

成果与方法

栖霞市马家窑金矿床成矿流体地球化学特征

胡伟华, 邱介玲, 程鑫, 林永芸

(山东省第三地质矿产勘查院, 山东烟台 264003)

摘要:马家窑金矿床是胶东地区比较典型的石英脉型金矿床代表,属中低温热液矿床,成矿流体盐度较低,气相成分以 H_2O 、 CO_2 为主,其次是 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Cl^- , K^+ 和 F^- 较贫,流体的成分与大气降水热液相类似。成矿流体的H、O同位素值则反映大气降水在不同温度和不同水/岩值条件下与栖霞超单元回龙沱单元交换后的分布特征,认为马家窑金矿床的成矿热液属大气降水成因。

关键词:马家窑金矿床;石英脉型金矿;大气降水;流体;包裹体;山东栖霞

中图分类号:P618.51;P616.4

文献标识码:A

栖霞市马家窑金矿床位于鲁东栖霞市城东20 km处马家窑村东。鲁东地区金矿根据围岩可分2大类,即产在花岗岩中的破碎蚀变岩型和石英脉型金矿,常为大型及特大型金矿床,如焦家金矿、玲珑金矿;二是产在栖霞超单元回龙沱单元的金矿,常为中小型金矿,盘(子洞)马(家窑)金矿就是较为典型的代表,许多科研单位、大专院校对其进行了研究,但对其成因尚有不同的认识。一种观点认为该矿是变质热液金矿,主要依据是金矿赋存在栖霞超单元回龙沱单元条带状细粒含角闪黑云英云闪长岩中,为变质的侵入岩;另一种观点推测在矿区深部有岩浆岩体,金矿是深部岩浆热液的产物^[1];还有一种观点认为马家窑金矿具有变质热液和岩浆热液双重成因的特点^[2]。该文通过对马家窑金矿成矿流体的形成温度、盐度和成分及H、O同位素特征等方面的研究,认为该矿床具有大气降水成因的一系列特征^①。通过对该区成矿流体地球化学特征研究,旨在总结该区金矿成矿作用特点,明确找矿方向。

1 矿区地质概况

马家窑金矿床位于胶北隆起,东西向栖霞复背斜近轴部北翼附近, NNE向马家窑-上庄头断裂旁侧。马家窑金矿区出露的地层比较简单(图1),主

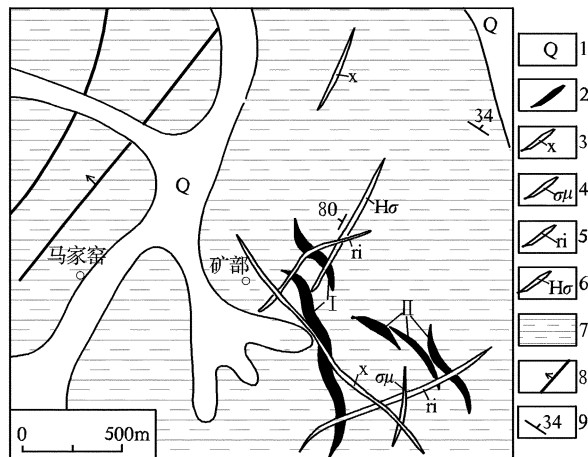


图1 栖霞马家窑金矿床矿区地质简图

1—第四系;2—含金石英脉;3—煌斑岩;4—闪长玢岩;5—细晶岩;6—细粒闪长岩;7—条带状细粒角闪黑云英云闪长岩;8—马家窑-上庄头断裂;9—产状

要在沟谷、河床分布少量零星第四系,其岩性为含砾砂土、砾石、含砾砂质黏土等。岩浆岩分布于该区大部分地区,其岩性为新太古代栖霞超单元回龙沱单元的条带状细粒含角闪黑云英云闪长岩。矿区及附近见有少量脉岩,按形成顺序从早到晚为:细粒闪长岩、细晶岩、闪长玢岩、辉绿岩和煌斑岩等,前人认为该岩脉均为成矿后岩脉^[1],笔者在局部地段见有煌斑岩被含金石英脉错断现象,因此认为成矿前就应

