内蒙古哈达门沟金矿床 28 号矿脉流体包裹体研究

葛战林[1, 2]，章永梅[1]

（1. 中国地质大学（北京）地球科学与资源学院，北京 100083;
2. 武警黄金第八支队，乌鲁木齐 830000）

摘要：对哈达门沟金矿床 28 号矿脉 4 个热液成矿阶段的流体包裹体进行系统的岩相学、显微测温研究。结果表明，包裹体以气液两相水溶液包裹体、含子晶多相包裹体和 CO_2-H_2O 三相包裹体为主，含少量纯液相水溶液包裹体、纯气相水溶液包裹体和纯液相 CO_2 包裹体。成矿流体属于中高温、中等盐度、中等密度流体，成矿作用发生在中深成环境。CO_2 流体在本区金成矿作用过程中促使矿源层的金活化并转化为可溶解性金，为还原硫与金的络合迁移提供了重要条件。与柳坝沟金矿床的成矿流体特征对比发现，两者成矿流体性质及演化规律相似，具有共同的流体来源。

关键词：矿床学与矿相学；流体包裹体；岩相学特征；显微测温；CO_2 流体；哈达门沟金矿床
中图分类号：P618.51 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-2850(2017)06-0662-10

Fluid inclusion study of vein No.28 in Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia

GE Zhanlin[1, 2], ZHANG Yongmei[1]

(1. *School of Earth Sciences and Resources*, *China University of Geosciences* (*Beijing*), *Beijing* 100083, *China*;
2. *Eighth Detachment of Gold Exploration Branch of Armed Police*, *Urumqi* 830000, *China*)

Abstract: Petrography and microthermometry were used to study fluid inclusions in 4 hydrothermal mineralization stages of vein No.28 in Hadamengou gold deposit systematically. It shows that there are three main types of fluid inclusions, including gas-fluid inclusions, daughter mineral-bearing inclusions and CO_2-H_2O three-phase inclusions. A small amount of pure liquid H_2O inclusions, pure gas H_2O inclusions and pure liquid CO_2 inclusions can also be observed. Hadamengou gold deposit belongs to medium-high temperature, medium salinity and medium-density hydrothermal mineralization and it formed in medium-deep ore-forming environment. During the process of gold mineralization, CO_2 fluid prompted the gold in source bed to be activated and translated into soluble gold and provided important conditions for the complexing migration of the reductive sulfur and gold. Comparison of the characteristics of ore-forming fluid in both Hadamengou gold deposit and Liubagou gold deposit shows that they are very similar in both the nature and the evolution laws, and the two deposits also have the common source of ore-forming fluid.

Key words: ore deposit geology and mineralography; fluid inclusion; petrological characteristics; microthermometry; CO_2 fluid; Hadamengou gold deposit

---

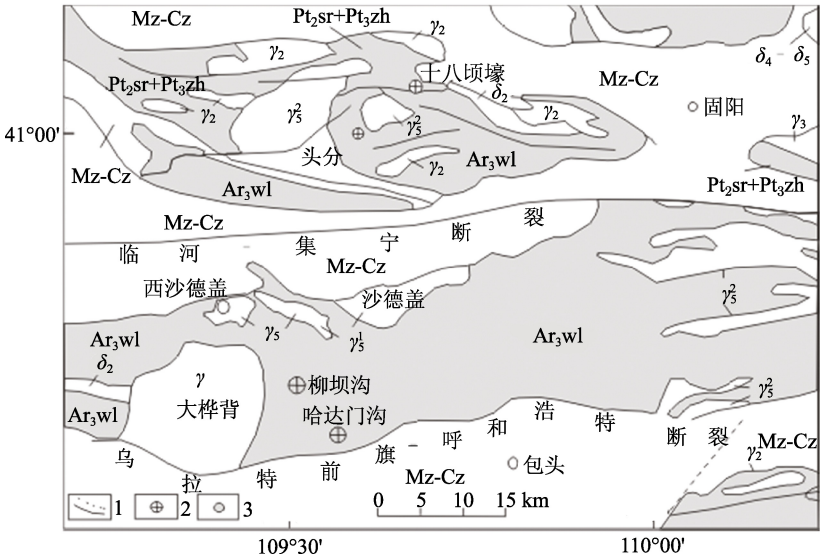
基金项目：高等学校博士学科点专项科研基金（新教师基金）（20130022120016）；国家自然科学基金（41572062）；中央高校基本科研业务费专项资金（2-9-2013-010）
作者简介：葛战林（1992—），男，硕士研究生，主要研究方向：矿床学及矿床地球化学
通信联系人：章永梅，讲师，主要研究方向：矿床学. E-mail: zhangyongmei@cugb.edu.cn

0 引言

哈达门沟金矿床位于华北地台北缘西段内蒙古地轴中部阴山隆起中段，1986 年由武警黄金部队十一支队发现，2010 年探明金资源量突破 100 t，达到超大型金矿规模[1]。哈达门沟金矿床已投产多年，但对流体包裹体方面的研究较少，尤其缺少对该矿床热液期不同成矿阶段流体性质的探讨。本文对哈达门沟金矿床 28 号矿脉的流体包裹体进行系统的岩相学及显微测温研究，以期对哈达门沟金矿床的成矿流体特征和演化规律有更加全面的认识；并与柳坝沟金矿床进行对比，查明两者成矿流体特征的异同，为研究该矿区成矿流体的演化规律提供依据。

