

应用稳定同位素判别治岭头 金银矿床的成矿流体性质和来源

徐步台

夏安宁

郑淑蕙 陈成业

(浙江省地质科学研究所)

(浙江省地质测试中心)

(北京大学地质系)

内容提要: 浙江治岭头金银矿床中两期含金石英脉的氢、氧、碳及硫的稳定同位素研究结果表明各自具有明显不同的同位素组成特征, 两期矿化作用的成矿热液流体具不同成因类型。早期是与基底陈蔡群变质水有关的热液流体, 而晚期则是与盖层火山岩浆水和古大气降水有关的混合热液流体。因此治岭头矿床是一个具有多源成矿热液流体相叠加的复合型矿床。

主题词: 同位素地球化学 金银矿床 热液成因 治岭头

近年来, 国内矿床学界对浙江治岭头金银矿床的成矿条件及其成因研究十分重视和活跃^[1-3]。本文在矿区地质调查资料的基础上, 通过氢、氧、碳和硫同位素的研究, 论证了该矿床存在变质热液及火山岩浆水-古大气降水地下循环混合热液的两期矿化作用。

一、矿区地质概况

矿区位于余姚-丽水和绍兴-江山深断裂之间的陈蔡-遂昌隆起带南西段。基底为前震旦系陈蔡群变质岩, 是主要赋矿围岩。这套地层经历了变形、变质作用, 其变质程度相当于绿帘石-角闪岩相。盖层为上侏罗统磨石山组火山岩, 呈不整合覆于陈蔡群变质岩之上。变质岩中金、银平均丰度(ppb)为11.54和1582.3, 火山岩与次火山岩中金、银平均丰度(ppb)为5.2和533.3^[1]。它们皆高于地壳克拉克值。

根据基底断裂的性质和产状, 推断矿区处于区域基底构造的局部隆起和转折部位, 轴向由北东转向北西。其中北东55°—65°走向张扭性断裂是最主要的直接控矿构造(未见穿切盖层火山岩)。燕山旋回形成的北西向和近南北向断裂, 对早期矿体有一定的破坏作用, 但也为后期的火山热液与大气降水地下循环热液的矿化作用提供了有利通道。

矿体呈脉状, 总的走向为北东, 局部转为近东西向。平面上呈左行斜列式展布。脉幅从几十厘米至二十余米, 控制长度大于1000m, 延深大于380m

近矿围岩蚀变有绢云母化、硅化、黄铁矿化和绿泥石化, 从矿体向两侧略显水平分带现象。

二、两期矿化特征

根据控矿断裂形成时代、矿脉穿切关系、矿石矿物组合类型及标型特征等, 确证该矿床

存在明显不同的两期矿化作用。

1. 早期矿化特征

早期矿化明显受基底北东向张扭性断裂控制,矿体仅发育于基底陈蔡群变质岩中,未见穿至盖层火山岩,是金、银主要成矿期。该期以富金银系列矿物为特征,被晚期矿脉所穿切和破坏。

早期矿体中的黄铁矿受后期构造应力作用常具压碎现象。其Ag/Au比值小(5.90),Ni/Co>1,与产自陈蔡群变质岩中黄铁矿的特征相似。闪锌矿多呈细粒分散状,以颜色深(铁黑色),含锌量较低(46.13%),铁、铜杂质较高(Fe 17.64%;Cu 1.11%),晶胞参数较大($5.4216 \times 10^{-10}\text{m}$)及反射率较高($R_{589\mu\text{m}}=17.1\%$)为特征。

早期成矿流体沿水平方向温度变化相对稳定,自东向西温度在250—330℃之间。石英包裹体中含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 及 CO_2 较多,且含少量 CH_4 , $\text{K}^+>\text{Na}^+$,与陈蔡群黑云斜长片麻岩中石英包裹体的成分相似^[1]。

2. 晚期矿化特征

晚期矿化主要受燕山期北西向和近南北向断裂控制,矿脉不仅穿切基底变质岩和早期矿体,且穿插于盖层火山岩中。该期主要特征表现为银(微量金)、铅、锌的矿化叠加作用,以贫金银系列矿物及出现硫锰矿、螺状硫银矿、毒砂等标型矿物为特征。

晚期黄铁矿晶体较完好,无压碎现象。其Ag/Au比值较大(39.38),Ni/Co<1,与产自火山岩及次火山岩中黄铁矿的特征相似。闪锌矿多呈粗晶状、团块状,颜色相对较浅,含锌量较高(53.62%),含铁、铜量较低(Fe 9.02%;Cu 0.22%),晶胞参数较小($5.4179 \times 10^{-10}\text{m}$)及反射率较低($R_{589\mu\text{m}}=15.94\%$)。此外,闪锌矿还含少量金、银,并具富镉等特点,与产自火山岩中闪锌矿的特征十分一致。

