

胶东金翅岭金矿成矿流体特征及地质意义

杨 柳^{1,2}, 邹海洋^{1,2}, 杨 牧^{1,2}, 柯朝晖^{1,2}

(1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;

2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083)

摘 要: 为了解胶东金翅岭金矿成矿流体特征, 开展流体包裹体研究。结果表明: 矿石石英中主要发育 H₂O-CO₂ 包裹体、富 CO₂ 包裹体和 H₂O 溶液包裹体 3 种类型, 成矿流体均一温度、盐度及密度分别为 120~362 °C, 3.2%~9.0%, 0.34~0.94 g/m³, 为中低温、低盐度及低密度流体; 包裹体液相成分阳离子以 K⁺、Na⁺、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 为主, 阴离子以 SO₄²⁻、Cl⁻ 和 F⁻ 为主; 气相成分以 H₂O、CO₂ 和 CH₄ 为主。结合矿区前人研究, 认为该成矿流体是多源流体混合并经历水岩反应演变而成。

关键词: 成矿流体; 包裹体; 金矿床; 金翅岭

中图分类号: P619.31

文献标志码: A

Ore-forming fluid characteristics and genesis of Jinchiling gold deposit in Jiaodong

YANG Liu^{1,2}, ZOU Hai-yang^{1,2}, YANG Mu^{1,2}, KE Zhao-hui^{1,2}

(1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;

2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: To clarify the characteristics of ore-forming fluid of the Jinchiling gold deposit, fluid inclusion study was carried out. The results show that the inclusions consist of three types: H₂O-CO₂, CO₂ and H₂O inclusions. The compositions of cation and anion ions in liquid and gas of the inclusions are mainly respectively Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺; SO₄²⁻, Cl⁻, F⁻; H₂O, CO₂ and CH₄. The homogenization temperature, salinity and density of the fluid inclusions for the mineralization change from 120 °C to 362 °C, 3.2% to 9.0% and 0.34 g/m³ to 0.94 g/m³, respectively, which show that these inclusions belong to middle-low temperature, low salinity and low density fluid. Combined with analyses of other researches, it is found that the ore-forming fluid following water-rock reaction is the mixture of multi-source fluid during its evolution.

Key words: ore-forming fluid; fluid inclusion; gold deposit; Jinchiling

胶东金矿集区内断裂构造极为发育, 并具有多期次活动、多级别组合及不同变形层次等特征, 是区内金成矿的重要控矿因素。从已知矿床(点)分布及其与主干断裂带的关系来看, 主干断裂控制着特大、大型矿床, 次级断裂控制着中、小型矿床。然而, 在招平断裂带中段远离主断裂 5 km 处发现了大型金矿^[1], 说明下盘派生或伴生的次级断裂同样具有形成大矿的潜

力。因此, 重新审视次级断裂的成矿潜力、加深对次级断裂内金成矿认识, 对促进该区域内的金矿找矿工作具有指导意义。

金翅岭金矿位于招远—莱州金成矿带中部, 远离带内主断裂带, 系典型的受次级断裂控制的金矿床(见图 1)。本矿区研究程度较低, 积累了部分同位素及岩石学研究成果, 尚未开展系统的流体包裹体研究。为



图1 胶东金翅岭金矿地质简图: 1—太古代变质岩; 2—元古代变质岩; 3—第四系; 4—中生代花岗岩; 5—白垩系火山岩; 6—金矿; 7—断裂带; 8—城市; 9—研究区

Fig. 1 Geological sketch map of Jinchiling gold deposit in Jiaodong: 1—Archean metamorphic rock; 2—Proterozoic metamorphic rock; 3—Quaternary; 4—Mesozoic granite; 5—Cretaceous volcanic rock; 6—Gold deposit; 7—Fault belt; 8—City; 9—Studied area