1 矿床地质

哈达门沟金矿床地貌上呈 EW 向狭长带状展布[2]。主体构造形式以乌拉山群复背斜、乌拉山–大青山山前断裂带和临河–集宁山后断裂带为主，如图 1 所示。



注：据侯万荣等[3]修编

图 1 内蒙古哈达门沟区域地质简图

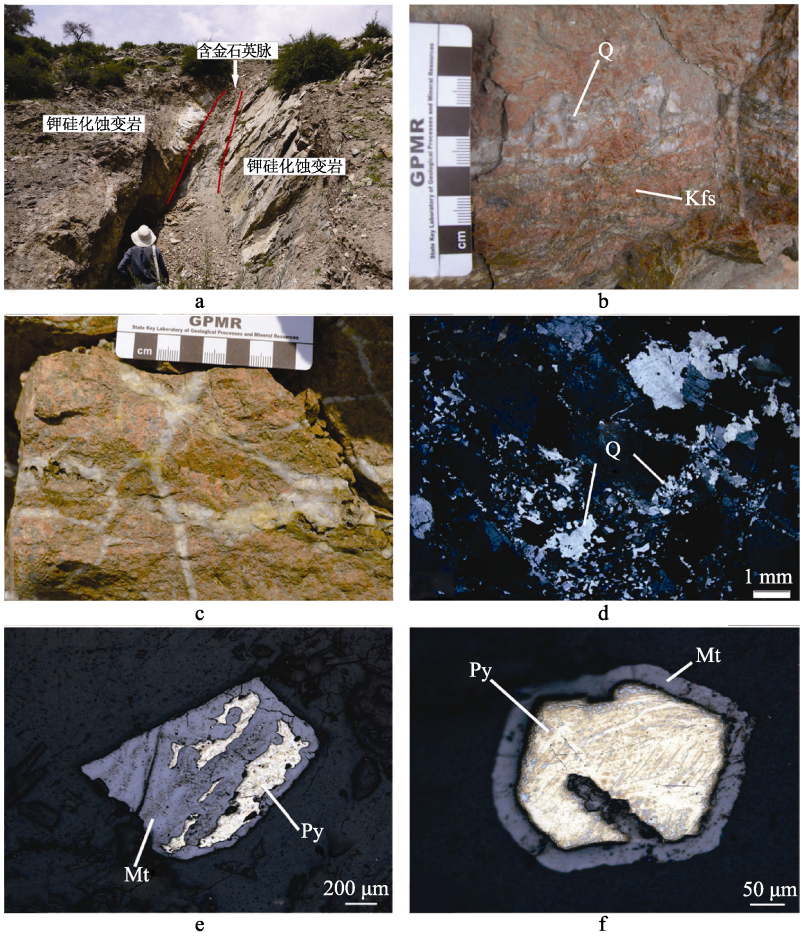
Fig. 1 Regional sketch of Hadamengou, Inner Mongolia

矿区地层从南到北，由老到新，整体呈南倾的单斜构造产出，倾角变化较大[4]。区内出露的地层主要为太古宇乌拉山群变质岩，主要的赋矿岩性为含石榴石黑云斜长片麻岩和黑云角闪斜长片麻岩。区内岩浆岩主要呈岩脉状产出，包括花岗伟晶岩脉、辉绿玢岩脉等。

哈达门沟金矿区矿体主要表现为近 EW 向分布的矿脉（群）。本区共 7 个脉群（1，2，13，24，49，55，59 号脉群），圈定金矿化体 51 条。本文的研究对象为 24 号脉群里的 28 号矿脉。28 号矿脉在地表断续出露约 1 800 m，标高 1 200～1 500 m，其矿脉厚度为 1～12 m，走向变化较大，主要为钾硅化蚀变岩型金矿脉，局部为石英–钾长石脉型。哈达门沟金矿床围岩蚀变特征及矿石典型组构如图 2 所示。哈达门沟金矿矿石类型以石英脉型（如图 2a 所示）和石英–钾长石脉型（如图 2b 所示）为主，矿石结构主要为结晶结构、交代残余结构（如图 2e 所示）、反应边结构（如图 2f 所示）、假象结构和碎裂结构，矿石构造多为浸染状构造、脉状–网脉状构造（如图 2c 所示）和角砾状构造。

矿床围岩蚀变广泛发育，蚀变带呈对称性规律分布于金矿体两侧，由矿体中心向外依次为含金石英脉→钾硅化蚀变带→绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化带，各蚀变带之间为渐变过渡关系，矿化蚀变以钾硅化为主。根据野外观察和矿相学研究（如图 2c～图 2d 所示），哈达门沟金矿床热液成矿期分为 4 个成

矿阶段：钾长石–石英阶段（I）、石英–黄铁矿–绢云母–绿帘石/绿泥石阶段（II）、石英–金–多金属硫化物阶段（III）、碳酸盐阶段（IV），金主要形成于 II、III 阶段，少量形成于 I 阶段[5]。



