

焦家式金矿水-岩交换作用

——成矿流体氢氧同位素组成研究*

张理刚 陈振胜 刘敬秀 于桂香

(宜昌地质矿产研究所, 宜昌)

王炳成 徐金方 郑文深

(山东地质矿产研究所, 济南)

提 要: 焦家式金矿位于胶东半岛西北部, 矿体赋存于花岗片麻岩-花岗闪长岩类岩石断裂带内, 呈破碎黄铁绢英岩化浸染状矿石。矿体中均伴有富含金的成矿前、后中基性脉岩。成矿作用包括乳白色块状黄铁矿石英和(或)伟晶石英脉阶段、含金硫化物石英阶段和方解石石英阶段。三个阶段石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值平均为12.4%、13.2%和14.4%。计算的石英 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值平均分别为4.7%、3.5%和3.5%。三个阶段石英流体包裹体水 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值平均分别为-73%、-80%和-92%。经反演计算, 提出成矿流体是中生代大气降水 ($\delta^{18}\text{O} = -15.5\%$, $\delta\text{D} = -115\%$) 与5km以下深部中基性岩在350~400℃时, 有效W/R比值从0.01至0.05之间交换作用形成。

主题词: 焦家式金矿 水-岩交换 氢氧同位素 缓冲开放体系

胶东地区焦家式金矿已有许多学者进行过氢、氧同位素研究, 但得出绝然不同的结论。有人强调 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 δD 值范围落入“正常岩浆水”范围以及地表蚀变岩石 $\delta^{18}\text{O}$ 值高于主岩, 而提出是岩浆水热液成因(王炳成, 1985; 姚凤良和刘连登, 1983、1985; 李晓明, 1988; 黄德业^①; 杜心君^②)。陈光远(1988)考虑成矿流体不同阶段同位素组成的演化, 认为早期以岩浆水热液为主, 而晚期以大气降水热液为主。张理刚(1985、1989)对比不同矿化阶段氢、氧同位素组成和与花岗岩相平衡演化水的理论计算值, 指出是大气降水热液成因。

本文目的, 就是综合本次研究及前人资料基础上, 运用水-岩相互作用理论, 研究焦家式金矿成矿流体的形成机理及演化。

1 区域地质背景

招莱金矿带位于郯庐断裂带以东, 胶北隆起西北部, 且主要集中在招远、莱州的北部, 东起台上, 西至渤海之滨三山岛, 为一近东西向焦家式金矿集中带。我们研究的矿区包括台上、苍上、大尹格庄、新城、红布、十里铺、焦家等矿床(见图1)

对于胶东焦家式金矿集中分布区的区域地质背景, 以及焦家式金矿的地质特征等, 前人已作过大量研究工作并给于详细报导(陈光远等, 1989; 姚凤良等, 1990; 官泽潭等^③; 徐金

* 地质行业基金资助项目(89042); H. Shimazaki、季海章亦参加部分工作
张理刚, 男, 54岁, 研究员。从事矿床同位素地球化学、岩石同位素地球化学和实验同位素地球化学研究。邮政编码: 443003
1993-9-25收稿, 1994-3-20修改回
① 黄德业等, 1990, 胶东地区焦家式金矿成矿模式与找矿方向; ② 杜心君, 1989; ③ 官泽潭、王义定, 1989, 招远黄金地质

