

文章编号 10258-7106 (2009) 01-0083-10

黑龙江东宁县金厂金矿围岩蚀变和成矿年代学特征^{*}

李真真 李胜荣 张华锋

(中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

摘 要 金厂金矿床位于黑龙江省东宁县境内, 构造上位于显生宙兴蒙造山带东端, 隶属松辽地块。由于缺乏精确可靠的成矿时代和深入的热液蚀变研究, 导致前人对该矿床的类型存在不同认识。为深入认识该矿床的类型和形成时代, 文章对矿区 18[#] 矿体的 7 个钻孔岩心进行了详细的热液蚀变矿物组合分带和成矿时代研究。结果表明, 该矿体在水平方向上和垂向上均存在较为明显的蚀变分带现象; 从底部到顶部分别发育钾长石化带、绢英岩化带和青磐岩化带。该分带现象与典型的斑岩型矿床的垂向蚀变分带特征一致, 暗示该矿床应为斑岩型, 黄铁绢英岩化花岗岩和花岗斑岩脉中的绢云母单颗粒 Rb-Sr 同位素测年结果分别为 $(107 \pm 5) \text{ Ma}$ 和 $(110 \pm 3) \text{ Ma}$, 表明成矿时代发生在 110 Ma 左右。这与花岗斑岩脉中锆石获得的 $(113 \pm 2) \text{ Ma}$ 的 U-Pb 年龄一致, 进一步支持该矿床类型为斑岩型金矿的结论。根据目前矿区矿体剥蚀情况来看, 斑岩体尚未出露, 深部仍有很大的找矿前景。

关键词 地质学, 围岩蚀变, 绢云母 Rb-Sr 年龄, 斑岩型金矿, 金厂金矿

中图分类号 618.51

文献标志码 A

Wall rock alteration and metallogenic chronology of Jinchang gold deposit in Dongning County, Heilongjiang Province

LI ZhenZhen, LI ShengRong and ZHANG HuaFeng

(State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The Jinchang gold deposit, located geographically in eastern Heilongjiang Province and tectonically at the easternmost portion of the Central-Asian Orogenic Belt, is one of the important gold districts in eastern Jilin-Heilongjiang provinces. Mesozoic granitic intrusions and hydrothermal rocks related to gold mineralization are widespread in this region. Although numerous researches have been undertaken on this deposit, its genetic type, age and tectonic setting remain controversial, mainly because of the lack of precise and reliable geochronological data. Vertical and lateral hydrothermal alteration zoning of potassic, phyllic, propylitic and argillic minerals can be observed within and around the porphyry granite. These hydrothermal characteristics are similar to things of the typical porphyritic deposits. Sericites separated from the pyrite-phyllic altered granite (with Early Mesozoic U-Pb ages) and porphyry granite yield Rb-Sr ages of ca. 110 Ma or so, and zircons from the porphyry granite yield a U-Pb age of $(113 \pm 2) \text{ Ma}$ (2σ). Therefore, the timing of the main gold mineralization in the Jinchang gold deposit is constrained around 110 Ma and the porphyry granite is spatially and temporally associated with gold mineralization. The denudation of the ore bodies indicates that the porphyry granite has not been exposed at the surface and the prospecting potential at depth is great.

^{*} 本研究得到国土资源部公益性行业科研专项(编号 200811011)资助

第一作者简介 李真真, 女, 1984 年生, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 从事成因矿物学与找矿矿物学研究。Email: windy-lizhenzhen@163.com

收稿日期 2008-06-10; 改回日期 2008-10-25。张绮玲编辑。

Key words: geology, wall rock alteration, sericitic Rb-Sr age, porphyry gold deposit, Jinchang gold deposit

金厂金矿床位于黑龙江省东南部东宁县境内,该金矿床发现与研究始于 20 世纪 90 年代,迄今累计提交金资源量超过 40 t。前人曾在地质特征、成矿流体和矿床类型等方面做过不少研究,成果斐然^①(慕涛等,2000;李高生等,2003;朱成伟等,2003;贾国志等,2005;王永等,2007;李真真等,2007),但对一些关键性问题仍存在争议,如矿床类型方面,前人有斑岩之网脉-角砾岩型(刘连登等,1999a;1999b)、浅成低温热液型(朱成伟等,2003)、斑岩和浅成低温热液矿床叠加及与火山-次火山热液有关(贾国志等,2005)等不同的认识,在成矿时代方面,前人提出主要成矿作用与燕山中晚期花岗斑岩和燕山晚期闪长玢岩有关,金矿成矿年龄为 119~122 Ma^①(贾国志等,2005)。但迄今为止,矿区仍缺乏深入的热液蚀变研究,各期主要的岩浆活动时间、岩浆与成矿在成因上的关系仍缺乏可靠的年龄数据的支持。

详细深入的热液蚀变研究及精确的成矿时代的确立对本区深部找矿以及区域成矿规律总结和远景预测有着重要的理论和应用意义。为此,本文对矿区 18[#]矿体的 7 个钻孔岩心进行了详细的热液蚀变矿物组合分带填图,并通过单颗粒云母和黄铁矿的 Rb-Sr 同位素年代学研究,确定了成矿时代,为区域成矿对比提供了科学依据。

1 矿床地质

金厂矿区(图 1)位于黑龙江省东部东宁县境内。一级大地构造属于显生宙兴蒙造山带东端,二级构造隶属松辽地块。该地区北临佳木斯和兴凯两地块,南临华北板块北缘,总体属于中亚蒙古构造域和滨西太平洋构造域交接复合区(张炯飞等,2000;王东方等,1992;方如恒等,1994)。其三级构造则位于太平岭隆起与老黑山断陷交接部位。本区断裂构造比较发育,西北部是北东向的绥阳深大断裂,其长期活动派生出一系列不同方向、不同性质的低序次断裂,形成了“米”字形断裂系,是区内最基本的构造格架,也是区内最重要的控矿构造。

矿区内大面积分布印支期-燕山期中酸性侵入岩,矿区外围出露少量新元古界黄松群变质岩系,矿

区及其外围零星出露中-上侏罗统屯田营组($J_{2-3}t$)火山岩系。根据野外穿插关系和年龄数据划分出 5 期岩浆活动^①,依次为:印支早期闪长岩;印支晚期-燕山早期含黑云母二长闪长岩、花岗闪长岩(163~216 Ma,全岩 K-Ar 法年龄);燕山中期粗粒花岗岩(138 Ma,绢云母 K-Ar 法年龄);燕山晚期花岗斑岩;燕山晚期闪长玢岩(97.5 Ma,全岩 K-Ar 法年龄)。前人研究认为金厂金矿化主要与燕山晚期的花岗斑岩和闪长玢岩岩浆活动紧密相关^①(贾国志等,2005)。

