

文章编号: 1006-6616 (2015) 04-0517-10

内蒙浩尧尔忽洞金矿流体包裹体和矿床成因研究

王得权^{1,2}, 王建国¹, 王义忠¹, 刘建朝², 张海东²

(1. 中陕核工业集团公司, 西安 710054;
2. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054)

摘要: 内蒙浩尧尔忽洞金矿中比鲁特岩组一、二岩性段是主要的赋矿层位, 岩石类型有炭质变粉砂岩、粉砂质板岩、炭质板岩和千枚岩等。该组中 Au 含量是地壳丰度值的 7.14 倍, 且碳含量较高, 介于 1% ~ 7% 之间。矿化过程分为 4 个阶段: 早期石英脉阶段包裹体均一温度 245.2 ~ 323.3 °C, 石英-黄铁矿阶段均一温度为 236.9 ~ 317.5 °C, 石英-多金属硫化物阶段均一温度 231.7 ~ 324.5 °C, 石英-碳酸盐阶段均一温度 187.6 ~ 312.9 °C。激光拉曼显微探针分析结果显示, 气液两相包裹体中液相成分主要为 H₂O, 含少量 CO₂; 气相成分主要为 CO₂, 含少量的 CH₄ 和 N₂。氢、氧同位素特征表明成矿流体与岩浆热液关系密切。气相成分中大量有机成分可能是岩浆上侵促使地层中有机质发生热降解而生成的。矿床类型属于黑色岩系型金矿, 与中亚成矿带的黑色岩系型金矿具有很高的可比性。

关键词: 比鲁特组; 流体包裹体; 拉曼显微探针; 黑色岩系型金矿

中图分类号: P597+.3

文献标识码: A

浩尧尔忽洞金矿位于内蒙白云鄂博地区乌拉特中旗境内。白云鄂博地区金储量丰富, 区内主要分布浩尧尔忽洞金矿、赛乌素金矿、干斯陶勒盖金矿以及布龙土金矿点、沙拉庙金矿点、比鲁特金矿点等。浩尧尔忽洞金矿 2010 年投产, 年产黄金 3.55 t。2012 年, 矿山进一步加大地质勘查工作, 提交金储量达 200 t 左右。本文通过对浩尧尔忽洞金矿的矿相学和成矿流体的演化研究, 探讨浩尧尔忽洞金矿的矿床地质特征、成矿流体、矿床成因等, 为进一步找矿提供依据。

1 区域地质概况

浩尧尔忽洞金矿矿区内发育华力西中、晚期侵入的岩浆岩, 其距比鲁特岩组内金矿化带数百至数千米不等。此外矿区内还出露大量不同成分脉岩 (见图 1), 脉岩内尚未发现任何金矿化, 但岩脉周围金富集。矿区内花岗岩体形成年龄与金矿形成年龄相近, 因此有学者提

收稿日期: 2015-04-07

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41040020); 中陕核工业集团公司科技创新项目“黄泥坪、秋树坪地区金成矿规律与成矿预测研究” (61150101)

