



黑龙江嫩江-黑河地区铜金多金属找矿新进展及勘查方向

刘宝山¹,程招勋²,邵 军¹,李成禄²,张春鹏¹,杨宏智¹,韩仁萍¹

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034;

2. 黑龙江省自然资源调查院,黑龙江 哈尔滨 150036

摘 要:嫩江-黑河地区多宝山岛弧多宝山矿集区新发现了晚三叠世二道坎大型银矿床,铜山矿床深部取得重大找矿突破;科洛-新开岭构造杂岩带新发现晚三叠世孟德河金矿床,三合屯金矿区外围深部也发现了金矿化;塔溪岩浆弧新发现了早白垩世宝泉小型铜矿床。这些矿床与区域圈定的化探异常较吻合,成矿规律较明显。依据新发现的铜金矿成果,总结了嫩江-黑河地区近年来取得的新进展,指出了下一步找矿方向和今后勘查工作部署建议,为即将实施的战略找矿行动勘查部署提供参考依据。

关键词:铜金多金属矿;找矿进展;勘查方向;多宝山岛弧;科洛-新开岭构造杂岩带;塔溪岩浆弧;黑龙江省

LATEST PROSPECTING PROGRESS AND EXPLORATION DIRECTION OF COPPER-GOLD POLYMETALLIC DEPOSITS IN NENJIANG-HEIHE AREA, HEILONGJIANG PROVINCE

LIU Bao-shan¹, CHENG Zhao-xun², SHAO Jun¹, LI Cheng-lu², ZHANG Chun-peng¹,

YANG Hong-zhi¹, HAN Ren-ping¹

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China;

2. Natural Resources Survey Institute of Heilongjiang Province, Harbin 150036, China

Abstract: The large Late Triassic Erdaokan silver deposit is discovered in Duobaoshan ore concentration area of Duobaoshan island arc in Nenjiang-Heihe area, and the exploration in the deep part of Tongshan deposit also makes a great breakthrough. The Late Triassic Mengdehe gold deposit is found in Keluo-Xinkailing tectonic melange belt, and the gold mineralization in the deep of Sanhetun goldfield periphery as well. The small Early Cretaceous Baoquan copper deposit is discovered in Taxi magmatic arc. These deposits are consistent with regionally delineated geochemical anomalies with obvious ore-forming regularity. Based on the new discoveries of copper and gold deposits, the paper summarizes the latest prospecting progress in Nenjiang-Heihe area in recent years, pointing out the next exploration direction and suggestions for future prospecting and providing reference for the upcoming strategic prospecting deployment.

Key words: Cu-Au polymetallic deposit; prospecting progress; exploration direction; Duobaoshan island arc; Keluo-Xinkailing tectonic melange belt; Taxi magmatic arc; Heilongjiang Province

收稿日期:2022-04-08;修回日期:2022-04-20. 编辑:李兰英.

基金项目:中国地质调查局项目“东北地区铜金稀有金属矿产地质调查”(编号 DD20221687);黑龙江省重点研发计划项目“黑龙江省大型二道坎银矿资源综合利用及成矿作用研究”(编号 GA21A204).

作者简介:刘宝山(1970—),男,教授级高级工程师,主要从事地质矿产调查及成矿规律研究,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//liubaoshan1111@163.com

通信作者:杨宏智(1983—),男,高级工程师,主要从事地质矿产调查及成矿规律研究,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail//yangxx272000@163.com

0 前言

黑龙江嫩江-黑河地区是一个至少经历了古亚洲洋、鄂霍次克洋构造域演化和古太平洋板块的俯冲叠加复合构造区^[1-2],位于大兴安岭东乌珠穆沁旗-嫩江铜铅锌金钨锡铬Ⅲ级成矿带北东段,成矿物质丰富,具有多期构造-岩浆叠加复合成矿的特点,是重要的铜、金、钼等金属成矿区域。研究区内主要发育与古生代多宝山岛弧和科洛-新开岭构造杂岩带有关的金铜矿床,如:位于多宝山岛弧带多宝山矿集区内的早奥陶世超大型多宝山和铜山斑岩型铜矿床、大型浅成低温热液争光金矿床^[3-10];科洛-新开岭构造杂岩带上发育中生代大中型三合屯、科洛河、永新、三道湾子等金矿床^[11-13]。随着近几年黑龙江省地质矿产局 1:5 万矿产地质调查及自然资源部整装勘查工作的大力开展,科技部国家重点研发计划“典型矿集区三维地质结构与

矿体定位”的实施,区域找矿又取得了重大突破,先后发现了二道坎银矿、大新屯锦金矿、孟德河金矿、三五八金矿点、宝泉铜矿、望娘山钨钼矿点等,尤其是在铜山矿区深部取得重大找矿突破。梳理区域地质找矿成果,发现嫩江-黑河地区不仅是古生代大型斑岩铜金矿的成矿空间,而且更是中生代金铜矿的重要成矿区域。

本次研究从区域成矿地质背景着手,结合近几年的铜金矿勘查重大新发现、新进展和新成果,探讨岩浆与金铜成矿作用,指出找矿勘查方向,为即将开展的战略性矿产勘查部署提供参考。