矿区已发现的矿体产状主要有 3 种类型:隐爆角砾岩型、环状-放射状裂隙充填型、岩浆穹隆构造型。其中,隐爆角砾岩型矿体规模最大,储量占 41%,以半截沟 I 号隐爆角砾岩筒矿体为代表;环状-放射状裂隙充填型受半截沟大型环状构造控制,储量占 39%;岩浆穹隆型金矿体以分布在半截沟环形构造深部的 18[#]矿体为代表,储量占 20%。

据金矿体的产状、矿化蚀变组合、含金矿脉组合及其相互穿插关系,将金厂矿区的成矿阶段分为如下 5 个阶段:①角砾岩筒蚀变矿化阶段/黄铁绢英岩化阶段;②石英-黄铁矿脉阶段;③多金属硫化物脉阶段;④黄铁矿-碳酸盐脉阶段;⑤表生阶段。对应的金矿石按其产状、矿物组合及结构构造可以分为 4 个类型: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。金的富集程度以多金属硫化物石英脉型矿石最高,蚀变岩型矿石最低。

金矿石属富硫化物矿石,硫化物含量高。矿石矿物主要为黄铁矿,其次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、磁黄铁矿、辉钼矿、辉锑矿、磁铁矿、褐铁矿、赤铁矿、镜铁矿、自然金、银金矿、金银矿、自然银等。脉石矿物主要为石英、长石、绢云母、高岭石,其次为方解石、角闪石、黑云母、绿泥石、绿帘石、冰长石等。黄铁矿是矿区内主要的矿石矿物,也是主要的载金矿物。

2 围岩蚀变特征

2.1 围岩蚀变类型及特征

工作区围岩蚀变现象广泛发育,前人对隐爆角

① 陈锦荣,金宝义,王科强. 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. 廊坊:武警黄金地质研究所.

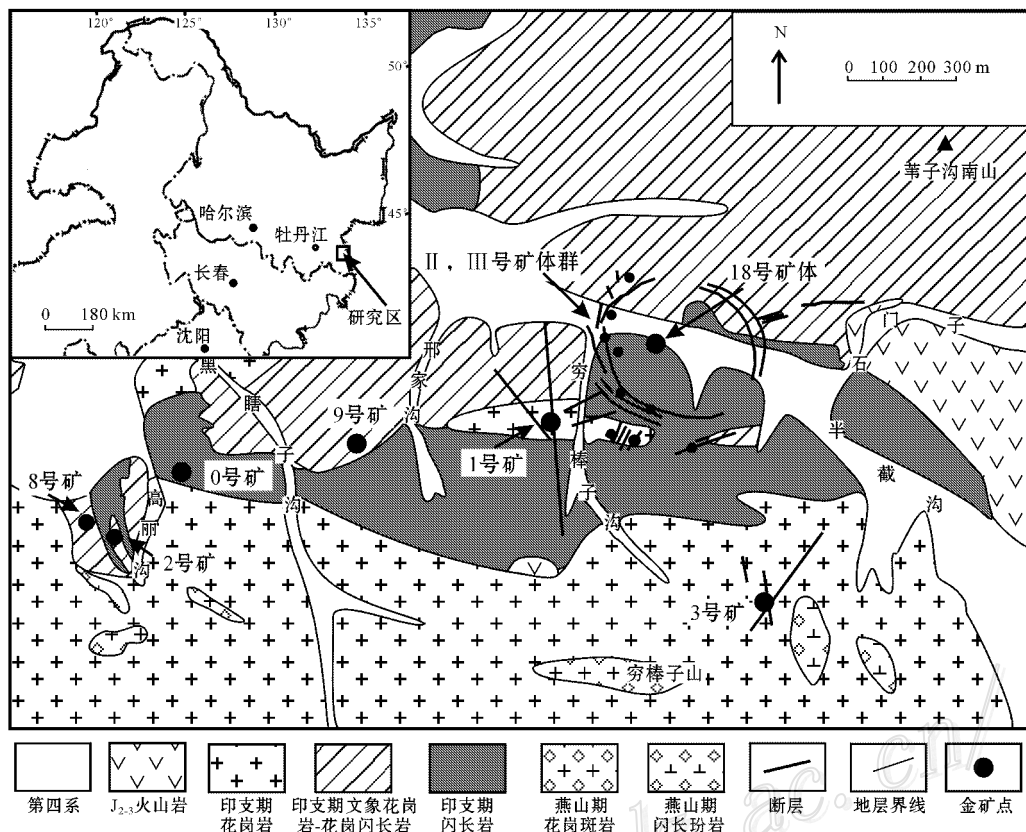


图 1 黑龙江省金厂金矿区域地质简图(据陈锦荣等 2000^①)

Fig. 1 Geological map of the Jinchang gold deposit in Heilongjiang Province(modified after Chen et al., 2000)

砾岩型矿体及裂隙充填型矿体的蚀变特征进行过详细研究。本次研究重点为岩浆穹隆型矿体,重点观察了 18# 矿体的 ZK04、05、09、13、14、1501、1502 等钻孔岩心及显微镜下的蚀变特征,其蚀变类型主要有钾化(红化)、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,偶见冰长石化。

钾化(红化):主要指钾长石化,有时表现为黑云母化。钾长石化是一种高温面型交代蚀变作用,岩石呈肉红色或褐红色,呈交代及充填状产出,镜下可见钾长石交代斜长石以交代净边结构产出,也可见呈细脉状产出。X 射线粉晶衍射表明形成的矿物为微斜长石。红化的特征是在镜下可见长石中斑点状的赤铁矿或褐铁矿。

硅化:各种类型围岩均遭受不同程度的硅化。硅化常呈交代和充填状产出,表现为他形细粒石英呈鱼子状集合体,沿矿物的解理或微裂纹交代充填,

小颗粒石英依斜长石环带边缘交代,有时也交代或切割钾长石,硅化较强时在围岩中呈石英脉产出,这类石英颗粒较大,有时可见与黄铁矿伴生。

绢云母化:绢云母化在矿区广泛发育,镜下主要见 3 种类型的绢云母:①斜长石自变质产生的绢云母;②交代斜长石、钾长石、黑云母等产出的绢云母,充填在长石、石英等矿物的颗粒间;③当热液蚀变作用增强后,原生的斜长石等矿物被全部交代,形成大量热液蚀变的绢云母和石英。

高岭石化:高岭石化在矿区也比较发育,在半截沟 J-1 矿体和 ZK04 孔的破碎带中最为发育,强烈高岭石化时岩石中的钾长石和斜长石几乎全部被高岭石化并形成其假象,岩石呈白色。常与绢云母化、碳酸盐化等蚀变叠加在一起。

黄铁矿化:在矿区广泛发育,呈浸染状、脉状和团块状产出。围岩中黄铁矿以浸染状为主,通常与蚀变矿物绢云母共生,以 ZK04 孔最为典型;其次为

① 陈锦荣,金宝义,王科强. 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. 廊坊:武警黄金地质研究所.

