

贵州锦丰(烂泥沟)金矿床含砷黄铁矿和脉石英及其包裹体的稀土元素特征*

陈懋弘^{1,2} 吴六灵^{2,3} Phillip J. Uttley² Tony Norman² 郑建民⁴ 秦运忠^{2,3}

CHEN MaoHong^{1,2}, WU LiuLing^{2,3}, Phillip J. Uttley², Tony Norman², ZHENG JianMin³ and QIN YunZhong^{2,3}

1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

2. Sino Gold Mining Limited, Sydney, NSW 2000, Australia

3. 广西地勘局 271 地质队, 广西 541100

4. 中国地质大学(北京), 北京 100083

1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2. Sino Gold Mining Limited, Sydney, NSW 2000, Australia

3. No. 271 Geological Party, Guangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guangxi 541100, China

4. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2007-06-25 收稿, 2007-07-27 改回.

Chen MH, Wu LL, Uttley PJ, Norman T, Zheng JM and Qin YZ. 2007. REE features of arsenian pyrite and vein quartz and their fluid inclusions in the Jinfeng (Lannigou) gold deposit, Guizhou province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10):2423-2433

Abstract The Jinfeng, previously known as the Lannigou, is the largest known Carlin-type gold deposit in the Yunnan-Guizhou-Guangxi triangle area, southwestern China. Arsenian pyrite is the most important Au carrier mineral, and vein quartz is the product of the most marked hydrothermal alteration in the deposit. The two minerals and their fluid inclusions have the same REE features, showing a pronounced LREE/HREE fractionation with $LREE/HREE = 7.95 \sim 31.77$ and $(La/Yb)_N = 8.97 \sim 40.49$. The LREE shows a fairly pronounced fractionation with $(La/Sm)_N = 3.20 \sim 5.29$ and has greatly right-inclined patterns; the HREE fractionation is not pronounced, with $(Gd/Yb)_N = 1.41 \sim 3.35$, and the patterns are flat. The negative Eu anomaly is pronounced with $\delta Eu = 0.59 \sim 0.71$, and there is a weak negative Ce anomaly with $\delta Ce = 0.97 \sim 0.98$. The REE distribution patterns and characteristic values of inclusions in vein quartz, which represent the characteristics of ore-forming fluids, are quite different from those of mantle-derived basic-ultrabasic rocks of regionally different ages but similar to those of country rocks, ores and arsenian pyrite and its inclusions, showing the characteristics of ordinary sedimentary rocks of the upper crust. This indicates that the ore-forming fluids were mainly derived from the crust rather than from the mantle. The negative Eu anomaly suggests a sub-acid (CO_2 -rich), reducing ore-forming environment. The weak Ce negative anomaly indicates that hydrothermal ore fluids may have stemmed from basin fluids dominated by sedimentary water and thermodehydration water.

Key words Arsenian pyrites, Quartz veins, Fluid inclusions, REE, Jinfeng (Lannigou) gold deposit, Guizhou, China

摘要 贵州锦丰(烂泥沟)金矿是滇黔桂“金三角”目前已探明的最大的卡林型金矿床。含砷黄铁矿是该矿床最主要的载金矿物,脉石英是最显著的热液蚀变作用产物。含砷黄铁矿、脉石英及其包裹体具有相同的稀土元素特征,表现为轻重稀土分馏明显($LREE/HREE:7.95 \sim 31.77$, $(La/Yb)_N:8.97 \sim 40.49$);轻稀土有一定的分异($(La/Sm)_N:3.20 \sim 5.29$),曲线右倾程度大;重稀土分异不明显($(Gd/Yb)_N:1.41 \sim 3.35$),曲线平坦;负铕异常明显($\delta Eu 0.59 \sim 0.71$);微弱的铈负异常($\delta Ce 0.97 \sim 0.98$)。代表成矿流体特征的脉石英包裹体稀土配分型式及特征值与区域上不同时代的幔源碱性-超碱性岩差别较大,而与

* 国家自然科学基金重点基金(40434011),中国地质调查局项目“我国主要金属矿床模型研究”(编号:1212010634001),以及 Sino Gold Mining Limited (Australia) 科研项目资助。

第一作者简介:陈懋弘,男,1971年生,博士,矿床学及构造地质学专业, E-mail: mhchen666@163.com

矿床围岩、矿石、含砷黄铁矿及其包裹体稀土配分型式及特征值十分相似,具上部地壳普通沉积岩的特点,反映成矿流体主要不是来源于地幔,而是以壳源为主。Eu 负异常反映了偏酸性(富 CO₂)、还原性的成矿环境;微弱的 Ce 负异常表明成矿流体来源于以沉积水和热脱水为主的盆地流体。

关键词 含砷黄铁矿; 脉石英; 包裹体; 稀土元素; 锦丰(烂泥沟)金矿; 中国贵州

中图法分类号 P618.51

热液成因矿物及其包裹体是研究热液矿床成矿流体最直接的天然样品,二者所记录的稀土配分模式是该矿物沉淀时流体稀土特征的瞬时反映(丁振举等,2003)。因此,从理论上讲,其稀土元素特征可以很好地对成矿物质和成矿流体来源进行示踪。随着超净实验室的建立,以及试验测试手段的改进,使得对矿物包裹体中超低微含量稀土元素的分析成为可能(Ghazi *et al.*, 1993; 朱和平等, 2003; 苏文超等, 1998),因此,近年来有不少的研究者对石英流体包裹体中的超低微含量稀土元素进行分析和讨论,并取得了一定的成果(范建国等,2000; 李厚民等,2003)。

研究表明稀土元素一般不易溶解,在热液蚀变过程中保持相对的不活泼性。因此蚀变轻微的岩石 REE 型式可以保留未蚀变的原岩稀土元素特征(Humphries, 1984),但蚀变强烈的岩石则更可能接近蚀变流体的稀土元素特征。基于这一思维,本文采用高精度电感耦合等离子质谱(ICP-MS)分析了贵州锦丰(烂泥沟)金矿主要载金矿物含砷黄铁矿和脉石英及其包裹体的稀土元素,结合前人对区域岩浆岩、围岩和矿石的测试结果,试图对该矿床的成矿流体来源和性质作较为详细地讨论。

1 矿床地质特征

锦丰(烂泥沟)金矿床位于右江盆地西北部,出现在由北北东向的赖子山背斜、北西向板昌逆冲断层和册亨东西向构造带组成的小三角形构造变形区北部顶点。

矿区出露地层主要为中三叠统许满组、尼罗组和边阳组,主体岩性为深水盆地相含钙陆源碎屑沉积岩(图1)。

矿区范围无岩浆岩活动,仅在矿区北北东直距 27km 远的贞丰县白层有燕山期偏碱性超基性岩小岩体出露。

矿体主要赋存于北西向断层 F3(占储量的 81%)及其与北东向断层 F2 的交叉部位,矿体形态受断层控制。赋矿岩石为许满组至边阳组的含钙质细砂岩和泥岩。

矿化、蚀变类型主要为硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、汞矿化、碳酸盐化、粘土化等,其中普遍见到的是硅化和黄铁矿化。热液蚀变可归纳为四期,第一期包括去钙化、白云岩化以及弱硅化,包括方解石基质的溶解、铁白云石蚀变成白云石并释放出铁质,稍后形成他形细粒石英,玉髓,以及少量他形粒状、自形黄铁矿;第二期为主成矿期,硅化作用强烈,形成不规则的他形微—细粒状石英,沿原岩的胶结物和杂基进行普遍交代,构成似花岗变晶结构。硅化过程中伴随有基质的伊利石化。硫化作用强烈,大量具五角十二面体