1 成矿地质背景

研究区位于嫩江-黑河成矿带上,构造单元划分为多宝山岛弧、科洛-新开岭构造杂岩带、塔溪岩浆弧等 3 个次级构造单元(图 1)。多宝山岛弧总体呈北东向

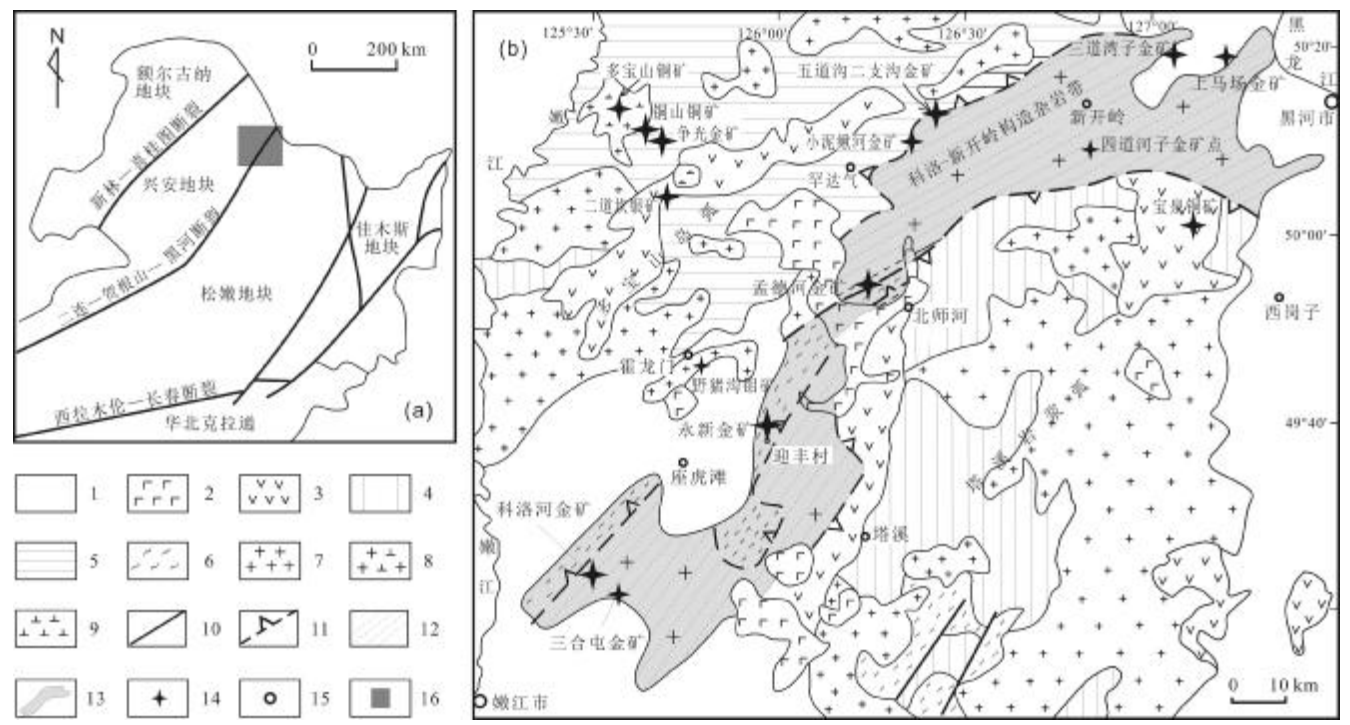


图 1 区域构造地质简图及研究区区域地质简图

(a—据文献[14]修改; b—据文献[15]修改)

Fig. 1 Regional tectonic and geological sketch maps of the study area

(a: modified from Reference [14]; b: modified from Reference [15])

1—中生代沉积物(Meso-Cenozoic sediment); 2—晚古生界(Late Paleozoic); 3—早古生界(Early Paleozoic); 4—构造片岩-片麻岩(structural schist-gneiss); 5—新生代火山岩(Cenozoic volcanic rock); 6—中生代火山岩(Mesozoic volcanic rock); 7—花岗岩(granite); 8—花岗闪长岩(granodiorite); 9—闪长岩(diorite); 10—断层(fault); 11—拆离断层(detachment fault); 12—糜棱岩化及混合岩化带(mylonitized and migmatized belt); 13—科洛镇-新开岭构造混杂岩带范围(Keluo-Xinkailing tectonic melange belt); 14—典型矿床(typical deposit); 15—地市县(city/county); 16—研究区范围(study area)

带状展布,为扎兰屯—多宝山岛弧带北东段,主要由下奥陶统多宝山组高镁安山岩、英安岩及其碎屑岩组成,夹少许海相沉积岩,为典型岛弧火山岩建造。岩石普遍遭受低绿片岩相区域热动力变质作用,岩石中褐铁矿化、黄铁矿化、黄铜矿化、碳酸盐化、硅化、绿帘石化、孔雀石化等矿化蚀变发育,为区域主要的铜金矿源层。另外,下奥陶统铜山组、上奥陶统裸河组、爱辉组及下志留统黄花沟组、上志留—中泥盆统泥鳅河组等地层,为多宝山岛弧弧前弧后盆地的重要物质组成,同时也是区域上的金铜等物源层,如多宝山铜矿、铜山铜矿、争光金矿、二道坎银矿、三矿沟铁铜矿等多与构成岛弧单元的这些地层有关,这些地层多被后期的中酸性侵入岩体破坏。早奥陶世花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、晚三叠世中酸性脉岩及早侏罗世花岗闪长岩等是主要的成矿地质体,多宝山岛弧构造演化与古亚洲洋向额尔古纳与兴安地块的联合体北西俯冲消减有关^[16-18]。

科洛—新开岭构造杂岩带为贺根山—黑河构造带北东段的一部分,沿嫩江—新开岭—黑河一线北东向展布,介于兴安地块与松嫩地块拼合部位^[19-20],形成于早石炭世末—晚石炭世初期^[21-22],经历了晚三叠世、早中侏罗世、早白垩世三期韧性剪切变形^[20, 23-24]。带内卷入的地质单元主要有新元代新开岭岩群花岗质片麻岩、变粒岩、斜长角闪岩,石炭—二叠纪糜棱岩化花岗岩,下石炭统一上二叠统宝力高庙组变英安岩、流纹岩,早侏罗世糜棱岩化花岗岩等均发生不同程度的韧性剪切变形,剪切变形作用为区域金矿的形成奠定了物质基础^[13, 15, 25],如带内的科洛河、三合屯、永新、孟德河和小泥鳅河等大中型金矿及多处金矿点赋矿围岩均发生了糜棱岩化,矿体沿糜棱面理分布,赋矿岩石金背景相对较高。

塔溪岩浆弧位于科洛—新开岭构造杂岩带南东侧,沿塔溪—孙吴一线分布,主要由中生代三叠纪、侏罗纪花岗岩构成,白垩纪侵入岩零星分布,部分被白垩系中酸性火山岩覆盖。新发现的宝泉铜矿分布在该带上,早白垩世斑岩体是主要成矿地质体。

近几年,在嫩江—黑河成矿带开展了1:25万矿产远景调查及1:5万区域地质矿产调查,新圈定化探组合异常多达上百处,金铜异常与已发现的矿床(点)较吻合,工程查证部分异常多已发现矿化线索,有的已转化为矿产地及大中型矿床。

2 地质勘查新进展与新成果

2.1 早奥陶世铜山铜矿床实现深部找矿突破

多宝山矿集区分布着中国东北地区最重要的超大型多宝山铜矿,大型铜山铜矿、争光金矿床、二道坎银矿等,由于铜山断裂对铜山矿床的破坏,铜山矿床深部勘查一直没有取得新进展。

2017—2021年科技部在多宝山矿集区实施了“典型矿集区三维地质结构与矿体定位”课题研究,在铜山矿区科学精确地圈定了4处深部找矿靶区。ZK2020-8钻孔对“IV号”靶区查证时,在深部发现厚达521.59 m的铜矿体(图2),且向下延伸仍未封闭,铜平均品位0.736%,最高4.382%,经紫金矿业集团股份有限公司

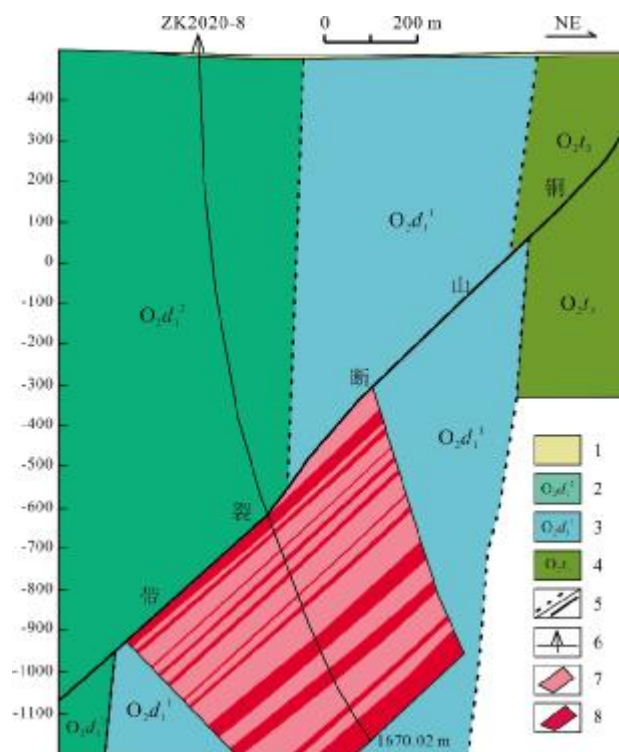


图2 铜山铜矿床1080勘探线见矿剖面图

Fig. 2 Profile along exploratory line No. 1080 of Tongshan copper deposit

1—第四系(Quaternary); 2—多宝山组一段凝灰岩、安山岩、凝灰熔岩、辉石安山岩、大理岩(tuff, andesite, tuff lava, pyroxene andesite and marble of Duobaoshan fm.); 3—多宝山组二段安山岩、凝灰熔岩、角砾凝灰岩(andesite, tuff lava and breccia tuff of Duobaoshan fm.); 4—铜山组含角砾石英长石粗砂岩、石英粗砂岩(breccia-bearing quartz feldspar gritstone and quartz gritstone of Tongshan fm.); 5—推测/实测断层(inferred/surveyed fault); 6—钻孔(borehole); 7—铜矿体(Cu orebody); 8—富铜矿体(Cu-rich orebody)