注：Q 为石英；Kfs 为钾长石；Mt 为磁铁矿；Py 为黄铁矿

图 2 哈达门沟金矿床围岩蚀变特征及矿石典型组构

Fig. 2 Characteristics of wall rock alteration and typical ore structures in Hadamengou gold deposit

a—矿化蚀变分带；b—钾硅化蚀变岩；c—不同成矿阶段石英脉相互切穿；d—石英脉切穿关系，正交偏光（+）；e—交代残余结构，磁铁矿不完全交代黄铁矿，反光镜（–）；f—反应边结构，磁铁矿围绕半自形黄铁矿边部交代，反光镜（–）

a-Mineralization and alteration zoning; b-K-silification altered rock; c-Quartz veins at different stages of mineralization cut through each other; d-Cutting relationship of quartz veins, orthogonal polarization microscope (+); e-Metasomatic relict texture, magnetite replacing pyrite incompletely, reflector (–); f-Corona texture, magnetite incompletely replacing subhedral pyrite, reflector (–)

2 流体包裹体研究

2.1 样品采集与研究方法

研究样品采自哈达门沟金矿床 28 号矿脉的地表、探槽以及钻孔岩芯，包括不同成矿阶段不同蚀变带内的特征性岩石、矿石样品，岩性包括钾硅化蚀变岩、石英脉、石英–钾长石脉和绿帘石化蚀变岩等。室内共磨制包裹体片 40 件，通过系统的流体包裹体岩相学研究，选取具有代表性的 10 件包裹体片进行显微测温实验。

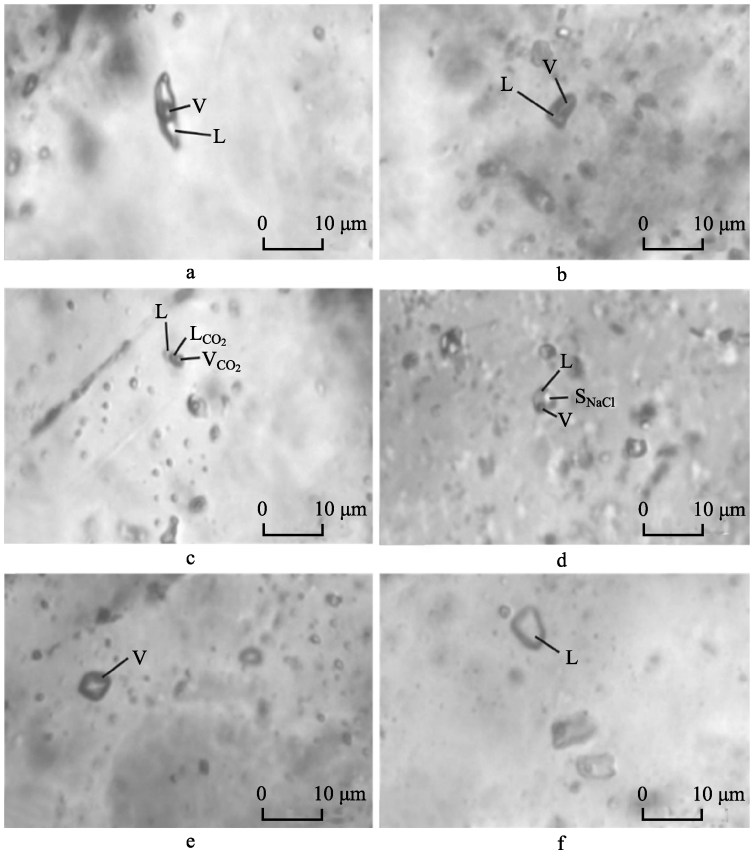
显微测温实验在中国地质大学（北京）地质过程与矿产资源国家重点实验室完成，使用仪器为英国

Linkam MDSG600 型冷热台，配套使用德国 ZEISS 偏光显微镜。测试过程中，初始升温或降温速率一般为 10～20℃/min，接近相变点时速率降至 5℃/min 以下，含子晶多相包裹体，接近子矿物熔点时升温速率降为 1℃/min 以下，以获取更高的测试精度。

2.2 包裹体岩相学特征

通过对 40 件包裹体片的岩相学观察发现，室温下以气液两相水溶液包裹体（I 型）和 CO_2-H_2O 三相包裹体（II 型）为主，其次为含子晶多相包裹体（III 型）、纯气相水溶液包裹体（IV 型）和纯液相水溶液包裹体（V 型），纯液相 CO_2 包裹体（VI 型）含量较少。各类型包裹体特征描述如下。

气液两相水溶液包裹体（I 型）：约占包裹体总数的 85%. 包裹体形态规则，多呈负晶形、椭圆形或长条状，无色透明，气泡中心常有亮点，大小为 3～10 μm，平均约为 5 μm，包裹体气液比为 15%～80%，多集中于 20%～45%（如图 3a～图 3b 所示）.



