

黑龙江多宝山矿田争光金矿床类型、U-Pb 年代学及古火山机构*

宋国学^{1,2} 秦克章² 王乐^{1,2} 郭继海³ 李真真² 佟匡胤³ 邹心宇^{1,2} 李光明²

SONG GuoXue^{1,2}, QIN KeZhang², WANG Le^{1,2}, GUO JiHai³, LI ZhenZhen², TONG KuangYin³, ZOU XinYu^{1,2} and LI GuangMing²

1. 中国科学院大学地球科学学院, 北京 100049

2. 中国科学院矿产资源研究重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

3. 黑龙江矿业集团股份有限公司, 哈尔滨 150090

1. College of Earth Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

2. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

3. Heilong Mining Group Limited Company, Harbin 150090, China

2014-12-20 收稿, 2014-20-11 改回.

Song GX, Qin KZ, Wang L, Guo JH, Li ZZ, Dong KY, Zou XY and Li GM. 2015. Type, zircon U-Pb age and Paleo-volcano edifice of Zhengguang gold deposit in Duobaoshan orefield in Heilongjiang Province, NE-China. *Acta Petrologica Sinica*, 31(8):2402–2416

Abstract Zhengguang gold deposit is located in the southeast of the famous Duobaoshan Cu-Au metallogenic belt in Heilongjiang Province in China, with distance of 10km from Duobaoshan porphyry Cu-Au deposit, 5km away from Tongshan copper deposit. The deposit's tectonic location is in the superposition area of Paleo-Asian Ocean metallogenic domain and the Pacific Ocean metallogenic domain. Ordovician Duobaoshan Formation of andesitic rock strata are developed in a large area, and the volcanic lithofacies include airfall facies volcano, lava overflow facies, volcanic debris flow facies, and volcanic sedimentary facies. The explosive facies and eruption facies are interbedded with each other and show that the volcano activity alternated between eruption of lava and volcano pyroclastics during the outbreak of volcano. According to the spatial distribution and variation characteristics of ignimbrites, volcano breccias, volcano pyroclastics rocks, we speculate that there is paleo-volcano edifice within the ore district. Influenced by the NW trending structure, the volcanic strata have been experienced weak deformation of NW-trending, and are the main ore-host rock of gold ore bodies. The gold bearing veins appeared as vein and stockwork along the three group faults of north-west, north-east and north-south. The main ore minerals are pyrite, chalcopyrite, sphalerite and galena, and gold appeared in the form of fissure gold, intercrystalline gold and inclusion gold in these sulfides. The combination of veins characteristics, mineral assemblage, alteration, sulphide content in vein, Fe content in sphalerites show that the deposit could be defined as intermediate-sulfidation (IS) type epithermal Au deposit. The intrusions in the region are diorite stock, porphyry diorite dikes, lamprophyre dikes, granodiorite porphyry dikes and plagioclase porphyry dikes. All of them cut across Duobaoshan Formation volcanic rocks and gold ore bodies as the post ore dikes. Zircon U-Pb dating results of the porphyry diorite dikes, granodiorite porphyry dikes and plagioclase porphyry dikes show that the latest time of gold mineralization should earlier than 454Ma. A comprehensive conclusion is that the Zhengguang gold deposit, Duobaoshan copper deposit and Tongshan copper deposit were formed under arc setting that is controlled by the Asian Ocean subduction during 480 ~ 452Ma, and formed a complete metallogenic system from porphyry Cu-Au mineralization to intermediate-sulfidation type epithermal Au mineralization. This approach has a great significance for the further exploration under Zhengguang Au(Zn) ore district and adjacent regions.

Key words Zhengguang gold deposit; Paleo-volcano edifice; Zircon U-Pb age; Intermediate-sulfidation type; Epithermal; Duobaoshan orefield; NE-China

* 本文受国家自然科学基金项目(41390444, 41272108)和黑龙江矿业集团有限公司联合资助。

第一作者简介: 宋国学, 男, 1981年生, 博士, 讲师, 从事金属矿床学与矿物学研究, E-mail: sgx@ucas.ac.cn

摘要 争光金矿床(伴生铋)位于我国东北地区黑龙江省多宝山 Cu-Au-Mo 成矿带南东端,构造上处于古亚洲成矿构造域和滨太平洋成矿构造域的叠加部位。该金矿距北西向的多宝山铜金矿和铜山铜矿分别约为 10km 和 5km,因此,深入研究其成矿时代、成因类型归属,理清与多宝山铜金矿-铜山铜矿的关系具有重要科学价值。争光金矿赋矿围岩为奥陶系多宝山组安山质火山岩地层,发育爆发相、溢流相、火山碎屑流相、火山沉积相等,且爆发相和喷溢相交替出现,具有喷发时期熔岩溢流与火山碎屑物的喷发交替进行或多旋回火山活动的特征;根据火山集块岩、火山角砾岩、火山碎屑岩的空间展布及岩相变化特征,推测矿区内发育有古火山机构。受后期北西向构造影响,火山岩地层具北西向弱定向变形特征。含金脉系呈脉状、网脉状沿北西向、北东向及南北向构造产出;矿石矿物以黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿为主,金以裂隙金、粒间金和包裹金的形式赋存于上述硫化物中,部分赋存在石英中。综合脉系特征、矿物组合、蚀变类型、闪锌矿 Fe 含量等,本文明确提出该矿床为中硫型浅成低温热液型金矿。对矿区内发育的成矿后闪长玢岩、花岗闪长斑岩及长石斑岩等脉岩的锆石 U-Pb 测年结果初步厘定争光金矿成矿作用早于 454Ma。综合判断争光金矿与多宝山含金斑岩铜矿、铜山铜矿同形成于 480~454Ma 受古亚洲洋俯冲作用控制的岛弧背景,构成完整的斑岩 Cu-Au 与中硫化型浅成低温热液 Au 成矿系统。

关键词 争光金矿;古火山机构;锆石 U-Pb 测年;中硫型;浅成低温热液;多宝山矿田;东北地区

中图法分类号 P597.3; P618.51

黑龙江多宝山铜多金属成矿带位于小兴安岭西北缘,内蒙-大兴安岭褶皱系与吉黑褶皱系东北部的接壤部位(杜琦等, 1988; Zonenshain *et al.*, 1991; 韩成满等, 2007);该成矿带蕴藏丰富的铜、钼及伴生金、银、铅锌等资源(黑龙江省地质局, 1993)(图 1),广泛发育斑岩型铜、金、钼矿床(如多宝山、铜山)、矽卡岩型多金属矿床(如三矿沟、关鸟河)和脉状热液型金矿床(如争光、三道湾子、上马厂),是我国重要的铜、金多金属成矿区(杜英杰, 2012)。由于地处古亚洲洋与古太平洋两大成矿域的叠加部位,多宝山成矿带地质意义十分重要,自 1958 年始对多宝山铜多金属成矿带的勘查工作和研究工作持续至今(杜琦等, 1988; 赵元艺, 1995; 赵一鸣等, 1997; 王喜臣等, 2007; 葛文春等, 2007; 韩成满等, 2007; 李德荣, 2011; 赵忠海等, 2012; 杜英杰, 2012; Zeng *et al.*, 2011, 2013, 2014),并取得较多成果。李德荣(2011)从成矿时代和成矿系列角度出发将该成矿带的成矿作用划分为奥陶纪-早三叠世斑岩-热液 Cu-Mo-Au-Zn 复合成矿系列、晚三叠-早侏罗世中性-酸性岩浆侵入热液 Cu-Fe-Mo 成矿系列、晚侏罗-早白垩世火山-侵入岩浆热液 Cu-Mo-Au-Ag 成矿系列。目前研究表明该成矿带在侏罗纪-白垩纪时期属于滨太平洋大陆边缘环境(秦克章等, 1999; 孙卫东等, 2010),是我国重要的斑岩型铜、钼、金成矿带(刘军等, 2010; Liu *et al.*, 2012; 陈衍景等, 2012; Sun *et al.*, 2012);该成矿带上的多宝山铜矿与铜山铜矿形成于约 480Ma,是古亚洲洋东段古生代地质演化的重要产物(赵一鸣等, 1997; 葛文春等, 2007; 崔根等, 2008; 向安平等, 2012; Zeng *et al.*, 2013, 2014),形成于早古生代与古亚洲洋板块俯冲相关的岛弧环境(崔革, 1983; 任纪舜等, 1997; 李锦轶, 1998; Wu *et al.*, 2011; 向安平等, 2012)。

与铜山铜矿相距仅 5km 的争光金矿位于多宝山矿带东南部(图 1b)。该矿床由黑龙江省地勘局齐齐哈尔矿产勘查开发总院于 2000 年进行化探异常检查时发现。2010~2014 年期间,黑龙江矿业公司对争光金矿 I、III、IV 号矿带及外围开展了一系列的地质勘查工作,投入钻探超过 6 万米,槽探近

12 万立方米,以及可控源音频大地电磁测深、激电测深近 1300 个测点,探明争光金矿金总量 35 吨以上,达大型金矿规模,并伴生铋储量 10 万吨以上,伴生银 100 吨以上,找矿成果显著。近几年来,一些学者对该矿床进行了岩石学、矿床地球化学以及岩石地球化学的初步研究(武子玉等, 2006; 赵广江等, 2006; 付艳丽和杨言辰, 2010; 张莹芬等, 2011; 邓轲等, 2013; 高荣臻等, 2014);由于以往争光金矿矿体裸露有限且钻探工程较少,使得前期研究对矿床的构造、蚀变、矿化规律及特征矿物的认识存在较大局限性,存在问题如下:1)有无古火山机构? 如有,其与成矿关系又如何? 以前研究工作均未涉及,高荣臻等(2014)据角砾岩的观察认为争光金矿发育的角砾岩多为与侵入岩有关的隐爆角砾岩;2)成矿时代不明,赵元艺等(2011)依据相邻的裸河石英闪长岩体 K-Ar 年龄为 182Ma,锆石 U-Pb 年龄为 186Ma(郑全波, 2012),推断争光闪长岩体亦形成于早侏罗世,但闪长岩与金矿化关系仍不明确;3)矿床类型一直未予确定,已有研究有两种观点,第一种认为争光岩金矿是浅成低温热液型金矿(张宝林, 2004; 付艳丽和杨言辰, 2010),邓轲等(2013)据流体包裹体工作认为是低硫型浅成低温热液矿床;第二种认为是构造蚀变岩型金矿(赵广江等, 2006 等)。

为解决以上问题,本文基于争光金矿最新的勘查成果,开展了详细的野外观察及室内岩矿研究,对该金矿的矿石类型、脉系特征及普遍发育的角砾岩进行了重点研究,结合矿区内发育过穿切金矿体的脉状侵入岩锆石 U-Pb 测年工作,限定了争光金矿的形成时代,探讨了古火山机构的存在与否及其与金矿化的关系,进而确定其成因类型归属。

