

青海阿斯哈金矿流体包裹体特征及矿床成因

查道涵^{1,2,3}, 赖健清^{1,2}, 陶斤金^{1,2}, 鞠培姣^{1,2}, 张辰光^{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;

3. 湖南省地质科学研究所, 长沙 410007)

摘 要: 阿斯哈金矿位于东昆仑中金多金属成矿带东段, 矿区地层出露简单, 仅有古元古界金水口群, 现发现的矿体均赋存于花岗闪长岩体的破碎带中。矿区含矿石英脉中流体包裹体主要为 CO₂-水溶液三相包裹体和水溶液两相包裹体两种类型。成矿流体具有低盐度、中低温、富 CO₂ 特征, 流体的捕获温度在 170~310 °C 之间, 成矿压力为 85~154 MPa, 成矿深度为 7.5~10.4 km, 为中成深度。成矿过程中成矿流体运移到浅部时, 大气降水的混入以及流体发生不混溶, 致使流体的 pH 值、Eh 值等物理化学条件发生改变, 成矿物质在阿斯哈花岗闪长岩体中一系列 NE 向展布的张性裂隙扩张部位沉淀富集。

关键词: 流体包裹体; 成矿流体; 阿斯哈金矿; 东昆仑

中图分类号: P618.42

文献标志码: A

Characteristics of fluid inclusions and ore genesis of Asiha gold deposit, Qinghai Province

ZHA Dao-han^{1,2,3}, LAI Jian-qiang^{1,2}, TAO Jin-jin^{1,2}, JU Pei-jiao^{1,2}, ZHANG Chen-guang^{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;

3. Hunan Academy of Geological Sciences, Changsha 410007, China)

Abstract: Asiha gold deposit is located in the east section of Kunlun metallogenic belt. The strata outcropped in this mining area is simple, in which only the Palaeoproterozoic Jinshuiou group can be seen. The found orebodies are all produced in the altered fractural zone of granodiorite. Fluid inclusions of ore-bearing quartz veins can be classified into two types: three-phase CO₂-aqueous inclusions and two-phase aqueous inclusions. The ore-forming fluids have characteristics of low salinity, medium-low temperature and rich carbon dioxide, whose trapping temperatures are within the scope of 170~310 °C, the mineralization pressures range from 85 MPa to 154 MPa, corresponding to depths of 7.5~10.4 km, indicating that this mineral deposit is formed in mesogene mineralization environment. During the mineralization process, as the ore-forming fluid moved up to the superficial part, the physical and chemical conditions of the fluid, such as pH and Eh, were changed because the fluid was mixed with atmospheric precipitation and became immiscible. The ore-forming material is enriched in the expansion site of a series of NE trending tensile fractures of granodiorite in Asiha.

Key words: fluid inclusions; ore-forming fluid; Asiha gold deposit; east Kunlun

阿斯哈金矿位于东昆仑中金多金属成矿带上, 该带是我国著名的成矿带之一, 素有“金腰带”之

称^[1-2]。近 10 年来, 在该成矿带内获得了令人瞩目的勘查成果, 新发现和评价了大中型矿床 8 处, 其中包

括五龙沟金矿、驼路沟钴-金矿床及果洛龙洼金矿。

阿斯哈金矿与其中的果洛龙洼金矿相邻,二者大地构造背景相同^[3]。从区域地质背景和矿区的成矿条件分析,该矿产成矿条件良好,具有一定的潜力。但该矿床发现时间较短,基础地质工作程度低,研究工作薄弱,从而制约了对矿床成因和找矿预测的深入认识。本文作者通过对矿物流体包裹体的研究,揭示成矿流体系统特征,探讨矿床的成因类型及成矿机制。

1 矿床地质概况

矿区位于东昆仑构造带东段(见图1)。在构造单元区划上地处昆仑前峰弧及昆仑前峰弧南缘古生代消减杂岩带两个III级构造单元的结合部位。

区内出露地层为古元古代金水口群白沙河组:该套地层为中-高级变质岩,地层岩性有:① 黑云母斜长片麻岩,局部夹斜长角闪片岩和少量的黑云(二

云)母石英片岩;② 斜长角闪片麻岩与大理岩互层;③ 斜长角闪片麻岩夹大理岩。

矿区构造主体为走向东西向断裂及次一级断裂。区内内地层及岩体的展布都受到主干断裂的控制。区内主体构造为走向东西—近东西向断裂及不同等级的次级断裂。主干断裂控制地层及岩体的展布。区内的断裂构造以压性或压扭性断裂为主,张性和扭性断裂居从属地位。断裂构造从其展布方向可分为二组:即北西西—近东西向和北西向,其性质多为压扭性,具多期活动的特点。

区内岩浆活动强烈,岩浆岩分布较广,类型复杂,其中以华力西-印支期花岗质岩类的侵入体最为发育,岩石有花岗闪长岩、花岗岩、石英闪长岩,花岗斑岩、斜长花岗岩等。与矿区地层呈断层接触或侵入接触,接触部位局部呈片麻状构造,而在断裂发育地区,多呈破碎构造,并伴有多种围岩蚀变。