* 收稿日期:2007-06-18;修订日期:2007-12-30;编辑:陶卫卫

作者简介:胡伟华(1964-),男,山东栖霞人,工程师,主要从事地质矿产勘查工作。

①山东省第六地质队,山东省栖霞县马家窑金矿床初步勘探地质报告,1981年。

存在岩脉活动情况。

马家窑金矿床位于栖霞背斜近轴部北翼、马家窑-上庄头断裂带旁侧,产于细粒含黑云英云闪长岩中(图1),近矿围岩蚀变简单,蚀变带宽度不大,仅局限于矿脉两侧,主要为黄铁绢英岩化、硅化、绿泥石化、钾化和碳酸盐化等,围岩蚀变强度较弱,是该矿床一个显著特点^[2]。根据矿物成分、组合成分、特征和结构构造及相互穿插等特点,可将成矿作用大致划分3个阶段:成矿前期黄铁绢英岩化阶段;成矿期石英多金属硫化物阶段;成矿后期石英碳酸盐阶段。金的富矿体大多位于多期矿化叠加的中心部位。

马家窑金矿床由I号和II号2条矿脉组成。在地表I号矿体是连续的,II号矿体成雁列式排列,2条矿脉在NW向收敛,向SE呈散开的帚状(图1)。I号矿体平均金品位较高,矿化较好,矿体较长,含大量的黄铁矿等金属矿物,厚度比较大,并且相对稳定,是主要的产金地段;II号矿体由于矿化不理想,品位低,曾一度停止生产。

2 矿床流体包裹体地球化学特征

该文主要对马家窑金矿的I号矿脉进行成矿流体地球化学研究。矿床流体包裹体地球化学研究可以用来确定成矿热液温度、估算压力,确定矿床成因及物质来源和形成条件,对于指导矿山深部探矿及寻找盲矿体具有一定作用。

通过在I号矿脉143中段、80中段、50中段、20中段采集10余件含金石英脉样品,开展了以石英为主的流体包裹体研究。均一法测温在莱兹偏光显微镜和TH600热台上进行;爆裂温度在PD-1型自动爆裂仪上测得。包裹体气相色谱检出限大于 10^{-5} ;液相成分分析采用去离子水研磨萃取法,样品为经处理后的40~80目石英,液相成分检出限大于 10^{-9} 。

2.1 流体包裹体特征及成矿温度

马家窑金矿床的流体包裹体有3种类型:富液体包裹体,由液体和少量气体组成,气液百分比小于50%,升温均一至液相;富气体包裹体,由气体和少量液体组成,气液百分比大于50%,升温时一般均一至气相;含液相 CO_2 的多相包裹体,室温下有液态 CO_2 、气体和水溶液组成,均一至气相或液相。3

种类型中以液相包裹体为主,未见含 NaCl 等子晶的多相包裹体。流体包裹体普遍较小,最大直径一般为 $3\sim6\mu\text{m}$,大于 $10\mu\text{m}$ 者较少见。包裹体形态较规则,多为圆形、浑圆形,常以不均匀群体产出,分布多局限于同一晶体内部,气液包裹体大多属原生成因。在第III阶段的少数样品中,还发现少量直径达 $20\mu\text{m}$ 的液相包裹体,该包裹体形状极不规则,使其冷却接近 -180°C 的低温,也未见到明显的凝固现象,推测这类包裹体属有机包裹体。

马家窑金矿床的成矿温度具有以下特点:

(1) 流体包裹体均一温度(未经压力校正)范围较宽,绝大部分在 $120\sim320^\circ\text{C}$ 区间内变化,少数包裹体的均一温度可达 380°C 左右。