细脉状,在各种围岩中均有不同程度的发育,沿岩石的节理或裂隙充填,构成 0.1~10 mm 宽的细网脉状。呈浸染状产出的黄铁矿晶形较好,而脉状黄铁矿多为他形。

绿泥石化:在偏中性岩,如石英闪长岩、闪长岩中非常发育。绿泥石可以交代岩石中的暗色矿物,如黑云母、角闪石等,呈不规则的云雾状或沿黑云母的解理分布,并伴生有帘石类矿物,也可以呈细脉状集合体充填在岩石的裂隙中。

阳起石化、电气石化:阳起石化在局部地区发育,如 J-1 角砾岩筒矿体中有粗晶阳起石团块,ZK04 孔 293 m 处可见到粗晶的阳起石脉;热液蚀变形成的绢云母和自形的石英颗粒中,常见不规则分布的针状电气石。这 2 种蚀变是高温汽化和富含挥发组分的结果。

碳酸盐化:碳酸盐化形成于热液蚀变的最后一期,往往叠加在已硅化、绢云母化的岩石之上,镜下见方解石呈不规则团块状、云朵状产出,有的呈细脉状充填在岩石裂隙中。

由各类蚀变作用产生的蚀变岩石特征及显微镜下观察到的热液蚀变矿物的生成顺序,可以看出本区围岩蚀变经历了从高温到低温、多阶段的热液蚀变作用。其中,阳起石代表了高温阶段的蚀变矿物,而中高温阶段硅化较发育,中低温阶段绢云母化和绿泥石化较发育,黄铁矿化则伴随着高-中-低温各阶段均有出现。各类蚀变作用发育的次序,如表 1 所示。

2.2 蚀变组合及分带

矿区围岩蚀变显示了从高温到低温多阶段的热液活动(表 1)。系统的观测表明,各类蚀变作用在空间上呈现有规律的分布,每个蚀变相带明显表现出相互叠加的现象,形成蚀变组合分带。矿区常见的蚀变组合有:钾化(钾长石化+硅化±黄铁矿化)、绢英岩化(绢云母化+硅化±黄铁矿化)和青磐岩化(绿泥石化+绿帘石化±黄铁矿化±碳酸盐化),局部可见泥化(高岭石化±绢云母化±硅化±黄铁矿化)。

各蚀变组合分带在矿体周围常依一定顺序出现,不同矿体类型的蚀变强度、范围及分带也不尽相同。对 18[#]矿体 7 个钻孔岩心进行了蚀变矿物组合观测和分带。其中的 5 个钻孔(ZK13、ZK14、ZK04、ZK05、ZK09)可识别出明显的蚀变组合分带。图 2a

标注了它们在矿区地质图上的位置,为了表示蚀变作用在 18[#]矿体中的空间组合分带情况,笔者在图 2a 中选取了一条方向线,使上述 5 个钻孔与这条线之间的距离和最小,然后将这 5 个钻孔投影到这个方向上,根据各个钻孔已划分出来的蚀变分带,作出了一个蚀变分带剖面示意图(图 2b)。这并非一个精确的剖面图,而只是蚀变分带在空间上分布状态的示意图。图 3 以 ZK04 和 ZK14 孔为例,列出了这 2 个钻孔的岩性及与其相应的蚀变矿物组合,可见这 2 个孔蚀变作用分带性很明显,从底部到顶部均分别发育钾化带、绢英岩化带和青磐岩化带,只是各蚀变组合带的强度和规模不尽相同。蚀变作用非常强烈的地方发育强黄铁绢英岩化(±泥化),岩石呈灰白色,疏松状,这些区段是良好的矿化带。18[#]矿体即是根据数个钻孔圈定出来的蚀变岩型矿体,矿体主要产于蚀变形成的黄铁绢英岩中。其他 3 个钻孔的蚀变特征分别是:ZK13 孔上部岩石蚀变微弱,中下部青磐岩化带比较发育,108~203m 发育泥化带,底部发育弱绢英岩化带,ZK05 和 ZK09 孔钾化带和青磐岩化带比较发育,绢英岩化带相对较窄。值得注意的是,各蚀变相带之间的界限并非截然的,而是有一定的渐变过渡的关系。

可以看出,总体上,本矿体纵向上从深部到浅部、横向上从内带到外带,分别发育钾化带、绢英岩化带(叠加部分泥化)和青磐岩化带(图 2b)。绢英岩化带一些构造薄弱区叠加强黄铁矿化和高岭石化,这些强黄铁绢英岩化带就成为很好的矿化带。

此次蚀变分带也发现围岩岩性对蚀变矿物组合有一定影响,钻孔揭露岩性以花岗岩、花岗闪长岩为主,其中穿插有多条闪长岩脉,ZK14 孔可见数条花岗斑岩脉。强钾化带多数出现在花岗岩和花岗斑岩中,在闪长岩脉中较少发育,而大规模青磐岩化则较

表 1 热液作用的不同温度阶段的蚀变作用

Table 1 Alterations in different stages based on temperature of thermofluid

温度阶段	蚀变作用
高温阶段	主要为阳起石化、电气石化、钾长石化
中高温阶段	主要为硅化、黄铁矿化,可见钾长石化、绢云母化、绿泥石化
中低温阶段	主要为绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、高岭石化,可见硅化和黄铁矿化
表生阶段	主要为褐铁矿化,少量高岭石化

