

问题讨论

小秦岭西段金矿床氢氧同位素及流体包裹体研究

姬金生

(西安地质学院)

内容提要: 小秦岭金矿西段矿脉、花岗岩、变质岩的氧、氢同位素及流体包裹体测试结果表明: 小秦岭金矿属燕山期形成的热液石英脉型金矿床, 主要成矿温度为 280—300℃, 其成矿物质来自变质地层及燕山期重熔花岗岩浆, 成矿流体水为变质地层水、花岗岩浆水及地表水的混合产物。

主题词: 石英脉型金矿床 氢氧同位素 流体包裹体 小秦岭金矿

小秦岭金矿是我国三大黄金生产基地之一。位于华北地台南缘, 区内地层主要为太古界太华群的一套变质火山-沉积岩系, 侵入岩以燕山期花岗岩类为主, 从西向东依次出露了华山岩体、文峪岩体及娘娘山岩体。金矿床主要产于文峪花岗岩体外围的变质地层中。近年来我们对小秦岭西段金矿脉进行了氢、氧同位素和气液包裹体研究, 现将其结果汇总于后。

一、氢氧同位素

共测得氢氧同位素数据27件, 其中矿脉中石英的氧同位素7件、石英中包体水的氢同位

表1 样品的氢氧同位素组成

Table 1. Hydrogen and oxygen isotopic composition of samples

样品号	采样位置	测定矿物	产出状况	矿物形成 温度(℃)①	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)②	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)
A1501	Q505	石英	第I矿化阶段	306	11.0	4.0	-85
A1718	Q401	石英	第I矿化阶段	306	11.1	4.1	-87
A1740	Q8301	石英	第I矿化阶段	306	10.6	3.6	-72
A1505	Q505	石英	第II矿化阶段	246	12.2	3.0	-82
A1733	Q401(304采场)	石英	第III矿化阶段	270	11.2	2.9	-82
A1714	Q539	闪锌矿	第III矿化阶段	250			-93
A1732	Q401	方解石	第IV矿化阶段	150	9.1	-5.9	-52
黄-15	华山花岗岩	石英	花岗岩中石英	700	9.7	8.6	-86
黄-12	华山花岗岩	石英	岩体中石英-钾长石脉	400	10.1	5.4	-126
J-19	Q401附近	石英	伟晶岩脉	450	9.4	5.6	-80
J-34	Q401附近	石英	钾长石伟晶岩	400	10.4	5.8	-75
J-24	Q401附近	石英	混合岩化片麻岩中肠状石英	600	8.4	6.5	-66
水-1401	Q401南段	矿坑水	矿坑水	常温		-9.6	-74

① 据均一法测温, 但花岗岩、伟晶岩及变质岩温度为估计值

② 计算值, 据 $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 3.05 \times 10T^{-2} - 2.09$ (Matthews, 1979) 计算; 由宜昌地质矿产研究所测定

素 6 件, 变质地层中石英的氧同位素 2 件、氢同位素 2 件, 花岗岩中氢、氧同位素各 2 件, 地表矿坑水的氢、氧同位素各 1 件 (表 1)。

从表 1 可知, 变质地层中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 8.39‰ (SMOW, 以下同), 伟晶岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 分别为 9.39‰ 和 10.39‰, 平均 9.89‰; 华山花岗岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值分别为 9.69‰ 和 10.08‰, 平均 9.89‰; 变质地层与伟晶岩、花岗岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值相近, 花岗岩与伟晶岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值相近, 这就暗示着本区变质地层, 花岗岩及伟晶岩三者之间可能有一定的成因联系。

区内金矿脉中石英的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化于 10.6—12.21‰ 之间, 平均值为 11.04‰。根据矿物-水的同位素分馏方程, 利用石英、方解石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值和矿物形成温度计算的成矿溶液 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 4.12—5.89‰ 之间, 平均值为 1.99‰, 远低于变质水和岩浆水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值。这与矿脉的形成温度较低有一定关系, 但其主要原因可能与大气降水的加入有关 (当地矿坑水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -9.57‰)。

