

黑龙江乌拉嘎大型金矿床流体包裹体特征 及矿床成因研究

孙丰月 王 力 霍 亮 王可勇

(吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要: 乌拉嘎金矿床是受断裂构造和中酸性侵入体联合控制的浅成低温热液型矿床, 区内黑龙江群变质岩为成矿提供物源, 燕山期花岗岩斑岩是主要的容矿围岩, 深部岩浆源为成矿提供了热动力。矿体受构造引张部位和构造交汇部位控制, 在空间上侧伏斜列。矿石矿物主要有自然金、黄铁矿、白铁矿、辉锑矿、自然银等, 脉石矿物有玉髓状石英、胶状蛋白石、碳酸盐、冰长石、绢云母、高岭土等; 矿石结构主要为胶状结构、细粒状结构和碎裂结构, 矿石构造为脉状、网脉状和角砾状构造, 矿石的矿物组合和组构均显示典型的低温矿物组合和组构特点。流体包裹体研究表明, 石英中主要发育气液两相及少量单液相包裹体, 成矿流体属 $H_2O-NaCl$ 体系类型。成矿流体具有低盐度 (1.22%~5.4% NaCl)、低密度 (0.88~0.96 g/cm³) 的特征, 成矿温度为 140~220℃, 成矿平均压力为 23.24 MPa, 形成深度为 2.32 km。通过氢、氧同位素分析认为, 成矿流体 δD_{SMOW} 值为 -78.25‰~-132.64‰, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为 -3.7‰~6.23‰, 表明成矿流体主要来自大气降水。综合研究表明, 乌拉嘎金矿属于由中性、近还原和低温流体形成的低硫化型浅成低温热液金矿床。

关键词: 黑龙江; 乌拉嘎金矿床; 流体包裹体; 矿床成因

中图分类号: P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)06-1267-07

1 引言

乌拉嘎金矿床位于黑龙江省嘉荫县南部乌拉嘎镇境内, 1966 年由黑龙江省冶金地质勘探公司 704 队发现, 也称团结沟金矿床, 是中国特大型金矿床之一, 金平均品位为 4.0×10^{-6} , 储量为 84 t^①。该矿床位于天山—兴蒙晚中生代造山系东段的佳木斯地块北端, 太平沟隆起与嘉荫断陷的接合处。受中亚—蒙古构造域及滨太平洋构造域两大构造单元地质发展演化的双重影响, 区内构造复杂。基底构造以近东西向褶皱及断裂为主。中生代以来, 乌拉嘎金矿处于滨太平洋大陆活动边缘, 太平洋板块向欧亚大陆强烈挤压俯冲, 导致该区形成 NE 向乌拉嘎压扭性断裂, 乌拉嘎断裂与古老的 EW 向断裂交汇处侵入了花岗岩体。围绕乌拉嘎金矿床的地质特征、成矿条件、

成因类型以及找矿方法和找矿潜力等方面前人曾开展过不同程度的研究工作, 但对矿床成因和控矿规律认识一直存在分歧^[1-6]在此矿床勘探初期, 被认为是属于裂隙充填型或构造破碎角砾岩型矿床; 1971 年以前, 被认为是受断裂控制的一般热液矿床; 1972 年有的学者提出矿床为次火山岩型^[1]; 1973 年吴尚全^[2]、韦永福等^[3]则认为是斑岩型矿床; 1992 年杨天奇等^[4]认为属热泉型或浅成低温热液金矿床^[4]; 近年来, 王可勇等^[5]通过流体包裹体的研究认为矿床成因属于与中酸性斑岩侵入活动有关的中低温浅成热液金矿床。在上述研究基础上, 笔者尝试以矿床形成背景为前提, 以矿床地质特征及其形成的温度和深度为依据, 对乌拉嘎金矿的成因类型进行研究, 认清控矿构造的类型特征, 确定金矿的矿床成因类型, 以期指导矿区深部及外围矿产预测工作。笔者重点介

收稿日期: 2008-11-13; 改回日期: 2008-11-19

基金项目: 全国危机矿山接替资源找矿项目 (200623018) 资助。

作者简介: 孙丰月, 男, 1963 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床学的教学和研究工作; E-mail: sunfeng0669@sina.com。