作者简介: 王得权 (1981-), 男, 汉族, 陕西省西安市人, 博士, 现从事固体矿产勘查工作。E-mail: wdq0013@163.com

出金成矿作用可能与海西期构造岩浆活动有关^[1-3]。也有学者认为该矿床的形成与岩浆岩关系不大,属于沉积-变质型金矿^[4]。

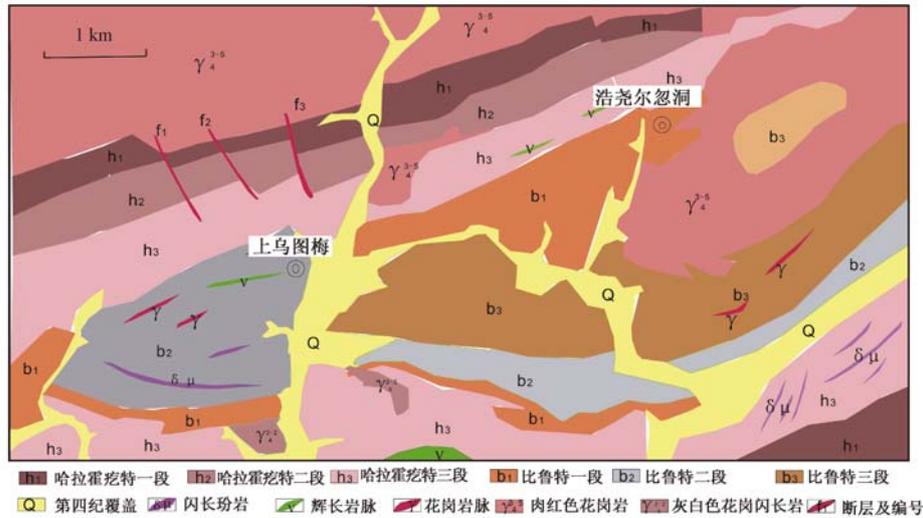


图 1 浩尧尔忽洞金矿矿区地质图

Fig. 1 Generalized geologic map of the Haoyaoerhudong Gold Deposit

晚古生代华力西运动期,西伯利亚板块不断向华北板块推移,表现为陆缘、陆间型活动带的逐渐封闭固结与新陆壳的不断增生扩展,在华北板块北缘发生大规模岩浆活动,晚华力西期该区发育磨拉石建造^[5-7],磨拉石建造应该代表着造山运动主碰撞期的结束。区域出露的地层主要包括太古界五台群、早元古界色尔腾山群、中元古界白云鄂博群、奥陶系—石炭系、侏罗系、白垩系和少量新生界。

2 矿床地质特征

2.1 地层

研究区内出露的地层分布范围较小,面积约 200 km²,呈长条状、月牙状、不规则状“漂浮”在华力西—加里东期中酸性大岩基之上。矿区内出露的地层主要为中元古界白云鄂博群尖山岩组、哈拉霍疙特岩组和比鲁特岩组。

2.2 构造

矿区位于合教—石崩和高勒图 2 个深大断裂之间,受深大断裂和岩浆作用影响明显,形成许多紧闭褶皱和北东东、北西向次级断裂。

褶皱构造: 矿区内褶皱构造主要为浩尧尔忽洞向斜,北东向展布,向斜核部为比鲁特岩组(含矿地层),内翼为哈拉霍疙特岩组,外翼为尖山岩组。由于岩浆活动和断裂构造的影响,局部褶皱发生轻微倒转。轴部比鲁特岩组在西部圈闭,褶皱紧密,总体形态呈柳叶状。受后期动力变质作用,层内形成许多香肠状构造和刚性层的透镜体。

断裂构造: 北东东向断裂在矿区内最为发育,也是控制矿体的主要构造。北西向断裂在矿区内也较发育,是北部高勒图逆断层和南部合教—石崩断裂应力迭加的产物。北西向断层主要为平移断层,切割近东西向的挤压破碎带,断距一般在十至上百米,基本无金矿化。由

此可见, 北西向断层晚于北东东向断层, 是成矿后断层, 对矿体有破坏作用。

2.3 岩浆岩

矿区及其周边出露的侵入岩主要为华力西中、晚期侵入的岩浆岩。岩浆岩主要以岩基、小岩株出露于矿区北部和南部。岩石类型主要为黑云母花岗岩、花岗闪长岩、粗粒花岗岩和辉长岩。此外, 矿区内还有大量脉岩出露, 包括辉绿岩、煌斑岩、闪长玢岩、花岗岩脉等。本区金矿化主要与石英脉有关。

3 矿床地质

3.1 矿体空间分布形态、规模

比鲁特岩组是主要的赋矿层位, 呈东西向展布, 按其岩石组合类型自下而上可划分为4个岩段。第一、二岩性段是主要的含矿地层, 岩石类型为炭质变粉砂岩、粉砂质板岩、炭质板岩、千枚岩和红柱石-十字石-石榴子石片岩等, 断层、节理和各类脉岩均较发育, 硅化和硫化物蚀变强烈。比鲁特组第三、四段及其他地层均不含矿或含矿性较差, 这可能与围岩物理化学条件有关。

浩尧尔忽洞金矿位于浩尧尔忽洞向斜南翼, 靠近哈拉霍疙特组第三岩性段(灰岩), 受比鲁特组第二岩段和构造破碎带及向斜核部控制, 含矿岩石主要为千枚岩、片岩、千枚状板岩等。

金矿带整体长约4500 m, 宽20~200 m, 金矿体形态主要为透镜状、板状和似板状, 平面上呈雁行状排列, 顺层产出, 局部地段受构造影响有切层现象, 可分为东、西2个矿带。西矿带各矿体为近东西—北西向展布, 矿体间隔一般在10~20 m之间; 东矿带各矿体为北东向展布, 矿体间隔也在10~20 m之间(见图2)。矿体平均厚度8.97 m, 最厚达47.64 m, 厚度变化系数一般在17.73%~66.84%之间。

