

黑龙江金厂金矿床流体包裹体特征及成矿作用研究*

王可勇¹ 卿敏² 张欣娜¹ 万多¹ 肖力²

WANG KeYong¹, QING Min², ZHANG XinNa¹, WAN Duo¹ and XIAO Li²

1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061

2. 武警黄金地质研究所, 廊坊 065000

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2. Institute of Gold Geology, Division of Gold, People's Armed Police Force, Langfang 065000, China

2010-10-03 收稿, 2011-02-15 改回.

Wang KY, Qing M, Zhang XN, Wan D and Xiao L. 2011. Study on the characteristics of fluid inclusions and metallogenic evolution of Jinchang gold deposit, Heilongjiang Province. *Acta Petrologica Sinica*, 27(5):1275-1286

Abstract Jinchang gold deposit is a superlarge one with three different kinds of mineralization, which are cryptoexplosive breccia pipe type, bedded micro-fine vein disseminated type as well as fault-controlled quartz-vein and altered rock type respectively. This paper carried out a comparative study on fluid inclusions occurred in quartz of the three -type ores from petrography, microthermometry, compositional and hydrogen-oxygen isotope analyses as well as SEM/EDS analysis of daughter minerals etc. aspects, the results show that the ore-forming fluids of the three-type mineralization posed different geochemical features. The ore-forming fluids of the cryptoexplosive pipe type mineralization belong to magmatic-hydrothermal transitional fluids; that of the micro-fine vein disseminated type mineralization belong to highly saline solutions with a complex composition; whereas the ore-forming fluids of the fault-controlled quartz-vein and altered rock type mineralization belong to highly saline NaCl-H₂O solutions. The composition of hydrogen-oxygen isotopes of fluid inclusions reveal that they all came from magmatic activities. Combined with the occurrences of ore bodies and geochronological data existed, the conclusion was made that the metallogenic evolution sequence in the mining district is cryptoexplosive breccia pipe type→ bedded micro-fine vein disseminated type→ fault-controlled quartz-vein and altered rock type and Jinchang gold deposit is the result of superimposition of mimeralization of magmatic fluids at different phases.

Key words Fluid inclusion; Metallogenic evolution; Jinchang gold deposit; Heilongjiang Province

摘要 金厂金矿床是一个发育有隐爆角砾岩筒、似层状微细脉浸染及裂控石英脉-蚀变岩三种矿化类型的特大规模矿床。本文对区内三类矿化石英中的流体包裹体进行了岩相学、显微测温、成分、氢-氧同位素及子矿物的扫描电镜等多方面对比研究,结果表明三类矿化成矿流体具有不同的地球化学性质:隐爆角砾岩筒成矿流体为岩浆-溶液过渡态流体;似层状微细脉浸染型成矿流体为一种成分复杂的高盐度热液;而裂控型成矿流体为高盐度的 NaCl-H₂O 溶液。氢-氧同位素组成特征揭示出它们均来自于岩浆活动。结合矿体产状及已有的年代学资料,认为三类矿化形成顺序为隐爆角砾岩筒型→似层状微细脉浸染型→裂控型,因此金厂金矿床是不同期次岩浆来源流体叠加成矿的产物。

关键词 流体包裹体;成矿作用演化;金厂金矿床;黑龙江省

中图法分类号 P618.51

地处吉林-黑龙江东部的延边-东宁地区,是我国东北部重要的金-铜多金属成矿带之一,产有小西南岔、闹枝、弄堂、刺猬沟、五凤-五星等一系列重要的金及金-铜多金属矿床

(芮宗瑶等,1995;孟庆丽等,2001)。1994年,武警黄金一支队在位于该区东段的黑龙江省东宁县境内开展预查工作时又发现了金厂金矿床,经十余年的勘查,其探明储量已达特

* 本文受武警黄金指挥部地质科研项目(WHY08-8)及吉林大学大学生创新研究计划项目联合资助。

第一作者简介:王可勇,男,1965年生,教授,博士生导师,主要从事矿床学及流体包裹体方面的教学及研究工作, E-mail: wangky@jlu.edu.cn

大型规模,并有望通过进一步探矿工作而成为一超大型矿床。已有研究表明,金厂金矿床在矿化特征方面明显有别于同一成矿带内的小西南岔、闹枝等矿床(王可勇等,2010a;杨帅师等,2010),其矿化类型多样,以隐爆角砾岩筒型为主,同时发育有隐伏岩体顶部的似层状微细脉浸染型及环状-放射状裂隙控制的石英脉-蚀变岩型矿化,因此又不同于熊耳山地区上官、祈雨沟等典型的爆破角砾岩筒型金矿床。贾国志等认为这可能是一个新的矿床类型,并将其命名为“金厂式金矿床”(贾国志等,2005)。金厂金矿床的发现,不仅是该区地质找矿工作所取得的又一重要成就,而且也为深入研究和总结该类型金矿床地质特征、矿床成因、成矿规律及指导该区同类矿床进一步找矿工作提供了典型矿例。

对金厂金矿床的地质研究工作近年也已逐步展开,并就其成因等问题取得了一系列重要认识及成果。陈锦荣及贾国志等研究认为,金厂金矿床的形成主要与区内燕山期花岗岩及闪长玢岩活动有关,为两期岩浆热液叠加成矿作用的产物,主要成矿时代为燕山中-晚期(陈锦荣等,2000^①;贾国志等,2005);王永及张文淮等通过对隐爆角砾岩筒型矿化流体包裹体研究,指出金厂金矿床流体包裹体类型多样,并存在熔-流包裹体及含有黄铁矿、黄铜矿等子矿物的多相包裹体,由此提出岩浆活动为该区金矿成矿作用提供了重要的物质及热液来源(王永等,2007;张文淮等,2008)。这些代表性研究成果较程度的提高了对金厂金矿床成矿理论认识水平。然而,金厂金矿床是一个集多种类型矿化于一体的特大规模矿床,不同类型成矿流体来源及性质是否相同、它们是否同期成矿、不同类型矿化之间有何成因联系等问题仍是值得进一步探索的课题,这对全面了解和认识该类矿床形成机制和成矿过程具有重要意义。针对上述问题,本文在对该矿床地质特征研究基础上,通过对矿区3类矿化流体包裹体岩相学、显微测温、氢-氧同位素及包裹体中子矿物的扫描电镜分析等多方面的对比研究,讨论了不同类型成矿流体地球化学特征与性质,进而分析和总结了金厂金矿床成矿作用演化过程,为建立金厂式金矿床成因模式提供了重要依据。

1 区域地质背景

金厂金矿床大地构造位置处于兴-蒙造山带东段,吉-黑地槽褶皱系之太平岭隆起-老黑山断陷接合部位。区域范围内出露地层主要有上元古界、上古生界及中生界不同岩性单元。上元古界黄松群是本区所见最古老地层,由杨木、阎王殿两组构成,空间上多分布于区内共和村-双桥子一带,其岩性上部以千枚状含石榴石炭质云母片岩为主;下部以钠长片岩、变粒岩夹角闪片岩及含铁石英岩等为主。上古生界地层主要包括石炭系塔头河组、二叠系二龙山组、平阳镇组及城山组,它们空间上主要分布于太平岭两侧地区,岩性以一套砂板岩、绢云母千枚岩夹安山岩、安山玄武岩等为主。中生界地层主要有三叠系罗圈站组、侏罗系托盘沟组、天桥岭组、

屯田营组、东宁组及少量的白垩系穆棱组及猴石沟组,它们空间分布范围较为广泛,其中罗圈站组主要岩性为酸性熔岩、碎屑岩夹凝灰岩等;托盘沟组、天桥岭组、屯田营组及东宁组总体岩性为一套中酸性火山岩-火山碎屑岩-正常沉积岩建造。由此可见,本区发育的一套岩石地层组合明显反映了进入中生代以来区内岩浆-火山活动渐趋强烈的特点。

受多期次强烈构造作用影响,区域范围内褶皱及断裂构造发育,主要褶皱构造有黄松背斜、黑瞎子沟向斜、杨木二段向斜及大猪圈背斜等,它们总体轴向北东,长度一般10~20km,均属太平岭复式背斜的次级褶皱。区内断裂构造依走向划分为近东西向、近南北向、北东-北北东向及北西向等四组,其中北东-北北东向断裂规模较大,力学性质以扭性和压扭性为主;近东西向断裂规模相对较小,力学性质以张-张扭性为主。它们分别对区内岩浆-火山活动及成矿作用起了不同程度的控制作用。

区内侵入岩较为发育,以中酸性侵入体为主,主要岩性为花岗闪长岩、碱长(二长)花岗岩、闪长(玢)岩等,各类侵入体主要呈岩基、岩株等形式产出,也有一些呈岩脉形式产出。已有的年代学研究表明,区内岩浆侵入体形成时代主要有晚元古代晚期张广才岭期、印支期及燕山期(陈锦荣等,2000),它们为区内金属成矿作用提供了重要的物源及热动力条件。