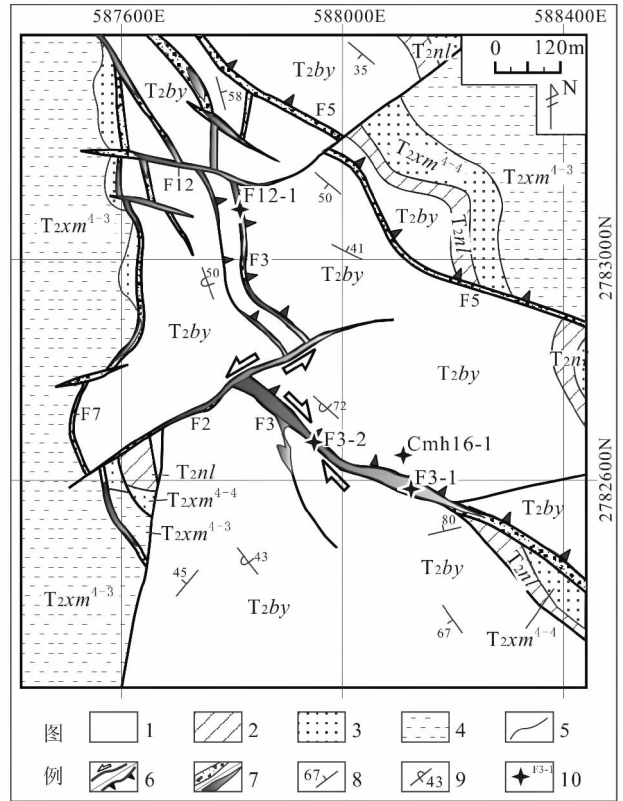


图1 矿床简要地质及采样位置图

1-中三叠统边阳组砂岩夹泥岩; 2-中三叠统尼罗组泥岩夹瘤状灰岩; 3-中三叠统许满组第四段第四层砂岩; 4-中三叠统许满组第四段第三层泥岩; 5-地质界线; 6-走滑断层/逆冲断层; 7-破碎带/矿体; 8-正常岩层产状; 9-倒转岩层产状; 10-采样位置

Fig. 1 Schematic geological map of Jinfeng (Lannigou) gold deposit in Guizhou showing the sampling location

1-Sandstone and mudstone of Bianyang Formation; 2-Mudstone with nodular limestone marker of Niluo Formation; 3-Sandstone of Xuman Formation; 4-Mudstone with minor sandstone of Xuman Formation; 5-Geological boundary; 6-Slip/thrust fault; 7-Fracture zone/orebody; 8-Normal bedding; 9-Overtured bedding; 10-Sampling location

晶形的自形粒状、半自形、他形粒状、浑圆状含砷黄铁矿和毛发状、针状毒砂呈浸染状分布于蚀变岩石中。上述两期热液蚀变作用以渗透交代面型蚀变为特征。第三期硅化作用形成的石英表面洁净、颗粒较粗大、半自形—他形粒状,呈较规则脉状穿插围岩。伴随有方解石、雌黄、雄黄、辉锑矿和辰砂的充填。该期热液蚀变不含矿,但可能促使载金黄铁矿的再分配,使黄铁矿沿裂隙面二次富集,形成富矿体。第四期为

表 1 样品采样位置及其特征一览表

Table 1 Characteristics and positions of samples

样品编号	标高 (m)	采样位置	(岩)矿 石构造	矿石品位 Au ($\times 10^{-6}$)	含砷黄铁矿品位		脉石英品位 Au ($\times 10^{-6}$)	备注
					Au ($\times 10^{-6}$)	As ($\times 10^{-6}$)		
F3-1	725	F3-磺厂沟矿段 露天采场		9.96	57.5	22600	0.056	
F3-2	635	F3-磺厂沟矿段 公路开挖露头	浸染状 网脉状	13.30	339	19400	0.09	石英脉为第 三~四期热 液充填物
F12-1	710	F12-冗半矿段 公路开挖露头		3.90	31.4	22000	0.052	
Cmh16-1	730	F3 上盘-磺厂沟 矿段露天采场	条带状	0.17	0.052	14100	—	黄铁矿为 沉积成因

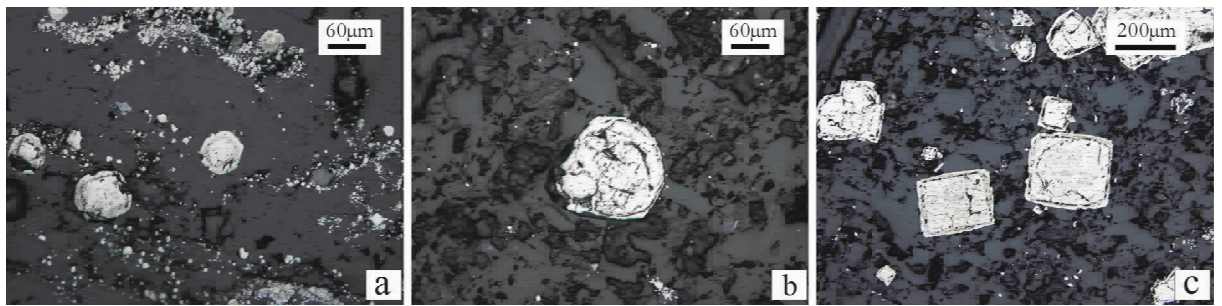


图 2 样品中的含砷黄铁矿显微构造特征(反射光)

a-F3-1; b-F3-2; c-F12-1

Fig. 2 Microstructure of arsenian pyrite in samples (Reflected plane polarised light)

呈脉状充填的石英脉和方解石脉,以及充填于脉中的高岭石、绢云母。不含矿,切穿硅化岩石和第三期石英脉。

矿石构造主要为浸染状构造,表现为矿石中黄铁矿、毒砂呈星点状、浸染状分布。另外尚有脉状、网脉状、条带状构造,表现为石英、方解石、黄铁矿、毒砂等沿节理或裂隙分布。

金主要呈显微-次显微状赋存于细粒含砷黄铁矿和粗粒黄铁矿富砷环带中(吴秀群,1992)。

Zhang Xinchun(1997)曾将本矿床石英原生流体包裹体划分为液-气两相、含 CO_2 两相或三相、 CO_2 单相等 3 类,均一温度 $200^\circ\text{C} \sim 275^\circ\text{C}$ 左右。

2 样品的采集和样品特征

样品分别采自磺厂沟矿段和冗半矿段的露天采场中(图 1,表 1),均为新鲜原生矿石,深灰色,硅化强烈,具浸染状和网脉状构造。同时在 F3 上盘 20m 处采集了条带状共生黄铁矿作为对比。

野外采集每件矿石样品重约 10kg,送河北省区域地质调查研究院实验室进行单矿物的挑选。挑选时将原样破碎到 40 目,淘洗出重矿物,然后用强磁铁和电磁仪去除强磁和电

磁矿物,再用高频介电仪分选出含砷黄铁矿,最后在双目镜下人工挑纯。脉石英样品则破碎后直接在镜下挑选。挑选获得纯度大于 99% 的单矿物,重 3 ~ 5g。

样品的镜下研究表明,矿石中的含砷黄铁矿主要呈浸染状分布。F3-1, F3-2 中的含砷黄铁矿以五角十二面体和球状为主,内核小,环带多而宽(图 2a, b)。由于 Au 主要分布在黄铁矿的含砷环带中,故这两个样品 Au 含量较高,可达 339×10^{-6} 。F12-1 中的黄铁矿以第一期热液成因立方体为主,核大,环带少而窄(图 2c),故其金品位较低,仅 31.4×10^{-6} 。

上述样品中石英脉均为热液蚀变阶段第三~四期的石英-方解石脉,网脉状,同一脉中两矿物共生。其中 F3-1 以第三期石英脉为主(99%), F3-2、F12-1 也以第三期石英脉为主,但第四期石英方解石脉发育,可达 20% ~ 40%。所有脉石英含金量极低,小于 0.1×10^{-6} (表 1)。

3 分析方法和测试结果

3.1 分析方法

脉石英、含砷黄铁矿流体包裹体分析由中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室朱和平完成,

测试分析流程详见有关文献(朱和平等,2003;苏文超等,1998)。使用仪器为 Finnigan MAT 公司生产的 ELEMENT 等 离子质谱仪。主要实验参数为: RF 功率 1250w; 采样锥 1.1mm, Ni; 分辨率 300; 截取锥 0.8mm, Ni; 样品气流量 1.04 L/min; 分析室真空 6×10^{-6} Pa; 辅助气流量 0.96L/min; 去溶温度 160℃; 冷却气流量 14.0L/min。

