

大兴安岭北段八里房金矿床流体包裹体特征及矿床成因

李向文^{1,2}, 张富程^{3*}, 王冠^{1,2}, 刘世明^{1,2}, 韩添^{1,2}

(1. 黑龙江科技大学矿业工程学院; 2. 黑龙江省昂昂溪实物地质资料野外科学观测研究站;

3. 中国地质调查局海口海洋地质调查中心)

摘要:八里房金矿床位于大兴安岭北段漠河盆地西部,矿体主要受韧性剪切带次级断裂控制,矿化类型主要为石英脉型。热液期4个成矿阶段中Ⅱ、Ⅲ阶段为主成矿阶段,其中,Ⅱ阶段流体包裹体较为发育,除气液两相包裹体外,还有含CO₂三相包裹体、富CO₂包裹体和纯CO₂包裹体,而Ⅲ、Ⅳ阶段仅发育气液两相包裹体。气液两相包裹体中主要由CO₂、N₂、CH₄和H₂O组成,属于CO₂-N₂-CH₄-H₂O体系,含有少量有机质。Ⅱ~Ⅳ阶段气液两相包裹体完全均一温度峰值分别集中于200℃~260℃、180℃~240℃、160℃~190℃,盐度峰值分别集中于5%~8%、4%~7%、5%~6%,温度和盐度均呈逐渐降低趋势;基于流体压力-温度估算,主成矿阶段成矿深度为1.35~2.36 km。综合对比分析认为,八里房金矿床形成于蒙古-鄂霍茨克洋造山晚期伸展环境,成因类型更接近浅成造山型,可能存在浅成低温热液的叠加或改造。

关键词:八里房金矿床;流体包裹体;浅成造山型;矿床成因;大兴安岭北段;成矿温度;矿床类型

中图分类号:TD11 P618.51

文章编号:1001-1277(2025)09-0047-08

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20250905

引言

八里房金矿床位于大兴安岭北部漠河盆地(对应上黑龙江成矿带)西部,砂宝斯金矿田东北部,是查证大比例尺土壤地球化学测量异常时发现的小型金矿床。经过多年的勘查工作,该矿床累计投入探槽5万余m³,钻探1781 m,共发现5条金矿化蚀变带,圈定矿体8条,矿体主要赋存于糜棱岩化砂岩中,金矿化与石英脉关系较为密切。前人在矿床岩石地球化学、地电化学找矿及砂金特征等方面做了一定的研究工作^[1-3],但在矿床成因类型(造山型、浅成低温热液型)方面存在一定争议。本文在前人勘查与科学研究的基础上,全面总结矿床地质特征,系统开展流体包裹体及激光拉曼光谱分析,深化成矿流体性质与演化机制认识,进一步厘定矿床成因,为砂宝斯金矿田矿床学研究及找矿工作提供有益补充。

1 成矿地质背景

八里房金矿床处于漠河盆地西部(见图1-A)的老沟逆推带内,区域地层从元古界到新生界均有出露。中一新元古界兴华岩组(Pt₂₋₃xh)、兴安桥岩

组(Pt₂₋₃xn)零星出露(见图1-B),主要分布于区域西北部 and 砂宝斯林场—砂宝斯金矿区一带,为一套低角闪岩相的中深变质岩系,主要岩石类型有大理岩、片岩、石英岩、变粒岩,岩层呈无序状态产出,构造环境类似于大陆边缘海弧后盆地。中泥盆统泥鳅河组(D₂n)主要出露于区域西部,呈残块状,有的呈包裹体状产出,出露面积较少,主要岩性为结晶灰岩,少量陆源碎屑沉积岩。中生界陆源碎屑沉积岩分布最广,自下而上分别为中侏罗统绣峰组(J₂x)、上侏罗统漠河组(J₃m)及开库康组(J₃k)。绣峰组主要沿砂宝斯古隆起带呈环状分布,受构造影响产状变化较大,主要为冲积扇相粗碎屑沉积、河流相粗碎屑沉积;漠河组大面积分布,岩石以中细砂岩为主,且以湖相细碎屑沉积为主,一般认为该组还可进一步划分为二十二站组与漠河组;开库康组主要分布在区域西南角,呈条带状分布,岩性组合为卵石砾岩、含卵石砾岩、砾岩、砂岩、粉砂岩。砂宝斯金矿田内矿床主要赋存于该组地层中,为本区最为有利的成矿地层;前中生代地层含金丰度高,为砂金及后期岩金的主要物质来源^[4-6]。区域南北向、北东向断裂是主要控矿构造,其砂宝斯金矿床受近南北向断裂控制,八里房、三十二站等金

收稿日期:2025-04-20;修回日期:2025-06-15

基金项目:中国地质调查局地质调查项目([2023]02-44-11/DD20230395)和2024年度黑龙江省省属高等学校基本科研业务费项目(2024-KYY-WF-1110)

作者简介:李向文(1976—),男,高级工程师,博士,从事固体矿产勘查教学与研究工作;E-mail:872416149@qq.com

*通信作者:张富程(1990—),男,工程师,硕士,研究方向为地质信息化与找矿;E-mail:1109590617@qq.com

矿床受北东向断裂控制等。推覆构造较为发育,区域处于漠河推覆构造的中带,带内漠河组地层发生强烈糜棱岩化,形成韧性剪切带。一般认为糜棱岩化对金矿化有着初始富集作用,八里房、老沟金矿床发育其中^[7-8]。区域内岩浆岩分布广泛,元古代至中生代岩浆均有出露。新元古代中基性岩出露很少,零星呈小岩枝状出露,岩性有辉长岩、角闪辉长岩和闪长岩。中寒武世花岗岩主要呈北西向带状分布于砂宝斯林场一带,岩石类型主要为花岗闪长岩、二长花岗岩等,岩石碎裂较普遍。晚侏罗世花岗岩较为发育,呈带状