注：L—液相水；V—气相水；L_{CO_2}—液相 CO_2；V_{CO_2}—气相 CO_2；S_{NaCl}—石盐子晶

图 3 哈达门沟金矿床 28 号矿脉的典型流体包裹体类型

Fig. 3 Typical fluid inclusions of vein No.28 in Hadamengou gold deposit

a—I 型富液相水包裹体；b—I 型富气相水包裹体；c—II 型包裹体；d—III 型包裹体；e—IV 型包裹体；f—V 型包裹体

a-Liquid-rich H_2O inclusion of type I; b-Vapor-rich H_2O inclusion of type I; c-Type II inclusion; d-Type III inclusion; e-Type IV inclusion; f-Type V inclusion

CO_2-H_2O 三相包裹体（II 型）：约占包裹体总数的 4%. 形态规则，一般呈长条状或椭圆状，颜色整体呈暗黑色，“双眼皮”现象明显，大小为 4～8 μm，平均约为 6 μm，液相和气相 CO_2 占包裹体体积的 25%～35%（如图 3c 所示）.

含子晶多相包裹体（III 型）：约占包裹体总数的 4%. 呈无色透明，长条状、椭圆状或不规则状（如

图 3d 所示)。根据测温实验结果可将含子晶多相包裹体分为两种类型，III-A 型（升温过程中，气泡先消失，子晶后消失而达到均一）和 III-B 型（升温过程中，子晶先消失，气泡后消失而达到均一），大小为 3～8 μm，平均约为 6 μm.

纯气相水溶液包裹体（IV 型)：约占包裹体总数的 3%. 形状规则，多为圆形或椭圆形，灰色或暗黑色，包裹体中间有时可见一条亮线，大小为 3～5 μm，多为原生包裹体（如图 3e 所示)。

纯液相水溶液包裹体（V 型)：约占包裹体总数的 2%. 无色透明，形态为椭圆状或方形，大小为 2～5 μm，平均约为 3 μm（如图 3f 所示)，常与其他类型的包裹体共生产出。

纯液相 CO_2 包裹体（VI 型)：约占包裹体总数的 2%. 常呈椭圆状或圆形孤立产出，大小为 5～16 μm，室温下为单一 CO_2 液相。

各热液成矿阶段的寄主矿物中发育不同的包裹体类型及组合：1）钾长石–石英阶段，钾长石中包裹体主要为 I 型；2）石英–黄铁矿–绢云母–绿帘石/绿泥石阶段，灰白色石英中包裹体主要为 I 型和 II 型，其次为 III 型、IV 型、V 型，含少量 VI 型；3）石英–金–多金属硫化物阶段，烟灰色石英中广泛发育各类包裹体，以 I 型、II 型和 III 型为主，IV 型和 V 型次之，本阶段以发育大量的 III 型包裹体为主要特征；4）碳酸盐阶段，乳白色石英中包裹体以 I 型为主，可见 V 型包裹体。

在包裹体岩相学研究过程中，可见同一视域下多种类型的包裹体共生现象，且显微测温均一温度接近，尤其在 II、III 两个主要的金成矿阶段中最为常见，如图 4 所示，表明流体曾发生过沸腾作用。

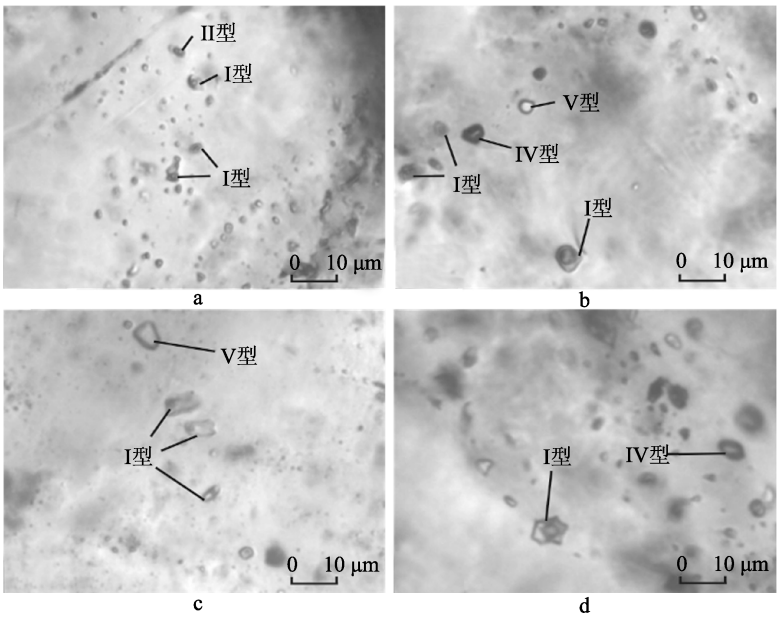


图 4 哈达门沟金矿床 28 号矿脉包裹体组合特征

Fig. 4 Characteristics of fluid inclusion assemblages of vein No.28 in Hadamengou gold deposit

a—I 型和 II 型包裹体共存；b—I 型、IV 型和 V 型包裹体共存；c—I 型和 V 型包裹体共存；d—I 型和 IV 型包裹体共存

a-Type I and type II inclusions coexist; b-Type I, type IV and type V inclusions coexist;
c-Type I and type V inclusions coexist; d-Type I and type IV inclusions coexist

2.3 包裹体显微测温分析

本文测温实验研究的流体包裹体的寄主矿物主要为不同成矿阶段的石英（I 阶段为钾长石）。用于显微测温的包裹体为长径大小在 4～12 μm 的原生包裹体，以 I 型包裹体为主，含少量的 II 型包裹体和 III 型包裹体，共获得显微测温数据 169 组，并计算出相应的盐度和密度，如附表 1 所示。