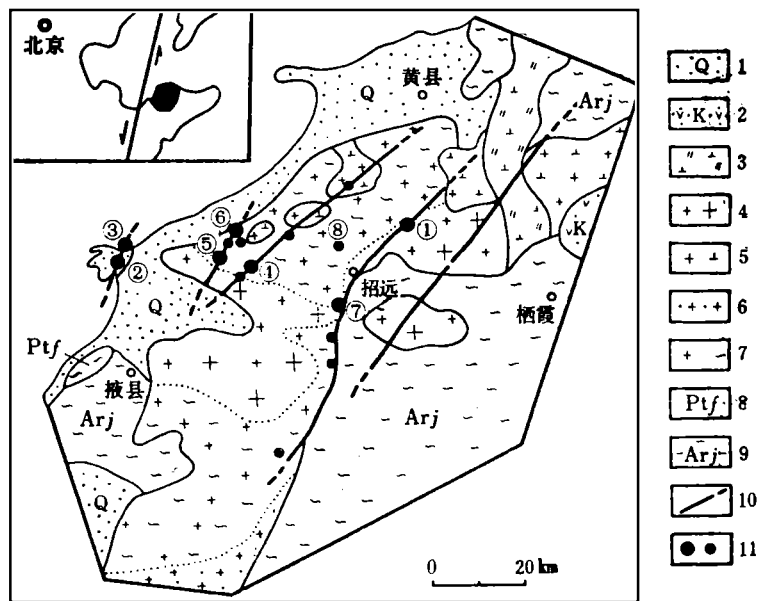


图 1 胶东焦家式金矿床分布地质略图

1—第四系；2—白垩系；3—艾山花岗岩；4—滦家河花岗岩；5—郭家岭花岗闪长岩；6—含石榴石细粒花岗岩；7—玲珑片麻状花岗岩；8—粉子山群；9—胶东群；10—断裂；11—金矿床（点）：①台上；②苍上；③三山岛；④焦家；⑤红布；⑥新城；⑦大尹格庄；⑧十里铺

Fig. 1. Geological sketch map showing distribution of Jiaojia type gold deposits in eastern Shandong.

1—Quaternary; 2—Cretaceous; 3—Aishan granite; 4—Luanjiahe granite; 5—Guojialing granodiorite; 6—Garnet-bearing fine-grained granite; 7—Linglong gneissic granite; 8—Fenzishan Group; 9—Jiaodong Group; 10—Fault; 11—Gold deposits (occurrences); ①—Taishang; ②—Changshang; ③—Sanshandao; ④—Jiaojia; ⑤—Hongbu; ⑥—Xincheng; ⑦—Dayingezhuang; ⑧—Shilipu.

方等，1989），这里不再细述。

从图 1 中看出，焦家式大型金矿多分布于与郯庐断裂带呈“入”字型的 NE 向压扭性断裂带内，而这些大断裂又经常沿胶东群变质岩和花岗岩或不同花岗岩类侵入体之间的接触带附近分布，且这些大断裂带发育厚度不等的糜棱岩、角砾岩、碎裂岩和碎裂状花岗岩类，尤其是下盘更为发育。矿体即赋存于大断裂下盘蚀变带内（图 2）。对于十里铺等小型矿床多产于花岗质岩石内的小断裂带内。此外，焦家式金矿化带内均广泛产出成矿前或成矿后的基性脉岩，或者说，两者形影不离。据姚凤良等（1990）报导，成矿前辉绿岩含金量高，平均为 113×10^{-9} ，而成矿后煌斑岩仅为 15×10^{-9} 。据骆万成等（1987）、郭振一等（1990）、李华芹等（1993）研究，焦家式金矿蚀变体系绢云母及脉石英的 Rb-Sr 等时线年龄和 K-Ar 年龄在 $120 \times 10^6 \sim 88 \times 10^6$ a 之间，而区域内滦家河型中粗粒二长花岗岩的 Rb-Sr 年龄为 $150 \times 10^6 \sim 152 \times 10^6$ a（表 1），而郭家岭型斑状花岗闪长岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 136×10^6 a（徐金方等，1979），可见成矿作用时间要晚于岩浆侵入冷凝时间，而与脉岩的 K-Ar 同位素年龄（ $90 \times 10^6 \sim 130 \times 10^6$ a）相近。

1.1 区域花岗岩同位素组成

对区域花岗岩的氢、氧、锶同位素组成，王炳成等（1983）、徐金方等（1990）已作过

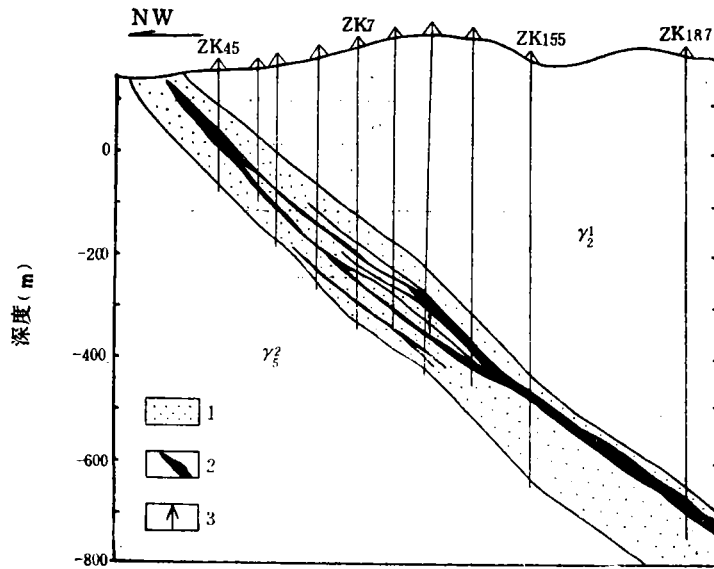


图 2 胶东台上金矿13线地质剖面示意图

(据地质六队, 1988)