北北东向分布于砂宝斯东高山一带,主要岩石类型有二长花岗岩、花岗闪长岩。区域内与成矿关系最为密切的是中生代中酸性岩脉,岩性主要有流纹斑岩、花岗细晶岩、花岗伟晶岩、细晶闪长岩、闪长玢岩、辉绿玢岩等。砂宝斯金矿田内各矿区主要出露岩脉不同,如砂宝斯金矿区以闪长玢岩为主,三十二站金矿区以霏细岩、闪长(玢)岩为主,砂宝斯林场金矿区、八里房金矿区则以闪长岩、辉绿玢岩为主^[6],其往往与矿体赋存在同一构造内,矿体多赋存于脉岩下盘或接触带内,有时岩脉本身就是矿体。

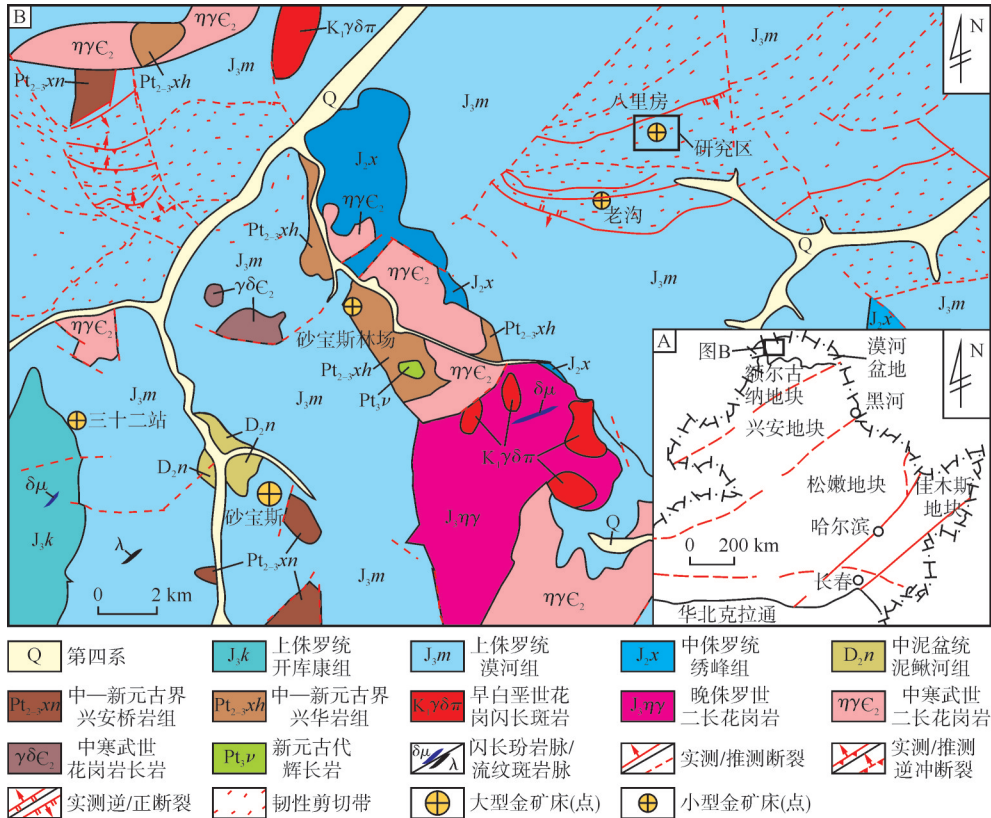


图1 八里房金矿床大地构造位置(A)及区域地质简图(B)

Fig. 1 Sketch map of geotectonic locations (A) and regional geology (B) of the Balifang Gold Deposit

2 矿床地质

八里房金矿床位于砂宝斯金矿田东北部,矿区出露地层均为上侏罗统漠河组(J_{3m})(见图2),因漠河推覆构造作用,岩石糜棱岩化强烈,形成了北东东向韧性剪切带。韧性剪切带内次级构造较为发育,总体表现为张扭性,为区域内主要控矿构造。岩脉较发育,主要为中酸性岩脉。

矿区内发现5条矿化蚀变带,I号、Ⅲ号矿化蚀变带规模较大。I号矿化蚀变带出露于矿区西部,地表控制长度约605 m,尚未完全封闭,宽8~30 m,倾向南东,倾角25°~40°。其内发现I号矿体,地表控制长度约550 m,宽度1~7 m,走向60°,倾向南东,倾角25°~40°,真厚度0.45~3.45 m,铅垂厚度0.83~

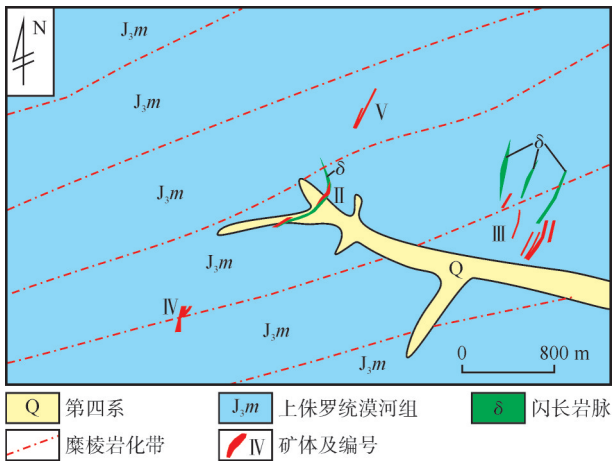


图2 八里房金矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Balifang Gold District

4.50 m,平均铅垂厚度2.40 m,平均金品位 2.56×10^{-6} ,

最高金品位 18.41×10^{-6} , 主要矿化类型为石英脉型, 受韧性剪切带次级断裂控制。Ⅲ号矿化蚀变带控制长度 790 m, 共发现 5 条矿体, 均赋存于漠河组糜棱岩化的粗粒岩屑长石砂岩中, 地表石英脉发育, 宽度 10 ~ 60 cm, 但含矿性一般; 与石英脉接触的蚀变岩含矿性较好, 其内发育含金石英细网脉, 脉宽 1 ~ 10 mm。其中, Ⅲ-4 号矿体由 4 个工程控制, 长度 340 m, 倾向北西, 倾角 45° , 厚度 1.00 ~ 4.00 m, 平均金品位 2.03×10^{-6} ~ 6.08×10^{-6} , 最高金品位 12.75×10^{-6} 。