此, 本文作者以金翅岭金矿作为研究对象, 开展流体包裹体研究, 探讨次级断裂带内金矿成矿流体性质、来源、演化及其成因特点。

1 区域地质背景

胶东金矿集区地处华北地台东缘, 按地洼学说观点^[2], 自印支晚期以来, 本区进入大地构造重要的发展阶段——地洼阶段, 燕山期为地洼阶段的激烈期, 形成莱阳组类磨拉石建造, 并伴有强烈构造-岩浆活动。招远—莱州金成矿带位于胶东金矿集区西部, 区内三山岛、黄掖及招平3条北北东向大断裂共同控制成矿带, 许多特大型和大型金矿都赋存于上述断裂的下盘。金翅岭金矿处在黄掖及招平断裂带中间地带, 区内出露玲珑混合花岗岩, 地表大部分被第四系浮土所覆盖。矿体产于玲珑混合花岗岩与深部隐伏郭家岭花岗闪长岩的内接触带上。矿区内次级断裂构造发育, 矿体产出受次级断裂构造控制, 多呈透镜状和脉状, 走向北东及北北东向、倾向南东。矿化伴随不同

强度的围岩蚀变, 包括黄铁矿化、硅化、绢英岩化、钾化和碳酸岩化。根据坑道编录、矿石结构构造及矿物共生组合等特征, 金翅岭金成矿期可划分为4个阶段: I黄铁矿-绢云母-石英脉阶段→II黄铁矿-石英阶段→III多金属硫化物-石英阶段→IV石英-碳酸盐阶段。其中黄铁矿-石英阶段和多金属硫化物-石英阶段是金的主要成矿阶段。

2 样品的选取与分析测试

通过详细的野外工作, 分别在金翅岭金矿-110 m及-270 m中段采集具有代表性的新鲜矿石样品, 挑选适宜样品磨制成厚度约为0.2 mm双面剖光的光薄片进行岩相学与流体包裹体观察, 从余下的副样中挑选石英及黄铁矿制备单矿物样品, 进行包裹体的气、液相成分测定。

流体包裹体测温工作主要在中南大学地质研究所流体包裹体测温实验室进行。实验仪器为英国产Linkam THMS600型冷热台, 该设备实验温度范围的理论值为-196~600℃, 其测定精度在-120~-70℃区间内为±0.5℃、-70~100℃区间内为±0.2℃、100~300℃区间内为±1℃及在300℃以上为±2℃。测温工作开始前, 采用人工合成CO₂包裹体、纯水包裹体和重铬酸钾进行校正。在流体包裹体温度测试过程中, 升温 and 降温速率控制在0.1~5℃/min, 为准确记录包裹体相转变温度, 均一温度附近的升温速率和接近冰点时的回温速率控制在0.1℃/min。

包裹体成分测定对象为矿石中石英、黄铁矿及方解石, 由中南大学地质研究所流体包裹体气-液相成分测定实验室完成。气相成分分析仪器为Varia-3400型气相色谱仪(美国生产), 分析误差<5%。液相成分分析仪器为美国戴安公司生产的DX-120Ion Chromatograph离子色谱仪。淋洗液为2.5 mmol/L邻苯二甲酸+2.4 mmol/L三(羟)甲基氨基甲烷; 流速: 阴离子为1.2 mL/min, 阳离子为1.0 mL/min。重复测定精密度<5%。