̳_{1/2}—元古代花岗岩片麻岩; ̳_{2/2}—燕山期花岗岩; 1—断裂破碎蚀变带 (含基性脉岩); 2—矿体; 3—钻孔
 Fig. 2. Sketch geological section along No. 13 line of the Taishang gold deposit in eastern Shandong.

̳_{1/2}—Proterozoic granite gneiss; ̳_{2/2}—Yanshanian granite; 1—Fractural altered zone (containing basic dikes); 2—Orebody; 3—Drill hole.

报导, 我们在此基础上又作了补充研究, 表 1 中列出了综合的岩浆岩及估算的岩浆水氢、氧同位素组成。从表 1 中看, 胶东焦家式金矿密集区三种类型岩浆岩中, 除了双顶片麻状花岗岩的 Rb-Sr 年龄为 195×10^6 a 及相应的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 0.7028 外, 其余的晚古生代至中生代侵入体初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 0.7094~0.7125 之间, 表明具有高放射成因 Sr 富集, 它们的来源物质相似。但是, 石英和全岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值出现早期玲珑型片麻状花岗岩富集 ^{18}O 且变化大, 而滦家河型花岗岩则亏损 ^{18}O , 前者为原地花岗岩化产物, 而后者为半原地性质侵入体。至中晚期郭家岭型花岗岩又富集 ^{18}O , 成矿期间的大量基性脉岩又强烈亏损 ^{18}O 。上述各期岩浆岩 ^{18}O 含量起伏变化的原因, 王炳成和张理刚等^① 已指出归因于岩浆演化过程中同位素动力分馏作用, 并结合郭家岭岩体、中基性岩石与胶东群的平均 $\delta^{18}\text{O}$ 值, 计算出郭家岭型岩浆岩与中基性岩浆岩的体积比大致为 6:4, 这就暗示出目前地表及浅部的中基性脉岩与深部可能隐伏的中基性岩浆岩相连接, 或者说, 深部可能隐伏有中基性岩浆岩体。李德生 (1981) 的地质-地震-重力剖面资料也证实目前地表以下 10 km 左右为辉长质层。

由于焦家式金矿在空间分布上主要与郭家岭型斑状花岗闪长岩和玲珑型片麻状花岗岩关系密切, 如果这些焦家式金矿成矿流体来自上述两种岩浆岩有关的岩浆水那么我们首先要确定岩浆水和岩浆岩的氢、氧同位素组成。从表 1 中, 两种岩浆水的 $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ 值分别为 $+9.3 \pm 1.5$ 和 7.7 ± 1.0 , 而 $\delta\text{D}(\text{‰})$ 值分别为 -71 ± 13 和 -74 ± 24 。岩浆岩的全岩 $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ 值平均分

① 王炳成、张理刚等, 1993, 胶东金矿稳定同位素地球化学与找矿

表 1 胶东地区变质岩和各种岩浆岩的氢氧同位素组成
Table 1. Hydrogen and oxygen isotopic composition of magmatic and metamorphic rocks in eastern Shandong

岩体类型	岩石特征	年龄 (10 ⁶ a)	初 始 ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$			$\delta\text{D}(\text{‰})$		
				石 英	全 岩	H ₂ O ^①	石英包体	黑云母	H ₂ O ^①
胶东群	片麻状斜长角闪岩	2638		12.1 ± 0.7(2) ^②	8.4 ± 3.0(10)		-89 ± 2(2) ^③	-96 ± 21(4)	
玲珑型	片麻状花岗岩	1950~150	0.7028~0.7160	9.9 ± 1.3(18)	9.1 ± 1.2(17)	7.7 ± 1.0	-77 ± 13(5)	-108 ± 24(2)	-74 ± 24
滦家河型	中粗粒二长花岗岩	152	0.7125	9.0 ± 0.8(12)	7.8 ± 0.8(6)	6.8 ± 0.8	-100(1)	-123 ± 9(4)	-89 ± 9
郭家岭型	斑状花岗岩闪长岩	136	0.7094~0.7121	11.5 ± 0.8(12)	10.1 ± 0.4(11)	9.3 ± 0.8	-81 ± 2(4)	-106 ± 13(7)	-71 ± 13
脉岩	中基性岩脉	130~90			7.4 ± 1.2(7)		-90 ± 2 ^③		