矿石中金属矿物以黄铁矿为主, 可见少量毒砂、黄铜矿等, 具自形—半自形粒状结构、填隙结构等, 矿石构造以浸染状构造、脉状构造为主。围岩蚀变以低温蚀变为主, 其中硅化与金矿化关系最为密切。热液期可分为: 成矿早期的星点状黄铁矿—石英阶段(Ⅰ), 主要为晶形较好、粒度较大的黄铁矿, 含矿性差; 浸染状黄铁矿±毒砂—石英阶段(Ⅱ), 主要为粒度细小的黄铁矿, 偶见毒砂等, 石英呈大脉状, 宽 10 ~ 60 cm, 含矿性一般; 主成矿期的多金属硫化物—石英阶段(Ⅲ), 金属矿物有黄铁矿及少量的毒砂、方铅矿及黄铜矿等, 石英多呈烟灰色, 呈细脉状或细网脉状, 宽 1.0 ~ 20 mm, 含矿性好; 成矿晚期的碳酸盐—石英阶段(Ⅳ), 几乎不含金属矿物, 方解石多呈乳白色不规则网脉状。

3 流体包裹体特征

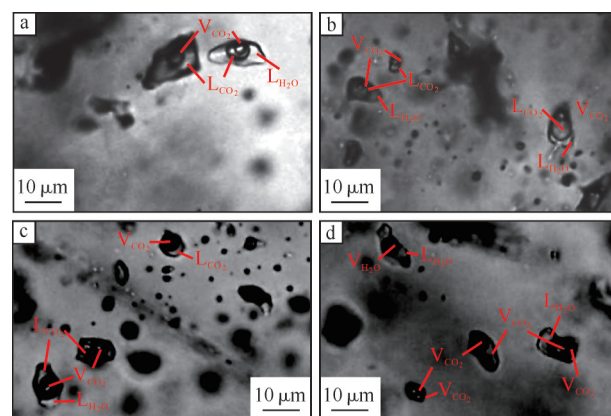
流体包裹体样品采自八里房金矿床Ⅱ号、Ⅲ号、Ⅳ号矿化蚀变带地表探槽中, 共采集样品 24 件, 制备流体包裹体片 14 件。其中, 浸染状黄铁矿±毒砂—石英阶段(Ⅱ)样品 11 件, 测点 402 个; 多金属硫化物—石英阶段(Ⅲ)样品石英脉较细且多破碎, 仅获得样品 2 件, 完成测点 34 个; 碳酸盐—石英阶段(Ⅳ)样品 1 件, 测点 25 个; 星点状黄铁矿—石英阶段(Ⅰ)未选出样品。测试分析在吉林大学地球科学学院地质流体实验室完成, 具体试验流程及参数见参考文献[9]。

3.1 流体包裹体岩相学特征

样品在室温($22^\circ\text{C} \pm$)下主要发育气液两相(LV型)包裹体、含 CO_2 三相(HC型)包裹体、富 CO_2 (FC型)包裹体和纯 CO_2 (CC型)包裹体。

CC型包裹体: 仅形成于Ⅱ阶段, 由气液两相 CO_2 组成, 其中, 气相 CO_2 占比通常为 5 % ~ 25 %, 多数集中在 15 %。粒径多为 5 ~ 15 μm , 平均值为 8 μm , 形态以椭圆形、次圆状及长条形较为常见, 呈随机分布(见图 3-a, b)。

FC型包裹体: 见于Ⅱ阶段, 常温下包含气、液相 CO_2 及水, CO_2 相占比均在 50 % 以上, 平均值为 80 %, 其中, 气相 CO_2 占比 20 % 左右。粒径为 5 ~ 18 μm , 平均值为 10 μm , 形态呈椭圆形、长条形, 随机分布(见图 3-a, b, c)。



a—CC型和FC型 b—CC型和FC型 c—HC型和FC型 d—LV型和HC型
L_{H₂O}—液相水 V_{H₂O}—气相水 L_{CO₂}—液相 CO_2 V_{CO₂}—气相 CO_2

图3 八里房金矿床流体包裹体显微照片

Fig. 3 Microscopic photos of fluid inclusions from the Balifang Gold Deposit

其中, 气相 CO_2 占比 20 % 左右。粒径为 5 ~ 18 μm , 平均值为 10 μm , 形态呈椭圆形、长条形, 随机分布(见图 3-a, b, c)。

HC型包裹体: 见于Ⅱ阶段, 常温下包含气、液相 CO_2 及水, CO_2 相占比 10 % ~ 50 %, 平均值为 40 %, 其中, 气相 CO_2 占比以 30 % 为最常见。粒径 5 ~ 22 μm , 平均值为 10 μm , 形态呈椭圆形、长条形等, 随机分布(见图 3-c, d)。

LV型包裹体: Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ阶段均发育, 常温下包含气、液两相, 气相占比为 10 % ~ 30 %, 平均值为 20 %。粒径偏小, 为 5 ~ 15 μm , 以 7 ~ 8 μm 为主, 以椭圆形、长条形及不规则等形态随机分布(见图 3-d)。

3.2 流体包裹体完全均一温度、盐度和密度

八里房金矿床流体包裹体特征及参数见表 1。

3.2.1 黄铁矿±毒砂—石英阶段(Ⅱ)

该矿化阶段石英脉中包裹体极为发育, LV型、HC型、FC型和CC型 4 种类型包裹体均有不同程度发育。

CC型包裹体: 完成测点 57 个。固体 CO_2 融化温度为 -59.9°C ~ -57.9°C (平均值 -58.7°C); CO_2 部分均一温度为 5.6°C ~ 29.9°C (平均值 22.2°C)。

FC型包裹体: 完成测点 93 个。固体 CO_2 融化温度为 -59.7°C ~ -57.3°C (平均值 -58.6°C); CO_2 部分均一温度为 7.1°C ~ 29.9°C (平均值 24.2°C); CO_2 笼形物消失温度为 6.2°C ~ 8.6°C (平均值 7.6°C), 根据相关公式^[10], 得出盐度为 2.81 % ~ 7.14 % (平均值 4.72 %), 峰值为 3 % ~ 6 %; 均一至液相, 完全均一温度为 232.7°C ~ 343.8°C (平均值 289.4°C), 峰值 270°C ~ 320°C (见图 4-a, d); 经计算, 密度和压力^[11-12]分别为 0.62 ~ 0.85 g/cm^3 (平均值 0.71 g/cm^3)、17.33 ~