① 齐永生, 魏玉明, 赵春波, 等. 黑龙江省乌拉嘎金矿资源潜力调查报告. 佳木斯第六地质勘察院, 2005。

绍流体包裹体研究工作,探讨成矿物理化学条件,并结合矿石矿物组成和组构特点以及已有氢、氧同位素和硫同位素的测试结果,进一步分析矿床成因类型。

2 矿区及矿床地质特征

2.1 矿区地质

矿区出露地层主要有中元古代晚期黑龙江群下亚群,白垩系宁远村组、洮淇河组和木河组,新近系孙吴组、大罗密玄武岩岩组和第四系(图1)。黑龙江群下亚群主要岩性为绿泥钠长片岩、绿泥透闪片岩、

石英片岩、片状石英岩和板岩等。该亚群地层经受了后期强烈的韧性变形作用,地层的揉皱和糜棱岩化较普遍,走向一般为270~310°,该亚群地层是部分矿体的围岩,同时也是成矿物质的提供者。矿区岩浆岩主要分布于乌拉嘎断陷东侧的葡萄沟、张才沟、团结沟一带,岩性主要是花岗闪长斑岩,向顶部渐变为斜长花岗斑岩。团结沟岩体呈岩株状产出,出露面积0.66 km²,走向近东西,是乌拉嘎金矿体的主要围岩。团结沟花岗斑岩体锆石同位素年龄为105 Ma和114 Ma^[6],属早白垩世岩浆超浅成侵入产物。乌拉嘎金矿床的斜长花岗斑岩体均发生了不同程度的破

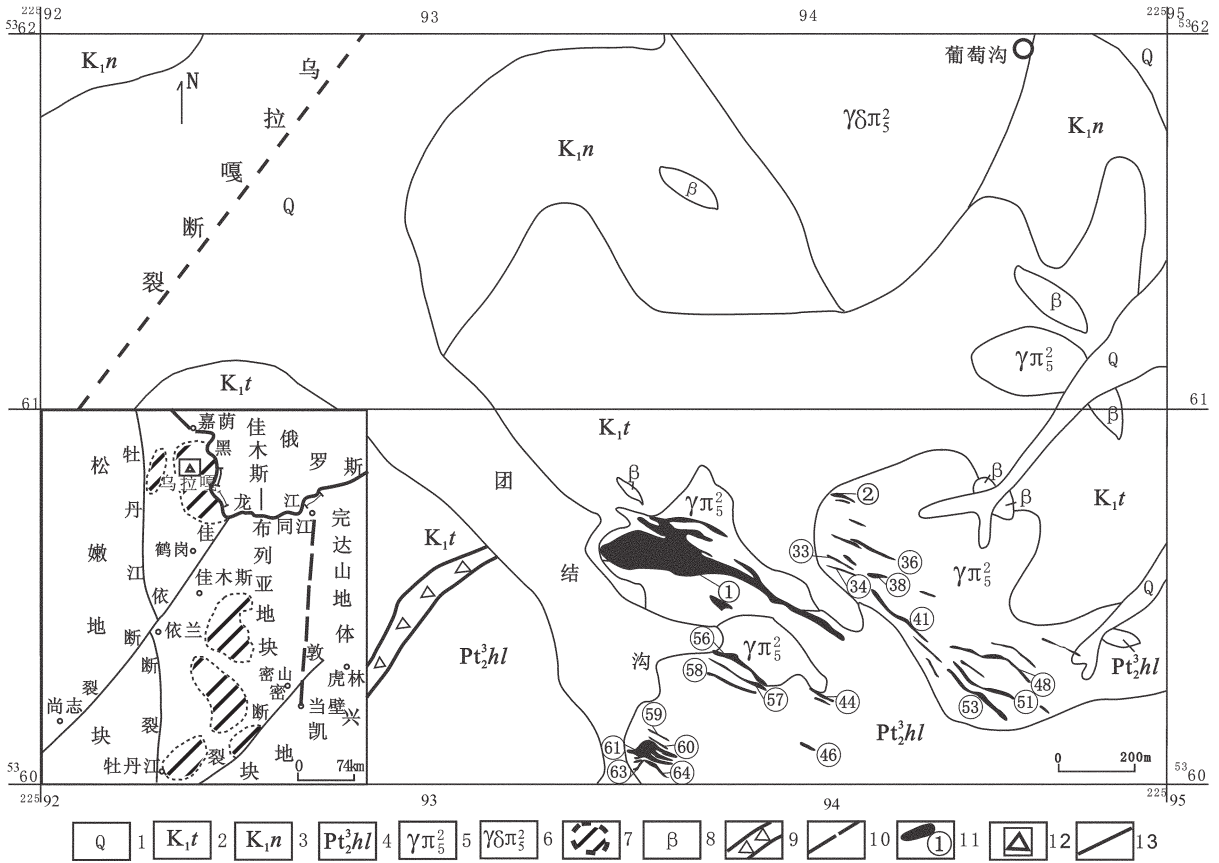


图1 乌拉嘎金矿区地质图^①

- 1—第四系;2—下白垩统洮淇河组;3—下白垩统宁远村组;4—中元古界黑龙江群;5—花岗斑岩;
- 6—花岗闪长斑岩;7—变质基底分布区;8—玄武岩;9—构造角砾岩;10—推测断裂;11—矿体及编号;
- 12—乌拉嘎金矿区;13—断裂构造带