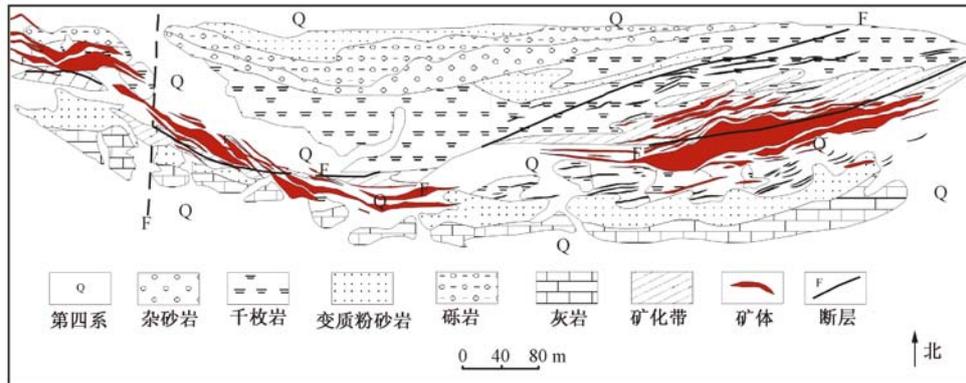


图2 浩尧尔忽洞金矿矿体分布

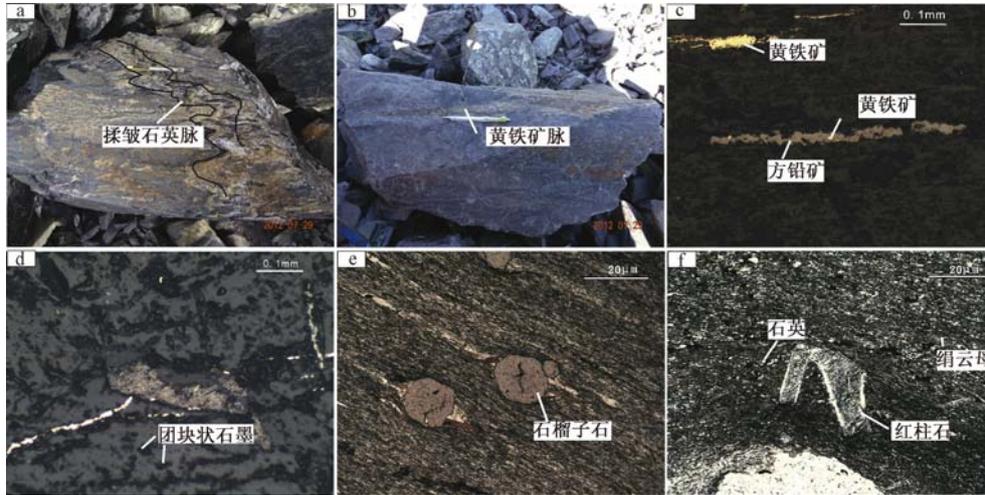
Fig. 2 Ore body distribution of Haoyaoerhudong gold deposit

3.2 矿石类型

浩尧尔忽洞金矿区矿石类型主要为含金石英脉型和变质碎屑岩型。

含金石英脉型: 主要分布在浩尧尔忽洞向斜核部和构造破碎带内, 含金石英脉呈细脉状分布, 脉宽不等, 宽者达10 cm, 窄者1 cm或更细(见图3a)。在后期韧性剪切作用下, 形

成许多揉皱状、透镜状、香肠状石英脉。石英脉以充填的方式赋存于岩石裂隙和层理中，与围岩界限清晰。围岩蚀变较弱，石英脉边部，特别是脉的尖灭处黄铁矿化和黑云母化较发育。



a—矿石含揉皱状石英脉矿石；b—矿石含黄铁矿脉；c—它形方铅矿、黄铁矿（光片）；
d—炭质板岩（光片）；e—石榴子石片岩（薄片）；f—绢云母红柱石片岩（薄片）

图3 浩尧尔忽洞金矿矿石特征

Fig. 3 The characteristics of ore in Haoyaoerhudong gold deposit

变质碎屑岩型：该类型矿石中不含或很少含石英脉（见图3b），含矿围岩主要为炭质板岩、千枚岩和片岩以及断层角砾岩，分布空间范围与石英脉型金矿相重叠。矿石中发育细脉状、膜状金属硫化物。

3.3 矿石结构构造

矿石结构包括粒状结构、包裹结构、填隙结构、交代结构以及环带结构。黄铁矿呈半自形—自形结构；黄铜矿、方铅矿呈它形结构，方铅矿包裹黄铁矿（见图3c）。后期黄铁矿微细脉沿黄铁矿细脉、粗脉的裂隙充填、交代。矿石构造以脉状、浸染状为主，其次为团块状、角砾状、晶洞构造等。金属矿物主要为黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂，其次是黄铜矿、方铅矿等。脉石矿物主要为绢云母、石英、绿泥石、石墨（见图3d），其次为钠长石和碳酸盐类矿物，局部见石榴子石（见图3e）、红柱石（见图3f）等变质矿物。

3.4 围岩蚀变

围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化等。区内围岩蚀变有如下主要特征：①各类蚀变围绕矿脉发生，沿断裂破碎带分布，受褶皱和韧性剪切带构造控制明显；②在蚀变波及范围内，自矿脉至两侧围岩，蚀变强度逐渐降低；③各类蚀变相互叠加，组成复杂的蚀变带，各种蚀变之间的分带性不十分明显；④与成矿作用关系密切的蚀变主要是硅化，其次为黄铁矿化。

