文章编号:0258-7106(2008)01-0071-10

黑龙江省东宁县金厂金矿床角砾型铜金矿体流体包裹体研究*

门兰静,孙景贵,赵俊康,陈 雷,梁树能,逄 伟,陈 冬

(吉林大学地球科学院,吉林 长春 130061)

摘 要 金厂金矿床是中国东部陆缘超大型热液金矿床之一,矿床主要由角砾型金矿体和铜金矿体构成。为研究2种矿体的成矿流体来源、演化之间的联系,对铜金矿体中石英等矿物的流体包裹体进行了岩相学、显微测温和单个包裹体气液相成分激光拉曼探针分析。研究表明:①流体包裹体类型有纯气相包裹体、气液两相(包括富气相)包裹体、含子矿物多相包裹体和纯液相包裹体;②均一温度变化范围在230~600℃(>600℃)之间,其中,钾长石-石英-黄铁矿阶段、石英-黄铁矿阶段、石英-多金属硫化物阶段的温度分别为510~600℃、410~510℃、270~410℃;③盐度 $w(NaCl_{eq})$ 变化在2.57%~73.96%之间,可分为高温高盐度(35.99%~73.96%)、高温中高盐度(38.94%~57.09%)和高中温中低盐度(2.57%~19.05%)3类;④流体包裹体气相成分主要为 H_2O、CO_2,少量 N_2、C_4H_6、H_2;⑤多相流体包裹体中的子矿物有石盐、钾盐、石膏、重晶石和黄铜矿等。这些特征揭示成矿流体为高氧化岩浆热液(H_2O-CO_2-NaCl-SO_4^{2-} 型)。结合前人对角砾岩型金矿体(1号)的流体包裹体研究,初步确定成矿流体的演化过程为,来自幔源岩浆期后的热流体,上升到达地壳浅部发生隐爆、沸腾作用,形成低盐度和高盐度含矿流体后,伴随着温度和压力的降低,流体结晶沉淀,形成角砾岩型铜金矿体。

关键词 地质学;金厂超大型铜金矿床;角砾型铜金矿体;矿物流体包裹体;黑龙江省

中图分类号:P618.51 **文献标识码**:A

Fluid inclusions in breccia-type copper-gold ore bodies of Jinchang gold deposit, Dongning County, Heilongjiang Province

MEN LanJing, SUN JingGui, ZHAO JunKang, CHEN Lei, LIANG ShuNeng, PANG Wei and CHEN Dong

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

Abstract

The Jinchang copper-gold deposit, one of the superlarge hydrothermal deposits located in the east continental margin of China, is mainly composed of breccia-type gold and copper-gold type ore bodies. The fluid phases associated with chalcopyrite-auriferous quartz veins were investigated by means of microthermometry and Raman microprobe. Some conclusions were reached through petrographic observation: ① There exist four types of fluid inclusions, i.e., pure volatile inclusions (V), aqueous-biphase inclusions (L+V), aqueous polyphase fluid inclusions with daughter minerals (L+V+M) and a few pure liquid fluid inclusions (L). ② Homogenization studies of these fluid inclusions furnish a temperature range of 230℃ to 600℃, with the K-feldspar-quartz-pyrite stage, quartz-pyrite stage, and quartz-multimetallic sulfide stage temperatures being 510℃ to 600℃, 410℃ to 510℃, and 270℃ to 410℃, respectively. ③ The salinity $w(NaCl_{eq})$ of the fluid inclusions varies between

* 本文得到国家自然科学基金(No:40472050)、南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室基金(2006-2008)和中国地质调查局地质调查项目(No:1212010634003)的联合资助

第一作者简介 门兰静,女,1982年生,在读硕士生,地球化学专业,主要从事流体包裹体研究。E-mail:menjinglan4668872@126.com

收稿日期 2007-07-02;改回日期 2007-10-23。张绮玲编辑。

http://www.kcdz.ac.cn/

2.57% and 73.96%, composed of high temperature high salinity (35.99% to 73.96%), high temperature high-medium-salinity (38.94% to 57.09%), and high-medium temperature medium-low salinity (2.57% to 19.05%). ④ The volatiles are mainly H_2O, CO_2 and a few N_2, C_4H_6, H_2. ⑤ Halite, sylvine, anhydrite, and chalcopyrite were found in polyphase fluid inclusions. These characteristics indicate that the ore-forming fluids are oxidized magmatic fluids (H_2O-CO_2-NaCl-SO_4^{2-} type). Combined with previous studies of the breccia-type gold fluid inclusions, the authors have summarized the evolutionary process of the ore-forming fluid as follows: The mantle source post-magmatic thermal fluids ascended to the shallow crust and formed low-salinity and high-salinity fluids by cryptoexploration and boiling. With the decompression of dense fissures and the decrease of temperature, the fluids crystallized and precipitated to form copper-gold ore bodies. The breccia gold deposits, however, may indicate the result of mixture between the boiling fluid hosted by vanguard gas and the meteoric water.

Key words: geology, Jingchang superlarge copper-gold deposits, breccia-type copper-gold ore body, mineral fluid inclusion, Heilongjiang Province

金厂铜金矿床自 20 世纪 60 年代发现以来,至今已探明的金储量达 50 余吨❶,该矿床还伴生一定储量的铜资源。近年来,有关矿床成因和成矿模式已引起国内矿床学家的关注,并有许多文章发表(金宝义等,2002;李高生等,2003;贾国志等,2005;张德会等,2006;汪永等,2007;陈锦荣,2002),但多数研究集中在对角砾岩型金矿体(1 号)的研究上,而对角砾岩型铜金矿体的研究较薄弱,有关其成矿与角砾岩型金矿体的关系还不是很清楚。为此,本文深入研究了铜金矿体的流体包裹体的地质、地球化学特征,讨论了铜金矿体的流体来源和成矿作用;与前人的角砾岩型金矿体的研究成果(Drummond et al., 1985)作对比,并借鉴新近研究成果(Calagari,2004),初步论证了铜金矿体与金矿体之间的成因关系,为今后探讨矿床成因及进一步建立成矿模式奠定了基础。