Fig. 1 Geological map of the Wulaga gold orefield (after Qi Yongsheng et al.,2005)^①

- 1—Quaternary System;2—lower Cretaceous Taoqihe Formation;3—lower Cretaceous Ningyuancun Formation;
- 4—middle Proterozoic Heilongjiang Group;5—granitic porphyry;6—granite-diorite porphyry;
- 7—metamorphic basement distribution area;8—basalt;9—structure -breccia;10—inferred fault;
- 11—orebody and its number;12—Wu Laga gold mining district;13—fracture zone

① 齐永生,魏玉明,赵春波等.黑龙江省乌拉嘎金矿资源潜力调查报告.佳木斯第六地质勘察院,2005.

碎,特别是在岩体与片岩的接触带内,斑岩破碎尤为强烈,并构成一近东西向展布的构造角砾岩带,它是重要的容矿场所,控制着大部分矿体的产出。

乌拉嘎深断裂是本区最大的构造活动带,同时也是矿区的导岩、导矿构造,它控制了区内的岩浆活动,也控制着含矿热液的运移。乌拉嘎深断裂的次级 NWW 向张性断裂是矿区内主要的控矿构造。NNW 向张扭性构造也控制矿体产出,但矿体规模较小、品位高。

2.2 矿床地质特征

乌拉嘎金矿床共发现 76 个矿体,64 个矿体赋存于斜长花岗斑岩的构造角砾岩带中,12 个矿体产于斑岩与片岩接触破碎蚀变带中(图 1)。矿体多呈脉状、扁豆状、蝌蚪状等。矿体总体走向 270~288°,倾向北东,倾角多数在 20~26°,矿体向北西侧伏,侧伏角 7°左右。东、西两采坑 1 号矿体总长 1550 m,最大厚度 133.32 m,平均厚度 46 m,最大延深 450 m,赋存标高多在 0~248 m,金的平均品位为 4.0×10^{-6} ,其储量占整个矿床总储量的 96.7%。矿体规模较大的尚有 12 号、20 号、21 号、22 号和 23 号矿体,矿体只占总储量的 3.3%。

矿区金矿化主要有 4 种类型:①含金玉髓状石英-黄铁矿型矿石;②碳酸盐-黄铁矿型矿石;③含金玉髓状石英-胶黄铁矿、辉锑矿型矿石;④褐铁矿型矿石。

矿石矿物主要为自然金、黄铁矿、白铁矿,少量为辉锑矿、自然银、闪锌矿、自然汞、方铅矿、黄铜矿、雄黄、雌黄、黄钾铁钨和褐铁矿等;脉石矿物有玉髓状石英、石英、胶状蛋白石、碳酸盐、冰长石、绢云母、高岭土等,其中玉髓状石英是区内主要载金矿物,黄铁矿和白铁矿是次要载金矿物。矿石结构主要为胶状结构、细粒状结构、碎裂结构,其次为交代结构和反应边结构。矿石构造以脉状、网脉状、角砾状构造最为发育,次为浸染状构造、蜂窝状构造、胶状构造和晶洞状构造等。矿石胶状构造较为发育,黄铁矿、白铁矿、蛋白石等均发育有胶状构造。低温矿物组合和组构的普遍发育是乌拉嘎金矿的重要特征之一。

矿区围岩蚀变从矿体向外依次为硅化(玉髓状石英)-冰长石化-绢云母化-泥化-碳酸盐化,其中冰长石化和硅化是近矿的围岩蚀变,特别是硅化与成矿关系最为密切,灰黑色玉髓状石英强烈发育处多为矿体赋存部位。冰长石和碳酸盐的存在,显示成

