.
- 王京彬,秦克章,吴志亮. 1998. 阿尔泰山南缘火山喷流沉积型铅锌矿床. 北京: 地质出版社. 18~95.
- 徐九华,谢玉玲,王丽君,等. 2003. 地幔矿物中流体包裹体的微量元素特征, 岩石学报, 19(2): 307~313.
- 尹意求,李嘉兴. 2004. 一种与断裂变质作用有关的新类型金矿床—新疆阿勒泰市萨热阔布金矿床. 矿产与地质, 18(2): 8~12.
- 张进红,王京彬,丁汝福. 2000. 阿尔泰山带康布铁堡组变质火山岩锆石特征和铀-铅年龄. 中国区域地质, 19(3): 281~287.
- 钟长华,徐九华,丁汝福,等. 2005. 阿尔泰山萨热阔布金矿床的自然铋及其与金矿化关系. 矿物岩石地球化学通报, 24(2): 130~134.
- Deines P. 2002. The carbon isotope geochemistry of mantle xenoliths. Earth-Science Reviews, 58(3-4): 247~278.
- Graupner T, Kempe U and Edward T C. 2001. Microthermometric, Laser Raman spectroscopic, and volatile-Ion Chromatographic analysis of hydrothermal fluids in the Paleozoic Muruntau Au-bearing quartz vein ore field, Uzbekistan. Economic Geology, 96: 1~23.
- Peter Deines, P. 2002. The carbon isotope geochemistry of mantle xenoliths, Earth-Science Reviews, 58(3-4): 247~278.
- Wilde A R, Leyer P, Mernagh T. 2001. The giant Muruntau gold deposit: geologic, geochronologic, and fluid inclusion constraints on ore genesis. Economic Geology, 96, 633~644.
- Xu J H, Ding R F, Xie Y L, et al. 2005. Pure CO_2 fluids in the Sarekoubu gold deposit at southern margin of Altai Mountains in Xinjiang, West China. Chinese Science Bulletin, 50 (4), 333~340.
- Yakubchuk A. 2004. Architecture and mineral deposit settings of the Altaid orogenic collage: a revised model. Journal of Asian Earth Sciences, 23: 761~779.