

某金矿床成矿流体性质及矿床成因研究

李小龙

新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第十一地质大队

DOI:10.12238/gmsm.v7i3.1687

[摘要] 甘肃北山地区的一个金矿,是中元古界西尖山群的变质岩,是一种典型的由NWW向次级断层控制的矿床。矿床的形成有三个阶段:早-石英-铁矿-石英-多金属硫化物-(主矿化)-石英-碳酸盐岩(晚期)。本项目拟以该矿床为研究对象,以流体包裹体、微量元素和HO同位素为主要研究对象,查明其成矿流体性质,揭示其成矿机理。在主成矿期,石英主要以气-液两相水溶液包裹体、CO₂-H₂O三元包裹体和纯液体CO₂包裹体为主要特征。平均温度194-397℃,盐度2.2%-8.9%,密度0.63-0.98g/cm³。根据CO₂-H₂O三组分包裹体的研究结果,确定了成矿过程中流体包裹体的捕获能力为257-395MPa,成矿期在9.05-14.6km之间。流体包裹体温度标、激光拉曼、石英微区微量元素等研究结果表明,该矿床具有中温、低盐度、中低密度的CO₂-H₂O-NaCl±CH₄体系,具有强烈的还原性,但其成矿机制尚不清楚。主成矿期的石英同位素δDV-SMOW值为100.2-75.6%和83.1%,金富集带以变质水为主,以流体不混溶作用为主。在此基础上,对金矿床进行了系统的研究,认为其属于中深成造山型金矿床。

[关键词] 流体包裹体; 石英微量元素; 氢、氧同位素; 造山型金矿床

中图分类号: P571 文献标识码: A

Study on ore-forming fluid properties and genesis of a gold deposit

Xiaolong Li

The 11th Geological Brigade, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Changji

[Abstract] A gold deposit in the Beishan area of Gansu Province is a metamorphic rock of the Xijianshan Group in the Middle Proterozoic. It is a typical gold deposit controlled by NWW-trending secondary faults. The formation of the deposit has three stages: early - quartz - iron ore - quartz - polymetallic sulfide - (main mineralization) - quartz - carbonate rock (late). In this project, fluid inclusions, trace elements and HO isotopes are the main research objects of this deposit to find out its ore-forming fluid properties and reveal its ore-forming mechanism. In the main mineralization stage, quartz is mainly characterized by gas-liquid two-phase aqueous solution inclusions, CO₂-H₂O ternary inclusions and pure liquid CO₂ inclusions. The average temperature is 194-397℃, the salinity is 2.2%-8.9%, and the density is 0.63-0.98 g/cm³. According to the study results of CO₂-H₂O three-component inclusions, it is determined that the trapping capacity of fluid inclusions during the mineralization process is 257-395 MPa, and the mineralization period is between 9.05 and 14.6 km. The results of fluid enveloping temperature scale, laser Raman and trace elements in quartz microzone indicate that the deposit has a medium temperature, low salinity and medium low density CO₂-H₂O-NaCl±CH₄ system with strong reductive property, but its metallogenic mechanism is still unclear. The δDV-SMOW values of quartz isotopes in the main mineralization period are 100.2-75.6% and 83.1%, and the gold-rich combination zone is dominated by metamorphic water and fluid immiscibility. On this basis, the gold deposit is systematically studied, and it is considered to be a medium-deep orogenic gold deposit.

[Key words] fluid inclusion; Quartz trace element; Hydrogen and oxygen isotopes; Orogenic gold deposit

北山地区位于中亚造山带,位于新疆和甘肃之间,位于中亚造山带的哈萨克斯坦和塔里木两大板块的交汇处,是研究中亚

造山带的关键部位。该区域构造背景复杂,多条深断裂、蛇绿混杂岩带发育,岩浆活动强烈,是理想的找矿区域。在这一地区,

已经发现了上百个金矿床,包括老金厂、新金厂、长流水、华牛山和小锡弓。其中,某金矿为一中等规模的金矿,在北山造山带南缘发育,是一种良好的成矿地质条件。尽管前人已对该金矿进行了多项找矿工作,并对其成矿流体性质、物源等进行了大量研究,然而,由于成矿地质条件的复杂性,目前对其成矿流体来源、成矿机制等仍存在较大争议。本项目拟通过详细的野外地质调查,结合流体包裹体与石英的原位微区分析,结合 H_2O 同位素分析,厘定成矿流体性质和来源,探讨成矿机理。