2 矿床特征

2.1 矿区地质

矿区范围内大面积分布有印支-燕山期中酸性侵入岩,而地层出露相对较少,仅局部地段零星分布有少量上元古界黄松群变质岩系和中-上侏罗统屯田营组火山岩地层(图1)。

区内侵入体依时代可划分为如下5期(陈锦荣等,2000;贾国志等,2005):(1)印支早期闪长质岩浆侵入活动:主要形成灰黑色中粒和微细粒黑云母闪长岩体,空间上多分布于八号洞-邢家沟-半截沟一带及金厂乡北部地区,岩体均明显发生过一定程度的热液蚀变现象,常见斜长石斑晶为碳酸岩及绿泥石所交代,而角闪石则多蚀变为绿泥石、绿帘石矿物等。(2)印支晚期-燕山早期花岗质岩浆侵入活动:空间上主要分布于矿区八号洞-金厂南山-松树砬子-小东沟一带,岩石类型复杂多样,主要有灰色黑云母花岗岩、斜长花岗岩、粗粒文象花岗岩、钾长花岗岩及花岗闪长岩等,不同岩石类型之间有时表现为空间相变关系。(3)燕山中期花岗质岩浆侵入活动:主要分布于矿区八号洞-东沟、金厂南山-黑瞎子沟等地,所形成的岩石类型主要有细粒斑状花岗岩及中粗粒黑云母花岗岩等,两者之间有一定的相变关系,细粒斑状花岗岩为边缘相,中粗粒黑云母花岗岩为中心相。(4)燕山中晚期花

^① 陈锦荣,金宝义,王科强等.2000.黑龙江东宁县金厂矿区及外围金矿成矿规律及深部预测

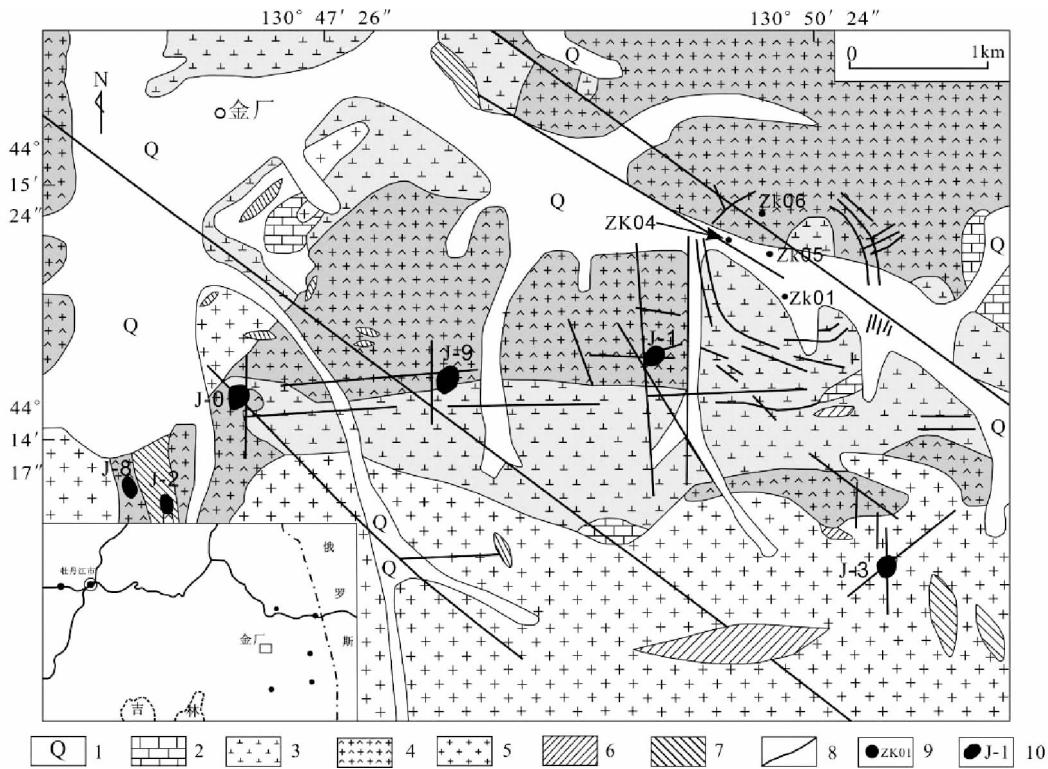


图1 金厂矿区地质图(据王永等,2007资料修改)

1-第四系;2-上侏罗统屯田营组;3-印支期闪长岩;4-印支期文象花岗岩;5-印支期花岗岩;6-燕山期花岗岩斑岩(脉);7-燕山晚期闪长玢岩(脉);8-断层;9-钻孔及编号;10-角砾岩筒型矿体及编号

Fig.1 The geological map of Jinchang gold deposit (modified after Wang *et al.*, 2007)

1-Quaternary; 2-Tuntianying Formation of the Upper Jurassic; 3-Diorite of the Indo-Chinese; 4-graphic granite of the Indo-Chinese; 5-granite of the Indo-Chinese; 6-granitic porphyry (veins) of the Yanshanian; 7-dioritic porphyrite (veins) of the Later Yanshanian; 8-fault; 9-drilling hole and serial number; 10-cryptoexplosive pipe type orebody

岗斑岩侵入活动:主要形成矿区内一些以岩株或岩枝形式产出的花岗斑岩体,局部浅部相变为石英斑岩,它们空间上多分布于八号洞-高丽沟-袍子沟一带。(5)燕山晚期闪长玢岩侵入活动:主要分布于金厂南山、黑瞎子沟、半截沟-邢家沟及其南部地段,它们多呈小岩株或小岩枝形式产出。上述不同时代、不同岩性的各类侵入体构成了区内金矿化的主要赋矿围岩。

2.2 矿化类型

区内金矿化主要受断裂及爆破角砾岩筒构造控制,依矿体产状及矿石特征可划分为如下3种主要矿化类型:

(1)隐爆角砾岩筒型金矿化:为矿区最主要的金矿化类型,其产出主要受隐爆-爆破角砾岩筒构造控制,所形成的矿石发育典型的角砾状构造,多具有全筒矿化、规模大、品位高及储量集中等特点。目前,区内已发现6个典型的隐爆角砾岩筒型矿体,它们在空间上沿东西方向呈近等间距产出规律(图1)。

位于矿区东部高丽沟一带的J₀号矿体为该矿化的典型代表,它产于闪长岩、花岗闪长岩、文象花岗岩接触带与

NEE向断裂构造交汇部位。平面上,该岩筒及其所控制的矿体呈半个椭圆形,其北东对应部分为后期北西向断层切错破坏。该矿体厚度7.41~26m,金品位 $5.15 \times 10^{-6} \sim 14.07 \times 10^{-6}$,向深部矿化有变贫趋势;矿体内矿石多呈灰黑-灰绿色,并发育明显的角砾状构造(图2a, b)。角砾成分比较复杂,有闪长岩、花岗岩及文象花岗岩等,但总体与围岩成分一致;角砾大小不一,一般直径0.1~0.5m,大者可达十几米至三十余米,小者只有几厘米;由于岩筒内较大砾石的发育,致使其内矿化作用极不均匀;砾石磨圆及分选性差,以棱角状居多,少数呈纺锤状、浑圆形、瘤状等形态;角砾之间胶结物以硫化物及蚀变矿物为主,金属硫化物主要有黄铜矿、少量黄铁矿、方铅矿及闪锌矿等,蚀变矿物有石英、绿泥石及少量长石等,另有一些岩石碎屑及岩粉等。

(2)似层状微细脉浸染型矿化:以分布在半截沟环形构造深部的18号矿体为代表。该矿体为一隐伏矿体,完全由钻探工程控制,已初步圈定出走向延长800余米、平均厚度6.65m、矿石平均品位 5.31×10^{-6} 的较大矿体。该矿体产于燕山中晚期花岗斑岩体顶部及其内接触带,以细脉充填及交代成矿作用方式为主。矿体总体形态为层状-似层状。矿化

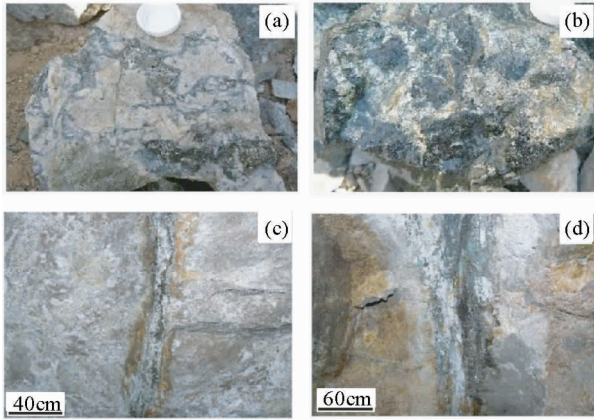


图2 隐爆角砾岩筒型矿石(a, b)及裂控型矿脉(c, d)照片

Fig. 2 Photographs of cryptoexplosive pipe type ores (a, b) and fault-controlled ore veins (c, d)

