

黑龙江省东宁县金厂矿区两期成矿作用： 地质、流体包裹体、稀土元素和同位素证据

肖力, 赵玉锁, 卿敏, 孔媛媛, 闫家盼, 汤媛媛

(武警黄金地质研究所, 廊坊 065000)

[摘要] 金厂金矿床产于岩浆岩内部, 根据矿脉特征、容矿构造特征、矿石特征、矿化特征和蚀变特征、控制因素等方面, 重新将矿区矿(化)体类型划分为角砾岩型和岩浆穹隆裂控型两种类型矿体; 矿体地质、流体包裹体、稀土元素和同位素等研究表明两种类型矿体在地质特征、流体包裹体、稀土元素和同位素方面存在显著差异; 结合区内岩浆岩测年数据和成矿年龄测试数据, 初步确定矿区主要有两期成矿作用, 第一期是与闪长玢岩侵入有关的角砾岩型矿体, 第二期是与花岗岩斑岩侵入有关的岩浆穹隆裂控型矿体。

[关键词] 矿脉体地质特征 流体包裹体 稀土元素 同位素 金厂金矿床 东宁县

[中图分类号] P618.65+P612 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2010)05-1178-08

Xiao Li, Zhao Yu-suo, Qing Min, Kong Yuan-yuan, Yan Jia-pan, Tang Yuan-yuan. Two mineralization stages of the Jingchang ore district in Dongning County, Heilongjiang Province: evidence from geology, fluid inclusions, REE and isotopes[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(Supp.): 1178-1185.

黑龙江省东宁县金厂金矿是近几年来吉黑东部延边-东宁成矿带上发现的又一特大型金矿床, 已探获资源量大于 80 吨, 随着探矿工作的继续, 在矿区深部和第四系覆盖区, 不断发现新的矿化体, 显示巨大的成矿潜力和良好的找矿前景。与成矿带上其他金厂(闹枝金厂、小西南岔金厂等)相比, 金厂金矿集角砾岩型、岩浆穹隆裂控型金矿体于一身, 且具有铜、银、铅锌矿化, 这在国内外都是不可多见的重要矿床类型。金矿成因极其复杂, 已有一些学者对于矿床进行过研究(慕涛, 1999; 陈锦荣, 2000; 李高生等, 2003; 朱成伟等, 2003; 贾国志等, 2005; 张华锋, 2007; 李真真, 2007; 王永等, 2007; 门兰静, 2008), 但对于矿区矿体类型的划分和成矿作用过程均未能有一个明确的解释。本文在矿床地质研究工作的基础上, 通过流体包裹体、稀土元素和同位素的研究, 结合前人工作成果, 对矿区两期成矿作用进行初步探讨。

1 矿床地质特征

金厂矿区区域上位于兴凯湖-布列亚山地块-

张广才岭-太平岭边缘隆起地带的太平岭隆起与老黑山断陷结合部位, 紧邻绥阳深大断裂东侧老黑山断陷中。矿区内大面积分布印支期-燕山期中酸性侵入岩; 地层分布很少, 仅在矿区及外围零星出露中-上侏罗统屯田营组($J_{2-3}t$)火山岩系; 矿区内断裂构造主要为绥阳断裂旁侧次级的 NW、NE、近 EW 向和近 SN 向断裂及岩浆侵入时形成的环状断裂、放射状裂隙(图 1)。

1.1 矿脉体类型及主要特征

至目前为止, 矿区内发现矿化体 27 个, 矿脉(体)按矿脉特征、容矿构造特征、矿石特征、矿化特征和蚀变特征、控制因素可分为 2 种类型矿化: 角砾岩(筒)型和岩浆穹隆裂控型; 其中角砾岩型矿体又可划分为侵入角砾岩型矿体和塌陷角砾岩型矿体二亚类; 岩浆穹隆裂控型矿体划分为岩浆穹隆裂控环状构造蚀变岩型和岩浆穹隆裂控放射状裂隙充填脉型两亚类。

侵入式角砾岩型矿体: 在矿区分布较多, 如 J-1、J-8、J-11、J-13、J-9、J-16、J-

[收稿日期] 2010-10-25; [修订日期] 2010-11-20; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 中国人民武装警察部队黄金指挥部黄金专项(HJ08-07-1)和中国地质调查局危机矿山接替资源找矿专项(20089925)联合资助。

[第一作者] 肖力(1971年-), 男, 1996年毕业于长春科技大学, 获硕士学位, 主要从事金矿地质研究工作。E-mail: xiaoli1893@163.com。