1 地质概况

北山地区发育有多条近-西-东的蛇绿岩-深断裂,从南到北划分为敦煌地块、花牛山岛弧、星星峡-乾山地块、黑鹰山弧和雀儿山弧,其与构造位置密切相关。北山地区金矿是塔里木敦煌地块北缘的一个重要组成部分,其北部为刘元-大齐山深大断层,是我国北方重要的金矿资源^[1]。某金矿区出露地层较为单一,主要为中元古界西尖山群变质岩以及第四系冲洪积。金矿区出露的地层比较简单,以中元古界的西尖山群和第四系的冲洪积作用为主。其中,中、北两个地区出露的西尖山群中浅变质岩系,以二云片岩、斜长角闪片岩为主,局部夹有绢云石英片岩、大理岩,是该矿床的重要赋矿围岩。矿区内发育北东向展布的F1、F2、F3三条断层,控制了小西弓金矿北、中、南三个方向的空间分布。断裂带两侧岩体受到强烈的挤压,形成了大型的糜棱-碎裂岩带,其中的矿物以挤压、拉伸和定向排列为。区内的北东、北东向断裂规模较小,有些断裂为北西向。该区出露有新元古代钾长花岗岩、印支期石英正长斑岩和加里东期石英闪长斑岩,其中以中酸性玢岩最为发育。

从北到南,可以将该金矿分为3个区。北矿带沿着F1断层出露,以西尖山群二云片岩为主,走向 $285^\circ-295^\circ$,走向南北陡倾,在中部较破碎,两翼均有强烈的硅化作用。中矿带出露于F2断层,成脉产于糜棱岩化钾长花岗岩中,倾向 290° 左右,总体倾向北倾,接近垂直,其中有20厘米粗的石英脉,石英脉倾向与矿体倾向一致。南矿带沿着F3断层呈北东-北东向带状出露,产于西尖山组的变质岩中,倾向 $280-290^\circ$,总体上倾向南倾,近似于竖直,在走行中表现出“松缓-弯曲”的特征。该矿区已划分出8条金矿床,均为石英脉及围岩的破碎蚀变带,呈脉状-网状结构,延伸范围从25-40m到287m不等,最大延伸范围从25-100m到300m不等,矿体厚度从0.99-2.58 m到9.94 m不等,金品位普遍为 $1.32 \times 10^{-6}-38.67 \times 10^{-6}$,最高达到 86.58×10^{-6} 。矿区围岩蚀变以黄铁矿化、硅化、绢云母化、碳酸盐化和萤石矿化为主,黄铁矿化、硅化等与矿化密切相关。

按成矿特点,将其划分为蚀变岩型和石英脉型。在这些金矿中,石英脉型金矿富含量大、变化大,而蚀变岩型金矿富含量少,变化大。其中黄铁矿和毒砂是主要的金属矿物,磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和黄铜矿次之,非金属矿物主要为石英,少量绢云母和方解石为副矿物^[2]。自形-半自形结构、包夹结构、交代溶蚀结构、错列结构、骨状结构和共生边结构是主要的成矿构造类型。其中,金矿物以包体金、黄铁矿两种形态产出,其中以包体

金、粒间金矿为主。通过对金矿的电子探针研究,发现金矿的Au的含量为40.78%-86.83%。平均65.36%。银的含量11.01%-56.8%。平均32.17%。小西弓金矿床金矿物电子探针分析结果见表1。

2 样品采集及分析方法

本项目拟以该金矿为研究对象,在已有的工作基础上,通过对已有金矿床和已有矿坑暴露的矿石样品(包括7个北矿带、12个中矿区和9个南矿带)的石英-硫化物期(主成矿期)样品,共28个。在此基础上,通过对包裹体的微区分析和激光拉曼分析,对其中的石英进行微区分析和氢氧同位素测试。

3 测试结果

3.1 流体包裹体

3.1.1 流体包裹体类型

本项目拟通过对石英-硫化物期(主成矿期)中流体包裹体的系统研究。石英中的流体包裹体比较发育,形状多为椭圆形、无规则、负晶、孤立、群集等,总体上体积较小,多为3-10微米。依据流体包裹体的组分和常温下的相态分类,将其划分为三类:气-液-水混合包裹体(I)、 CO_2-H_2O 三相包裹体(II)和纯液相(III)。