2.3.1 包裹体均一温度

哈达门沟金矿床各成矿阶段流体包裹体的均一温度如下：

1）钾长石–石英阶段包裹体均一温度变化范围为 195～409℃，主要集中于 210～390℃，平均为 292℃；

2）石英–黄铁矿–绢云母–绿帘石/绿泥石阶段包裹体均一温度变化范围为 136～381℃，集中分布于 160～310℃，平均为 237℃；

3）石英–金–多金属硫化物阶段（主成矿阶段）包裹体均一温度变化范围为 145～370℃，集中分布于 140～260℃，平均为 204℃；

4）碳酸盐阶段包裹体均一温度变化范围为 111～209℃，主要温度区间为 120～180℃，平均为 150℃.

由图 5 可以看出，哈达门沟金矿床的成矿流体温度从早期 I 阶段到晚期 IV 阶段，总体呈降低趋势。II、III 两个主要的金成矿阶段，其包裹体的均一温度范围相近，主要变化于 200～300℃，因此，哈达门沟金矿床属于中高温热液矿床。

2.3.2 包裹体盐度

通过测定 I 型包裹体冰点温度、III 型包裹体石盐子晶消失温度，利用 HALL 等[6]提出的计算公式可估算出相应的盐度值。通过测定 II 型包裹体笼合物的消失温度 $T_{m\text{-}cal}$，利用 ROEDDER[7]提出的盐度计算公式，计算获得哈达门沟金矿床各成矿阶段的盐度 $w(NaCl_{eq})$.

1）钾长石–石英阶段，I 型包裹体盐度变化范围为 4.2%～17.9%，平均值为 12.0%；

2）石英–黄铁矿–绢云母–绿帘石/绿泥石阶段，I 型、II 型、III 型包裹体盐度变化范围分别为 2.2%～17.4%、10.0%～11.2%、34.9%，平均值分别为 9.6%、10.6%、34.9%；

3）石英–金–多金属硫化物阶段，I 型、II 型、III 型包裹体盐度变化范围分别为 6.0%～18.8%、9.3%～11.6%、31.8%～44.4%，平均值分别为 11.0%、10.4%、35.6%；

4）碳酸盐阶段，I 型包裹体盐度变化范围为 7.7%～12.4%，平均值为 10.1%.

如图 6 所示，哈达门沟金矿床从早期的钾长石–石英阶段到晚期的碳酸盐阶段，盐度整体呈降低趋势，但下降幅度不大，平均盐度由 I 阶段的 12.0%下降至 IV 阶段的 10.1%.

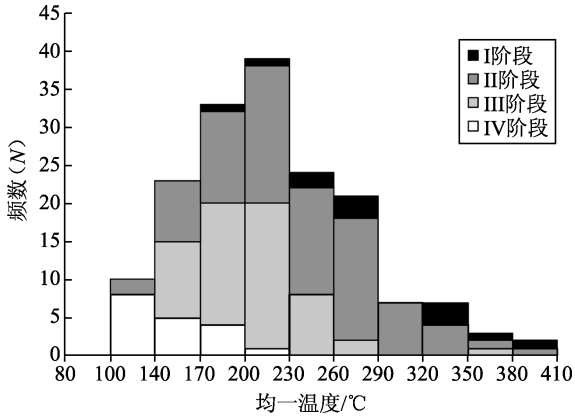


图 5 哈达门沟金矿床 28 号矿脉流体包裹体均一温度直方图

Fig. 5 Homogenization temperature histogram of fluid inclusions of vein No.28 in Hadamengou gold deposit

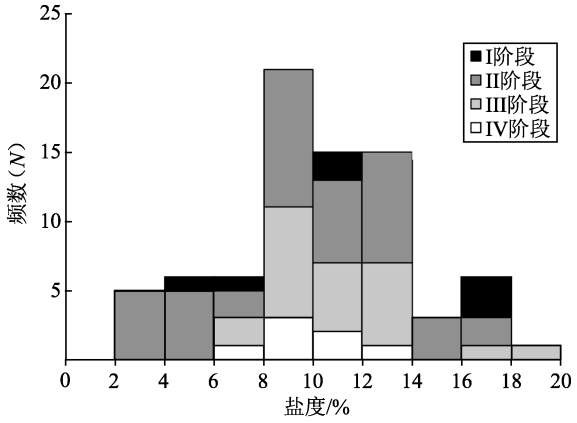


图 6 哈达门沟金矿床 28 号矿脉 I 型包裹体盐度频数直方图

Fig. 6 Salinity-frequency histogram of type I inclusions of vein No.28 in Hadamengou gold deposit

2.3.3 包裹体密度

主要参考刘斌等[8~10]提出的流体包裹体密度公式，对 I 型、II 型、III 型包裹体进行相应计算。计算

获得哈达门沟金矿床各成矿阶段的包裹体密度，如表 1 所示。

1）钾长石–石英阶段，I 型包裹体密度变化范围为 0.85～0.97 g/cm^3，平均为 0.91 g/cm^3.