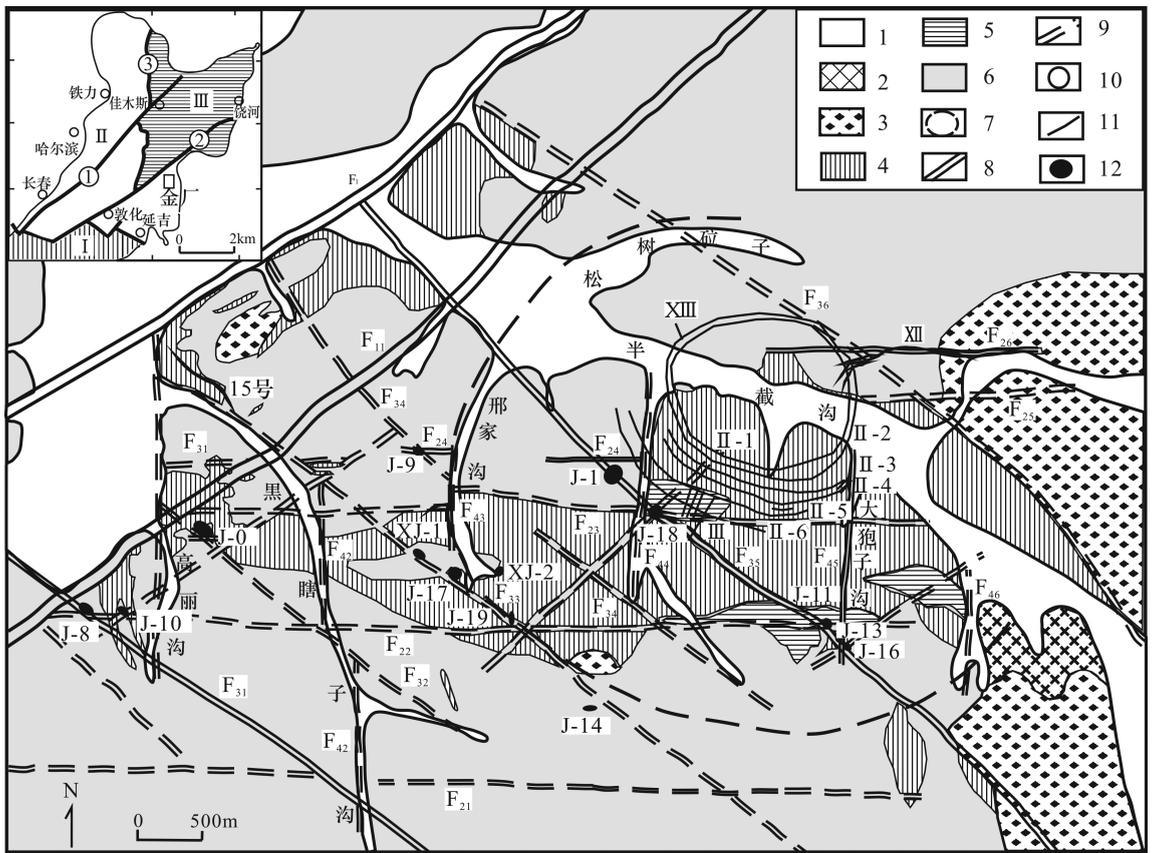


图1 金厂矿区地质简图(据武警黄金一支队,2007修编)

Fig. 1 Simplified geological map of the Jingchang ore district (modified from No. 1 General Gold Party of CAPF, 2007)

1-第四系;2-第三系;3-侏罗纪屯田营组火山岩 4-燕山晚期花岗岩斑岩;5-燕山晚期闪长玢岩;6-印支晚期-燕山早期花岗岩、花岗闪长岩;7-环形构造;8-断裂;9-推断断裂;10-环形矿体;11-放射状矿体;12-角砾岩型矿体; I -华北克拉通; II -吉黑褶皱带; III -佳木斯-兴凯地块; ①-伊兰-伊通断裂; ②-敦密断裂; ③-牡丹江断裂

1-Quaternary system; 2-Tertiary system; 3-Jurassic Tuntianying Formation volcano; 4-Late Yanshanian granite porphyry; 5-Late Yanshanian diorite porphyrite; 6-Late Indian-Early Yanshanian granite or granite diorite; 7-ring structure; 8-fault; 9-inferred fault; 10-ring ore-body; 11-radial ore-body; 12-breccia type ore body; I-Huabei craton; II-Jihei fold zone; III-Jiamusi-Xingkai block; ①-Yilan-Yitong fault; ②-DunMi fault; ③-Mudanjiang fault

-14、J-17及J-19和XJ-1岩矿体;主要特征是:①角砾岩主要分布在闪长玢岩体的顶部或附近的上覆围岩中,受断裂控制,产于断裂交汇部位;②角砾岩与围岩呈截然“侵入”接触关系,平面上呈椭圆形,剖面上常呈筒状;③角砾大小不一,一般几毫米到几十厘米,大的可达几米,无分选性,有明显位移,有时也可见有半浑圆状到浑圆状,显示流动特征;④组成角砾岩体的角砾主要是来自附近围岩的角砾,也有少量来自深部岩石的角砾。胶结物主要是同源熔浆物质,也有同成分的碎屑物;⑤常具明显的构造分带,一般从中心向外为:强角砾岩化带→弱角砾岩化带→裂隙化岩石带→裂隙不发育的围岩,角砾岩上部岩石因受岩筒影响,形成各个方向得裂隙,含矿热液充填形成脉状矿体;⑥隐爆角砾岩体

通常都具有较强的绿泥石化、硅化、钾长石化、黄铁矿化、碳酸盐岩化、高岭土化等蚀变等;特别是胶结物中蚀变更为强烈,形成石英-黄铁矿团块和黄铁矿蚀变晕圈。

塌陷角砾岩型矿体:在矿区分布较少,如J-0矿体和XJ-2矿体,角砾岩是聚集在岩体冷却壳下的气泡出溶而引起的塌陷作用,当深成岩体与富水的围岩接触时,其表面迅速凝结成一个不透水的固体壳,岩浆水不断从当时仍处于半熔融状态的岩体中出溶,并向上运移聚集在冷却壳下,形成气泡。随着蒸气压力的增大,发生穿透作用,使气体逸散,蒸气压力降低,导致气泡顶部及边部的岩石坍塌,形成塌陷角砾岩体。主要特征是:①角砾岩主要分布在闪长玢岩体的顶部内外接触带,包括闪长玢岩外部壳和围岩,受断裂控制;②角砾岩与围岩呈“渐变”