1 矿区地质概况

多宝山成矿带内出露的地层主要有奥陶系和志留系及少量的泥盆系、石炭系和白垩系。奥陶系主要为铜山组和多宝山组,前者是一套陆源碎屑岩建造,后者则为滨海相-浅海

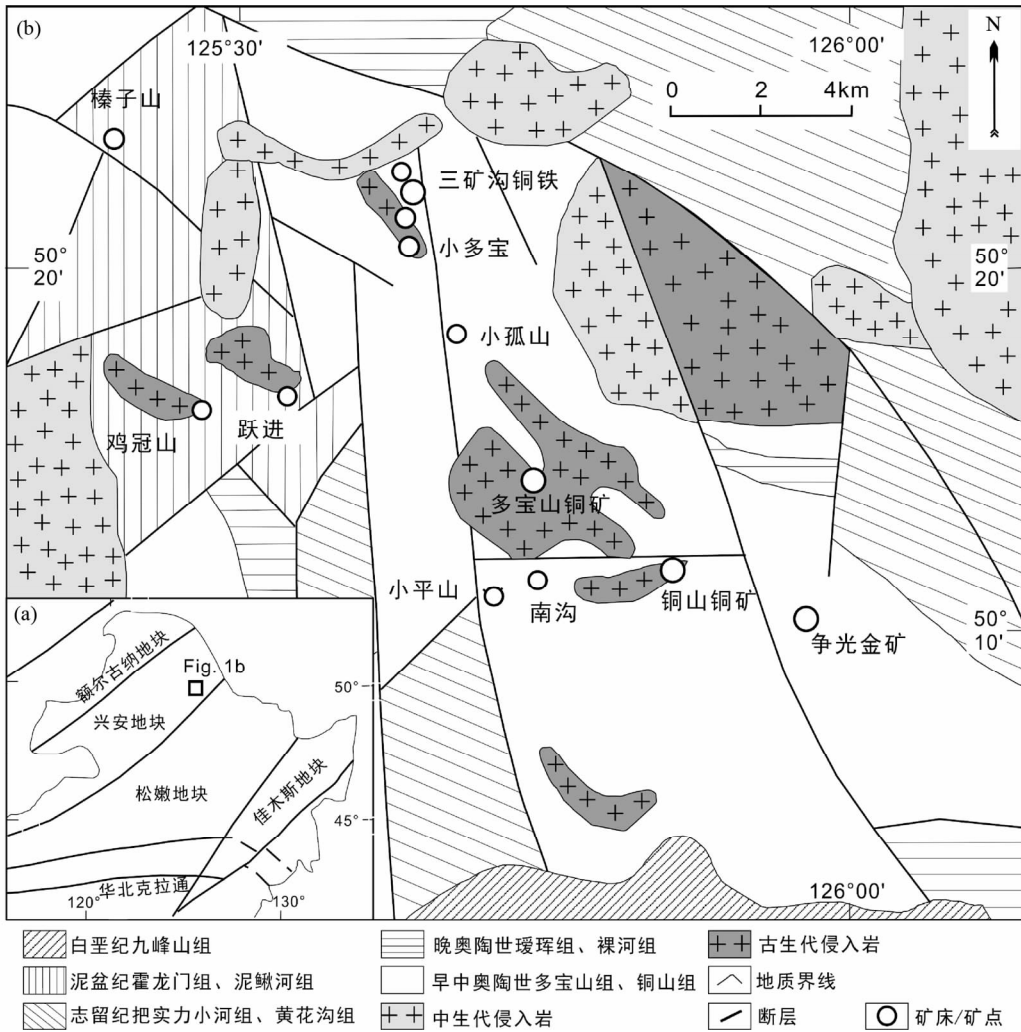


图1 黑龙江多宝山成矿带大地构造位置图(a)及区域地质简图(b) (据 Zeng *et al.*, 2014 修改)

Fig. 1 The geotectonic position (a) and geological map (b) of Duobaoshan metallogenic belt in Heilongjiang Province (modified after Zeng *et al.*, 2014)

相火山岩-火山碎屑岩建造(杜琦等, 1988);争光矿区内多宝山组火山岩地层分布于全矿区(图2),自下而上可分为三个岩性段。一段下部为安山-英安质火山角砾岩、熔岩及凝灰岩夹灰岩透镜体,顶部为沉凝灰岩。下部砂砾岩中含腕足碎片及三叶虫化石(杜琦等, 1988);中部二段主要为安山岩、火山角砾岩、安山质凝灰岩;上部三段为英安岩、英安质火山角砾岩、火山碎屑凝灰岩(图3a)及流纹质火山岩。

区域构造主要以古生代形成的北西向和北东向构造组成区内基本构造格架,后期发生继承性活动,形成北东向、北西向、北西向、南北向构造格局。北西向构造配套的断裂主要有北东向的张性断裂,近南北向和近东西向扭性断裂,这些断裂由于后期构造多次活动叠加已成为复合断裂(图1b)。

区内发育的侵入岩主要有闪长岩、脉状闪长玢岩、花岗闪长斑岩、长石斑岩、辉绿岩脉、云煌岩等(图2、图3),整体受构造影响沿北东、北西、南北等构造系统控制,侵入多宝山

组二三段火山岩地层中,分布范围较广,多以脉状产出,局部以小岩枝产出,穿切金矿体。闪长岩地表风化后呈土黄色,以面状出露于矿区南部,有碳酸盐化和绿泥石化蚀变(图2)。花岗闪长斑岩灰色到灰绿色,仅在I号带南西端少量钻孔内浅部出现,呈脉状产出,相对新鲜,局部发生绿泥石化蚀变;斑状结构,斑晶以斜长石和石英为主,基质为石英和长石及少量暗色矿物(图3d、图4n)。长石斑岩深灰色,斑状结构,仅在I号带少量钻孔内浅部出现,斑晶以长石为主,不含石英斑晶,基质中主要为长石、石英和暗色矿物黑云母等(图5m)。闪长玢岩在区内分布较普遍,地表风化后呈土黄色(图4k),I号带剥离区内出露大量闪长玢岩,其走向有北东向、北北东向和北西向,通过穿插关系判断至少发育两期(图4k),仅发育绿泥石化和碳酸盐化蚀变(图2、图3c)。云煌岩区内分布较少,仅在II号带地表产出。此外在二号采坑地表和少量钻孔中发育热液角砾岩体,依据胶结物成分不同可以分为碳酸盐胶结角砾岩(图4d)、石英-碳酸盐胶结角砾岩

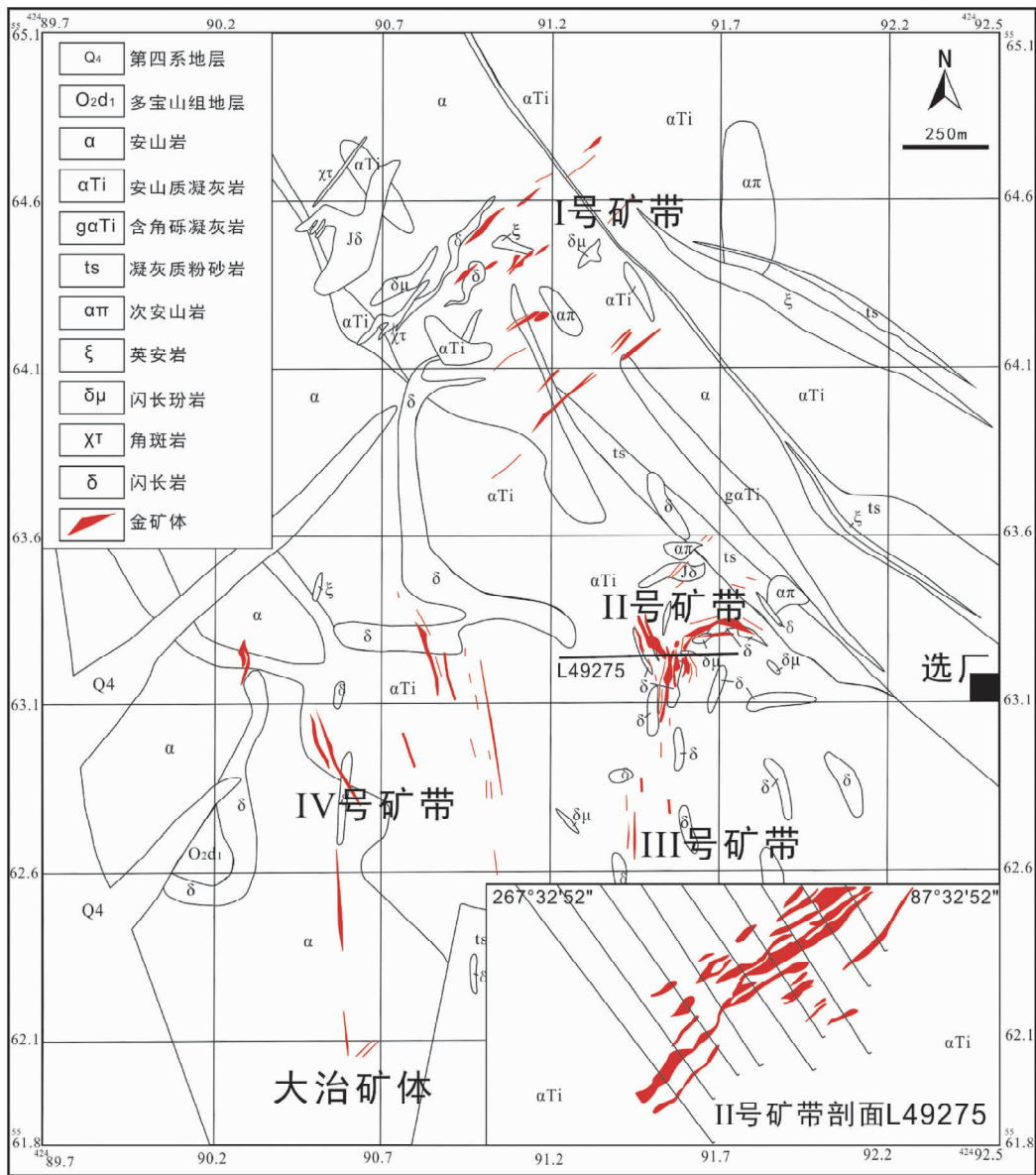


图2 黑龙江省黑河市争光金矿床地质图(据佟匡胤等, 2015 修改)

Fig.2 The geological map of Zhenguang gold deposit in Heihe city, Heilongjiang Province (modified after Tong *et al.*, 2015)

(图4e)和绿帘石胶结角砾岩(图4f-g)。

2 矿体特征

争光金矿可分为五个矿带,分别为 I、II、III、IV 号矿带以及大治矿带(图2)。I 号带位于矿区的北西端,为北东走向;II 号带位于矿区的东南侧,由三组北东向、北西、南北向矿体构成,呈“Y”字展布(图2);III 号带西南部为南北走向;IV 号带位于矿区西部,近南北走向;新近发现的大治矿带位于IV 号矿带南侧。

II 号带规模最大,2009 年由齐齐哈尔勘查研究总院对 II 号主矿带完成勘探(齐齐哈尔勘查研究总院, 2009^①),提交

23 吨金金属量。主要赋矿围岩为安山岩、绿泥绢云板岩,少量为蚀变闪长岩。蚀变主要为硅化、绢云母化、伊利石化、地表褐铁矿化。矿体以脉状产出,受张性构造裂隙控制,呈现局部膨大收缩、分支复合、尖灭再现等特点。L49275 线以南,矿体近南北走向,以北则为北东走向、北西走向,呈“Y”字形展布。矿体倾向为北北西、北西和南向;矿体倾角多集中在 $35^{\circ} \sim 50^{\circ}$ (图2)。其中较富地段位于 49300 线和 49350 线之间。