评估,预增铜资源量超过 100×10^4 t,实现了多宝山矿集深部找矿突破,揭开了铜山矿床规模由大型向特大型勘查的序幕。

2.2 新发现晚三叠世二道坎大型银矿床

2016 年,黑龙江省地质调查研究总院在多宝山矿集区发现晚三叠世大型二道坎银矿床^[26-27]。上志留—中泥盆统泥鳅河组以长石砂岩、细粉砂岩及含钙质粉砂质泥岩、泥质灰岩,内部产出同时异相的基性火山岩等岩石组合为特征,为该矿床的直接赋存围岩。辉绿岩脉、石英闪长岩脉、闪长玢岩脉等与矿体关系密切。矿区圈出北西西向 2 条银矿体。I 号矿体走向控制长度 315.86 m,东端未封闭,倾向控制最大延深 114.71 m,真厚度 1.41~29.48 m,倾向 198° ,倾角 $82^\circ \sim 88^\circ$,近直立(图 3),银品位为 $42.80 \times 10^{-6} \sim 10\ 940.97 \times 10^{-6}$,平均品位为 557.61×10^{-6} ,同时伴生有铅锌、锰(铅+锌平均品位为 0.68%,最高达 5.43%,锰平均品位为 8.87%,最高达 22.904%)。II 号矿体与 I 号矿体产于同一北西西向构造带中,控制长度 220.80 m,西端未封闭,倾向控制最大延深 140.55 m,真厚度 1.15~27.62 m,银品位为 $42.24 \times 10^{-6} \sim 6\ 704.66 \times 10^{-6}$,平均品位 538.86×10^{-6} ,同时伴生有铅锌、锰(铅+锌平均品位为 1.69%,最高达 20.01%,锰平均品位为 9.11%,最高达 25.412%),目前银金属量已超过 1 800 t,且仍在继续向外围勘查^[26,28]。

2.3 新发现晚叠三世孟德河金矿床

2014 年黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院首次在科洛—新开岭构造杂岩带上发现晚三叠世孟德河金矿床。新元古界—下寒武统北宽河组($Pt_3-\epsilon_1b$)为矿体的直接赋矿围岩,岩性为绢云母糜棱片岩、绢云母石英糜棱片岩、绢云母泥绿糜棱片岩等。侵入岩主要有早石炭世花岗质糜棱岩、中侏罗世二长花岗岩和花岗闪长岩。闪长岩脉或闪长玢岩对金富集有一定的作用^[15,25-28]①。

2016 年矿区已圈出低品位矿体 11 条,其中 I₁ 矿体长度约 2 km,斜厚 2~16 m,最高品位 6.80×10^{-6} ,最低品位 1.00×10^{-6} ,平均品位 1.85×10^{-6} ,总体走向北东 60° ,倾向 $150^\circ \sim 174^\circ$,倾角 $30^\circ \sim 80^\circ$ 之间(图 4),矿床仍在勘查。

2.4 三合屯金矿床外围深部找矿新发现

三合屯金矿床位于科洛—新开岭构造杂岩带上,

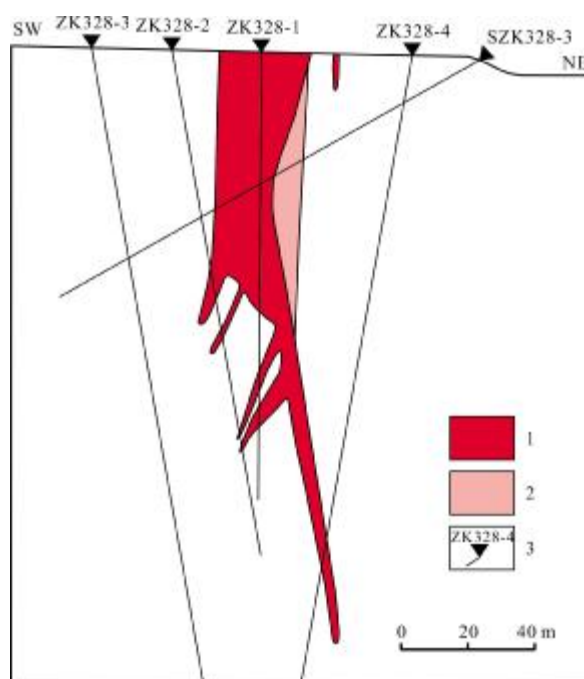


图 3 二道坎银矿床 328 勘探线见矿剖面示意图

Fig. 3 Profile of Erdaokan silver deposit along exploratory line No. 328

1—银矿体(Ag orebody); 2—铅锌矿体(Pb-Zn orebody); 3—钻孔位置及编号(borehole and number)

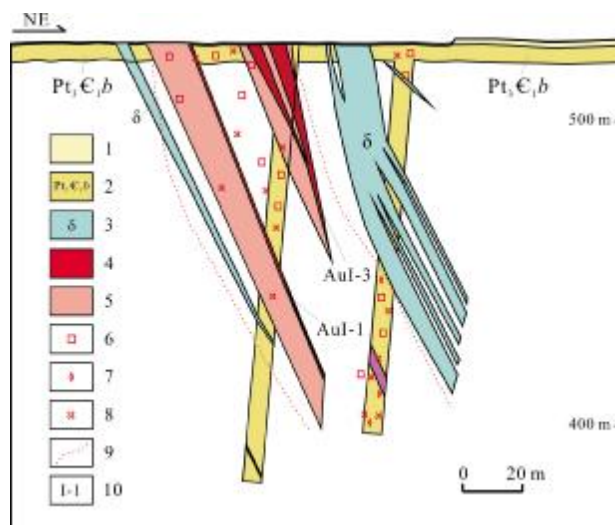


图 4 孟德河金矿床 23 勘探线见矿剖面示意图

Fig. 4 Profile along exploratory line No. 23 of Mengdehe gold deposit

1—第四系 (Quaternary); 2—北宽河组 (Beikuanhe fm.); 3—闪长岩脉 (diorite dike); 4—金矿体(Au orebody); 5—金矿化体(Au mineralized body); 6—黄铁矿化(pyritization); 7—碳酸盐化(carbonatization); 8—硅化 (silicification); 9—矿化蚀变带界线 (boundary of mineralized alteration zone); 10—矿(化)体编号(ore/mineralized body and number)

①许国伟,等.黑龙江省黑河市宝泉村铜多金属矿普查报告.黑龙江省第一地质勘查院,2020.