2)石英–黄铁矿–绢云母–绿帘石/绿泥石阶段,I 型包裹体密度变化范围为 0.67～0.99 g/cm^3,平均为 0.89 g /cm^3；II 型包裹体密度变化范围为 0.85～0.98 g/cm^3，平均为 0.92 g/cm^3；III 型包裹体密度为 1.47 g/cm^3.

3）石英–金–多金属硫化物阶段，I 型包裹密度变化范围为 0.85～1.03 g/cm^3，平均为 0.94 g/cm^3；II 型包裹体密度变化范围为 0.95～0.96 g/cm^3，平均为 0.96 g/cm^3；III 型包裹体密度变化范围为 1.07～1.47 g/cm^3，平均为 1.21 g/cm^3.

4）碳酸盐阶段，I 型包裹体密度变化范围为 0.92～1.03 g/cm^3，平均为 0.98 g/cm^3.

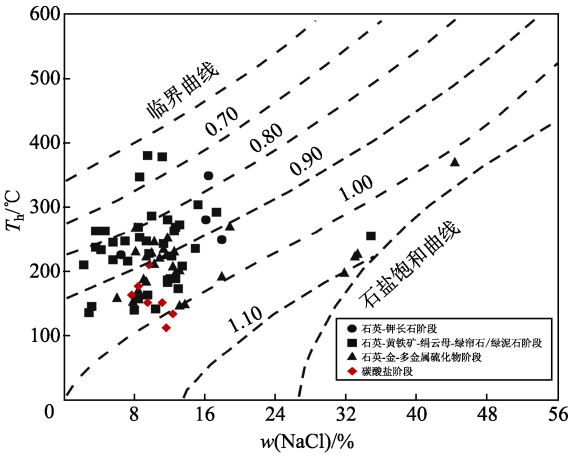
2.3.4 成矿压力与深度

哈达门沟金矿床成矿压力和深度计算，主要根据 I 型包裹体的测温数据，结合邵洁涟[11]计算成矿压力和深度的经验公式进行。计算结果表明，哈达门沟金矿床的金成矿压力范围为 30.7～97.4 MPa，平均为 58.2 MPa，成矿深度介于 1.0～3.2 km，平均为 1.9 km，属于中深成成矿。

3 讨论

3.1 成矿流体特征

对哈达门沟 28 号矿脉各成矿阶段 I 型、II 型和 III 型流体包裹体的均一温度及其盐度投图（如图 7 所示），结果表明，成矿流体属于中高温度、中等盐度、中等密度的 NaCl-H_2O-CO_2 体系。从早期钾长石–石英阶段到晚期碳酸盐阶段，成矿温度和盐度总体呈下降趋势。由图 7 可观测到，各成矿阶段不同类型的流体包裹体的均一温度分布相对集中（约 140～260℃），但盐度范围跨度较大（2.2%～44.4%），相对分散，表明研究区成矿流体可能曾发生过流体不混溶（沸腾）作用。



注：底图据 BODNAR [12]

图 7 NaCl-H_2O 体系的 T-w-ρ 相图

Fig. 7 Temperature, salinity and density in NaCl-H_2O systems

ROEDDER[13]将在某一种体系中具有两种或两种以上流体相互组合而共存的现象，称为流体不混溶性。HOLLISTER 将地壳中流体的不混溶性分为 3 类：第一类是以水流体为主的沸腾；第二类是从富水流体中分离出来的富 CO_2 流体；第三类是从某种硅酸盐熔融体中分离出来的某种低密度流体[9]。

3.2 CO_2 流体与金成矿作用

许多金矿床的流体包裹体研究表明，金矿化作用与 CO_2 流体具有密切联系。郑大中等[14]认为金成矿与 CO_2 相关性的实质是 CO 与成矿物质形成羰基配合物、羰基氢配合物迁移至地壳浅部，由于温度、压力骤降，氧逸度剧增，致使配合物发生分解而形成金矿物的沉淀富集。但 CO_2 与金之间的化学键较弱，不易形成含金络合物，即 CO_2 对金的搬运作用有限。周乃武等[15]认为 CO_2 在金成矿过程中可以促使矿源层的金活化，转化为可溶解性金，并作为一种成矿流体的 pH 缓冲剂使金保持溶解状态，CO_2 在溶液中的含量变化是金沉淀富集的重要因素。

在本区流体包裹体的研究工作中发现，CO_2-H_2O 包裹体均发育于寄主矿物石英之中。在 II、III 两个主要的金成矿阶段中，CO_2 包裹体普遍发育，其三相点温度略低于纯 CO_2 三相点温度（–56.6℃），表明

石英中的 CO_2 包裹体除含 H_2O 和 CO_2 外，还存在其他成分的混入。CO_2 流体在金成矿作用过程中，不仅起到了成矿流体 pH 缓冲剂的作用，而且促使矿源层的金活化并转化为可溶解性金，为还原硫与金的络合迁移提供了重要条件。

3.3 哈达门沟金矿床与柳坝沟金矿床成矿流体特征对比

哈达门沟金矿床与柳坝沟金矿床为同一矿田的两个不同金矿床，结合前人对柳坝沟金矿床流体包裹体的研究成果，通过对比分析两者成矿流体的异同，为研究该矿区成矿流体的演化规律提供一定依据。

3.3.1 成矿流体温度

柳坝沟金矿床各成矿阶段的包裹体均一温度分别为：1）石英–钾长石阶段（I）变化于 300～510℃，平均为 406℃；2）石英–黄铁矿–绿帘石/绿泥石阶段（II）变化于 150～420℃，平均为 267℃；3）石英–金–多金属硫化物阶段（III）变化于160～370℃，平均值为 265℃；4）碳酸盐阶段（IV）变化于 90～240℃，平均值为 164℃[16].