4 流体包裹体研究

4.1 样品采集与分析方法

本次研究样品采自东西矿坑内片岩和板岩中的早期干净石英脉、呈透镜状的含金属硫化

物石英脉及晚期石英-方解石脉, 这些脉体基本上包含了矿区内的主要石英脉类型, 对成矿流体的研究有一定的代表意义。

流体包裹体岩相学观察和显微测温工作在长安大学教育部重点实验室进行。包裹体显微观察采用德国 ZEISS 公司的偏光显微镜。匹配测试仪器为英国产 Linkam MDSG600 型冷热台, 仪器测定精度为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 测温范围为 $-196\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。检测温度低于 $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 误差为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$; $31\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间时, 误差为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$; 高于 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 误差为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。测试时, 过冷却降温速率 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 当温度低于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 升温速率为 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$; 温度达 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时, 升温速率为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$; 在相变点附近升温速率小于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

4.2 包裹体岩相学特征

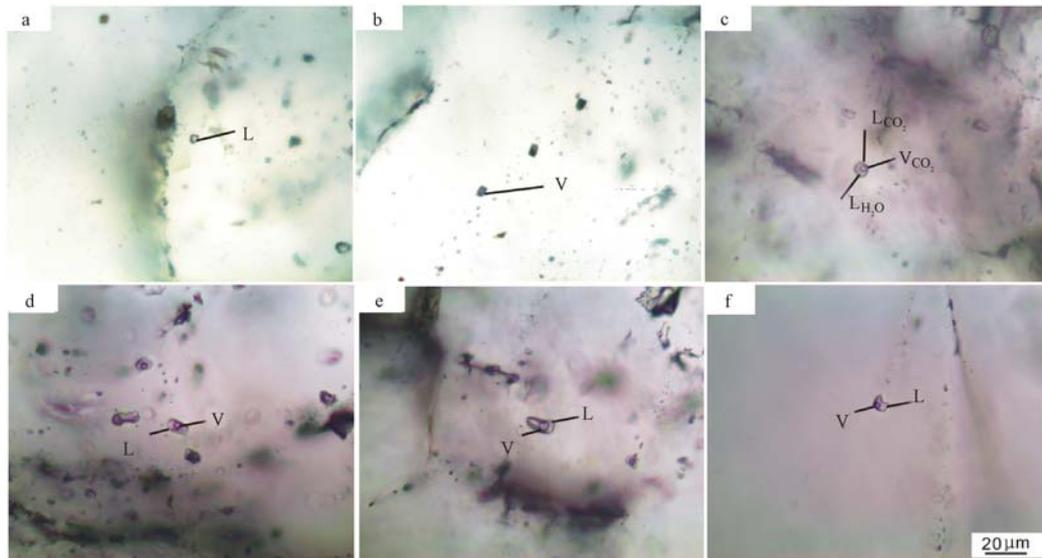
通过对 5 件包裹体片的显微岩相学观察, 将各成矿阶段脉体中的包裹体进行分类, 室温下以气液两相包裹体为主, 纯气相包裹体、纯液相包裹体次之。本次研究的包裹体均为原生包裹体。各类型的特征描述如下:

①纯液相包裹体: 约占包裹体总数的 4%。以椭圆状、浑圆状为主, 大小在 $4\sim 6\text{ }\mu\text{m}$, 普遍较小。此类包裹体在升温的过程中其形态不发生变化 (见图 4a)。

②纯气相包裹体: 约占包裹体总数的 6%。多为原生包裹体, 以各种椭圆形产出, 大小 $10\sim 15\text{ }\mu\text{m}$, 呈灰黑色, 镜下特征为猫眼状 (见图 4b)。

③含液态 CO_2 的三相包裹体: 约占包裹体总数的 3%, 多为原生包裹体, 以椭圆状产出, 大小 $10\sim 15\text{ }\mu\text{m}$, 镜下可见双眼皮特征 (见图 4c)。

④气液两相包裹体: 约占包裹体总数的 85%。包裹体形态为近长条状 (见图 4d)、近椭圆状 (见图 4e)、弯月状 (见图 4f) 等, 大小介于 $13\sim 20\text{ }\mu\text{m}$, 包裹体的气液比一般小于 50%, 多数集中在 5%~30% 之间, 气泡一般为无色, 加热均一到液相。该类包裹体发育在石英中, 是本区最为主要的包裹体类型。



a—纯液相包裹体; b—纯气相包裹体; c— CO_2 三相包裹体; d—长条状气液两相包裹体;
e—近椭圆形气液两相包裹体; f—弯月形气液两相包裹体

图4 包裹体显微照片

Fig. 4 The microscope photos of fluid inclusion

4.3 包裹体均一温度

寄主矿物为石英的包裹体测温数据见表1,从中可以看出,早期石英脉阶段均一温度为245.2~323.3℃,平均值295.8℃;石英-黄铁矿阶段均一温度为236.9~317.5℃,平均值287.3℃;石英-硫化物阶段均一温度为231.7~324.5℃,平均值275.3℃;石英-碳酸盐阶段均一温度为187.6~312.9℃,平均值231.8℃。自早期石英脉阶段到晚期石英-碳酸盐阶段,均一温度总体呈现逐渐降低的趋势。