2 矿体特征

矿区的矿体均分布于花岗闪长岩体的破碎蚀变带中,共圈出10条矿体。矿体的长度变化于40~1 040 m,真厚度为0.8~8 m,矿体走向为北东向,倾向于南东,产状较陡为75°~80°,品位变化较大,变化于1.4~100 g/t之间。

矿体的围岩蚀变主要有黄铁矿化、硅化、绢云母化、绿泥石化、褐铁矿化、铁白云石化。其中与矿体关系密切的是硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化。围岩蚀变具有分带性,矿体附近主要为硅化和黄铁矿化;而向外侧则主要为绢云母化、绿泥石化。

区内矿石类型比较简单,金属矿物主要有自然金、黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和毒砂,另外有少量的铜蓝、孔雀石、褐铁矿、黄钾铁矾。脉石矿物主要有石英、白云母、黑云母,其次为绢云母、绿泥石和铁白云石。矿石的结构主要有粒状结构、碎裂结构、包含结构等。矿石的构造主要有浸染状、角砾状、块状、脉状等。

通过对坑道中矿体的观察和分析研究,将阿斯哈矿床分为热液成矿期和风化成矿期。其中热液成矿期由早到晚又可以划分为石英硫化物阶段(I)、石英铁白云石多金属硫化物阶段(II)、和石英铁白云石阶段(III)。其中第II阶段为金的主要成矿阶段。

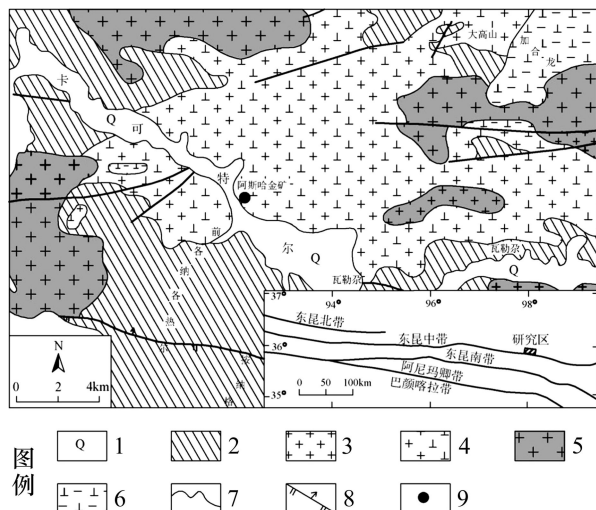


图1 沟里地区阿斯哈地质简图(据文献[4]修改): 1—第四系; 2—古元古界金水口群白沙河组; 3—早中生代钾质花岗岩; 4—晚古生代-早中生代花岗闪长岩、闪长岩; 5—晚古生代-早中生代花岗岩、钾质花岗岩; 6—早古生代斜长花岗岩; 7—地层界线; 8—断层; 9—金矿

Fig. 1 Geological map of Asisha deposit, Gouli area (Modified from Ref. [4]): 1—Quaternary; 2—Palaeoproterozoic Jinshuiou group Baishahe Formation; 3—Early Mesozoic potash granite; 4—Neopaleozoic-Early Mesozoic granodiorite, diorite; 5—Neopaleozoic-Early Mesozoic granite, potash granite; 6—Early Paleozoic plagiogranite; 7—Geological boundary; 8—Fault; 9—Gold deposit

3 流体包裹体

3.1 样品采集及测试方法

本次 8 件样品采取于阿斯哈矿区含矿石英脉中(见表 1)。室内将样品磨制成双面抛光的薄片, 厚度约

表 1 阿斯哈矿区测温样品特征

Table 1 Characteristics of measuring temperature samples in Asiha deposit

样品号	岩性特征	成矿阶段
ASHb09-1	含细粒鳞片状黄铁矿石英脉, 发育铁白云石化	II
ASHb09-2	含细粒鳞片状黄铁矿石英细脉, 发育褐铁矿化、绿泥石化、铁白云石化	II
ASHb09-3	含石英、细粒鳞片状黄铁矿细脉	II
ASHb09-4	含石英、细粒鳞片状黄铁矿细脉	II
GSK-1	石英硫化物脉, 局部膨大, 含有大量围岩角砾	II
GSK-4	含有石英、细粒鳞片状黄铁矿脉的花岗闪长岩围岩	II
GSK-6	含黄铁矿、方铅矿的矿脉石英硫化物脉, 主要由石英、黄铁矿	II
GSK-7	组成, 有绿泥石化。石英脉边部有断层泥, 风化可见黄钾铁矾及盐类矿物	II

0.06~0.08 mm。流体包裹体的测试由中南大学流体包裹体实验室承担, 并由本文作者亲自操作完成。实验仪器为从英国进口, 由 Linkam 公司生产的 THMS-600 型地质用冷热台。该仪器可操作的温度范围在-196~600 ℃之间。经校准, 温度范围为-196~30℃时, 精度为 0.1 ℃; 温度范围为 30~600 ℃时, 精度为 1 ℃。包裹体的均一温度由显微热台直接测定, 而盐度是通过测得的水溶液包裹体的冰点温度或二氧化碳络合物的熔化温度, 根据 FLINCOR 程序^[5], 采用 BROWN 等^[6](1989)的等式计算得到。