2010-2014 年黑龙矿业集团对争光 II 号金矿外围 I、

① 齐齐哈尔勘查研究总院完成. 2009. 黑龙江省黑河市争光岩金矿勘探报告. 内部资料

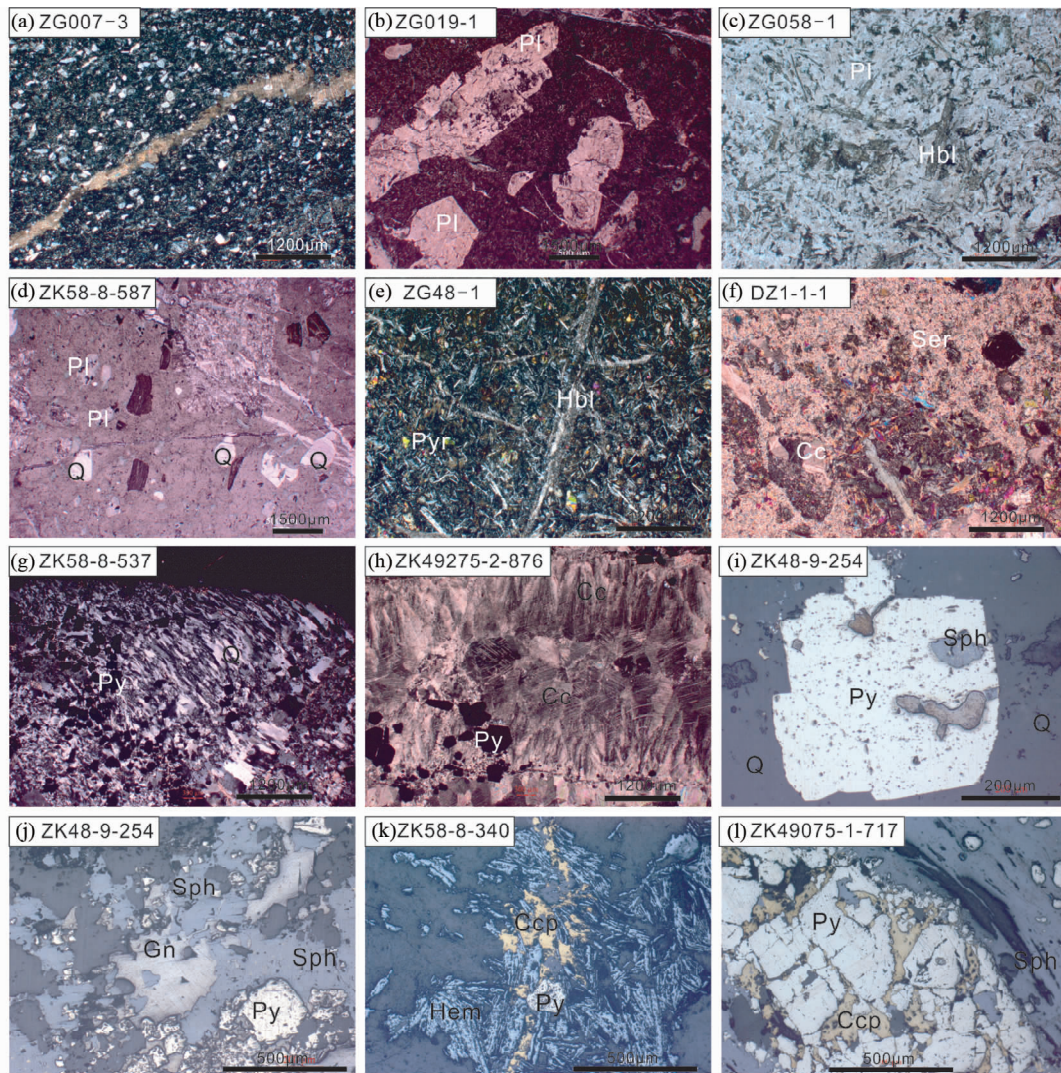


图3 争光矿区发育主要类型岩石镜下照片(a-e)、特征蚀变(f-h)及主要硫化物照片(i-l)

(a) 晶屑岩屑火山碎屑岩; (b) 多斑安山岩; (c) 蚀变闪长玢岩; (d) 花岗闪长斑岩; (e) 辉绿岩脉; (f) 安山质火山岩绢云母化、碳酸盐化; (g) 石英-黄铁矿脉中发育的特征叶片状石英; (h) 方解石-黄铁矿脉中发育的定向生长方解石; (i) 闪锌矿交代黄铁矿; (j) 闪锌矿方铅矿共生, 包裹早期黄铁矿; (k) 赤铁矿包裹黄铁矿, 黄铜矿充填于赤铁矿粒间; (l) 黄铜矿充填黄铁矿粒间, 而后被闪锌矿包裹. Ccp-黄铜矿; Hbl-角闪石; Gn-方铅矿; Pl-斜长石; Py-黄铁矿; Q-石英; Sph-闪锌矿

Fig. 3 Microscopic photos of rocks (a-e), typical alteration (f-h) and main sulphide minerals (i-l) from the Zhengguang ore district

(a) volcanic clastic rock; (b) andesite; (c) alteration diorite porphyrite; (d) granite diorite porphyry; (e) diabasic dike; (f) andesitic volcanic rock with sericitization and carbonatization; (g) leaf-shaped quartz in quartz-pyrite vein; (h) directional calcite in calcite-pyrite vein; (i) pyrite replaced by sphalerite; (j) early pyrite included by coexistent sphalerite and galena; (k) hematite include pyrite and chalcopyrite filling in hematite intergranular; (l) between chalcopyrite filled in pyrite intergranular and included by later sphalerite. Ccp-Chalcopyrite; Hbl-hornblende; Gn-galena; Pl-plagioclase; Py-pyrite; Q-quartz; Sph-sphalerite

Ⅲ、Ⅳ号矿带和大冶矿带开展勘查工作, 提交金金属量 12 吨以上。其中 I 号矿带资源量仅次于 II 号带, 位于矿区的北西端, 矿体呈雁列式排布(图 2); 矿体受北东向张性构造裂隙控制, 主要以脉状、透镜状、蜂窝状等形态产出, 同样具有分支复合、尖灭再现等特点; 探明 332 + 333 金金属量 10 吨以上。

3 矿石矿物、矿石类型及脉系特征

3.1 矿石类型

争光金矿矿石类型可以分为氧化矿和原生矿两种。氧化矿在 II 号矿带地表最为发育, 多表现为黄褐色、褐色, 呈细脉状、蜂窝状。褐铁矿、黄钾铁矾及粘土化发育, 黄铁矿少见

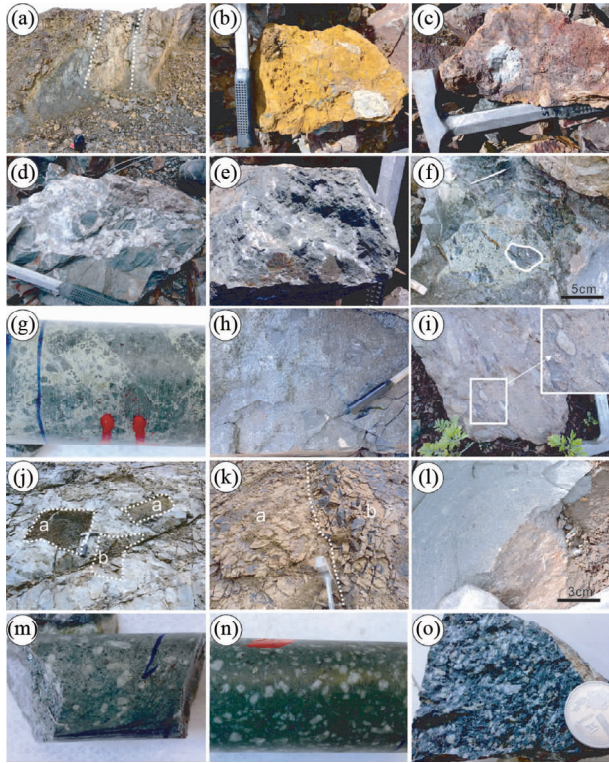


图4 争光矿区地表氧化矿(a-c)、热液角砾岩(d-g)、火山角砾岩(h-j)及主要的岩相(k-o)

(a) 地表氧化矿体; (b) 地表矿石中黄钾铁矾; (c) 地表褐铁矿化、粘土化矿石; (d) 碳酸盐胶结热液角砾岩; (e) 石英、碳酸盐胶结热液角砾岩; (f) 两期热液角砾岩, 具绿帘石化; (g) 钻孔中发育的绿帘石化热液角砾岩; (h) II号矿带采坑内发育的火山角砾岩; (i) 尾矿坝北侧发育的具熔流特征火山角砾岩; (j) II号矿带采坑内发育的火山集块岩; (k) 两期闪长玢岩脉接触带; (l) 地表闪长岩露头; (m) 钻孔中中长石斑岩; (n) 蚀变花岗闪长斑岩, 白线内为石英斑晶; (o) 辉石安山岩

Fig. 4 The surface-oxidized ore (a-c), hydrothermal breccias (d-g), volcanic breccias (h-j) and main lithofacies (k-o) in Zhengguang ore district

(a) oxidized ore body in surface; (b) jarosite in oxidized ore; (c) limonite and clay minerals in oxidized ore; (d) hydrothermal breccia with carbonate cements; (e) hydrothermal breccia with quartz and carbonate cements; (f) volcanic breccia in the No. 2 ore belt; (g) volcanic breccia with melt flow characteristics in the north of tailings dam; (h) volcanic agglomerate in the pit of No. 2 ore belt; (i) two stages of hydrothermal breccia with epidotization; (j) epidotization hydrothermal breccia in drill core; (k) contact zone of two periods of diorite porphyry dikes; (l) diorite outcrop; (m) feldspar porphyry in drill core; (n) altered granite diorite porphyry; (o) pyroxene andesite

(图4a-c)。原生矿石多为脉状-网脉状矿石, 金属矿物呈浸染状、稠密浸染状分布于石英脉和石英-碳酸盐脉内。根据脉中矿物组合的差异可以分为脉状石英-黄铁矿-闪锌矿-方铅矿矿石(图5j)、脉状黄铁矿-闪锌矿矿石(图5c, e, j)、脉状黄铁矿矿石(图5g)等, 在钻孔中还发育热液角砾岩型矿石。

3.2 矿石矿物特征

矿石中的金属矿物主要有黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、褐铁矿、自然金, 其次为赤铁矿、磁铁矿、蓝铜矿等。脉石矿物主要有石英、绢云母、方解石、绿泥石、绿帘石及粘土矿物等。黄铁矿多呈粒状分布于石英等脉石矿物中, 可以分为三个阶段, 早阶段黄铁矿被闪锌矿、黄铜矿等硫化物包裹; 中阶段黄铁矿与闪锌矿、黄铜矿及方铅矿相互交生; 晚阶段黄铁矿多与方解石共生(图3i-l)。闪锌矿、黄铜矿常以固溶体分离形式存在于脉石矿物或黄铁矿裂隙或其边部, 多呈乳滴状分布于闪锌矿中, 或呈脉状分布于早期矿石和脉石矿物中(图3k, l); 方铅矿常呈他形粒状分布于闪锌矿粒间或其边部或脉石矿物中(图3j)。裂隙金是金的主要赋存状态, 大多数呈脉状或粒状与方铅矿、黄铜矿、闪锌矿一起分布于黄铁矿颗粒之间, 个别呈粒状分布于黄铁矿外围的石英脉中; 其次是粒间金, 大多数与方铅矿、闪锌矿一起分布于黄铁矿晶体的裂隙中; 包体金, 主要呈粒状包裹于黄铁矿、闪锌矿、方铅矿中。

3.3 脉系特征与矿化阶段

矿区脉系比较发育, 按脉系矿物组成可以分为石英-钾长石脉(图5a)、黄铁矿脉(图5g)、石英-黄铁矿-闪锌矿(方铅矿)脉(图5b, f, h)、黄铁矿-闪锌矿(方铅矿)脉(图5c, e, j)、石英-方解石-黄铜矿-闪锌矿脉(图5l)、石英-方解石-黄铁矿-闪锌矿脉、石英-黄铁矿-黄铜矿-闪锌矿脉(图5j)、赤铁矿脉(图5g)、碳酸盐岩脉等。石英-钾长石脉中钾长石自形程度较好(图5a), 不含矿, 切穿奥陶系多宝山组火山岩地层, 是较高温流体作用的产物, 发育较少。黄铁矿脉多是早期阶段形成的, 被后期脉系切割(图5g)或者被后期构造改造变形(图5h), 亦有少量后期形成切穿早期脉系现象(图5i)。图5d为石英-闪锌矿-黄铜矿脉, 其特征是闪锌矿和黄铜矿在石英脉中间沉淀。石英-黄铁矿-闪锌矿(方铅矿)脉是争光金矿普遍发育的含矿脉系, 图5f显示该脉系被后期构造改造呈斜向错动特征; 同样图5h中的黄铁矿脉呈现被改造定向的特征, 表明争光金矿含矿脉系受到后期构造不同程度的改造。图5(c, f, j)表明至少发育两期矿化, 早期为黄铁矿-闪锌矿(方铅矿)脉, 晚期为石英-黄铁矿-闪锌矿(黄铜矿)脉。图5i显示两种脉系相互穿插关系, 早期闪锌矿-黄铁矿脉顺层产出, 晚期石英-闪锌矿-黄铁矿脉推测为变形同期外延脉系, 主要为石英含少量闪锌矿, 切穿变形地层; 晚期黄铁矿脉则切穿早期脉系。

通过对脉体间的穿插关系、矿石的结构构造和矿物共生组合, 本文将热液成矿作用划分为早期石英-钾长石阶段, 成矿期(石英)黄铁矿阶段、(石英)多金属硫化物阶段、石英-碳酸盐多金属硫化物阶段和晚期石英碳酸盐阶段5个阶段。以上脉系特征表明, 争光金矿含矿脉系同样受到后期构造的叠加改造。