接触关系,剖面上常不规则呈筒状;③角砾大小不一,一般几毫米到几十厘米,形态为棱角状、板状;无分选性,无明显位移;④角砾主要是闪长玢岩本身和附近围岩破破而成的角砾,胶结物主要是闪长玢同源熔浆物质,也有同成分的碎屑物。⑤常具明显的矿化分带。一般从闪长玢岩往外围岩:细脉-浸染状闪长玢矿化带→闪长玢岩角砾岩矿化带→混合角砾岩矿化带→钾长花岗岩角砾岩矿化带→裂隙不发育的围岩(图2);含矿热液可沿闪长玢岩上部围岩的裂隙充填形成矿脉;⑥黄铁矿、黄铜矿常呈胶结物胶结角砾;角砾岩体中张性空间中常形成晶体粒度较大的脉状石英-黄铁矿脉。

隆南西侧环状蚀变岩型脉发育;③主要是高岭土化强烈蚀变;黄铁矿化主要呈浸染状和稠密浸染状。

放射状裂隙充填脉型矿体:受花岗斑岩上侵时形成的放射状裂隙控制,包括Ⅲ脉群、Ⅱ号脉群和ⅩⅢ号脉群。其主要特征是:①脉体呈放射状产出,岩浆穹隆南西侧和北东侧应力集中区相对发育;②脉体相对较窄,品位较高;③黄铁矿脉或石英-黄铁矿脉呈脉状充填裂隙,两侧蚀变具一定对称性。

1.2 矿脉体相互关系

矿区内松树砬子-邢家沟一带在遥感图上有一大型环型构造,环型构造中心部为岩浆穹隆形成的环状断裂和放射状,J-1号矿体位于岩浆穹隆南西侧花岗斑岩上部,是环状蚀变岩型矿体和放射状裂隙充填脉型矿体主要发育区。J-1矿体330m中段发育一系列近于平行产出的黄铁矿细脉,总体走向为NE向,倾角近于直立,属于放射状裂隙充填脉型矿体。对J-1号矿体起富集叠加作用,在中段平面图上可以看到,按品位圈定的矿体形态与实际角砾岩体形态不一致,为一不规则的近EW向椭圆形,形态不规则,表现在本来是在平面上呈很规则的椭圆状,却在东部伸出了两个耳朵中。在80m,中段石英-黄铁矿脉切割了角砾,方向均为北东向,属为放射状裂隙充填脉型矿体,角砾岩矿体外围南西方向发现了放射状裂隙充填的石英-黄铁矿脉;环状Ⅱ-5号蚀变岩型矿体在J-1矿体130m中段切穿了J-1矿体;这些地质特征表明角砾岩型矿体形成在前,岩浆穹隆裂控型矿体形成在后,并对角砾岩型矿体有叠加富集作用。

1.3 围岩蚀变特征

金厂矿区内围岩蚀变以育,蚀变主要类型主要有钾化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、高岭石化,其次为碳酸盐化、阳起石化、电气石化、黄铜矿化、方铅矿化、闪锌矿化,偶见冰长石化。蚀变与金矿化关系十分密切,蚀变组合与蚀变分带与金矿化空间位置有关。矿区内角砾岩型矿体和岩浆穹隆型矿体均有一定的蚀变分带性,并且围岩蚀变相带明显表现出相互叠加现象,形成蚀变组合分带;但围岩蚀变为矿体两侧对称或不对称蚀变分带,与典型斑岩型矿床蚀变分带明显不同。

2 包裹体特征

包裹体可以反映成矿流体来源、成分、性质,成矿物理化学条件和成矿作用过程及演化,矿区内两种不同类型的矿脉体矿石石英包裹体的岩相学特征和温度、压力特征及成分特征有一定差别(表1)。

矿区内石英包裹体主要类型有纯气相流体包裹

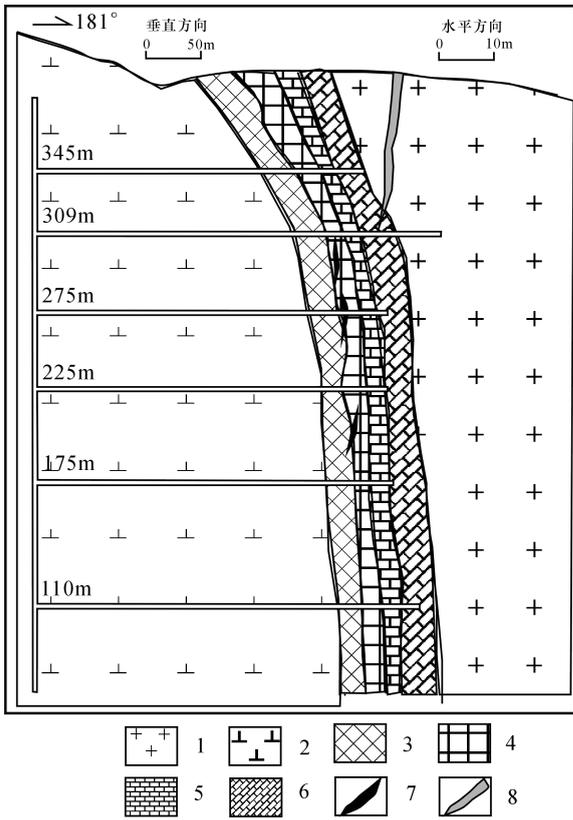


图2 J-0矿体矿化分带剖面图

Fig. 2 Cross section showing mineralization zonation of ore-body NO. J-0

1-钾长花岗岩;2-闪长玢岩;3-细脉-浸染状闪长玢岩带;4-闪长玢岩角砾岩带;5-混合角砾岩带;6-钾长花岗岩角砾岩带;7-石英-多金属脉;8-裂隙充填脉

1-moyite;2-diorite;3-fine disseminated diorite;4-diorite breccias zoning;5-mixed breccias zoning;6-moyaite breccias zoning;7-polymetallic quartz veins;8-fissure filling veins