以含黄铁矿、黄铜矿等金属硫化物-石英细脉密集发育为特点,围岩具较强的钾化、黄铁矿化、硅化、绿泥石化等类型的蚀变作用。因此,从其矿化及围岩蚀变特征综合分析,该类型金矿化具备斑岩型矿化特征。

(3)裂控型矿化:主要受不同产状的断裂裂隙构造控制,包括产于环形、放射状及北东、北北向断裂构造中的金矿化,它们以细的石英-黄铁矿脉及两侧蚀变围岩型矿化为主体,一般具金品位低,矿体规模小等特点(图2c, d)。区内Ⅱ号矿脉群、V、V-1、VI、VII、X-1、2、3、4、5、XI-1、XI-2等矿脉及放射状Ⅲ号、Ⅻ号矿脉群均属此矿化类型。

2.3 矿石特征

金厂矿区发育的金矿石按照其产状、矿物组合及结构构造等特征可以划分为4个主要类型:①角砾岩型矿石;②蚀变岩型矿石;③石英-黄铁矿脉型矿石;④多金属硫化物石英脉型矿石。不同矿石类型金矿化作用强度有明显差异,一般而言,多金属硫化物石英脉型矿石含金性最好,其金品位多数在 $10 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$;石英-黄铁矿脉型矿石的金含量次之,一般为 $10 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$,局部可达 $n \times 10^{-4}$;角砾岩型矿石的金含量中等,一般为 $8 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$;蚀变岩型矿石的金含量最低,一般为 $2 \times 10^{-6} \sim 4 \times 10^{-6}$,有的甚至更低,仅构成矿化体。因此,在本区,一个矿体金矿化作用的强弱,取决于上述不同类型矿石发育的程度,一般而言,各类型矿石发育齐全,且金属硫化物-石英脉较发育的矿体,其品位高且矿化较稳定;仅主要发育蚀变岩类型的矿体,其矿化则相对较差。

3 流体包裹体研究

为了查明矿区3类矿化之间成因联系,进而深入分析和

总结金厂金矿床成因机制及成矿作用演化过程,本次工作分别对三类矿化流体包裹体特征进行了多方面的对比研究。流体包裹体岩相学、显微测温及激光拉曼光谱成分分析均在吉林大学地球科学学院地质流体实验室完成,使用仪器分别为Linkam THMS-600型冷热两用台及Renishaw System-1000型激光拉曼光谱仪,试验条件及测试精度分别见文献(王可勇等,2008,2010b)。流体包裹体中子矿物扫描电镜研究在吉林大学地层学与古生物研究中心完成,使用仪器为日立X-650型扫描电子显微镜,分辨率6nm,加速电压30kV,最大放大倍数20万倍,样品制备及分析方法见文献(范宏瑞等,1998;谢玉玲等,2004)。

3.1 流体包裹体岩相学

3.1.1 隐爆角砾岩筒型矿化

该类矿石样品主要取自于 J_0 、 J_1 及 J_8 三个隐爆角砾岩筒。所研究矿石发育典型的角砾状构造,胶结物以黄铁矿、黄铜矿等硫化物及长石、石英等矿物和岩屑、岩粉为主。镜下研究表明,此类矿石胶结物石英中原生流体包裹体较为发育,依室温下的相态特征,可划分为如下3种主要类型:

(1)含固体子矿物多相流体包裹体:在石英中分布较为广泛。室温下,该类型包裹体主要由气泡、水溶液相及数量不等的固体子矿物相构成,其中包裹体中气相所占体积比一般为15%~45%,也见少量气液比为70%~80%的多相包裹体;子矿物所占体积比为35%~80%,子矿物发育数量不等,一般4~5个,数量较多的可达6~7个,这些子矿物个体大小不一,形态各异,大多数无色或(灰)白色,相当多的此类包裹体中含有一个立方体的子矿物,与NaCl子矿物镜下特征相同。该类包裹体大小一般在 $8 \sim 45 \mu\text{m}$ 之间,多数集中在 $12 \sim 25 \mu\text{m}$ 范围,其形态多样,有椭圆形、矩形、菱形、长条形及不规则状等;它们在石英颗粒中随机或成群分布,显示原生包裹体特点(图3a)。

(2)气相-富气相包裹体:在矿物石英中分布较为广泛。室温下,该类包裹体呈单相形式产出,或为两相形式产出,但气液比一般在70%以上,多数在90%左右。该类包裹体大小一般 $10 \sim 30 \mu\text{m}$,形态一般呈椭圆形、次圆形及长条状等;在矿物石英颗粒中,此类包裹体多随机分布,显示出原生成因属性(3b)。

(3)含NaCl子矿物三相流体包裹体:在矿物石英中发育数量极少,属次要包裹体类型。室温下,该类型包裹体主要由气相、液相及NaCl子矿物构成,气液比一般10%~35%,多数集中于10%~20%;固体子矿物呈立方体晶形,无色或白色,推测其主要为NaCl子矿物,其所占体积比一般为10%~35%,多数为15%~25%;该类包裹体大小一般 $5 \sim 20 \mu\text{m}$,形态一般呈椭圆形、四边形及长条状等;在矿物石英颗粒中,此类包裹体多随机分布,因此,该类包裹体也为原生包裹体(3c)。

上述三种类型的包裹体在石英颗粒中常成群发育,在随

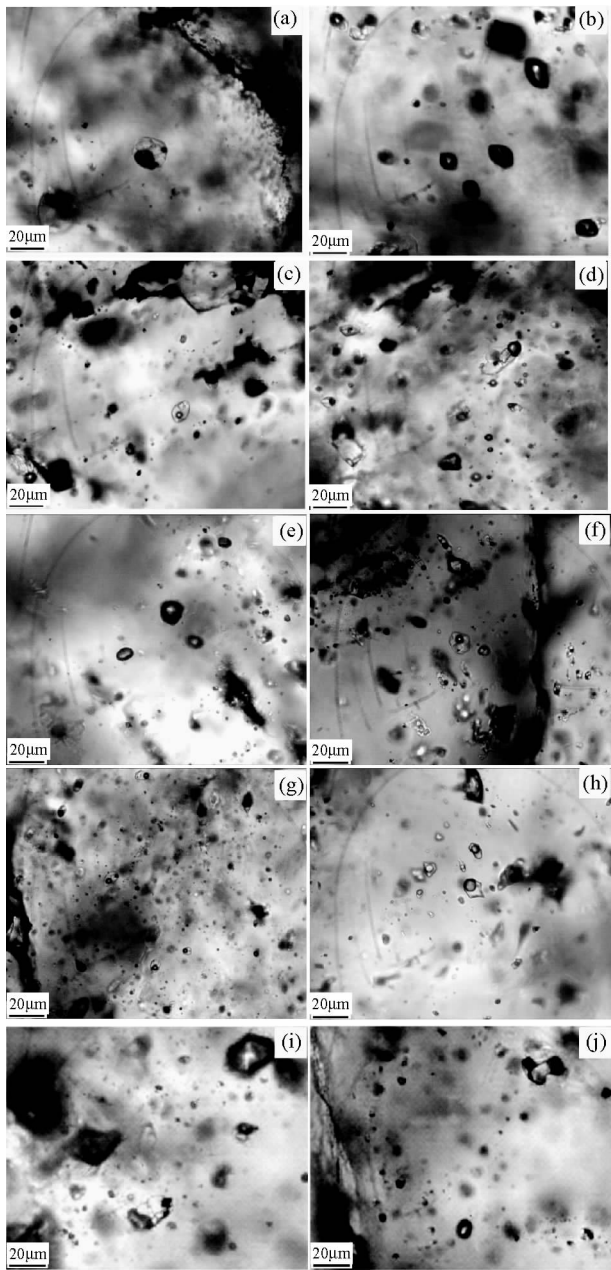


图3 各类矿化石英中发育的流体包裹体显微照片

(a)-隐爆角砾岩筒型矿化石英中含子矿物多相包裹体;(b)-隐爆角砾岩筒型矿化石英中气相-富气相包裹体;(c)-隐爆角砾岩筒型矿化石英中含 NaCl 子矿物三相包裹体;(d)-似层状微细脉浸染型矿化石英中含子矿物多相包裹体;(e)-似层状微细脉浸染型矿化石英中气相-富气相包裹体;(f)-似层状微细脉浸染型矿化石英中含 NaCl 子矿物三相包裹体;(g)-裂控脉型矿化石英中含 NaCl 子矿物三相包裹体;(h)-裂控脉型矿化石英中气液两相包裹体;(a, i)-隐爆角砾岩筒型矿化石英中含子矿物多相包裹体的硫化物子矿物(黑色矿物);(j)-似层状微细脉浸染型矿化石英中含子矿物多相包裹体的硫化物子矿物(黑色矿物)

Fig.3 Photographs of fluid inclusions occurred in quartz of different kinds of ores