晚期成矿流体沿水平方向温度变化幅度较大,自东向西温度渐趋降低。晚期石英包裹体中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量较低,几乎不含 CH_4 ,且 $\text{K}^+<\text{Na}^+$,与早期脉石英包裹体成分有明显差异^[1]。

三、同位素组成与讨论

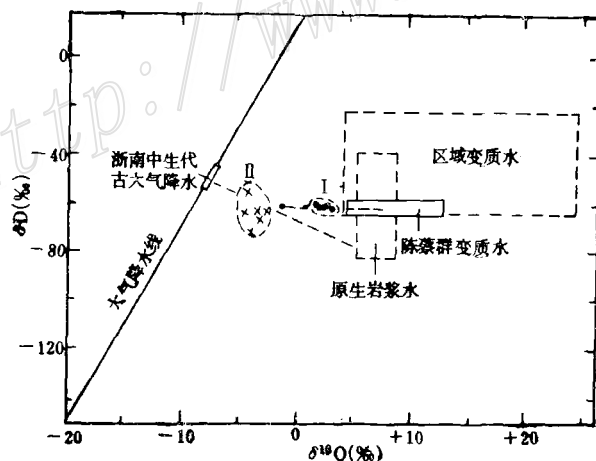
治岭头金银矿床中所有矿化脉石英的氧同位素及其包裹体的氢和碳的同位素分析结果,并连同计算得出的平衡水中氧同位素组成一起汇列于表1。从表1可见,两期矿化具有明显不同的氢、氧和碳的同位素组成。石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,早期(序号4例外)为+8.2—+9.9‰,平均为+8.6‰;晚期为+5.5—+8.3‰,平均为+6.4‰。早期石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较高,仅略低于陈蔡群变质岩中石英^[1],而晚期石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较低且离差也较大。成矿热液水的 δD 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值,早期分别为-59—-61‰和+1.0—+3.1‰,其 δD 值相对稳定, $\delta^{18}\text{O}$ 值全部为正值;而晚期分别为-58—-73‰和-2.1—-3.9‰,其 δD 值变化较大, $\delta^{18}\text{O}$ 值全部为负值。为了便于判别和讨论成矿热液流体的性质和来源,我们将上述两期成矿热液水的氢和氧的同位素组成全部绘于 δD - $\delta^{18}\text{O}$ 相关图上(图1)。图中形成了两个密集分布区。早期热液水(I区)非常接近于陈蔡群变质水,两者的 δD 值都相当恒定且相互一致,而与古大气降水无明显的关系。 $\delta^{18}\text{O}$ 值沿水平向左稍有漂移,是由于从区域变质温度降至成矿温度时,热液水与围岩

表1 浙江治岭头金银矿床两期矿化脉石英的氢、氧和碳的同位素组成(‰)

Table 1. Hydrogen, oxygen and carbon isotopic compositions of vein quartz of the two mineralization epochs in the Zhilington gold-silver deposit, Zhejiang province

矿化 期次	序 号	样 品 号	产 状	矿 物	温 度 (°C)	矿 物 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$	包 裹 体		计 算 平 衡 水③ $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$
							$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	
早 期	1	AB ₁	灰白色含金石英脉	石 英	265	+9.9	(-60)②		+1.6
	2	AB ₈	灰白色含金石英脉		345	+8.5	-61		+3.1
	3	AB ₁₈	灰白色含金石英脉		290	+8.3	-59		+1.0
	4	AB ₂₂	灰白色含金石英脉		248	+7.3①	-60		-1.8
	5	820025	含金交代石英脉		307	+8.3	(-60)	-0.12	+1.6
	6	AB ₀₋₁₈	含金硫化物石英脉		334	+8.2	(-60)		+2.4
晚 期	7	AB ₀₋₁₀₁	乳白色硅化大脉	石 英	239	+6.5	(-67)		-3.0
	8	AB ₀₋₁₀₃	含红长石石英细脉, 穿切早期矿脉		272	+5.9	(-67)	-5.4	-2.1
	9	AB-105	含方铅矿团块石英脉		242	+5.5	(-67)		-3.8
	10	AB ₀₋₁₁₄	乳白色石英脉, 穿切 早期矿脉		231	+6.1	-58		-3.9
	11	AB ₀₋₁₁₆	乳白色梳状石英脉		239	+6.1	-73	-5.6	-3.4
	12	AB ₀₋₁₂₁	石英黄铁矿脉, 穿切早 期矿脉		209	+8.3	-69		-2.8