简要分析流程为: 将清洗干净的样品于 150℃ 下烘干去 除次生包裹体, 然后放入石英管中, 500℃ 爆裂 15 分钟, 冷却 后加 3ml 1ppb Rh 的 5% HNO₃ 溶液, 超声震荡 10 分钟, 离心, 等 离子质谱测定。试剂采用压沸蒸馏的硝酸, 18 MΩ 的水。

单矿物的分析由国家地质实验测试中心完成, 检测方法 依据为 DZ/T 0223-2001。

3.2 测试结果

各样品稀土元素的分析结果见表 2, REE 分配模式采 用 Boynton(1984)(杨学明等, 2000) 球粒陨石标准化后成图

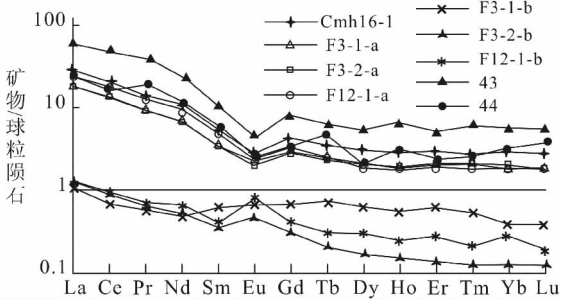
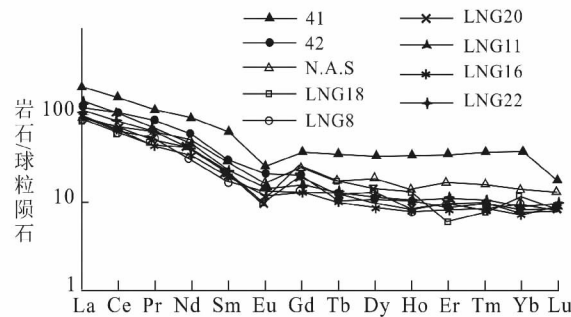


图 3 含砷黄铁矿和石英的稀土元素球粒陨石标准化模 式图

Cmh16-1-同生沉积黄铁矿; F3-1-a, F3-2-a, F12-1-a-热液含砷黄 铁矿; F3-1-b, F3-2-b, F12-1-b-石英脉; 43, 44-滇东某金矿热液 黄铁矿、毒砂(刘显凡等, 1996)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE models of arsenian pyrites and quartzes



(图 3, 4)。为便于对比, 尚收集了前人对本矿床及滇黔桂 “金三角” 部分典型卡林型金矿床的矿石、围岩, 以及区域基 性-超基性岩的原始数据。对收集的原始数据进行分类并取 平均值(表 3), 随后根据 Boynton(1984) 球粒陨石值对平均 后的数据进行了标准化, 其 REE 分配模式见图 5, 6, 7。

3.2.1 单矿物稀土元素特征

含砷黄铁矿的稀土总量为 $25.36 \times 10^{-6} \sim 32.84 \times 10^{-6}$; LREE/HREE 8.46 ~ 11.21, (La/Yb)_N 8.97 ~ 12.39, (Gd/Yb)_N 1.41 ~ 1.78, (La/Sm)_N 4.82 ~ 5.29, 总体上轻 稀土富集, 配分曲线右倾; 轻稀土有明显的分馏, 而重稀土 的分馏不明显。δEu 0.59 ~ 0.71, 负偏异常明显; δCe 0.97 ~

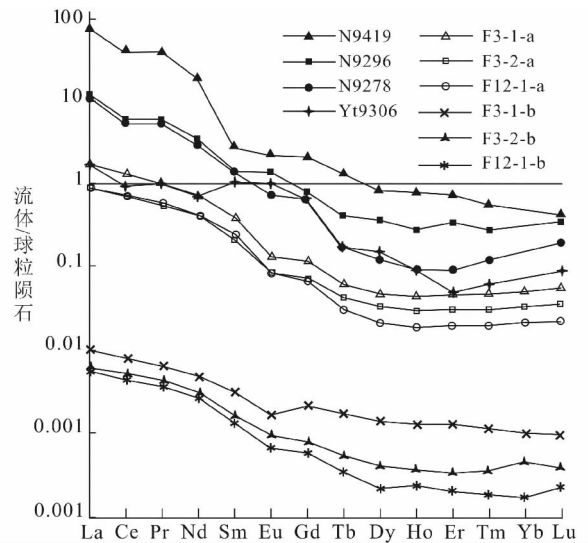


图 4 流体包裹体稀土元素球粒陨石标准化模式图

N9419, N9296, N9278, YT9306-石英流体包裹体(苏文超等, 1998); 其余同图 3

Fig. 4 Chondrite-normalized REE models of fluid inclusion in arsenian pyrites and quartzes

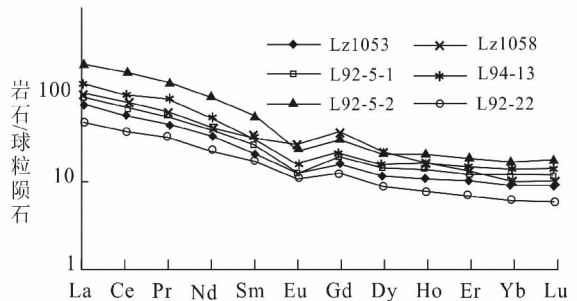


图 5 贵州锦丰(烂泥沟)金矿矿石和围岩的稀土元素球粒陨石标准化模式图

左图: 41, 42-滇东某金矿粉砂质围岩(41)、矿石(42)(刘显凡等, 1996)(经 A. Д. Виноградов(1996)球粒陨石值标准化); 其余为贵州锦丰 (烂泥沟) 金矿矿石和围岩, 转引自李忠等(1995), 其中 N. A. S-北美页岩组合样, LNG20, 22-矿石, LNG8, 11, 16, 18-顶底板粉砂岩、泥岩。 均无原始数据。右图: 贵州锦丰(烂泥沟)金矿矿石和围岩(Zhang XC, 1997)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE models of ores and wall rocks in Jinfeigou (Lannigou) deposit

表2 贵州锦丰(烂泥沟)金矿热液黄铁矿和石英及其流体包裹体中的稀土元素含量

Table 2 The REE contents of quartzes and arsenian pyrites and their fluid inclusions in Jimfeng (Lannigou) gold deposit of Guizhou

	包裹体分析结果(10^{-6}): a: 黄铁矿; -b: 石英										单矿物分析结果(10^{-6}): -a: 黄铁矿; -b: 石英																			
	F3-1-b	F3-2-b	F12-1-b	F3-1-a	F3-2-a	F12-1-a	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	LREE	HREE	LREE/HREE	δ Eu	$(La/Yb)_N$	$(Gd/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	δ Ce	
La	0.003182	0.001789	0.001890	0.506982	0.269132	0.272670	0.34	0.39	0.4	5.68	5.72	7.35	8.94																	
Ce	0.006494	0.003624	0.004227	1.039838	0.548547	0.561867	0.56	0.72	0.76	11	10.9	14.3	16.7																	
Pr	0.000802	0.000457	0.000545	0.122800	0.066018	0.070366	0.066	0.08	0.087	1.17	1.12	1.55	1.76																	
Nd	0.002879	0.001624	0.001949	0.430094	0.242910	0.243245	0.3	0.31	0.4	4.18	4.11	5.81	6.59																	
Sm	0.000627	0.000268	0.000334	0.074869	0.041855	0.047742	0.12	0.066	0.084	0.69	0.68	0.96	1.07																	
Eu	0.000123	0.000051	0.000074	0.009766	0.006155	0.006140	0.054	0.035	0.058	0.17	0.15	0.18	0.21																	
Gd	0.000574	0.000155	0.000215	0.030473	0.018390	0.017860	0.18	0.077	0.11	0.78	0.75	0.88	1.15																	
Tb	0.000083	0.000017	0.000027	0.003006	0.002029	0.001458	0.035	0.01	0.015	0.12	0.11	0.12	0.17																	
Dy	0.000470	0.000073	0.000140	0.015558	0.010782	0.007055	0.21	0.054	0.099	0.68	0.67	0.63	1.01																	
Ho	0.000093	0.000018	0.000028	0.003208	0.002107	0.001358	0.039	0.011	0.018	0.14	0.14	0.13	0.21																	
Er	0.000274	0.000045	0.000076	0.009803	0.006518	0.004187	0.13	0.03	0.055	0.43	0.45	0.41	0.64																	
Tm	0.000037	0.000006	0.000012	0.001547	0.001007	0.000644	0.017	0.004	0.007	0.07	0.07	0.06	0.09																	
Yb	0.000210	0.000037	0.000102	0.010640	0.007021	0.004540	0.081	0.028	0.06	0.38	0.43	0.4	0.63																	
Lu	0.000031	0.000008	0.000013	0.001791	0.001154	0.000739	0.012	0.004	0.006	0.06	0.06	0.06	0.09																	
Σ REE	0.015880	0.008171	0.009633	2.260375	1.223625	1.239870	2.14	1.82	2.16	25.55	25.36	32.84	39.26																	
LREE	0.014107	0.007812	0.009021	2.184349	1.174617	1.202030	1.44	1.60	1.79	22.89	22.68	30.15	35.27																	
HREE	0.001774	0.000358	0.000612	0.076026	0.049007	0.037840	0.70	0.22	0.37	2.66	2.68	2.69	3.99																	
LREE/HREE	7.95	21.79	14.74	28.73	23.97	31.77	2.05	7.34	4.84	8.61	8.46	11.21	8.84																	
δ Eu	0.62	0.70	0.79	0.53	0.59	0.53	1.12	1.50	1.84	0.71	0.64	0.59	0.58																	
$(La/Yb)_N$	10.23	32.36	12.54	32.12	25.84	40.49	2.83	9.39	4.49	10.08	8.97	12.39	9.57																	
$(Gd/Yb)_N$	2.21	3.35	1.71	2.31	2.11	3.17	1.79	2.22	1.48	1.66	1.41	1.78	1.47																	
$(La/Sm)_N$	3.20	4.21	3.56	4.26	4.04	3.59	1.78	3.72	3.00	5.18	5.29	4.82	5.26																	
δ Ce	0.95	0.94	0.99	0.97	0.96	0.95	0.85	0.93	0.94	0.98	0.98	0.97	0.96																	