矿流体为近中性、还原的低温流体,冰长石化和碳酸盐化为典型的低硫化型浅成低温热液蚀变组合^[7]。

3 流体包裹体研究

3.1 流体包裹体岩相学特征及显微测温研究

在对矿床地质特征进行详细野外调研基础上,采集了矿区主要类型的含金玉髓状石英-黄铁矿型矿石样品,对样品中发育的流体包裹体开展了系统的岩相学及显微测温研究。需要说明的是,由于多数流体包裹体都很小,冷热台观测困难,笔者获得了 64 组数据。流体包裹体冷热台研究在吉林大学地球科学学院地质流体实验室完成,仪器为英国 Linkam THMSG-600 型冷热台,分析精度低于 0°C 时为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$,高于 200°C 时为 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

观察表明,石英中主要发育气液两相及少量单液相等两种类型的原生包裹体,表明成矿流体为不含 CO_2 的较均一的 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 盐水溶液体系。其中气液两相包裹体以椭圆形、长条状及不规则形状为主,个体较小,大小一般为 5~20 μm ,多数在 5~8 μm ,气液比为 5%~20%,多数在 10%左右。冷冻-升温过程中,测得该类包裹体冰点温度为 -0.7~-3.3°C。成矿流体的盐度是根据气-液两相包裹体水溶液的冰点温度确定的。据相应公式 $S=0.00+1.78T_i-0.0442T_i^2+0.000557T_i^3$ (其中 T_i 为冰点温度)^[8],计算得到流体盐度为 1.22%~5.4%NaCl,平均盐度为 3.3%NaCl,众值在 3.5%~4.5%NaCl。包裹体均一至液相,均一温度变化范围为 140~329.6°C,从成矿均一温度的直方图(图 2)看,成矿均一温度具有正态分布的特点,成矿

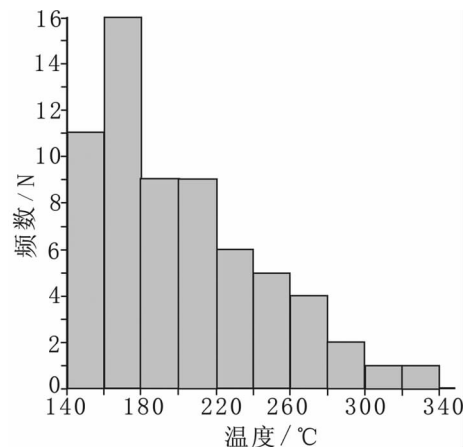


图 2 乌拉嘎金矿成矿流体均一温度直方图

Fig.2 Histograms showing homogenization temperature of ore-forming fluid of Wulaga gold deposit

均一温度主要集中在 140~220℃, 结合该矿区矿石矿物组合、组构特点以及载金矿物和矿化石英的产出关系及镜下实际测温结果, 认为 140~220℃是乌拉嘎金矿金元素沉淀成矿的高峰期。这一温度区间基本反映了本区金矿化最后富集成矿温度的下限。根据盐水溶液包裹体温度-密度、温度-压力关系式^[9], 估算流体密度为 0.88~0.96g/cm³。由此确定乌拉嘎金矿床成矿流体属于低盐度(图 3)和低密度流体(图 4)。

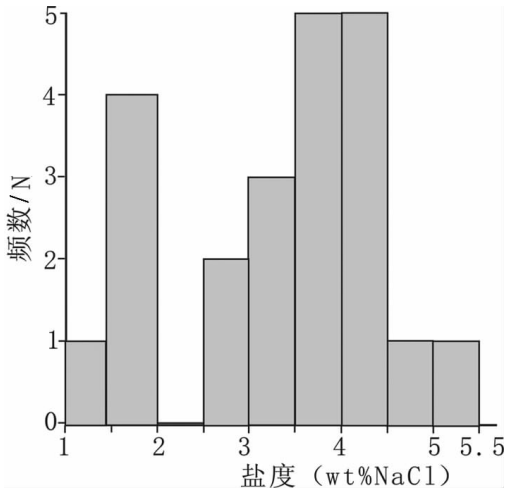


图 3 乌拉嘎金矿成矿流体盐度直方图

Fig. 3 Histograms showing salinity of ore-forming fluid of Wulaga gold deposit

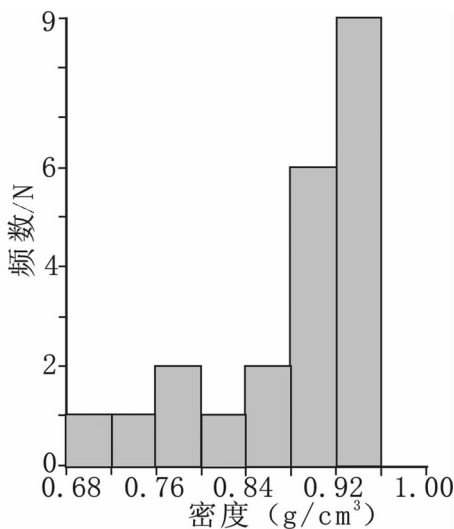


图 4 乌拉嘎金矿成矿流体密度直方图

Fig. 4 Histograms showing density of ore-forming fluid of Wulaga gold deposit

3.2 成矿压力和成矿深度的估算

根据刘斌^[10]计算成矿压力的经验公式:

$$P=a+bt+ct^2$$

式中 P 为压力 (Pa), t 为温度 (°C), a 、 b 、 c 为无量纲参数, 不同盐度和密度条件下, a 、 b 、 c 不同。以此计算出乌拉嘎金矿床的成矿压力为 10.29~39.3 MPa, 平均值为 23.24 MPa。

成矿深度问题是矿床学研究的重要内容之一。Sibson^[11]建立了断裂带内流体压力和深度之间的非线性关系, 孙丰月等^[12]分段拟合了压力和深度之间的关系式, 认为流体压力小于 40 MPa 时应用静水压力梯度来计算, 据此求得乌拉嘎金矿床的成矿深度为 2.32 km 左右。

3.3 流体包裹体成分特征

王可勇等^[9]对乌拉嘎金矿矿化石英脉中的流体包裹体做了研究, 结果表明: ①各类包裹体气液相成分均以 H₂O 为主, 含少量的 CH₄、H₂S、CO、CO₂; 液相中阴离子成分有 HCO₃⁻、SO₄²⁻、HS⁻等; ②在矿石玉髓状石英所含包裹体气相中, 检测出微量的 C₂H₂、C₂H₄ 及 C₂H₆ 等有机物质; ③成矿流体中阴离子成分含量总体以 HCO₃⁻>SO₄²⁻ 为特征。这表明成矿流体主要是来自大气降水, 并且流体含少量有机质。

3.4 流体包裹体氢、氧同位素特征

根据杨天奇等^[13]对乌拉嘎金矿矿化石英脉中流体包裹体氢、氧同位素的分析测试结果, 流体氢同位素值 δD_{SMOW} 为 -78.25‰~-132.64‰。而笔者获得测温结果, 计算成矿流体中的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为 -3.70‰~6.23‰(表 1)。以上数据落在岩浆水与变质水的外侧(图 5), 玉髓状石英中流体包裹体投点远离岩浆水和变质水, 靠近大气降水线分布, 显示出成矿流体主要由大气降水演化而来。结合其低温、低盐度等特征, 推测该类成矿流体应主要来源于大气降水。

表 1 乌拉嘎金矿矿化石英中流体包裹体氢、氧同位素组成^[14]

Table 1 Hydrogen and oxygen isotope composition of fluid inclusions in mineralized quartz of Wulaga gold deposit^[14]

矿物	$\delta^{18}O_{H_2O}/\text{‰}$	计算温度/°C	$\delta^{18}O_K/\text{‰}$	$\delta D_K/\text{‰}$
石英 II	15.19	250	6.23	-78.25
玉髓状石英 II	12.72	140~220	-3.70~2.21	-132.64
石英 II	14.00	200	2.29	-96.45

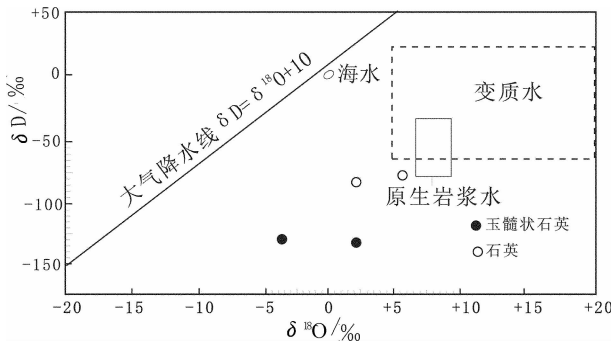


图 5 乌拉嘎矿区成矿流体氢、氧同位素的组成 (底图据参考文献[13])

Fig. 5 Compositions of oxygen and hydrogen isotope of ore-forming fluid of Wulaga gold orefield (modified from Taylor,1974)