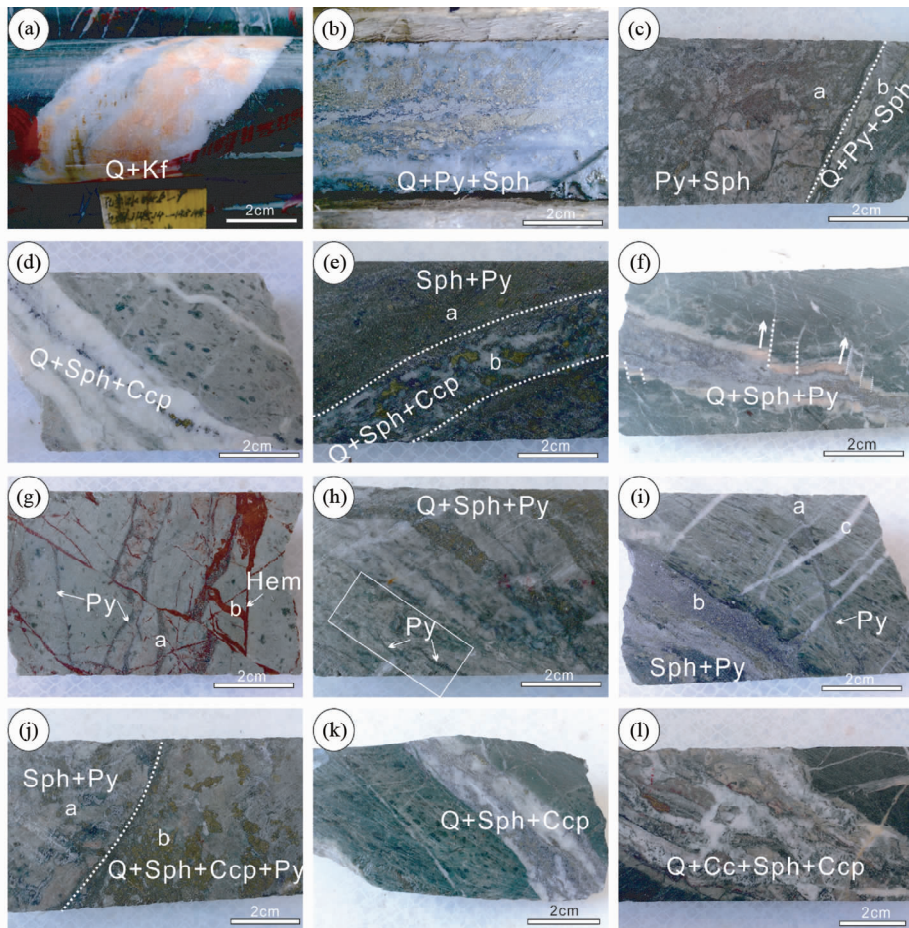


图5 争光金矿区发育的各种热液脉系

(a) 石英-钾长石脉;(b) 石英-黄铁矿-闪锌矿脉;(c) 两期脉:黄铁矿-闪锌矿脉与石英-黄铁矿-闪锌矿脉;(d) 石英-闪锌矿-黄铜矿脉;(e) 两期脉:黄铁矿-闪锌矿脉中穿插石英-闪锌矿-黄铜矿脉;(f) 石英-闪锌矿-黄铁矿脉,脉壁具斜向错动特征;(g) 早期黄铁矿脉被晚期赤铁矿脉穿插;(h) 石英-闪锌矿-黄铁矿穿插早期构造变形黄铁矿脉;(i) 闪锌矿-黄铁矿脉被晚期石英细脉和黄铁矿脉穿插;(j) 黄铁矿-闪锌矿脉与石英-闪锌矿-黄铜矿脉-黄铁矿脉;(k) 石英-闪锌矿-黄铜矿脉;(l) 石英-方解石-闪锌矿-黄铜矿脉. Cc-方解石;Ccp-黄铜矿;Hem-赤铁矿;Kf-钾长石;Py-黄铁矿;Q-石英;Sph-闪锌矿

Fig. 5 Hydrothermal veins from Zhengguang gold ore district

(a) quartz-K-feldspar vein; (b) quartz-pyrite-sphalerite vein; (c) two periods of veins: pyrite-sphalerite vein and quartz-pyrite-sphalerite vein; (d) quartz-sphalerite-chalcopyrite vein; (e) two periods of vein: pyrite-sphalerite vein cut quartz-sphalerite-chalcopyrite vein; (f) quartz-sphalerite-pyrite vein deformed by structure; (g) early pyrite vein was cut by late hematite vein; (h) early deformed pyrite was cut by quartz-sphalerite-pyrite vein; (i) sphalerite-pyrite vein was cut by late fine quartz and pyrite veins; (j) pyrite-sphalerite and quartz-pyrite-sphalerite-chalcopyrite veins; (k) quartz-sphalerite-chalcopyrite vein; (l) quartz-calcite-sphalerite-chalcopyrite vein. Cc-calcite; Ccp-chalcopyrite; Hem-hematite; Kf-K-feldspar; Py-pyrite; Q-quartz; Sph-sphalerite

4 古火山机构

火山机构是指一定时间范围内的、来自于同喷发源的火山物质围绕源区堆积所构成的、具有一定形态和共生组合关系的各种火山作用产物的总和。争光矿区奥陶世火山喷发强烈,发育大量的火山岩,主要为多宝山组,为含金矿体的赋存围岩,火山岩相包括有爆发相、溢流相、火山碎屑流相、火山沉积相等(图6)。爆发相和喷溢相交错的序列较为常见,说明在喷发时期熔岩的溢流与火山碎屑物的爆发交替进行,

因而形成的火山机构在剖面上多显示层状特征。如二号采坑所观测的岩性剖面显示存在含角砾凝灰岩-凝灰岩-安山岩互层现象,从而构成该区域火山岩成层特征。矿区发育的爆发相以火山集块岩和火山角砾岩为主,主要分布于二号采坑西北部、尾矿坝北侧及争光尾矿坝东偏南1km处(图4h-j);角砾成分单一,以安山质火山岩为主,在尾矿坝北侧C-C'剖面上发育的火山集块岩和角砾岩出现定向熔流特征(图4i、图6)。火山碎屑流相和火山沉积相出露较多,争光金矿区及其外围均大量发育,其中以火山碎屑岩最为发育。火山溢流相以安山岩为主,局部发育玄武安山岩,仅在二号矿带钻孔中观察到,安山岩主要与火山碎屑岩呈互层状产出;二号

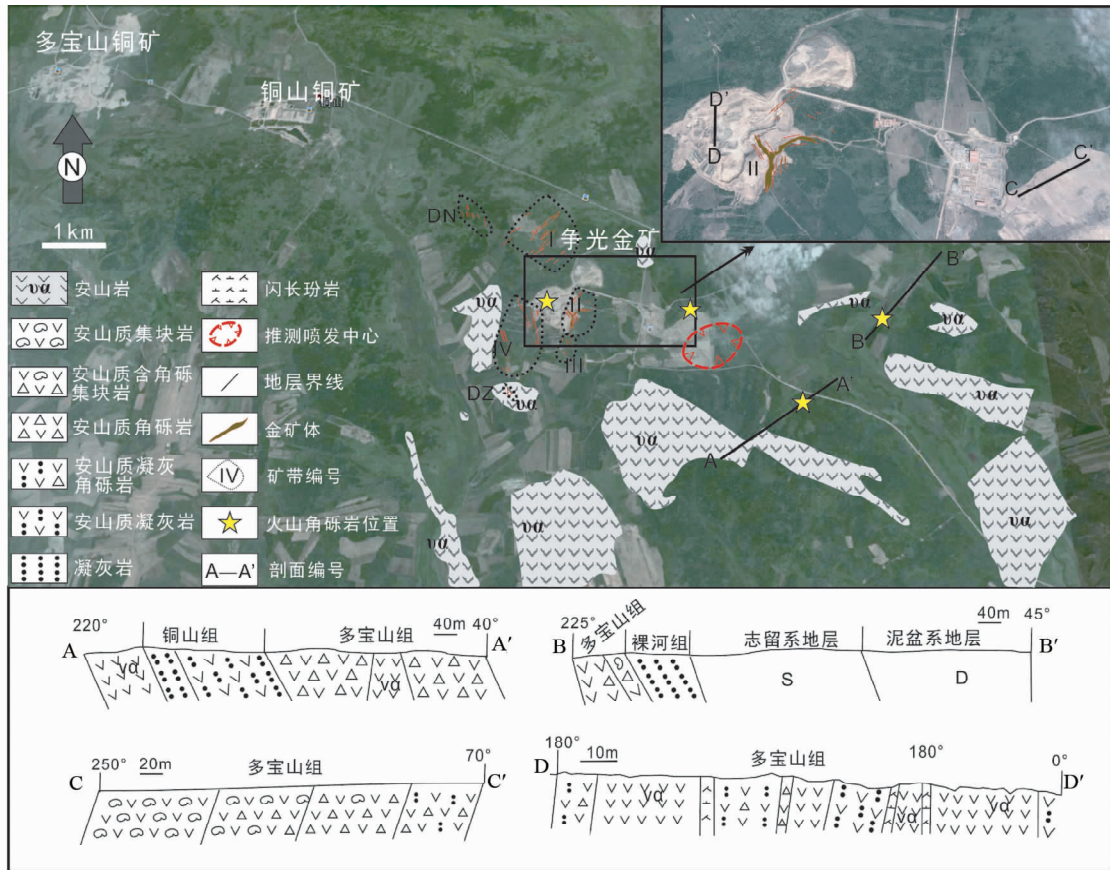


图6 争光金矿火山岩相剖面与古火山机构预测图(A-A'剖面与B-B'剖面据辽宁省冶金地质勘查局402队,2013^①)

Fig.6 Measured volcanic lithofacie profiles and prediction map of paleo-volcano edifice in Zhengguang ore district

采坑出露的安山岩内含大量角砾,部分直径达64mm以上(图6);此外,矿区及外围发育一期安山岩(图4o、图6),前人将之定为辉石安山玢岩,呈面状展布,斑晶以斜长石为主,其中含有大量的磁铁矿和辉石,根据其产出形态推测可能为火山活动进入尾声的产物。矿田范围内受后期热液蚀变的影响,多宝山组火山岩地层包括争光矿区普遍发育青磐岩化。

A-A'剖面发育多宝山组火山角砾岩、安山岩和铜山组火山碎屑岩、凝灰岩,构成两个火山旋回(图6);B-B'剖面发育多宝山组含角砾凝灰岩和含角砾集块岩、裸河组凝灰岩以及志留系和泥盆系地层(图6);C-C'剖面发育连续过渡的火山集块岩、含角砾集块岩、火山角砾岩、含角砾凝灰岩、凝灰岩等岩石,构成一个火山旋回(图6);D-D'剖面发育含角砾凝灰岩、凝灰岩、安山岩,并呈现互层现象,根据互层数推断至少发育三个火山旋回(图6)。以上剖面的共同特征是均发育多宝山组火山角砾岩(图6),根据火山集块岩、火山角砾岩、火山碎屑岩的空间展布及变化特征,推测争光矿区存在古火山机构。由于争光矿区处于多宝山矿带北西向弧形构造带上,该弧形构造对矿区的古生代火山岩以及古火山

机构造成严重破坏,致使火山岩以及古火山机构发生强烈变形,给寻找古火山机构的位置带来困难。根据目前的野外观察和室内镜下鉴定初步推断该古火山机构可能发育于尾矿坝附近(图6)。作为奥陶纪火山岩的喷发中心之一,位于争光金矿内的古火山机构活动时明显早于争光金矿的成矿时期;结合金矿体特征及含金脉系空间展布特征,目前倾向认为古火山机构先存的构造-裂隙体系可能为晚期金、锌、铅等金属元素的运移和沉淀提供了通道和空间。

5 测试样品及方法

5.1 样品

本文测试样品均来自争光金矿发育的脉状侵入岩。花岗闪长斑岩(ZG58-8)取自ZK58-8钻孔280m处,含斜长石和石英斑晶并以斜长石斑晶为主,基质主要为隐晶质的长石、石英、黑云母及少量硫化物;岩石呈灰白色至灰色,具弱的硅化和绿泥石化,以脉状穿切奥陶系多宝山组火山岩地层及含金矿化体,无矿化(图4n)。长石斑岩(ZG46-8)取自ZK46-8