1 成矿地质背景和矿床地质概况

金厂铜金矿位于黑龙江省东部,地处兴蒙造山带的东端(图 1a),产于太平岭隆起与老黑山断陷的交接带上。区内出露地层有基底岩系新元古界黄松群中浅变质岩、中生代火山-沉积岩及第四纪陆源碎屑岩系;侵入岩有印支晚期闪长岩、花岗闪长岩、粗粒文像花岗岩、花岗岩等,浅成岩为花岗斑岩、闪长玢岩等;断裂构造发育,有 NE 向、NW 向、NS 向、EW 向 4 组,其中 NE 向和 NW 向规模较大,它们明显控制着金厂铜金矿体和金矿体的就位(图 1b)。

目前,该矿床已经发现的角砾岩型矿体有 6 个,即:半截沟(J-1)、高丽沟(J-0)、狍子沟(J-2)、八号硐(J-8、J-7)和刑家沟(J-9),J-8、J-7、J-9、J-1、J-2 号以及半截沟环状断裂控制的脉群是主要的金矿体,J-0 号矿体和隐伏在半截沟角砾岩筒北东 500 m 处深部的层状、似层状 18 号矿体是主要的铜金矿体,此外,还有银金矿矿体(Ⅶ号),产在放射状断裂内。空间上,J-8、J-0、J-9、J-1 沿八号硐-半截沟一线自西向东近等间距分布(图 1b)。

本文重点研究的 J-0 角砾岩筒铜金矿体位于高丽沟东侧山顶,平面上呈半个椭圆形,整个椭圆形被 NW 向后期断裂错断,只留下西南侧半个矿体,长轴为近 SN 向,长轴长 30 m,短轴长 20 m 左右,垂向上呈筒状,是金厂矿区已知矿体中典型的隐爆角砾岩型铜金矿体。角砾岩体产状为近 SN 走向,东倾,倾角 82~85°,向南东侧伏(图 1c)。

在矿化阶段划分方面,前人已将金厂金矿分为钾长石-石英-黄铁矿阶段、石英-黄铁矿阶段、石英-多金属硫化物阶段和石英-方解石阶段(李高生等,2003;朱成伟等,2003)。笔者根据野外矿床地质特征和矿石光片的鉴定与分析,将铜金矿体(0 号)分为 4 个主要的成矿阶段:

(1) 钾长石-石英-黄铁矿阶段 主要矿物组合为阳起石、电气石、钾长石、石英和绿帘石等,其中黄铁矿为粗粒自形-半自形晶,在蚀变围岩中呈浸染状分布;

(2)石英-黄铁矿阶段 主要矿物组合为石英、绢云母、绿泥石、黄铁矿等;石英为灰白色,黄铁矿为自形晶,以形成充填状黄铁矿石英脉为特征;

❶ 张德会. 2005. 黑龙江金厂金矿岩体含矿性、矿床成因与成矿模式研究项目阶段性总结. 武警黄金指挥部内部资料.

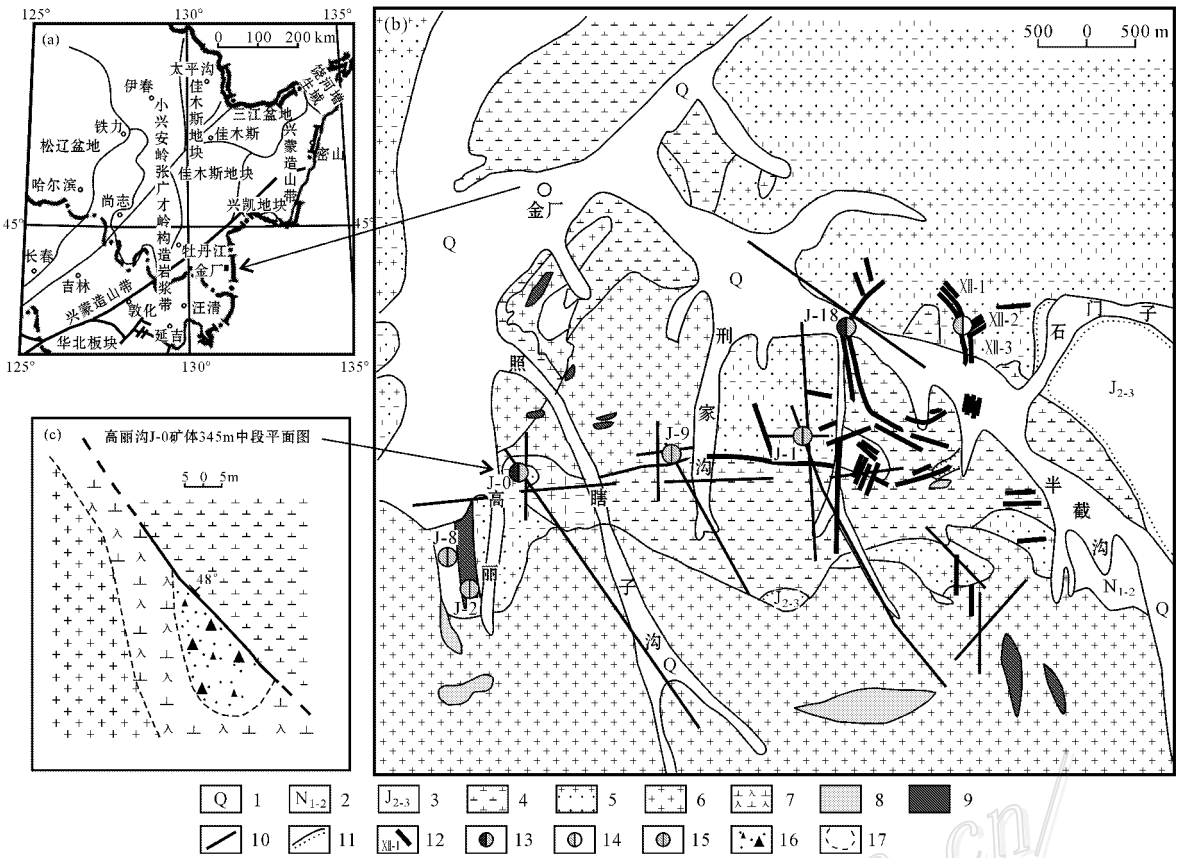

图 1　金厂大地构造纲要图(a)、矿区地质简图(b)及 0 号脉 345 m 中段平面图(c)
图(a)和图(b)分别根据赵春荆等(1996)和陈锦荣等(2002)修编

1—第四系；2—第三系；3—下侏罗统地层；4—印支期闪长岩；5—印支期文像花岗岩；6—印支期花岗岩；7—闪长玢岩；8—燕山期花岗斑岩脉；9—燕山期闪长玢岩脉；10—断层；11—不整合界线；12—矿脉及编号；13—铜金矿；14—银金矿；15—金矿；16—角砾岩体；17—角砾岩筒界线