① 根据石英和黑云母的氢氧同位素值, 结合石英-磁铁矿矿物对氧同位素平衡温度 550℃ 和平衡方程 (Zhang 等, 1989; Suzuoki 和 Epstein, 1976) 计算值; ② () 内为样品数; ③ 为全岩样品; 资料来源: 李晓明, 1988; 徐金方等, 1989; 本文

别为 10.1 和 9.1, 而岩浆岩的 δD 值按岩浆水的 δD 减去 10 (根据 800℃ 时角闪石-水氢同位素分馏方程计算) 至 20 (同一温度下黑云母-水氢同位素分馏), 因此, 两种岩浆岩的 δD 值分别为 -81‰ (或 -91‰) 和 -84‰ (或 -94‰)。

1.2 区域中生代大气降水氢氧同位素组成

成矿时期大气降水同位素组成, 通常可采用下列四种办法: ① 利用前人的, 或前人在邻区已有研究资料; ② 利用成矿时期地表风化形成的高岭石类矿物氢氧同位素组成进行估算; ③ 已知高 W/R 体系中强烈 ¹⁸O 亏损蚀变矿物的 δD 值, 再结合温度资料计算 (但这种方法, 可

表 2 胶东地区金(银)矿床成矿后脉石英氢氧同位素组成(‰)
Table 2. Hydrogen and oxygen isotopic composition of post-mineralization vein quartz from gold (silver) deposits in eastern Shandong

样号	矿区	产状	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$	$\delta\text{D}_{\text{石英}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{①}}$	资料来源
216	台上	方解石石英脉		-91		本文
234	焦家	方解石晶洞石英脉	9.9	-92	-1.0	本文
344	十里铺	方解石晶洞石英脉	11.1	-77	-0.2	本文
504	十里铺	乳白色石英脉	7.8	-98	-3.1	张理刚, 1985
507	十里铺	乳白色石英脉	8.9	-79	-2.0	张理刚, 1985
509	十里铺	硫化物石英脉	7.0	-123	-3.9	张理刚, 1985
475	金青顶	灰色玉髓脉	6.8	-119	-4.1	本文
479	金青顶	灰色玉髓脉	7.8	-99	-3.1	本文

① 按最佳均一温度估计, 平均为 220℃ 计算

能存在问题，见后)；④利用成矿晚期阶段具低¹⁸O 石英的包裹体水 δD 值，可代表成矿时期大气降水的 δD 值。但通常采用第四种方法。表 2 中列出了整个胶东地区属明显大气降水成因的成矿晚期具低¹⁸O 特点的脉石英气液包裹体水氢同位素组成。从表 2 中看出，三个矿区晚期阶段 7 个流体 δD 值从 -77‰ 到 -123‰。我们取 4 个 δ¹⁸O_{H₂O} 值低于 -3‰ 值的相应 δD_{H₂O} 值，平均为 -110‰ 左右。而且表 3 中一个方解石石英脉 δD_{H₂O} 值也低达 -107‰。另外，据 So 和 Shelton (1987) 对韩国京几地体中某些脉状金银矿床中石英、方解石流体包体测定，其 δD 值在 -122‰ 到 -143‰ 之间，他们取低值 -140‰ 作为白垩纪时期大气降水的 δD 值。因此，我们取 δD = -120‰ ~ -110‰ 和 δ¹⁸O 为 -16‰ ~ -15‰ 作为胶东地区中生代大气降水的氢、氧同位素组成是比较合理的。

2 焦家式大型金矿床成矿流体的氢、氧同位素组成

表 3 列出了台上及其它大中型焦家式金矿不同阶段脉石英的 δ¹⁸O 值以及石英包裹体水的 δD 值。根据石英的 δ¹⁸O 值和最佳估计温度计算出的 δ¹⁸O_{H₂O} 值也列于表 3 中。从表中看出，石英的 δ¹⁸O 值，从 I 阶段到 III 阶段有明显增高（除焦家一个样品外），即从平均 12.4‰ 到