表 1 八里房金矿床流体包裹体特征及参数
Table 1 Characteristics and parameters of fluid inclusions in the Balifang Gold Deposit

阶段	类型	测点 个数	粒径(平 均值)/ μm	气液 比/%	$V_{\text{CO}_2}/\%$	$V_{\text{CO}_2(\text{g})}/$ V_{CO_2}	$T_{\text{mCO}_2}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{f}}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{hCO}_2}/^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{h}}/^{\circ}\text{C}$	盐度/%	密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	压力/MPa
II	CC	57	5~15 (8)		100	5~25 (15)	-59.9~-57.9 (-58.7)		5.6~29.9 (22.2)				
	FC	93	5~18 (10)		50~95 (80)	10~80 (20)	-59.7~-57.3 (-58.6)	6.2~8.6* (7.6)	7.1~29.9 (24.2)	232.7~ 343.8 (289.4)	2.81~7.14 (4.72)	0.62~0.85 (0.71)	17.33~ 28.73 (23.74)
	HC	87	5~22 (10)		10~50 (40)	10~70 (30)	-59.4~-57.2 (-58.4)	6.0~9.1* (7.4)	5.5~30.7 (26.0)	238.7~ 351.8 (297.2)	1.83~7.48 (5.03)	0.58~0.86 (0.69)	19.36~ 29.86 (24.77)
	LV	165	5~15 (8)	10~30 (20)				-5.7~-2.0 (-4.0)		201.4~ 291.2 (237.4)	3.37~8.81 (6.37)	0.81~0.92 (0.87)	16.32~ 28.49 (21.20)
III	LV	34	5~10 (7)	10~25 (20)				-4.5~-2.1 (-3.5)		176.4~ 256.9 (217.4)	3.53~7.15 (5.64)	0.84~0.92 (0.89)	13.52~ 23.62 (18.79)
IV	LV	25	5~12 (7)	10~30 (15)				-4.0~-2.7 (-3.2)		155.9~ 225.9 (175.9)	4.48~6.44 (5.28)	0.88~0.95 (0.93)	12.63~ 20.90 (14.89)

注: V_{CO_2} 为 CO_2 相所占比例; $V_{\text{CO}_2(\text{g})}/V_{\text{CO}_2}$ 为气相 CO_2 占 CO_2 相比例; T_{mCO_2} 为固体 CO_2 融化温度; T_{f} 为冰点温度,*为 CO_2 笼形物消失温度; T_{hCO_2} 为 CO_2 部分均一温度; T_{h} 为完全均一温度。

28.73 MPa(平均值 23.74 MPa)。

HC 型包裹体:完成测点 87 个。固体 CO_2 融化温

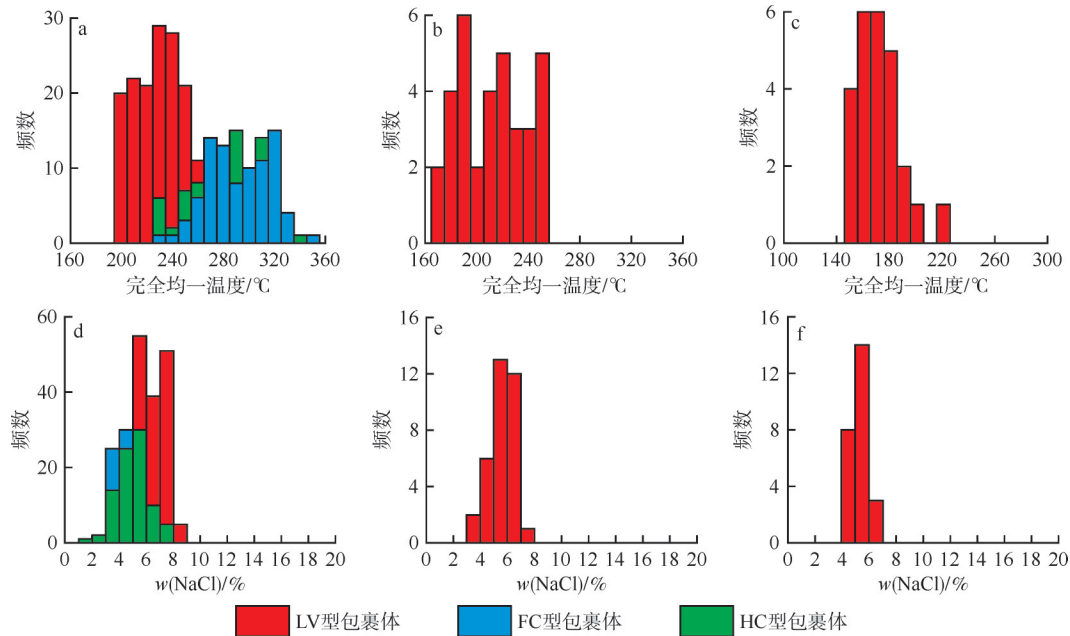


图 4 八里房金矿床流体包裹体完全均一温度与盐度直方图

Fig. 4 Histograms of full homogenization temperature and salinity of fluid inclusions in the Balifang Gold Deposit

度为 $-59.4^{\circ}\text{C}\sim-57.2^{\circ}\text{C}$ (平均值 -58.4°C); CO_2 部分均一温度为 $5.5^{\circ}\text{C}\sim30.7^{\circ}\text{C}$ (平均值 26.0°C); CO_2 笼形物消失温度为 $6.0^{\circ}\text{C}\sim9.1^{\circ}\text{C}$ (平均值 7.4°C);盐度为 $1.83\%\sim7.48\%$ (平均值 5.03%),峰值为 $4\%\sim6\%$;均一至液相,完全均一温度为 $238.7^{\circ}\text{C}\sim351.8^{\circ}\text{C}$ (平均值 297.2°C),峰值为 $270^{\circ}\text{C}\sim320^{\circ}\text{C}$ (见图 4-a,d);密度、压力分别为 $0.58\sim0.86\text{ g/cm}^3$ (平均值 0.69 g/cm^3)、