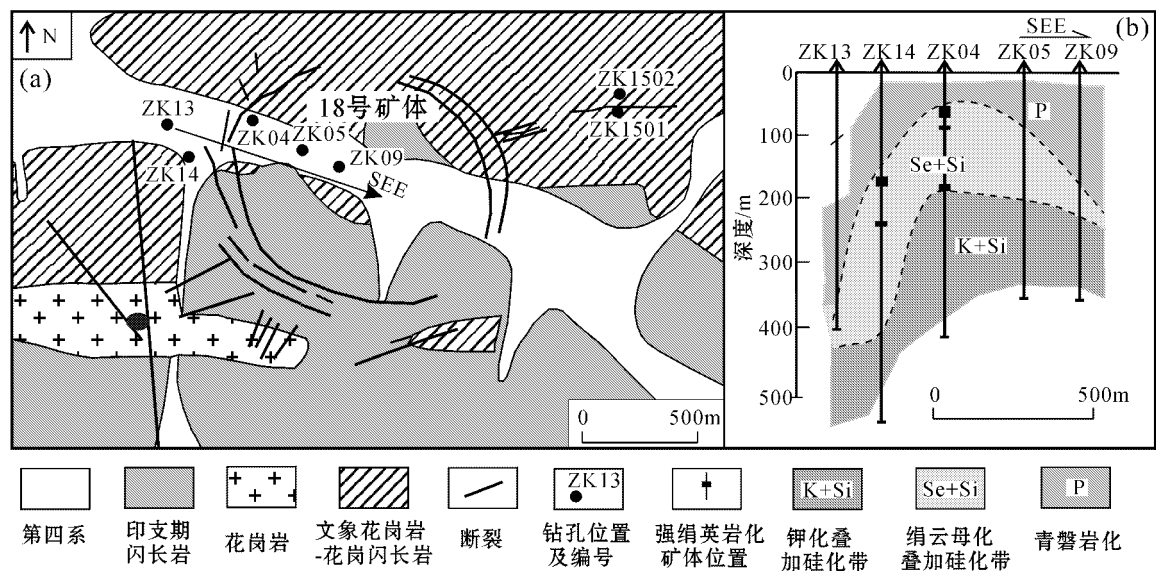


图 2 所观测钻孔位置分布图 (a) 和 18# 矿体蚀变分带剖面示意图 (b)

Fig. 2 Distribution of observation drill holes (a), sketch profile diagram of hydrothermal alteration assemblage zoning (b) of 18# orebody

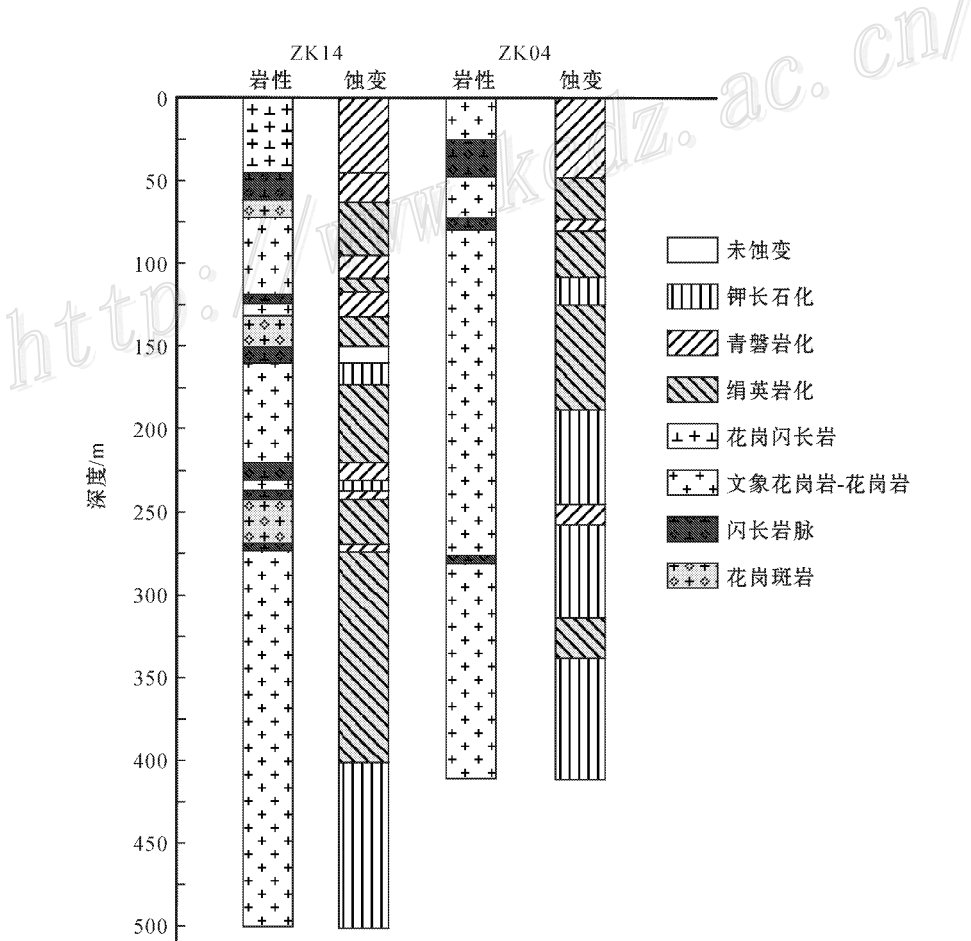


图 3 ZK04 孔和 ZK14 孔岩性和蚀变分带图

Fig. 3 Lithology and alteration of No. ZK04 and No. ZK14 drillings

多的出现在花岗闪长岩和闪长岩脉中,花岗岩中仅镁铁质矿物角闪石、黑云母发生绿泥石化和绿帘石化。

前人对半截沟 J-1 隐爆角砾岩型金矿体外围岩蚀变组合进行了研究^①,同样识别出几个蚀变组合带(图 4a)。围绕角砾岩筒(矿体)主要发育钾化带和绢英岩化带,远离矿体青磐岩化比较发育。而角砾岩筒内主要发育的蚀变组合为黄铁绢英岩化和强钾化。裂隙充填型矿体围岩蚀变的特点是:蚀变带范围较窄,且沿裂隙(矿脉)两侧呈较对称的带状分布。内带为黄铁绢英岩化叠加高岭石化带,外带为钾长石化带(图 4b)。上述蚀变分带间没有明显的界线。不同的矿脉间或同一矿脉的不同部位,各蚀变带的强度也不尽相同。

此外,岩心中各类含黄铁矿细脉两侧也观察到明显的蚀变组合分带。按脉体形成的时间顺序:早期黄铁矿-石英脉两侧蚀变带围绕脉体呈对称分布,从靠近脉体到远离脉体,分别发育钾化带、绢英岩化带和青磐岩化带,各带之间呈现渐变过渡的界限;接下来一期含石英黄铁矿脉两侧发育强钾化带,向外是弱绿泥石化带(图 5a);后期多金属硫化物脉两侧