① 辽宁省冶金地质勘查局402队. 2013. 黑龙江省嫩江县铜山外围区域地质图. 内部资料

钻孔 145m 处,呈灰色,以含斜长石斑晶为主且不含石英斑晶,基质主要为隐晶质的长石、石英、黑云母及少量硫化物;岩石整体较为新鲜,无变形,无矿化(图 4m),以脉状穿切奥陶系多宝山组火山岩地层,与含金矿体无直接穿插关系,但根据其产状、岩性、蚀变特征判断其为成矿后脉岩。闪长玢岩(ZG003 和 ZG101)取自争光 II 号采坑地表,岩石强烈风化呈土黄色,以含角闪石和斜长石斑晶为主,基质主要为隐晶质的长石、角闪石、黑云母及少量硫化物;具中到强的绿泥石化、粘土化等蚀变,该蚀变表明脉岩侵位后尚有一期热液活动;以脉状穿切奥陶系多宝山组火山岩地层、并切穿含金矿脉(图 4k, 1)。研究表明以上脉岩均为成矿后侵入岩,对其进行年龄测试可约束金成矿作用的下限。

5.2 分析方法

样品的锆石挑选在河北省区域地质矿产调查研究所进行,锆石制靶在中国科学院地质与地球物理研究所离子探针实验室完成。锆石 CL 图像和 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定是在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室完成。实验采用的 ICP-MS 为美国 Agilent 公司生产的 Agilent 7500a,激光剥蚀系统为德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准激光器(波长 193nm)与 MicroLas 公司的光学系统组成。采样方式为单点剥蚀,数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式,在本次研究中激光剥蚀半径为 40 μm 。锆石年龄测定采用国际标准 91500 锆石作为外标,元素含量采用美国国家标样技术研究院的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 为外标,²⁹Si 作为内标。91500 锆石年龄值、人工合成硅酸盐玻璃 NIST610 为外标和²⁹Si 含量分别见参考文献 Wiedenbeck *et al.* (1995) 和 Ancziewicz *et al.* (2001)。数据处理采用 ISOPLOT 3.0 程序(Ludwig, 2001)。

5.3 分析结果

长石斑岩(ZG46-8)锆石含量丰富,晶体形态多为自形-半自形短柱状,部分锆石呈长条状,他形粒状,粒径在 70 ~ 150 μm 之间,锆石 Th/U 比值主要为 0.30 ~ 0.50(表 1),具有岩浆锆石的特点。此次随机选取 20 粒锆石颗粒进行测试,除有 3 个锆石颗粒谐和度较低,其它 17 粒锆石数据点都分布在谐和线上及其附近,年龄比较集中,谐和度较高,17 个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值变化于 449 ~ 458Ma 之间,加权平均值为 454.6 \pm 1.4Ma, MSWD = 0.90(图 7a),可以代表长石斑岩的形成年龄。

花岗闪长斑岩(ZG58-8)锆石含量丰富,晶体形态多为自形-半自形短柱状,部分锆石呈长条状,粒径在 80 ~ 200 μm 之间,锆石 Th/U 比值主要为 0.30 ~ 0.48(表 1),具有岩浆锆石的特点。此次随机选取 20 粒锆石颗粒进行测试,除有 6 个锆石颗粒谐和度较低,其它 14 粒锆石数据点都分布在谐和线上及其附近,年龄比较集中,谐和度较高,14 个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值变化于 430 ~ 439Ma 之间,加权平均值为

436.1 \pm 1.6Ma, MSWD = 0.97(图 7b),可以代表花岗闪长斑岩的形成年龄。

闪长玢岩(ZG003)锆石含量稀少,晶体形态多为自形-半自形短柱状,粒径在 40 ~ 100 μm 之间,锆石点 Th/U 比值主要为 1.0 ~ 2.85(表 1),具有岩浆锆石的特点。此次选取 7 粒锆石颗粒进行测试,7 个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值变化于 210 ~ 432Ma 之间,无法得出谐和年龄和加权平均年龄(图 7c)。

闪长玢岩(ZG101)锆石含量同样稀少,晶体形态多为自形-半自形短柱状,粒径在 30 ~ 90 μm 之间,锆石点 Th/U 比值主要为 1.0 ~ 2.0(表 1),具有岩浆锆石的特点。此次选取 7 粒锆石颗粒进行测试,7 个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值变化于 280 ~ 297Ma 之间,加权平均值为 291.7 \pm 5.9Ma, MSWD = 10.2(图 7d),未能得出谐和年龄。

6 讨论

6.1 矿床类型

争光金矿的矿床类型归属一直是个难题。赵广江等(2006)依据矿体产于闪长岩体周围推测成矿热液主要为岩浆期后热液,认为成矿物质主要来源于多宝山组凝灰岩、安山岩、绢云绿泥板岩以及燕山早期闪长岩,燕山期中酸性岩浆侵入作用为金矿的形成提供了热源,构造作用对含金热液的流动与迁移提供了通道。武子玉等(2006)对争光金矿进行的氢氧同位素研究结果表明为 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}} = 1.1\text{‰} \sim 15.6\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}} = -7.0\text{‰} \sim -0.2\text{‰}$, $\delta\text{D} = -85\text{‰} \sim -63\text{‰}$,认为成矿流体为岩浆水、变质水和大气水的混合液(赵元艺等, 2011),成矿流体氧同位素向岩浆水方向的偏离可能是由水岩反应所致,并认为争光金矿为热液-构造蚀变岩型,此为第一种观点。邓轲等(2013)将争光金矿流体成矿过程划分为石英-黄铁矿阶段、石英-多金属硫化物阶段、方解石-石英-多金属硫化物阶段和方解石阶段。流体包裹体工作表明石英-多金属硫化物阶段(主成矿阶段)均一温度集中于 150 ~ 220 $^{\circ}\text{C}$,方解石-石英-多金属硫化物阶段集中于 140 ~ 190 $^{\circ}\text{C}$,方解石阶段集中于 130 ~ 150 $^{\circ}\text{C}$,成矿流体总体属于低温、低盐度的大气降水热液,综合地质特征和流体包裹体工作认为争光金矿为低硫型浅成低温热液金矿,此为第二种观点。

根据本文的野外及室内观测,争光金矿存在如下特点:1)含金脉系多以细脉状或网脉形式产出,脉宽 1cm 至 1m 不等,主要集中在 1 ~ 10cm;2)含金脉系延长和延伸上均呈现出尖灭复合、膨大缩小等特征;3)争光金矿含金脉系产状受北西向、北东向及南北向三组构造控制;4)热液蚀变以区域上大面积发育的青磐岩化为显著特征,同时发育绢英岩化、碳酸盐化、硅化、少量钾化等,蚀变呈面状分布,显著区别于构造蚀变岩型金矿特有的侧向蚀变分带特征;5)含金脉系中硫化物含量普遍高于 10%,不同于低硫型金矿石英脉中硫化物含

表 1 黑龙江省争光金矿锆石 U-Pb 测试数据

Table 1 Zircon U-Pb dating results of the Zhengguang ore district in Heilongjiang Province

Spot No.	Th/U	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ (Ma)	1 σ	谐和度 (%)
ZG58-8-1	0.47	0.05534	0.00074	0.56051	0.00594	0.07349	0.00046	0.02618	0.00019	457	3	0.9
ZG58-8-2	0.23	0.05597	0.00095	0.56767	0.00832	0.07358	0.0005	0.02802	0.00038	458	3	0.9
ZG58-8-3	0.42	0.05645	0.00083	0.56869	0.00687	0.07307	0.00047	0.02626	0.00022	455	3	0.9
ZG58-8-4	0.28	0.05704	0.00095	0.60046	0.0086	0.07635	0.00051	0.02904	0.00034	474	3	0.9
ZG58-8-5	0.47	0.05657	0.00099	0.57166	0.0088	0.0733	0.00051	0.021	0.00024	456	3	0.9
ZG58-8-6	0.23	0.05809	0.00174	0.5861	0.01682	0.07318	0.00061	0.02269	0.00016	455	4	0.85
ZG58-8-7	0.28	0.06327	0.00126	0.6347	0.01134	0.07275	0.00053	0.02861	0.00044	453	3	0.9
ZG58-8-8	0.32	0.05498	0.00101	0.55084	0.00896	0.07265	0.00051	0.02751	0.00034	452	3	0.9
ZG58-8-9	0.21	0.05617	0.00129	0.55876	0.01181	0.07214	0.00056	0.02754	0.00055	449	3	0.9
ZG58-8-10	0.33	0.05537	0.00093	0.55609	0.00813	0.07282	0.00049	0.02882	0.00031	453	3	0.9
ZG58-8-11	0.39	0.05551	0.00098	0.56138	0.00873	0.07331	0.00051	0.02684	0.00029	456	3	0.9
ZG58-8-12	0.40	0.05725	0.00076	0.57188	0.00598	0.07241	0.00046	0.02697	0.0002	451	3	0.9
ZG58-8-13	0.25	0.0546	0.00117	0.55658	0.01087	0.07388	0.00055	0.02957	0.00045	459	3	0.9
ZG58-8-14	0.41	0.0562	0.00121	0.56492	0.01108	0.07286	0.00056	0.02635	0.00037	453	3	0.9
ZG58-8-15	0.49	0.05964	0.00133	0.59935	0.0123	0.07283	0.00057	0.02799	0.00036	453	3	0.9
ZG58-8-16	0.24	0.05577	0.00121	0.56109	0.01117	0.0729	0.00055	0.02485	0.00044	454	3	0.9
ZG58-8-17	0.24	0.05604	0.00118	0.56032	0.01082	0.07246	0.00054	0.02574	0.00044	451	3	0.9
ZG58-8-18	0.36	0.05567	0.00086	0.56737	0.00744	0.07385	0.00049	0.02517	0.00024	459	3	0.9
ZG58-8-19	0.38	0.0558	0.00094	0.56362	0.00825	0.07318	0.0005	0.02442	0.00026	455	3	0.9
ZG58-8-20	0.39	0.05617	0.00089	0.56687	0.00765	0.07312	0.00049	0.0251	0.00024	455	3	0.9
ZG46-8-1	0.22	0.05231	0.00066	0.50696	0.00501	0.0702	0.00044	0.02619	0.00021	437	3	0.9
ZG46-8-2	0.27	0.05564	0.00075	0.53999	0.00586	0.0703	0.00046	0.02574	0.00024	438	3	0.9
ZG46-8-3	0.24	0.05514	0.00074	0.53107	0.00572	0.06976	0.00045	0.02591	0.00023	435	3	0.9
ZG46-8-4	0.23	0.05659	0.00076	0.54245	0.0058	0.06943	0.00045	0.02874	0.00025	433	3	0.9
ZG46-8-5	0.22	0.05548	0.00078	0.54004	0.00624	0.0705	0.00046	0.02638	0.00026	439	3	0.9
ZG46-8-6	0.27	0.0558	0.00079	0.53831	0.00623	0.06987	0.00046	0.02823	0.00029	435	3	0.9
ZG46-8-7	0.20	0.05454	0.00073	0.57416	0.00614	0.07624	0.00049	0.02681	0.00025	474	3	0.9
ZG46-8-8	0.19	0.05919	0.00125	0.61617	0.01186	0.07539	0.00058	0.02985	0.00055	469	3	0.9
ZG46-8-9	0.35	0.05658	0.00083	0.59365	0.00734	0.07597	0.00051	0.0253	0.00021	472	3	0.9
ZG46-8-10	0.45	0.05675	0.00079	0.63377	0.00725	0.08084	0.00054	0.02467	0.00019	501	3	0.9
ZG46-8-11	0.23	0.05699	0.00095	0.62123	0.00904	0.07891	0.00055	0.0254	0.00034	490	3	0.9
ZG46-8-12	0.44	0.05336	0.00084	0.51942	0.00698	0.07046	0.00048	0.02292	0.00021	439	3	0.9
ZG46-8-13	0.27	0.05515	0.00078	0.53283	0.00619	0.06993	0.00047	0.02115	0.00021	436	3	0.9
ZG46-8-14	0.29	0.05315	0.00079	0.51748	0.00648	0.07047	0.00047	0.01964	0.0002	439	3	0.9
ZG46-8-15	0.37	0.05556	0.00084	0.53871	0.00692	0.07017	0.00048	0.0206	0.00021	437	3	0.9
ZG46-8-16	0.24	0.05339	0.00087	0.51439	0.00725	0.06973	0.00048	0.02052	0.00027	435	3	0.9
ZG46-8-17	0.43	0.05517	0.00088	0.53826	0.00744	0.07061	0.00049	0.02172	0.00022	440	3	0.9
ZG46-8-18	0.30	0.05527	0.00065	0.52948	0.00465	0.06933	0.00044	0.02014	0.00014	432	3	0.9
ZG46-8-19	0.36	0.05564	0.00077	0.54156	0.00617	0.07044	0.00047	0.02168	0.00019	439	3	0.9
ZG46-8-20	0.32	0.05461	0.00079	0.52094	0.00635	0.06903	0.00047	0.02155	0.00022	430	3	0.9
ZG003-1	0.24	0.05574	0.00132	0.5328	0.01171	0.06932	0.00055	0.02376	0.00049	432	3	0.9
ZG003-2	0.78	0.05247	0.00112	0.31701	0.00616	0.04382	0.00032	0.01389	0.00014	276	2	0.9
ZG003-3	0.05	0.0573	0.00071	0.34812	0.00325	0.04406	0.00028	0.02763	0.00034	278	2	0.9
ZG003-4	1.43	0.04848	0.00083	0.22119	0.00329	0.03309	0.00022	0.01067	0.00007	210	1	0.9
ZG003-5	0.93	0.04959	0.001	0.22595	0.0041	0.03305	0.00024	0.01105	0.0001	210	1	0.9
ZG003-6	1.25	0.05113	0.00163	0.32219	0.00977	0.0457	0.00041	0.01491	0.00018	288	3	0.9
ZG003-7	2.86	0.0498	0.00062	0.24578	0.00236	0.0358	0.00023	0.01147	0.00005	227	1	0.9
ZG101-1	0.09	0.06475	0.00075	0.39587	0.00336	0.04435	0.00028	0.03185	0.00027	280	2	0.9
ZG101-2	2.00	0.06915	0.00082	0.44622	0.0039	0.0468	0.0003	0.01284	0.00006	295	2	0.9
ZG101-3	1.28	0.07377	0.00108	0.47895	0.00578	0.0471	0.00032	0.01405	0.00009	297	2	0.9
ZG101-4	1.47	0.05535	0.00063	0.35896	0.00296	0.04705	0.00029	0.0146	0.00007	296	2	0.9
ZG101-5	1.56	0.0564	0.00072	0.36076	0.00362	0.0464	0.0003	0.01384	0.00007	292	2	0.9
ZG101-6	1.14	0.07243	0.00201	0.46943	0.01248	0.04701	0.00037	0.01421	0.00009	296	2	0.9
ZG101-7	1.18	0.06307	0.00251	0.39432	0.0153	0.04535	0.0004	0.01392	0.00009	286	2	0.88