对比哈达门沟金矿床可以看出，哈达门沟金矿床和柳坝沟金矿床均属于中高温成矿，成矿温度从早期石英–钾长石阶段到晚期碳酸盐阶段，呈逐渐降低趋势。但哈达门沟金矿床各阶段成矿流体温度均低于同一阶段的柳坝沟金矿床，尤其表现在 II、III 两个主要的金成矿阶段。

3.3.2 成矿流体盐度

柳坝沟金矿床 4 个成矿阶段的 I 型包裹体盐度 $w(NaCl_{eq})$分别为：11.3%～17.9%、8.0%～15.7%、5.1%～11.9%、1.9%～8.8%，相对应的平均值分别为 15.1%、11.6%、7.7%、4.6%.

哈达门沟金矿床和柳坝沟金矿床各成矿阶段盐度变化范围较大，均为中等盐度，且成矿流体盐度随成矿作用的进行，整体呈降低趋势。

3.3.3 流体密度与成矿压力

柳坝沟金矿床从早成矿阶段到晚成矿阶段，I 型流体包裹体密度的变化范围分别为：0.59～0.82，0.71～1.01，0.77～0.96，0.83～0.98 g/cm^3. 成矿压力范围为 87.1～137.6 MPa，成矿深度介于 3.3～5.2 km，平均为 4.3 km[17].

哈达门沟金矿床和柳坝沟金矿床流体密度接近，均为中等密度。就成矿深度而言，两者都属于中深成矿床，但哈达门沟金矿床的成矿压力和深度均小于柳坝沟金矿床。

4 结论

1）哈达门沟金矿床不同成矿阶段具有不同的流体包裹体组合特征，钾长石–石英阶段（I）和碳酸盐阶段（IV）以气液两相水溶液包裹体为主；石英–黄铁矿–绢云母–绿帘石/绿泥石阶段（II）以气液两相水溶液包裹体和 CO_2-H_2O 三相包裹体为主；石英–金–多金属硫化物阶段（III）主要发育气液两相水溶液包裹体、CO_2-H_2O 三相包裹体和含子晶多相包裹体，以出现大量的含子晶多相包裹体为特征。

2）本区成矿流体属于中高温、中等盐度和中等密度的 NaCl-H_2O-CO_2 体系。成矿压力范围为 30.7～97.4 MPa，成矿深度介于 1.0～3.2 km，矿床属于中深成成矿。成矿作用是一个温度降低、盐度退缩的过程。成矿流体曾发生过流体不混溶（沸腾）作用，流体沸腾温度集中于 140～260℃.

3）成矿流体富含 CO_2，CO_2 流体在金成矿作用过程中，不仅起到了成矿流体 pH 缓冲剂的作用，而且促使矿源层的金活化并转化为可溶解性金，为还原硫与金的络合迁移提供了重要条件。

4）哈达门沟金矿床和柳坝沟金矿床成矿流体性质接近，具有共同的流体来源。

[参考文献] (References)

[1] 李硕，冷昌恩，贺战朋. 内蒙古哈达门沟金矿 13 号矿脉地质地球化学特征[J]. 现代地质，2012，26（5）：1096-1103.
LI S, LENG C E, HE Z P. Geological and geochemical characteristics of orebody 13 of Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia[J]. Geoscience, 2012, 26(5): 1096-1103. (in Chinese)

[2] 夏冬，张玉进，谢燕，等. 内蒙古自治区哈达门沟金矿矿床特征浅析[J]. 内蒙古科技与经济，2011（1）：51-52.
XIA D, ZHANG Y J, XIE Y, et al. Characteristics of Hadamengou gold deposit in inner mongolia autonomous region[J]. Inner Mongolia Science Technology and Economy, 2011(1): 51-52. (in Chinese)

[3] 侯万荣，聂凤军，杜安道，等. 内蒙古哈达门沟地区泥盆纪金（钼）矿化事件厘定的同位素证据[J]. 地质论评，2011，57（4）：583-590.
HOU W R, NIE F J, DU A D, et al. Isotopic evidence for determing the devonian gold and molybdenum mineralization in the Hadamengou area, Baotou, Inner Mongolia[J]. Geological Review, 2011, 57(4): 583-590. (in Chinese)

[4] 王彦君，刘明成. 哈德门沟金矿床地质若干特点[J]. 采矿技术，2006，16（4）：91-93.
WANG Y J, LIU M S. Several geochemical characteristics of Hadamengou gold deposit[J]. Mining Technology, 2006, 16(4): 91-93. (in Chinese)

[5] 章永梅. 内蒙古柳坝沟–哈达门沟金矿田成因、控矿因素与找矿方向[D]. 北京：中国地质大学（北京），2012.
ZHANG Y M. Metallogenesis, ore-controlling factors and prospecting direction of the Liubagou-Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012. (in Chinese)

[6] HALL D L, STERNER S M, BONDER R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H_2O solutions[J]. Economic Geology, 1988, 83(1): 197-202.