青磐岩化带叠加在前期发育的面状钾化带之上(图 5b)。

3 成矿年代

3.1 样品采集

前人将矿区成矿阶段划分为与花岗斑岩有关的早期成矿以及与闪长玢岩类有关的晚期成矿,但目前尚无准确可靠的同位素年代学资料支持这种关系。贾国志等(2005)从 I 号隐爆角砾岩矿体中采集了石英-黄铁矿脉,对其中的石英进行了 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素定年,获得了 122 Ma 的阶段坪年龄,并认为此年龄代表了燕山晚期与斑岩体相关的成矿年龄。从年龄坪来看,样品低温和高温阶段有大量过剩 Ar 存在,从而形成“U”型台阶状。笔者在镜下观察石英-黄铁矿脉中石英颗粒较大,内部含有众多矿物包体,以长石、绢云母集合体居多。而长石和绢云母都是富 K 矿物,都可能形成放射成因 Ar,但这些矿物的形成时代不能保证与石英的形成是同期的,相关的放射成因 Ar 可能是不同时代产物的混合物,所测数据可能不是代表了石英形成的时代,因此,贾国志等的单个样品测试结果缺乏可靠性。

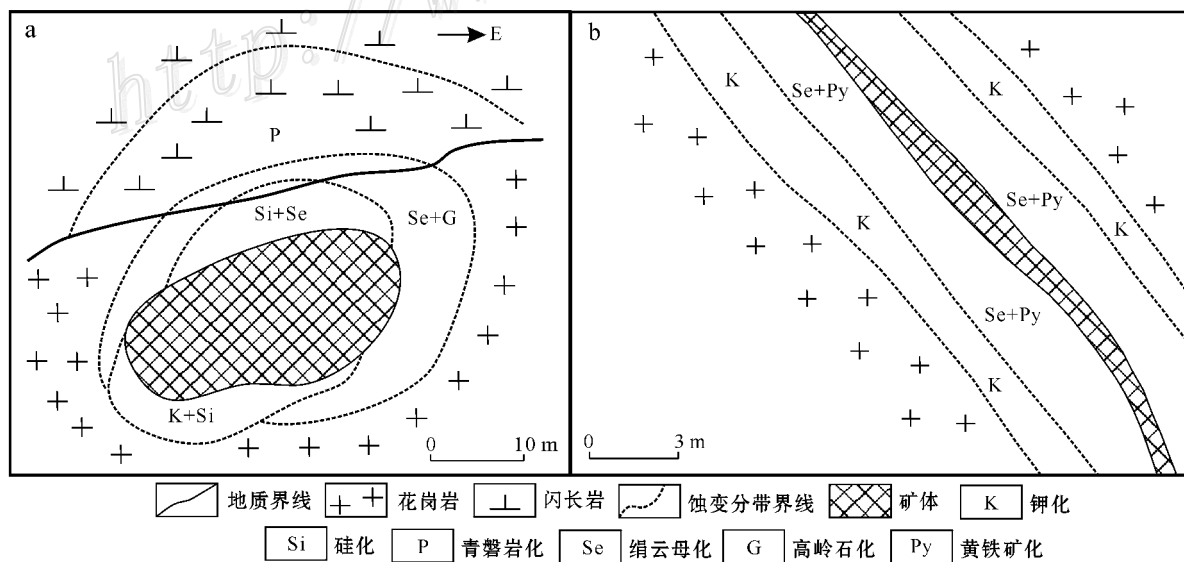


图 4 隐爆角砾岩型矿体围岩蚀变矿物组合分带(a)及裂隙充填型矿体围岩蚀变矿物组合分带(b)(引自陈锦荣等,2000^①)

Fig. 4 Wall rock alteration assemblage zoning of cryptoexplosive breccia ore body (a) and fissure-filling deposit (b)

(after Chen et al., 2000)

① 陈锦荣,金宝义,王科强. 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. 廊坊:武警黄金地质研究所.

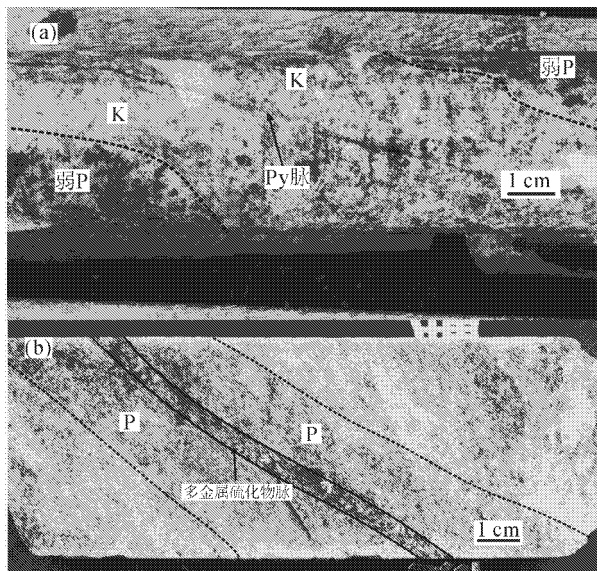


图 5 石英-黄铁矿脉两侧的钾化蚀变(a)及石英-多金属硫化物脉两侧的青磐岩化蚀变(b)

K—钾化;Py—黄铁矿;P—青磐岩化

Fig. 5 Bilateral potassic alteration zoning along quartz pyrite vein(a) and bilateral propylitic alteration zoning along quartz polymetallic sulfide vein(b)

采用热液交代 Rb-Sr 同位素体系测量金矿床的成矿年龄已有不少学者论证并采用(Andre et al., 1986; Jager, 1979; 魏春生等, 1997; 李秋立等, 2006)。本区与金矿化相关的蚀变主要为强黄铁绢英岩化,代表了成矿早期阶段,因此,本文采用强烈交代蚀变的黄铁绢英岩中单颗粒绢云母和黄铁矿为测试对象,利用 Rb-Sr 等时线法测定金厂金矿床的成矿时代。

本次样品分别采自 ZK04 钻孔 91m、333 m 两处强绢英化岩石和 ZK14 钻孔 143 m 和 180 m 两处强黄铁绢英化岩石,编号分别为 ZK04-91、ZK04-333、ZK14-143、ZK14-180,分别挑选了绢云母和黄铁矿,进行了微量矿物 Rb-Sr 同位素定年。镜下可见这 4 个样品的绢云母已基本完全交代了斜长石和钾长石,绢云母呈雪片状,颗粒较大,不同于斜长石自变质作用产生的绢云母。

3.2 测试流程与测试结果

绢云母的 Rb-Sr 化学分离与质谱测试在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素地球化学实验室完成。详细过程描述见李秋立等(2006)。同位素比值测试在高精度固体热电离质谱计 IsoProbe-T 上进行,仪器参数详见陈福坤等(2005)文献。分析