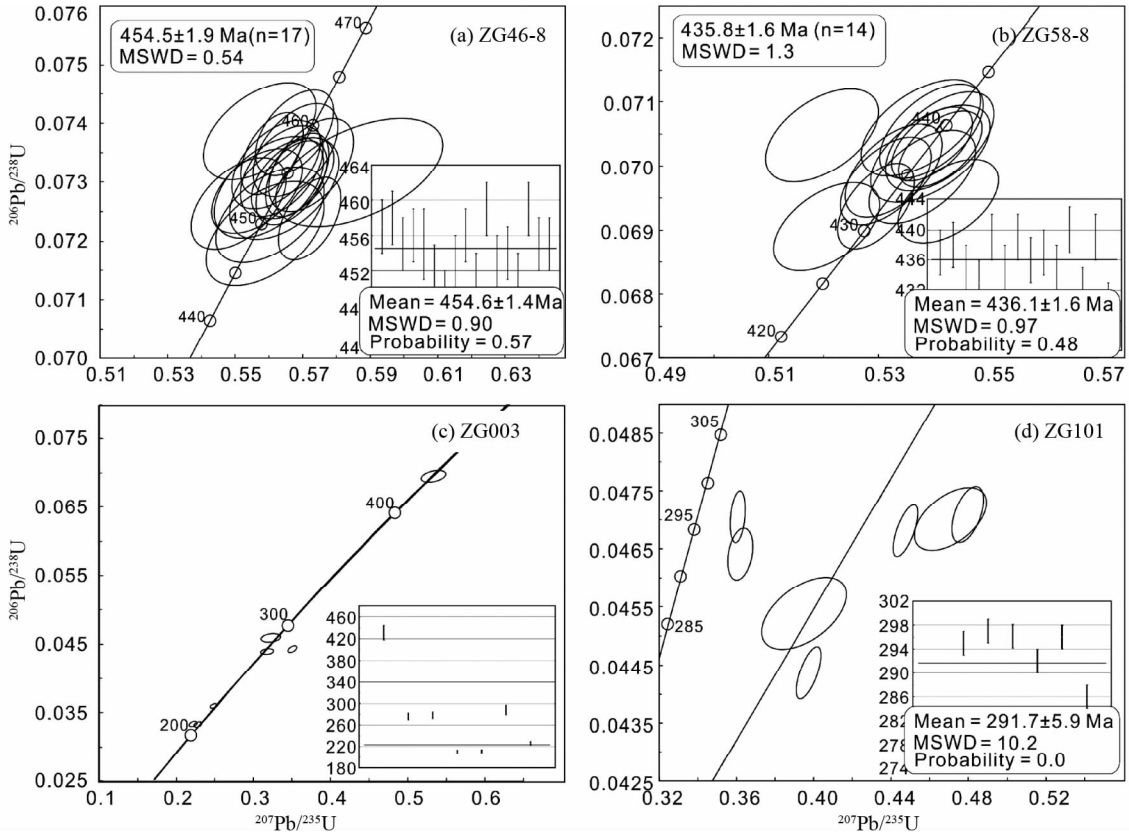


图7 争光矿区长石斑岩(a)、花岗闪长斑岩(b)及闪长玢岩(c、d)样品锆石谐和曲线图及锆石加权平均年龄图

Fig. 7 Zircon U-Pb concordia diagrams and weighted average ages of plagioclase porphyry dike (a), granodiorite porphyry dike (b), and porphyry diorite dike (c, d) in Zhenguang ore district

量普遍偏少(低于5%);6)含金脉系矿物组成主要为石英、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、方解石及少量赤铁矿,不发育冰长石,也未见明矾石、硫砷铜矿等低硫型或者高硫型特征矿物;7)不发育空洞石英、条带状石英及高级泥化;8)闪锌矿中Fe含量约为0.1%~2.6%(电子探针数据),相对较低;9)I号、II号矿带钻孔揭示由浅至深含矿脉系黄铜矿含量逐渐增加(图31)。以上特征表明,争光金矿从矿化特征、脉系特征、蚀变特征上均不同于构造蚀变岩型金矿,应该属于浅成低温热液型;从特征矿物组合、硫化物含量、闪锌矿Fe含量、特征矿物结构构造上比较,争光金矿亦不同于经典的高硫型和低硫型金矿,而具有由高硫型向低硫型过渡的特点。

近年来,随着研究工作的不断深入,Hedenquist *et al.* (2000)提出了一种矿床特征介于高硫化型(HS)与低硫化型(LS)之间的中硫化型(Intermediate Sulphidation)矿床。通常情况下,低硫化型矿床含黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂和高铁闪锌矿;高硫化型矿床则含黄铁矿、硫砷铜矿、四方硫砷铜矿、铜蓝;而中硫化型矿床的特征硫化物组合为一套具有中等硫化状态的矿物组成——黄铁矿、黝铜矿、黄铜矿和高铁闪锌矿。中硫型浅成低温热液金矿普遍发育伊利石蚀变晕,而高硫型则发育高级泥化蚀变晕(Cooke *et al.*, 2011)。美洲西部科迪勒拉山系发育大量的浅成低温热液金矿床,其中北美洲墨

西哥境内发育大量中硫型浅成低温热液矿床;Camprubí and Albinson(2007)对这些矿床进行了系统总结,认为具有如下特点:发育大量硫化物,普遍大于5%;闪锌矿中低Fe含量;伴有大量方铅矿、黄铜矿、黄铁矿、黝铜矿等;伴生透明石英、锰碳酸盐、硅酸盐、萤石以及极少的冰长石;主要蚀变类型为伊利石、绢云母和青磐岩化。以上特征与本文在争光金矿观察到的宏观、微观特征均十分吻合。为更全面更准确厘定争光金矿成因类型,本文对高硫型、中硫型、低硫型浅成低温热液矿床的矿床特征及与争光金矿床的特征进行了对比(表2),结果表明争光金矿从构造背景、围岩特征、蚀变特征、脉系特征、矿化特征、成矿流体特征等各方面均与中硫型矿床更加吻合,据此,我们明确提出争光金矿为中硫型浅成低温热液金矿。

6.2 成矿系统

关于多宝山成矿带的研究成果已经不少,主要针对多宝山铜矿和铜山铜矿(杜琦等, 1988; 赵元艺, 1995; 赵一鸣等, 1997; 王喜臣等, 2007; 葛文春等, 2007; 韩成满等, 2007; 李德荣, 2011; 杜英杰, 2012; Zeng *et al.*, 2014)。在以上研究成果中只有少量涉及争光金矿的成矿时代,个别学者对争光金矿的成矿作用进行了探讨,如赵元艺等(2011)、

表 2 高硫型、中硫型、低硫型浅成低温热液矿床的矿床特征及与争光金矿床的矿床特征对比

Table 2 Deposits characteristics of HS, IS, LS eipthermal deposits and comparison with Zhengguang ore district in Heilongjiang Province

类别	高硫化型	中硫化型	低硫化型	争光金矿
构造背景	陆内伸展和挤压岛弧环境	陆内伸展和挤压岛弧环境	伸展大陆和岛弧环境	挤压岛弧环境
成矿有关火成岩	钙碱性安山岩、流纹质英安岩	钙碱性安山岩、流纹质英安岩、部分流纹岩	玄武岩或者流纹岩, 碱性玄武岩到粗面岩	多宝山组安山岩类
主要蚀变矿物	石英、明矾石、磷酸盐-硫酸盐、叶腊石、迪开石	石英、绢云母、伊利石、冰长石一般不发育	伊利石, 蒙脱石、冰长石、钡云母	石英、绢云母、伊利石、暂未发现冰长石和明矾石
硅酸盐脉石	大量细粒硅化和孔洞残留石英	脉状、网脉状填充型、壳状梳状石英	脉填充型壳状石英和胶体玉髓和石英	脉状、网脉状填充型梳状石英
碳酸盐脉石	不出现	普遍发育, 包括特征锰碳酸盐	一般少量或后期丰富, 不含锰	普遍发育
硫化物含量(vol%)	10~90	5~20	普遍<2, 少量达2~10	大于5
主要硫化物种类	黄铁矿、硫砷铜矿、四方硫砷铜矿、螺状硫银矿、黄铜矿	闪锌矿、方铅矿、黝铜矿-砷黝铜矿、黄铜矿	少量毒砂±磁黄铁矿, 少量闪锌矿、方铅矿、黝铜矿、黄铜矿	黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿
主要金属	Au-Ag, Cu, As-Sb	Ag-Au, Zn, Pb, Cu	Au ± Ag	Au-Ag, Zn, Pb, Cu
流体温度及盐度	100 to >400℃, <5wt% NaCleqv	200 to 300℃, 0~23wt% NaCl	150 to 300℃, <3.5wt% NaCleqv	119 to 305℃, <3.5wt% NaCleqv
流体组成	酸性、高氧化岩浆水	岩浆水与大气水, 中性、还原	大气水为主, 岩浆水参与, 中性、还原	尚需工作
闪锌矿中 FeS 含量 (% mol)	<1	1~20	>20	0.1~2.6, 平均 1.2
资料来源	Hedenquist <i>et al.</i> , 2000; 张德全等, 2003; Heinrich, 2007; 陈衍景等, 2007; 缪宇等, 2007	Hedenquist <i>et al.</i> , 2000; Camprubí and Albinston, 2007; Findley, 2010	Hedenquist <i>et al.</i> , 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003; 陈衍景等, 2007; Sun <i>et al.</i> , 2012	本文; 武子玉等, 2006; 赵广江等, 2006; 邓轲等, 2013

邓轲等(2013)根据争光金矿的矿化特征、地质体特征及其外围地质体的对比,推测争光金矿成矿作用与矿区内发育的闪长岩有关,其主要依据是该闪长岩与外围发育的裸河石英闪长岩体相似,而裸河石英闪长岩 K-Ar 年龄为 182Ma, 锆石 U-Pb 年龄为 186Ma(郑全波, 2012), 因此认为争光金矿亦形成于早侏罗世。但因缺乏精确的年代学工作和地质依据,争光金矿的成矿时代仍然悬而未决。作为同一北西向弧形构造带上的矿床,究竟争光金矿与多宝山、铜山铜矿有何联系? 这一问题严重制约了区域成矿规律认识和区域找矿勘查工作。