表1 浩尧尔忽洞金矿流体包裹体显微测温结果

Table 1 Microthermometric data of fluid inclusions of Haoyaoerhudong gold deposit

样品编号	寄主矿物	数量	均一温度/℃	冰点/℃	盐度/%	流体密度/(g·cm ⁻³)	成矿阶段
hr007-3	石英	18	245.2~323.3	-5.8~-9.2	10.58~16.59	0.78~0.92	早期石英脉阶段
hr007-5	石英	12	236.9~317.5	-7.6~-11.2	14.00~21.29	0.84~0.91	石英-黄铁矿阶段
hr007-4	石英	21	231.7~324.5	-5.8~-8.7	10.58~15.80	0.75~0.93	石英-硫化物阶段
hr007-13	石英	24	187.6~312.9	-3.9~-7.5	7.04~13.84	0.79~0.97	石英-方解石阶段

4.4 盐度

流体包裹体的盐度(w)根据包裹体冷冻回温后最后一块冰融化的温度(冰点),利用Hall等^[8]的方程计算而得,计算公式为: $w = 0.00 + 1.78X - 0.0442X^2 + 0.000557X^3$,式中 X 为冰点绝对温度。

本文应用冷冻法测定了各成矿阶段石英中包裹体的冰点温度,通过计算得出浩尧尔忽洞金矿流体包裹体的盐度范围为7.04%~21.29%,平均值13.26%,盐度中等。

4.5 密度

根据气液包裹体均一温度和冰点温度数据,选用NaCl-H₂O溶液包裹体的密度公式^[9]进行了计算。计算公式为: $D = A + Bt + Ct^2$,式中 D 为流体密度,g/cm³; t 为均一温度,℃; A, B, C 是盐度的函数,无量纲。该公式适用范围:均一温度 $t \leq 500$ ℃;盐度 $w \leq 30\%$ 。

利用包裹体的盐度和均一温度试验数据,计算出浩尧尔忽洞金矿成矿流体的密度为0.78~0.97 g/cm³,平均值0.87 g/cm³,表明成矿流体密度较低。

4.6 成矿压力、成矿深度估算

本次成矿压力计算采用邵洁连^[10]的经验公式: $p_1 = p_0 \times t_1/t_0$, $p_0 = 219 + 2620w$, $t_0 = 374 + 920w$,其中 p_1 为成矿压力,MPa; p_0 为初始压力,MPa; t_1 为实测均一温度,℃; t_0 为初始温度,℃; w 为盐度,%。以此计算出浩尧尔忽洞成矿压力为23.40~58.42 MPa,总体平均压力37.94 MPa。

孙丰月^[11]分段拟合了压力与深度之间的关系式,认为流体压力小于40 MPa时,成矿深度可根据静水压力梯度计算,即用压力除以静水压力梯度(10 MPa/km);流体压力在40~220 MPa时,成矿深度计算公式为 $y = 0.0868 / (1/x + 0.00388) + 2$ (y 为深度,km; x 为压力,MPa)。据此求得浩尧尔忽洞成矿深度的区间是2.65~6.27 km,平均成矿深度3.91 km,属于中浅层。

4.7 拉曼光谱研究

采集矿石中的石英脉进行单个包裹体的激光拉曼显微探针分析。该实验在西北地质矿产研究所实验测试中心完成。测试在室温23℃,湿度约65%条件下进行。使用仪器为英国Renshaw公司生产的inVia型激光拉曼探针,Ar⁺激光器,波长514.5 nm,激光功率20 mW,扫描速度10秒/6次叠加,光谱仪狭缝20 μm。

两个包裹体激光拉曼图谱中, 液相显示强水峰和弱 CO_2 峰 (见图 5a, 5b), 表明液相成分以 H_2O 为主, 含少量 CO_2 ; 气相显示明显的 CO_2 峰, 出现弱的 CH_4 峰, N_2 峰 (见图 5c, 5d), 表明气相成分主要为 CO_2 , 其次为 N_2 和 CH_4 。激光拉曼显微探针分析结果显示, 浩尧尔忽洞金矿气液两相包裹体主要成分为 H_2O 、 CO_2 、 N_2 和 CH_4 , 流体属于 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{N}_2-\text{CH}_4$ 体系。