(2) 成矿前期至成矿后期成矿温度逐渐降低(图2),成矿前期均一温度在 $180\sim320^\circ\text{C}$ 之间变化,大多数为 250°C ;成矿期在 $160\sim250^\circ\text{C}$,大部分在 200°C ;成矿后期在 $120\sim200^\circ\text{C}$ 之间,大部分为 150°C 。

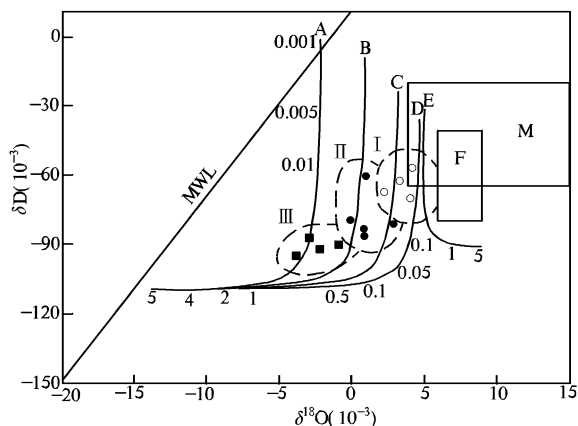


图2 大气降水和侵入岩交换过程中的H、O同位素演化

A、B、C、D分别为大气降水在 150°C 、 200°C 、 250°C 和 300°C 时在水/岩交换过程中的演化曲线;E为岩浆水在 300°C 时的演化曲线;F、M为岩浆水和变质水同位素组成;I、II和III分别为马家窑金矿床成矿前、成矿期和成矿后期热液的投影点;

MWL为大气降水线

2.2 流体包裹体气、液相成分特征

马家窑金矿床流体包裹体的气相成分(表1)以 H_2O 和 CO_2 占绝对优势, CO 、 CH_4 和 H_2 等还原型气体的含量较低。从成矿前期→成矿期→成矿后期,还原参数逐渐由小变大,说明成矿期氧逸度较高,在成矿前期黄铁石英脉中可见钨铁矿和镜铁矿也证

实了这一点,在 172 中段南见有钨铁矿,整个成矿过程由弱氧化环境向弱还原环境演变,流体包裹体气相平均组成(摩尔分数)大约是:H₂O 81.29%,CO₂ 13.38%,CO 2.13%,H₂ 2.73%,CH₄ 0.47%。

表 1 栖霞马家窑金矿床流体包裹体气相成分

测定 矿物	矿化 阶段	样品数	气相成分(μg/g)					摩尔分数(%)					还原 参数
			CO ₂	CH ₄	H ₂	CO	H ₂ O	CO ₂	CH ₄	H ₂	CO	H ₂ O	
石英	I	2	73.2	0.55	0.25	4.35	155.7	15.22	0.36	3.89	1.42	79.12	0.37
	II	3	60.6	0.85	0.36	5.52	127.4	15.49	0.68	2.02	2.22	79.59	0.32
	III	2	48.4	0.60	0.53	8.94	178.6	9.44	0.37	2.27	2.74	85.17	0.57

流体包裹体液相成分分析表明(表 2):成矿流体中的 Na⁺和 Cl⁻的含量较高,而 K⁺和 F⁻的含量较低。所有分析的 7 个样品,Na⁺/K⁺值均大于 10,F⁻/Cl⁻值则小于 0.01,而且 Ca²⁺的含量较高,有 5 个样品分析平均值 Ca²⁺ > Na⁺ > K⁺,2 个样品分析平均值 Na⁺ > Ca²⁺ > K⁺,可以看出这是马家窑金矿

成矿流体液相成分的显著特点,另外一些研究者所进行的分析也显示出相类似的结果^[1~2]。此外,包裹体溶液在分析时经去离子水稀释后,pH 值仍然与去离子水的 pH 值有所不同,成矿溶液从早期至晚期酸性增强,Eh 值降低。