3 流体包裹体研究

3.1 包裹体类型

显微镜下显示, 各成矿阶段样品中均含有较丰富的包裹体, 呈成群分布、带状分布或随机零散分布(见图2)。根据各类包裹体在室温(25℃)下的物相特征,

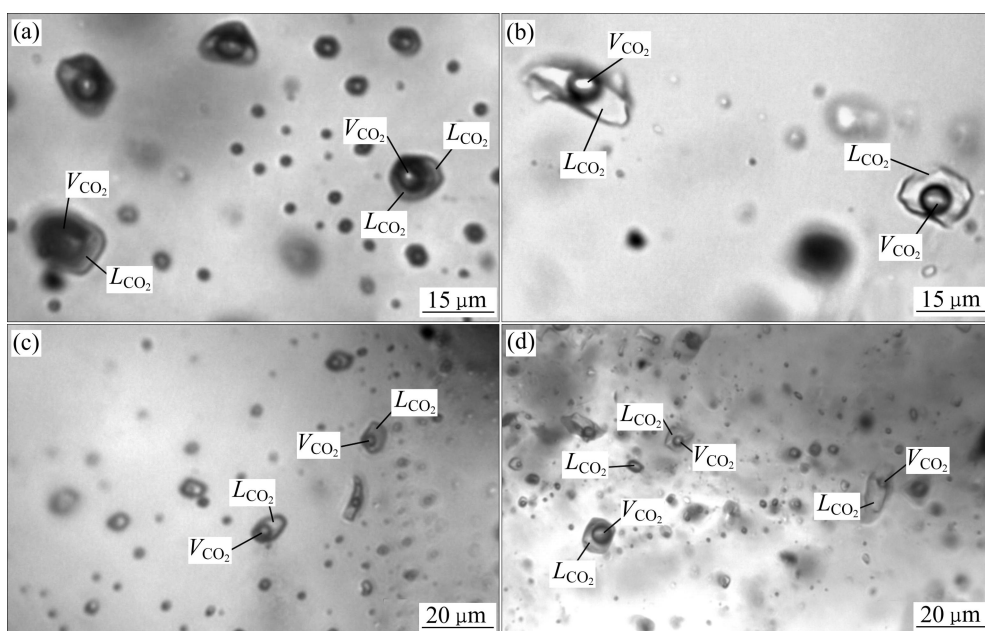


图2 金翅岭金矿石英中的流体包裹体照片: (a) 富 CO_2 包裹体; (b) 含 CO_2 包裹体; (c) 气-液两相 H_2O 包裹体; (d) 含 CO_2 包裹体和 H_2O 包裹体共存

Fig. 2 Micrographs of fluid inclusions in Jinchiling gold deposit: (a) CO_2 -rich fluid inclusion; (b) CO_2 -bearing fluid inclusion; (c) Liquid-vapor two-phase H_2O fluid inclusion; (d) Coexistence of CO_2 -bearing fluid inclusion and H_2O fluid inclusion

将流体包裹体分为 4 种类型: 富 CO_2 包裹体、含 CO_2 包裹体、气-液两相 H_2O 包裹体和纯液相 H_2O 包裹体。富 CO_2 包裹体室温下相态为两相($L_{\text{CO}_2} + L_{\text{H}_2\text{O}}$)或三相($L_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}_2} + L_{\text{H}_2\text{O}}$), CO_2 相($L_{\text{CO}_2} \pm V_{\text{CO}_2}$)体积与总体积比一般不小于 60%, 大小多在 $16 \mu\text{m}$ 以下, 形态以负晶形、椭圆形及长条形为主; 含 CO_2 包裹体室温下为三相($L_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}_2} + L_{\text{H}_2\text{O}}$)或两相($V_{\text{CO}_2} + L_{\text{H}_2\text{O}}$), CO_2 相($L_{\text{CO}_2} \pm V_{\text{CO}_2}$)体积与总体积比一般不小于 60%, 大小多为 $3 \sim 12 \mu\text{m}$, 形态多为负晶形、椭圆形和近四边形; 气液两相 H_2O 包裹体室温下为两相($L_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{H}_2\text{O}}$), 体积变化较大(粒径为 $1 \sim 22 \mu\text{m}$), 形态多为负晶形、椭圆形、近四边形及不规则状; 纯液相 H_2O 包裹体室温下均为液相($L_{\text{H}_2\text{O}}$), 该类包裹体大部分体积很小, 粒径多数在 $3 \mu\text{m}$ 以下, 形态多为长条形、近椭圆形及不规则状。

3.2 流体包裹体显微测温

从 9 个不同成矿阶段样品中挑选具有代表性、形态完整及大小适中(以粒径 $4 \sim 15 \mu\text{m}$ 为主)的原生包裹体进行测温。测定富 CO_2 及含 CO_2 型包裹体的固相 CO_2 熔化温度(t_{m,CO_2})、 CO_2 水合物溶解温度($t_{\text{m},\text{clath}}$)、 CO_2 液-气(部分)均一温度(t_{h,CO_2})和 CO_2 - H_2O 完全均一温度($t_{\text{h},\text{TOT}}$); 测定气液两相及单相 H_2O 溶液包裹体