3.2 流体包裹体岩相学特征及分类

通过显微镜对石英中包裹体的观察发现, 矿区内含矿石英中原生包裹体发育(见图 2)。根据室温下(20℃)的相态特征, 矿区含矿石英中的流体包裹体可分为两种主要类型。

气液两相水溶液包裹体(I 型): 室温下(20℃)由盐水溶液及气泡组成(见图 2(a)), 大部分水溶液两相包裹体气相比(V/T)多在 15%~70%, 平均在 29%, 该类包裹体形态一般多呈不规则状, 其大小在 3~11 μm, 平均为 6 μm, 大部分随机孤立分布于主矿物(石英)中。

水溶液-CO₂包裹体(II 型): 此类包裹体在常温下一般呈三相产出(见图 2(b)和(c)), CO₂ 相占包裹体总

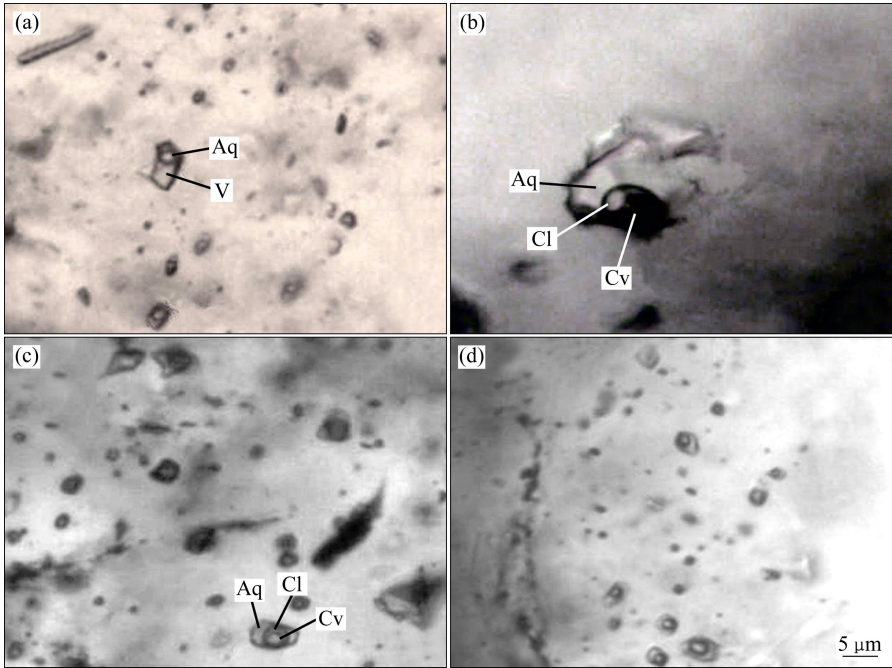


图 2 阿斯哈流体包裹体特征图: (a) 水溶液两相包裹体; (b) CO₂-水溶液三相包裹体(20 ℃); (c) CO₂-水溶液三相包裹体(15 ℃); (d) 成群出现的包裹体

Fig. 2 Characteristics and microphotographs of fluid inclusions in Asiha deposit: (a) Two-phase aqueous inclusions; (b) Three-phase CO₂-aqueous inclusions (20 ℃); (c) Three-phase CO₂-aqueous inclusions(15 ℃); (d) Clustered inclusions

体积比例多数在 10%~70%，平均在 30%，气相 CO_2 占 CO_2 相比例一般为 0~60%，平均 20%；该类型流体包裹体在石英中发育最多，占总数量的 70%左右，其大小一般为 3~24 μm ，平均为 7 μm 。该类包裹体形态较多，主要有椭圆形、长条形和不规则状，孤立或成群分布于石英中。此类型包裹体又可分为两种亚类型，II₁型以水溶液占优势，碳质相比例(C/T)为 15%~50%，为含 CO_2 包裹体，在常温下 CO_2 相分为气液两相；II₂型 CO_2 相占优势，常温下可见两相 CO_2 和比例很小的水溶液相，C/T 为 60%~70%，为富 CO_2 包裹体。

3.3 流体包裹体测温结果

据测试结果(见表 2)，阿斯哈矿区流体包裹体均一温度介于 170~381 $^{\circ}\text{C}$ 之间(见图 3)，平均均一温度为 290 $^{\circ}\text{C}$ ；盐度为 0.22%~14.76%(等效 NaCl 质量分数，%，下同)，平均盐度为 6.04%(见图 4)。