表 2 栖霞马家窑金矿床流体包裹体液相成分

测定 矿物	矿化 阶段	样品 数	pH	Eh (mV)	液相成分(10 ⁻⁶)									
					K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺	F ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺ /K ⁺	F ⁻ /Cl ⁻
石英	I	2	7.2	195.0	1.68	18.84	20.62	0.48	0.24	23.96	18.6	6.47	11.21	0.01
	II	3	6.6	156.0	0.84	11.78	16.56	0.35	0.20	28.74	14.64	4.33	14.02	0.007
	III	2	4.95	138.5	1.09	14.32	8.54	0.40	0.16	19.45	19.48	7.56	13.14	0.008

成矿流体的 Na⁺/K⁺值和 F⁻/Cl⁻值,可作为判别成矿热液来源的一个重要标志。有关资料显示:岩浆热液的 Na⁺/K⁺的值一般小于 1;变质岩、伟晶岩石英脉的 Na⁺/K⁺值通常大于 1,且波动较大;而与沉积或地下热卤水有关的矿床 Na⁺/K⁺值较高。有关专家研究密西西比河谷型铅锌矿的 Na⁺/K⁺ ≈ 17。同样 F⁻/Cl⁻值大于 1 或接近于 1 是某些斑岩型锡矿、伟晶岩和夕卡岩矿床成矿流体的标志;F⁻/Cl⁻值很小时,则反映原生沉积或地下热卤水成因。有关专家认为^[3],花岗质岩浆富含钾、钠和贫钙,在其结晶过程中钙易富集于早期结晶的斜长石和暗色矿物中,所以岩浆热液更应是富钾、钠和贫钙,即岩浆结晶不可能产生富钙的热液,大气降水转化而成的地下热水或热卤水常常具有富钙(Ca²⁺ > Na⁺ > K⁺)或钙含量较高(Na⁺ > Ca²⁺ > K⁺)的特点。与此相比较,马家窑金矿床成矿流体的成分显然与大气降水热液组分相类似,成矿早期热液呈弱碱性和氧逸度较高,甚至可出现镜铁矿,这也是大气降水热液的典型特征。

马家窑金矿床流体包裹体的冰点(最后一个冰晶消失温度)在-5.0~-2.5℃范围内变化,由此可以确定该矿床的成矿流体盐度约为 4.2%~7.9%,数据分布较集中,说明成矿流体盐度较低,这也与大气降水热液的特点相一致。由流体包裹体的均一温度和盐度数据求得成矿流体总密度范围为 0.80~0.90g/cm³^[4]。

3 H,O 同位素组成和热液来源

马家窑金矿床不同成矿阶段的 H,O 同位素分析结果(表 3),其中 δ¹⁸O_{H₂O}由 δ¹⁸O_{石英}经分馏方程计算而得,δD_{H₂O}则直接由石英流体包裹体水测得。马家窑金矿床赋存在新太古代栖霞超单元回龙脊单元条带状细粒含角闪黑云英云闪长岩内,其值为 δ¹⁸O ≈ 9.5 × 10⁻³,δD ≈ -90 × 10⁻³可作为马家窑金矿床有关的区域变质岩的 H,O 同位素组成。马家窑金矿区及其附近未见有岩浆岩出露,矿区东南 10 km 处出露有唐家泊岩体,岩性与郭家岭岩体相类似,推测该岩体有可能向 NW 方向侧伏延伸隐伏于马家窑

金矿区深部^[1],因此,假定一个存在于马家窑金矿区深部的隐伏岩体,可能提供的岩浆水的 H,O 同位素组成与郭家岭花岗闪长岩的相类似,即 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} \approx 9.0 \times 10^{-3}$, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -90 \times 10^{-3}$ 。胶东地区中生代大气降水的 $\delta^{18}\text{O} \approx -15 \times 10^{-3}$, $\delta\text{D} = -110 \times 10^{-3}$ 。该参数对于了解马家窑金矿成矿流体在水/岩交换过程中 H,O 同位素的演化趋势,从而推断成矿热液的来源,具有很重要意义。