成矿时代为早白垩世^[13]。矿区圈定南北 2 条金矿化带,北金矿化带长约 2 000 m,宽约 120~200 m;南金矿化带长约 1 200 m,宽约 80~150 m。带内共圈定金矿体 12 条,其中地表 7 条,盲矿体 7 条。矿体主要发育在糜棱岩带中,严格受糜棱岩面理和叠加的脆性构造裂隙控制。矿体在平面上和剖面上的总体形态是呈脉状、透镜状。脉状矿体沿走向延伸较大,一般 100 m 以上,长者达 350 m,厚度变化较大,2~35 m,倾向延伸 400 m,估算 333 级金资源量为中型,目前黑龙江自然资源调查院仍在勘查。

2021 年中国地质调查局沈阳地质调查中心在三合屯矿区外围进行深部调查时,对大地音频电磁测深激电异常进行了 1 个钻孔(ZK01)查证,圈出 3 条金矿化体,其中孔深 309.95~310.95 m 和 314.95~315.95 m 金品位分别为 0.338×10^{-6} 和 0.200×10^{-6} ;孔深 448.15~448.53 m 发现金品位 1.2×10^{-6} 的石英脉。465~470 m 强硅化黄铁矿化蚀变带金含量 0.1×10^{-6} 。金矿化体受东北向糜棱面理控制(图 5),与已知三合屯矿床金矿体展布方向近一致。ZK01 钻孔位于三合屯矿区 29 勘探线外延约 300 m 处,预示三合屯矿区深部仍具有较大的找矿空间。

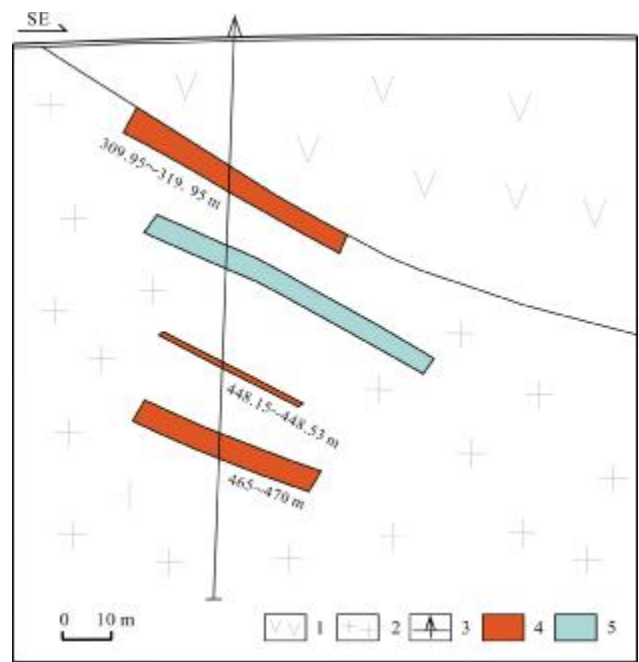


图 5 三合屯金矿区外围 ZK01 钻孔见矿剖面示意图

Fig. 5 Profile of borehole ZK01 in the periphery of Sanhetun goldfield

1—安山岩(andesite); 2—花岗岩(granite); 3—钻孔(borehole); 4—矿体(orebody); 5—闪长岩脉(diorite dike)

2.5 新发现早白垩世宝泉铜矿

宝泉铜矿位于孙吴县一带,是塔溪岩浆弧新发现的铜矿床,赋矿岩石为早白垩世花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩。2020 年普查圈出铜工业矿体 5 条、低品位矿体 18 条,总体走向北北东至近南北向,倾向东至南东,控制长度 108~597 m,延伸 114~428 m,真厚度 1.03~31.37 m,推断估算铜约 8×10^4 t(图 6),继续勘查矿床规模有望达中大型^[29]。

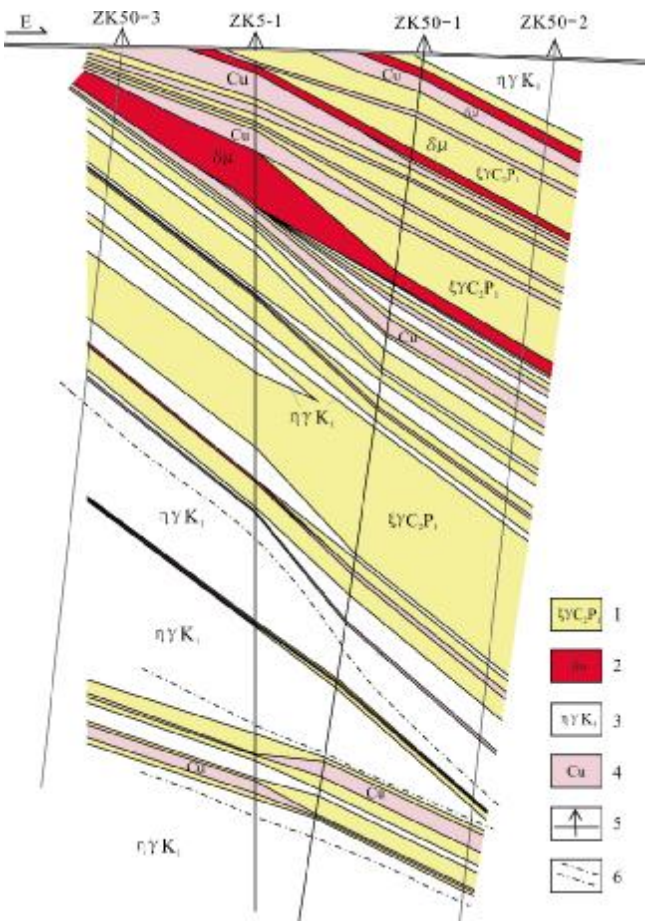


图 6 宝泉铜矿 50 勘探线见矿剖面示意图

Fig. 6 Profile along exploratory line No. 50 of Baoquan copper deposit

1—花岗岩(granite); 2—闪长玢岩(diorite porphyrite); 3—二长花岗岩(monzogranite); 4—铜矿体(Cu orebody); 5—钻孔(borehole); 6—蚀变带界线(boundary of alteration belt)

3 岩浆控矿作用与铜金矿化

3.1 早奥陶世岩浆作用与铜金矿化

多宝山矿集区发育早奥陶世多宝山、铜山超大型斑岩铜矿床及浅成低温争光金矿床。多宝山组安山岩

为主要矿源层,早奥陶世花岗闪长岩,英云闪长岩为主要的成矿岩体^[30-31]。多宝山及铜山花岗闪长岩的成岩年龄为 485~472 Ma^[9-10, 17-18, 32-34],争光英云闪长岩年龄为 479~472 Ma^[31-35];多宝山及铜山矿床辉钼矿 Re-Os 年龄 477~472 Ma^[7, 9, 30, 35],争光矿床黄铁矿、方铅矿 Rb-Sr 年龄 477.8 ± 3.2 Ma^[13]。成岩成矿年龄的一致性,表明它们为同一岩浆构造事件的产物。结合前人研究结果,铜山和多宝山斑岩型铜矿化形成于 485~472 Ma,争光浅成低温金矿化作用较晚,形成于 475 Ma 左右。硫铅同位素研究表明,成矿物质主要来源于岩浆,3 个矿床构成了矿集区典型的斑岩-浅成低温热液铜金成矿系统模式,矿床形成定位于早奥陶世古亚洲洋俯冲多宝山岛弧形成过程^[14, 35]。