Fig. 1　Sketch map of tectonic settings (a), geology (b) and No. 0 ichnography at 345 m level (c) in the Jinchang ore district
(Fig. a and Fig. b modified from Zhao et al., 1996; Chen et al., 2002, respectively)

1—Quaternary; 2—Tertiary; 3—Lower Triassic; 4—Diorite; 5—Graphic; 6—Granite; 7—Granite porphyry; 8—Granite porphyrite vein; 9—Diorite porphyrite vein; 10—Fault; 11—Unconformity; 12—Ore vein and its serial number; 13—Cu-Au deposit; 14—Ag-Au deposit; 15—Gold deposit; 16—Breccia-type ore body; 17—Breccia boundary

(3)石英-多金属硫化物阶段　是成矿的主要阶段，以形成黄铜矿、黄铁矿为主，少量方铅矿、闪锌矿、辉锑矿、自然金以及银金矿等；它们呈脉状和网脉产出；

(4)石英-方解石阶段　该阶段形成细脉状石英脉、方解石脉以及方解石-石英脉。

上述 4 个阶段中，石英-方解石阶段不发育。

2　实验样品和实验方法

样品均取自高丽沟 J-0 号铜金矿体的以黄铜矿化为主的多金属硫化物蚀变岩和含角砾黄铁矿化的石英脉。继流体包裹体的岩相学显微观察后，对钾长石-石英-黄铁矿阶段、石英-黄铁矿阶段、石英-多金属硫化物阶段以及同一矿化阶段不同期次的 12 件测温片分别进行均一温度、冰点和成分等项数据的采集。实验分别在吉林大学地球科学院地质流体实验室(Linkam THMS-600 型冷热台，－196～600℃)和南京大学地球科学系成矿作用国家重点实验室(Renishaw RM2000 型激光拉曼探针)完成。测定前对流体包裹体的参数采用人造纯 H_2O 及 $w(NaCl_{eq})$为 25% 的 H_2O-NaCl 包裹体(国际标样)进行了系统校正，误差为 ±0.1℃。测试时，当温度小于 30℃时，升温速率为 1℃/min 在 200℃以上，升温速率为 10℃/min 在相变化及冰点附近，升温速率小于 0.2℃/min。

表 1 金厂铜金矿床的代表性金铜矿体与金矿体特征对比

Table 1 Comparison of characteristics between typical Cu-Au ore body and Au ore body in the Jinchang Cu-Au deposit

	金铜矿体	金矿体
代表性矿体	高丽沟 J-0	半截沟 J-1
形态	筒状角砾岩体	筒状角砾岩体
围岩	闪长岩、闪长玢岩	文像花岗岩、蚀变花岗岩、闪长岩
角砾成分	闪长岩、闪长玢岩等	闪长岩、蚀变花岗岩、文像花岗岩等
矿石矿物组成	以黄铜矿为主,其次为黄铁矿,方铅矿,少量的闪锌矿、自然金、银金矿等	主要为黄铁矿,其次黄铜矿、方铅矿、自然金、银金矿等
矿石类型	团块状黄铜矿硅化型、块状多金属硫化物型、角砾岩硅化型、细脉浸染状黄铁矿型、条带状绿泥石化型等	角砾岩型、蚀变岩型、含石英黄铁矿脉型、多金属硫化物-石英脉型
结构构造	以结晶结构为主,其次为碎裂结构、交代结构等;角砾状构造、条带状构造、浸染状构造、脉状构造	结晶结构为主,角砾状构造、条带状构造、细脉浸染状构造等
围岩蚀变类型	绿帘石、绿泥石、硅化、阳起石、电气石、碳酸盐等	电气石、钾长石、石英、绢云母、高岭石等
控矿构造	环形构造和断裂构造	环形构造和断裂构造

3 实验结果

3.1 流体包裹体类型和特征

对取自角砾岩型铜金矿体的各类样品进行流体包裹体的显微观察,石英内部的流体包裹体(图 2)最清晰,既有沿晶带或随机分布的孤立原生包裹体,又有沿裂隙分布的次生包裹体。从物理相态上,除气液相包裹体、纯液相包裹体外,还出现大量含子矿物的流体包裹体和纯气相包裹体,且含子矿物包裹体、气相包裹体和气液相包裹体呈独立或群体分布,各类型的特征描述如下。

(Ⅰ)纯气相流体包裹体 该类型的流体包裹体分布不均匀,以各种椭圆形孤立产出,个体大小 5~15 μm,约占流体包裹体总量的 20%;室温下为 CO_2 气态单相(据激光拉曼成分确定),呈灰黑色,