结果见表 2。

样品 ZK04-91 岩性为中粗粒文象花岗岩, ZK04-333 为中粗粒花岗岩, ZK14-143 为花岗斑岩,而 ZK14-180 为花岗闪长岩。ZK04 孔 2 个样品的绢云母 Rb-Sr 同位素未能获得良好的等时线年龄,可能与样品叠加了后期弱的泥化作用有关,同位素体系受到扰动而不均一。ZK14-143、ZK14-180 两样品的黄铁矿 Rb、Sr 含量很低, Rb/Sr 比值很小(见表 2),未能获得良好等时线。对样品 ZK14-143 和 ZK14-180 中的绢云母分别进行了 6 个点的测试,其 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比值分别变化于 37.6~66.5 和 60.5~110.0; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值则分别变化在 0.762343~0.806315 和 0.800549~0.879884 之间,绢云母等时线年龄分别为 $(107 \pm 5) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.91)(图 6a)和 $(109.6 \pm 3.7) \text{ Ma}$ (MWSD = 1.04)(图 6b); I_{Sr} 分别为 (0.7053 ± 0.0033) 和 (0.7063 ± 0.0047) ;笔者将它们绢云母测点与各自的黄铁矿测点做等时线年龄,分别获得 $(104 \pm 6) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.18)和 $(110.3 \pm 2.6) \text{ Ma}$ (MSWD = 0.14)(图 7a、b); I_{Sr} 分别为 (0.7072 ± 0.0034) 和 (0.7052 ± 0.0026) 。从等时线年龄和 I_{Sr} 来看,两种方式所获得的年龄和 I_{Sr} 值非常一致。因为测试所用样品为强烈蚀变的黄铁绢英岩,将黄铁矿与绢云母的测点一起做等时线图所得到的等时线年龄基本上可以代表全岩的等时线年龄,这说明热液蚀变过程中,黄铁矿和绢云母 Rb、Sr 体系达到平衡,为此获得的 4 个年龄值和 I_{Sr} 误差范围趋于一致,同时也表明样品未受到淋滤,由单矿物绢云母获得的等时线年龄能够代表真实的本期成矿年龄。

4 讨论

4.1 围岩蚀变的指示意义

金厂金矿岩浆穹窿型矿体可识别出较清晰的蚀变分带,如图 2 所示,纵向上从底部到顶部,依次发育钾化带、绢英岩化带(通常叠加黄铁矿化)和青磐岩化带,其中绢英岩化带局部地区叠加有泥化带。蚀变矿物组合特征表明,金厂金矿床的围岩蚀变特征与斑岩型矿床的较一致,隐爆角砾岩型矿体周围也发育与岩浆穹窿型矿体相同的围岩蚀变分带特征,显示了斑岩型矿床的特征。

金厂金矿床岩浆穹窿型矿体中含矿脉体形成顺序依次为:黄铁矿-石英脉、石英-黄铁矿脉、石英-多金属硫化物脉及碳酸盐-多金属硫化物脉,其中,含

表 2 黄铁绢英岩中的绢云母和黄铁矿 Rb-Sr 同位素组成分析结果

Table 2 Analytical results of Rb-Sr isotopic composition of sericite and pyrite from pyritized phyllic rock

样点	$w_{\text{Rb}}/\mu\text{g/g}$	$w_{\text{Sr}}/\mu\text{g/g}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2σ
ZK14-180m-1a	112.9	5.4	60.4806	0.800549	0.32
ZK14-180m-2a	103.8	3.0	103.2503	0.867552	0.20
ZK14-180m-3a	127.0	4.3	86.6323	0.841342	0.23
ZK14-180m-4a	107.6	2.9	110.0270	0.879884	0.27
ZK14-180m-5a	151.3	4.1	107.7130	0.871772	0.17
ZK14-180m-6a	61.9	1.8	98.8738	0.859365	0.24
ZK14-180m-1b	0.08	0.88	0.2499	0.705434	0.20
ZK14-180m-2b	0.01	1.94	0.2499	0.705434	0.25
ZK14-180m-3b	0.03	1.84	0.0521	0.705187	0.26
ZK14-180m-4b	0.07	0.39	0.5242	0.706310	0.30
ZK14-180m-5b	0.03	1.56	0.0546	0.705254	0.12
ZK14-143m-1a	16.37	1.27	37.6212	0.762343	0.37
ZK14-143m-2a	9.79	0.63	45.3212	0.774915	0.25
ZK14-143m-3a	13.87	0.77	52.7432	0.785647	0.33
ZK14-143m-4a	28.53	1.25	66.5432	0.806315	0.19
ZK14-143m-5a	37.53	2.49	43.8123	0.772768	0.30
ZK14-143m-6a	54.74	3.58	44.5320	0.772425	0.22
ZK14-143m-1b	0.31	0.16	5.6806	0.714557	0.86
ZK14-143m-2b	0.04	0.41	0.2501	0.710165	0.18
ZK14-143m-3b	0.10	0.32	0.8607	0.707240	0.92

注：样点中 a 为绢云母，b 为黄铁矿。

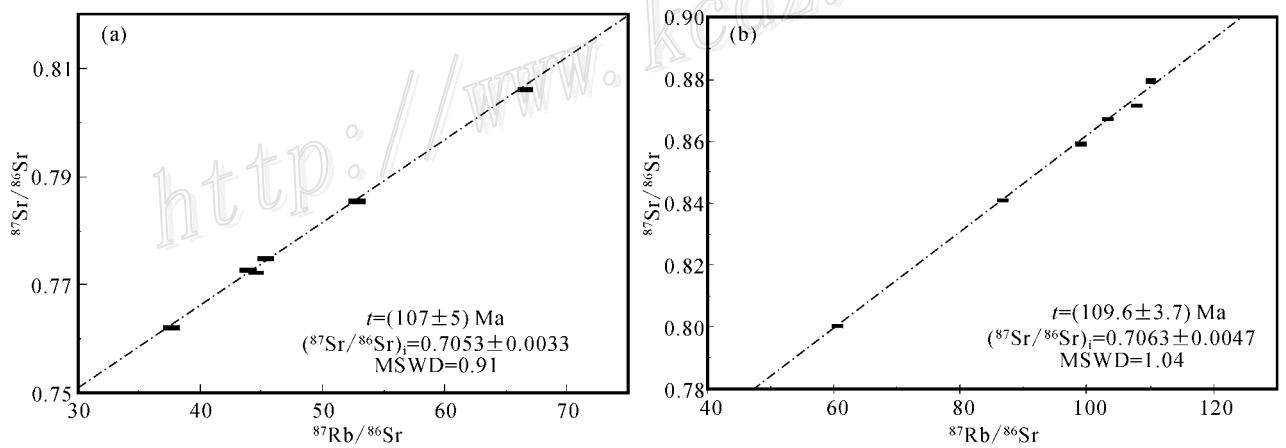


图 6 绢云母 Rb-Sr 等时线年龄图

Fig. 6 Rb-Sr isochron age diagram of sericite

黄铁石英英脉两侧依次发育钾化带、绢英岩化带和青磐岩化带；石英-黄铁矿细脉两侧发育强钾化带，外围为弱青磐岩化带；石英-多金属硫化物脉两侧青磐岩化带较发育。可见，随着脉体从老到新，细脉蚀变类型也随之变化，这种变化将给我们提供很好的找矿标志与矿体评价依据（McMillan et al.，1995）。