3.2 晚三叠世岩浆作用与金铜矿化

多宝山矿集区最近新发现了晚三叠世岩浆活动,岩浆活动与矿化作用密切。多宝山奥长花岗岩及角闪辉长岩年龄分别为 226.3 ± 2.3 Ma 和 224.3 ± 1.7 Ma^[36],英云闪长岩年龄 230.9 ± 2.8 Ma^[9] 及 223.4 ± 2.6 Ma^[16];铜山斑状花岗岩脉中的浸染状辉钼矿模式年龄为 229.4 ± 3.5 Ma^[31];争光闪长岩年龄 229.3 ± 3.1 Ma^[37],石英二长岩 226.5 ± 1.5 Ma^[10];二道坎银矿黄铁矿 Rb-Sr 年龄 232.9 ± 2.3 Ma^[27],辉绿玢岩年龄 234.2 ± 2.8 Ma;科洛-新开岭杂岩带上的孟德河金矿黄铁矿 Rb-Sr 年龄 209.6 ± 3.1 Ma,闪长岩年龄 211.5 Ma。岩浆矿化时期大体一致,在时间和空间上紧密相关,从一定程度上说明了成矿作用与该期岩浆活动存在一定的联系。三叠纪,多宝山地区受蒙古-鄂霍次克洋南东向俯冲的影响^[16, 37],区域发生大规模的岩浆活动,形成了矿区内与成矿作用紧密相关的中酸性岩脉。岩浆向上迁移过程中,成矿热液随之一起向构造破碎带等赋矿有利部位迁移富集,形成孟德河及二道坎金银矿床。多宝山及铜山矿床虽然有三叠纪铜矿化作用的叠加,但并未富集形成明显的工业矿体。

3.3 早白垩世岩浆作用与金铜矿化

中生代侏罗纪和白垩纪火山盆地叠加在科洛-新开岭构造杂岩带上,带上分布三合屯、科洛河、永新、三道湾子、四道沟、小泥鳅河、上马场等众多早白垩世大中型金矿床及矿点。这些矿床在成因上与早白垩世火山活动有关,为浅成低温热液型金矿床^[15, 25, 37-38]。如:永新金矿产在晚石炭世一早二叠世花岗质糜棱岩中,

矿体与围岩呈过渡关系,矿体与中酸性脉类等密切伴生,系统的岩石地球化学特征及成岩成矿年代结果显示,永新金矿与火山和潜火山活动关系密切^[15, 38];科洛河金矿赋存在新元古代北宽河组糜棱片岩中,矿体与闪长岩、闪长玢岩脉等在时间与空间上密切相伴。永新、科洛河、三合屯等矿区不同程度地发育早白垩世龙江期、光华期、甘河期等中酸性火山岩,矿体多产生在火山岩与花岗质糜棱岩接触带附近,成矿前赋矿围岩在韧性剪切糜棱岩化过程中金可能发生了初步的迁移富集,形成局部矿化,并没有形成矿体;早白垩世火山热液活动携带成矿物质进一步叠加充填在裂隙当中,最终导致金矿床的形成^[15, 38-39]。而三道湾子、上马场等金矿床为典型的浅成低温火山热液型金矿床。岩浆与成矿作用形成于古太平洋俯冲回撤伸展的构造背景。

4 勘查部署建议

在详细剖析成矿地质背景的基础上,区域化探异常是浅覆盖区最为有效的直接找矿标志,从嫩江-黑河地区化探异常可以看出,金铜异常具有明显的分带性(图 7)。多宝山岛弧带上铜异常浓集中心发育,科洛-新开岭构造杂岩带金异常强度高,塔溪岩浆弧金、铜异常强度相对较弱。结合区域地质条件及矿产分布,总结找矿方向如下。

4.1 早奥陶世斑岩铜金找矿方向

多宝山岛弧从嫩江多宝山延伸到黑河地区,延伸近 200 km。多宝山矿集区的多宝山铜矿、铜山铜矿及争光金矿为同一斑岩-浅成低温铜金成矿系统,与多宝山岛弧形成有关。岛弧的弧前、弧后盆地结构单元保存的相对完好,这也是该矿床保留至今的主要因素之一。下奥陶统多宝山组安山岩及早奥陶世花岗闪长岩为典型的找矿标志。因此,区域找矿应重点部署在早奥陶世多宝山岛弧单元分布相对齐全的区域开展铜金矿调查,如罕达气-五道沟-桦树排子一带多宝山岛弧单元的多宝山组、铜山组较发育,残留了多宝山岛弧单元的部分特征;虽然没有发现早奥陶世花岗斑岩体,但不排除岩体在深部隐伏的可能;此处地表已发现八直沟铜和 378 高地等多处铜金矿点,铜金化探异常浓集中心发育,位于北东与北西两组断裂交汇处,异常与矿点分布较吻合;依据斑岩-浅成低温铜金成矿系统