I 型包裹体均一温度在 170~310 $^{\circ}\text{C}$ 之间，平均均

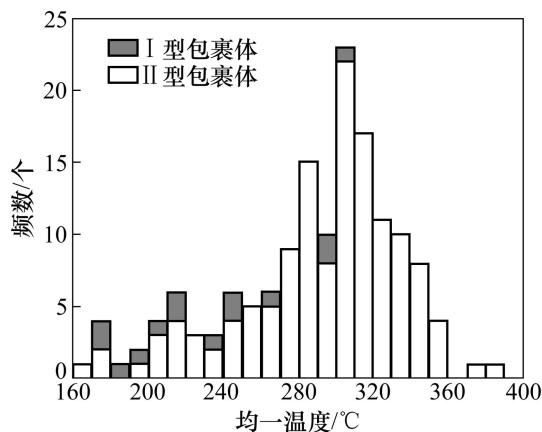


图 3 流体包裹体均一温度直方图

Fig. 3 Histograms of homogenization temperature of fluid inclusions

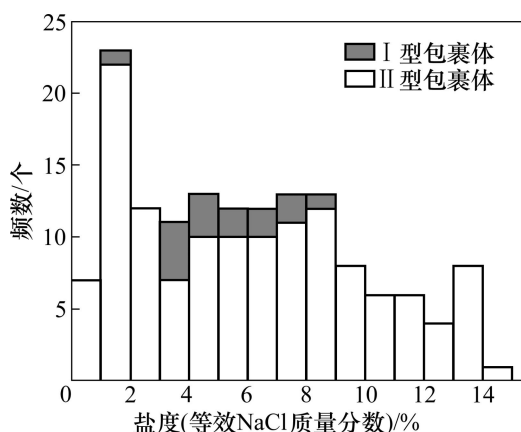


图 4 流体包裹体盐度直方图

Fig. 4 Histograms of salinity of fluid inclusions

一温度为 229 $^{\circ}\text{C}$ ，均一为液相；盐度在 1.40%~8.41% 之间，平均盐度为 5.15%。流体的密度介于 0.716~0.927 g/cm^3 ，平均为 0.863 g/cm^3 。

II 型包裹体 CO_2 相的部分均一温度在 17.8~24.6 $^{\circ}\text{C}$ 之间(见图 5)，大部分均一为液相，部分均一为气相；固相 CO_2 融化温度在 -60.1~-55.1 $^{\circ}\text{C}$ 之间(见图 6)，平均为 -57.8 $^{\circ}\text{C}$ ；包裹体完全均一温度位于 173~381 $^{\circ}\text{C}$ ，平均为 296 $^{\circ}\text{C}$ ，大部分均一为液相，少部分均一呈气相。 CO_2 络合物消失温度在 0.7~9.9 $^{\circ}\text{C}$ 之间，对应的盐度为 0.22%~14.76%，平均盐度为 6.11%。流体的密度介于 0.825~0.998 g/cm^3 。