表 3 焦家式不同金矿床不同成矿阶段脉石英 δ¹⁸O 值(‰)及包裹体水 δD 值(‰)
Table 3. δ¹⁸O of quartz and δD of quartz inclusion water from different mineralization stages of various Jiaojia type gold deposits

矿区	成矿阶段	产状	δ ¹⁸ O	δD _{H₂O}	δ ¹⁸ O _{H₂O} ^①	资料来源
台上 红布 苍上 三山岛 大尹格庄	I	白色块状石英脉	12.1 (2)	-78 (1)	4.7	本文, 黄德业, 1990 黄德业等, 1990 本文, 黄德业, 1990 杜心君等, 1989 本文
		白色块状石英脉	11.9 (2)		4.5	
		白色块状石英脉	12.7 (3)	-77 (1)	5.3	
		白色块状石英脉	14.3 (2)	-62 (2)	6.9	
		白色块状石英脉	10.9 (1)	-78 (1)	3.5	
		平均	12.4 ± 1.2	-73 ± 7.8	4.7 ± 1.2	
台上 焦家 红布 苍上 三山岛 大尹格庄 新城	II	硫化物石英脉	12.2 (4)	-85 (2)	2.8	本文, 黄德业, 1990 本文 黄德业, 1990 本文 杜心君, 1989 本文 张理刚, 1985
		硫化物石英脉	11.4 (2)		2.0	
		硫化物石英脉	13.1 (1)		3.7	
		硫化物石英脉	14.1 (1)	-82 (1)	4.7	
		硫化物石英脉	14.7 (3)	-71 (1)	5.3	
		硫化物石英脉	11.3 (4)	-78 (2)	1.9	
		硫化物石英脉	13.9 (4)	-87 (3)	4.5	
平均	13.2 ± 1.3	-80 ± 6.3	3.5 ± 1.3			
台上 新城 三山岛 焦家	III	石英-方解石脉	15.4 (3)	-91 (1)	4.5	本文, 黄德业1990 张理刚, 1985 李晓明, 1988 本文
		石英-方解石脉	15.0 (2)		4.1	
		方解石-石英脉	13.4 (2)	-92 (1)	2.5	
		方解石-石英脉	13.7 (1)	-107(1)	2.8	
		平均	14.4 ± 1.0	-92 ± 0.6	3.5 ± 1.0	

① 根据均一温度最佳估计 I 阶段 300℃；II 阶段 250℃ 和 III 阶段 220℃ 及石英的 δ¹⁸O 值和石英-水氧同位素分馏方程计算；() 内为样品数

13.7‰, 而石英包裹体水的 δD 值则降低, 从平均 -70% 左右, 降为 -100% 左右。考虑到成矿过程中温度逐渐降低, 即大致从 300°C 降为 200°C 左右, 因此, 石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值向晚期增高, 显然是流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值基本不变情况下沉淀出的石英, 这暗示流体很可能是低W/R体系但略有增加的水-岩相互作用过程。或者说, 整个成矿水-岩相互作用过程是一个缓冲开放体系。

从图3中看出, 焦家式金矿成矿流体的氢、氧同位素组成, 似乎位于 200°C 和 300°C 两条大气降水演化曲线之间。或者位于中生代大气降水(MMW)和岩浆水(MW)之间, 如果由此分别得出结论是 250°C 时大气降水与花岗闪长岩交换作用形成的流体, 或岩浆水与大气降水的混合, 这显然是简单化了。对于成矿流体的解释上, 必须深入研究水-岩相互作用。很显然, 相互作用后形成的流体的氢、氧同位素组成是不同于原始水的同位素组成, 它取决于