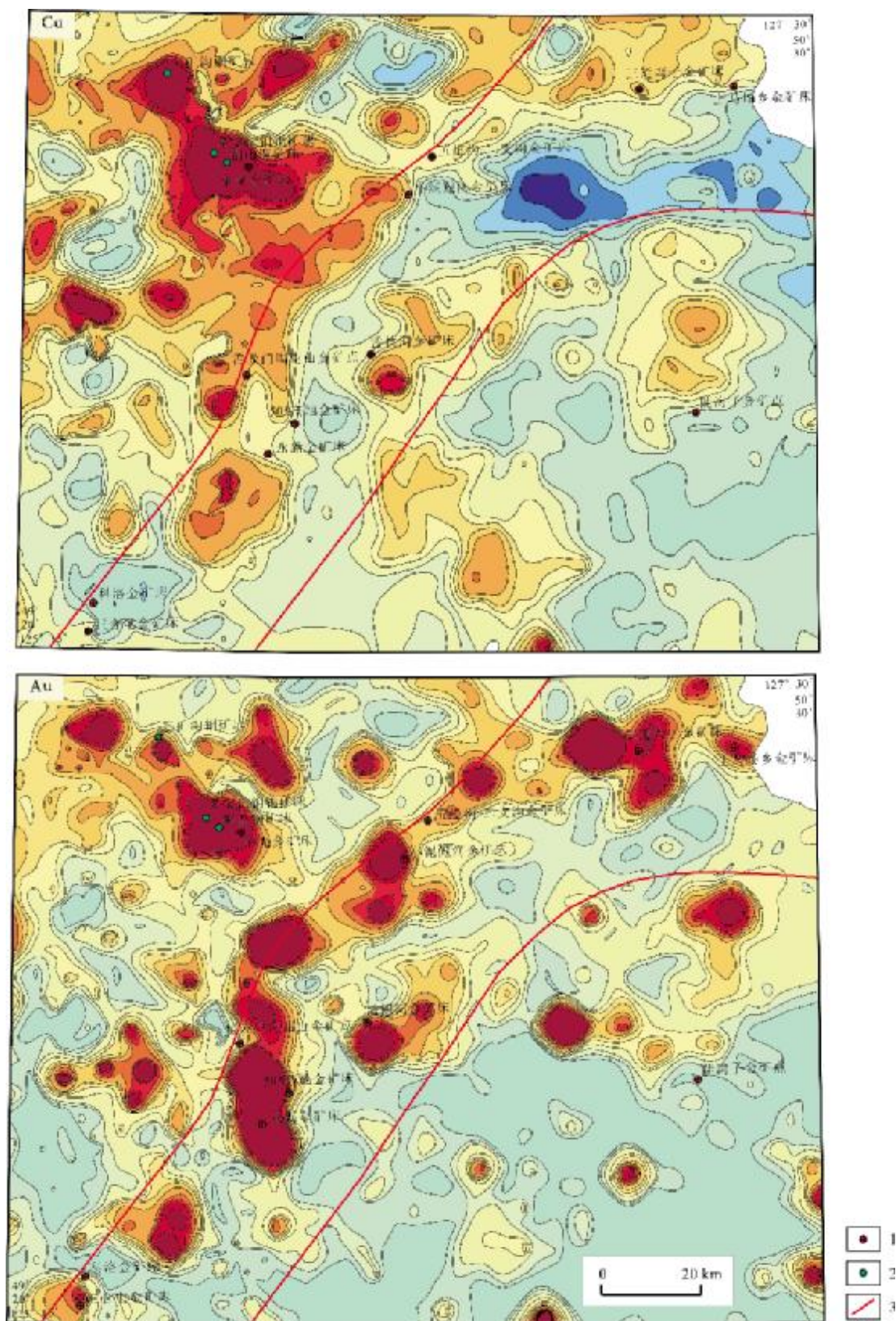


图7 嫩江-黑河地区金铜地球化学异常图

Fig. 7 Au and Cu geochemical anomaly maps in Nenjiang-Heihe area

1—金矿床(Au deposit); 2—铜矿床(Cu deposit); 3—断裂(fault)

模型综合分析,该处具有寻找多宝山式斑岩-浅成低温铜金矿潜力。在加强多宝山岛弧带成矿作用研究时,找矿勘查工作应围绕多宝山式斑岩-浅成低温铜金成矿要素部署。另外,位于铜山矿床南东 4 km 的争光金矿床,与铜山矿床一样受到了铜山断裂错断的影响。在查清铜山断裂特征的基础上,铜山矿床在断裂下盘深部新发现大于 500 m 的铜矿体,暗示争光矿区深部具有相当大的富金斑岩型铜找矿潜力,因此,在加大铜山矿床深部找矿勘查的同时,也应进一步加强争光金矿床深部找矿勘查的部署,挖掘深部资源潜力,拓展深部找矿空间。

4.2 中生代金银铜找矿方向

4.2.1 晚三叠世浅成低温热液金银找矿方向

近几年,在多宝山地区发现晚三叠世的岩浆活动,也新发现了同期孟德河金矿、二道坎银矿,赋矿围岩地层为新元古代北宽河组、上志留统一中泥盆统泥鳅河组,成因上它们与晚三叠世闪长岩、闪长玢岩紧密相关,为浅成低温热液型金、银矿床,区域上的金银异常与矿床产出位置较对应。因此,在找矿勘查选区部署时,应特别注意三叠纪岩体与老地层的分布关系,对该期的成矿潜力应该有足够的重视,在下一步勘查中本着老基底地层-构造-侵入脉岩“三位一体”找矿思路开展工作。

4.2.2 早侏罗世夕卡岩铁铜钨找矿方向

嫩江-黑河成矿带夕卡岩矿床赋矿地层主要是与奥陶系多宝山组、铜山组、裸河组等沉积地层中夹杂的大理岩及中生代侏罗纪的花岗闪长岩等酸性侵入岩体有关。接触交代作用形成了关鸟河钨矿、三矿沟铁铜矿、小宝山铜矿等。因此,在下奥陶统多宝山组等地层与中生代酸性侵入岩接触部位应加强夕卡岩铜铁矿的勘查。近几年,夕卡岩型矿床在嫩江-黑河地区虽然没有新发现,但不应忽视该类型矿床的勘查,区域上该类型矿床找矿线索较多,如:沈阳地质调查中心 2021 年野外调查时,在嫩江象山村早侏罗世花岗闪长岩与多宝山组接触带处圈定了铜钼异常,少量槽探查证发现了铜钼矿化体。夕卡岩型矿床的发现,对在其外围或深部寻找斑岩铜-浅成低温热液型金矿床具有重要的指示意义。

4.2.3 早白垩世金铜找矿方向

科洛-新开岭构造杂岩带为嫩江-黑河构造带的

一部分,杂岩带两侧以海江-罕达气和沐河-冷川断裂为界,分别与北西部的早古生代和南东部的晚古生代、中生代地质单元接触。众多金矿床分布在杂岩带内,与金异常浓集中心及展布方向基本一致。北东方向上展布的三合屯、科洛河、永新、小泥鳅河、五道沟等金矿床靠近杂岩带西侧依次分布,赋矿围岩先期经历了韧性剪切的金元素富集,后期火山热液叠加最终成矿,矿床成因类型为浅成低温热液型。早白垩世前期的韧性剪切带及早白垩世期火山构造叠加地带是寻找这类金矿最有利的找矿标志,因此,金矿勘查部署应侧重二者分布特征的研究,有利于实现找矿突破。

在早白垩世期间,区域上发育大量火山-次火山岩,处于类似弧后伸展构造环境。浅成低温热液型金矿的形成与同期的火山-次火山热液关系最为密切,因此,在大面积发育火山-次火山岩地区,尤其是火山机构边部及火山断陷盆地边缘出现的中-酸性次火山岩体发育地段是寻找浅成低温热液型金及多金属矿的有利场所,如区域上的三道湾子、上马厂等金矿床就产于这种构造背景。

2020—2021 年黑龙江省第一地质勘查院在塔溪岩浆弧孙吴-宝泉一带新发现了小型斑岩铜矿,铜矿体赋存于早白垩世二长花岗岩、花岗斑岩中,含矿岩体侵入下白垩统龙江组安山岩,具有沿中心式火山机构侵入的特征,为潜火山相侵入岩。该矿床具有与同一成矿带上的龙江县后六九铜矿相似的特征。因此,针对该期铜矿的勘查部署,应特别加强充填潜火山相的花岗斑岩体的研究,工作过程中,拓宽勘查思路,应将陆相(潜)火山岩浅成低温热液型金(银)矿-斑岩型铜钼矿-夕卡岩型铁铜矿作为一个有机的构造-岩浆-成矿系统来研究,建立铜金多金属矿找矿模型,进一步实现找矿突破。

5 结论

上述新成果、新进展表明,嫩江-黑河地区是重要的铜金成矿区域,不同时代金铜银矿的新发现及深部找矿空间的拓展,进一步证明了金铜等资源潜力较大。在深入科学研究成矿地质背景的基础上,建立各类型矿床的成因联系,统筹考虑勘查方向部署,通过战略找矿行动的实施,定会实现找矿突破。

参考文献(References):