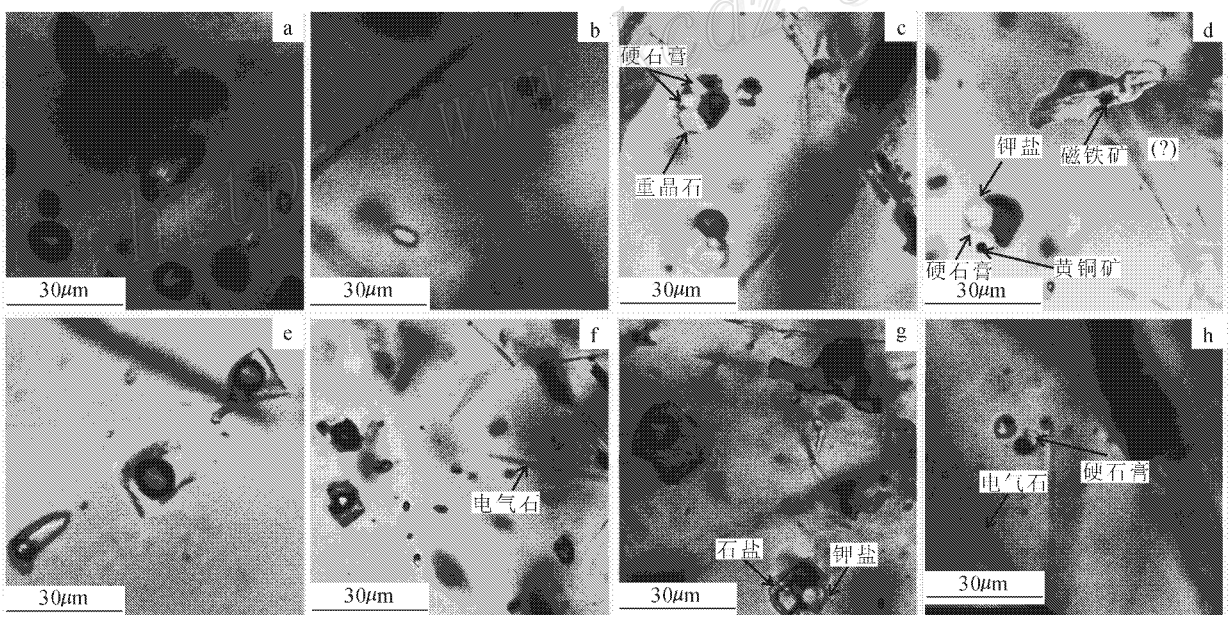

图 2 铜金矿体(0 号)石英中包裹体的显微照片

a. 纯气相包裹体;b. 纯液相包裹体;c. 含多个子晶(重晶石、硬石膏)的包裹体;d. 含金属矿物子晶的包裹体(黄铜矿、磁铁矿?);e~f. 不同气相百分数的包裹体(流体包裹体外见大量的电气石);g. 石盐与钾盐共存的包裹体;h. 含两个气泡的包裹体

Fig. 2 Microphotographs of fluid inclusions in quartz from No. 0 Cu-Au ore body

a. Pure volatile fluid inclusion; b. Pure liquid fluid inclusion; c. Daughter minerals-bearing fluid inclusion (barite, anhydrite); d-metal daughter minerals-bearing fluid inclusion (chalcoprtite, magnetite ?); e~f. Fluid inclusions of different degrees of fill (with plentiful tourmaline); g. Halite and sylvite coexistent fluid inclusion; h. Two gas bubbles-bearing fluid inclusion

多为原生包裹体。

(Ⅱ)气液两相流体包裹体　包裹体呈椭圆形、负晶形和不规则形状,大小在 5～30 μm 之间,以 10～15 μm 为主,占包裹体总数的 35%左右;常温下可分为以液相为主(气相百分数小于 50%)和富气相为主的两相流体包裹体。富气相流体包裹体的气相百分数大于 60%,占气液两相包裹体总数的 70%,加热时液相不断缩小,均一为气相。总体上看,既有孤立产出的原生包裹体,还有沿裂隙定向排列且穿过相邻晶体的次生包裹体。

(Ⅲ)含子晶的多相流体包裹体　该类型十分发育,其含量占包裹体总量的 30%～40%。室温下为液相、气相和子晶矿物,包裹体大小一般为 8～16 μm,个别的大于 20 μm,甚至达到 30μm,气相百分数为 10%左右,椭圆-半椭圆形。其内部子晶矿物有透明的石盐、钾盐、石膏和重晶石等,其中,石盐呈淡绿色的立方体,颗粒在 2～5 μm 之间,钾盐多呈圆状,石膏呈片状浑圆形,略带绿色(升温至 600℃未达均一);不透明子晶矿物除黄铜矿(激光拉曼峰值 288.37 cm^{-1})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、浑圆形和三角形,粒度很小,个别可达 2 μm。此外,一个流体包裹体内可含有 2～3 个大小为 2～4 μm 子晶矿物或存在 1 个子晶矿物和 2 个气泡。因此,根据子晶的种类和组合可分为含多子晶多相流体包裹体、含石盐子晶多相流体包裹体和含不透明子矿物多相流体包裹体。

(Ⅳ)纯液相流体包裹体　该类型较少,仅占包体总数的 5 %左右(由于数量少,未冷冻),大小在 4～10 μm 之间,个别接近 15 μm,长条形、椭圆形为主,少数为不规则状。

3.2　流体包裹体均一温度和盐度

本次实验共测了 120 个单个流体包裹体,数据显示铜金矿床的均一温度在 230～600℃(由于使用 Linkam THMS-600 型的限制,有的流体包裹体未均一)之间,具有较宽的变化范围和明显的 4 个温度区间(图 3):第一区间温度为 510～600℃(有的未均一,均值为 560 ℃),含子晶多相包裹体为主,气相百分数 10%～50%,且以三相为主,石盐和钾盐子晶的均一温度在 200～550℃之间,石膏、重晶石子晶未均一;第二区间为 410～510℃(均值为 450℃),由含子晶多相包裹体和气液两相流体包裹体组成(气相百分数 10%～30%),出现气相百分数 50%～70%的含子晶矿物的多相流体包裹体和气相百分数 50%～70%的两相流体包裹体;第三区间为270～410℃(均

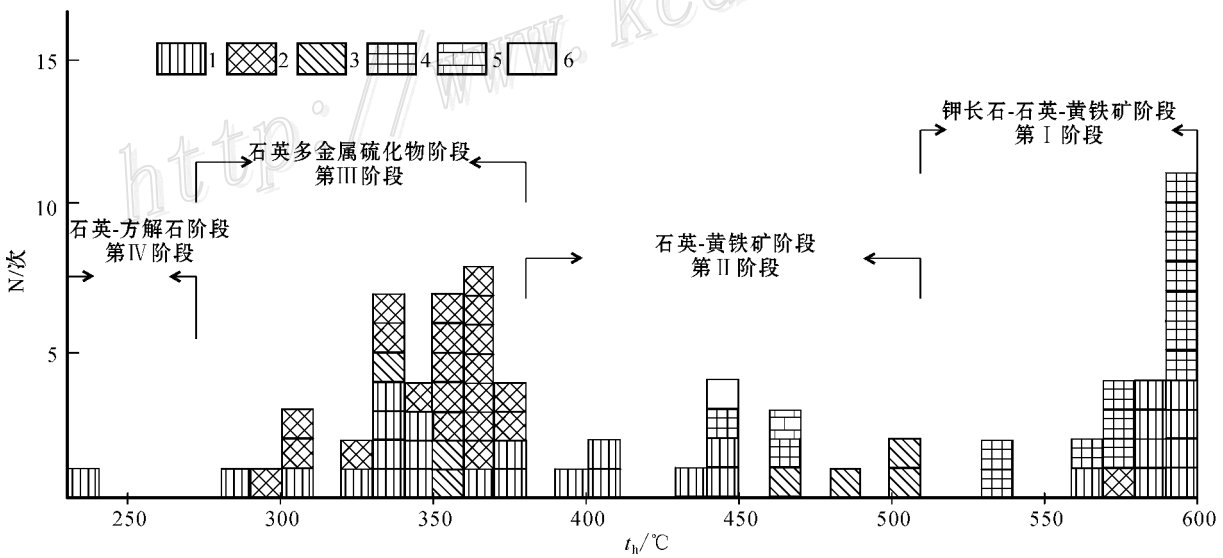

图 3　金厂 0 号铜金矿体流体包裹体均一温度直方图

1—气相百分数 10%～30%(两相);2—气相百分数 30%～50%(两相);3—气相百分数 10%～30%(三相);4—气相百分数 30%～50%(三相);5—气相百分数 50%～70%(两相);6—气相百分数 50%～70%(三相)