$19.36\sim29.86\text{ MPa}$ (平均值 24.77 MPa)。

LV 型包裹体:本阶段较发育,完成测点 165 个。冰点温度为 $-5.7^{\circ}\text{C}\sim-2.0^{\circ}\text{C}$ (平均值 -4.0°C);盐度为 $3.37\%\sim8.81\%$ (平均值 6.37%),峰值为 $5\%\sim8\%$;均一至液相,完全均一温度为 $201.4^{\circ}\text{C}\sim291.2^{\circ}\text{C}$ (平均值 237.4°C),峰值为 $200^{\circ}\text{C}\sim260^{\circ}\text{C}$ (见图 4-a,d);密度、压力分别为 $0.81\sim0.92\text{ g/cm}^3$ (平均值 0.87 g/cm^3)、

16.32~28.49 MPa(平均值21.20 MPa);推算成矿深度^[11]为1.62~2.85 km(平均值2.11 km)。

3.2.2 多金属硫化物-石英阶段(Ⅲ)

Ⅲ阶段仅发育LV型包裹体,共完成测点34个。冰点温度为-4.5℃~-2.1℃(平均值-3.5℃);盐度3.53%~7.15%(平均值5.64%),峰值为4%~7%;均一至液相时的完全均一温度为176.4℃~256.9℃(平均值217.4℃),峰值为180℃~240℃(见图4-b、e);密度、压力分别为0.84~0.92 g/cm³(平均值0.89 g/cm³)、13.52~23.62 MPa(平均值18.79 MPa);推算成矿深度为1.35~2.36 km(平均值1.89 km)。

3.2.3 碳酸盐-石英阶段(Ⅳ)

Ⅳ阶段仅发育LV型包裹体,冰点温度为-4.0℃~-2.7℃(平均值-3.2℃);计算盐度为4.48%~6.44%(平均值5.28%),峰值为5%~6%;均一至液

相时的完全均一温度为155.9℃~225.9℃(平均值175.9℃),峰值为160℃~190℃(见图4-c、f);密度为0.88~0.95 g/cm³(平均值0.93 g/cm³);压力为12.63~20.90 MPa(平均值14.89 MPa)。

3.3 流体包裹体成分

Ⅱ阶段LV型包裹体激光拉曼光谱分析显示,气相成分均不同程度含有CO₂、N₂、CH₄和H₂O,大致可进一步分为2种类型:一组在图谱中于1 287 cm⁻¹和1 388 cm⁻¹出现明显的CO₂峰,中等3 500 cm⁻¹ H₂O峰,弱2 328 cm⁻¹ N₂峰和2 914 cm⁻¹ CH₄峰(见图5-a),属于CO₂-N₂-CH₄-H₂O体系;另一组在图谱中具有较明显H₂O峰(3 500 cm⁻¹),其他成分均明显减弱(见图5-b),属简单气液两相水溶液体系。流体含有的少量有机质可能暗示部分流体源于地层变质脱水、脱气作用^[13-14]。

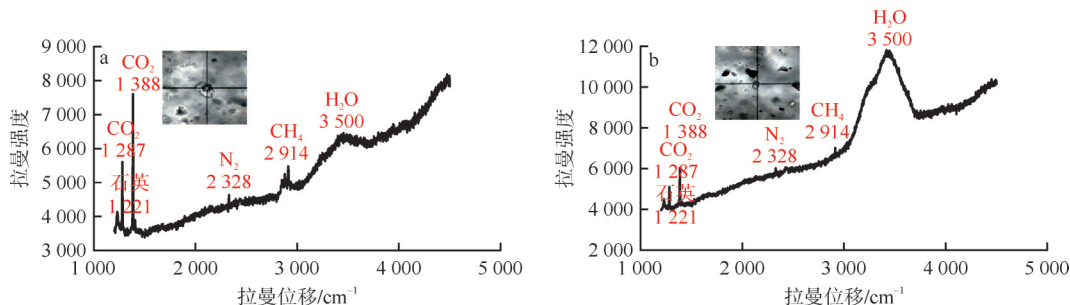


图5 八里房金矿床流体包裹体激光拉曼(LRM)光谱

Fig. 5 Laser Raman (LRM) spectra of fluid inclusions from the Balifang Gold Deposit

4 讨论

4.1 区域地质演化

早一晚侏罗世,古太平洋板块俯冲、蒙古-鄂霍茨克洋迅速闭合等作用下漠河盆地初步形成,先后沉积了额尔木河群绣峰组、二十二站组、漠河组、开库康组各粒级的陆源碎屑岩。随着蒙古-鄂霍茨克洋盆在晚侏罗世闭合、碰撞,使大兴安岭区域发生隆升造山运动,漠河推覆作用应是蒙古-鄂霍茨克洋晚期造山过程的远程效应^[14-15]。在推覆作用下使漠河盆地额尔木河群广泛发生了韧性变形,形成了本区的三十二站-老沟一带韧性剪切带^[7,16]。

区域上晚侏罗世花岗岩较为发育,宝兴沟金矿区花岗细晶岩(156 Ma±51 Ma)、三十二站矿区成矿前脉岩细粒花岗斑岩(141.0 Ma±1.7 Ma)^[6],其岩石地球化学特征属于同碰撞花岗岩,显示为挤压环境,而八里房金矿区3号矿化蚀变带闪长岩(121.9 Ma±1.2 Ma)及漠河盆地东部宝兴沟金矿区(花岗)闪长岩(118.13 Ma±0.86 Ma~124.92 Ma±1.3 Ma)等早白垩世中酸性脉岩岩石地球化学特征显示为拉张环境^[6,17-18]。因此可以推测,晚侏罗世至早白垩世区域