注: δ Eu = $2Eu_N / (Sm_N + Gd_N)$, δ Ce = $2Ce_N / (La_N + Pr_N)$

表3 滇黔桂“金三角”典型金矿床及区域岩浆岩稀土元素含量

Table 3 The REE contents of ores and wall rocks in main Carlin type gold deposit and ultrabasites of Dian-Qian-Gui "Golden Triangle"

矿床	贵州册亨丰水银洞金矿										广西田林高龙金矿					贵州册亨丫他金矿					区域基性-超基性岩	
	矿体顶底 板泥岩, 粉砂岩	P ₃ l 围岩 生物屑 灰岩	P ₂ m 生物 屑灰岩	金矿石-硅 化生物屑 泥质砂 质灰岩	金矿石-强 硅化 生物灰岩	细碎屑岩	灰岩	金矿石	砂岩, 粉砂岩	金矿石	早三叠世 玄武岩	峨眉山 玄武岩	早石炭世 玄武岩	晚泥盆世 玄武岩	桂西八渡 辉绿岩	B-2						
岩性	syd-1	syd-2	syd-3	syd-4	syd-5	gl-1	gl-2	gl-3	yt-1	yt-2	Tl	P3	P26	Cl	D3	B-2						
La	57.66	32.45	3.42	43.06	2.7	26.23	6.02	28.78	30.1	12.57	6.19	39.05	77.10	30.76	29.52	22.99						
Ce	111.92	63.89	3.36	77.15	3.63	54.47	4.66	52.57	54.43	21.32	15.60	86.25	142.20	69.04	65.75	92.98						
Pr	14.62	8.35	0.5	10.53	0.59	6.26	1	6.25	5.45	1.92	1.92	9.47	19.40	8.23	7.89	3.80						
Nd	57.06	33.09	1.87	43.28	2.64	24.71	4.24	26.58	28.68	9.19	11.04	44.54	79.50	39.25	38.58	19.00						
Sm	10.69	6.24	0.32	7.71	0.64	4.81	1.06	4.83	5.54	1.87	3.48	9.61	14.03	8.48	8.00	5.29						
Eu	2.86	1.69	0.08	2.02	0.28	1.16	0.19	0.91	1.06	0.48	1.17	2.68	3.41	3.07	3.57	2.10						
Gd	9.79	5.84	0.38	7.3	0.92	4.4	1.03	3.94	5.77	2.31	4.30	8.93	10.09	7.72	7.43	6.36						
Tb	1.45	0.85	0.05	0.96	0.13	0.71	0.17	0.6	0.93	0.38	0.78	1.27	1.75	1.17	1.08	1.08						
Dy	7.37	3.81	0.3	4.9	0.78	3.98	1.06	3.64	5.79	2.33	5.42	6.58	8.65	5.85	5.69	5.93						
Ho	1.5	0.8	0.08	0.95	0.14	0.84	0.17	0.75	1.16	0.47	1.12	1.13	1.44	1.16	1.05	1.25						
Er	3.86	1.89	0.21	2.56	0.37	2.38	0.45	2.17	3.09	1.24	3.33	2.49	3.76	2.63	2.61	3.42						
Tm	0.57	0.28	0.03	0.35	0.05	0.39	0.07	0.35	0.43	0.18	0.51	0.21	0.55	0.33	0.31	0.52						
Yb	3.28	1.51	0.15	2.04	0.28	2.48	0.22	2.18	2.51	1.01	3.33	1.49	3.38	2.09	2.08	3.70						
Lu	0.5	0.23	0.03	0.28	0.04	0.4	0.03	0.32	0.37	0.15	0.49	0.22	0.53	0.33	0.42	0.59						
ΣREE	283.15	160.93	10.73	203.11	13.19	133.22	20.37	133.88	145.28	55.38	58.68	213.89	365.79	180.08	173.98	169.03						
LREE	254.82	145.72	9.52	183.77	10.48	117.65	17.18	119.93	125.25	47.34	39.40	191.58	335.64	158.82	153.31	146.17						
HREE	28.34	15.21	1.21	19.34	2.71	15.57	3.19	13.95	20.03	8.05	19.28	22.31	30.15	21.26	20.67	22.86						
LREE/HREE	8.99	9.58	7.9	9.5	3.87	7.55	5.38	8.6	6.25	5.88	2.04	8.59	11.13	7.47	7.42	6.39						
δEu	0.84	0.84	0.67	0.81	1.1	0.76	0.55	0.62	0.57	0.71	0.93	0.87	0.84	1.14	1.39	1.10						
(La/Yb) _N	11.86	14.52	15.88	14.25	6.49	7.14	18.82	8.89	8.1	8.43	1.25	17.67	15.38	9.95	9.57	4.19						
(Gd/Yb) _N	2.41	3.13	2.09	2.89	2.64	1.43	3.85	1.46	1.86	1.85	1.04	4.84	2.41	2.99	2.88	1.39						
(La/Sm) _N	3.39	3.27	6.82	3.51	2.64	3.43	3.58	3.74	3.42	4.23	1.12	2.56	3.46	2.28	2.32	2.73						
δCe	1.15	1.16	0.66	1.07	0.75	1.23	0.46	1.11	1.07	1.05	1.08	1.05	0.86	1.03	1.02	2.27						

原始数据来源: syd-水银洞金矿(刘建中, 2005), gl-高龙金矿(胡明安, 2003); yt-丫他金矿(朱赖民, 1996); P2-成杭新(1993); P26-成杭新(2003) 26个样品平均; B-2 国家辉(1992); Tl, Cl, D3-刘文均(1993)。为简化起见, 对原始数据进行了分类并取平均值, 然后根据 Boynton(1984) 球粒陨石值对平均值后的数据进行了标准化。