环状蚀变岩型矿体:受花岗斑岩上侵和塌陷时形成的环状断裂控制,包括Ⅱ号脉群和隐伏的18号脉群;在穹隆南西侧最发育,其次为北东侧,其主要特征是:①脉体相互呈近平行环状产出;②岩浆穹

体(I)、气液两相包裹体(II)、含子矿物多相包裹体(III)和纯液相包裹体(IV)。其中侵入角砾岩型J-1矿体和J-9矿体主要为气液两相包裹体,少量含子矿物包裹体、纯气相包裹体和纯液相包裹体;塌陷角砾岩型J-0矿体主要为含子矿物多相包裹体,其次为气液两相包裹体和纯气相包裹体、少量纯液相包裹体,含子矿物的多相流体包裹体内部子晶矿物有透明子晶矿物石盐、钾盐、石膏以及重晶石等不透明子晶矿物除黄铜矿(峰值288.37cm)外,可能还含有磁铁矿、黄铁矿以及硅酸盐等矿物,它们呈不规则状、浑圆形以及三角形,粒度很小,个别可达2 μm ;此外,存在一个流体包裹体含有2~3个,大小为2~4 μm 子晶矿物以及有的一个流体包裹体存在一个子晶矿物和两个气泡。流体包裹体加热后子矿物先于气泡消失,少量流体包裹体中气泡先于子矿物消失;岩浆穹隆环状蚀变岩型18号脉群矿石石英中主要发育含子矿物多相包裹体和气相-富气相流体包裹体,含子矿物多相包裹体发育数量明显增多。含子矿物多相包裹体,固体子矿物个数一般3~4个,少则两个,多则可达5~6个,它们形状、颜色、突起等特征不同,反映了子矿物成分的复杂性及多样性;子矿物为NaCl和金属硫化物;岩浆穹隆环状II号脉群主要为含子矿物多相包裹

体和气液两相包裹体;放射状III号脉群主要为含NaCl子晶三相包裹体和气相包裹体。

矿体石英脉包裹体温度、盐度有如下特征:①J-0号矿体成矿温度最高,J-1号矿体温度相对集中,并叠加低温,J-9号矿体叠加低温最明显,18号脉与2号脉及放射状脉温度相对集中于同一区域,18号脉、放射状脉温度略比2号脉高;18号脉并出现几个高温数据;②J-1号矿体出现低盐度和较高盐度两个区,J-0矿体盐度分散出现高盐度值;J-9矿体盐度集中于低盐度区,总体上角砾岩型矿石J-0矿体盐度最高,其次为J-1矿体,最低为J-9矿体,原因为J-0矿体成矿深度深,接近成矿岩浆,出现铜矿化;而J-9矿体接近地表,为开放体系;18号和放射状脉盐度相似,但18号脉集中出现于较高盐度区,2号出现于低盐度区和较高盐度区,这与18号脉、2号脉和放射状脉受同一岩浆穹隆型构造体系控制有关,但18号脉成矿深度比2号脉大。

金厂矿区包裹体在矿体盐度-均一温度双曲线上,矿区内矿体石英流体包裹体分布于两个集中区B和C,矿区有两种演化趋势①往高温高盐度演化和②往低温低盐度演化;与芮琮瑶(1995)对小西南盆金矿研究时确定的演化趋势类似。

表1 金厂矿区两种类型矿脉石英包裹体特征表

Table 1 Features of quartz inclusions of two types of gold veins in the Jingchang gold deposit

矿体类型	矿体	包裹体岩相学特征					温度 ($^{\circ}\text{C}$)	盐度 (Wt% NaCl)	
		类型	形态	大小(μm)	气液 比(%)	占包裹体 总数(%)			子矿物
侵入角 砾岩型	J-1矿体	I	圆型、椭圆型	4~9		5	石盐	170~310、 330~470,两 个范围 140~270、 300~370,两 个范围 310~610 260~560(均 值373) 270~380(均 值331) 320~450	4~16(均值 11), 34~54 (均值44.36) 两个范围 出现众多大于 60的值
		II	圆型、不规则	6~12		40~50			
		III	不规则多边形状	6~14		10			
	J-9矿体	IV	圆型、不规则状	2~8		2~3	石盐		
		I	圆型、椭圆型	4~8		10			
		II	不规则长条状、	6~12		40~50			
塌陷角 砾岩型	J-0矿体	III	不规则状	4~12		小于10			
		I	椭圆型、圆型	4~14		15	石盐、钾盐、		
		II ₁	椭圆型、负晶型、	5~30	大于60	12	石膏、重晶		
		II ₂	不规则	8~16	小于40	18	石黄铜矿、		
环状蚀 变岩型	18号脉群 II号脉群	III	椭圆、半椭圆型	4~10	10	30~45	磁铁矿、黄 铁矿及硅 酸盐		
		IV	长条状、椭圆状、 不规则状			5			
		I	次圆型、椭圆型	8~15	80~95	10	石盐、黄		
		II	椭圆型、不规则四边型、 长条型	10~40 7~25	10~25 35~40	小于10	铜矿、 黄铁矿		
放射状裂隙 充填脉型	III号脉群	III	长条形、椭圆形 椭圆形、长条形、 少量为四边形状	10~20, 大者35~40	15~20		NaCl		
		I	浑圆型、长条型	8~30	70~95				
		III	椭圆型、长条型	8~25	15~30				