前人对流体包裹体的研究表明（王永等，2007；李真真等，2007），金厂金矿床的流体包裹体具有较

宽的温度范围、较高的盐度以及富气与含子晶包裹体的共生，且沸腾现象明显，这些特征说明岩浆穹隆内矿体侵位段高，使成矿流体处于急速变化状态，从而出现了上述蚀变分带。它从另一方面支持了金厂金矿属于斑岩型矿床的结论。

4.2 成矿年代的指示意义

ZK14 孔中黄铁绢英岩化花岗斑岩和花岗闪长岩绢云母 Rb-Sr 等时线年龄分别为 $(107 \pm 5) \text{Ma}$

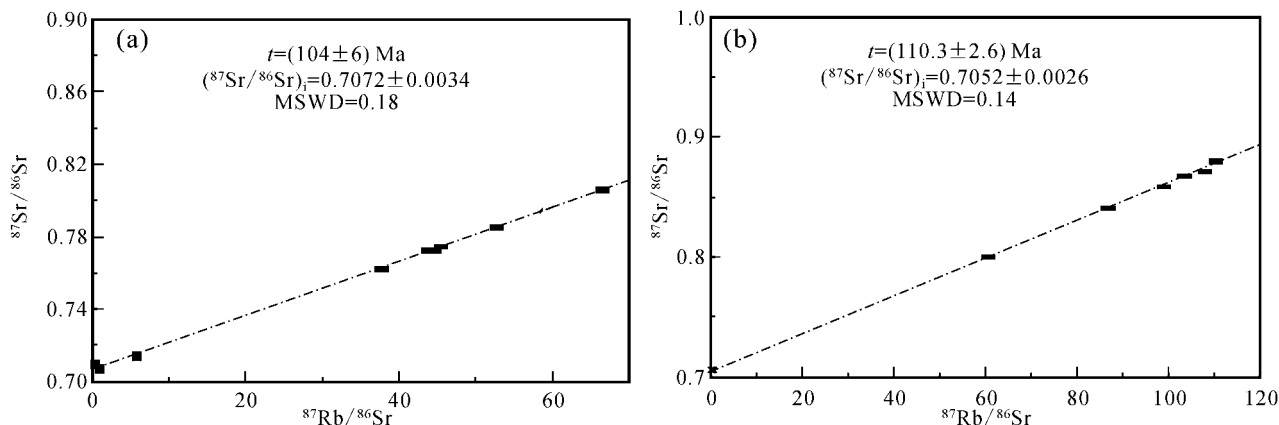


图 7 黄铁矿-绢云母 Rb-Sr 等时线年龄图

Fig. 7 Rb-Sr isochron age diagram of sericite-pyrite

(MSWD=0.91)(图 6a)和 (109.6 ± 3.7) Ma(MSWD=1.04)(图 6b)。据钻孔黄铁绢英岩蚀变的地质特征,本次蚀变期次应属于早期成矿热液蚀变阶段,因此绢云母 Rb-Sr 年龄应该代表这次蚀变时间。从薄片观察来看,在黄铁绢英岩化之后还存在黄铁矿-石英脉、石英-多金属硫化物脉及碳酸盐-多金属硫化物脉阶段。因此,获得的 110 Ma 左右的绢云母 Rb-Sr 年龄代表了该期热液蚀变时代的上限和该阶段成矿时代的下限。

笔者对 ZK04-91、ZK04-333、ZK14-143、ZK14-180 四个样品(样品描述见 3.2 节)中的锆石进行了 LA-ICP-MS U-Pb 同位素定年工作。得到围岩花岗岩和花岗闪长岩的年龄介于 192~206 Ma,花岗斑岩的年龄为 (113 ± 2) Ma(未发表资料)。

由上述样品所测得的黄铁绢英岩化蚀变年龄和所赋存围岩的年龄可知,花岗斑岩中成矿热液发生绢英岩化的时间和岩石的成岩时间很接近,花岗岩、花岗闪长岩和花岗斑岩的黄铁绢英岩化蚀变年龄均一致,说明成矿作用与花岗斑岩关系密切,而与围岩花岗岩和花岗闪长岩无直接联系,花岗斑岩侵入后,很快发生了蚀变作用,造成了黄铁绢英岩化。本区蚀变岩型矿石主要为黄铁绢英岩化岩石,而且黄铁绢英岩化阶段也属于早期成矿阶段,之后还有 3 个主要的成矿阶段。前人对斑岩铜矿岩浆岩与成矿研究表明,矿化往往发生在斑岩体侵入之后 1~3 Ma (Page et al., 1972; Gustafson et al., 1975),这也说明笔者所测得的 110 Ma 左右的黄铁绢英岩化年代应该代表早期成矿年代。主成矿期年龄应该略小于黄铁绢英岩化的年龄。而且,根据目前斑岩体的产状、围岩蚀变的分带特征及矿区矿体揭露情况,推断岩

浆穹隆型矿体底部斑岩体尚未出露,深部仍有很大的找矿前景。

5 结 论

金厂金矿床的岩浆穹隆型矿体、隐爆角砾岩型矿体均发育明显的蚀变矿物组合分带,从深部到浅部、从靠近矿体到远离矿体,依次发育钾化带、绢英岩化带(通常叠加有黄铁矿化)及青磐岩化带,这种蚀变特征与典型的斑岩型矿床蚀变分带相似,显示金厂金矿床属于斑岩型矿床。

岩浆穹隆型矿体早期发育黄铁绢英岩化,2 个样品的绢云母 Rb-Sr 等时线年龄分别为 (104 ± 6) Ma 和 (110.3 ± 2.6) Ma,这与寄主花岗斑岩锆石 U-Pb 定年得到的 (113 ± 1.6) Ma 的年龄很相近,而与其他寄主岩石花岗岩、花岗闪长岩得到的 192~206 Ma 年龄相去甚远,说明这次蚀变事件与花岗斑岩关系密切,即在花岗斑岩侵入几个百万年后,很快发生了热液蚀变作用和早期矿化作用。蚀变岩精确的年代学数据也支持本矿床属于斑岩型矿床的结论。