测定冰点温度($t_{\text{m},\text{ice}}$)和液-气均一温度($t_{\text{h},\text{TOT}}$), 测温结果见图 3 及表 1。

成矿早期阶段(第 I 阶段): 以含 CO_2 包裹体为主要测温对象, 测得含 CO_2 包裹体的固相 CO_2 熔化温度(t_{m,CO_2})为 $-59.2 \sim -58.1^\circ\text{C}$, 明显低于纯 CO_2 三相点温度(-56.6°C), 表明包裹体中除含 CO_2 外, 可能还有 CH_4 和 H_2S 等挥发性组分^[3], 该结果与后述包裹体成

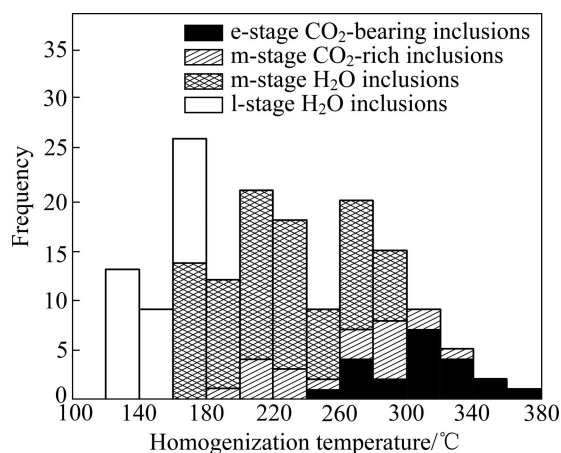


图3 金翅岭金矿不同成矿阶段流体包裹体均一温度直方图

Fig. 3 Histogram of total homogenization temperature of fluid inclusions in different mineralization stages in Jinchiling gold deposit

表1 金翅岭金矿流体包裹体显微测温结果

Table 1 Summary of microthermonetric data on fluid inclusions in Jinchiling gold deposit

成矿阶段	包裹体主要类型	$t_{m,CO_2}/^{\circ}C$	$t_{m,clath}/^{\circ}C$	$t_{h,CO_2}/^{\circ}C$	$t_{m,ice}/^{\circ}C$	$t_{h,TOT}/^{\circ}C$	$w(NaCl_{eqv})/\%$
成矿早期 (第I阶段)	含CO ₂ 包裹体	-59.3~-58.1	5.0~8.4	21.6~31.2		258~362	3.2~9.0
主成矿期 (第II、III阶段)	富CO ₂ 包裹体 气液两相H ₂ O包裹体	-59.7~-58.2	5.1~7.8	20.7~30.9	-4.1~-3.4	180~316 159~307	4.3~6.7 4.9~7.5
成矿晚期 (第IV阶段)	气液两相H ₂ O包裹体				-2.5~-2.2	120~152	3.6~5.5

分测定结果吻合。包裹体笼合物融化温度($t_{m,clath}$)为5.0~8.4℃,CO₂部分均一多至气相,部分均一温度(t_{h,CO_2})为26.1~31.2℃,完全均一温度($t_{h,TOT}$)为258~362℃。

主成矿阶段(第II~III阶段):样品中以富CO₂包裹体、气液两相水溶液包裹体为主。本阶段富CO₂包裹体固相CO₂融化温度(t_{m,CO_2})为-59.7~-58.2℃,表明包裹体中除含CO₂外,可能还有CH₄和H₂S等挥发性组分^[3],与后述包裹体成分测定结果吻合。包裹体笼合物融化温度($t_{m,clath}$)为5.1~7.8℃,CO₂部分均一至液相,少数均一到气相,部分均一温度(t_{h,CO_2})为20.7~30.9℃,完全均一温度($t_{h,TOT}$)为180~316℃。

本阶段气-液两相H₂O溶液的冰点温度($t_{m,ice}$)为-4.1~-3.4℃,完全均一温度($t_{h,TOT}$)为159~307℃,多均一至液相。在冷冻-加热过程中,极少数气-液两相水溶液包裹体出现初熔现象,初熔温度低于纯NaCl-H₂O体系标准共熔点(-20.8℃),说明该类包裹体捕获的热液流体中除Na⁺外,还含有一定量的其他阳离子成分^[4],该现象与后续包裹体群体成分测试结果显示流体在该阶段存在一定量的K⁺、Ca²⁺和Mg²⁺等阳离子成分的结果相吻合。