(a)-daughter mineral-bearing multi-phase fluid inclusions in quartz of cryptoexplosive pipe type ores; (b)-vapor-rich and vapor phase fluid inclusions in quartz of cryptoexplosive pipe type ores; (c)-NaCl-daughter mineral-bearing three-phase fluid inclusions in quartz of cryptoexplosive pipe type ores; (d)-daughter mineral-bearing multi-phase fluid inclusions in quartz of bedded micro-fine vein disseminated type ores; (e)-vapor-rich and vapor phase fluid inclusions in quartz of bedded micro-fine vein disseminated type ores; (f)-NaCl-daughter mineral-bearing three-phase fluid inclusions in quartz of cryptoexplosive pipe type ores; (g)-NaCl-daughter mineral three-phase fluid inclusions in quartz of fault-controlled type ores; (h)-aqueous two-phase fluid inclusions in quartz of fault-controlled type ores; (a, i)-sulfide daughter minerals in multi-phase fluid inclusions in quartz of cryptoexplosive pipe type ores (black solid minerals); (j)-sulfide daughter minerals in multi-phase fluid inclusions in quartz of bedded micro-fine vein disseminated type ores (black solid minerals)

机分布的一群包裹体中,经常见到含固体子矿物多相包裹体与富气相包裹体共生产出,表明他们近于同时捕获的特点(张文淮等,1993;卢焕章等,2004)。含 NaCl 子矿物三相流体包裹体由于发育数量较少,故有时仅在部分上述两类包体组成的包裹体群中偶尔可见到此类型包裹体;另外,在 3 种类型的部分包裹体中,均发现了一些不透明子矿物,其形态以立方形及不规则状为主,推测其为硫化物子矿物(图 3a, i)。

3.1.2 似层状微细脉浸染型矿化

该类矿石样品主要取自于 ZK04 钻孔岩芯,为蚀变的花岗斑岩体,含较多的黄铁矿-石英微细脉。镜下研究表明,此类矿石微细脉石英中发育较多的原生流体包裹体,依室温下的相态特征,划分为如下 3 种主要类型:

(1) 含固体子矿物多相包裹体:室温下,该类型包裹体由气泡、液相及两个以上不同固体子矿物构成,固体子矿物个数多数为 3~4 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;在该类包裹体中,气相所占体积比一般 10%~45%,多数气液比集中于 10%~20%;固体子矿物所占体积比一般 30%~70%;相当部分此类包裹体中含有一个立方体晶形且无色—白色的子矿物,其特点同 NaCl 子晶的镜下特点,我们推测其为 NaCl 子矿物;该类包裹体在石英颗粒中较普遍发育,多随机或成群分布,大小一般 10~40 μm ,形态多呈椭圆形、不规则四边形及长条形等(图 3d)。

(2) 气相-富气相包裹体:室温下,该类包裹体呈单一气相或大气液比的两相形式存在,后者气液比一般为 55%~95%,多数集中于 80%~95%,此时仅在包裹体的尖角处出现少量的液相;该类包裹体大小一般为 8~15 μm ,形态一般呈椭圆形、次圆状,少量为不规则状;它们在石英颗粒中分布较为广泛,多随机或成群产出(图 3e);

(3) 含 NaCl 子矿物三相流体包裹体:室温下,该类包裹

体主要由气泡、液相及一个固体子矿物三相构成,气液比一般 10% ~ 25%,多数集中于 15% ~ 20%;固体子矿物所占体积比一般为 20% ~ 25%,少量可达 35% ~ 40%;固体子矿物一般无色,但立方体晶形完好,表明它们主要为 NaCl 子晶;该类包裹体在石英颗粒中分布较为广泛,多随机或成群产出,其大小一般 6 ~ 20 μm ,形态较规则,主要为菱形、椭圆形、次圆状等(图 3f)。

在石英颗粒中,上述 3 种类型的流体包裹体常共生组成一群包裹体,它们大多具原生成因特点。与前类矿石相似,在本类矿石石英所发育的三类包裹体中,也有少量包裹体内发育不透明固体子矿物,其形态以立方形及不规则状为主,推测主要为金属硫化物(图 3j)。

3.1.3 裂控型矿化

该类矿石样品主要取自于环状 II 号矿脉群及放射状 III 号、VII 号脉体群。矿石类型为黄铁矿-石英脉。镜下研究表明,此类矿石石英中主要发育 2 种类型的原生流体包裹体;其特征如下:

(1) 含 NaCl 子矿物三相流体包裹体:在矿物石英中发育较为普遍。室温下,该类包裹体主要由气泡、液相及 NaCl 固体子矿物三相构成,气液比一般 15% ~ 20%,NaCl 子矿物所占体积比 10% ~ 25%,多数为 20% 左右;NaCl 子矿物一般无色或略带浅绿色,立方体形态完好;该类包裹体在石英颗粒中多随机分布,其形态一般较为规则,主要呈椭圆形、长条形,少量为四边形状,大小一般 10 ~ 20 μm ,个别个体较大者可达 35 ~ 45 μm (图 3g);

(2) 气液两相包裹体:在矿物石英中较普遍发育。室温下,该类包裹体主要由气泡及液相两相构成,大多数包裹体气液比比较接近,主要为 35% ~ 40%,少量包裹体气液比稍低,为 25% ~ 30%,另有极少量包裹体气液比在 50% ~ 55%;该类包裹体在石英颗粒中随机或成群分布,也见晚期次的沿裂隙定向分布的此类包裹体;包裹体形态一般较为规则,以长条形、椭圆形等形态为主,大小一般 7 ~ 25 μm ,多数大小在 10 ~ 15 μm 之间(图 3h)。

3.2 流体包裹体显微测温

分别对 3 类矿化矿石石英中发育的各类流体包裹体进行了显微测温研究,并根据 NaCl 子矿物溶解温度或冰点温度,依相关公式对包裹体盐度进行了估算(图 4)。

3.2.1 隐爆角砾岩筒型矿化

该类矿化石英中含固体子矿物多相包裹体在升温过程中,子矿物自 258 $^{\circ}\text{C}$ 开始溶解、一直到 550 ~ 560 $^{\circ}\text{C}$ 左右最后一个固体子矿物熔化/溶解,气泡消失温度一般高于 600 $^{\circ}\text{C}$ 。11 块包裹体片中多个包裹体测温结果显示,该类包裹体均一温度变化范围为 430 ~ 890 $^{\circ}\text{C}$,多数集中于 570 ~ 890 $^{\circ}\text{C}$ 温度范围区间(图 4a),但也有少量包裹体在 900 $^{\circ}\text{C}$ 仍未完全均一。

富气相包裹体在升温过程中以均一至气相方式为主,包裹体均一温度变化范围为 340 ~ 450 $^{\circ}\text{C}$,多数包裹体在 440 ~

450 $^{\circ}\text{C}$ 左右均一(图 4a);

含 NaCl 子矿物三相流体包裹体在加热升温过程中,部分包裹体表现为子矿物先于气泡消失、而后通过气相消失达到包裹体完全均一;另有部分包裹体气相先于子矿物消失,而后通过子矿物溶解实现包裹体完全均一;极少数的包裹体气相与子矿物相近于同时消失。该类包裹体均一温度总体变化范围为 250 ~ 420 $^{\circ}\text{C}$ 区间,并出现 2 个均一温度高峰区间,一为 260 ~ 270 $^{\circ}\text{C}$,另一为 360 ~ 420 $^{\circ}\text{C}$ (图 4a);根据包裹体中 NaCl 子矿物的消失温度,估算此类包裹体盐度为 28% ~ 36% NaCleqv(图 4b)。

需要指出的是,3 类包裹体中均有部分含有不透明矿物的子晶,这些子晶在升温过程中没有发生相的变化,直至包裹体其它相完全均一后,它们依然残留于包裹体内。

3.2.2 似层状微细脉浸染型矿化

该类矿化石英中含固体子矿物多相包裹体在升温过程中相变行为较为复杂,多数包裹体在 150 $^{\circ}\text{C}$ 之前就开始有子矿物溶解,到了 150 ~ 200 $^{\circ}\text{C}$ 时,大部分包裹体中只剩下气泡、水溶液相及 1、2 个主要固体子矿物。此后,部分包裹体气相在 212 ~ 450 $^{\circ}\text{C}$ 之间消失,最后通过子矿物熔化/溶解而完全均一;另一部分包裹体则在 240 ~ 500 $^{\circ}\text{C}$ 区间子矿物全部熔化/溶解,最后通过气相消失包裹体完全均一;总体来看,该类包裹体均一温度变化范围为 380 ~ 560 $^{\circ}\text{C}$,多数集中于 420 ~ 560 $^{\circ}\text{C}$ 区间(图 4c)。

富气相包裹体在升温过程中以均一至气相方式为主,少量该类包裹体测温数据显示其均一温度变化范围 340 ~ 450 $^{\circ}\text{C}$ (图 4c)。