综上所述,金厂金矿床属于典型的斑岩型金矿床,岩浆穹隆型矿体深部发育多条花岗斑岩脉,钾化带也在向下延伸,说明斑岩体尚未被揭示出来,深部还有很大的找矿前景。

志 谢 衷心感谢中国科学院地质与地球物理研究所陈福坤研究员、李向辉博士在测试方面的鼎力相助;感谢黑龙江省牡丹江市武警黄金部队在野外工作中的大力支持和帮助;感谢审稿人提出宝贵的审稿意见。

References

- Andre L D. 1986. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ relicts in hydrothermally altered quartz diorites and the role of epidote as a Sr filter [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92: 104-112.
- Chen F K, Li Q L, Li C F, Li X H, Wang X L and Wang F. 2005. Prospect of high precision mass spectrometer in isotope geochemistry [J]. *Earth Science*, 30(6): 639-645 (in Chinese with English abstract).
- Fang R H. 1994. Structural geology and evolution of nonferrous metallic deposits in the northern margin of the north China landmass and its adjacent areas [A]. In: Rui Z Y, Shi L D, Fang R H ed. *Geology of nonferrous metallic deposits in the northern margin of the north China landmass and its adjacent areas* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 5-24 (in Chinese).
- Gustafson L B and Hunt J P. 1975. The porphyry copper deposits of the southwestern Pacific Islands and Australia [J]. *Econ. Geol.*, 70: 857-912.
- Jager E. 1979. Introduction to geochronology [A]. In: Jager E and Hunziker J C, ed. *Lectures in isotopic geology* [C]. 1-12.
- Jia Z G, Chen J R, Yang Z G, Bian H Y, Wang Y Z, Liang H J, Jin T H and Li Z H. 2005. Geology and genesis of the superlarge Jinchang gold deposit [J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(5): 661-670 (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*, 9(1): 32-37 (in Chinese with English abstract).
- Li Q L, Chen F K, Wang X L, Li X H and Li C F. 2006. Ultra-low procedural blank and the single-grain mica Rb-Sr isochron dating [J]. *Chinese Science Bulletin*, 51(3): 321-325 (in Chinese).
- Li Z Z, Li S R and Zhang H F. 2007. Deposit type of Jinchang gold deposit in Heilongjiang: Evidence from wallrock alteration and fluid inclusions [J]. *Geology in China*, 34(Supp.): 203-206 (in Chinese).
- Liu L D, Li Y and Lan X. 1999a. A discussion on breccias/stockwork porphyry type gold deposits [J]. *Mineral Deposits*, 18(1): 29-36 (in Chinese with English abstract).
- Liu L D, Chen G H, Wu G X, Zhang K Y, Shi J J and Zhang J G. 1999b. A discussion on the classification of epizonal gold deposits in China [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 29(3): 222-226 (in Chinese with English abstract).
- McMillan W J. 1995. Andrejs Panteleyev. Porphyry copper deposits [A]. In: Roberts R G, Sheahan P A ed. *Ore deposit models* [M]. 45-58.
- Mu T, Liu G G and Xiang K C. 2000. The geological-geochemical characteristics and ore genesis of Jinchang gold deposit in Heilongjiang [J]. *Gold Geology*, 6(3): 57-64 (in Chinese with English abstract).
- Page R W and McDougall I. 1972. Ages of mineralization of gold and porphyry copper deposits in the New Guinea Highlands [J]. *Econ. Geol.*, 67: 1034-1048.
- Wang D F, Chen C Y, Yang S, Liu X L, Zhang J F, Yang X Z, Liu C and Liu H S. 1992. The continental geology in northern margin of Sino-Korean platform [M]. Beijing: Earthquake Pub. House. 5-125 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y, Xi B B, Zhang D H and Zhang W H. 2007. Geochemical characteristics of fluid inclusions in Jinchang gold deposit, Heilongjiang Province [J]. *Mineral Deposits*, 26(2): 184-194 (in Chinese with English abstract).
- Wei C S, Zheng Y F and Tu G Z. 1997. Geochemistry of megacrysts in Cenozoic basalts of Eastern China [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(3): 290-298 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J F, Quan H, Wu G and Zhu H C. 2000. Tectonic setting of Mesozoic volcanic rocks in northeast China [J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 9(1): 33-37 (in Chinese with English abstract).
- Zhu C W, Chen J R, Li T G, Cui B, Jin B Y and Wang K Q. 2003. Geology and ore genesis of Jinchang gold deposit, Heilongjiang Province [J]. *Mineral Deposit*, 22(1): 57-64 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈福坤, 李秋立, 李潮峰, 李向辉, 王秀丽, 王芳. 2005. 高精度质谱计在同位素地球化学的应用前景 [J]. *地球科学*, 30(6): 639-645.
- 方如恒. 1994. 华北陆块北缘及邻区有色金属成矿构造环境与演化 [A]. 见: 芮宗瑶, 施林道, 方如恒, 主编. *华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质* [M]. 北京: 地质出版社. 5-24.
- 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.
- 李秋立, 陈福坤, 王秀丽, 李向辉, 李潮峰. 2006. 超低本底化学流程和单颗粒云母 Rb-Sr 等时线定年 [J]. *科学通报*, 51(3): 321-325.
- 李真真, 李胜荣, 张华锋. 2007. 黑龙江东宁金厂金矿床类型: 围岩蚀变和流体包裹体研究 [J]. *中国地质*, 34(增刊): 203-206.
- 刘连登, 李颖, 兰翔. 1999a. 论角砾/网脉-斑岩型金矿 [J]. *矿床地质*, 18(1): 29-36.
- 刘连登, 陈国华, 吴国学, 张克尧, 石建基, 张进高. 1999b. 我国浅成热液金矿的分类讨论 [J]. *长春科技大学学报*, 29(3): 222-226.
- 慕涛, 刘桂阁, 项魁辰. 2000. 黑龙江金厂金矿地质地球化学特征及矿床成因 [J]. *黄金地质*, 6(3): 57-64.
- 王东方, 陈从云, 杨森, 刘效良, 张炯飞, 杨学增, 刘椿, 刘海山. 1992. 中朝陆台北缘大陆构造地质 [M]. 北京: 地震出版社. 5-125.
- 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.
- 魏春生, 郑永飞, 涂光炽. 1997. 强烈热液交代金矿石 Rb-Sr 等时线意义讨论 [J]. *地球学报*, 18(3): 290-298.
- 张炯飞, 权恒, 武广, 祝洪臣. 2000. 东北地区中生代火山岩形成的构造环境 [J]. *贵金属地质*, 9(1): 33-37.
- 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讨论 [J]. *矿床地质*, 22(1): 57-64.