内发生强烈的区域引张作用,由挤压环境向伸展环境转换,至早白垩世中晚期已完成转换,为伸展环境。

4.2 成矿流体演化及来源

八里房金矿床Ⅱ阶段发育LV型、HC型、FC型和CC型4种类型包裹体,而Ⅲ、Ⅳ阶段仅发育LV型包裹体,各类型包裹体呈共生状态并随机分布。Ⅱ阶段完全均一温度为201.4℃~351.8℃(各类型包裹体平均值为237.4℃~297.2℃)、盐度为1.83%~8.81%(平均值为4.72%~6.37%)、密度为0.58~0.92 g/cm³(平均值为0.69%~0.87%),为中低温、低盐度及低密度CO₂-N₂-CH₄-H₂O体系,这可能与变质成因低盐度、富CO₂的碳质流体具有高度相似性^[19-22]。Ⅲ阶段LV型包裹体完全均一温度为176.4℃~256.9℃(平均值为217.4℃)、盐度为3.53%~7.15%(平均值为5.64%)、密度为0.84~0.92 g/cm³(平均值为0.89 g/cm³),显示其为低温、低盐度的热液体系。Ⅳ阶段LV型包裹体完全均一温度为155.9℃~225.9℃(平均值为175.9℃)、盐度4.48%~6.44%(平均值为5.28%)、密度0.88~0.95 g/cm³(平均值为0.93 g/cm³),亦为低温、低盐度NaCl-H₂O体系。即从Ⅱ至Ⅳ阶段,完全均一温度、盐度逐渐降低,而密度略有升高,流体由较高温

度、富含CO₂和少量有机质的热液体系演变成简单的低温水溶液盐水体系(见图6)。研究表明,在韧性剪切带等低变质环境中,有机质会发生分解并生成富含CO₂、N₂和CH₄的变质流体^[23]。这类流体中有机质含量与金品位呈正相关关系。在八里房金矿床早期成矿流体中检测到较高浓度的CO₂、N₂和CH₄,表明有机质在金元素的活化迁移和沉淀过程中发挥了关键作用。整体来看,该矿床的成矿流体经历了从中温向低温、低盐度的演化过程。晚侏罗世至早白垩世,近东西向展布的漠河推覆构造引发的片理化和糜棱岩化作用,导致漠河组碎屑岩发生变形并产生摩擦热,进而形成富含CO₂、N₂和CH₄的变质流体。早白垩世中晚期的岩浆活动促使地层中的金元素活化,这些含矿流体在向上运移过程中持续与糜棱岩化砂岩发生水-岩反应,同时经历相分离作用形成富H₂O和富CO₂的流体相,而以络合物形式迁移的金元素在大气降水加入后流体混合过程中逐渐沉淀富集^[23-24]。结合上黑龙江成矿带金矿床研究成果^[5,17],认为八里房金矿的成矿流体主要来源于岩浆热液,同时混入了部分地层

水和大气降水。

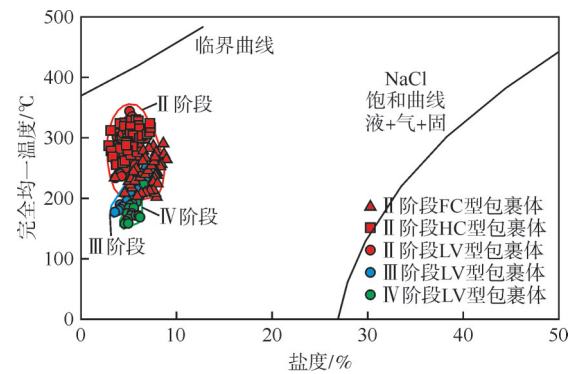


图6 流体包裹体完全均一温度—盐度—密度图

Fig. 6 Temperature-salinity-density plot of fluid inclusions

4.3 矿床成因

八里房金矿床位于砂宝斯金矿床东北部,二者在空间位置上相邻,为砂宝斯金矿田内的典型金矿床之一。关于八里房金矿床成因,是造山型金矿床还是浅成低温热液型金矿床,前人有较大争议。在本次研究成果的基础上,综合砂宝斯金矿田研究结果^[6,25-28],开展了系统对比分析,具体结果见表2。

表2 浅成低温热液型、造山型金矿床与八里房金矿床对比

Table 2 Comparison of epithermal gold deposits, orogenic gold deposits and Balifang Gold Deposit

项目	浅成低温热液型金矿床	造山型金矿床	八里房金矿床
构造背景	板块俯冲带大陆弧及弧后的拉张环境 ^[29]	造山早期挤压隆升,中期挤压向伸展转变,晚期伸展环境 ^[30-31]	蒙古—鄂霍茨克洋东南缘,造山晚期为伸展环境
赋矿岩石	陆相火山岩系或相邻岩石 ^[29]	变质岩、剪切带或韧性变形带或对围岩无严格岩性限制 ^[19]	上侏罗统漠河组陆相碎屑岩
成矿时代	中—新生代为主,少数晚古生代	与造山事件同步,或造山构造作用晚期 ^[31]	早白垩世(闪长岩 121.9 Ma ± 1.2 Ma)
控矿构造	火山机构断裂、张性裂隙或角砾岩筒	高角度走滑带、逆掩推覆带及其次级脆—韧性断裂 ^[30,32]	漠河推覆构造次级张性断裂
侵入岩	火山—次火山岩	无直接岩浆活动 ^[19]	早白垩世中酸性浅成侵入岩
围岩蚀变	低硫化型:冰长石—绢云母化;高硫化型:明矾石—高岭石化;外带具青磐石化	硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、高岭土化 ^[19]	硅化、碳酸盐化、绿泥石化、高岭土化、绢云母化
金属矿物	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿	以黄铁矿、毒砂为主,其次为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿 ^[30-31]	主要为黄铁矿,少量磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿、白铅矿、银金矿、金银矿
微量元素	富集 As、Sb、Hg、Tl 等低温元素 ^[33]	Au、Ag、As、Sb、Te、W、Bi 强富集 ^[31]	参照砂宝斯金矿床,富集 Au、As、Sb、Bi 元素,黄铁矿中富集 Te 元素,与 Au 元素呈明显正相关关系 ^[34]
包裹体类型	主要发育 LV 型包裹体,见含子晶水溶液包裹体 ^[32]	早中期有 CC 型、FC 型、HC 型、LV 型包裹体;晚期仅有 LV 型包裹体 ^[32]	早中期有 CC 型、FC 型、HC 型、LV 型包裹体,偶见含子矿物包裹体;晚期仅有 LV 型包裹体
流体性质	由岩浆与大气降水混合热液逐渐演化为以大气降水为主、简单 H ₂ O—NaCl 流体体系 ^[32,35]	从富含 CO ₂ —CH ₄ 变质热液逐渐演化为以大气降水为主、简单的 H ₂ O—NaCl 流体 ^[32] ,早期亦可以为岩浆热液和变质热液 ^[36]	由早中期富含 CO ₂ —CH ₄ 流体逐渐演化为简单的 H ₂ O—NaCl 流体,早期流体具有变质流体特征
完全均一温度	50 °C ~ 200 °C,可放至 320 °C ^[32]	浅成 150 °C ~ 300 °C,中成 300 °C ~ 475 °C,深成 >475 °C ^[30]	早期 237.4 °C ~ 297.2 °C,成矿期 176.4 °C ~ 256.9 °C,晚期 155.9 °C ~ 225.9 °C
成矿深度	一般 <1.5 km,最大可达 2 km	浅成 <6 km,中成 (6 ~ 12 km),深成 >12 km ^[19]	1.35 ~ 2.36 km (均值 1.89 km)