3.1.2 激光拉曼光谱分析

本项目拟以不同类型的典型流体包裹体为研究对象,利用激光拉曼技术对其开展系统的研究,发现在主成矿过程中,石英脉体的气体组成以 H_2O 为主,而II型则以 HO_2 、 CO_2 为主,同时含有微量的 CH_4 。综合上述研究结果,确定了该金矿床的主要成矿流体为 $CO_2-H_2O-NaCl+CH_4$ 系统。

3.2 石英的微量元素

3条成矿带内的含矿石英,其土壤元素含量差异很大,而REE的配分类型相近,总体上属于右偏型,轻稀土含量偏高。

北矿区石英 $REE(\Sigma REE)=0.1 \times 10^{-6}-0.6$, $\Sigma LREE=0.02 \times 10^{-6}-0.19 \times 10^{-6}$, $(La/Yb)N$ 介于0.35-7.43之间。 Ce 同位素 δEu 为0.711-0.770,存在正的铈异常, Ce 的 δ 范围为0.087-0.096, Ce 无明显异常。

中矿带内的石英中 Σ 稀土元素含量为 $3.74 \times 10^{-6}-8.19 \times 10^{-6}$, $\Sigma HREE=0.69 \times 10^{-6}-1.75 \times 10^{-6}$, $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ 比值为3.41-6.81, $(La/Yb)N$ 为3.57-6.81。 Ce 的 δ 值在0.46-0.71之间,没有显著的 Ce 异常, Ce 的 δ 值为0.091-0.004。

华南成矿带内的英- $\Sigma REE=0.11 \times 10^{-6}-3.34 \times 10^{-6}$,其中稀土元素的丰度为 $0.09 \times 10^{-6}-2.59 \times 10^{-6}$,其稀土元素的比值为0.05-12.84, $(La/Yb)N$ 的比值为3.43-27.91。同位素 δEu 值在0.46-3.03之间,除1例有Eu阳性外,其他试样的Eu值为0.81-0.95,没有明显的 Ce 异常。

3.3 氢、氧同位素特征

石英中的同位素 $\delta DV-SMOW$ 值在-10020-756‰之间,平均值为-885‰;石英中的流体包裹体 $\delta 18O-SMOW$ 值分别为11.07-14.14‰,平均值为12.9‰。本项目拟采用石英-水平衡分馏方法,通过对主要成矿期石英中流体包裹体的均匀温度的分析,确定其同位素组成($1000 \ln \alpha_{石英-水}=3.38 \times 10^6 T^{-2}-3.40$),其同位素 $\delta 18O_{20}$ 值分别为4.15-8.31‰,平均为+6.11‰。

表1 小西弓金矿床金矿物电子探针分析结果(W₀/%)

测点	矿物	As	Se	Fe	S	Au	Ag	Zn	Bi	Ni	Te	Cd	Sn	总量	Ag/Au	成色
1	银金矿	—	—	0.99	0.31	54.64	42.13	0.14	0.54	—	0.10	—	—	98.85	0.77	565
2	银金矿	0.49	—	0.94	0.46	56.39	40.88	—	0.28	0.09	0.15	—	0.08	99.76	0.72	580
3	银金矿	—	—	0.27	0.33	49.93	47.77	—	0.36	—	0.11	—	—	98.77	0.96	511
4	自然金	—	—	0.33	0.23	82.51	15.20	—	0.30	0.13	0.05	0.13	0.08	98.96	0.18	844
5	金银矿	—	—	0.74	0.30	40.78	56.80	—	0.22	0.16	0.11	0.11	—	99.22	1.39	418
6	自然金	—	—	0.09	0.04	86.83	11.43	—	0.52	—	—	—	—	98.91	0.13	884
7	自然金	—	0.06	0.84	0.16	86.47	11.01	—	0.72	0.22	—	—	—	99.48	0.13	887

4 讨论

4.1 成矿流体特征及来源

其中, 石英的REE含量和特征值对其成因标型有很大的指示作用。Eu在还原状态下是Eu²⁺, 易与其他三价稀土分离, 而Ce在还原状态下为Ce³⁺, 仅在氧化态下以Ce⁴⁺的形式与其他三价稀土分离。结果表明, 在氧化态下, Ce常数为负值, Eu不显著, 而在还原状态下, Eu常数为负值, Ce则无显著变化。小西弓金矿中、南两个矿区的石英元素总体上呈Eu负值, 没有Ce异常, 表明成矿流体在较低的还原性条件下生成。北矿带石英Eu呈正电, 而北矿带呈绢云母化, 因此假设: 斜长石因蚀变而向流体中注入Eu, 从而产生Eu²⁺和Eu³⁺共存的矿床。从而使Eu同时呈现正负两种异常。