成矿晚期(第IV阶段):以单相H₂O溶液包裹体及气-液两相H₂O溶液包裹体为代表,该类包裹体冰点温度($t_{m,ice}$)为-2.5~-2.2℃、均一温度为120~152℃,数据显示相对主成矿期,成矿后期流体均一温度和盐度均明显降低。

3.3 流体包裹体气-液相成分

分析了石英、方解石、黄铁矿体群体气-液相成分共计8个。分析结果见表2。

包裹体液相成分中主要阳离子为K⁺、Na⁺、Ca²⁺及Mg²⁺,且阳离子含量随成矿阶段演化具明显变化。成矿流体在早期,K⁺和Na⁺含量明显多于Ca²⁺和Mg²⁺含量,并在主成矿阶段继续增加,而在进入成矿晚期含量降低,Ca²⁺和Mg²⁺含量则仅在成矿晚期明显增加,

致使晚期Ca²⁺和Mg²⁺的总含量明显高于K⁺和Na⁺的总含量,同时在演化过程中K⁺含量均高于Na⁺含量。

包裹体流体中主要阴离子为SO₄²⁻、Cl⁻和F⁻。流体中SO₄²⁻含量最高,并随成矿阶段演进变化。早期成矿阶段,流体中含有较多的SO₄²⁻,S²⁻在热液中会被氧化为SO₄²⁻,因此,该阶段SO₄²⁻含量可反映流体中HS⁻的数量,暗示本区内金可能是以金硫络合物的形式迁移;主成矿期流体SO₄²⁻含量的增加则是主成矿期黄铁矿化发育的反映;成矿晚期转入碳酸盐化阶段SO₄²⁻含量随即骤减。成矿流体中Cl⁻含量高于F⁻含量,且随着成矿的进行,Cl⁻和F⁻的浓度比逐渐降低。

包裹体气相成分主要为H₂O、CO₂、CH₄和少量H₂,其中,H₂O占绝对优势,说明成矿流体为富含CO₂的热水溶液。气相组分中有一定量的CH₄和H₂,指示成矿环境可能为弱还原环境,且(H₂+CH₄)/CO₂比值变化显示从成矿早期至晚期,成矿环境还原性逐渐降低。

结合野外矿石矿物组合特征,推测成矿流体中可能还包含Fe²⁺、Cu²⁺、Pb²⁺和Zn²⁺等金属离子以及HS⁻、HCO₃⁻和络阴离子团。同时,从本区矿脉中大量产出的石英可判断成矿流体中应该富含SiO₂。

4 讨论

4.1 流体特征

根据盐度冰点对应关系表^[5],矿区主成矿阶段及成矿后期气-液两相H₂O溶液包裹体冰点温度对应盐度值分别为4.9%~7.5% NaCl_{eqv}及3.6%~5.5% NaCl_{eqv};据盐度及均一温度关系相图估算^[6-7]两阶段相应流体密度分别为0.76~0.83 g/cm³及0.82~0.94 g/cm³。

根据CO₂笼合物熔化温度和盐度的关系^[8],获得成矿早期及主成矿期含CO₂包裹体盐度分别为3.2%~9.0% NaCl_{eqv}及4.3%~6.7% NaCl_{eqv};依据CO₂的均一方式是均一到液相还是均一到气相,选择不同的CO₂体系热力学方程或相图^[3],估算含CO₂包裹体总体密度分别为0.82~0.94 g/cm³及0.34~0.76 g/cm³。

表 2 金翅岭金矿包裹体气-液相成分及相关参数

Table 2 Gas and liquid compositions of fluid inclusion in Jinchiling gold deposit and their related parameters