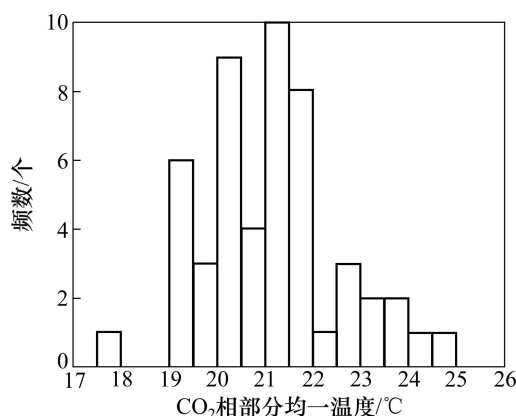


图 5 流体包裹体 CO_2 相部分均一温度直方图

Fig. 5 Histograms of CO_2 homogenization temperatures of fluid inclusions

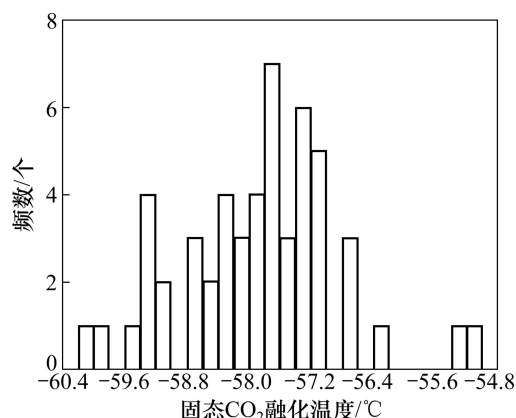


图 6 CO_2 包裹体的三相点温度直方图

Fig. 6 Histograms of triple point temperatures of CO_2 inclusions

4 讨论

4.1 成矿流体特征

阿斯哈金矿成矿流体的气相成分主要以 CO_2 为

表 2 阿斯哈矿区流体包裹体的特征与参数

Table 2 Characteristics and parameters of fluid inclusions of Asiha deposit

样品号	类型	个数	大小/ μm	$\phi_{V/T, 20\text{ }^{\circ}\text{C}}/$ %	$t_m(\text{CO}_2)/$ ℃	$t_m(\text{ice})/$ ℃	$t_m(\text{cla})/$ ℃	$t_h(\text{to L})/$ ℃	$t_h(\text{to L/V})/$ ℃	盐度/%	密度/ (g·cm ⁻³)	$x(\text{CO}_2)/\%$
GSK-1	II	20	4~24	15~45	-59.3~-57.1		1.4~9.0	19.6~21.8	117~328(L)	2.00~13.94	0.959~0.998	5.19~11.98
GSK-4	II	20	4~10	20~70	-59.4~-56.3		3.6~9.4	19.8~23.8	216~400(L)	1.22~11.05	0.886~0.981	7.26~23.86
GSK-6	I	2	9~11	20~25					241~290(L)	7.86~8.41	0.825~0.885	
	II	20	4~15	10~40	-59.1~-55.3		3.3~9.5	19.2~22.7	185~345(L)	1.02~11.47	0.825~0.989	3.42~17.65
GSK-7	II	20	4~9	25~40	-60.1~-57.3		0.7~8.6	19.3~23.1	173~343(L)	2.77~14.76	0.922~0.992	9.52~17.67
	I	2	5~8	20		-4.3~-4.2			237~244(L)	6.74~6.88		
ASHb09-1	II	17	5~10	30~55	-59.5~-55.1		1.7~9.7	19.1~24.3	274~381(L) 318(V)	0.63~13.57	0.922~0.970	11.32~17.55
ASHb09-2	I	2	8	25~40		-4.9~-0.8			173~296(L)	1.40~7.73		
	II	18	5~12	25~50	-58.6~-57.1		2.1~9.8	19.2~23.2	280~360(L)	0.43~13.07	0.907~0.990	11.53~17.66
ASHb09-3	II	20	5~10	25~70	-58.2~-57.1		5.7~9.9	19.1~24.6	255~350(L)	0.22~7.87	0.886~0.955	11.25~24.14
ASHb09-4	I	9	4~7	20~70		-1.8~-3.3			175~310(L)	3.23~5.41		
	II	11	3~9	15~40	-57.9~-56.6		2.1~8.6	21.5~22.3	201~325(L)	2.77~13.07	0.994~0.997	7.14~7.22

$\phi_{V/T, 20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ —I 型包裹体时表示在 20℃时气相占包裹体总体积百分比, II 型包裹体时表示在 20℃时 CO₂ 相占包裹体总体积百分比; $t_m(\text{CO}_2)$ —CO₂ 相熔化温度; $t_m(\text{ice})$ —冰的熔化温度; $t_m(\text{cla})$ —CO₂ 笼合物熔化温度; $t_h(\text{to L})$ —CO₂ 相部分均一温度, 未特别标示代表均一为液相 CO₂; $t_h(\text{to L/V})$ —完全均一温度, I 型包裹体时 L 表示均一为液相, V 表示均一为气相; II 型包裹体时 L 代表均一为水溶液相。样品包裹体主矿物皆为石英。

主, 其次为 H₂O, 含少量 CH₄、N₂^[7]。利用 CO₂ 初熔温度也可大致判断流体的成分, 矿区的 II 型包裹体 CO₂ 的熔化温度 -60.1~-55.1℃, 主要集中在 -58.8~-57.0℃, 低于纯 CO₂ 熔化温度(-56.6℃), 说明包裹体中除 CO₂ 外, 还含有 CH₄ 等组分。包裹体的岩性学特征显示矿区的包裹体主要有 3 种类型富 CO₂ 包裹体即水溶液包裹体、含 CO₂ 水溶液包裹体和水溶液包裹体, 盐度较低(0.22%~14.76%), 属于低盐度、富 CO₂ 的流体包裹体^[8]。矿区流体包裹体组分特征与区域内果洛龙洼金矿和三色沟铅锌矿一致^[9-10], 与区域造山变质环境比较吻合^[11-13]。矿区内同一矿物中出现 CO₂-H₂O 包裹体和水溶液包裹体, 这是相分离现象的典型特征^[14-15]。同时 CO₂-H₂O 型包裹体的充填度变化较大, 这种现象也被认为是由相分离所导致^[16]。在 t_h - $x(\text{CO}_2)$ 关系图上(见图 7), 矿区内 CO₂-H₂O 包裹体的 $x(\text{CO}_2)$ 值大部分投点落在不混溶曲线附近, 反映了包裹体捕获于不混溶体系中, 并且均一温度与 CO₂ 的含量成一定的线性关系。

矿区中水溶液包裹体出现较少, 并且大部分 $x(\text{CO}_2) > 0.1$, 相分离作用形成的含水相大部分为 CO₂-H₂O 型流体, 而纯水溶液相流体较少, 这说明母液 CO₂ 含量高。

由图 8 可知, I 型包裹体的均一温度与盐度呈正相关性。II 型包裹体均一温度与盐度关系的总体特征却与此相反, 随温度的下降, 盐度出现增高的特征, 并且在高温时盐度较集中, 低温时盐度趋向于分散。这可能是由于流体运移到浅部时压力降低, 导致流体中气体的逸失, 致使流体浓缩, 盐度增高。

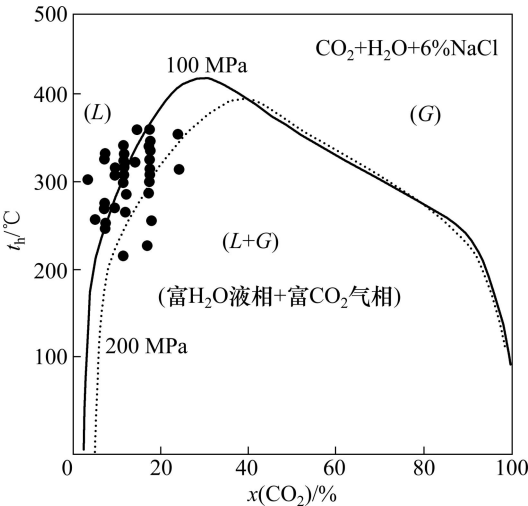


图 7 CO₂-H₂O 三相包裹体 t_h - $x(\text{CO}_2)$ 关系图(据文献[8]修改)