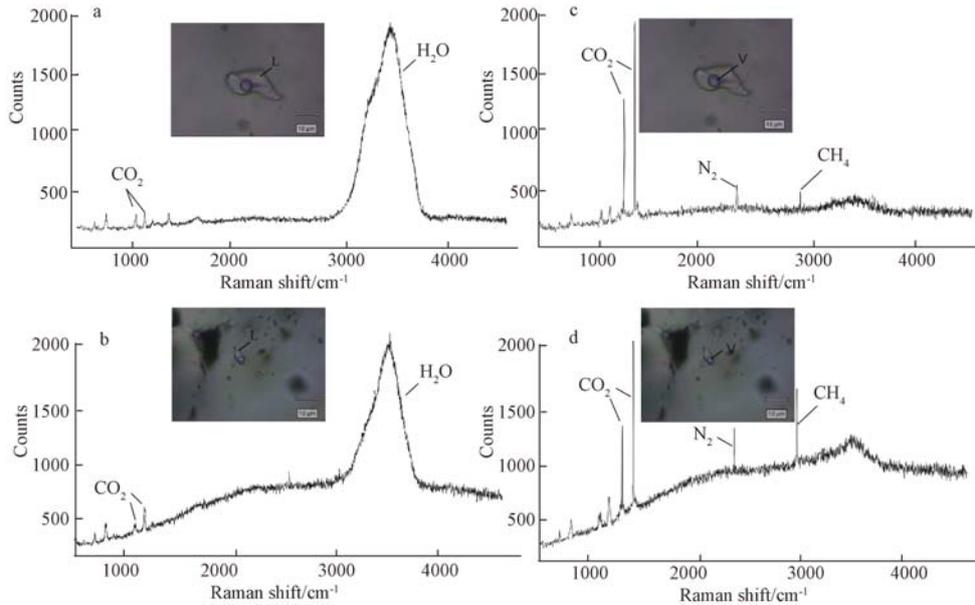


图 5 浩尧尔忽洞金矿流体包裹体激光拉曼图谱

Fig. 5 Laser Raman spectra of fluid inclusions of Haoyaoerhudong gold deposit

5 讨论

5.1 流体包裹体特征分析

流体包裹体气相成分中包含大量有机成分 (CH_4 、 CO_2 等), 极有可能是岩浆上侵带来的热量促使含碳质变细砂岩中的有机质发生了热降解而生成的。浩尧尔忽洞金矿的成矿作用与 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CH}_4-\text{N}_2$ 流体体系有密切联系。 CO_2 流体在 Au 成矿中的重要作用包括: 缓冲流体 pH 值范围; 提高流体中 Au 含量的同时, 使其维持与还原硫的络合作用, 以有利于迁移; 在化学有利的容矿岩石中使 Au 沉淀^[12]。 CH_4 扩大了流体不混溶的范围, 有利于 Au 的富集沉淀^[13]。

王玉峰等^[1]通过氢、氧同位素研究认为, 岩浆热液很可能与建造水等发生混合, 岩浆热液参与了成矿过程。因此, 以岩浆热液为主的混合流体, 在循环过程中大量萃取地层中预富集金, 流体中的金受到地层中有机质降解作用, 使 Au、S 的络合物分解、沉淀, 形成离子金和自然金。成矿流体的运移离不开后碰撞环境下岩浆的侵位, 浩尧尔忽洞花岗质岩浆上侵带来的热量可能是成矿流体循环运动的动力。

5.2 矿床成因

比鲁特组第一、二岩性段中不仅矿体、蚀变岩石中的 Au 含量显著高于上、下层位, 而且该段中未矿化及未蚀变岩石的 Au 含量也普遍高于上、下层位中的同类岩石, 且变异系数

较大。比鲁特组中 Au 平均含量为 25×10^{-9} ，是地壳丰度值的 7.14 倍，构成了金矿的矿源层。该组中碳含量较高，介于 1% ~ 7% 之间，属于富含碳的黑色岩系。矿区内主要控矿构造为浩尧尔忽洞向斜，北东向展布，核部为比鲁特岩组（含矿地层）。矿区及其周边出露的侵入岩主要为华力西中、晚期侵入的岩浆岩。

浩尧尔忽洞金矿位于中亚成矿带内，金矿石英脉年龄为 270.2 ± 2.5 Ma，成矿时代为二叠纪。中亚天山黑色岩系金矿成矿时代主要也为二叠纪，如：穆龙套金矿主成矿阶段年龄为 280 ~ 250 Ma^[14~15]，库姆托尔金矿成矿时代为 $(284.3 \pm 3.0) \sim (288.4 \pm 0.6)$ Ma，道吉兹套和阿曼泰套成矿年龄为 270 ~ 260 Ma^[16]。在此时间段内中亚成矿带发生了广泛造山运动，与造山运动有关的黑色岩系型金矿较广泛发育。