本文用于锆石 U-Pb 定年测试的样品为花岗闪长斑岩、长石斑岩和闪长玢岩,均为切穿奥陶系火山岩地层和含金矿体的脉岩。测试结果表明花岗闪长斑岩侵位年龄为 436.1 ± 1.6 Ma, 长石斑岩侵位年龄为 454.6 ± 1.4 Ma, 闪长玢岩没有获得理想的测试结果,推测其侵位年介于 210~432Ma 之间。据测试结果可知,争光金矿成矿作用最晚要早于 454.6 ± 1.4 Ma, 即十分靠近多宝山与铜山 480Ma 的成矿年龄(赵一鸣等, 1997; Zeng *et al.*, 2014); 根据多宝山成矿带上已有的

研究成果,区域上早于 454Ma 的成矿作用仅有约 480Ma 时的 Cu-Au 成矿作用,因此本文认为争光金矿成矿时代同样约在 480Ma, 与多宝山铜矿和铜山铜矿同期或近同期成矿。

至此,关于多宝山成矿带成矿系统的认识已比较明朗。众多前人研究成果表明斑岩型铜多金属矿床主要产于板块汇聚边缘与俯冲作用有关的火山-岩浆弧中,是在区域压性背景下侵位形成的(Sillitoe, 2010), 主要分布于南美洲的智利、秘鲁及太平洋西南缘的东南亚地区,在这些地区浅成低温热液金矿床同样广泛分布。在中国也发现有吉林小西南岔(芮宗瑶等, 1995)、东宁东厂(Sun *et al.*, 2012)、天山土屋-卡拉塔格斑岩铜矿和石英滩-马庄山浅成低温金矿(Qin *et al.*, 2002; 缪宇等, 2007)、西藏班公湖-怒江带上的多不杂富金斑岩型铜矿床(李光明等, 2007; Li *et al.*, 2012)和冈底斯中西段雄村 Cu-Au 矿床(唐菊兴等, 2010)。任纪舜等(1997)和李锦铎(1998)对该区的研究表明,奥陶世多宝山组这套岩石组合产出的大地构造位置为典型的岛弧带,该岛弧火山岩类似于现代大洋岛弧(如菲律宾群岛)。向安平等(2012)认为多宝山古生代斑岩型 Cu 矿床的形成构造环境为

类似于西南太平洋产出大量斑岩型矿床的俯冲岛弧带(菲律宾群岛)构造背景(Sillitoe and Mortensen, 2010)。Wu *et al.* (2011)研究表明在中国东北额尔古纳地块、兴安地块、松辽地块和佳木斯地块上均发育早古生代(约 460 ~ 500Ma)岩浆活动,认为早古生代时多宝山地区为受古亚洲洋俯冲控制而形成的岛弧。多宝山矿带 Cu-Au 成矿作用形成于早古生代岛弧背景下(Wu *et al.*, 2011; Zeng *et al.*, 2014),已为多数研究者所接受。

多宝山成矿带上大面积发育的安山质火山岩以及争光金矿古火山机构的确认表明,早古生代时争光矿区内的古火山机构为喷发中心之一,连续发育了奥陶纪多宝山组和铜山组海相火山岩地层,此后进入浅海沉积阶段。伴随着俯冲作用的进行和多宝山岛弧的形成,在约 480 ~ 454Ma 时以花岗岩闪长岩和花岗闪长斑岩为主的岩浆岩侵位并形成了多宝山铜(金)矿、铜山铜矿与争光金矿,且构成了完整的斑岩 Cu-Au 与中硫型浅成低温热液 Au 成矿系统。该认识对于区域勘查部署和深边部成矿预测也具有重要意义。

7 结论

(1) 争光金矿区发育大量的火山岩相,可分为爆发相、溢流相、火山碎屑流相、火山沉积相等,且熔岩的溢流与火山碎屑物的爆发交替进行,形成具层状特征火山机构。矿区发育的火山集块岩、火山角砾岩、火山碎屑岩的空间展布及变化特征表明争光金矿区内发育有古火山机构,推断其位于矿区东南部尾矿坝附近。

(2) 争光金矿从矿化特征、脉系特征、蚀变特征上属于浅成低温热液型;从特征矿物组合、硫化物含量、闪锌矿 Fe 含量、特征矿物结构构造上,争光金矿亦不同于高硫型和低硫型金矿,而应属于由高硫型向低硫型过渡的类型-即中硫型浅成低温热液金矿,并伴生锌矿化。

(3) 多种脉岩的锆石 U-Pb 年代学工作显示争光金矿成矿作用应早于 454Ma,综合判断应与区域上多宝山和铜山铜矿同期成矿。争光金矿、多宝山铜矿与铜山铜矿同形成于早古生代(480 ~ 454Ma),产于古亚洲洋俯冲作用控制的岛弧背景,且构成了完整的斑岩 Cu-Au 与中硫型浅成低温热液 Au 成矿系统。这一新的认识为争光金矿的深部寻找斑岩铜矿提供了科学依据,对区域勘查也具有重要借鉴价值。

致谢 野外工作得到黑龙矿业集团股份有限公司刘锐总裁、梁海军总工、总工助理唐辉和齐永生,金山岩、崔革、祝鹏飞、朱朝立等高工的大力支持与讨论启发,参加野外调查的还有金露英、赵超、李力、苏仕强;室内测试得到中国科学院地质与地球物理研究所 LA-ICP-MS 实验室岳岳研究员的大力支持;承蒙孙景贵教授、曾庆栋研究员给予细致审阅和建设性修改意见;在此一并表示衷心感谢。

References

- Anczkiewicz R, Oberli F, Burg JP, Villa IM, Günther D and Meier M. 2001. Timing of normal faulting along the Indus Suture in Pakistan Himalaya and a case of major $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ initial disequilibrium in zircon. *Earth & Planetary Science Letters*, 191(1-2): 101-114
- Bureau of Geology and Mineral Resource of Heilongjiang Province. 1993. *Regional Geology of Heilongjiang Province*. Beijing: Geological Publishing House, 1-622 (in Chinese)
- Camprubí A and Albinson T. 2007. Epithermal deposits in México: Update of current knowledge, and an empirical reclassification. *Geological Society of America-Special Paper*, 422: 377-415
- Chen YJ, Ni P, Fan HR, Pirajno F, Lai Y, Su WC and Zhang H. 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2085-2108 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Zhang C, Li N, Yang YF and Deng K. 2012. Geology of the Mo deposits in Northeast China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(5): 1223-1268 (in Chinese with English abstract)
- Cooke DR, Deyell CL, Waters PJ, Gonzales RI and Zaw K. 2011. Evidence for magmatic-hydrothermal fluids and ore-forming processes in epithermal and porphyry deposits of the Baguio District, Philippines. *Economic Geology*, 106(8): 1399-1424
- Cui G. 1983. Determination of Ordovician continental margin volcanic arc in northwestern Xiaoxing'anling and its evolution. In: *Transactions of Plate Tectonics in Northern China*. Beijing: Geological Publishing House, 293-315 (in Chinese with English abstract)
- Cui G, Wang JY, Zhang JX and Cui G. 2008. U-Pb SHRIMP dating of zircons from Duobaoshan granodiorite in Heilongjiang and its geological significance. *Global Geology*, 27(4): 387-394 (in Chinese with English abstract)
- Deng K, Li N, Yang YF, Zhang C, Yu YB and Zhang DC. 2013. Fluid inclusion constraints on the origin of the Zhengguang gold deposit, Heihe City, Heilongjiang Province. *Acta Petrologica Sinica*, 29(1): 231-240 (in Chinese with English abstract)
- Du Q, Zhao YM, Lu BG, Ma DY, Li PL, Lü JK, Li WS, Ao LZ and Cui G. 1988. *The Duobaoshan Porphyry Copper Deposit*. Beijing: Geological Publishing House, 1-155 (in Chinese)
- Du YJ. 2012. *The metallogenic characteristics and prospecting direction of Duobaoshan Cu-Au metallogenic belt, Heilongjiang Province*. Master Degree Thesis. Changchun: Jilin University, 1-48 (in Chinese with English summary)
- Findley AA. 2010. Structural, mineralogical and geochronological constraints of the Miguel Auza intermediate-sulfidation Ag-rich polymetallic mineralization deposit, Zacatecas, Mexico. Master Degree Thesis. Canada: Queen's University, 1-99
- Fu YL and Yang YC. 2011. deposit genesis and prospecting criteria of Zhengguang gold deposit, Heilongjiang. *Gold*, 31(6): 13-18 (in Chinese with English abstract)
- Gao RZ, Lü XB, Yang YS and Li CC. 2014. Characteristics of cryptoexplosive breccias in the Zhengguang gold deposit of Heilongjiang Province and their geological implications. *Geology and Exploration*, 50(5): 874-883 (in Chinese with English abstract)
- Ge WC, Wu FY, Zhou CY and Zhang JH. 2007. Porphyry Cu-Mo deposits in the eastern Xing'an-Mongolian Orogenic Belt: Mineralization ages and their geodynamic implications. *Chinese Science Bulletin*, 52(24): 3416-3427
- Han CM, Wang CS and Li ZM. 2007. *Duobaoshan Copper's Resource and Potential*. Beijing: Geological Publishing House, 1-68 (in Chinese with English abstract)
- Hedenquist JW, Arribas A and Gonzalez-Urien E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, 13: 245-277
- Heinrich CA. 2007. Fluid-fluid interactions in magmatic-hydrothermal