Fig. 7 Curves of total t_h - $x(\text{CO}_2)$ of three-phase CO₂-H₂O inclusions (Modified from Ref. [8])

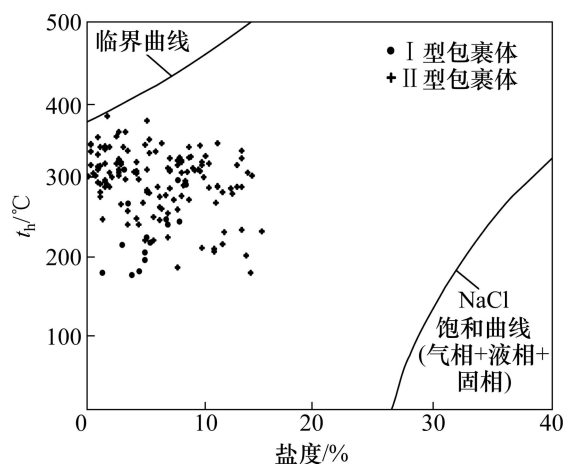


图8 包裹体均一温度—盐度散点图

Fig. 8 Diagrams of homogenization temperature—salinity of fluid inclusions

4.2 成矿温度

一般认为,在不混溶包裹体群中,纯 H_2O 相的包裹体和纯 CO_2 相的包裹体分别是原先均匀的 H_2O 相和 CO_2 相流体捕获而得,包裹体捕获时的温度与实验室测得的均一温度相一致;而 CO_2 -水溶液包裹体是从不混溶的 CO_2 - H_2O 流体中同时捕获了 H_2O 相和 CO_2 相的包裹体,因此,实测的均一温度高于捕获温度^[14,17]。如前所述,该地区金矿床石英中的富 CO_2 包裹体和 H_2O 包裹体是从不混溶流体中捕获的两个端元,因此,可以利用它们的均一温度来估算流体捕获的温度。该矿床的流体捕获温度介于 170~310 °C,为中低温。

4.3 成矿压力及深度

矿区的包裹体为 CO_2 -水溶液包裹体和水溶液包裹体,研究认为,这两种包裹体在相同物理条件下捕获,并且流体发生不混溶,因此采用等容线相交法估算其捕获压力。其中水端元密度由 I 型包裹体计算得到, CO_2 密度由 II 型包裹体计算得出。将两端元流体密度投影 p - t 图^[18]上,如图 9 所示。由图 9 可看出,矿区的包裹体捕获压力介于 85~154 MPa。

由流体压力换算成深度,受多种影响因素。孙丰月等^[19]根据 Sibson 断裂带的深度—流体压力垂直分带规律曲线,拟合出 4 段不同压力条件下的深度计算回归方程,当测得的压力 p 为 40~200 MPa, $H=0.086\ 8/(1/p+0.003\ 88)+2$,由此估算出成矿深度为 7.5~10.4 km。

4.4 矿床成因

矿区成矿流体具有低密度、低盐度和富 CO_2 的特

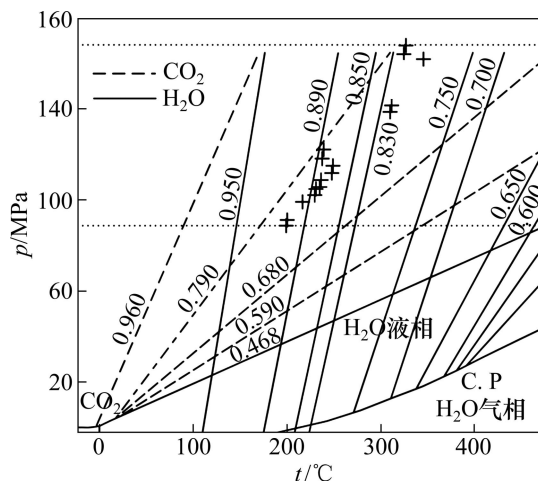
图9 H_2O 和 CO_2 体系联合 p - t 图解(据文献[18]修改)

Fig. 9 p - t diagrams of H_2O - CO_2 system (Modified from Ref. [18])

点,并且发育有硅化、绢云母化和铁白云石化和黄铁矿化,说明成矿热液富硅、含钠、钾并存在着铁、硫,绢云母化和黄铁矿化的存在表明成矿流体呈酸性。 CO_2 流体与金矿化有着密切的关系, CO_2 是一种弱酸,它可以对成矿流体的 pH 值起到缓冲调节作用^[20]。PHILLIPS 等^[21]通过研究比较富 CO_2 流体(10% CO_2)和贫 CO_2 流体(0.1% CO_2)的含金性,提出金易被富 CO_2 流体所搬运。流体中 CO_2 的来源可能有以下几种:幔源、下地壳中高级变质流体(麻粒岩相、榴辉岩相等)和岩浆热液。根据李碧乐等^[7]通过对矿区 I 号矿脉流体包裹体中氢、氧同位素的研究,显示成矿流体主要为岩浆流体。矿区的流体发生不混溶,金的沉淀与不混溶作用有关。据研究当 CO_2 - H_2O 流体发生不混溶作用时有大量 CO_2 溢出, CO_2 的流失使得成矿溶液的 CO_2 逸度和 O_2 逸度降低,酸碱度升高。同时由于气相的分离要消耗能量,溶液的温度必然随着气相的分离而降低^[22]。此时成矿热液中金溶解度将大大的降低,从而导致金的快速沉淀并形成矿。