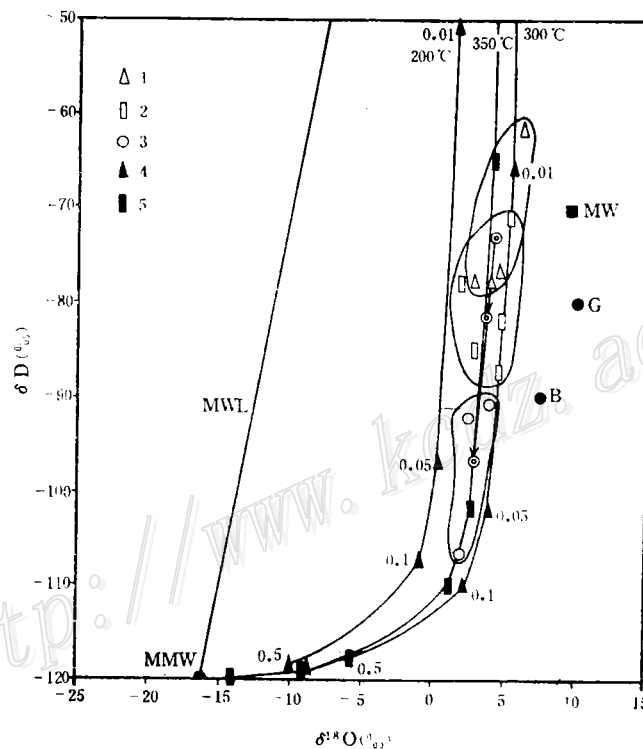


图3 胶东焦家式金矿床不同阶段流体的 δD - $\delta^{18}\text{O}$ 变化图

演化线初始条件: MW为岩浆水 ($\delta^{18}\text{O}=9.1\%$, $\delta D=-71\%$); MMW为中生代大气降水 ($\delta^{18}\text{O}=-16\%$, $\delta D=-120\%$); G: 花岗岩 ($\delta^{18}\text{O}=11\%$, $\delta D=-80\%$); B: 基性岩 ($\delta^{18}\text{O}=7.5\%$, $\delta D=-90\%$); 1—第I阶段成矿流体; 2—第II阶段成矿流体; 3—第III阶段成矿流体; 4—大气降水(MMW)与花岗岩(G)在 200°C 和 300°C 温度和不同W/R比值条件下演化大气降水线; 5—大气降水与基性岩(B)在 350°C 和不同W/R比值条件下演化大气降水线

Fig. 3. δD versus $\delta^{18}\text{O}$ diagram for fluids of different stages in the Jiaojia type gold deposits. Initial parameters: MW—Magmatic water ($\delta^{18}\text{O}=9.1\%$, $\delta D=-71\%$); G—Granite ($\delta^{18}\text{O}=11\%$, $\delta D=-80\%$); MMW—Mesozoic meteoric water ($\delta^{18}\text{O}=-16\%$, $\delta D=-120\%$); B—Basic rock ($\delta^{18}\text{O}=7.5\%$, $\delta D=-90\%$); 1, 2, 3—Ore-forming fluids of Stage I, II and III respectively; 4—Evolutional meteoric water line based on the meteoric water (MMW) interacting with granite (G) at 200°C and 300°C and varied W/R ratios; 5—Evolutional meteoric water line based on exchange of MMW with basic rock (B) at 350°C and varied W/R ratios.

一系列的因素,除了原始水的氢、氧同位素组成影响以外,还取决于其它几个条件,其中最主要的包括水-岩相互作用期间W/R比值大小,主岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 值,以及温度等三大因素。从图3中看出,我们假定主岩的 δ 值和温度条件相同,那么,在较小W/R比值条件下, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值基本稳定不变,但随W/R略微增加或减少,则 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值相应地减少或增加。图3中从I到III阶段, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值有一定降低特点,考虑到成矿温度有所降低,因而暗示出W/R比值略有增加趋势。再者,II阶段的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值已低于岩浆水的值(-70‰),因此,似不可能是再平衡交换的演化岩浆水。

从图3中看出,焦家式金矿成矿流体氢、氧同位素组成的投影点,位于大气降水与岩浆岩相互作用的300℃和200℃演化大气降水线之间,那么,是否就推断出是大气降水与岩浆岩在300~200℃演化大气降水成因呢?如果这样那就要认定深部含矿储体热液的形成温度也就在300℃以下。这一认定显然是不合理的,就拿I成矿阶段流体石英沉积温度300℃来考虑,那么,它的更深部来源储体形成温度肯定要高于300℃,也许在400~350℃以上。因此,图3中二条大气降水-花岗岩交换演化线仅仅是理论上的,不能用来反映焦家式金矿深部淋滤水-岩作用的真实条件。图3中另一条演化大气降水线即大气降水与中基性岩在350℃相互作用后的演化线,也许更能反映出焦家式金矿形成过程中水-岩交换形成的成矿流体氢、氧同位素组成。表3中另一个特征是不同的矿床之间,即使是同一成矿阶段,脉石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值也是有一定差异的,如大尹格庄的明显偏低,而三山岛和苍上的明显偏高,究其原因,很可能与深部淋滤水-岩相互作用体系中是以中基性岩为主,或与高 ^{18}O 花岗闪长岩是否参与有关,或者是低于或高于350℃的不同水-岩相互作用造成的。