浩尧尔忽洞金矿与中亚成矿带的西南天山大山口金矿^[17]、南天山萨瓦亚尔顿金矿床^[18]、乌兹别克斯坦穆龙套金矿^[19]、吉尔吉斯斯坦库姆托尔金矿^[20]具有很高的相似性。金矿体都发育于陆源碎屑沉积的黑色岩系中；富矿地层都发生了变质作用，形成炭质板岩，千枚岩，片岩等变质岩；控矿构造都为剪切带和断层；矿区内、周边或矿体深部都较广泛发育中酸性岩体；成矿流体都为中低温热液；成矿作用都与造山运动有关。因此认为浩尧尔忽洞金矿为黑色岩系型金矿。

6 结论

浩尧尔忽洞金矿为较典型的黑色岩系型金矿，与中亚成矿带上其他黑色岩系型有较好的可比性。

浩尧尔忽洞金矿的成矿阶段分为 4 个阶段，即早期石英脉阶段，石英-黄铁矿阶段，石英-硫化物阶段，石英-碳酸盐阶段。成矿流体为中低温、低密度热液，且与岩浆作用密切相关。浩尧尔忽洞金矿气液两相包裹体，主要成分为 H_2O 、 CO_2 、 N_2 和 CH_4 ，其中 CO_2 和 CH_4 对金矿的形成起到了重要作用。

参 考 文 献

- [1] 王玉峰. 内蒙古浩尧尔忽洞金矿区岩体地球化学特征及其成矿意义 [D]. 北京: 中国地质大学, 2012: 30 ~ 40.
WANG Yu-feng. The geochemical characteristics and its ore-forming significance of the pluton in the Haoyaoerhudong gold deposit of Inner Mongolia [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2012: 30 ~ 40.
- [2] 王建平, 刘家军, 江向东, 等. 内蒙古浩尧尔忽洞金矿床黑云母氩氩年龄及其地质意义 [J]. 矿物学报, 2011, (增刊): 643 ~ 644.
WANG Jian-ping, LIU Jia-jun, JIANG Xiang-dong, et al. The argon-argon age of black mica in Haoyaoerhudong gold deposit and its geological significance [J]. Mineral Journal, 2011, (Supp.): 643 ~ 644.
- [3] 肖伟, 聂凤军, 刘翼飞, 等. 内蒙古长山壕金矿区花岗岩同位素年代学研究及地质意义 [J]. 岩石学报, 2012, 28 (2): 535 ~ 543.
XIAO Wei, NIE Feng-jun, LIU Yi-fei, et al. Isotope geochronology study of the granitoid intrusions in the Changshanhao gold deposit and its geological implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28 (2): 535 ~ 543.
- [4] 赵百胜, 刘家军, 王建平, 等. 内蒙古长山壕金矿床地球化学特征与成因研究 [J]. 现代地质, 2012, 25 (6): 1077 ~ 1086.
ZHAO Bai-sheng, LIU Jia-jun, WANG Jian-ping, et al. Geological-geochemical characteristics and genesis of

- Changshanbao gold deposit in Inner Mongolia, China [J]. *Geoscience*, 2012, 25 (6): 1077 ~ 1086.
- [5] 杨理华, 李钦祖. 华北地区地壳应力场 [M]. 北京: 地震出版社, 1980: 39 ~ 41.
YANG Li-hua, LI Qin-zu. Crustal stress field in north China [M]. Beijing: Seismological Publishing House, 1980: 39 ~ 41.
- [6] 崔盛芹. 华北陆块北缘构造运动序列及区域构造格局 [M]. 北京: 地质出版社, 2000: 179 ~ 183.
CUI Sheng-qin. The tectonic movement sequence and regional structure pattern in the northern margin of North China Landmass [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 179 ~ 183.
- [7] 胡桂明, 王守伦. 华北陆台北缘地体构造与铁金矿产 [M]. 北京: 地质出版社, 1998: 50 ~ 56.
HU Gui-ming, WANG Shou-lun. The terrene tectonics and gold minerals in the northern margin of North China Landmass [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 50 ~ 56.
- [8] Hall D L, Stemer S M, Bodnan R J. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions [J]. *Economic Geology*, 1988, 83: 197 ~ 202.
- [9] 刘斌, 段光贤. NaCl-H₂O 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 ~ 351.
LIU Bin, DUAN Guang-xian. The density and isochoric formulae for NaCl-H₂O fluid inclusions and their applications [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1987, 7 (4): 345 ~ 351.
- [10] 邵洁涟. 金矿找矿矿物学 [M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1990.
SHAO Jie-lian. Gold prospecting mineralogy [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1990.
- [11] 孙丰月, 金巍, 李碧乐, 等. 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 (增刊): 27 ~ 30.
SUN Feng-yue, JIN Wei, LI Bi-le, et al. Considerations on the mineralizing depth of hydrothermal lode gold deposits [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2000, 30 (Supp.): 27 ~ 30.
- [12] 徐九华, 谢玉玲, 丁汝福, 等. CO₂-CH₄ 流体与金成矿作用——以阿尔泰山南缘和穆龙套金矿为例 [J]. *岩石学报*, 2007, 23 (8): 2026 ~ 2032.
XU Jiu-hua, XIE Yu-ling, DING Ru-fu, et al. CO₂-CH₄ fluids and gold mineralization: Southern margin of Altay, China and Muruntau of Uzbekistan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (8): 2026 ~ 2032.
- [13] Nadon J. Role of methane and carbon dioxide in gold deposition [J]. *Nature*, 1989, 342: 793 ~ 795.
- [14] Shayakubov T, Islamov F, Kremenetsky A, et al. Excursion guide book: Au, Ag and Cu deposits of Uzbekistan [M]. London/Tashkent: GeoForschungs Zentrum Potsdam, 1999: 1 ~ 74.
- [15] Kempe U, Belyats B V, Krymsky R S, et al. Sm-Nd and Sr isotope systematics of scheelite from the giant Au (-w) deposit Munmtau (Uzbekistan): Implications for the age and sources of Au mineralization [J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36: 379 ~ 392.
- [16] Yakubchuk A, Cole A, Seltmann R, et al. Tectonic setting, characteristics and regional exploration criteria for gold mineralization in the Altaid orogenic collage: The Tianshan province as a key example [C] // Goldfarb R, Nielsen R L. *Integrated methods for discovery: Global exploration in the 21st Century*. United States: Society of Economic Geologists, 2002: 177 ~ 201.
- [17] 鲍庆中, 王宏, 沙德铭, 等. 新疆和静县大山口金矿床成矿流体地球化学特征研究 [J]. *西北地质*, 2003, 36 (2): 43 ~ 49.
BAO Qing-zhong, WANG Hong, SHA De-ming, et al. Study on the geochemical characteristics of ore-forming fluid inclusion of Dashankou gold deposit in Xinjiang [J]. *Northwestern Geology*, 2003, 36 (2): 43 ~ 49.
- [18] 陈华勇, 张莉, 李登峰, 等. 南天山萨瓦亚尔顿金矿床稀土微量元素特征及其成因意义 [J]. *岩石学报*, 2013,