4.3.1 控矿构造

八里房金矿床受漠河推覆构造的次级张性断裂控制,对应于蒙古—鄂霍茨克洋造山晚期伸展环境^[30-31],介于浅成低温热液矿床(火山机构断裂、张性断裂)^[29]和典型造山型金矿床(高角度走滑带、逆掩推覆带)^[19,30,32]之间,但更接近造山型金矿床构造背景,表明其形成于造山带挤压—伸展转换阶段^[30-31]。

4.3.2 矿物组合

八里房金矿床金属矿物以黄铁矿为主,少量磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿及银金矿^[30-31],既有造山型金矿床中高温矿物(如毒砂、磁黄铁矿)^[19,30-31],又有浅成低温热液矿床金属矿物^[29],但整体更接近造山型金矿床的特征,可能受变质—岩浆混合热液影响^[30-31,35]。

4.3.3 围岩蚀变及微量元素

八里房金矿床的围岩蚀变以硅化、碳酸盐化、绿泥石化、高岭土化和绢云母化为特征,与造山型金矿床蚀变组合较为一致^[19]。微量元素方面,类比砂宝斯金矿床富集 Au-As-Sb-Bi-Te,尤其是黄铁矿中 Te 与 Au 呈正相关^[34],与造山型金矿床的典型元素组合相符^[31],表明其成因与造山流体密切相关^[19,30-31]。

4.3.4 成矿流体及物理化学条件对比

八里房金矿床成矿流体早期富含 CO₂-CH₄(具变质流体特征),晚期演化为 H₂O-NaCl 体系,完全均一温度为 176.4℃~297.2℃,成矿深度为 1.35~2.36 km,与浅成造山型金矿床(150℃~300℃、<6 km)较为一致^[19,30],即矿床形成于中低温、浅成环境,流体可能以变质热液为主,局部受岩浆热液影响^[32,36-38]。

4.3.5 小 结

综合对比分析表明,八里房金矿床成因类型更接近浅成造山型金矿床,形成于蒙古—鄂霍茨克洋造山晚期的伸展环境,可能存在造山后局部拉张背景下浅成低温热液的叠加或改造,但整体仍以造山型成矿作用为主导。

5 结 论

1) II 阶段流体包裹体发育气液两相、含 CO₂三相包裹体、富 CO₂包裹体和纯 CO₂包裹体,而 III、IV 阶段仅发育气液两相包裹体。

2) 成矿流体由早中期富含 CO₂-CH₄流体逐渐演化为简单 H₂O-NaCl 流体,早期流体具有变质流体特征。

3) II~IV 阶段 LV 型包裹体完全均一温度峰值分别集中于 200℃~260℃、180℃~240℃、160℃~190℃,盐度峰值分别集中于 5%~8%、4%~7%、

5%~6%,温度和盐度均呈逐渐降低趋势;估算主成矿阶段成矿深度为 1.35~2.36 km。

4) 综合分析认为,八里房金矿床形成于蒙古—鄂霍茨克洋造山晚期伸展环境,成因类型更接近浅成造山型,可能存在浅成低温热液的叠加或改造。

[参 考 文 献]

- [1] 张国宾,杨言辰,王献忠,等.黑龙江漠河县八里房金矿床地球化学特征及成因[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(6):1812-1827.
- [2] 黄蔚阁,罗先熔,黄学强,等.黑龙江八里房矿区地电化学法寻找隐伏金矿床的研究[J].黄金科学技术,2012,20(1):19-22.
- [3] 于成伟,裴赢政,张春辉,等.黑龙江省漠河县金沟林场地区砂金特征及其与岩金的关系[J].黄金,2014,35(9):30-34.
- [4] 李向文,白令安,王可勇,等.上黑龙江成矿带基于证据权重法的金矿综合信息成矿预测[J].黄金,2017,38(3):19-24.
- [5] 武广,孙丰月,朱群,等.上黑龙江盆地金矿床地质特征及成因探讨[J].矿床地质,2006,25(3):215-230.
- [6] 李向文.上黑龙江成矿带金矿床成矿规律与找矿预测研究[D].长春:吉林大学,2015.
- [7] 王晓勇,梁海军,金同和,等.黑龙江省漠河推覆构造特征及其与金成矿的关系[J].大地构造与成矿学,2008,32(2):218-225.
- [8] 赵书跃,郑全波,韩彦东.漠河逆冲推覆构造中段地质特征与构造演化[J].地质通报,2016,35(7):1095-1105.
- [9] 曲高勇,付丽娟,黄广环,等.内蒙古好力宝斑岩型铜钼矿床流体特征和矿床成因[J].黄金,2021,42(1):7-14.
- [10] 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.
- [11] 刘斌,沈昆.流体包裹体热力学[M].北京:地质出版社,1999.
- [12] 邵洁涟,梅建明.浙江火山岩区金矿床的矿物包裹体标型特征研究及其成因与找矿意义[J].矿物岩石,1986,6(3):103-111.
- [13] 杨轩,李以科,姜高珍,等.内蒙古特拜金矿流体包裹体特征与成矿作用[J].地质与勘探,2018,54(5):877-889.
- [14] 李锦轶,刘建峰,曲军峰,等.中国东北地区主要地质特征和地壳构造格架[J].岩石学报,2019,35(10):2989-3016.
- [15] 许文良,王枫,裴福萍,等.中国东北中生代构造体制与区域成矿背景:来自中生代火山岩组合时空变化的制约[J].岩石学报,2013,29(2):339-353.
- [16] 刘晓佳,赵立国,田珺,等.漠河逆冲推覆构造活动时代的 ESR 年龄证据[J].地质力学学报,2014,20(3):299-303.
- [17] 王献忠,宋贵斌,公维国,等.黑龙江塔河宝兴沟金矿床地质特征及流体包裹体研究[J].黄金,2014,35(4):19-25.
- [18] 李向文,张志国,王可勇,等.大兴安岭北段宝兴沟金矿床成矿流体特征及矿床成因[J].吉林大学学报(地球科学版),2018,48(4):1071-1084.
- [19] GROVES D I, GOLDFARB R J, GEBRE-MARIAM M, et al. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13(1/2/3/4/5):7-27.
- [20] KERRICH R, GOLDFARB R J, GROVES D I, et al. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2000, 43(S1):1-68.
- [21] HAGEMANN S G, CASSIDY K F. Archean orogenic lode gold