1—4 引用梁子豪等(1982)的资料; ①据钱雅倩函告此样纯度差,故可能因含有少量杂质矿物引起 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏低; ②括号内数字为早期或晚期已知样品的 δD 平均值; ③按 $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} \approx \delta^{18}\text{O}_{\text{石英}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{水}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.4$ 计算的结果 (Clayton & o'Neil, 1972)^[8]。

图1 浙江治岭头金银矿床两期成矿流体的 δD - $\delta^{18}\text{O}$ 相关图

(浙南中生代古大气降水据徐步台、邵益生(1986)^[4]、郑淑惠等(1985)^[5]和张理刚(1985)^[6]的资料; 陈蔡群变质水据徐步台(1987)和梁子豪等(1985)^[1]的资料; 余者据Sheppard(1977)^[10]的图5; I、II分别为早期和晚期矿化分布区)

Fig. 1. δD - $\delta^{18}\text{O}$ correlogram of ore-forming fluids of the two mineralization epochs in the Zhilington gold-silver deposit, Zhejiang province.

之间的分馏系数增大而引起的氧同位素组成变化,并非由于古大气降水参与作用的结果。据此,我们认为早期成矿热液流体既不是变质水和少量古大气降水的混合流体^[1],更不是单一的古大气降水循环流体^[2],而是一种来源于陈蔡群变质水的热液流体。同时,石英包裹体中 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -0.12‰ ,即趋近于 0‰ 。这可能也反映了陈蔡群变质成因碳的同位素组成特征,因为这种较高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值可能是由陈蔡群中的海相碳酸盐岩层在变质作用中释放出 CO_2 、 HCO_3^- 所造成的^①,或者是陈蔡群中的还原碳随着变质程度的增加产生了富集 ^{12}C 的甲烷,而使 CO_2 等其它含碳物质增高 $\delta^{13}\text{C}$ 值的结果^[9]。

相反,晚期热液水(Ⅱ区)却处于当地中生代古大气降水与原生岩浆水之间,并且更趋近于古大气降水一边,而 δD 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的离差皆比早期热液水要大。因此,晚期成矿热液流体明显具有混合流体的氢、氧同位素组成特征,并以古大气降水地下循环流体为主^[10,11]。同时,石英包裹体中 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -5.4‰ — -5.6‰ ,平均为 -5.5‰ (表1),表明晚期成矿热液流体的碳同位素组成相当恒定,并具有火成岩中氧化态碳和岩浆热液矿物包裹体中 CO_2 的碳同位素组成特征^[8],这是晚期成矿热液流体中确实存在火山岩浆热液成分的又一佐证。因此,根据上述氢、氧和碳同位素组成特征,我们认为晚期成矿热液流体既不是单一的火山岩浆热液^[1],也不是单一的古大气降水地下循环热液^[2],而是一种以古大气降水地下循环热液占优势,含有部分火山岩浆热液的混合流体。

此外,据梁子豪等(1982)的两期矿化硫同位素资料,也表明两者之间具有明显的差异。硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值的总变化范围,早期为 $+0.33\text{‰}$ — $+6.67\text{‰}$,晚期为 $+3.12\text{‰}$ — $+7.44\text{‰}$,黄铁矿(Py)与闪锌矿(Sp)之间分馏的 $\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{Py-Sp}}$ 值,早期为 2.65‰ ,晚期为 0.25‰ 。前者硫同位素处于平衡分馏,后者则为非平衡分馏。根据早期成矿热液系统 $\lg f_{\text{O}_2}$ -pH- $\delta^{34}\text{S}$ 图解以及两期矿脉硫化物与围岩硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值相互对比,得出早期成矿热液流体中硫与陈蔡群变质岩中硫的同位素组成基本一致,而晚期成矿热液流体中硫与中生代火山岩中硫的同位素组成较为相似。由此表明,两期矿化的硫源也分别为陈蔡群变质岩和中生代火山岩^[7]。

四、结 语

综上所述,根据浙江治岭头金银矿床的氢、氧、碳及硫稳定同位素组成特征,结合矿区地质和岩石矿物学资料,我们得到如下几点认识:

1. 通过对该矿床中两种不同产出形式和矿物组合的矿化脉石英和包裹体中的氢、氧和碳同位素以及硫化物的硫同位素研究,取得了有效判别成矿热液流体的性质和来源的地球化学信息,并以此可推断其成矿作用的基本模式。

2. 早期(晋宁旋回)成矿作用中,热液水的氢、氧同位素组成显示了变质水的特征,而与古大气降水无关。因此,早期成矿热液流体是来源于陈蔡群变质水的热液流体;晚期(燕山旋回)成矿作用中,热液水的氢、氧同位素组成显示了与古大气降水和岩浆水的共同关系,而与前者的关系更为密切。然而,碳同位素组成具有岩浆热液流体的特征。因此,晚期成矿热液流体是以古大气降水为主,与部分火山岩浆水相混合的热液流体。