表 2 乌拉嘎金矿区的硫同位素组成
Table 2 Sulfur isotope of composing of Wulaga gold orefield

序号	样号	矿物名称	采样位置	³⁴ S/‰
1		黄铁矿	黑龙江群结晶片岩	-10.8
2		黄铁矿	白垩纪火山岩	-24.9
3	PY-1-1	粗晶黄铁矿		-0.4
4	PY-1-2	粗晶黄铁矿		-1.2
5	B-1-1	白铁矿Ⅰ		-3.5
6	B-1-2	白铁矿Ⅱ		-3.5
7	gr-1	白铁矿Ⅲ	呈细脉穿插在蚀变斑岩	-3.5
8	gr-2	白铁矿Ⅲ	呈细脉穿插在蚀变斑岩	-3.9
9	m-1	辉锑矿	放射状、纤维状晶体	-2.6
10	m-2	辉锑矿	放射状、纤维状晶体	-3.1
11	200-14	白铁矿Ⅱ	与玉髓状石英伴生	-8.5
12	80211-1	白铁矿Ⅱ	与玉髓状石英伴生	-9.7
13	80211-2	白铁矿Ⅱ	与玉髓状石英伴生	-10.8
14	g-1	白铁矿Ⅱ	与玉髓状石英伴生	-12
15	g-2	白铁矿Ⅱ	与玉髓状石英伴生	-12.4
16	80209-1	白铁矿Ⅲ	与方解石脉伴生	-30.9
17	80209-2	白铁矿Ⅲ	与方解石脉伴生	-33.6
18	py4-1	白铁矿Ⅲ	与铁白云石脉伴生	-25.3
19	py4-2	白铁矿Ⅲ	与铁白云石脉伴生	-27.5
20		粗晶黄铁矿		1.63
21		粗晶黄铁矿		-10.53
22		粗晶黄铁矿		-3.5
23		粗晶黄铁矿		-3.5
24		白铁矿	玉髓状石英脉中	-3.5
25		白铁矿	玉髓状石英脉中	-12
26		辉锑矿		-3.9
27		胶状白铁矿		-27.5
28	KB2	粗晶黄铁矿	165m 标高矿体内	-1.71
29	160	粗晶黄铁矿	160m 平台矿体内	10.05
30	165	粗晶黄铁矿	165m 标高矿体内	10
31	D180-2	粗晶黄铁矿	180m 平台上矿石	1.81
32	D160	粗晶黄铁矿	160m 平台上矿石	-0.47
33	P5B10	粗晶黄铁矿	160m 平台上矿石	-0.85
34	P1B1-3	粗晶黄铁矿	190m 平台上片岩中	-0.74
35	P1B9	粗晶黄铁矿	170m 平台上矿体	1.04

注:序号 1~2 引自参考文献[17],3~27 引自参考文献[16],28~35 引自参考文献[4]。

4 成因类型探讨

笔者认为,成矿作用与地球动力学背景有密切的关系,与具体的地层、岩浆、构造以及温压等物理化学条件相一致。有关金矿床类型的确定,直接影响矿带的研究和找矿方向,不同类型的矿床具有不同的特点,也就决定了对不同类型矿床的勘查应采取不同的方法。斑岩型矿床、矽卡岩型矿床由于其主要受岩体控制,决定了对该类矿床勘查的重点是寻找斑岩体;而对于脉型热液矿床,由于其主要是断裂构造控制,决定了对该类矿床的勘查应注重控矿构造的找寻。

如前所述,乌拉嘎金矿矿石矿物组成和矿石结构均显示典型的低温矿物组合和结构特点^[4,15],主成矿期流体包裹体显示成矿流体具有低盐度(1.22%~5.4%NaCl)、低密度(0.88~0.96 g/cm³)的特征,成矿温度和压力较低、深度浅,氢、氧同位素指示成矿流体主要以大气降水为主。因此,乌拉嘎金矿应属浅成低温热液矿床。

综合前人硫同位素研究结果^[4,16,17](表 2),矿石矿物 δ³⁴S 值变化范围大(-33.6‰~10.1‰),显示了硫源的复杂性和成矿物理化学条件的多变性,应属浅成热液成矿系统的典型特征。无论如何,抵达-33.6‰的 δ³⁴S 值指示着同成矿时期生物作用的不可或缺,反映了近地表条件热液型成矿系统的特征。