29 (1): 159 ~ 166.

CHEN Hua-yong, ZHANG Li, LI Deng-feng, et al. Characteristics of rare earth and trace elements of the Sawayaerdun gold deposit, Southwest Tianshan; Implications for ore genesis [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29 (1): 159 ~ 166.

[19] 谭娟娟, 朱永峰. 穆龙套金矿地质和地球化学 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2008, 27 (4): 391 ~ 398.

TAN Juan-juan, ZHU Yong-feng. Geology and geochemistry of Muruntau gold deposit [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2008, 27 (4): 391 ~ 398.

[20] 陈喜峰, 彭润民, 刘家军, 等. 吉尔吉斯斯坦库姆托尔超大型金矿床地质特征 [J]. *黄金*, 2010, 34 (12): 15 ~ 19.

CHEN Xi-feng, PENG Run-min, LIU Jia-jun, et al. Geological characteristics of Kumtor super large gold deposit in Kyrgyzstan [J]. *Gold*, 2010, 34 (12): 15 ~ 19.

STUDY ON FLUID INCLUSIONS AND GENETIC TYPE OF HAOYAOERHUDONG GOLD DEPOSIT, INNER MONGOLIA

WANG De-quan^{1,2}, WANG JIAN-GUO¹, WANG YI-ZHONG¹,
LIU Jian-chao², ZHANG Hai-dong²

(1. *SINO Shaanxi Nuclear Industry Group, Xi'an 710054, China;*

2. *School of Earth Science and Resources of Chang'an University, Xi'an 710054, China)*

Abstract: The first and second members of Bilute formation are the major ore-bearing horizons in Haoyaoerhudong gold deposit. The rock types contain carbonaceous meta-siltstone, silty slate, carbonaceous slate and phyllite, etc. Au content is 7.14 times of the crustal abundance in the formation and the carbon content is higher, with values of 1% to 7%. The metallogenic process can be divided into four stages: The homogenization temperature of fluid inclusions in the early quartz vein stage and the quartz-pyrite stage are from 245.2 to 323.3 °C and from 236.9 to 317.5 °C respectively; And the homogenization temperature are between 231.7 and 324.5 °C in the quartz-polymetallic sulfide stage and between 187.6 and 312.9 °C in the quartz-carbonate stage. According to the results of laser raman microprobe, The main liquid phase composition are H₂O with minor amounts of CO₂ and the main gas phase composition are CO₂ with minor amounts of CH₄ and N₂ in fluid inclusions. Hydrogen and oxygen isotopic features indicate that the ore-forming fluid is closely related to magmatic hydrothermal. A large number of organic compounds in the gas phase composition may be generated in the thermal degradation of organic matter prompted by the magma invasion. The deposit type belongs to the black rock-hosted gold, with a high comparability of that in central Asian metallogenic belt.

Key words: Bilute formation; fluid inclusion; Raman microprobe; black rock-hosted gold