- ore formation. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 65(1): 363–387
- Li DR. 2011. Metallogenic regularity and prospecting direction of Sankuanggou copper polymetallic deposit in Heilongjiang. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences, 1–146 (in Chinese with English summary)
- Li GM, Li JX, Qin KZ, Zhang TP and Xiao B. 2007. High temperature, salinity and strong oxidation ore-forming fluid at Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in the Bangonghu tectonic belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 935–952 (in Chinese with English abstract)
- Li JX, Li GM, Qin KZ, Xiao B, Chen L and Zhao JX. 2012. Mineralogy and mineral chemistry of the Cretaceous Duolong gold-rich porphyry copper deposit in the Bangongco Arc, northern Tibet. *Resource Geology*, 62(1): 19–41
- Li JY. 1998. Some new ideas on tectonics of NE China and its neighboring areas. *Geology Review*, 44(4): 339–347 (in Chinese with English abstract)
- Liu J, Wu G, Zhong W and Zhu MT. 2010. Fluid inclusion study of the Duobaoshan porphyry Cu (Mo) deposit, Heilongjiang Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1450–1464 (in Chinese with English abstract)
- Liu J, Wu G, Li Y, Zhu MT and Zhong W. 2012. Re-Os sulfide (chalcopyrite, pyrite and molybdenite) systematics and fluid inclusion study of the Duobaoshan porphyry Cu (Mo) deposit, Heilongjiang Province, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 49: 300–312
- Ludwig KR. 2001. *Users Manual for Isoplot/Ex: A geochronological Toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Center Special Publication, USA, 1–53
- Miao Y, Qin KZ, Xu YX, Fang TH, Ding KS and Xu XW. 2007. Geological and fluid inclusion characteristics of Meiling Cu-Au deposit in Kalatage ore belt, eastern Xinjiang, in comparison with typical Zijinshan-style HS-epithermal deposit. *Mineral Deposits*, 26(1): 79–88 (in Chinese with English abstract)
- Qin KZ, Wang DB, Wang ZT and Sun S. 1999. Types, geological background, metallogenic provinces and ore-forming systematics of major copper deposits in eastern China. *Mineral Deposits*, 18(4): 359–371 (in Chinese with English abstract)
- Qin KZ, Sun S, Li JL, Fang TH, Wang SL and Liu W. 2002. Paleozoic epithermal Au and porphyry Cu deposits in North Xinjiang, China: Epochs, features, tectonic linkage and exploration significance. *Resource Geology*, 52(4): 291–300
- Ren JS, Wang ZX, Chen BW, Jiang CF, Niu BG, Li JY, Xie GL, He ZJ and Liu ZG. 1997. A new generation tectonic map of China. *Regional Geology of China*, 16(3): 225–230 (in Chinese with English abstract)
- Rui ZY, Zhang HT, Wang LS and Chen RY. 1995. The multiplemetallogenic model of the porphyry-epithermal copper-gold deposits in eastern Jilin and Heilongjiang. *Mineral Deposits*, 14(2): 174–184 (in Chinese with English abstract)
- Sillitoe RH and Hedenquist JW. 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 10: 315–343
- Sillitoe RH. 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1): 3–41
- Sillitoe RH and Mortensen JK. 2010. Longevity of porphyry copper formation at Quellaveco, Peru. *Economic Geology*, 105(6): 1157–1162
- Sun JG, Zhang Y, Han SJ, Men LJ, Li YX, Chai P and Yang F. 2012. Timing of formation and geological setting of low-sulphidation epithermal gold deposits in the continental margin of NE China. *International Geology Review*, 55(5): 608–632
- Sun WD, Ling MX, Yang XY, Fan WM, Ding X and Liang HY. 2010. Ridge subduction and porphyry copper gold mineralization: An overview. *Science China (Earth Sciences)*, 53(4): 475–484
- Tang JX, Li FJ, Li ZJ, Zhang L, Tang XQ, Deng Q, Lang XH, Huang Y, Yao XF and Wang Y. 2010. Time limit for formation of main geological bodies in Xiongcu copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet: Evidence from zircon U-Pb ages and Re-Os age of molybdenite. *Mineral Deposits*, 29(3): 461–475 (in Chinese with English abstract)
- Tong KY, Yang YC, Song GX, Liang HJ and Ma LF. 2015. Discussion on geological characteristics, ore genesis and prospecting of the Zhengguang Au-Zn deposit in Heilongjiang Province. *Geology and Exploration*, 51(3): 507–518 (in Chinese with English abstract)
- Wang XC, Wang XL, Wang L, Liu JY, Xia B, Deng J and Xu XM. 2007. Metallogeny and reformation of the Duobaoshan superlarge porphyry copper deposit in Heilongjiang. *Chinese Journal of Geology*, 42(1): 124–133 (in Chinese with English abstract)
- Wiedenbeck M, Allé P, Corfu F, Griffin WL, Meier M, Oberli F, Von Quadt A, Roddick JC and Spiegel W. 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace-element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, 19(1): 1–23
- Wu FY, Sun DY, Ge WC, Zhang YB, Grant ML, Wilde SA and Jahn BM. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(1): 1–30
- Wu ZY, Sun YC and Wang BQ. 2006. Geology and geochemistry of Zhengguang gold deposit, Heilongjiang Province. *Geology and Prospecting*, 42(1): 38–42 (in Chinese with English abstract)
- Xiang AP, Yang YC, Li GT, She HQ, Guan JD, Li JW and Guo ZJ. 2012. Diagenetic and metallogenic ages of Duobaoshan porphyry Cu-Mo deposit in Heilongjiang Province. *Mineral Deposits*, 31(6): 1237–1248 (in Chinese with English abstract)
- Zeng QD, Liu JM, Yu CM, Ye J and Liu HT. 2011. Metal deposits in the Da Hingan Mountains, NE China: Styles, characteristics, and exploration potential. *International Geology Review*, 53(7): 846–878
- Zeng QD, Liu JM, Qin KZ, Fan HR, Chu SX, Wang YB and Zhou LL. 2013. Types, characteristics, and time-space distribution of molybdenum deposits in China. *International Geology Review*, 55(11): 1311–1358
- Zeng QD, Liu JM, Chu SX, Wang YB, Sun Y, Duan XX, Zhou LL and Qu WJ. 2014. Re-Os and U-Pb geochronology of the Duobaoshan porphyry Cu-Mo-(Au) deposit, Northeast China, and its geological significance. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79: 895–909
- Zhang BL. 2004. The newly discovered high grade epithermal gold deposit in Northern Heilongjiang Province: Zhengguang gold mine. *Gold Science and Technology*, 12(6): 46 (in Chinese with English abstract)
- Zhang DQ, She HQ and Li DX. 2003. The porphyry-epithermal metallogenic system in the Zijinshan region, Fujian Province. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 253–261 (in Chinese with English abstract)
- Zhang YF, Li GD, Yan BC and Wang JM. 2011. Geologic features and genesis of Zhengguang gold deposits, Heilongjiang Province. *Jilin Geology*, 30(1): 41–43 (in Chinese)
- Zhao GJ, Hou YS and Wang BQ. 2006. Geological characteristics and genesis of Zhengguang gold deposit in Heilongjiang Province. *Non-Ferrous Mining and Metallurgy*, 22(3): 3–6 (in Chinese with English abstract)
- Zhao YM, Bi CS, Zou XQ, Sun YL, Du AD and Zhao YM. 1997. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Duobaoshan and Tongshan porphyry copper (molybdenum) deposits. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(1): 62–68 (in Chinese with English abstract)
- Zhao YY. 1995. Geochemical prospecting model of the Duobaoshan porphyry copper ore deposit. Ph. D. Dissertation. Changchun: Changchun College of Geology, 1–81 (in Chinese)
- Zhao YY, Wang JP, Zhao GJ and Cui YB. 2011. Metallogenic regularity and prospecting direction of Duobaoshan ore field, Heilongjiang Province, China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(6): 1676–1688 (in Chinese with English abstract)
- Zhao ZH, Zheng WZ, Qu H, Guo Y, Li CL, Wang Z and Zhang JF. 2012. Cu-Au mineralization and metallogenic regularity of Duobaoshan area, Heilongjiang Province. *Mineral Deposits*, 31(3):

601–614 (in Chinese with English abstract)

Zheng QB. 2012. Geological characteristics and ore genesis of Zhengguang gold deposit in Heihe area, Heilongjiang Province. Master Degree Thesis. Changchun: Jilin University, 1–52 (in Chinese with English summary)

Zonenshain LP, Kuzmin MI, Natapov LM and Page BM. 1991. Geology of the USSR: A Plate-Tectonic Synthesis. Geodynamics Series, 21, American Geophysical Union

附中文参考文献

陈衍景, 倪培, 范宏瑞, Pirajno F, 赖勇, 苏文超, 张辉. 2007. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征. 岩石学报, 23(9): 2085–2108

陈衍景, 张成, 李诺, 杨永飞, 邓軻. 2012. 中国东北钼矿床地质. 吉林大学学报(地球科学版), 42(5): 1223–1268

崔革. 1983. 小兴安岭西北部奥陶纪大陆边缘火山岛弧的确定及其演化. 见: 中国北方板块构造文集. 北京: 地质出版社, 293–315

崔根, 王金益, 张景仙, 崔革. 2008. 黑龙江多宝山花岗岩闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. 世界地质, 27(4): 387–394

邓軻, 李诺, 杨永飞, 张成, 于援帮, 张东财. 2013. 黑龙江省黑河市争光金矿流体包裹体研究及矿床成因. 岩石学报, 29(1): 231–240

杜琦, 赵玉明, 卢秉刚, 马德友, 李佩兰, 律景凯, 李文深, 敖立志, 崔革. 1988. 多宝山斑岩铜矿床. 北京: 地质出版社, 1–155

杜英杰. 2012. 黑龙江省多宝山 Cu-Au 成矿带成矿特征及找矿方向. 硕士学位论文. 长春: 吉林大学, 1–48

付艳丽, 杨言辰. 2010. 黑龙江省争光金矿床成因及找矿标志. 黄金, 31(6): 13–18

高荣臻, 吕新彪, 杨永胜, 李春诚. 2014. 黑龙江争光金矿床隐爆角砾岩特征及其地质意义. 地质与勘探, 50(5): 874–883

葛文春, 吴福元, 周长勇, 张吉衡. 2007. 兴蒙造山带东段斑岩型 Cu、Mo 矿床成矿时代及其地球动力学意义. 科学通报, 52(20): 2407–2417

黑龙江省地质局. 1993. 黑龙江省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1–622

韩成满, 王长水, 李宗民. 2007. 多宝山铜矿资源潜力. 北京: 地质出版社, 1–68

李德荣. 2011. 黑龙江三矿沟铜多金属矿区(床)成矿规律及找矿方向. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学, 1–146

李光明, 李金祥, 秦克章, 张天平, 肖波. 2007. 西藏班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿的高温高盐高氧化成矿流体: 流体包裹体证据. 岩石学报, 23(5): 935–952

李锦轶. 1998. 中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识. 地质论评, 44(4): 339–347

刘军, 武广, 钟伟, 朱明田. 2010. 黑龙江省多宝山斑岩型铜(钼)矿床成矿流体特征及演化. 岩石学报, 26(5): 1450–1464

缪宇, 秦克章, 许英霞, 方同辉, 丁奎首, 徐兴旺. 2007. 东疆卡拉

塔格梅岭铜(金)矿床地质和流体包裹体特征及其与紫金山式金铜矿床的对比. 矿床地质, 26(1): 79–88

秦克章, 汪东波, 王之田, 孙枢. 1999. 中国东部铜矿床类型、成矿环境、成矿集中区与成矿系统. 矿床地质, 18(4): 359–371

任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 姜春发, 牛宝贵, 李锦轶, 谢广连, 和政军, 刘志刚. 1997. 新一代中国大地构造图. 中国区域地质, 16(3): 225–230

芮宗瑶, 张洪涛, 王龙生, 陈仁义. 1995. 吉黑东部斑岩型-浅成低温热液型铜金矿床多重成矿模型. 矿床地质, 14(2): 174–184

孙卫东, 凌明星, 杨晓勇, 范蔚茗, 丁兴, 梁华英. 2010. 洋脊俯冲与斑岩铜金矿成矿. 中国科学(地球科学), 40(2): 127–137

唐菊兴, 黎凤佶, 李志军, 张丽, 唐晓倩, 邓起, 郎兴海, 黄勇, 姚晓峰, 王友. 2010. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体形成的时限: 锆石 U-Pb、辉钼矿 Re-Os 年龄的证据. 矿床地质, 29(3): 461–475

佟匡胤, 杨言辰, 宋国学, 梁海军, 马龙飞. 2015. 黑龙江争光金矿床地质特征、矿床成因及找矿潜力探讨. 地质与勘探, 51(3): 507–518

王喜臣, 王训练, 王琳, 刘金英, 夏斌, 邓军, 徐秀梅. 2007. 黑龙江多宝山超大型斑岩铜矿的成矿作用和后期改造. 地质科学, 42(1): 124–133

武子玉, 孙有才, 王保全. 2006. 黑龙江争光金矿地质地球化学研究. 地质与勘探, 42(1): 38–42

向安平, 杨郅城, 李贵涛, 余宏全, 关继东, 李进文, 郭志军. 2012. 黑龙江多宝山斑岩 Cu-Mo 矿床成矿时代研究. 矿床地质, 31(6): 1237–1248

张宝林. 2004. 争光金矿-黑龙江北部新发现的浅成低温热液型高品位金矿. 黄金科学技术, 12(6): 46

张德全, 余宏全, 李大新. 2003. 紫金山地区的斑岩-浅成热液成矿系统. 地质学报, 77(2): 253–261

张莹芬, 李国栋, 颜秉超, 王建民. 2011. 黑龙江省争光岩金矿床地质特征及成因探讨. 吉林地质, 30(1): 41–43

赵广江, 侯玉树, 王宝权. 2006. 黑龙江省争光金矿地质特征及成因初探. 有色矿冶, 22(3): 3–6

赵一鸣, 毕承思, 邹晓秋, 孙亚莉, 杜安道, 赵玉明. 1997. 黑龙江多宝山、铜山大型斑岩铜(钼)矿床中辉钼矿的铼-钼同位素年龄. 地球学报, 18(1): 62–68

赵元艺. 1995. 多宝山斑岩铜矿床地球化学找矿模型. 博士学位论文. 长春: 长春地质学院, 1–81

赵元艺, 王江朋, 赵广江, 崔玉斌. 2011. 黑龙江多宝山矿集区成矿规律与找矿方向. 吉林大学学报(地球科学版), 41(6): 1676–1688

赵忠海, 郑卫政, 曲晖, 郭艳, 李成禄, 王卓, 张俭峰. 2012. 黑龙江多宝山地区铜金成矿作用及成矿规律. 矿床地质, 31(3): 601–614

郑全波. 2012. 黑龙江省黑河市争光金矿床地质特征及成因. 硕士学位论文. 长春: 吉林大学, 1–52