特性	样品号	Y65-1	J49-1	Y16-4	Y16-1	J49-2	Y16-5	Y5-2	Y6-2
	成矿阶段	I	I	II	II	III	III	IV	IV
液相	成矿期矿物	石英	石英	石英	石英	黄铁矿	黄铁矿	方解石	方解石
	$w(K^+)/10^{-6}$	10.4	11.30	39.42	36.96	15.7	10.2	0.347	0.664
	$w(Na^+)/10^{-6}$	7.47	7.25	6.73	11.0	2.14	2.44	0.641	1.06
	$w(Ca^{2+})/10^{-6}$	4.69	4.93	4.39	6.07	11.0	8.45	8.72	9.16
	$w(Mg^{2+})/10^{-6}$	0.435	0.467	3.05	1.03	0.289	0.91	5.90	6.71
	$w(Cl^-)/10^{-6}$	1.60	1.59	1.96	2.01	0.671	0.781	1.02	0.992
	$w(SO_4^{2-})/10^{-6}$	9.00	9.33	23.8	29.3	108	149	4.75	5.24
气相	$w(F^-)/10^{-6}$	0.389	0.407	0.641	0.523	0.293	0.358	0.302	0.345
	$n(H_2)/\%$	4.37	5.23	3.60	3.32	0.895	1.19	1.53	1.12
	$n(CH_4)/\%$	22.2	22.6	22.9	22.8	3.66	1.94	14.2	12.3
	$n(CO_2)/\%$	78.5	82.3	44.9	45.1	105	145	130	152
特征值	$n(H_2O)/\%$	896	887	964	982	1 038	1 193	1 164	1 183
	K^+/Na^+	1.39	1.56	5.86	3.36	6.41	4.17	0.54	0.618
	Ca^{2+}/Mg^{2+}	10.8	10.6	1.44	5.89	37.9	9.28	1.48	1.37
	Cl^-/F^-	4.10	3.91	3.51	3.84	2.29	2.18	3.38	2.88
	$(K^++Na^+)/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$	3.50	3.44	6.21	6.76	1.58	1.38	0.068	0.11
	$(H_2+CH_4)/CO_2$	0.338	0.338	0.59	0.579	0.043	0.022	0.12	0.088

测试单位：中南大学地质研究所流体包裹体气液相成分测定实验室。

包裹体测温结果显示，金翅岭金矿流体均一温度为中低温，其流体盐度在成矿早期较低，但在主成矿期升高，并随后在成矿期后降低。对比前人流体包裹体研究，金翅岭金矿与金矿集区内多数金矿包裹体特征^[9-12]相似：均发育气-液两相 H₂O 包裹体、含 CO₂ 包裹体及富 CO₂ 包裹体；总体均一温度相近，集中在中低温范畴内，且盐度较低，主成矿期也存在流体盐度波动现象。因此，胶东矿集区具有较一致的成矿流体介质条件。

4.2 流体的演变

金翅岭金矿包裹体数据结果显示，成矿流体具有明显的演进过程。金翅岭金矿成矿早期为中-高温、富含 CO₂、低盐度的 H₂O-CO₂-NaCl 体系，明显区别于典型的岩浆热液(高温、高盐度)，金翅岭金矿近矿围岩早期大面积发育钾化、成矿早期阶段绢云母化发育，表明成矿流体经历明显水岩反应。包裹体固相 CO₂ 熔化温度较低及气、液成分分析均指示流体中存在一定量的 CH₄ 或 C₂H₆，因此不排除变质水参与的可能，矿区内前人流体氢、氧同位素研究结果显示，区内流

体以幔源为主，并存在大气降水的影响^[13-14]。可推测金翅岭金矿早期成矿流体体系幔源流体与多源流体混合并经历水岩反应演变而成，因此，与典型岩浆热液区别明显。

主成矿阶段，流体均一温度略下降、盐度升高，流体组分中 CO₂ 逸失近半，SO₄²⁻ 含量大幅上升，阳离子中 K⁺ 含量增加。本阶段最主要的演变特征系 CO₂ 含量剧减。岩相学研究显示，在该阶段可见气液水包裹体、含 CO₂ 包裹体及富 CO₂ 包裹体共生发育于单颗石英中，镜下确定这些共生包裹体多为同期捕获，测温显示它们均一温度较接近，表明该阶段流体发生过流体不混溶或沸腾。结合矿区野外观察，主成矿期为张性构造环境，因此，大量张性断裂构造的发育，引发体系压力剧减，是本期成矿流体沸腾、CO₂ 逸失的主要原因。