4.2 流体不混溶作用与金成矿

成矿物质以流体不混溶、沸腾、流体混合及水热蚀变的形式存在。流体包裹体研究表明, 该金矿主成矿期流体呈现中温、低盐、富CO₂的特点, 并伴随着多种包裹体的紧密共生, 导致中金的析出可能是由于流体混合或流体不混溶所致, 而这些因素往往会导致流体包裹体温盐差异很大, 不符合该区流体包裹体的特点。该金矿位于NWW向次级断层的控制之下, 其矿体产于构造断裂带内, 并在此过程中产生大量富含CO₂的自然流体, 在高压条件下, 成矿流体被分割为CO₂-H₂O和CO₂-H₂O两种气体, 这些气体组分(如CO₂)的逃逸会增加成矿溶液的酸碱度, 降低金的溶解度, 促使金矿化。

4.3 矿床成因类型

关于该金矿的成因, 目前仍有两种不同的认识, 即岩浆-热液与变质-热液两种。主要分布在北山地区的一条次级断裂上。成矿流体主要为中温, 低盐度, 中低密度的CO₂-H₂O-NaCl±CH₄系统, 具有较强的还原性。根据氢、氧同位素分析, 认为成矿流体以变质水为主, 而流体不混溶造成的二氧化碳等气体成分是导致金矿化的重要因素。与区域构造演化相结合, 晚泥盆世-二叠纪是裂谷型裂谷盆地, 其中刘元裂谷在此期间形成, 并先后经历了两次伸展-挤压作用, 裂谷关闭, 并伴随着碰撞造山运动, 成为

该地区一个重要的金属成矿时代^[3]。三叠纪后造山运动已进入拉张期, 其中一个金矿成矿时代约284-276Ma, 与造山作用时间相一致, 而与之伴生的钾长花岗岩、石英正长斑岩则分别完成了841Ma和247Ma的铀-Pb定年, 其邻近区域没有与成矿同期的岩浆活动。该矿床与造山型金矿床具有类似的成矿地质背景, 矿体特征, 成矿流体性质和源区特征, 属于成矿流体-变水型造山型金矿床。

5 结论

(1) 该金矿床产于中元古界西尖山群的变质岩及新元古代的钾长花岗岩中, 受控于北东东向的次级断层。热水成矿作用可划分为三个阶段: 石英-黄铁矿(早期)、石英-多金属硫化物(主要成矿)和石英-碳酸盐岩(晚期)。

(2) 在主成矿期, 气-液两相含水包裹体是主要的流体包裹体, CO₂-H₂O三相包裹体是主要的流体包裹体, 其次是液体CO₂。该流体包裹体均一温度(194-397℃), 含盐量2.2%-8.9%, 密度0.63-0.98克/立方厘米, 流体捕集压力257-395MPa。成矿流体为CO₂-H₂O-NaCl±CH₄体系, 中温, 低盐度, 中等密度。

(3) 主要的成矿流体为变质水, 其主要的成矿机理为流体不混溶。结合矿床地质特征、流体包裹体特征、石英微量元素和氢氧同位素特征, 确定该金矿为造山型金矿。

[参考文献]

- [1]宋高端, 翟新伟, 王二腾, 等. 甘肃花牛山金矿床成矿流体性质及矿床成因[J]. 黄金科学技术, 2023, 31(06): 873-887.
- [2]陈聪, 吴涛涛, 任云生. 吉林延边东部四道沟钨矿床成矿流体性质、来源及矿床成因[J]. 中国地质, 1-20[2024-03-13].
- [3]马振皓, 刘云华, 赵强, 等. 甘肃塘坝金矿床成矿流体特征及矿床成因[J]. 黄金, 2020, 41(02): 3-11.

作者简介:

李小龙(1987--), 男, 回族, 新疆伊犁尼勒克县科蒙乡人, 本科, 毕业于新疆大学资源勘查工程专业, 地质工程师, 研究方向: 地质矿产。