3 结 论

(1) 焦家式大型金矿成矿作用包括有3个不同阶段脉石英(但主要为第II阶段),并分别与3次破碎和角砾化构造事件相对应,且愈向晚期,热液和构造活动愈弱。

(2) 焦家式大型金矿成矿沉积温度在300~200℃之间,流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值在+4‰左右, δD 值从I→III阶段由-70‰→-90‰左右。

(3) 焦家式大型金矿缓冲开放热液流体的氢和氧同位素值测定和计算表明,随I→III矿化阶段期间,成矿流体储体形成时大气降水-岩石相互作用W/R值尽管略有增加,但总体有效W/R比值是较低的。

(4) 结合中生代大气降水H、O同位素组成、成矿热液水同位素组成及温度资料,推论出焦家式金矿为大气降水热液成因。成矿流体是由大气降水与深部基性岩在350℃左右,W/R=0.01条件下交换后,在缓冲开放体系中降温形成的。

参 考 文 献

- 1 王炳成,玲珑花岗岩的岩石学和矿物学特征.山东地质,1985,(1):1~12
- 2 李华芹,刘家齐,魏林.热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用.北京:地质出版社,1993.
- 3 李晓明,山东三岛金矿床氧、氢、碳稳定同位素的研究及其应用.地质找矿论丛,1988,(3):205~218
- 4 李德生.渤海湾含油气盆地的地质构造特征.海洋地质研究,1981,(1):15~25
- 5 陈光远,邵伟,孙岱生.胶东金矿成因矿物学与找矿.重庆:重庆出版社,1988.

- 6 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985.
- 7 张理刚. 成岩成矿理论与找矿. 北京: 北京工业大学出版社, 1989.
- 8 骆万成, 伍勤生. 应用蚀变矿物测定胶东金矿的成矿年龄. 科学通报, 1987, (16)
- 9 姚凤良等. 胶东西北部脉状金矿. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990.
- 10 徐金方等. 胶北地块与金矿有关的花岗岩类研究. 山东地质 (专辑), 1989, (2)

WATER-ROCK EXCHANGE IN THE JIAOJIA TYPE GOLD DEPOSIT; A STUDY OF HYDROGEN AND OXYGEN ISOTOPIC COMPOSITION OF ORE-FORMING FLUIDS

Zhang Ligang, Chen Zhensheng, Liu Jingxiu and Yu Guixiang

(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences,
Yichang 443003)

Wang Bingcheng, Xu Jinfang and Zheng Wenshen

(Shandong Institute of Geology and Mineral Resources, Jinan)

Key words: Jiaojia type gold deposit, water-rock exchange, hydrogen and oxygen isotopes, buffering open system

Abstract

The Jiaojia type gold deposit of eastern Shandong, characterized by disseminated ores, occurs in the Linglong granite or in the fractural shatter zone within the metamorphic rock of Jiaodong Group. There are three stages of mineralization: I-quartz + small amounts of sulfides ($280^{\circ}\text{C} \pm$); II-quartz + sulfides ($250^{\circ}\text{C} \pm$); III-calcite + quartz (220°C). Phyllic alteration is most intense and has much to do with gold mineralization. $\delta^{18}\text{O}$ values of quartz are averagely $12.1 \pm 1\%$ (12) for Stage I, $12.9 \pm 1.3\%$ (19) for Stage II and $14.4 \pm 2.0\%$ (8) for Stage III, whereas $\delta_{\text{H}_2\text{O}}$ values of fluid inclusions in quartz are $-73 \pm 8\%$ (5), $-80 \pm 8\%$ (9) and $-97 \pm 8\%$ (3) respectively. From Stage I to Stage III, the calculated $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ values slightly decrease, whereas the $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ values decrease quite obviously, suggesting that the W/R ratio was relatively low at the time of water-rock exchange of the hydrothermal solution but became higher towards the late stage. Supposing the temperature at depth was higher than 350°C during the formation of the hydrothermal solution, it can be known from calculation that the ore-forming fluids were formed through the exchange between meteoric water ($\delta^{18}\text{O} = -15\%$, $\delta\text{D} = -110\%$) and basic rock ($\delta^{18}\text{O} = 7.5\%$, $\delta\text{D} = -0\%$) at $\text{W/R} = 0.01 \pm$. In fact, there are large quantities of basic dikes distributed in the Jiaojia type gold deposit.