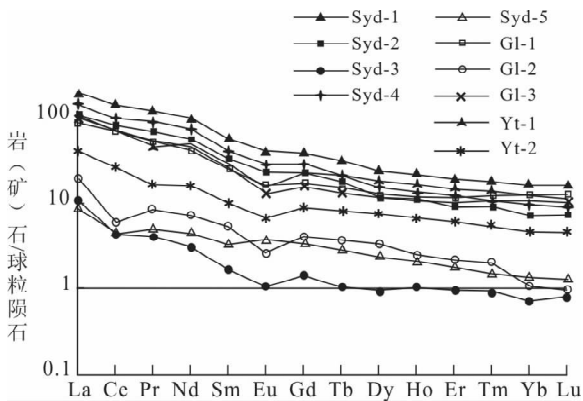


图6 滇黔桂“金三角”主要卡林型金矿的围岩和矿石稀土元素球粒陨石标准化模式图(原始数据来源详见表3)
Fig.6 Chondrite-normalized REE models of ores and wall rocks in main Carlin type gold deposit of Dian-Qian-Gui “Golden Triangle”

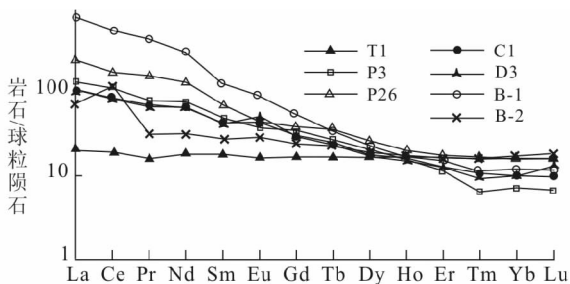


图7 区域基性-超基性岩的稀土元素球粒陨石标准化模式图
(原始数据来源详见表3,其中B-1为贞丰偏碱性超基性岩,无原始数据,据苏文超等,2001)
Fig.7 Chondrite-normalized REE models of regional basite and ultrabasics

0.98,即弱的铈异常(表2,图3)。与滇东某金矿床热液黄铁矿、毒砂的配分型式十分类似,但稀土总量稍低(刘显凡等,1996)。

沉积成因黄铁矿的稀土总量为 39.26×10^{-6} ,高于热液含砷黄铁矿; $LREE/HREE$ 8.84, $(La/Yb)_N$ 9.57, $(Gd/Yb)_N$ 1.47, $(La/Sm)_N$ 5.26,与热液成因含砷黄铁矿基本类似。总体上轻稀土富集,配分曲线右倾; δEu 0.58,负铈异常明显; δCe 0.996,无明显铈异常(表2,图3)。可见,除稀土总量稍高外,在其他特征上两种不同成因黄铁矿区别不大。

脉石英的分析结果不够理想,重稀土部分大多数接近检出限,其结果仅作为参考。稀土总量为 $1.82 \times 10^{-6} \sim 2.16 \times 10^{-6}$; $LREE/HREE$ 2.05 ~ 7.34, $(La/Yb)_N$ 2.83 ~ 9.39, $(Gd/Yb)_N$ 1.79 ~ 2.22, $(La/Sm)_N$ 1.78 ~ 3.72。 δEu 1.12 ~ 1.84,正铈异常明显; δCe 0.85 ~ 0.94,即弱的铈异常(表2,

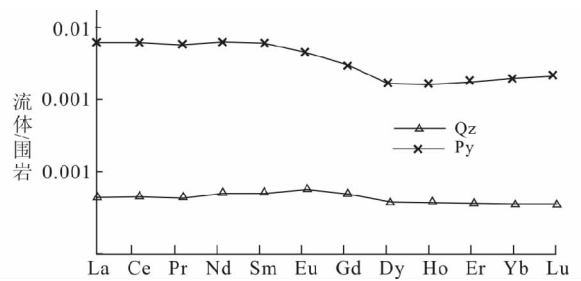


图8 流体包裹体以围岩稀土元素含量平均值标准化的REE分布型式图(Qz-石英包裹体,Py-含砷黄铁矿包裹体)
Fig.8 Average wall rock-normalized REE patterns of fluid inclusions

图3)。与含砷黄铁矿相比,稀土总量明显降低,轻重稀土分馏不明显,特别是F3-1-b表现为近水平线;其次是钬表现为正异常。

3.2.2 流体包裹体稀土元素特征

含砷黄铁矿包裹体的稀土总量为 $1.22 \sim 2.26 \times 10^{-6}$; $LREE/HREE$ 23.97 ~ 31.77, $(La/Yb)_N$ 25.84 ~ 40.49, $(Gd/Yb)_N$ 2.11 ~ 3.17, $(La/Sm)_N$ 3.59 ~ 4.26,轻稀土强富集,配分曲线向右陡倾; δEu 0.53 ~ 0.59,负铈异常明显; δCe 0.95 ~ 0.97,即弱的铈异常(表2,图4)。含砷黄铁矿包裹体与其单矿物的稀土配分曲线型式一致,仅包裹体稀土总量降低,轻重稀土分馏更为明显, $LREE/HREE$ 和 $(La/Yb)_N$ 升高,曲线右倾更陡,但铈、铈异常一致。

脉石英包裹体的稀土总量为 $0.00817 \sim 0.0159 \times 10^{-6}$; $LREE/HREE$ 7.95 ~ 21.79, $(La/Yb)_N$ 10.23 ~ 32.36, $(Gd/Yb)_N$ 1.71 ~ 3.35, $(La/Sm)_N$ 3.20 ~ 4.21,轻稀土富集,配分曲线右倾; δEu 0.62 ~ 0.79,负铈异常明显; δCe 0.94 ~ 0.99,无明显铈异常(表2,图4)。

脉石英包裹体的稀土总量比含砷黄铁矿包裹体低100倍以上, $LREE/HREE$ 、 $(La/Yb)_N$ 略有降低,配分曲线右倾程度降低。此外,与苏文超等(1998)获得的石英流体包裹体分析结果相比较,配分曲线基本类似,不同之处是本次获得的结果轻重稀土分馏程度降低,铈异常清楚(图4)。此外,由于本文REE含量计算是相对于矿物的含量,而苏文超等(1998)则是相对于流体包裹体中的 H_2O 含量,因此,图4中稀土含量的高低没有可比性,仅对二者的稀土配分样式进行比较。

总体上,除稀土总量有区别外,脉石英包裹体、含砷黄铁矿及其包裹体的稀土配分曲线相似,表现为轻重稀土分馏明显;轻稀土分异明显,曲线右倾程度大;重稀土分异不明显,曲线平坦。负铈异常明显,无明显铈异常。脉石英单矿物曲线形态虽然明显不同,但考虑到重稀土部分大多数接近检出限,故其结果仅作为参考,不参与以下的讨论(注:石英单矿物与其包裹体的铈异常经常相反(范建国等,2000),其原因有待讨论)。

4 讨论

4.1 热液矿物性质及其稀土元素赋存状态

正确认识热液矿物的性质,了解矿物中稀土元素的赋存状态,是运用矿物及其包裹体稀土元素特征解释地质问题的基本前提。

本文分析的脉石英均采自热液蚀变阶段第三或第四期的石英-方解石脉,因此,脉石英是成矿流体后期直接沉淀而形成的产物,其所记录的稀土配分模式是该矿物沉淀时与之平衡的流体稀土特征的反映,能较好地示踪成矿流体的来源和性质。

至于石英矿物中稀土元素的赋存状态,许多学者研究后认为稀土元素主要赋存在石英的流体包裹体中(苏文超等,1998;范建国等,2000;Norman and Landis,1983)。同时前人研究表明,本矿床中石英包裹体以气相和液相为主(Zhang Xingchun,1997),不存在富微量元素的矿物包裹体,因此可以推断石英的稀土元素主要赋存于流体包裹体中。

因此,热液脉状石英的稀土元素主要赋存于流体包裹体中,脉石英单矿物及其包裹体的稀土元素均反映了矿物结晶时与其平衡的成矿流体稀土元素特征。

含砷黄铁矿是矿床主要载金矿物,金含量占矿石金总量的67.70%(吴秀群,1992)。矿物学研究表明存在两种类型的含金砷黄铁矿,一种是粗粒环带状含金砷黄铁矿,以含砷环带和不含砷的内核为主要特征,金主要分布在含砷环带中,一般解释为热液叠加的产物;另一种是细粒含金砷黄铁矿,为热液成因。虽然环带状含砷黄铁矿内核为同生或第一期热液成因黄铁矿,但一些学者认为,沉积成因黄铁矿为凝胶体重结晶而成,很难形成流体包裹体。故含砷黄铁矿包裹体主要是热液成因包裹体,反映的是成矿流体的信息(国家辉等,1992)。