注: I-纯气相流体包裹体; II-气液两相包裹体; III-含子矿物多相包裹体; IV-纯液相包裹体。

角砾岩型和环状脉型石英包裹体均于 H₂O 为主,其次为 CO₂,少量的 CO、N₂、CH₄;角砾岩筒型成矿流体中液相成分 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻ 等离子的含量均比较高,属于高离子浓度的流体,18 号脉和 2 号脉液相成分 K⁺、Na⁺、F⁻、SO₄²⁻ 等离子的含量均比较高,而 Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻ 等离子的含量均比较低;气相成分中含有较多的 CO₂,CO₂ 气相的存在会促进岩浆上升和喷发,还能够引起岩浆挥发分相和热液体系不混溶作用的发生。

角砾岩型矿体成矿流体 K⁺/Na⁺ 比值除一个值 7.254499 比较大外,主要集中在 0.697158 ~ 2.076705 间,平均为 1.559754;18 号脉成矿流体 K⁺/Na⁺ 比值为 0.161355 ~ 2.202073,平均为 0.935426;角砾岩筒成矿流体 K⁺/(Ca²⁺+Mg²⁺) 值除一个值 301 较大,值范围为 0.012411 ~ 2.74858,平均为 0.885724;18 号脉成矿流体 K⁺/(Ca²⁺+Mg²⁺) 值范围为 2.383838 ~ 120.4663,平均为 31.59131,在 K⁺、Na⁺、K⁺/(Ca²⁺+Mg²⁺) 成分三角图解中(图 3),18 号脉包裹体成分投点明显集中于 K⁺、Na⁺ 线附近区域,而角砾岩筒型包裹体成分投点较分散;角砾岩筒成矿流体 F⁻/Cl⁻ 值范围为 0.039666 ~ 4.773723,平均为 1.003323;18 号脉成矿流体 F⁻/Cl⁻ 值范围为 0.000421 ~ 0.025,平均为 0.01482;角砾岩筒成矿流体 SO₄²⁻/Cl⁻ 值范围为 0.41352 ~ 1.449987,平均为 0.818948;18 号脉成矿流体 SO₄²⁻/Cl⁻ 值范围为 0.604099 ~ 112.1212,平均为 22.87451,在 F⁻、Cl⁻、SO₄²⁻ 阴离子成分三角图解中(图 4),角砾岩筒型包裹体成分与 18 号脉包裹体成分明显分为两个集中区,18 号脉包裹体集中于 SO₄²⁻ 附近区域;角砾岩筒型包裹体中 SO₄²⁻、Cl⁻、F⁻ 基本相近,流体属 SO₄²⁻+Cl⁻+F⁻ 型,18 号包裹体成分中 SO₄²⁻>Cl⁻>F⁻,流体即属于富硫型溶液。

3 矿石稀土元素特征

18 号脉和 J-0 号角砾岩型矿体中的蚀变钾长花岗岩型矿石全岩稀土元素组成有明显差别,18 号脉稀土总量为 117.4 ~ 148.3, LREE/HREE 为 4.67 ~ 5.39, δEu 为 0.36 ~ 0.43, δCe 为 1.06 ~ 1.11; J-0 号矿体稀土总量为 32.4 ~ 50.5; LREE/HREE 为, 5.61 ~ 10.48, δEu 为 1.08 ~ 1.43, δCe 为 0.92 ~ 1.04; 18 号脉稀土总量明显大于 J-0 矿体稀土总量,18 号脉具明显负 Eu 异常, J-0 筒为正 Eu 异常。这种差异性反映成矿过程中成矿流体与相同赋矿岩

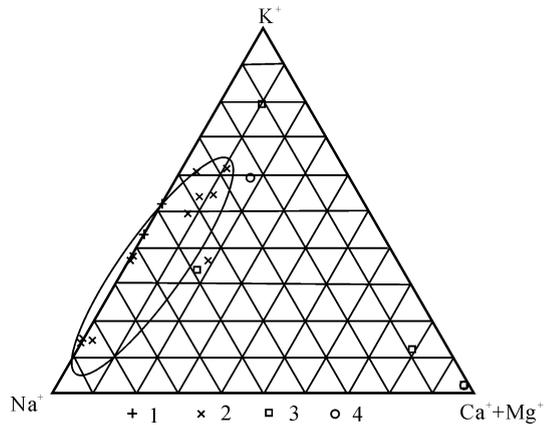


图 3 矿区矿石石英包裹体阳离子成分三角图
Fig.3 Triangle diagram for cation components of quartz inclusions

1- II 号脉;2-18 号脉;3-J-1 号矿体;4-J-0 号矿体
1-NO. II vein; 2-NO. 18 vein; 3-NO. J-1 ore body;
4-NO. J-0 ore body

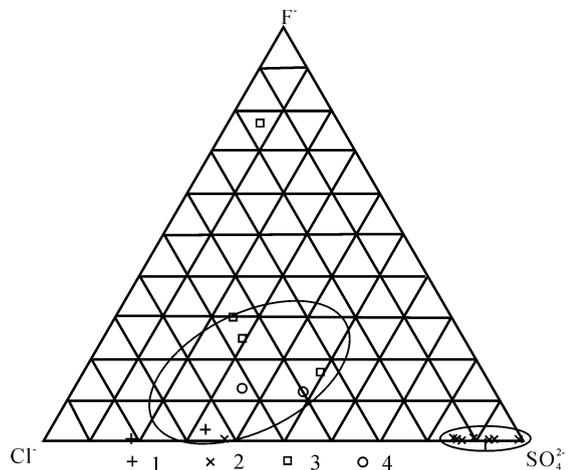


图 4 矿区矿石石英包裹体阴离子成分三角图
Fig.4 Triangle diagram for anion components of Quartz inclusions

1- II 号脉;2-18 号脉;3-J-1 号矿体;4-J-0 号矿体
1-NO. II vein;2-NO. 18 vein;3-NO. J-1 ore body;
4-NO. J-0 ore body