含 NaCl 子矿物三相流体包裹体在升温过程中表现出 3 种均一行为:一类包裹体气相先于子矿物消失,而后通过子矿物消失包裹体最后均一;另一类包裹体子矿物先于气相消失,而后通过气液均一包裹体最后均一;还有一类包裹体气相与子矿物近于同时消失;几乎所有包裹体最后均一至液相,包裹体均一温度变化范围为 280 ~ 480 $^{\circ}\text{C}$,多数集中于 320 ~ 420 $^{\circ}\text{C}$ 温度区间(图 4c);根据此类包裹体中 NaCl 子矿物溶解温度,估算包裹体盐度为 32% ~ 42% NaCleqv(图 4d)。

3.2.3 裂控型矿化

该类矿化石英中含 NaCl 子矿物三相流体包裹体在升温过程中也表现出 3 种均一方式,均一温度变化范围为 270 ~ 340 $^{\circ}\text{C}$ (图 4e);根据 NaCl 子矿物溶解温度,估算流体盐度值为 30.3% ~ 39.01% NaCleqv(图 4f);

气液两相包裹体在冷冻-升温过程中,测得冰点温度为 -5 ~ -19.3 $^{\circ}\text{C}$,根据冰点温度,估算其盐度为 8.67% ~ 22.52% NaCleqv,分别集中于 7% ~ 12% NaCleqv 及 15% ~ 17% NaCleqv 两个盐度区间(图 4f);包裹体以均一至液相方式为主,均一温度变化范围为 282.5 ~ 371.5 $^{\circ}\text{C}$ 区间(图 4e)。

3.3 流体包裹体中子矿物的扫描电镜研究

金厂金矿床隐爆角砾岩筒及似层状微细脉浸染型矿化

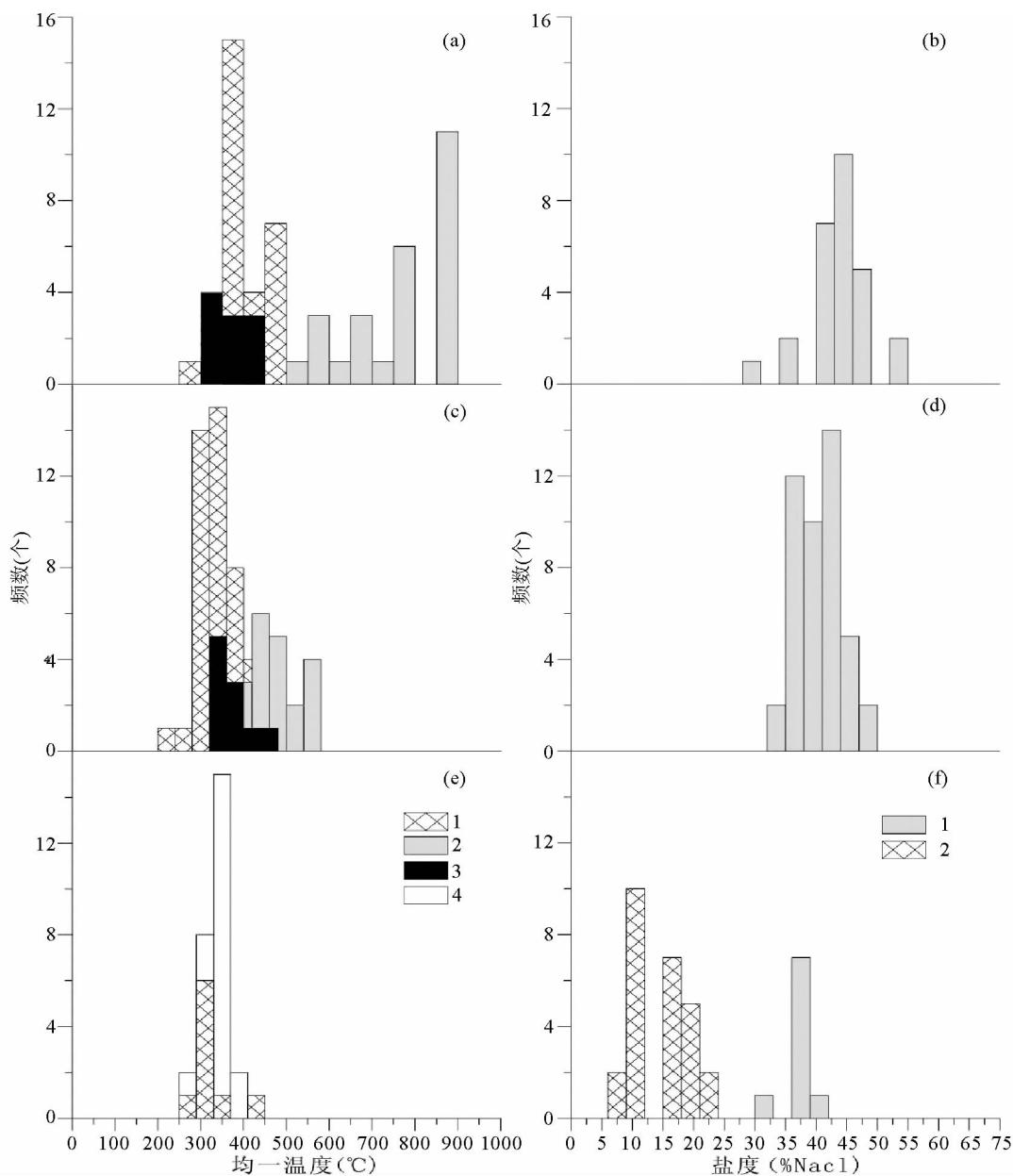


图4 各类矿化流体包裹体均一温度、盐度直方图

(a)-隐爆角砾岩筒型矿化三类流体包裹体均一温度直方图;(b)-隐爆角砾岩筒型矿化含 NaCl 子矿物三相流体包裹体盐度直方图;(c)-似层状微细脉浸染型矿化三类流体包裹体均一温度直方图;(d)-似层状微细脉浸染型矿化含 NaCl 子矿物三相流体包裹体盐度直方图;(e)-裂控脉型矿化二类流体包裹体均一温度直方图;(f)-裂控脉型矿化二类流体包裹体盐度直方图;(a, c, e):1-含 NaCl 子矿物三相流体包裹体;2-气相-富气相包裹体;3-含子矿物多项包裹体;4-气液亮相包裹体;(b, d, f):1-含 NaCl 子矿物三相流体包裹体;2-气液两相包裹体

Fig.4 The histograms of homogeneous temperature and salinity of different kinds of fluid inclusions
 (a)-the histograms of homogeneous temperature of three-kind of fluid inclusions in cryptoexplosive pipe type ores; (b)-the distogram of salinity of NaCl-daughter mineral-bearing three-phase fluid inclusions in cryptoexplosive pipe type ores; (c)-the histograms of homogeneous temperature of three-kind of fluid inclusions in bedded micro-fine vein disseminated type ores; (d)-the distogram of salinity of NaCl-daughter mineral-bearing three-phase fluid inclusions in bedded micro-fine vein disseminated type ores; (e)-the histograms of homogeneous temperature of two-kind of fluid inclusions in fault-controlled type ores; (f)-the distogram of salinity of two-kind of fluid inclusions in fault-controlled type ores; (a, c, e): 1-NaCl-daughter mineral-bearing three-phase fluid inclusions; 2-vapor-rich and vapor phase fluid inclusions; 3-daughter mineral-bearing multi-phase fluid inclusions; 4-aqueous two-phase fluid inclusions; (b, d, f): 1-NaCl-daughter mineral-bearing three-phase fluid inclusions; 2-aqueous two-phase fluid inclusions