至于黄铁矿中稀土元素的分布,则存在一定的分歧。一些学者认为 REE^{3+} 很难类质同象代替黄铁矿晶格中的 Fe^{2+} ,它们在黄铁矿中最可能的位置是存在于流体包裹体或晶体缺陷中(毕献武等,2004;毛光周等,2006)。但另外一些学者认为,黄铁矿中稀土元素还可以以类质同象的方式替代黄铁矿晶格中的铁元素(谢巧勤等,2005)。

可见,虽然含砷黄铁矿本身不是一种完全由热液流体直接结晶沉淀而形成的矿物,单矿物稀土元素组成可能并非完全反映了成矿流体的稀土元素组成,但其包裹体稀土元素有可能反映了成矿流体特征。无论如何,作为矿床中最主要的载金矿物,通过与石英矿物及矿石和围岩的对比,仍能提供关于热液蚀变过程中水-岩反应的有用信息。

4.2 成矿流体来源示踪

如前所述,热液脉状石英的稀土元素主要赋存于流体包裹体中,脉石英及其包裹体的稀土元素均反映了矿物结晶时

与其平衡的成矿流体稀土元素特征。含砷黄铁矿则比较复杂,有可能受沉积成因黄铁矿内核的影响。

本矿床赋矿围岩为盆地相砂泥岩,如果成矿流体主要来源于盆地本身的话(即盆地流体(刘建明等,2001)),那么不管含砷黄铁矿、蚀变矿石中代表成矿流体特征的比重有多大,脉石英、含砷黄铁矿、矿石及围岩的稀土特征应该是一致的,并与幔源性-超基性有明显区别。反之,如果成矿流体主要为地幔来源,那么,脉石英与幔源性-超基性的稀土元素特征应该基本一致,并与赋矿围岩有明显区别,而含砷黄铁矿和矿石由于蚀变作用,稀土元素特征应处于二者之间。

现将本文测试结果与矿床围岩、矿石,以及区域岩浆岩稀土元素特征比较如下:

(1) 围岩和矿石

李忠等(1995),Zhang Xinchun(1997)均对本矿床的矿石和围岩进行了系统的稀土元素测量。从图5可以看出,矿石和围岩的曲线型式十分相似,且曲线位置十分接近,没有分异,表明矿石与围岩的稀土总量接近,反映矿床总体上硅化程度不是特别高,热液蚀变不彻底,故没有出现稀土总量的表观亏损现象,这与许多矿石仍保留原岩结构构造的事实相吻合。

对比滇黔桂“金三角”其它典型卡林型金矿床可以发现,尽管这些矿床分属不同的赋矿层序和地层,以及不同的矿床型式(顺层型及断裂切层型),除少部分强硅化矿石和灰岩稀土总量低,具明显负铈异常(δCe 0.46 ~ 0.75)外,其余的矿石和围岩稀土特征十分接近(图6)。即稀土总量高,轻稀土分馏明显,曲线右倾程度大($(La/Yb)_N$ 8.10 ~ 14.52);重稀土分馏不明显,曲线平坦($(Gd/Yb)_N$ 1.46 ~ 3.13);铈异常清楚(δEu 0.55 ~ 0.84);无明显铈异常(δCe 1.05 ~ 1.15),与本矿床十分类似。

由此可见,脉石英、含砷黄铁矿单矿物及其包裹体不但本身稀土特征相似,而且与热液蚀变程度不同的矿石和围岩也基本相似。特别是受沉积成因内核影响的热液含砷黄铁矿和硅化矿石,具有与脉石英、同生黄铁矿和围岩一致的稀土特征,反映成矿流体与盆地流体几乎一致的性质,否则,含砷黄铁矿和硅化矿石必定与脉石英或围岩之一者有明显区别。

(2) 区域岩浆岩

区域基性-超基性岩从晚泥盆世到白垩纪均有发育,特别是二叠纪峨眉山玄武岩、海西-印支期辉绿岩及燕山期偏碱性超基性侵入岩前人研究较多。

峨眉山玄武岩与泥盆纪石炭纪玄武岩稀土型式类似, $LREE/HREE$ 7.42 ~ 11.13, $(La/Yb)_N$ 9.57 ~ 17.67, $(Gd/Yb)_N$ 2.41 ~ 4.84, $(La/Sm)_N$ 2.28 ~ 3.46,即轻重稀土分馏程度较本矿床围岩、矿石、矿物及其包裹体的为低,配分曲线缓右倾; δEu 0.84 ~ 1.39, δCe 0.86 ~ 1.05。以微弱的铈、铈正异常为特色(表3,图7)。

黔西南众多的金矿赋存在与玄武岩相关的火山岩中,如

盘县莲花山背斜一带的金矿、普安泥堡金矿等均赋存在峨眉山玄武岩($P_2\beta$)底部的凝灰岩中;而戈塘金矿、紫木函金矿、水银洞金矿则赋存在与此相当层位的上二叠统龙潭组(P_2l)中,容矿岩石也含有凝灰质。但刘建中等(2005)对比水银洞金矿和峨眉山玄武岩的 REE 之后,认为二者的标准化模式曲线无相似性,矿床围岩与矿石的 REE 组成及其配分模式主体反映了典型沉积岩的特征,表明玄武岩可能与成矿无关。

桂西八渡海西期辉绿岩曲线十分平缓, LREE/HREE 6.40, $(La/Yb)_N$ 4.19, $(Gd/Yb)_N$ 1.38, $(La/Sm)_N$ 2.73, 表明其轻重稀土分馏很不明显; δEu 1.10, δCe 2.27, 均表现为清楚的正异常,与本矿床围岩、矿石、矿物及其包裹体的特征差别极大。

早三叠世玄武岩稀土配分曲线平缓, LREE/HREE 2.04, $(La/Yb)_N$ 1.25, 铈、铈均无异常。这些特点明显不同于本次获得的流体包裹体特征。

离本矿床最近的侵入岩为贞丰县白层附近的偏碱性基性岩,其稀土配分曲线右陡倾,但重稀土也分馏明显,铈正异常。这些特征与本矿床围岩、矿石、矿物及其包裹体的特征有一定的差别。

由此可见,本矿床单矿物及其包裹体稀土特征与区域性-超基性岩差别较大,主要体现在以下两方面:除燕山期偏碱性超基性侵入岩外,基性岩的轻重稀土分馏程度降低, LREE/HREE 2.04 ~ 11.13, $(La/Yb)_N$ 1.25 ~ 17.67, 表现为曲线右倾程度降低,海西期辉绿岩和早三叠世玄武岩几乎近于水平。其次,负铈、负铈异常不明显,且大多为正异常。

综上所述,脉石英包裹体稀土配分型式及特征值与区域上不同时代的幔源基性-超基性岩差别较大,反映成矿流体主要不是来源于地幔。而与矿床围岩、矿石、含砷黄铁矿及其包裹体稀土配分型式及特征值十分相似,表现为轻稀土分馏明显,曲线右倾程度大;重稀土分馏不明显,曲线平坦。负铈异常明显,无明显铈异常。与大陆上地壳普通沉积岩的特征相同,反映成矿流体总体上以壳源为主。

4.3 成矿流体性质

4.3.1 稀土配分型式反映的成矿流体性质

虽然迄今为止的稀土元素分馏实验仍主要集中于高温高压下的岩浆体系,而有关热液体系中水溶液与矿物之间稀土元素的分馏行为尚不甚清楚。但一般认为,岩浆岩稀土配分模式一般与岩浆源区组成、部分熔融程度及结晶分异过程等有关,而矿石稀土配分模式则主要受溶液的稀土元素组成特征控制(丁振举等,2003)。

本文获得的脉石英、含砷黄铁矿及其包裹体具有一致的稀土模式,暗示他们近似地从同一成矿热液中沉淀出来,反映成矿流体具有轻稀土富集,明显的 Eu 负异常,微弱或不明显铈异常的特点。这种特点与北美页岩和欧洲页岩的球粒陨石标准化型式十分相似,反映成矿流体以壳源为主。