石相互作用时流体本身物理、化学条件有一定差异,表明环状蚀变岩型矿体与角砾岩型矿体为两期成矿作用的产物。

4 硫、氢氧、硅同位素特征

4.1 硫同位素特征

矿区角砾岩型矿体矿石(包括侵入角砾岩筒型和塌陷角砾岩筒型)、裂隙充填脉型(包括环状、放

射状脉型) $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 同位素组成具如下特征: ①总体而言, 矿石 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值变化范围不大, 变化于 1.1 ~ 8.8‰ 之间, 多数集中于 1.1 ~ 5.0‰, 均值为 3.89‰, 极差为 7.7‰; 不同类型矿体间硫同位素组成变化不大, 表明成矿期硫同位素均一化程度高, 硫源较为单一, 各矿体中硫基本为同一来源及成矿过程中物理化学条件变化不大。②侵入角砾岩型矿体矿石 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值主要集中于 1.1 ~ 4.5‰ 之间, 同时有较高的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值; 塌陷角砾岩筒型矿体矿石 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值集中于 1.1 ~ 4.5‰ 之间; 裂隙充填环状脉型矿石 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值相对不集中, 且出现较大 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值; 裂隙充填放射状脉型矿石 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值相对较分散, 但比塌陷角砾岩 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值大, 分布于侵入角砾岩型、裂隙充填环状脉型大值和小值之间。③裂隙充填环状脉型 18 号矿体矿石 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值比 2 号脉群 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值小, 原因是 18 号脉深取样位置为深部, 这与半截沟 J-1 矿体中的不同中段, 从下至上呈逐渐增大的趋势相一致; 说明成矿流体中原始硫同位素还要小, 可能在 0‰ 左右, 在成矿流体向上运移过程中不断地进行硫同位素的分馏, 使 $\delta^{34}\text{S}$ 呈增大的趋势。

不同类型矿石中硫同位素特征表明, 本区内矿石中硫源属于岩浆硫, 是岩浆从深部带来的; 矿脉(体)主成矿形成顺序(时间或深度)为塌陷角砾岩筒型、侵入角砾岩筒→裂隙充填放射状脉型→裂隙充填环状脉型。

4.2 氢氧同位素特征

金厂矿区矿石石英和方解石的 $\delta^{18}\text{O}_\text{Q}$ 值较集中, 变化以 +9.5‰ ~ +15.6‰ 间, 与火成岩中 $\delta^{18}\text{O}_\text{Q}$ 值范围 +5 ~ +13‰ (陈岳龙, 2005) 基本一致。表明矿石中石英氧同位素源于火成岩。

成矿流体的氢氧同位素组成投影在 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 图解上, J-0 矿体投点往下稍偏初生岩浆水, 落于金铜系列岩浆水中岩, 与矿体为金铜矿化十分一致; J-1 矿体主要往下稍偏初生岩浆水, 落于金铜系列岩浆水中岩, 同时有两种样落于改造期成矿流体范围内; 环状脉稍向 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 改造期成矿流体范围偏移, 但偏移不大; 即矿区内成矿流体主要为岩浆水, 大气降水基本没参与或极少参与。

4.3 硅同位素特征

矿区内 J-0 号和 J-1 号角砾岩型矿体矿石石英中的硅同位素 $\delta^{30}\text{Si}$ 值的变化范围较小, 为: -0.4‰ ~ -0.7‰ 之间, 平均值为 -0.525‰。中硅同位素在

地质演化过程中的分馏很小, 分馏幅度为 0.3‰。在自然界不同物质的硅同位素组成图上, 金厂矿区角砾岩型矿石的硅同位素组成成花岗岩范围内, 说明区内角砾岩型矿体中的石英来自花岗岩源区的成矿流体, 为深源硅。

5 两期成矿作用过程讨论

对于金厂金矿矿床成因观点, 主要有岩浆期后热液型(慕涛, 1999); 火山-次火山热液型(陈景荣, 2000)、斑岩型(王永, 2006; 叶青, 2006, 金巍, 2008;)。矿区及外围岩浆岩同位素年龄数据见表 2, 主要有两期岩浆活动: ①印支晚期到燕山早期岩浆活动(200 ~ 160Ma), ②燕山晚期岩浆活动(130 ~ 97Ma)。与据前人对从前人对吉黑东部区域上花岗岩浆演化的同位素研究显示主要集中在早中生代晚三叠世和早侏罗世(200 ~ 180Ma) 以及白垩纪(130 ~ 100Ma) 二个阶段的研究成果相吻合。白垩纪岩浆活动同位素测年主要集中于 130 ~ 122Ma 和 122 ~ 110Ma 两个范围, 与 Izanagi 板块运动方位改变相对应; 燕山晚期闪长玢岩的成岩年龄为(127.9 ± 2.6) Ma(慕涛, 1999); 花岗斑岩的成岩年龄为(113 ± 2) Ma(张华锋, 2007)。

12 号脉石英 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为(119 ± 5) Ma, J-9 号矿体的闪锌矿 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为(129.0 ± 0.8) Ma; 松树砬子放射状脉绢云母的 K-A 法测定的年龄(138.3 ± 1.4) Ma(慕涛, 1999), J-1 矿体中的第二阶段石英-黄铁矿脉测定年龄(119.40 ~ 122.53) Ma(陈景荣, 2000) 对; 18 号脉黄铁矿、绢云母进行了 Rb-Sr 法成矿测定年龄(110.3 ± 2.6) Ma(张华锋, 2007)。