Fig. 3　Homogenization temperature histogram of fluid inclusions from No. 0 Cu-Au ore body in Jingchang

1—Gas filling degree 10%～30% (two-phase); 2—Gas filling degree 30%～50% (two-phase); 3—Gas filling degree 10%～30% (three-phase); 4—Gas filling degree 30%～50% (three-phase); 5—Gas filling degree 50%～70% (two-phase); 6—Gas filling degree 50%～70% (three-phase)

值为 350 ℃),气液两相包裹体为主(气相百分数为 10%～50%),少量含子晶矿物的多相流体包裹体(气相百分数 10%～30%);第四区间均一温度 230～270℃,为气液两相包裹体,气相百分数 10%～30%(此温度区间在图 3 表现不明显)。

在盐度方面,根据卢焕章等(2004)发表的文献,用本次测得的石盐溶化温度以及冰点温度数据(53 组),计算出盐度 $w(NaCl_{eq})$ 为 2.57%～73.96%。从盐度与温度关系,可分为高温高盐度[($w(NaCl_{eq})$ 35.99%～73.96%)、高温中高盐度[$w(NaCl_{eq})$ 38.94%～57.09%]和高中温低盐度[$w(NaCl_{eq})$ 2.57%～19.05%]3类(图4、5)。图5清晰的显示出富气相与富液相包裹体的均一温度十分接近,但盐度相差较大,反映流体曾经发生过气、液两相分离作用(Roedder,1984)。

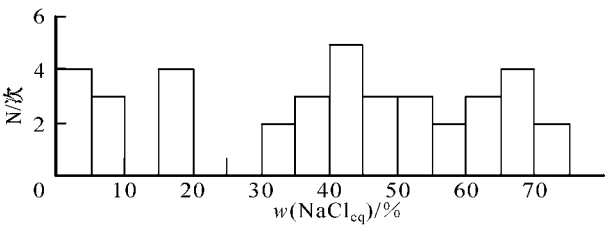

图 4 铜金矿体(0 号)石英中流体包裹体盐度直方图

Fig. 4 Histogram showing salinity of fluid inclusions in quartz from No. 0 Cu-Au ore body

3.3 流体包裹体成分

选择各类(纯气相、气液两相、含子晶的多相流体包裹体)不同温度阶段的典型包裹体,进行了气相成分及子晶激光拉曼探针分析(图6)。对于早期高温

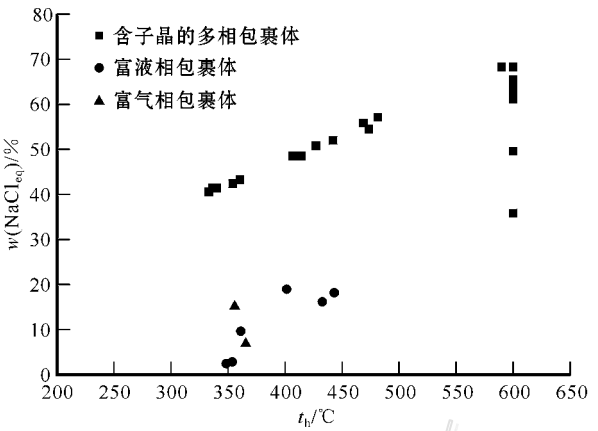

图 5 0 号脉铜金矿体包裹体盐度-均一温度图

Fig. 5 Salinity versus homogenization temperature for fluid Inclusions from No. 0 Cu-Au ore body

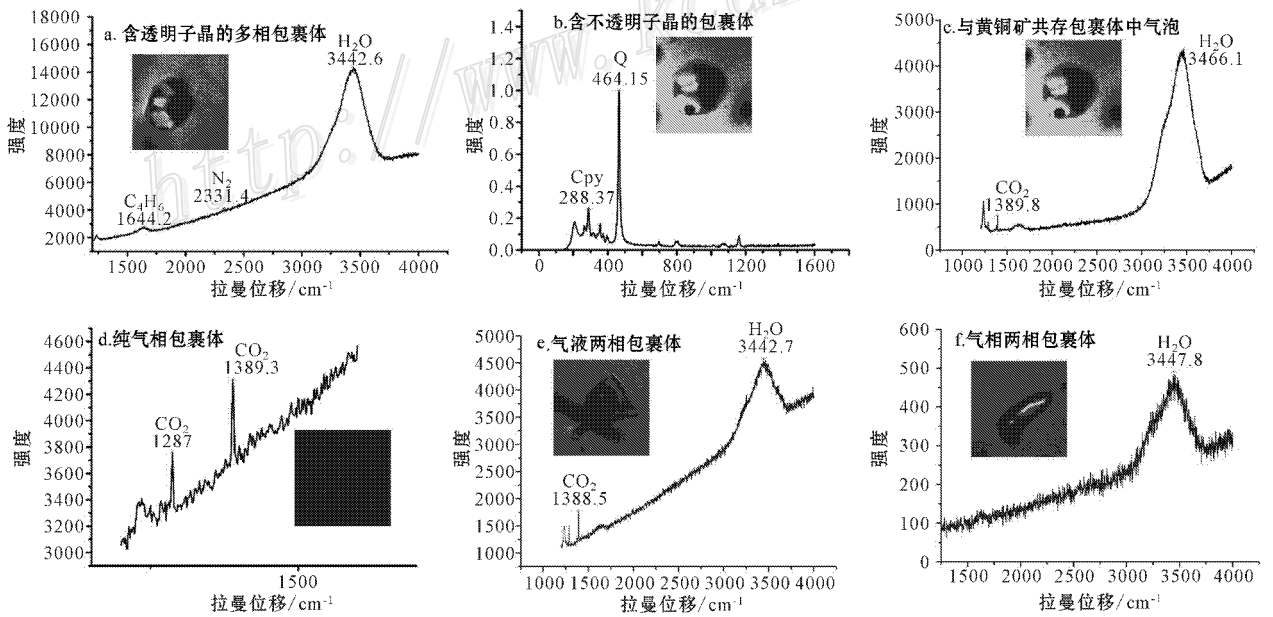

图 6 0 号铜金矿体石英中流体包裹体的激光拉曼光谱

b. 图中不透明子晶的激光拉曼光谱;a～f. 流体包裹体的气相成分激光拉曼光谱

Fig. 6 Raman spectrograms of fluid inclusions in quartz from No. 0 Au-Cu ore body