至成矿晚期阶段，流体均一温度降至 120~152 ℃，盐度降至 3.6%~5.5% NaCl_{eq}，演变为几乎不含 CO₂ 等挥发组分的低温、低盐度的流体，流体中含量增加的 Ca²⁺ 及数量锐减的 K⁺ 和 Na⁺ 共同反映该阶段的碳酸盐化及金成矿活动的结束。

4.3 成矿机制

金翅岭金矿处于招平断裂与黄掖断裂带的中间部位, 矿区内次级断裂多期发育。早期, 在区域压应力作用下衍生大量碎裂岩或微碎裂岩, 早期成矿流体的 CO_2 含量高, 也说明其处于具有较高压力的构造环境。进入主成矿阶段后, 矿脉内常见石英晶洞中梳状/晶簇状石英发育, 且裂隙间多有后期碳酸盐化形成的大颗粒方解石晶体发育。流体中 CO_2 含量剧减, 均说明本阶段构造环境转变为伸张性质, 拉张性的构造活动叠加, 早期碎裂岩因而发生更加强烈的构造破碎, 生成大量张性裂隙, 导致系统减压, 并提供大量有利赋矿空间。富 CO_2 流体和贫 CO_2 流体含金性对比研究发现, 金的有效搬运离不开 CO_2 和 H_2S , 而 CO_2 逸失则可使流体中含金络合物的失稳和分解, 引发金沉淀^[15-17]。由此可推测, 进入主成矿阶段, 应区域构造性质转变, 次级张性断裂发育导致流体减压沸腾, 逸失大量 CO_2 等挥发分, 造成热液中含金络合物失稳沉淀成矿。

5 结论

1) 金翅岭金矿各成矿阶段发育的流体包裹体主要为富 CO_2 包裹体、不同相比的含 CO_2 包裹体、气-液两相及单液相 H_2O 包裹体。包裹体群体成分分析显示: 液相成分中阳离子以 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 为主, 阴离子以 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 F^- 为主, 气相成分以 H_2O 、 CO_2 和 CH_4 为主。

2) 成矿早期为高温、低盐度及富含挥发组分的 CO_2 - H_2O 流体为主, 含少量有机气体。主成矿期, 流体温度降低、盐度升高及大量 CO_2 逸失, K^+ 、 Na^+ 和 SO_4^{2-} 等含量增加。成矿晚期流体温度、盐度及 K^+ 、 Na^+ 、 CO_2 和 SO_4^{2-} 等含量降至最低, 成矿活动结束。

3) 成矿流体具多来源特征, 流体混合并经历水岩反应, 演化为早期成矿流体。主成矿期, 应构造环境性质转变, 流体失压沸腾, 逸失大量 CO_2 , 导致含金络合物失稳沉淀成矿。

REFERENCES

- [1] 王建国, 张志启, 邓 军, 翟裕生, 闫顺令, 张 静, 尤世娜. 谢家沟金矿的地质特征和成因类型——胶东金矿床地质研究与找矿的新突破[J]. 黄金, 2006, 27(11): 9-13.
- WANG Jian-guo, ZHANG Zhi-qi, DENG Jun, ZHAI Yu-sheng,