① 徐步台, 1987, 浙江陈蔡群变质岩系的氢、氧、碳及铷稳定同位素研究

3. 早期热液流体是汲取陈蔡群变质岩中的 S、Au、Ag 等成矿元素, 向同期构造作用所形成的控矿断裂迁移、富集和沉淀为富金银的主矿脉; 晚期热液流体是汲取中生代火山岩中的 S、Ag、Pb、Zn 等成矿元素, 向同期构造作用所形成的控矿断裂迁移、富集和沉淀为贫金富银铅锌的次矿脉。因此, 治岭头金银矿床是具有多源成矿热液流体, 由两期矿化作用叠加的复合型矿床。看来, 应用任何单一的成因模式都将难以作出合理的概括和解释。

本文承蒙丁悌平、梁子豪同志审阅并提出宝贵意见, 特此表示诚挚谢意。

参 考 文 献

- [1] 梁子豪等 1985 浙江治岭头金银矿床成矿条件的研究 地质论评 第31卷 第4期
- [2] 郑明华、刘建明 1986 论浙江治岭头金银矿床的成矿物质来源 矿床地质 第5卷 第1期
- [3] 张 建 1984 浙江省遂昌—龙泉地区金矿成矿模式及找矿方向 地质与勘探 第4期
- [4] 徐步台、邵益生 1986 浙江高岭土矿床中氢氧同位素的研究 地质科学 第1期
- [5] 郑淑蕙等 1985 中国高岭土矿物的氢氧稳定同位素研究 《国际交流地质学术论文集》 地质出版社
- [6] 张理刚 1985 中国东部地区现代和中生代大气降水氢氧同位素地球化学 《国际交流地质学术论文集》 地质出版社
- [7] 朱清涛 1983 治岭头金银矿床硫同位素研究和矿床成因探讨 地质与勘探 第11期
- [8] Faure, G., 1977, Principles of Isotope Geology, John Wiley & Sons.
- [9] McKirdy, D. M. & Powell, T. G., 1974, Metamorphic alteration of carbon isotopic composition in ancient sedimentary organic matter, New evidence from Australia and South Africa. Geol., Vol. 2, pp. 591-599.
- [10] Sheppard, S. M. F., 1977, Identification of the origin of ore-forming solutions by the use of stable isotopes, Volcanic Processes in Ore Genesis, Chameleon Press Limited, London, pp. 25-41.
- [11] Taylor, H. P. Jr., 1967, Oxygen isotope studies of hydrothermal mineral deposits, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Holt, Rinehart & Winston Inc., New York-London, pp. 109-140.

CHARACTERISTICS AND SOURCES OF ORE-FORMING FLUIDS IN THE ZHILINGTOU GOLD-SILVER DEPOSIT STUDIED BY STABLE ISOTOPE METHOD

Xu Butai

(Zhejiang Institute of Geological Sciences, Hangzhou, Zhejiang)

Xia Anning

(Geologic Experimental Center of Zhejiang Province, Hangzhou, Zhejiang)

Zheng Shuhui and Chen Chengye

(Department of Geology, Beijing University, Beijing)

Abstract

The Zhilington gold-silver deposit in Zhejiang province occurs in metamorphic rocks of Proterozoic Chencai Group and Mesozoic volcanic rocks. A study of stable isotopes in this deposit shows that vein quartzs and their inclusions of two mineralization epochs have their respective characteri-

stics of stable isotopic composition. In the early epoch, the quartzs have $\delta^{18}\text{O}$ values of $+8.2$ — $+9.9\text{‰}$, hydrothermal water $\delta^{18}\text{O}$ values of $+1.0$ — $+3.1\text{‰}$ (obtained from isotope fractionation equation of quartz-water), and inclusion δD values and $\delta^{13}\text{C}$ values of -59 — -61‰ and -0.12‰ respectively, while in the late epoch, the quartzs have $\delta^{18}\text{O}$ values of $+5.5$ — $+8.3\text{‰}$, hydrothermal water $\delta^{18}\text{O}$ values of -2.1 — -3.9‰ , and inclusion δD values and $\delta^{13}\text{C}$ values -58 — -73‰ and -5.4 — -5.6‰ respectively.

On the basis of the above-described stable isotopic compositions, combined with geologic and petrological-mineralogical data, the authors hold that the ore-forming fluids of the early mineralization epoch and of the late epoch came respectively from metamorphic water of Proterozoic Choncai Group and mixed circulating water of Mesozoic volcanic-magmatic water and ancient meteoric water. It is therefore considered that the Zhilington gold-silver ore deposit is a composite one formed through superimposition of ore-forming fluids from various sources.

<http://www.kcdz.ac.cn/>