半截沟 J-1 筒石英-黄铁矿脉切割了角砾, 且方向为北东向; 为放射状脉, 因在 J-1 筒 6 中段坑道角砾岩筒外围发现了放射状裂隙充填脉型石英-黄铁矿脉, J-1 矿体中的第二阶段石英-黄铁矿脉测定年龄(122.53 ~ 119.40) Ma 应是代表岩浆穹隆裂控放射状脉成矿年龄。

成矿年龄数据与成岩年龄数据相对应, 结合地质特征、初步确定本区成矿有两期, 第一期是与闪长玢岩侵入有关的成矿作用, 形成角砾岩型矿体; 第二期主要与花岗斑岩侵入活动有关, 形成岩浆穹隆裂控型矿体, 同时对岩浆穹隆影响范围内的角砾岩型矿体叠加富集。这种两期成矿作用与邓军(2008)对中国东部胶东地区金矿研究时确定的构造-成矿热年代学主成矿期两分(A: 350 ~ 150℃, 137.6 ~ 123.1Ma;

表2 金厂矿区岩浆活动年龄数据
Table 2 Magmatism age data in the Jingchang gold district

样号	取样位置	样品名	测定矿物	测定方法	年龄	资料来源
JB5	八号硇矿段	闪长岩脉			97.5±1.1	
JJ18	半截沟矿段	闪长玢岩	全岩	K-Ar	127.9±2.6	陈景荣,2000
97S2	松树砬子矿段	花岗闪长岩			163.2±1.8	
97B5	八号硇矿段	斜长花岗岩	黑云母		216.4±2.3	
JC-1-4	1号矿体	角闪闪长岩玢岩			203.0±3.6	门兰静,2008
JC-1-6	1号矿体	花岗斑岩			203.0±3.6	
		文象花岗岩			200	秦江艳,2008
		粗粒黑云母花岗岩			190-200	李真真,2008
ZK04-333	ZK04	花岗岩	锆石	U-Pb	190	
ZK04-91	ZK04	文象花岗岩			200	张华锋,2007
ZK14-180	ZK14	花岗闪长岩			197±6	
Zk14-143	ZK14	花岗斑岩			113±2	
DN015	东宁新青经营所	花岗闪长岩			201.3±1.2	赵院东,2007

B:400~150℃,121.3~100 Ma) 极其一致;同时也表明金厂矿区金矿成矿作用时间与中国东部金矿成矿作用时间是一致的。

本区大地构造演化至燕山晚期 135~119Ma, Izanagi 板块影响,区域应力场表现近北西-南东挤压;此时正是中国东北部大规模火山岩发育时期,在绥阳深大断裂东盘发育北西向张性断裂,闪长玢岩沿断裂侵入,闪长玢岩侵入分异出的含矿热液集中于岩浆顶部,受上覆岩层的巨大压力影响,在岩浆顶部运移,至两组构造(北西、东西向)交汇部位,上覆压力相对减小,在上覆岩层中隐爆形成角砾岩型矿体(侵入岩型),或是因岩浆冷凝,岩体边部发育原生裂隙,而上覆岩层因下部应力释放而塌陷形成塌陷角砾岩型矿体。

燕山晚期 119~100 Ma, Izanagi 板块影响,区域应力场表现为南北挤压;矿区内主要表现为绥阳断裂东盘的北东向次级左行断裂,花岗斑岩(?)由南西往北东方向的侵入,岩浆侵入时在穹隆所影响范围内上覆岩层中产生呈放射状分布的挤压主应力,形成环型挤压正断裂和具左行走滑或右行走滑的张性放射状断裂,含矿的热液充填张性空间形成裂隙充填脉型环状、放射状脉,因岩浆由南西往北东方向侵入,岩浆穹隆南西侧和北东侧为应力集中区,形成较多放射状断裂;岩浆侵入晚期,岩浆结晶冷凝或岩浆上部热液运移至其他区域后,形成虚脱空间,上覆岩层产生往内的张性主压力,形成张性逆断裂,断裂

中张性空间较大,含矿热液充填于张性空间中成矿,并叠加了前期放射状裂隙中充填的矿脉而形成富矿;此时对放射状断裂影响不大,但造成放射状断裂形成与前期方向相反的力学性质。

岩浆穹隆形成过程中北西部岩层处于穹隆的铅直上部,与其他部位相比,是应力作用更集中地区,环状、放射状断裂更发育,规模更大,因此成矿作用更强。在岩浆穹隆所影响范围内的前期形成角砾岩型矿体受环状、放射状断裂叠加,使角砾岩型矿体更富集。

燕山晚期 109~85Ma, Izanagi-Kula 板块影响,区域应力场表现为南东-北西挤压;85Ma 后区域主要受太平洋板块影响,与成矿关系不大。

[注释]

- ①陈锦荣,金宝义,王科强,武玉海. 2000. 黑龙江省东宁县金厂矿区及外围金矿成矿规律与深部预测研究报告,武警黄金地质研究所: 3-124
- ②金 巍,卿 敏. 2008. 延边-东宁成矿带浅成(低温)热液型金矿成矿规律及找矿方向研究报告,吉林大学:22-31
- ③慕 涛,刘桂阁,项魁辰,王亮义. 1999. 黑龙江省东宁县金厂一带金矿成矿地质特征控矿地质条件及找矿方向研究报告,武警黄金地质研究所:5-90
- ④张华锋. 2007. 黑龙江省东宁县金厂金矿的围岩蚀变特征与成矿时代,类型研究博士后研究报告,中国地质大学(北京): 50-72

[References]

Chen Jing-rong, Li Han-guang, Jin Bao-yi, Wu Yu-hai, Wan Yan-zhong, Yu Wan-qiang. 2002. Geological features and the deep metallogenic forecast of the No. J-1 gold body in the Jinchang gold depos-