a～f show Raman spectrograms of gas components of fluid inclusions, and fig. b shows gas components of opaque daughter minerals

http://www.kcdz.ac.cn/

的流体包裹体，测试了纯气相的包裹体及含子晶包裹体中的气相成分和子晶成分。图 6 显示，高温纯气相的孤立原生包裹体，成分为 CO_2（图 6d，CO_2 峰值1 287 cm^{-1}，1 389 cm^{-1}），代表了初始流体（第一矿化阶段的后期）；高温含透明子晶的包裹体，其透明子晶为重晶石、硬石膏等，而气相成分以水为主，还有少量的 C_4H_6、N_2（图 6a），而高温含不透明子晶的包裹体，其子晶为黄铜矿（图 6b，峰值 288.37 cm^{-1}），而气相主要为 H_2O 和少量 CO_2（图 6c；第二矿化阶段）；气相百分数低的两相包裹体以 H_2O（图 6e，峰值 3 447.8 cm^{-1}）为主，其次是 CO_2（图 6e，峰值 1 388.5 cm^{-1}；第三矿化阶段）；气相百分数稍高的包裹体气相成分为 H_2O（图 6f，峰值 3 447.8 cm^{-1}；第四矿化阶段），该类包裹体稍小，一般沿裂隙分布。

4　讨　论

4.1　流体起源和性质

有关金厂铜金矿床金矿体的流体包裹体研究，前人已作了大量工作，现将一些成果汇集于表 2。从表 2 可知，流体包裹体的类型除纯气体、富气体、纯液相和含子矿物多相包裹体外，可能还有熔-流包裹体以及含有机物的包裹体（王永等，2007），确定的子晶矿物有石盐、钾盐、石膏、重晶石、黄铜矿等。群体包裹体的液相成分为 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、F^-、Cl^-、SO_4^{2-} 等离子，气相成分主要是 CO_2、CH_4，少量的 H_2 和 N_2（贾国志等，2005）。单个流体包裹体的气相成分有 H_2O、SO_2、CH_4、C_4H_6、C_6H_6、O_2、NO_3^-、CO_2、H_2S、CO_3^{2-}（王永等，2007）。从含有石膏、重晶石及黄铜矿子晶矿物的角度分析，其初始含矿流体应为高氧化岩浆流体。气相成分主要是 CO_2 和水，也表明初始含矿流体为高氧化流体（赫英等，2001），被还原后形成硫化物和自然金、银金矿等。

张德会等（1998）在综合了国内外一些矿床的流体包裹体参数后认为，较高的盐度（>30%）和高 $w(K^+)/w(Na^+)$ 比值（>1）（贾国志等，2005；朱成伟等，2003）可能是确定成矿流体源自岩浆的主要证据之一。Anderson（1992）认为初期流体在 450℃ 以上、盐度高达 50%～60%、富含 SO_4^{2-} 的高温高盐度高氧化的流体，为幔源岩浆。从早期包裹体的气相成分看，该矿床初期流体富 CO_2 及少量的 N_2、C_4H_6，表明流体来源于地幔（夏林圻等，1996）。另外，朱成伟等（2003）和贾国志等（2005）测定的硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 均值为 2.42‰，具有深源硫或岩浆硫同位素组成的特征。

表 2　金厂金矿体、铜金矿体与典型斑岩铜矿的流体包裹体对比

Table 2　Comparison of fluid inclusions between gold ore body, copper-gold ore body and typical porphyry copper deposit

	高丽沟 J-0 号角砾岩铜金矿体（本文）	18 号隐伏脉状铜金矿体		半截沟 J-1 号角砾岩筒金矿体（李高生等，2003）	典型斑岩铜矿（驭龙、冲江铜矿）（孟祥金等，2005）
		ZK04 钻孔（王永等，2007）	ZK04 钻孔（张德会等，2006）		
类型	纯气相、气液两相、纯液相、含子晶的多相流体包裹体	纯气体、富气体、富液相和含子矿物多相、熔-流包裹体以及有机包裹体	富液相、富气相、含 CO_2 多相、含石盐子晶多相、流体-熔裹体、熔体包裹体	纯液相盐水包裹体、气液相盐水裹包体、气相包裹体以及含 CO_2 包裹体、有机包裹体	气相包裹体，液相包裹体，含子晶的三相流体包裹体
均一温度	230～600℃	250～590℃	260～620℃	84～97℃ 283～307℃	191～550℃
盐度	2.57%～35.99% 35.99%～73.96%	0.35%～8.0% 33.2%～70.33%	5%～20% 30%～65%	5.41%～9.6%	1.91%～17.07% 25%～72%
气体成分	H_2O、CO_2、N_2、C_4H_6 等	H_2O、CO_2、SO_2、CH_4、O_2、CO、H_2S 等	H_2O、CO_2、SO_2、CH_4、O_2、CO、H_2S 等	H_2O、CO_2、CH_4、O_2、CO、H_2	以 H_2O、CO_2 为主
子晶矿物	石盐、钾盐、石膏、黄铜矿、电气石、磁铁矿（?）、黄铁矿（?）和硅酸盐矿物等	石盐、黄铜矿及黄铁矿	黄铜矿及黄铁矿	石盐、钾盐子矿物为主，少量呈针状、柱状矿物	石盐、钾盐、石膏、黄铜矿及黄铁矿

4.2 流体演化与成矿作用

大多数金矿床的流体包裹体研究表明,热水与 CO_2 不混溶系统对于成矿是重要的(李荫清,1994;Campbell,1995;毛景文等,2001)。在较高压力和温度条件下,CO_2 溶解于热水中,一旦接近开放系统(如沸腾或不混溶),由于压力和温度急剧降低,独立相 CO_2 便会从热水中分离出来,由于一部分气体被排放,会使热水中的盐度略有增高(芮宗瑶等,1995)。