从不同矿化阶段矿液的同位素组成来看, 第 I 矿化阶段 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 平均值为 3.92‰, 第 II 矿化阶段为 3.0‰; 第 III 矿化阶段为 2.92‰; 第 IV 矿化阶段为 -5.89‰。上列数据表明, 矿化从早到晚, 矿液的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值越来越小, 逐步地向当地大气降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 趋近, 暗示出成矿过程中不断地有大气水的加入。

变质地层中石英包体水的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 -66‰, 伟晶岩脉石英包体水 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 均值为 -78‰, 花岗岩为 -86‰ (也有个别样品特低), 当地大气降水为 -74‰。矿脉中 7 件样品包体水的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化区间为 -52—-93‰, 均值为 -79‰。这些数据表明, 矿液的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 与变质地层差别较大, 介于大气降水与花岗岩之间, 更靠近大气降水。这说明, 成矿溶液不是典型的变质水, 也不是典型的岩浆水, 很可能是一种以大气降水为主, 有少量岩浆水加入, 或许受到变质地层中变质水影响的一种混合溶液。

二、气液包裹体

据显微镜下观察和热台测定均一温度, 本区气液包裹体具以下特征。

金矿脉中的包裹体以液态为主, 也有少数气态包体及含 NaCl 子晶及液态 CO_2 的三相包体。包体一般较小, 多为 2—5 μm , 少部分为 5—10 μm , 个别可达 50 μm 。包体形态多为圆、

表 2 包裹体气相成分分析结果

Table 2. Analyses of gaseous composition of inclusions

样品原岩	测定矿物	矿化阶段	样品数	分 析 结 果 (mg/100g)				比 值	
				CO_2	CH_4	H_2O	$\text{CO} + \text{空气}$	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$	$\frac{(\text{CO} + \text{空气})}{\text{H}_2\text{O}}$
含金石英脉	石 英	I	3	16.26	0.91	67.2	83.00	0.24	1.24
含金石英脉	石 英	II	2	14.97	0.6	19.27	38.1	0.78	1.98
含金石英脉	闪锌矿	III	1	10.12	—	49.10	144.17	0.21	2.94
含金石英脉	方解石	IV	1	14.29	—	56.00	184.44	0.26	3.29
花岗岩	石 英		1	9.10	1.80	82.14	157.85	0.11	1.92
变质地层	石 英		1	10.83	—	55.02	133.56	0.20	2.43

测试单位: 南京大学地质系

表 3 包裹体液相成分分析结果
Table 3. Analyses of liquid composition of inclusions

样品原岩	测定矿物	矿化阶段	样品数	pH	Eh (mV)	液相成分 (ppm)							比 值				
						K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	$\frac{K^+}{Na^+}$	$\frac{K^+ + Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$	$\frac{HCO_3^-}{Cl^-}$	$\frac{SO_4^{2-}}{Cl^-}$
含金石英脉	石英	I	3	4.86	167.3	0.21	0.92	5.23	1.78	0.26	2.36	0.75	5.78	0.23	0.61	0.31	2.45
含金石英脉	石英	II	2	4.72	175.8	0.175	0.58	2.17	0.35	0.155	0.465	0.33	1.83	0.3	0.3	0.7	3.9
含金石英脉	闪锌矿	III	1	5.95	103.00	0.04	0.58	0.13	0.06	0.11	2.57	3.41	1.08	0.07	3.2	1.33	0.42
含金石英脉	方解石	IV	1	6.22	87.02	0.23	0.18	6.84	0.14	0.88	0.21	4.20	1.00	1.28	0.06	20	4.76
花岗岩	石英		1	3.66	238.47	0.72	2.86	0.45	0.13	0.11	0.57	—	6.67	0.25	6.17	—	11.7
变质地层	石英		1	6.02	98.26	0.38	2.38	4.02	0.02	0.50	4.29	3.60	1.50	0.16	0.67	0.84	0.35
河北小营盘变质热液金矿						7.7	11.3	17.4	3.6	0.1	30	—	29	0.68	0.9	—	0.97
山东三山岛岩浆热液金矿						1.9	0.65	0.62	0.14	0.1	3.77	1.01	9.4	2.92	3.36	0.28	2.49
苏联喀尔巴阡火山热液金矿						0.12	1.18	0.41	0.33	0.23	2.23	0.36	—	0.1	1.76	0.16	—