- it, Heilongjiang[J]. Gold Geology, 8(4): 8-12 (in Chinese with English abstract)
- Jia Guo-zhi, Chen Jiang-rong, Yang Zhao-guang, Bian Hong-ye, Wang Yan-zhong, Liang Hai-jun, Jin Tong-he, Li Zhen-hui. 2005. Geology and genesis of superlarge Jinchang gold deposit[J]. Acta Geologica Sinica, 79(5): 661-670 (in Chinese with English abstract)
- Li Gao-sheng, Chen Jin-rong, Wang Yan-zhong, Jin Bao-yi, Wu Yu-hai, Yu Wan-qiang. 2003. Study on the main mineralization type and the inclusion features of the Jinchang gold deposit, Heilongjiang[J]. Gold Geology, 9(1): 32-37 (in Chinese with English abstract)
- Li Yan-he, Ding Ti-ping, Wan De-fang. 1994. Experimental study of isotope dynamic fractional and its geological application[J]. Mineral Deposit, 13(3): 282-288 (in Chinese with English abstract)
- Matuyam S., Seno T. 1986. Orogeny and relative plate motions; example of the Japanese Islands[J]. Tectonophysics, 127: 305-329
- Men Lan-jing. 2008. Geological, geochemical characteristics and metallogenic model of jinchang super-large gold deposit, Dongning, Heilongjiang Provinces[D]. Changchun: Jilin University: 12-24, 48-51 (in Chinese with English abstract)
- Qin Jiang-yan. 2008. Geochemical characters of fluid inclusions of the ore-body in the magma domal structure in the Jinchang Gold Deposit, Heilongjiang[D]. Beijing: China University of Geosciences: 55 (in Chinese with English abstract)
- Wang Yong, Xi Bin-bin, Zhang De-hui, Zhang Wen-hua. 2007. Geochemical characteristics of fluid inclusions in Jinchang gold deposit, Heilongjiang Province[J]. Mineral Deposit, 26(2): 185-194 (in Chinese with English abstract)
- Wang Yong. 2006. Geochemical characters of fluid inclusions of the ore-body in the magma domal structure and the argument on the genesis of the deposit in Jinchang Gold Deposit, Heilongjiang; [D]. Beijing: China University of Geosciences: 13-54
- Ye Qing. 2006. Study of the hydrothermal alteration and morphology of pyrite of the porphyry Gold Deposit in the Dongning Jinchang, Heilongjiang[D]. Beijing: China University of Geosciences: 10-15 (in Chinese with English abstract)
- Zhu Cheng-wei, Chen Jin-rong, Li Ti-gang, Cui Bin, Jin Bao-yi, Wang Ke-qiang. 2003. Geology and ore genesis of Jinchang Gold Deposit, Heilongjiang Province[J]. Mineral Deposit, 22(1): 56-64 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 陈锦荣, 李汉光, 金宝义, 武玉海, 王艳忠, 喻万强. 2002. 黑龙江金厂J-1号金矿体地质特征及深部预测[J]. 黄金地质, 8(4): 8-12
- 贾国志, 陈锦荣, 杨兆光, 边红业, 王艳忠, 梁海军, 金同和, 李振辉. 2005. 金厂特大型金矿床的地质特征与成因研究[J]. 地质学报, 79(5): 661-670
- 李高生, 陈锦荣, 王艳忠, 金宝义, 武玉海, 喻万强. 2003. 黑龙江金厂金矿床矿化类型及包裹体特征研究[J]. 黄金地质, 9(1): 32-37
- 李延河, 丁梯平, 万德芳. 1994. 硅同位素动力学分馏的实验研究及地质应用[J]. 矿床地质, 13(3): 282-288
- 门兰静. 2008. 黑龙江东宁县金厂超大型金矿床的地质地球化学特征及成矿模式[D]. 长春: 吉林大学: 12-24, 48-51
- 秦江艳. 2008. 黑龙江金厂岩体穹窿构造型金矿床的流体地球化学研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京): 55
- 王永, 席斌斌, 张德会, 张文淮. 2007. 黑龙江金厂金矿流体地球化学特征[J]. 矿床地质, 26(2): 185-194
- 王永. 2006. 黑龙江金厂金矿岩浆穹窿内矿体流体地球化学特征及矿床成因探讨[D]. 北京: 中国地质大学(北京): 13-54
- 叶青. 2006. 黑龙江省东宁县金厂斑岩型金矿热液蚀变及黄铁矿标型研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京): 10-15
- 朱成伟, 陈锦荣, 李体刚, 崔彬, 金宝义, 王克强. 2003. 黑龙江金厂金矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 22(1): 56-64

Two Mineralization Stages of the Jinchang Gold Deposit in Dongning County, Heilongjiang Province: Evidence from Geology, Fluid Inclusions, REE and Isotopes

XIAO Li, ZHAO Yu-suo, QING Ming, KONG Yuan-Yuan, YAN Jia-pan, TANG Yuan-Yuan
(Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000)

Abstract: The Jinchang gold deposit in Dongning County, Heilongjiang Province occurs within the magmatic rocks. According to characteristics of ore veins, host structure, ores, mineralization and ore-control factors, the mineralized rock bodies are classified into two types: breccia type and lava dome structure type. Studies on ore-body geology, fluid inclusions, REE and isotopic data suggest that significant differences exist between the two types of ore bodies. Combined with the data of magmatic rocks age and mineralization age, this paper initially identified the two main mineralization stages. During the first stage breccia-type ore bodies related with the diorite intrusion were formed, and during the second stage ore bodies of lava dome structure type related with porphyry intrusive magma dome were generated.

Key words: geological characteristics of ore body, fluid inclusions, REE, isotope, Jinchang gold deposit, Dongning county