金厂铜金矿体的矿石具有典型的热液充填角砾岩构造特征,反映该矿床形成时曾发生沸腾作用;在大致一致的均一温度区间,流体包裹体的气相百分数不同,这也证明了流体发生过沸腾(张文淮,2004)。通过对铜金矿脉流体包裹体的研究,结合前人对金矿体的研究成果,初步确定金厂矿区流体的演化过程为:来自地幔的高温高氧化的岩浆热流体,在成矿初期,为 H_2O-CO_2-NaCl-SO_4^{2-} 均一的混溶流体,成矿元素以相对稳定态赋存于混溶流体中,金及其他金属元素不易沉淀,矿物组合上表现为黄铁矿等硫化物少,而石英、钾长石等较多,并结晶大量的电气石;岩浆流体沿裂隙不断上升,当到达地壳浅部发生隐爆沸腾作用,温度、压力的下降,形成不混溶流体(Drummond et al., 1985),出现气相百分数 30%~50%的含子晶的多相流体包裹体、气相百分数较高的两相流体包裹体(50%~70%)和气相百分数较低的两相流体包裹体(10%~30%),流体包裹体中黄铜矿及石膏子晶变少,成矿流体中 Cu、Fe 离子含量降低,SO_4^{2-} 转变为 S^{2-},黄铜矿沉淀,流体由氧化环境向还原环境转化,金沉淀(Zotov et al., 1995)下来,在矿物组合上表现为石英-多金属硫化物,为成矿的主要阶段,形成铜金角砾岩体。

流体包裹体的成分(图 6)显示,后期流体包裹体的 H_2O 增多,CO_2 减少,1 号金矿体的盐度较 0 号铜金矿体盐度小(表 2)(李高生等,2003),推测为后期大气水的加入又一次导致了金的大量沉淀,这是形成角砾岩金矿的主要原因(Heinrich et al., 1992;1999;张德会,1997;Stephan et al., 1995)。因此,金矿体和铜金矿体是流体演化到不同阶段的产物。

5 结 论

综上所述,可以得到以下结论。

金厂铜金矿体钾长石-石英-黄铁矿阶段、石英-黄铁矿阶段、石英-多金属硫化物阶段的均一温度 270~600 ℃,主成矿阶段的均一温度 270~410 ℃(均值为 350 ℃);

成矿流体具有来自幔源岩浆属性,成矿早期含矿流体为高氧化、高盐度(35.99%~73.96%)流体(H_2O-CO_2-NaCl-SO_4^{2-} 型);

早期含矿流体隐爆、沸腾作用是角砾岩铜金矿体形成的主要机制,而代表沸腾前锋时,以气相为主的流体与大气水的混合,可能是角砾岩型金矿体形成的主要原因。

致 谢 在流体包裹体测温工作中得到吉林大学地球科学学院地质流体实验室王力老师的指导和帮助;激光拉曼成分在南京大学成矿作用国家重点实验室倪培老师及研究生王宪刚的大力协助下完成;在论文评审阶段,矿床地质编辑部对论文进行了修改,并提出了宝贵意见。在此表示衷心的感谢!

References

Anderson M R. 1992. Fluid mixing in the generation of Mesothermal gold mineralization in the Transval Sequence[M]. Transval, South Africa. Eur. J. Mineral, (4): 993~948.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. 1993. Regional geology of Heilongjiang Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~330 (in Chinese with English summary).

Calagari A A. 2004. Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East-Azarbaidjan, Iran[J]. J. Asian EarthScience, 23: 179~189.

Campbell A R. 1995. The evolution of a magmatic fluid: A case history from the Captian mountains, New Mexico[A]. In: Thompson J F H, ed. Minerallogical Association of Canada short course series: Magma, fluid and ore deposits[C]. Victoria, Brirish Columbia: Short course series 23, Mineral Association of Canada. 291~308.

Chen J R, Li H G, Jin B Y, Wu Y H, Wang Y Z and Yu W Q. 2002. Geological features and the deep metallogenic forecast of the No. J-1 gold body in the Jinchang gold deposit, Heilongjiang[J]. Gold Geology, 4(8): 8~12(in Chinese with English abstract).

Cheng X J. 1996. Some advances on the study of lode gold deposits in metamorphic terranes[J]. Geology Science and Technology Information, 15(2): 71~76(in Chinese with English abstract).

Dai C. 1999. The features of gold mineralization types and their prospecting direction in Jiamusi Massif[J]. World Geol., 18(3): 55~60(in Chinese with English abstract).

Drummond S E and Ohmoto H. 1985. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothemal system[J]. Econ. Geol., 80: 126~147.

He Y, Mao J W, Wang R T and Zhang Z J. 2001. Carbon dioxide-rich and gold-bearing fluids degassed from mantle-derived magma-reality and possibility[J]. Earth Science Frontiers, 8(1): 265～270(in Chinese with English abstract).

Heinrich C A, Guenther D, Audetat A, Ulrich T and Frischknecht R. 1999. Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined bymicroanalysis of fluid inclusions[J]. Geology, 27(8): 755～758.

Heinrich C A, Ryan C G, Mernagh T P and Eactinglon P J. 1992. Segregation of ore metals between magmatic brine and vapor: A fluid inclusion study using PIXE microanalysis[J]. Econ. Geol., 87: 1566～1583.

Jin B Y. 2002. The character of volcanic structure and its ore-control features in Jinchang Area, Heilongjiang[J]. Gold Geology, 8(1): 26～32(in Chinese with English abstract).

Li G S, Chen J R, Wang Y Z, Jin B Y, Wu Y H and Yu W Q. 2003. Study on the main mineralization type and the inclusion features of the Jinchang gold deposit, Heilongjiang[J]. Gold Geology, 1(9): 1～6(in Chinese with English abstract).

Li Y Q. 1994. Geochemical characters of ore-forming fluid of Haigou deposit, Jilin[J]. Acta Geologia Sinica, 68(3): 49～61(in Chinese with English abstract).

Liu R G and Zhang Z R. 1996. Gold deposition mechanism in microgranular disseminated type gold deosit ore-forming[J]. Geology-Geochemisty, (6): 60～66(in Chinese with English abstract).

Lu H Z, Fan H R, Ni P, Ou G X, Shen K and Zhang W Z. 2004. Fluid inclusions[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 201～229(in Chinese with English abstract).