- deposits[J]. *Geology*, 2000, 13: 9–68.
- [22] 刘丽君, 张悦, 闫永生. 内蒙古格鲁其堆山铅锌矿床地质特征及流体包裹体研究[J]. *黄金*, 2024, 45(6): 85–90.
- [23] 卢焕章. CO₂ 流体与金矿化: 流体包裹体的证据[J]. *地球化学*, 2008, 27(4): 321–328.
- [24] 李志强, 丁正江, 薄军委, 等. 胶莱盆地东北缘郭城金矿床成矿流体特征及矿床成因[J]. *黄金*, 2024, 45(5): 57–63.
- [25] 孙琦, 任云生, 李德新, 等. 黑龙江省砂宝斯金矿床同位素地球化学特征与成矿物质来源[J]. *黄金*, 2016, 37(5): 10–15.
- [26] 武广, 王国瑞, 刘军, 等. 大兴安岭北部主要金属矿床成矿系列和区域矿床成矿谱系[J]. *矿床地质*, 2014, 33(6): 1 127–1 150.
- [27] 刘军, 武广, 邱华宁, 等. 大兴安岭北部砂宝斯金矿床含金石英脉 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其构造意义[J]. *地质学报*, 2013, 87(10): 1 570–1 579.
- [28] LI X W, DENG C Z, SUN D Y, et al. Genesis of the sediment-hosted Sanshierzhan Au deposit, NE China: Evidences from the pyrite geochemistry and S–Hg isotopes[J]. *Ore Geology Reviews*, 2025, 184: 106719.
- [29] 姚凤良, 孙丰月. 矿床学教程[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [30] 王庆飞, 邓军, 赵鹤森, 等. 造山型金矿研究进展: 兼论中国造山型金成矿作用[J]. *地球科学*, 2019, 44(6): 2 155–2 186.
- [31] 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): 1 181–1 196.
- [32] 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, 等. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. *岩石学报*, 2007, 23(9): 2 085–2 108.
- [33] COOKE D R, MCPHAIL D C. Epithermal Au–Ag–Te mineralization, Acupan, Baguio District, Philippines: Numerical simulations of mineral deposition[J]. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 2001, 96(1): 109–131.
- [34] 王献忠, 刘洪利, 刘忠田, 等. 黑龙江省砂宝斯金矿床矿石矿物与金矿物特征研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2015, 34(1): 101–109.
- [35] HEINRICH C A. Fluid–fluid interactions in magmatic-hydrothermal ore formation[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2007, 65(1): 363–387.
- [36] 卢焕章, 池国祥, 朱笑青, 等. 造山型金矿的地质特征和成矿流体[J]. *大地构造与成矿学*, 2018, 42(2): 244–265.
- [37] 黑龙江省地质调查研究总院. 黑龙江省矿产资源潜力评价报告[R]. 哈尔滨: 黑龙江省地质调查研究总院, 2013.
- [38] 黑龙江省地质调查研究总院. 1:5 万砂宝斯林场幅、老沟林场幅、邱林公司幅区域地质调查[R]. 哈尔滨: 黑龙江省地质调查研究总院, 2003.

Fluid inclusion characteristics and genesis of the Balifang Gold Deposit in the northern Greater Khingan Mountains

Li Xiangwen^{1,2}, Zhang Fucheng³, Wang Guan^{1,2}, Liu Shiming^{1,2}, Han Tian^{1,2}

(1. School of Mining Engineering, Heilongjiang University of Science and Technology;

2. Ang'angxi Physical Geological Data Field Observation & Research Station of Heilongjiang Province;

3. Haikou Marine Geological Survey Center of China Geological Survey)

Abstract: The Balifang Gold Deposit is located in the western part of the Mohe Basin, in the northern segment of the Greater Khingan Mountains. The orebodies are mainly controlled by secondary faults within a ductile shear zone, and the mineralization is dominated by quartz vein-type. Among the 4 hydrothermal stages, stages II and III are the main ore-forming stages. Stage II features well-developed fluid inclusions, including not only gas-liquid two-phase inclusions but also CO₂-bearing three-phase, CO₂-rich, and pure CO₂ inclusions, whereas stages III and IV only develop gas-liquid two-phase inclusions. The gas-liquid two-phase inclusions are primarily composed of CO₂, N₂, CH₄, and H₂O, constituting a CO₂–N₂–CH₄–H₂O system, with traces of organic matter. The homogenization temperature peaks of gas-liquid inclusions in stages II–IV are concentrated at 200 °C–260 °C, 180 °C–240 °C, and 160 °C–190 °C, respectively; the corresponding salinity peaks are 5 %–8 %, 4 %–7 %, and 5 %–6 %, indicating a gradual decline in both temperature and salinity over time. Based on fluid pressure–temperature estimates, the ore-forming depth during the main mineralization stage is approximately 1.35–2.36 km. Comprehensive analysis suggests that the Balifang Gold Deposit formed in an extensional setting during the late stage of the Mongol–Okhotsk ocean orogenic belt evolution. The genesis is more closely related to an epizonal orogenic-type system, with possible overprinting or modification by epithermal low-temperature fluids.

Keywords: Balifang Gold Deposit; fluid inclusions; epizonal orogenic type; deposit genesis; northern Greater Khingan Mountains; ore-forming temperature; deposit type