- [1]周建波, 张兴洲, Wilde S A, 等. 中国东北 ~500 Ma 泛非期孔兹岩带的确定及其意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 1235-1245.
Zhou J B, Zhang X Z, Wilde S A, et al. Confirming of the Heilongjiang ~500 Ma Pan-African khondalite belt and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(4): 1235-1245.
- [2]许文良, 王枫, 孟恩, 等. 黑龙江省东部古生代-早中生代的构造演化: 火成岩组合与碎屑锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(5): 1378-1389.
Xu W L, Wang F, Meng E, et al. Paleozoic-Early Mesozoic tectonic evolution in the eastern Heilongjiang Province, NE China: Evidence from Igneous rock association and U-Pb geochronology of detrital zircons[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(5): 1378-1389.
- [3]杜琦, 赵玉明, 卢秉刚, 等. 多宝山斑岩铜矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 1-335.
Du Q, Zhao Y M, Lu B G, et al. The Duobaoshan Porphyry copper deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 1-335. (in Chinese)
- [4]赵一鸣, 毕承思, 邹晓秋, 等. 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[J]. 地球学报, 1997, 18(1): 61-67.
Zhao Y M, Bi C S, Zou X Q, et al. The Re-Os isotopic age of molybdenite from Duobaoshan and Tongshan porphyry copper (molybdenum) deposits[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18(1): 61-67.
- [5]韩振新, 徐衍强, 郑庆道. 黑龙江省重要金属和非金属矿产的矿床成矿系列及其演化[M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 2004: 1-240.
Han Z X, Xu Y Q, Zheng Q D. Metallogenic series and evolution of important metallic and non-metallic minerals in Heilongjiang Province [M]. Harbin: Heilongjiang People's Publishing House, 2004: 1-240. (in Chinese)
- [6]王喜臣, 王训练, 王琳, 等. 黑龙江多宝山超大型斑岩铜矿的成矿作用和后期改造[J]. 地质科学, 2007, 42(1): 124-133.
Wang X C, Wang X L, Wang L, et al. Metallogeny and Reformation of the Duobaoshan superlarge porphyry copper deposit in Heilongjiang [J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(1): 124-133.
- [7]向安平, 杨郢城, 李贵涛, 等. 黑龙江多宝山斑岩 Cu-Mo 矿床成岩成矿时代研究[J]. 矿床地质, 2012, 31(6): 1237-1248.
Xiang A P, Yang Y C, Li G T, et al. Diagenetic and metallogenic ages of Duobaoshan porphyry Cu-Mo deposit in Heilongjiang Province [J]. Mineral Deposits, 2012, 31(6): 1237-1248.
- [8]赵忠海, 孙景贵, 郭艳. 黑龙江永新金矿床原生晕轴向分带特征及深部矿体预测[J]. 地质论评, 2017, 63(S1): 157-158.
Zhao Z H, Sun J G, Guo Y. Axial zoning characteristics of primary halos and deep orebody prediction in Yongxin gold deposit, Heilongjiang Province[J]. Geological Review, 2017, 63(S1): 157-158.
- [9]Zeng Q D, Liu J M, Chu S X, et al. Re-Os and U-Pb geochronology of the Duobaoshan porphyry Cu-Mo-(Au) deposit, Northeast China, and its geological significance[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 79: 895-909.
- [10]Wang L, Qin K Z, Song G X, et al. Geology and genesis of the Early Paleozoic Zhengguang intermediate-sulfidation epithermal Au-Zn deposit, northeast China [J]. Ore Geology Reviews, 2020, 124: 103602.
- [11]武子玉, 王洪波, 徐东海, 等. 黑龙江黑河三道湾子金矿床地质地球化学研究[J]. 地质论评, 2005, 51(3): 264-267.
Wu Z Y, Wang H B, Xu D H, et al. Geological and geochemical studies of the Sandaowanzi gold deposit, Heihe County, Heilongjiang Province[J]. Geological Review, 2005, 51(3): 264-267.
- [12]李成禄, 李胜荣, 袁茂文, 等. 黑龙江省嫩江-黑河构造混杂岩带科洛金矿床成因: 来自黄铁矿化学成分及 He-Ar、S、Pb 同位素证据[J]. 地学前缘, 2020, 27(5): 99-115.
Li C L, Li S R, Yuan M W, et al. Genesis of the Keluo Au deposit in the Nenjiang-Heihe tectonic melange belt, Heilongjiang Province: Evidence from chemical composition and pyrite He-Ar, S, Pb isotopes [J]. Earth Science Frontiers, 2020, 27(5): 99-115.
- [13]刘宝山, 寇林林, 张春鹏, 等. 黑龙江嫩江地区三合屯矿区糜棱岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄与成矿的关系[J]. 地质学报, 2022, 96(3): 954-970.
Liu B S, Kou L L, Zhang C P, et al. Research on the relationship between mineralization and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the mylonite from the Sanhetun gold deposit in Nenjiang region, Heilongjiang Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96(3): 954-970.
- [14]徐备, 赵盼, 鲍庆中, 等. 兴蒙造山带前中生代构造单元划分初探[J]. 岩石学报, 2014, 30(7): 1841-1857.
Xu B, Zhao P, Bao Q Z, et al. Preliminary study on the pre-Mesozoic tectonic unit division of the Xing-Meng Orogenic Belt (XMOB) [J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(7): 1841-1857.
- [15]李成禄. 黑龙江省嫩江-黑河构造混杂岩带金矿成矿作用及找矿预测[D]. 北京: 中国地质大学, 2018: 1-273.
Li C L. Gold metallogeny and prospecting in the Nenjiang-Heihe tectonic melange zone, Heilongjiang Province [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018: 1-273.
- [16]赵超. 中亚造山带东段多宝山含金斑岩铜矿床多期岩浆-构造-成矿作用[D]. 北京: 中国科学院大学, 2019: 1-223.
Zhao C. Multistage magmatism-structure-mineralization of the Duobaoshan gold-bearing porphyry copper deposit in the eastern CAOB [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2019: 1-223. (in Chinese)
- [17]刘宝山, 张春鹏, 宋万兵, 等. 黑龙江多宝山斑岩铜矿床叠加改造地质特征及成因[J]. 大地构造与成矿学, 2020, 44(6): 1076-1095.
Liu B S, Zhang C P, Song W B, et al. Genesis and geological