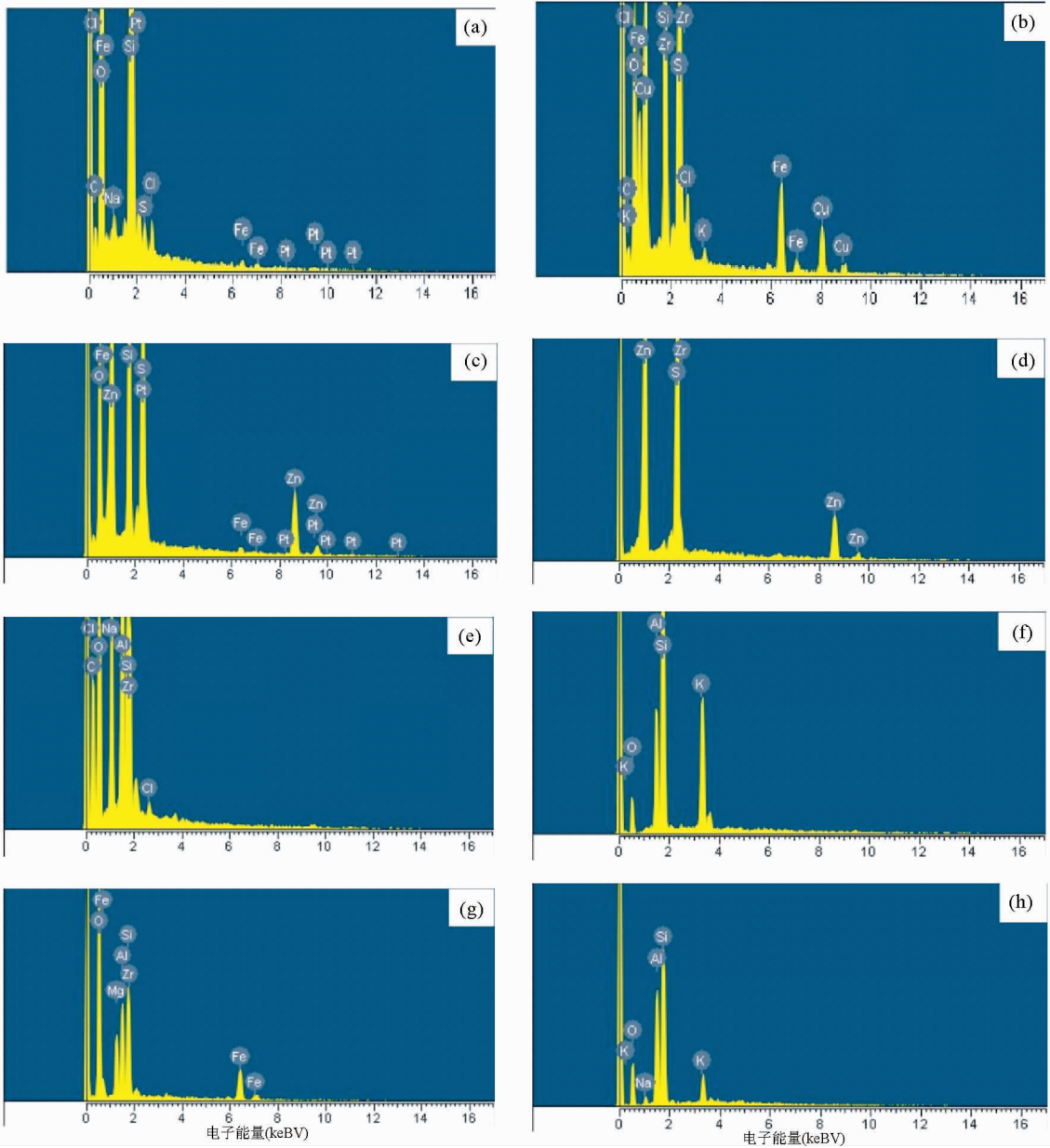


图5 流体包裹体中子矿物的扫描电镜能谱分析结果
(a)-黄铁矿;(b)-黄铜矿;(c, d)-闪锌矿;(e-h)-不同成分的硅酸盐子矿物

Fig.5 The results of SEM/EDS analyses of daughter minerals in fluid inclusions
(a)-pyrite; (b)-chalcopyrite; (c, d)-spherite; (e-h)-silicate minerals with different compositions

石英中均发育大量的含子矿物多相流体包裹体。王永等利用激光拉曼光谱分析,鉴别出了包括方解石、石英、石膏、拉长石等在内的多种子矿物(王永等,2007)。本次工作,利用扫描电镜对含子矿物多相包裹体中子矿物进行了识别,在不透明子矿物中发现了黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿,透明子矿物中也识别出不同成分的多种硅酸盐矿物(图5)。总的趋势是,硅酸盐及黄铜矿子矿物多出现在隐爆角砾岩筒矿石中,似层状微细脉浸染型矿石中未见硅酸盐子矿物,但黄铁矿、闪锌矿子矿物多于前者。

3.4 包裹体成分激光拉曼光谱分析

对隐爆角砾岩筒及似层状微细脉浸染型矿化石英中气相-富气相包裹体进行了激光拉曼光谱分析,结果表明,前类矿石中气相-富气相包裹体成分主要是 CO_2 , 后类矿石中气相-富气相包裹体成分则以 H_2O 为主,次为 CO_2 (图6)。

3.5 流体包裹体氢氧同位素分析

根据流体包裹体岩相学及测温结果,挑选3类矿化14个

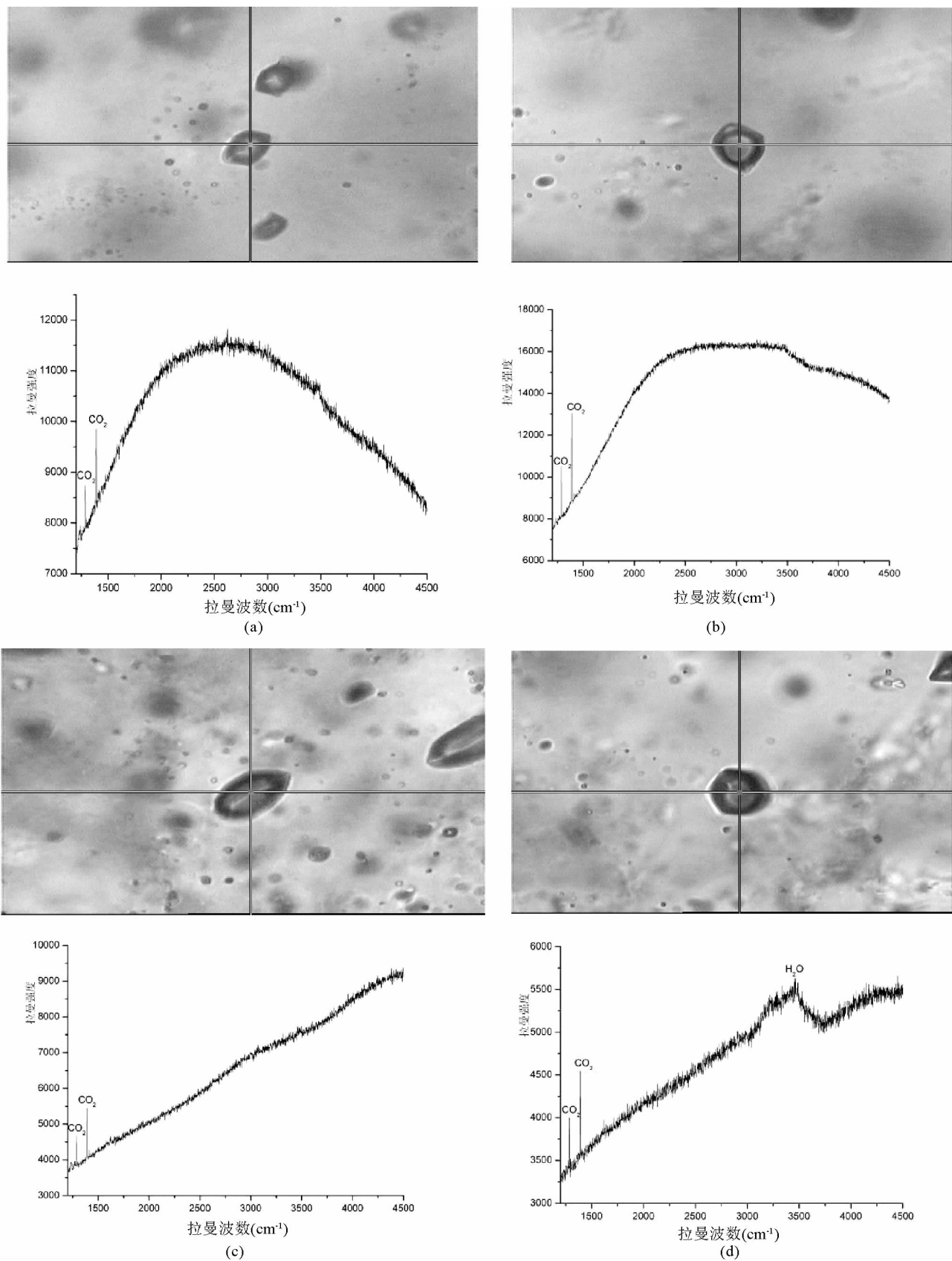


图6 气相-富气相流体包裹体成分激光拉曼光谱分析结果

(a, b)-隐爆角砾岩筒型矿化石英中气相-富气相包裹体成分激光拉曼光谱图;(c, d)-似层状微细脉浸染型矿化石英中气相-富气相包裹体成分激光拉曼光谱图

Fig. 6 The results of laser Raman analyses of vapor and vapor-rich fluid inclusions

(a, b)-the laser Raman spectra of vapor and vapor-rich fluid inclusions in quartz of cryptoexplosive pipe type ores; (c, d)-the laser Raman spectra of vapor and vapor-rich fluid inclusions in quartz of bedded micro-fine vein disseminated type ores