Mao J W and Li Y Q. 2001. Fluid inclusions of Dongping gold deposit in Hebei Province, China: Involvement of mantle fluid in metallogenesis[J]. Mineral Deposits, 20(1): 23～36(in Chinese with English abstract).

Roedder E. 1984. Fliud inclusion: Reviews in mineralogy[J]. Mineralogical Society of America, 12: 644.

Rui Z Y, Zhang H T, Wang L S and Chen R Y. 1995. Porphyry-epithermal Copper-gold deposit in Yanbian area, Jilin Province[J]. Mineral Deposits, 4(2): 99～126(in Chinese with English abstract).

Stephan M K, Henley R W and Christoph H A. 1995. Gold preciptation by fluid mixing in bedding-parallel fractures near carbonaceous slates at the Cosmopolitan How gold deposit, Northern Australia[J]. Econ. Geol., 90: 2 123～2 139.

Wang S X. 1995. Comparison of Zijinshang copper(gold) ores and Jinguashi gold(copper) ores and its geological significance[J]. Geology of Fujian, 2(14): 85～94(in Chinese with English abstract).

Wang Y, Xi B B, Zhang D H and Zhang W Z. 2007. Geochemical characteristics of fluid inclusion in Jinchang gold deposit, Heilongjiang Province[J]. Mineral Deposits, 26(2): 184～194(in Chinese with English abstract).

Xia L Q. 1996. The fluid inclusions and magma inclusions and putty from mantle peridotite xenoliths[A]. In: Du L T, et al. Manlte juice fluid and asthenosphere layer. Geochemisty[C]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English summary).

Zhang D H and Liu W. 1998. The fluid inclusion component and fluid origin in gold deposit[J]. Geology Science and Technology Information, 17: 67～71(in Chinese with English abstract).

Zhang D H, Wang Y, Wang D, Xu W X, Wang Y Z and Zhang W Z. 2006. Geochemistry of ore-forming fluids and genesis of gold ore bodies in the dome-shaped magmatic body-hosted Jinchang gold deposit, Heilongjiang Province[J]. Mineral Deposits, 25: 155～158 (in Chinese with English abstract).

Zhang D H. 1997. Overview of research on the ore depositional mechanisms in ore-forming fluid[J]. Geology Science and Technology Information, 16(3): 53～58(in Chinese with English abstract).

Zhao C J, Peng Y J, Dang Z X and Zhang Y P. 1996. Tectonic framework and crust evolution of eastern JiLin and Hei Longjiang Province[M]. Shenyang: Liaoning University Press. 1～10(in Chinese).

Zhu C W, Chen J R, Li T G, Cui B, Jin B Y and Wang K Q. 2003. Geology and genesis of Jinchang gold deposit, Heilongjiang Province [J]. Mineral Deposits, 22(1): 56～64(in Chinese with English abstract).

Zotov A V, Kudrin A V, Lein K A and Shikina N D. 1995. Experimental studies of the solubility and complexing of selected ore elements (Au, Ag, Cu, Mo, Sb, Hg) in aqueoue solutions[A]. In: Shmuloich K I, Yard-ley B W D, Gonchar G G, eds. Fliuds in the crust, equilibrium and transport properties[C]. London: Chapman and Hall. 95～132.

附中文参考文献

陈锦荣,李汗光,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.

程小久. 1996. **变质地体中脉金矿床的现状和进展**[J]. **地质科技情报**, 15(2): 71～76.

戴 才. 1999. **佳木斯地块主要金矿类型特征及找矿方向**[J]. **世界地质**, 18(3): 55～60.

赫 英, 毛景文, 王瑞廷, 张战军. 2001. **幔源岩浆去气形成富二氧化碳含金流体——可能性与现实性**[J]. **地学前缘**, 8(1): 265～270.

黑龙江省地质矿产局. 1993. **黑龙江省区域地质志**[M]. **北京: 地质出版社**. 1～330.

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.

金宝义, 陈锦荣, 褚金海, 王燕忠. 2002. **黑龙江金厂金矿区火山构造及其控矿特征**[J]. **黄金地质**, 8(1): 26～32.

李高生,陈锦荣,王艳钟, 金宝义, 武玉海, 喻万强. 2003. **黑龙江金厂金矿床类型及包裹体特征研究**[J]. **黄金地质**, 9(1): 1～6.

李荫清. 1994. **吉林海沟金矿床成矿流体的地球化学特征**[J]. **地质学报**, 68(3): 49～61.

http://www.kcdz.ac.cn

刘荣高，张哲儒. 1996. 微细粒浸染型金矿成矿过程中金沉淀机理[J]. 地质地球化学，(6)：60～66.

卢焕章，范宏瑞，倪 培，欧光习，沈 昆，张文淮. 2004. 流体包裹体[M]. 北京 地质出版社. 201～229.

毛景文，李荫清. 2001. 河北省东坪碲化物金矿床流体包裹件研究：地幔流体与成矿关系[J]. 矿床地质，20(1)：23～36.

芮宗瑶，张洪涛，王龙生，陈仁义. 1995. 吉林延边地区斑岩型-浅成热液型金铜矿床[J]. 矿床地质，4(2)：99～126.

王绍雄. 1995. 福建紫金山铜(金)矿与台湾金瓜石金(铜)矿的对比及其意义[J]. 福建地质，2(14)：85～94.

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)：184～194.

夏林圻，夏祖春，徐学义. 1996. 地幔橄榄岩捕虏体中的流体包裹体、岩浆包裹体和玻璃[A]. 杜乐天，等. 幔汁流体与软流层(体)地球化学[C]. 北京：地质出版社.

张德会. 1997. 成矿流体中金属沉淀机制研究综述[J]. 地质科技情报，16(3)：53～58.

张德会，刘 伟. 1998. 流体包裹体成分与金矿床成矿流体来源[J]. 地质科技情报，17(增刊)：67～71.

张德会，王 永，王 懂，徐文喜，王燕钟，张文淮. 2006. 黑龙江金厂岩浆穹窿内金矿体成矿流体地球化学及其矿床成因探讨[J]. 矿床地质，25(增刊)：155～158.

赵春荆，彭玉鲸，党增欣，张允平. 1996. 吉黑东部构造格架及地壳演化[M]. 沈阳 辽宁大学出版社. 1～10.

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研究[J]. 矿床地质，22(1)：56～64.

http://www.kcdz.ac.cn/