Zhang Xinchun(1997)曾详细研究了单矿物的稳定同位素特征。硫同位素($\delta^{34}S$: 10.8 ~ 12.6)表明硫来源于围岩中的沉积-成岩硫化物(同生黄铁矿为 11.9);方解石中的碳同位素($\delta^{13}C_{PDB}$: -1.96‰)表明热液流体中的碳质来源于围岩碎屑岩基质中碳酸盐的溶解;石英($\delta^{18}O_{SMOW}$: +25.2‰)和方解石($\delta^{18}O_{SMOW}$: +21.5‰)矿物中的氧同位素表明成矿热液来源于变质水和天水的混合水。可见,流体包裹体稀土元素示踪结果与稳定同位素研究结果比较吻合,均反映成矿流体来源于上地壳。

在脉石英、含砷黄铁矿包裹体相对于本矿床未蚀变黑色泥岩标准化型式图上(图8),可以看到轻稀土轻微富集,重稀土亏损。矿床流体包裹体中富集 CO_2 (Zhang Xinchun, 1997),可解释成矿流体相对于围岩轻稀土富集的现象(徐九华等,2003;苏文超等,1998)。

石英包裹体稀土配分型式(Eu 负异常)还表明,成矿流体主要的不是来源于海底热水系统。这是因为海底热水系统流体及其沉积物具显著的 Eu 正异常,强的 LREE 分异(Hass *et al.*, 1995; Mills *et al.*, 1995; Klinkhammer *et al.*, 1994; 丁振举等,2003)。

4.3.2 Eu 异常的形成和环境

由于矿体形成后没有明显的构造和流体改造的痕迹,因此推断 Eu 的负异常为脉石英沉淀时所继承的成矿热液稀土的特征。研究表明, Eu^{2+}/Eu^{3+} 比值与体系的氧逸度和温度呈正相关。也就是说, δEu 反映了体系的相对氧化还原程度及温度条件。当氧逸度降低或温度升高时, δEu 相对降低;相反, δEu 绝对值增大。本矿床含砷黄铁矿包裹体和脉石英包裹体 δEu 平均绝对值从 0.55 变为 0.70(表1)。即从主成矿阶段到成矿晚期,负铈异常减弱,轻重稀土分馏程度减弱,说明热液体系向氧化程度相对增加以及温度降低的方向演化。由于同生沉积黄铁矿形成温度远远低于热液成因石英脉的温度,这也从侧面反映出,尽管含砷黄铁矿不同程度的含有未完全交代的成岩期黄铁矿内核,但其主要的特点仍反映热液期高温还原的环境,而不是常温环境。

Zhang Xinchun(1997),刘显凡等(1999),李忠等(1995)等对该矿床的主成矿期成矿物理化学条件进行了详细的研究。均认为成矿流体具低盐度(3 ~ 6wt%),中低密度,富 CO_2 气体, $\delta^{18}O$ 富集,成矿溶液具有偏还原(Eh-0.66),弱酸性(pH6.2 ~ 6.7)的特点。

因此,成矿流体弱的 Eu 异常,反映了成矿流体具弱还原和弱酸性(富 CO_2)的特点;由主成矿期到成矿晚期,热液氧化程度增加,温度逐渐降低。

4.3.3 Ce 异常的形成和环境

Ce 异常的出现与 Ce^{3+} 氧化成 Ce^{4+} 有关。由于 Ce^{4+} 电荷数的增加和半径的减小,使之与相邻元素之间在地球化学行为上表现出一定差异,产生 Ce 与相邻元素之间的分离,因而常表现为 Ce 负异常或正异常。

矿物及其包裹体稀土配分型式反映成矿流体主要的以

壳源为主,但根据 Eu 的负异常说明成矿流体不是来源于海底热水系统流体。同时,海水和大气降水以明显的 Ce 负异常,重稀土富集为特点,与本文获得的微弱的负异常($\delta\text{Ce} = 0.82 \sim 0.98$),轻稀土富集的特点不同,表明成矿流体不是来源于纯粹的海水和大气降水。研究表明,盆地流体的主要来源是封存于沉积物颗粒间的孔隙水(海水)以及粘土类矿物在温度升高过程中发生相变而脱水形成的热脱水水(刘建明等,2001)。大量热脱水的加入和混合,可导致盆地流体的 Ce 负异常程度降低。因此,成矿流体有可能为以沉积水和热脱水水为主的盆地流体。

5 结论

(1)除稀土总量有区别外,脉石英包裹体、含锑黄铁矿及其包裹体的稀土元素配分曲线相似,表现为轻重稀土分馏明显;轻稀土分异明显,曲线右倾程度大;重稀土分异不明显,曲线平坦。负 Eu 异常明显,无明显 Ce 异常。

(2)单矿物及其包裹体稀土元素配分曲线与北美页岩和欧洲页岩的球粒陨石标准化型式十分相似,反映成矿流体以壳源为主。同时,脉石英包裹体稀土配分型式及特征值与区域上不同时代的幔源基性-超基性岩差别较大,而与矿床围岩、矿石、含锑黄铁矿及其包裹体稀土配分型式及特征值十分相似,反映成矿流体主要不是来源于地幔,而是以壳源为主。

(3)成矿流体 Eu 负异常反映了偏酸性(富 CO_2)、具还原性的成矿环境;微弱的 Ce 负异常表明成矿流体既不是来源于海底热水系统流体,也不是来源于纯粹的海水和大气降水,而有可能来源于以沉积水和热脱水水为主的盆地流体。

致谢 野外工作期间,得到了贵州锦丰矿业公司地质部方策、宋正刚、谢斌、冯敏及其它员工的大力支持,谨致谢忱。

References

Bi XW, Hu RZ, Peng JT and Wu KX. 2004. REE and HFSE geochemical characteristics of pyrites in Yao'an gold deposit; Tracing ore forming fluid signatures. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 23(1):1-4 (in Chinese with English abstract)

Chen DY. 1993. REE geochemical characteristics of some strata-bond Sb-Hg deposits in western Guizhou and eastern Yunnan. *Nonferrous Metal Mineral Resources and Exploration*, 2(4):202-210 (in Chinese with English abstract)

Cheng HX, Zhuang GM, Zhao CD, Zhang Q and YU JS. 2003. A preliminary study on REE geochemical trace for anomaly source of Pt and Pd in western Guizhou province. *Geology and Prospecting*, 39(2):46-51 (in Chinese with English abstract)

Ding ZJ, Yao SZ, Liu CQ, Zhou ZG and Yang MG. 2003. The characteristics of exhalation-sedimentary deposit of Donggouba polymetal deposit; Evidence from ore's REE composition. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4):792-798 (in Chinese with English abstract)

Fan JG, Ni P, Su WC, Qi L and Tian JH. 2000. Characteristics and significance of rare earth elements in quartz of Sidaogou hydrothermal

gold deposit, Liaoning. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4):587-590 (in Chinese with English abstract)

Ghazi AM, Vanko DA, Roedder E and Seeley RC. 1993. Determination of rare earth elements in fluid inclusions by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57:4513-4516

Guo JH, Huang DB, Shi LD, Pan YT, Kong XM, Huang HM, Li CY and Deng XM. 1992. Micro-disseminated gold deposit in westnorthern of Guangxi and its metallogenesis, exploration model. Beijing: Seismological Press, 25-150 (in Chinese)

Hass JR, Shock EL and Sassani DC. 1995. Rare earth elements in hydrothermal systems: Estimates of standard partial modal thermodynamic properties of aqueous complexes of the rare earth elements at high pressures and temperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59(21):4329-4350

Hu MA. 2003. Trace of rare earth elements for the metallogenic material source in the Gaolong Carlin gold deposit, Tianlin, Guangxi province. *Geological Science and Technology Information*, 22(3):45-48 (in Chinese with English abstract)

Humphries SE. 1984. The mobility of the rare earth elements in the crust. In: Henderson P (ed.), *Rare earth element geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 315-341

Klinkhammer GY, Elderfield, Edmond JM *et al.* 1994. Geochemical implications of rare earth element patterns in hydrothermal fluid from mid-ocean ridges. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58(23):5105-5113

Li HM, Shen YC, Mao JW, Liu TB and Zhu HP. 2003. REE features of quartz and pyrite and their fluid inclusions: An example of Jiaojia-type gold deposits, northwestern Jiaodong peninsula. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2):267-274 (in Chinese with English abstract)