注：去离子水 pH=6.03

测试单位：南京大学地质系

浑圆形,半规则—不规则状。包体的均一温度在 178—340℃ 之间,但多数在 280—300℃ 之间。包体的气液比一般为 10—40%,多数在 20—25% 之间。个别气态包体的气液比为 50—80%。包体气相多为无色,少量为灰色、灰褐色、褐色,液相多为无色或灰色。包体常呈不均匀群体产出,呈串珠状或散点状分布,具定向排列现象。包裹体中气相成分列于表 2。从表 2 可以看出:(1)包裹体内气体成分较复杂,但以水蒸气为主,并含有一定数量的 CO_2 及 CH_4 、 CO 等气体。(2)含金石英脉包裹体中 CO_2 含量高于花岗岩和变质地层,这与包裹体中出现液态 CO_2 相吻合。(3)变质地层中包裹体的气相成分与金矿脉比较接近, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 、 $(\text{CO} + \text{空气})/\text{H}_2\text{O}$ 也与后者相近。变质水的成分主要受变质原岩控制,金矿脉包体水与变质水成分相近,说明成矿溶液的成分与变质水同样受变质地层的控制。

包裹体液相成分分析结果列于表 3,为了便于和各种不同成因类型的金矿对比,将有关典型矿床的包体成分也列于表 3^[1,2]。从表 3 可知:(1)含金成矿溶液呈弱酸性到中性,华山花岗岩岩浆热液为酸性,变质地层中变质水呈中性(与去离子水比较)。(2)金矿脉的包裹体贫 K^+ 、 Na^+ 而较富 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ,两者差别较大,说明含金溶液不属典型的岩浆热液。变质地层中石英包裹体 K^+ 、 Na^+ 浓度稍高于金矿脉, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和金矿脉相近,说明含金溶液和变质地层水的成分都在一定程度上受变质岩(以角闪斜长片麻岩为主)控制。(3)矿脉中石英包体的 $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 值多在 0.16—3.2 之间。而且样品数较多的第 I、II 矿化阶级的 $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 值在 0.16—0.3 之间,比值较低。它与华山花岗岩相差一个数量级(后者为 6.17),亦说明两者来源可能差别较大。与太华群变质地层相比,则比较接近,后者为 0.67,也说明成矿溶液可能受富含 Ca、Mg 的角闪斜长片麻岩围岩影响较大。与国内外典型金矿床相比,它近似于河北小营盘变质热液型金矿床,与山东三山岛、苏联喀尔巴阡山金矿的相应比值差别较大。

三、问题讨论

1. 小秦岭地区太华群变质地层、华山花岗岩及伟晶岩的氧同位素组成相近,说明它们具有一定的成因联系,华山花岗岩可能系太华群地层重熔产物。

2. 与脉石英相平衡的热液水的同位素值在成矿早期较高,与变质水及岩浆水均较接近,随矿化作用的进行,该值越来越低,向大气水靠近,说明在矿化过程中,矿液中大气降水含量不断增多。

3. 含金石英脉中石英包体水的氢同位素组成,介于本区变质水和岩浆水之间,与地表大气降水相近,说明成矿溶液可能是一种以大气降水为主并有岩浆水和变质水参加的混合水。

4. 本区金矿脉的气液包裹体以液态包体为主,也有少数气态包体,含 NaCl 子晶及液态 CO_2 的包体。均一化温度在 178—340℃ 之间,但多数在 280—300℃ 范围内。

5. 矿脉中包裹体内气体成分较复杂,并富含 CO_2 ,其 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 值及 $(\text{CO} + \text{空气})/\text{H}_2\text{O}$ 值,与变质地层中包体较接近。说明成矿溶液气相成分接近变质岩地层。

6. 本区金矿成矿溶液呈弱酸性—中性。主要金属离子贫 K^+ 而富 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 。 $\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$ 值较低,与太华群变质地层中变质水相近而与华山花岗岩及山东三山岛岩浆热液型金