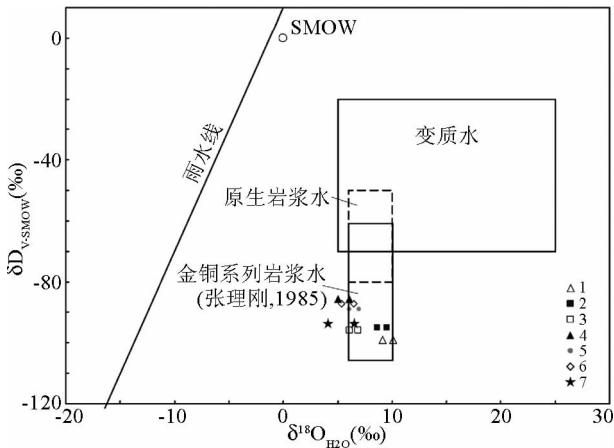


图7 三类矿化流体包裹体氢-氧同位素组成(据张理刚,1985资料修改)

1, 6-似层状微细浸染型矿化;2-5-隐爆角砾岩筒型矿化;7-裂控型矿化

Fig.7 The composition of hydrogen-oxygen isotope of fluid inclusions of three-type of mineralization (modified after Zhang, 1985)

1, 6-bedded micro-fine vein disseminated type mineralization; 2-5-cryptoexplosive brecciation pipe type mineralization; 7-fault-controlled type mineralization

样品进行了流体包裹体氢-氧同位素分析,结果表明(表1),所测3类矿化14个样品氢-氧同位素组成均落于正常岩浆水下方,但总体分布于张理刚(1985)金-铜系列岩浆水范围内及其附近(图7),说明3类矿化成矿流体均主要来自于岩浆热液。

4 讨论

4.1 成矿流体来源与性质

流体包裹体研究表明,金厂矿区3类矿化其流体包裹体在岩相学、显微测温、成分等方面均存在明显的差异,表明了其成矿流体来源及地球化学性质的不同。

(1)隐爆角砾岩筒及似层状微细脉浸染型矿化石英中均主要发育含固体子矿物多相、气相—富气相及含NaCl子矿物三相流体包裹体,前者所发育的含固体子矿物多相包裹体子矿物数量多,一般4~5个,多的可达6~7个,扫描电镜研究表明部分包裹体中发育有硅酸盐子矿物,因此存在典型的熔-流包裹体,其均一温度总体较高;后者所发育的含固体子矿物多相包裹体中,子矿物数量有所减少,多数在3~4个,扫描电镜研究未发现硅酸盐子矿物,因此,不存在熔-流包裹

表1 流体包裹体氢-氧同位素分析结果

Table 1 The composition of hydrogen-oxygen isotopes of fluid inclusions of Jinchang gold deposit

样品号	取样位置	样品名称	δD_{V-SMOW} (‰)	$\delta^{18}O_{V-SMOW}$ (‰)	形成温度 (°C)	$\delta^{18}O_{H_2O}$ (‰)
t-1	18号似层状矿体	石英	-99	13.7	420	10.06
t-2	18号似层状矿体	石英	-98	13.5	380	9.17
t-3	J ₀ 矿体	石英	-96	13.3	420	9.56
t-4	J ₀ 矿体	石英	-95	13.2	380	8.67
t-5	18号似层状矿体	石英	-96	10.5	420	6.86
t-6	18号似层状矿体	石英	-95	10.6	380	5.97
t-7	J ₁ 矿体	石英	-87	9.5	420	5.96
t-8	J ₁ 矿体	石英	-86	9.6	380	5.07
t-9	J ₈ 矿体	石英	-88	10.6	420	6.96
t-10	J ₈ 矿体	石英	-89	10.3	380	6.07
t-11	J ₈ 矿体	石英	-87	10.0	420	6.36
t-12	J ₈ 矿体	石英	-88	10.3	380	5.47
t-13	II号矿体	方解石	-95	15.5	200	6.57
t-14	II号矿体	方解石	-94	15.6	160	4.17

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所

体,其均一温度总体也略有降低(图4a, c);从子矿物熔化/溶解温度来看,两类矿化含子矿物多相包裹体中存在一定的相同组分的子矿物,但总的趋势是由隐爆角砾岩筒到似层状微细脉浸染型矿化,多相包裹体中子矿物熔化/溶解温度有所降低;在含NaCl子矿物三相流体包裹体发育数量上,2类矿化也存在明显的区别,前者石英中该类包裹体发育数量极少,而后者石英中此类包裹体发育量多,为主要包裹体类型之一。因此,总体来看,形成隐爆角砾岩筒型矿化的流体在性质上应属熔浆-溶液混合物,是一种岩浆-溶液过渡态流体;而形成似层状微细脉浸染型矿化的流体则为一种成分复杂的高盐度溶液体系。

(2)2类矿化石英中均发育大量的气相-富气相包裹体,激光拉曼光谱分析结果表明隐爆角砾岩筒型矿化石英中发育的该类包裹体成分主要为CO₂,而似层状微细脉浸染型矿化石英中发育的该类包裹体成分则以H₂O、CO₂为主。近年来,国外对岩浆岩开展的熔融包裹体研究表明,不同成分的挥发份自岩浆中分离出来的时间有较大的区别,一般规律为:CO₂、CH₄等较早从熔浆中分离出来,而H₂O从熔浆中分离出来的时间较晚。CO₂、CH₄等挥发份可以在岩浆岩尚未完全固结之前就从熔浆中分离出来,最早可在熔浆1/5左右固结时就分离出来;而H₂O一般则在熔浆结晶晚期,甚至

90%以上固结的情况下才能从岩浆体系中分离出来,形成岩浆期后热液(Webster, 2004; Kyounghee *et al.*, 2004; Veksler, 2004; Chang *et al.*, 2004)。两类矿化气相-富气相包裹体成分特征表明,形成隐爆角砾岩筒型矿化流体很可能来自未完全固结的岩浆侵入体,而形成似层状微细脉浸染型矿化的流体来源于固结程度很高的岩浆侵入体,这与前述有关隐爆角砾岩筒型矿化成矿流体为熔浆-溶液过渡态流体,而似层状微细脉浸染型矿化成矿流体为复杂成分高盐度溶液的地球化学性质结论相吻合。同时,大量气相-富气相包裹体的存在及其与含子矿物多相、含 NaCl 子矿物三相流体包裹体的共生发育,也表明两类矿化成矿过程中流体均发生过强烈不混溶/沸腾作用,这也是金属硫化物及金等成矿物质大量富集成矿的重要机制之一。

(3) 裂控型矿化石英中主要发育含 NaCl 子矿物三相及气液两相包裹体,显示成矿流体为成分相对简单的高盐度 NaCl-H₂O 溶液体系,与前 2 类矿化成矿流体存在明显区别。

(4) 3 类矿化流体包裹体氢-氧同位素分析结果表明,尽管它们在成分及地球化学性质上存在一定差异,但其来源均主要为岩浆流体。3 类矿化流体包裹体中均见黄铁矿、黄铜矿及闪锌矿等硫化物子矿物,这与矿石中发育的主要金属矿物组合一致,表明区内岩浆活动也为金、铜成矿作用提供了重要的成矿物质来源。

4.2 矿床成因及成矿作用

流体包裹体氢-氧同位素组成特征表明 3 类矿化的成矿流体均主要来自于岩浆活动,而且含硫化物子矿物包裹体的大量发育揭示出岩浆活动也为区内金、铜成矿作用提供了重要的物质来源。然而,3 类矿化流体包裹体在岩相学、显微测温、成分等特征方面所表现出的一系列差异也表明它们并非同期成矿,而是不同时期、不同性质流体成矿作用的产物。从所发育的流体包裹体类型、成分、均一温度等特征综合分析,隐爆角砾岩筒型矿化发育有成分最复杂、含子矿物数量最多的多相包裹体,特别是含有硅酸盐子矿物的熔-流包裹体,其均一温度高,与其共存的气相-富气相包裹体成分以 CO₂ 为主;而到了似层状微细脉浸染型矿化,含子矿物多相包裹体中硅酸盐类子矿物消失、同时出现了一些溶解温度更低的子矿物,其均一温度总体有所降低,与其共存的气相-富气相包裹体成分 H₂O 含量增加、CO₂ 相对含量降低。这暗示了两类矿化成矿流体之间可能存在着一种继承性演化关系,即从一种岩浆-溶液过渡态流体逐渐演化为一种复杂成分的高盐度溶液体系,它们岩浆演化到不同阶段的产物。由此推测,隐爆角砾岩筒型矿化形成在先,似层状微细脉浸染型矿化发生在后。似层状微细脉浸染型矿化产于燕山中-晚期隐伏的花岗斑岩体顶部,其形成应与该期花岗斑岩体就位及冷凝固结时代大体一致,成矿流体来自于该期岩体的结晶分异热液;而隐爆角砾岩筒型矿化应早于该期岩体的就位和冷凝固结,其成矿流体的岩浆-溶液过渡态流体性质表明它们是自

深部岩浆房上升、或伴随花岗斑岩岩浆上侵过程中,岩浆-溶液过渡态流体在大量挥发份强大内压力作用下发生隐爆作用形成角砾岩筒构造,继而随温度下降及不混溶/沸腾作用引发矿质沉淀成矿的结果。