矿区的流体包裹体特征与邻近的五龙沟金矿相似,气相成分都为 H_2O 和 CO_2 ,两个矿床都产在区域断裂的次一级断裂中。五龙沟金矿成矿年龄为 236.5 Ma^[23],为印支晚期,矿区的矿体赋存在晚华力西—印支期的岩体的裂隙中,应与五龙沟金矿成矿年龄相似,为印支晚期。

矿区在华力西—印支构造活动期间,经历了巴颜喀拉洋壳向东昆仑地区斜向俯冲,致使东西向区域型大断裂发生左旋压扭性活动,并使得大量的 NW 向压性线性构造在昆中和昆南断裂带两侧形成,且多具有

韧性变形作用和切割深、多期活动的特点。洋壳的俯冲作用同时使东昆仑在华力西-早印支期岩浆活动强烈,火山喷发和岩浆入侵,构成了昆中花岗质杂岩带的主体。而到印支晚期,东昆仑地区壳-幔相互作用强烈,地幔岩浆底侵作用明显,伸展体制逐渐变为该地区主要的构造体制,同时富含 CO_2 和部分成矿物质的地幔流体沿着深大断裂上侵,在此运移过程中伴随有壳幔物质交换,成矿物质进一步得到萃取,最终形成含矿流体。含矿流体进入地壳浅部,由于大气降水的混入和温度、压力改变以及流体发生不混溶,致使流体的pH值、Eh值等物理化学条件发生改变,成矿物质在阿斯哈花岗闪长岩体中一系列NE向展布的张性裂隙扩张部位沉淀富集。

5 结论

1) 矿区内矿体主要赋存在花岗闪长岩体的北北东和北西向破碎蚀变带中。成矿作用分为热液成矿期和风化成矿期,其中热液成矿期可以分为3个阶段:石英硫化物阶段,铁白云石硫化物阶段,石英铁白云石阶段。

2) 矿区的流体包裹体主要有水溶液两相和 CO_2 -水溶液三相包裹体两种类型。流体的盐度为0.22%~14.76%,为低盐度;均一温度为170~381℃,为中低温。矿区成矿流体具有低密度、低盐度和富 CO_2 的特点,并在成矿过程中流体发生了不混容现象。

3) 矿区流体的捕获温度为170~310℃,属于中低温。成矿压力为85~154 MPa,换算成矿深度为7.5~10.4 km,属于中成深度。

4) 阿斯哈金矿与区内晚华力西-印支期造山作用密切相关,随着巴颜喀拉洋俯冲、闭合,到印支晚期该地区发生了强烈的壳-幔相互作用,富 CO_2 和部分成矿物质的地幔流体沿着深大断裂上侵,萃取成矿物质,并在矿区一系列NE向展布的张性裂隙扩张部位沉淀成矿。

REFERENCES

- [1] 王凤林,肖小强,陈世顺. 青海沟里地区金矿地质特征及找矿前景[J]. 黄金科学技术, 2011, 19(4): 45-48.
WANG Feng-lin, XIAO Xiao-qiang, CHEN Shi-shun. Geological characteristics and prospecting of goulie area gold mine, Qinghai province[J]. Gold Science and Technology, 2011, 19(4): 45-48.
- [2] 肖小强,胡俊,管波,苏胜年. 东昆仑东段金矿带地质特征及找矿潜力分析[J]. 黄金科学技术, 2012, 20(3): 40-45.
XIAO Xiao-qiang, HU Jun, GUAN Bo, SU Sheng-nian. Geological characteristics and prospecting analysis of gold ore belt in east section of Eastern Kunlun[J]. Gold Science and Technology, 2012, 20(3): 40-45.
- [3] 陈旺,陈树民,杨晓斌,郭林. 青海东昆仑造山带沟里地区金矿找矿前景[J]. 矿产与地质, 2003, 17(S1): 386-388.
CHEN Wang, CHEN Shu-ming, YANG Xiao-bin, GUO Lin. Prospecting vista of gold ores in East Kunlun orogenic belt, Qinghai Province[J]. Mineral Resources and Geology, 2003, 17(S1): 386-388.
- [4] 长安大学. 青海省都兰县沟里地区 I47E003010(沟里乡)1:5 万矿产地质、水系沉积物测量综合调查报告[R]. 西宁: 青海有色地勘局, 2007: 1-93.
Chang'an University. A 1:50000 comprehensive report on geology and mineral, and stream sediment survey of Gouli region, Dulan county, Qinghai province[R]. Xining: Qinghai Nonferrous Metals Geological Exploration Bureau, 2007: 1-93.
- [5] BROWN P E. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data[J]. American Mineralogist, 1989, 74(11/12): 1390-1393.
- [6] BROWN P E, LAMB W M. P-V-T properties of fluids in the system $\text{H}_2\text{O} \pm \text{CO}_2 \pm \text{NaCl}$: New graphical presentation and implications for fluid inclusion studies[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53(6): 1209-1221.
- [7] 李碧乐,沈鑫,陈广俊,杨延乾,李永胜. 青海东昆仑阿斯哈金矿 I 号脉成矿流体地球化学特征和矿床成因[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(6): 1676-1683.
LI Bi-le, SHEN Xin, CHEN Guang-jun, YANG Yan-qian, LI Yong-sheng. Geochemical features of ore-forming fluids and metallogenesis of vein I in Asihah gold ore deposit, Eastern Kunlun, Qinghai Province[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(6): 1676-1683.
- [8] BOWERS T S, HELGESON H C. Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ on phase relations in ecologic systems: Metamorphic equilibria at high pressures and temperatures[J]. American Mineralogist, 1983, 68: 1059-1075.
- [9] 周凤. 青海省果洛龙洼金矿区流体包裹体研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008: 42-43.
ZHOU Feng. Research on fluid inclusions of Guoluolongwa gold area in Qinghai Province[D]. Changsha: Central South University, 2008: 42-43.
- [10] 宋泽友,赖健清,王雄军,张建东,宋文彬. 青海三色沟铅锌矿流体包裹体特征及矿床成因[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(3): 715-725.
SONG Ze-you, LAI Jian-qing, WANG Xiong-jun, ZHANG Jian-dong, SONG Wen-bin. Characteristics of fluid inclusions and ore genesis of Sansegou Pb-Zn deposit in Qinghai Province, China[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2012,