矿不同。说明成矿溶液中液相成分主要受围岩成分影响。

7. 从氢氧同位素组成及包裹体特征, 认为在燕山期构造岩浆活动过程中, 侵入岩浆作为热源加热周围地下水, 引起地下水沿断裂、裂隙流动循环, 从周围富含Fe、Mg、Ca的变质岩地层中萃取成矿物质, 然后在有利的构造、岩性及物化条件下形成矿床的模式^[3]比较合理。

笔者在野外工作中得到了有色地质勘探公司七一二地质队、省地矿局第六地质队和潼关金矿的支持与帮助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 李兆麟等 1985 山东三山岛金矿床形成物理化学条件研究 矿床地质 第4卷 第4期
- [2] 姬金生 1988 小秦岭金矿氢氧同位素组成特征及其成因意义 西安地质学院学报 第10卷 第3期
- [3] 姬金生 1988 关于小秦岭金矿成因类型的讨论 贵金属地质 第3、4期合刊

A HYDROGEN AND OXYGEN ISOTOPE AND FLUID INCLUSION STUDY OF GOLD DEPOSITS IN WESTERN XIAOQINLING

Ji Jinsheng

(Xian College of geology, Xian, Shuanxi Province)

Abstract

The Xiaoqinling gold ore district is located in the southern part of the North China platform. The strata in the district are volcano-sedimentary sequence of Archean Taihua facies. There are a few Yanshanian granitic intrusions, named Huashan, wenyu and Niangniangshan from west to east. Gold deposits are found around the Wenyu intrusion and controlled by Dayueping-Jinloban anticline and its derivative structures. Most of the deposits are of quartz vein type, containing pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite etc. Wall rocks show alterations such as sericitization, silicification, chloritization, pyritization and carbonatization. $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ and $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ of inclusions in quartz are 9.18‰ and -63.2‰ for metamorphic rocks, 9.89‰ and -85.7‰ for granite, 9.89‰ and -77.7‰ for felsic vein rocks, and 11.04‰ and -78.5‰ for quartz veins, respectively. In mine water, $\delta^{18}\text{O} = -9.57\text{‰}$ and $\delta\text{D} = -74\text{‰}$. Calculations show that $\delta^{18}\text{O}$ values of metamorphic rocks, granites, vein rocks and ore-forming solutions are 7.26‰, 7.00‰, 5.69‰ and 1.99‰, respectively.

Nine inclusion samples have been studied. They are dominantly liquid inclusions, with a few gaseous inclusions and three-phase inclusions containing daughter crystals of NaCl and liquid CO₂. The inclusions are usually 2—5 μm in size, and have rounded, roundish or irregular forms. Inclusions are usually aligned in certain direction. Homogenization temperatures of the inclusion are mostly in the range of 280°—300°C. The pH and Eh values of inclusions are 6.02 and 98.28 for quartz in metamorphic rocks, 3.66 and 238.47 for quartz in granite, respectively. The pH and Eh values of quartz, sphalerite and calcite in the veins are 4.79, 5.95 and 6.22, and 171.55, 103.00 and 87.02, respectively. Gaseous phase of the inclusions is dominated by water vapor, with a little CO₂, CH₄, and CO. Ore fluids are acid to weak acid, poor in K⁺, Na⁺, and rich in Ca²⁺ and Mg²⁺; granitic solution is acid, poor in Ca²⁺ and Mg²⁺, and rich in K⁺ and Na⁺; metamorphic solution is weak acid to neutral, with content of K⁺ and Na⁺ between that of ore fluids and granitic solution, and content of Ca²⁺ and Mg²⁺ close to that of ore fluids and higher than that of granitic solution. It is thus concluded that the deposits are of mesothermal quartz vein type; ore fluids are a mixture of metamorphic water, granitic magmatic water and supergene water. After emplacement the granitic magma was fractionated, and gold was concentrated in postmagmatic solution, which was then mixed with gold remobilized in the strata, leading to the formation of gold deposits.

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