裂控型矿化的成矿流体为一种成分相对简单的高盐度 NaCl-H₂O 热液体系,与前两类矿化成矿流体性质明显不同,而且其主要产物黄铁矿-石英脉明显穿切前两类矿体,表明其形成最晚,并对先期两类矿化产生叠加改造和进一步富集作用。已有年代学研究表明,该类矿化发生于 122.53 ± 0.88Ma(贾国志等,2005),而区内闪长玢岩体侵位时代为 127.9 ± 2.6Ma(陈锦荣等,2000),两者时代在误差范围内相近。构造应力场模拟研究表明,控制区内环 II 号、III 号及 XII 号矿脉群的环状及放射状裂隙均是该期次火山岩侵位的产物(陈锦荣等,2000)。因此矿区发育的裂控型矿化应是该期闪长玢岩体侵入活动的产物。

综上所述,金厂金矿床的形成是该区燕山中-晚期以来多期岩浆活动的产物,岩浆活动为金、铜成矿作用提供了大量的物质及热液来源。其成矿过程经历了岩浆在深部岩浆房初步结晶→岩浆上侵→岩浆-溶液过渡态流体隐爆及矿化→花岗斑岩体侵位及似层状微细脉浸染型矿化→闪长玢岩体侵位及裂控型矿化的复杂演化过程,是不同期次、不同性质岩浆来源流体叠加成矿作用的结果。

5 结论

(1) 金厂金矿床的形成与燕山中-晚期以来花岗斑岩及闪长玢岩体侵入活动有关,三类矿化是不同期次、不同来源与性质流体叠加成矿作用产物。

(2) 金厂金矿床的形成经历了岩浆在深部岩浆房初步结晶→岩浆上侵→岩浆-溶液过渡态流体隐爆及矿化→花岗斑岩体侵位及似层状微细脉浸染型矿化→闪长玢岩体侵位及裂控型矿化的复杂演化过程。

致谢 野外工作得到了武警黄金一支队王艳忠、张景海、程军、崔雷等同志的大力支持与帮助,袁玉娟、旦增白吉、陈俊等参加了研究工作,扫描电镜分析得到了谢奕汉研究员及刘俊来教授等的帮助,在此一并表示感谢!

References

- Chang ZS and Meinert LD. 2004. The magmatic-hydrothermal transition: Evidence from quartz phenocryst textures and endoskarn abundance in Cu-Zn skarns at the Empire Mine, Idaho, USA. *Chemical Geology*, 210:149 - 171
- Fan HR, Xie YH and Wang YL. 1998. Determining daughter minerals in fluid inclusions under scanning electron microscope. *Geological Science and Technology Information*, 17(Suppl.): 111 - 116 (in Chinese with English abstract)
- Jia GZ, Chen JR, Yang ZG, Bian HY, Wang YZ, Liang HJ, Jin TH and

- Li ZH. 2005. Geology and genesis of the superlarge Jinchang gold deposit. *Acta Geologica Sinica*, 79(5):661-670 (in Chinese with English abstract)
- Kyounghee Y and Bodnar RJ. 2004. Orthomagmatic origin for the Ilkwang Cu-W breccia pipe deposit, southeastern Kyongsang basin, South Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24:259-270
- Lu HZ, Fan HR, Ni P, Ou GX, Shen K and Zhang WH. 2004. Fluid Inclusions. Beijing: Science Press, 1-487 (in Chinese)
- Meng QL, Zhou YC and Chai SL. 2001. Porphyry-Hydrothermal Copper-Gold Deposits in East Yanbian, China. Changchun: Jilin Science and Technology Publishing House, 1-163 (in Chinese)
- Rui ZY, Zhang HT, Wang LS, Chen RY, Jin BL, Jin FZ, Wan YS, Zhou YC and Meng QL. 1995. Porphyry-hydrothermal copper-gold deposits in Yanbian area, Jilin Province. *Mineral Deposits*, 14(2):99-113 (in Chinese with English abstract)
- Veksler IV. 2004. Liquid immiscibility and its role at the magmatic-hydrothermal transition: A summary of experimental studies. *Chemical Geology*, 210:7-31
- Webster JD. 2004. The exsolution of magmatic hydrosaline chloride liquids. *Chemical Geology*, 210:33-48
- Wang KY, Wang L, Liu ZH and Wang JY. 2008. Characteristics of fluid inclusions and origin of Gaojiapuzi silver deposit, Liaoning Province. *Acta Petrologica Sinica*, 24(9):2085-2093 (in Chinese with English abstract)
- Wang KY, Qing M, Sun FY, Wan D, Wang L and Li XW. 2010a. Study on the geochemical characteristics of ore-forming fluids and genesis of Xiaoxinancha gold-copper deposit, Jilin Province. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12):3727-3734 (in Chinese with English abstract)
- Wang KY, Qing M, Bian HY, Wan D, Sun FY, Liu Zh and Ji ZJ. 2010b. The geological features and geochemistry of ore-forming fluids of Wulong gold deposit in Liaoning Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 40(3):557-564 (in Chinese with English abstract)
- Wang Y, Xi BB, Zhang DH and Zhang WH. 2007. Geochemical characteristics of fluid inclusions in Jinchang gold deposit, Heilongjiang Province. *Mineral Deposits*, 26(2):184-194 (in Chinese with English abstract)
- Xie YL, Xu JH, Yang ZS, Meng YF, Xu WY, Qiu SD and Wang BH. 2004. SEM/EDS study of daughter minerals of fluid inclusions in garnet and diopside from Tongguanshan copper deposit. *Mineral Deposits*, 23(3):375-381 (in Chinese with English abstract)
- Yang SS, Wang KY, Hao TS, Sun FY, Liu ZH, Wan D, Zhang XD, Huang JP and Bian HY. 2010. Characteristics of fluid inclusions and genesis of Sidaogou gold deposit in Dandong area, Liaoning Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 40(4):773-780 (in Chinese with English abstract)
- Zhang LG. 1985. *Petrogenetic and Minerogenetic Theories and Prospecting-Stable Isotopic Geochemistry of Main Type Ore Deposits and Granitoids of China*. Beijing: Beijing Industrial University Press, 1-200 (in Chinese)
- Zhang WH, Chen ZY and Zhang ES. 1993. *Geology of Fluid Inclusions*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1-193 (in Chinese)
- Zhang WH, Qin JY, Zhang DH, Tian L, Wang LL and Wang Y. 2008. Fluid inclusion indicators in porphyry Au deposits: Taking Jinchang gold deposit, Heilongjiang Province as an example. *Acta Petrologica Sinica*, 24(9):2011-2016 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 范宏瑞, 谢奕汉, 王英兰. 1998. 扫描电镜下流体包裹体中子矿物的鉴定. *地质科技情报*, 17(增刊):111-116
- 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及成因研究. *地质学报*, 79(5):661-670
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社, 1-487
- 孟庆丽, 周永昶, 柴社力. 2001. 中国延边东部斑岩-浅成热液型铜金矿床. 长春: 吉林科学技术出版社, 1-163
- 芮宗瑶, 张洪涛, 王龙生, 陈仁义, 金伯禄, 金逢洙, 王玉胜, 周永昶, 孟庆丽. 1995. 吉林延边地区斑岩型-浅成热液型金铜矿床. *矿床地质*, 14(2):99-113
- 王可勇, 王力, 刘正宏, 汪建宇. 2008. 辽宁高家堡子大型银矿床流体包裹体特征及矿床成因. *岩石学报*, 24(9):2085-2093
- 王可勇, 卿敏, 孙丰月, 万多, 王力, 李向文. 2010a. 吉林小西南岔金-铜矿床成矿流体地球化学特征及矿床成因研究. *岩石学报*, 26(12):3727-3734
- 王可勇, 卿敏, 边红业, 万多, 孙丰月, 刘正宏, 纪兆家. 2010b. 辽宁五龙金矿床地质特征及成矿流体地球化学性质. *吉林大学学报(地球科学版)*, 40(3):557-564
- 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. *矿床地质*, 26(2):184-194
- 谢玉玲, 徐九华, 杨竹森, 蒙义峰, 徐文艺, 邱士东, 王葆华. 2004. 铜官山铜矿床砂卡岩矿物中流体包裹体及子矿物的扫描电镜研究. *矿床地质*, 23(3):375-381
- 杨帅师, 王可勇, 郝通顺, 孙丰月, 刘正宏, 万多, 张晓东, 黄俊鹏, 边红业. 2010. 辽宁丹东四道沟金矿床流体包裹体特征及矿床成因. *吉林大学学报(地球科学版)*, 40(4):773-780
- 张理刚. 1985. *成岩成矿理论与找矿-中国主要类型矿床及花岗岩类岩石的稳定同位素地质学*. 北京: 北京工业大学出版社, 1-200
- 张文淮, 陈紫英, 张恩世. 1993. *流体包裹体地质学*. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-193
- 张文淮, 秦江艳, 张德会, 田璐, 王丽丽, 王永. 2008. 斑岩型金矿床的包裹体标志: 以黑龙江金厂金矿床为例. *岩石学报*, 24(9):2011-2016