- YAN Shun-ling, ZHANG Jing, YOU Shi-na. Geologic features and origin type of Xiejiagou gold deposit—A new breakthrough in the area of Jiaodong gold deposit geology research and prospecting [J]. Gold, 2006, 27(11): 9-13.
- [2] 陈国达. 地洼学说[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1986: 1-432.
- CHEN Guo-da. Diwa theory [M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1986: 1-432.
- [3] SHEPHERD T J, RAKIN A H, ALDERTON D M H. A practical guide to fluid inclusion studies [M]. London: Blackie & Son Limited, 1985: 1-154.
- [4] 卢焕章, 范宏瑞, 倪 培, 欧光习, 沈 昆, 张文淮. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 147-282.
- LU Huan-zhang, FAN Hong-rui, NI Pei, OU Guang-xi, SHEN Kun, ZHANG Wen-huai. Fluid inclusion [M]. Beijing: Science Press, 2004: 147-282.
- [5] BODNAR R. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H_2O - NaCl solutions [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57(3): 683-684.
- [6] 张文淮, 陈紫英. 流体包裹体地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993: 1-246.
- ZHANG Wen-huai, CHEN Zi-ying. Fluid inclusion geology [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993: 1-246.
- [7] 刘 斌, 沈 昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 44-118.
- LIU Bin, SHEN Kun. Fluid inclusion thermodynamics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 44-118.
- [8] COLLINS P L F. Gas hydrates in CO_2 -bearing fluid inclusions and the use of freeing data for estimation of salinity [J]. Economic Geology, 1979, 74: 1435-1444.
- [9] 蔡亚春, 范宏瑞, 胡芳芳, 杨奎峰, 蓝廷广, 于 虎, 柳玉明. 胶东胡八庄金矿成矿流体、稳定同位素及成矿时代研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(5): 1341-1351.
- CAI Ya-chun, FAN Hong-rui, HU Fang-fang, YANG Kui-feng, LAN Ting-guang, YU Hu, LIU Yu-ming. Ore-forming fluids, stable isotope and mineralizing age of the Hubazhuang gold deposit, Jiaodong Peninsula of eastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(5): 1341-1351.
- [10] 姜晓辉, 范宏瑞, 胡芳芳, 杨奎峰, 孙宗锋, 孙之夫. 胶西北留村金矿成矿流体特征与矿床成因[J]. 矿床地质, 2011, 30(3): 511-521.
- JIANG Xiao-hui, FAN Hong-rui, HU Fang-fang, YANG Kui-feng, SUN Zong-feng, SUN Zhi-fu. Ore-forming fluids and genesis of the Liucun gold deposit in northwestern Jiaodong Peninsula [J]. Mineral Deposits, 2011, 30(3): 511-521.
- [11] 王 力, 孙丰月, 王佳良. 山东金岭金矿床成矿流体地球化学特征[J]. 岩石学报, 2010, 26(12): 3735-3744.

- WANG Li, SUN Feng-yue, WANG Jia-liang. Geochemical features of ore-forming fluids of Jinling gold deposit, Shangdong Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(12): 3735–3744.
- [12] 周国发, 吕古贤, 邓 军, 申玉科, 郭 涛. 山东三山岛金矿床流体包裹体特征及其地质意义[J]. *现代地质*, 2008, 22(1): 24–33.
- ZHOU Guo-fa, LÜ Gu-xian, DENG Jun, SHEN Yu-ke, GUO Tao. Study on the fluids inclusions characteristics of the Sanshandao gold deposit, Shandong Province, China and its geological significance [J]. *Geoscience*, 2008, 22(1): 24–33.
- [13] 侯明兰, 蒋少涌, 沈 昆, 连国建, 刘其臣, 肖风利. 胶东蓬莱金矿区流体包裹体和氢氧同位素地球化学研究[J]. *岩石学报*, 2007, 23(9): 2241–2256.
- HOU Ming-lan, JIANG Shao-yong, SHEN Kun, LIAN GUO-jian, LIU Qi-chen, XIAO Feng-li. Fluid inclusion and H-O isotope study of gold mineralization in the Penglai gold field, eastern Shandong [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(9): 2241–2256.
- [14] 王可勇, 张春燕, 樊岳铭, 张晓东. 山东玲珑金矿床成矿流体地球化学特征[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2008, 38(2): 194–201.
- WANG Ke-yong, ZHANG Chun-yan, FAN Yue-ming, ZHANG Xiao-dong. Geochemical characteristics of ore-forming fluids of the Linglong gold deposit in Shandong Province [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2008, 38(2): 194–201.
- [15] PHILLIPS G N, EVANS K A. The role of CO₂ in the formation of gold deposits [J]. *Nature*, 2004, 429: 860–863.
- [16] LOWENSTERN J B. Carbon dioxide in magmas and implications for hydrothermal systems [J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36(6): 490–502.
- [17] SEWARD T M. The complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1973, 37(3): 379–399.

(编辑 陈卫萍)