总之,该矿床形成于燕山期构造-岩浆活化作用的晚期,受控于 NE 向乌拉嘎深断裂派生的次级 NWW 向张性断裂和 NNW 向张扭性构造,其中以 NWW 向张性断裂为主控矿断裂。矿体受构造局部引张部位和构造交汇部位控制,斑岩中的构造角砾岩带和斑岩与片岩接触破碎蚀变带为后期大气降水成矿提供了流体下渗通道和容矿空间,为金的大规模富集作用奠定了重要基础。中元古代晚期黑龙江群变质岩为成矿提供物源,深部岩浆源为成矿提供了热动力。离热源较远的大气水沿裂隙下渗,热中心的热流体上升,构成循环的热流体系统,不断淋滤萃取围岩中的成矿元素,使之在适宜的构造部位沉淀富集成矿,是乌拉嘎低硫化型浅成低温热液金矿床的成矿机制。

5 结 论

(1) 乌拉嘎金矿受构造和燕山期中酸性侵入体联合控制, 矿体侧伏斜列产出于构造局部引张部位和构造交汇部位。矿石矿物和矿石组构均显示典型的低温矿物组合和组构特点, 围岩蚀变从矿体向外依次为硅化(玉髓状石英)-冰长石化-绢云母化-泥化-碳酸盐化, 而冰长石化和硅化是近矿围岩蚀变。成矿流体具有近中性、还原和低温的特征。

(2) 流体包裹体主要为气液两相及少量单液相的 $H_2O-NaCl$ 溶液, 成矿流体具有低盐度 (3.5%~4.5%NaCl)、低密度 (0.88~0.96g/cm³) 的特征, 成矿温度为 140~220℃, 成矿平均压力为 23.24 MPa, 成矿静水压力深度约为 2.32 km。

(3) 流体氢同位素值 δD_{SMOW} 为 -78.25‰~-132.64‰, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为 -3.70‰~6.23‰, 显示出成矿流体主要由大气降水组成; 矿石硫同位素变化于 -33.6‰~10.05‰, 显示了物理化学条件多变的浅源成矿物质来源和环境, 以及生物作用的不可或缺。

(4) 乌拉嘎金矿床属于与中酸性岩浆活动有关的典型低硫化型浅成低温热液矿床。

致谢: 在野外考察和实验室研究期间得到乌拉嘎金矿各位领导和众多同行的大力支持和帮助, 在此深表谢意! 并以此文祝贺著名矿床学家胡受奚教授从事地质事业 60 周年和 80 华诞。

参考文献(Refenerces):

- [1] 中国人民武装警察部队黄金指挥部. 黑龙江省团结沟斑岩金矿地质[M]. 北京:地震出版社, 1995:55-11.
The Headquarter of the Armed Police Forces of the People's Republic of China. Geology of Tuanjiegou Porphyry Gold Deposit in Heilongjiang [M]. Beijing:Seismological Press, 1995:1-134(in Chinese).
- [2] 吴尚全. 团结沟斑岩金矿床自然金的成因矿物学研究 [J]. 地质论评, 1984, 30(1):42-48.
Wu Sangquan. A study of genetic mineralogy of native gold in the Tuanjiegou porphyry gold deposits[J]. Geological Review, 1984, 30(1):42-48(in Chinese with English abstract).
- [3] 韦永福, 裘有守, 余昌涛. 中国东部金矿地质研究[M]. 北京:地质出版社, 1993:99-106.
Wei Yongfu, Qiu Youshou, Yu Changtao. Geology Research on Gold Deposits in East China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1993:99-106(in Chinese).
- [4] 杨天奇, 魏仪方, 何高文. 中国陆相火山岩区特大型金矿床模型[M]. 北京:冶金工业出版社, 1992:1-200.
Yang Tianqi, Wei Yifang, He Gaowen. Super Large Gold Deposit