Li Z and Liu TB. 1995. Ore-forming conditions of the Lannigou gold deposit in southwestern Guizhou: A petrological and geochemical study. *Mineral Deposits*, 14(1):51-58 (in Chinese with English abstract)

Liu JM, Ye J, Liu JJ and Gu XX. 2001. Relationship between sediments _hosted micro _disseminated gold deposits and basin evolution: Case study in Youjiang basin, South China. *Mineral Deposits*, 20(4):367-377 (in Chinese with English abstract)

Liu JZ and Liu CQ. 2005. REE geochemical characteristics of the Shuiyindong gold deposit, Zhenfeng, Guizhou. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 24(2):135-139 (in Chinese with English abstract)

Liu WJ, Zeng YF, Zhang JQ, Chen HD and Zheng RC. 1993. The geochemical characteristics of volcanic rocks and structural setting in Youjiang basin, Guangxi. *Geology of Guangxi*, 6(2):1-14 (in Chinese with English abstract)

Liu XF, Su WC and Zhu LM. 1999. An approach on mechanism of juvenile fluid mineralization for Carlin-type gold deposits in Yunnan-Guizhou-Guangxi. *Geology and Prospecting*, 35(1):14-19 (in Chinese with English abstract)

Mao GZ, Hua RM, Gao JF, Zhao KD, Long GM, Lu HJ and Yao JM. 2006. REE composition and trace element features of gold-bearing pyrite in Jinshan gold deposit, Jiangxi Province. *Mineral Deposits*, 25(4):412-426 (in Chinese with English abstract)

Mills R and Eldezzif H. 1995. Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits form the active TAG Mount, 260 N mid-Atlantic Ridge. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59(17):3511-3524

Norman DI and Landis GP. 1983. Source of mineralizing components in hydrothermal ore fluids as evidenced by $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ and stable isotope data from the Pasto Bueno deposit, Peru. *Economic Geology*, 78:451-465

Su WC, Qi L, Hu RZ and Zhang GP. 1998. Determination of the rare earth elements in fluid inclusions by ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 43(10):1094-1098 (in Chinese)

Su WC, Hu RZ, Qi L and Fang WX. 2001. Trace elements in fluid inclusions in the Carlin-type gold deposits, southwestern Guizhou. *Geochimica*, 30(6):512-516 (in Chinese with English abstract)

- Wu XQ. 1992. Study on the occurrence of gold and its specific technological property in Lannigou gold deposit. *Gold Journal*, 13 (6):11-16 (in Chinese)
- Xie QQ, Xu XC, Li XX, Chen TH and Lu SM. 2005. Rare earth element geochemical characteristics of Laowan gold deposit in Henan Province: Trace to source of ore-forming materials. *Journal of the Chinese rare Earth Society*, 23 (5): 636-640 (in Chinese with English abstract)
- Xu JH, Xie YL, Wang LJ, Zhu HP and Wang LQ. 2003. Trace elements in CO₂ fluid inclusions in mantle lherzallite. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2):307-313 (in Chinese with English abstract)
- Zhang XC. 1997. The Geology and hydrothermal evolution of sediment-hosted gold deposits in Southwestern Guizhou Province, PRC. (A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy of the University of London and for the Diploma of Imperial College of Science, Technology and Medicine)
- Zhu HP, Wang LJ and Liu JM. 2003. Determination of quadrupole mass spectrometer for gaseous composition of fluid inclusion from different mineralization stages. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2):314-318 (in Chinese with English abstract)
- Zhu LM and He MY. 1996. Geochemistry of fluid inclusions in minerals of the fine-disseminated gold deposits in southwestern Guizhou province. *Volcanology & Mineral Resources*, 17(1-2):65-76 (in Chinese with English abstract)
- 附中文参考文献**
- 毕献武, 胡瑞忠, 彭建堂, 吴开兴. 2004. 黄铁矿微量元素地球化学特征及其对成矿流体性质的指示. *矿物岩石地球化学通报*, 23(1): 1-4
- 陈代演. 1993. 滇东黔西若干层控锑汞矿床稀土元素地球化学特征. *有色金属矿产与勘查*, 2(4):202-210
- 成杭新, 庄广民, 赵传冬, 张勤, 俞劲松. 2003. 贵州西部 Pt、Pd 异常源稀土元素地球化学示踪的初步研究. *地质与勘探*, 39(2):46-51
- 丁振举, 姚书振, 刘丛强, 周宗桂, 杨明国. 2003. 东沟坝多金属矿床喷流沉积成矿特征的稀土元素地球化学示踪. *岩石学报*, 19(4):792-798
- 范建国, 倪培, 苏文超, 漆亮, 田京辉. 2000. 辽宁四道沟热液金矿床中石英的稀土元素的特征及意义. *岩石学报*, 16(4):587-590
- 国家辉, 黄德保, 施立达, 潘有泰, 孔祥民, 黄惠民, 李存有, 邓孝明. 1992. 桂西北超微粒型金矿及其成矿和找矿模式. 北京:地震出版社. 25-150
- 胡明安. 2003. 广西田林高龙卡林型金矿床成矿物质来源的稀土元素示踪. *地质科技情报*, 22(3):45-48
- 李厚民, 沈远超, 毛景文, 刘铁兵, 朱和平. 2003. 石英、黄铁矿及其包裹体的稀土元素特征-以胶东焦家金矿为例. *岩石学报*, 19(2): 267-274
- 李忠, 刘铁兵. 1995. 贵州烂泥沟金矿成矿条件-岩石地球化学研究. *矿床地质*, 14(1):51-58
- 刘建明, 叶杰, 刘家军, 顾雪祥. 2001. 论我国微细浸染型金矿床与沉积盆地演化的关系-以右江盆地为例. *矿床地质*, 20(4):367-377
- 刘建中, 刘川勤. 2005. 贵州省贞丰县水银洞金矿床稀土元素地球化学特征. *矿物岩石地球化学通报*, 24(2):135-139
- 刘文均, 曾允孚, 张锦泉, 陈洪德, 郑荣才. 1993. 右江盆地火山岩的地球化学特点及其构造环境. *广西地质*, 6(2):1-14
- 刘显凡, 金景福, 倪师军. 1996. 滇黔桂微细浸染型金矿深部物源的稀土元素证据. *成都理工学院学报*, 23(4):25-30
- 刘显凡, 苏文超, 朱赖民. 1999. 滇黔桂微细粒浸染型金矿深源流体成矿机理探讨. *地质与勘探*, 35(1):14-19
- 毛光周, 华仁民, 高剑峰, 赵葵东, 龙光明, 陆慧娟, 姚军明. 2006. 江西金山金矿床含金黄铁矿的稀土元素和微量元素特征. *矿床地质*, 25(4):412-426
- 苏文超, 漆亮, 胡瑞忠, 张国平. 1998. 流体包裹体中稀土元素的 ICP-MS 分析研究. *科学通报*, 43(10):1094-1098
- 苏文超, 胡瑞忠, 漆亮, 方维萱. 2001. 黔西南卡林型金矿床流体包裹体中微量元素研究. *地球化学*, 30(6):512-516
- 吴秀群. 1992. 烂泥沟金矿金赋存状态及工艺特性研究. *黄金*, 13(6):11-16
- 谢巧勤, 徐晓春, 李晓萱, 陈天虎, 陆三明. 2005. 河南老湾金矿床稀土元素地球化学对成矿物质来源的示踪. *中国稀土学报*, 23(5):636-640
- 徐九华, 谢玉玲, 王丽君, 朱和平, 王立权. 2003. 地幔矿物中 CO₂ 流体包裹体的微量元素特征. *岩石学报*, 19(2):307-313
- 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜译, Hugh R. Rollison 著. 2000. 岩石地球化学. 合肥:中国科学技术大学出版社, 83-112
- 朱和平, 王莉娟, 刘建明. 2003. 不同成矿阶段流体包裹体气相成分的四极质谱测定. *岩石学报*, 19(2):314-318
- 朱赖民, 何明友. 1996. 黔西南地区微细粒浸染型金矿床矿物流体包裹体地球化学. *火山地质与矿产*, 17(1-2):65-76