[7] ROEDDER E. Fluid inclusion[M]. Mineralogical Society of America, 1984.

[8] 刘斌，段光贤. NaCl-H_2O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报，1987，7（4）：345-352.
LIU B, DUAN G X. The density and isochoric formulae for NaCl-H_2O fluid inclusions (salinity≤25 wt%) and their applications[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1987, 7(4): 345-352. (in Chinese)

[9] 刘斌，沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京：地质出版社，1999.
LIU B, SHEN K. Thermodynamics of fluid inclusions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. (in Chinese)

[10] 刘斌. 中高盐度 NaCl-H_2O 包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 地质评论，2001，47（6）：617-622.
LIU B. Density and isochoric formulae for NaCl-H_2O inclusions with medium and high salinity and their applications[J]. Geological Review, 2001, 47(6): 617-622. (in Chinese)

[11] 邵洁涟. 金矿找矿矿物学[M]. 武汉：中国地质大学出版社，1988.
SHAO J L. Mineralogy exploration of gold deposit[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1988. (in Chinese)

[12] BODNAR R J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H_2O-NaCl solutions[J]. Geochimica et Cosmochimca Acta, 1993, 57(3): 683-684.

[13] ROEDDER E. Fluid inclusion evidence for immiscibility in magmatic differentiation[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1992, 56(1): 5-20.

[14] 郑大中，郑若锋. 论金矿成矿与 CO_2 相关性的实质[J]. 黄金地质，2004，10（2）：8-16.
ZHENG D Z, ZHENG R F. Implication of the correlatability between gold mineralization and CO_2[J]. Gold Geology, 2004, 10(2): 8-16. (in Chinese)

[15] 周乃武，李连山. 论 CO_2 在金成矿过程中的作用[J]. 黄金学报，1999，1（3）：162-166.
ZHOU N W, LI L S. The function of CO_2 in gold deposits forming process[J]. Gold Journal, 1999, 1(3): 162-166. (in Chinese)

[16] 刘丽，顾雪祥，沈阳，等. 内蒙古柳坝沟金矿床的成矿流体特征及成矿机制[J]. 矿床地质，2010，29（增）：591-592.
LIU L, GU X X, SHEN Y, et al. The characteristics and mechanism of ore-forming fluid of Liubagou gold deposit, Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(Suppl.): 591-592. (in Chinese)

[17] 沈阳. 内蒙古柳坝沟金矿床流体包裹体研究[D]. 北京：中国地质大学（北京），2010.
SHEN Y. Fluid inclusion study of Liubagou gold deposit in Inner Mongolia[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2010. (in Chinese)

附表

表 1　哈达门沟金矿床 28 号矿脉流体包裹体均一温度、盐度和密度测定结果

Tab. 1　Homogenization temperatures, salinities and densities of fluid inclusions in vein No.28 in Hadamengou gold deposit

寄主矿物	成矿阶段	包裹体类型	均一温度测定			冰点温度测定			NaCl 子晶熔化温度测定			盐度测定			密度测定		
			均一温度/℃	平均值/℃	测定包裹体数/个	冰点温度/℃	平均值/℃	测定包裹体数/个	NaCl 子晶熔化温度/℃	平均值/℃	测定包裹体数/个	盐度（NaCl）/%	平均值/%	测定包裹体数/个	密度/(g/cm³)	平均值/(g/cm³)	测定包裹体数/个
钾长石	I	I 型	195～409	292	12	−2.5～−14.1	−8.7	7				4.2～17.9	12.0	7	0.85～0.97	0.91	4
	II	I 型	136～381	234	80	−1.3～−13.6	−6.6	41				2.2～17.4	9.6	41	0.67～0.99	0.89	36
灰白色石英		II 型	285～379（T_h）	332	2	19.1～25.4（$T_{h\text{-}CO_2}$）	22.3	2	3.5～4.3（$T_{m\text{-}cal}$）	3.9	2	10.0～11.2	10.6	2	0.85～0.98	0.92	2
		III 型	309	309	1				254	254	1	34.9	34.9	1	1.47	1.47	1
烟灰色石英	III	I 型	145～271	199	50	−3.7～−15.2	−7.6	23				6.0～18.8	11.0	23	0.85～1.03	0.94	23
		II 型	223～225（T_h）	224	2	24.5～27.1（$T_{h\text{-}CO_2}$）	25.8	2	3.2～4.8（$T_{m\text{-}cal}$）	4.0	2	9.3～11.6	10.4	2	0.95～0.96	0.96	2
		III 型	198～370	255	4				198～370	255	4	31.8～44.4	35.6	4	1.07～1.47	1.21	4
乳白色石英	IV	I 型	111～209	150	18	−4.9～−8.6	−6.7	7				7.7～12.4	10.1	7	0.92～1.03	0.98	7

注：T_h 为 CO_2-H_2O 三相包裹体完全均一温度；$T_{h\text{-}CO_2}$ 为 CO_2-H_2O 三相包裹体部分均一温度；$T_{m\text{-}cal}$ 为 CO_2-H_2O 三相包裹体笼形物消失温度