表 3 栖霞马家窑金矿床的 H,O 同位素组成

序号	产状	$\delta^{18}\text{O}$ (10^{-3})	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (10^{-3})	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ (10^{-3})	t ($^{\circ}\text{C}$)
1	成矿前黄	13.4	4.5	-56	250
2	铁矿绢英	13.3	4.3	-70	
3	岩化阶段	11.8	2.8	-68	
4	(I)	12.4	3.5	-62	
5	成矿期多	13.8	2.8	-81	200
6	金属硫化	12.0	0.9	-84	
7	物阶段	11.9	0.8	-86	
8	(II)	11.2	0.1	-80	
9		12.3	1.2	-60	150
10	成矿后期	12.4	-2.3	-92	
11	石英碳酸	11.0	-3.6	-95	
12	盐阶段	13.9	-0.8	-90	
13	(III)	11.7	-2.9	-88	

图 2 是依据水/岩反应过程中质量平衡方程,经计算得到的不同温度条件下岩浆水和大气降水与栖霞超单元回龙脊单元侵入过程中所形成热液的 H,O 同位素组成的演化曲线,其中初始参数如前所述。马家窑金矿床不同矿化阶段成矿溶液 H,O 同位素

值在图 2 中的投影点,总体上看来与岩浆水演化曲线相差很大,而与相应温度的大气降水演化曲线比较吻合。虽然成矿早期的投影点似乎与岩浆曲线也比较接近,但成矿早期热液的温度似乎不高。从成矿早期至晚期,大气降水与侵入岩相互作用的有效水/岩值有增大的趋势,成矿前的水/岩值约为 0.005~0.01,成矿期的水/岩值约为 0.01~0.05,成矿后期水/岩值约为 0.05。在图 2 中,马家窑金矿成矿热液的 H,O 同位素值分布,很好地反映了大气降水在不同温度和不同水/岩值条件下与侵入岩交换后的特征。因此,可以认为马家窑金矿床的成矿热液属大气降水成因,该矿床的成矿流体盐度低,以及流体的气、液相成分等一些特征也与此相一致。此外,综观马家窑金矿床的成矿过程,其水/岩值较低,也可能是该矿床围岩蚀变不十分强烈、规模偏小的一个主要原因。

参考文献

[1] 陈光远,邵伟,孙岱生,等. 胶东金矿成因矿物学与找矿[M]. 重庆:重庆出版社. 1989,125-234.

[2] 李兆龙,张连营,肖秀梅,等. 胶东马家窑金矿地质地球化学特征及矿床成因[J]. 地质找矿论丛,1990,5(3):36-48.

[3] 季克俭,王立本. 热液源研究的重要进展和“三源”交代热液成矿学说[J]. 地学前沿,1994,1(4):126-132.

[4] 卢焕章,李秉伦,沈昆,等. 包裹体地球化学[M]. 北京:地质出版社,1990,102-154.

Geochemical Characteristics of Ore – forming Fluid in Majiayao Gold Deposit in Qixia City

HU Wei – hua, QIU Jie – ling, CHENG Xin, LIN Yong – yun

(No. 3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Yantai 264003, China)

Abstract: Majiayao gold deposit is the representative of typical quartz vein type gold deposits, which belongs to low temperature thermal deposit. Salinity of ore – forming fluid is rather low, and vapor phase compositions are majorly composed of H₂O and CO₂, accompanying with Na⁺, Ca⁺, K⁺ and F⁻. Components of fluid is similar with meteoric water. Isotopic values of H and O in ore – forming fluid reflect distribution characteristics of meteoric water under different temperature, water and rock values after being changed with Huilongkuang unit of Qixia superunit. It is regarded that ore – forming hydrothermal solution of Majiayao gold deposit is meteoric water hydrothermal solution.

Key words: Majiayao gold deposit; quartz vein gold deposit; meteoric water; fluid; inclusion; Qixia in Shandong province