- 22(3): 715–725.
- [11] 陈衍景. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力[J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1181–1196.
- CHEN Yan-jing. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential[J]. *Geology in China*, 2006, 33(6): 1181–1196.
- [12] 丰成友, 张德全, 王富春, 李大新, 余宏全. 青海东昆仑造山型金(锑)矿床成矿流体地球化学研究[J]. 岩石学报, 2004, 20(4): 949–960.
- FENG Cheng-you, ZHANG De-quan, WANG Fu-chun, LI Da-xin, SHE Hong-quan. Geochemical characteristics of ore-forming fluids from orogenic Au(and Sb)deposits in the eastern Kunlun area, Qinghai Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(4): 949–960.
- [13] 张德全, 张 慧, 丰成友, 余宏全, 李进文, 李大新. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的流体包裹体研究[J]. 中国地质, 2007, 30(5): 843–854.
- ZHANG De-quan, ZHANG Hui, FENG Cheng-you, SHE Hong-quan, LI Jin-wen, LI Da-xin. Fluid inclusions in orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin-East Kunlun region[J]. *Geology in China*, 2007, 30(5): 843–854.
- [14] 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: 1–487.
- LU Huan-zhang, FAN Hong-rui, NI Pei, OU Guang-xi, SHEN Kun, ZHANG Wen-huai. Fluid inclusions [M]. Beijing: Science Press, 2004: 1–487.
- [15] XU G, POLLARD P J. Origin of CO₂-rich fluid inclusions in synorogenic veins from the Eastern Mount Isa fold belt, NW Queensland, and their implications for mineralization[J]. *Mineralium Deposita*, 1999, 34: 395–404.
- [16] WILKINSON J J. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits[J]. *Lithos*, 2001, 55: 229–272.
- [17] DIAMOND L W. Review of the systematics of CO₂–H₂O fluid inclusions[J]. *Lithos*, 2001, 55: 69–99.
- [18] ROEDDER E, BODNAR R J. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1980, 8: 263–301.
- [19] 孙丰月, 金 巍, 李碧乐. 关于脉状热液金矿床成矿深度的思考[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(S1): 27–29.
- SUN Feng-yue, JIN Wei, LI Bi-le. Considerations on the mineralizing depth of hydrothermal lode gold deposits[J]. *Journal Of Changchun University of Science and Technology*, 2000, 30(S1): 27–29.
- [20] CHI Guo-xiang, DUBE B, WILLIAMSON K, WILLIAMS-JONES A E. Formation of the Campbell -Red Lake gold deposit by H₂O-poor, CO₂-dominated fluids[J]. *Miner Deposit*, 2006, 40(6/7): 726–741.
- [21] PHILLIPS G N, EVANS K A. Role of CO₂ in the formation of gold deposits[J]. *Nature*, 2004, 429(6994): 860–863.
- [22] 李保华, 顾雪祥, 李 黎, 徐仕海, 付绍洪, 陈翠华, 董树义. CO₂-H₂O 流体不混溶对 Au 溶解度的影响——以贵州省贞丰县水银洞金矿床为例[J]. 地质通报, 2011, 30(5): 766–772.
- LI Bao-hua, GU Xue-xiang, LI Li, XU Shi-hai, FU Shao-hong, CHEN Cui-hua, DONG Shu-yi. The effect of CO₂-H₂O fluid immiscibility on the solubility of Au: A case study of the Shuiyindong gold deposit, Zhenfeng County, Guizhou Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(5): 766–772.
- [23] 赵财胜. 青海东昆仑造山带金、银成矿作用[D]. 长春: 吉林大学, 2004: 46–57.
- ZHAO Cai-sheng. Gold, silver metallogeny in eastern Kunlun orogenic belt, Qinghai Province[D]. Changchun: Jilin University, 2004: 46–57.

(编辑 何学锋)