- Models of in Continental Volcanic Rocks in China [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994:1-200(in Chinese).
- [5] 王可勇, 任云生, 程新民, 等. 黑龙江团结沟金矿床流体包裹体研究及矿床成因[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(2):171-178.
Wang Keyong, Ren Yunsheng, Cheng Xinmin, et al. Study on fluid inclusion of Tuanjiegou gold deposit in Heilongjiang Province and implications for its genesis [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28 (2):171-178(in Chinese with English abstract).
- [6] 江雄新, 韦永福, 王炳训, 等. 团结沟金矿床主要地质特征及其成矿作用[C]//沈阳地质矿产研究所编. 金矿地质论文集. 北京:地质出版社, 1986:71-83.
Jiang Xiongxin, Wei Yongfu, Wang Bingxun, et al. The main geological characteristics and mineralization of Tuanjiegou gold deposits [C]//Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources (ed), Collection of Gold Geological Research. Beijing:Geological Publishing House, 1986:71-83(in Chinese).
- [7] Heald P, et al. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposit; acid-sulfate and adularia-sericite types [J]. Economic Geology, 1987, 82(1):1-26.
- [8] 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, 1993:1-246.
Zhang Wenhui, Chen Ziying. Geology of Fluid Inclusions [M]. Wuhan:Press of China University Geoscience, 1993:1-246(in Chinese).
- [9] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社, 1999:1-290.
Liu Bin and Shen Kun. Thermodynamics of Fluid Inclusions [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999:1-290(in Chinese with English abstract).
- [10] 刘斌, 朱思林, 沈昆. 流体包裹体热力学参数计算软件及算例 [M]. 北京:地质出版社, 2000:1-252.
Liu Bin, Zhu Silin, Shen Kun. Softwares and Examples for Calculating the Thermodynamic Parameters of Fluid Inclusions [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2000:1-252(in Chinese).
- [11] Sibson RH, Robert F, Poulsen KH. High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling and mesothermal gold-quartz deposits [J]. Geology, 1988, 16:551-555.
- [12] 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 Fengyue, Jin Wei, Li Bile, et al. Considerations on the mineralizing depth of hydrothermal lode gold deposits [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000, 30 (Suppl.):27-30(in Chinese with English abstract).
- [13] Taylor HP. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition [J]. Econ. Geol., 1974, 69:843-883.
- [14] Hedenquist JW, Izawa E, Arribas A, et al. NC. Epithermal gold deposits: styles, Characteristics, and exploration. Resource Geology Special publication Number 1. Tokyo: The Society of Resource Geology. 1996.
- [15] 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):2085-2108.

- Chen Yanjing, Ni Pei, Fan Hongrui, et al. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (9):2085–2108 (in Chinese with English abstract).
- [16] 吴尚全. 团结沟斑岩金矿床多源成因的同位素地质学证据[J]. *地质与勘探*, 1984, 20(2):28–31.
- Wu Sangquan. Evidence of isotope geology on polygene of Tuanjiegou porphyry gold deposit [J]. *Geology and Prospecting*, 1984, 20 (2):28–31(in Chinese).
- [17] 王义文. 中国金矿床稳定同位素地球化学研究[J]. *桂林冶金地质学院学报*, 1990, 10(3):269–282.
- Wang Yiwen. Study on the stable isotopic geochemistry of gold deposits in China [J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 1990, 10 (3):269–282(in Chinese with English abstract).

Fluid inclusion study on Wulaga gold deposit in Heilongjiang Province and implications for ore genesis

SUN Feng-yue, WANG Li, HUO Liang, WANG Ke-yong

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China)

Abstract: Wulaga gold deposit is controlled by both fracture zone and intermediate-acidic porphyry. In the mining district, Heilongjiang Group metamorphic rocks are considered as the main source bed. The Yanshanian plagioclase-granitic porphyry is the wall rock and provided the heat source for the gold mineralization process. The locations of the ore bodies are the places of fault intersection or the fault extensional sections due to attitude change. And the ore bodies are distributed in raking and stepwise pattern. The ore minerals are mainly composed of native gold, pyrite, marcasite, stibnite and native silver while the gangue minerals are mainly chalcedony quartz, colloid opal, carbonate, adularia, sericite and kaolinite. Gold ores are of colloidal, fine grain and cataclastic textures and veinlike, stockwork and brecciated structures. Thus, the gold ores show typical low temperature characteristics in texture, structure and mineral assemblages. Based on microscopic study, it is found that aqueous two-phase and small amount of pure aqueous-phase fluid inclusions dominate in quartz. It is suggested that the ore-forming fluid belongs to H₂O-NaCl system and the fluid is characterized by low salinity (from 1.22% to 5.4% NaCl.eqv) and low density (from 0.88 to 0.96 g/cm³). The forming temperature ranges from 140°C to 220°C. The average value of pressure is 23.24 MPa and the mineralizing depth is about 2.32 km. With respects to stable isotopic features of the fluid inclusions, the values of δD_{SMOW} are between -78.25‰ and -132.64‰ while those of $\delta^{18}O_{H_2O}$ are from -3.7‰ to 6.23‰. It is concluded that the ore forming fluids are mainly meteoric water. Finally, it is suggested that the deposit belongs to a low sulfadation epithermal gold deposit that was formed from neutral, reduced and low temperature hydrothermal system.

Key words: Heilongjiang; Wulaga gold deposit; fluid inclusion; genesis of ore deposit

About the first author: SUN Feng-yue, male, bom in 1963, is now a professor and Ph.D supervisor engaging in teaching and research in the field of economic geology; E-mail: sunfeng0669@sina.com.