- characteristics of superposition and deformation of the Duobaoshan porphyry Cu (Mo) deposit, Heilongjiang [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2020, 44(6): 1076–1095.
- [18] Zhao C, Qin K Z, Song G X, et al. Switch of geodynamic setting from the Paleo-Asian Ocean to the Mongol-Okhotsk Ocean: Evidence from granitoids in the Duobaoshan ore field, Heilongjiang Province, Northeast China[J]. *Lithos*, 2019, 336–337: 202–220.
- [19] 那福超, 付俊彧, 宋维民, 等. 小兴安岭西北部科洛杂岩的岩石学与年代学[J]. *地球科学*, 2019, 44(10): 3265–3278.
- Na F C, Fu J Y, Song W M, et al. Petrological and geochronological study of Keluo complex in northwestern Lesser Xing'an Range [J]. *Earth Science*, 2019, 44(10): 3265–3278.
- [20] 杨文鹏, 张立东, 张俭峰, 等. 东北地区新开岭-科洛杂岩变形规律与成因[J]. *地球科学*, 2019, 44(7): 2551–2566.
- Yang W P, Zhang L D, Zhang J F, et al. Deformation characteristics and genesis of the Xinkailing-Keluo complex in NE China[J]. *Earth Science*, 2019, 44(7): 2551–2566.
- [21] 刘永江, 冯志强, 温泉波, 等. 东北大兴安岭地区古生代构造演化 [C]//2014 年中国地球科学联合学术年会——专题 45: 中亚-兴蒙造山带论文集. 北京: 中国地球物理学会, 2014: 2138.
- Liu Y J, Feng Z Q, Wen Q B, et al. Paleozoic tectonic evolution in Daxinganling area, Northeast China [C]//Annual Meeting of China Geoscience Association. Beijing: Chinese Geophysical Society, 2014: 2138. (in Chinese)
- [22] 李伟民, 刘永江, 冯志强, 等. 黑河-贺根山缝合带中段的闭合时限及位置 [C]//2016 中国地球科学联合学术年会论文集(七). 北京: 中国地球物理学会, 2016: 250–251.
- Li W M, Liu Y J, Feng Z Q, et al. Closure time limit and position of the middle section of Heihe-Hegenshan suture zone [C]//Annual Meeting of China Geoscience Association. Beijing: Chinese Geophysical Society, 2016: 250–251. (in Chinese)
- [23] 苗来成, 范蔚茗, 张福勤, 等. 小兴安岭西北部新开岭-科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义[J]. *科学通报*, 2003, 48(22): 2315–2323.
- Miao L C, Fan W M, Zhang F Q, et al. Zircon SHRIMP geochronology of Xinkailing-Kelo complex in northwest Xiaoxing'an Mountains and its significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(22): 2315–2323.
- [24] 梁琛岳, 刘永江, 李伟, 等. 黑龙江嫩江地区科洛杂岩伸展构造特征[J]. *地质通报*, 2011, 30(2/3): 291–299.
- Liang C Y, Liu Y J, Li W, et al. Characteristics of extensional structure of Keluo complex in Nenjiang area, Heilongjiang, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(2/3): 291–299.
- [25] 刘宝山, 杨晓平, 李成禄. 黑龙江省嫩江三合屯韧性剪切带与金矿化[J]. *矿产与地质*, 2017, 31(3): 503–506, 513.
- Liu B S, Yang X P, Li C L. Ductile shear zone and gold mineralization of Sanhetun gold deposit in Nenjiang, Heilongjiang Province [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2017, 31(3): 503–506, 513.
- [26] 徐文喜, 李成禄, 鲍希波, 等. 大兴安岭东北部首个三叠纪银矿床地质特征及矿床成因分析[J]. *矿产与地质*, 2019, 33(3): 434–441.
- Xu W X, Li C L, Bao X B, et al. Geological characteristics and genesis analysis of the first Triassic silver deposit discovered in Northeast of Da Hinggan Mountains [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2019, 33(3): 434–441.
- [27] 袁茂文. 天然沥青与非层控金属成矿关系研究——以二道坎银铅锌矿床为例[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020: 1–123.
- Yuan M W. The contribution of the bitumen to the mineralization of the non-strata bound metal deposit: Ag-Pb-Zn deposits in the Great Xing'an Range [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018: 1–273.
- [28] 鲍希波, 尹国良, 于宪章. 黑龙江省嫩江县二道坎村银多金属矿床地质特征及找矿标志[J]. *黄金*, 2019, 40(7): 20–23.
- Bao X B, Yin G L, Yu X Z. Geological characteristics of Erdaokancun silver polymetallic deposit, Nenjiang County, Heilongjiang Province and its prospecting indicators[J]. *Gold*, 2019, 40(7): 20–23.
- [29] 刘宝山. 黑龙江黑河孟德河金矿床控矿因素及找矿标志[J]. *黄金*, 2015, 36(1): 18–21.
- Liu B S. Ore-controlling factors and prospecting marks of gold deposit in Mengdehe, Heihe City [J]. *Gold*, 2015, 36(1): 18–21.
- [30] 郝宇杰. 黑龙江省多宝山矿集区成矿作用与成矿规律研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015: 1–130.
- Hao Y J. Mineralization and metallogenic regularity of Duobaoshan ore concentration area in Heilongjiang Province, Northeast China [D]. Changchun: Jilin University, 2015: 1–130.
- [31] 杨永胜, 吕新彪, 高荣臻, 等. 黑龙江争光金矿床英云闪长斑岩年代学、地球化学及地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2016, 40(4): 674–700.
- Yang Y S, Lv X B, Gao R Z, et al. Geochronology, geochemistry and geological significance of the Tonalite porphyry in Zhengguang gold deposit, Heilongjiang Province [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2016, 40(4): 674–700.
- [32] 余宏全, 李进文, 向安平, 等. 大兴安岭中北段原岩锆石 U-Pb 测年及其与区域构造演化关系[J]. *岩石学报*, 2012, 28(2): 571–594.
- She H Q, Li J W, Xiang A P, et al. U-Pb ages of the zircons from primary rocks in middle-northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(2): 571–594.
- [33] 黄道表, 赵元艺, 符家俊, 等. 黑龙江省铜山地区岩浆岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2014, 33(S1): 399–400.
- Huang D M, Zhao Y Y, Fu J J, et al. Geochronology, geochemistry and geological significance of magmatic rocks in Tongshan area, Heilongjiang Province [J]. *Mineral Deposits*, 2014, 33(S1): 399–400. (in Chinese)

- [34]胡新露. 大兴安岭北段-小兴安岭地区斑岩型铜、钼矿床成矿作用与岩浆活动[D]. 武汉: 中国地质大学, 2015:1-30.
- Hu X L. Mineralization and magmatism of the porphyry Cu, Mo deposits in the northern great Xing'an and Lesser Xing'an Ranges [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2015:1-30.
- [35]蔡文艳. 黑龙江省多宝山矿集区铜-钼-金多金属成矿作用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020:1-130.
- Cai W Y. Metallogenesis of copper-molybdenum-gold polymetallic in the Duobaoshan orefield, Heilongjiang Province [D]. Changchun: Jilin University, 2020:1-130.
- [36]刘宝山, 张春鹏, 寇林林, 等. 黑龙江争光金矿床方铅矿黄铁矿 Rb-Sr 年龄及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2022, 46(1): 102-111.
- Liu B S, Zhang C P, Kou L L, et al. Rb-Sr age of galena and pyrite from the Zhengguang gold deposit, Heilongjiang Province and its geological significance [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2022, 46 (1): 102-111.
- [37]刘宝山, 程招勋, 寇林林, 等. 黑龙江多宝山地区晚三叠世岩浆活动对蒙古-鄂霍茨克洋南向俯冲的响应[J]. 地学前缘, 2022, 29 (2):132-145.
- Liu B S, Cheng Z X, Kou L L, et al. Late Triassic magmatic activity in Duobaoshan area, Heilongjiang Province: Response to the southward subduction of the Mongol-Okhotsk Ocean [J]. *Earth Science Frontiers*, 2022, 29(2): 132-145.
- [38]赵忠海. 小兴安岭西北部永新大型金矿成因、成矿地质模式与深部三维成矿预测[D]. 长春: 吉林大学, 2019:1-248.
- Zhao Z H. Ore genesis, metallogenic geological mode and deep metallogenic prediction of the Yongxin large Au deposit based on 3D digital model in the northwestern Lesser Xing'an Range [D]. Changchun: Jilin University, 2019:1-248.

(上接第 425 页/Continued from Page 425)

- [82]Al-Ali M, Dincer I. Energetic and exergetic studies of a multigenerational solar-geothermal system [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2014, 71(1): 16-23.
- [83]朱家玲. 太阳能-地热能混合发电系统优化初探[C]//首届中国太阳能热发电大会论文集. 敦煌: 中国可再生能源学会, 2015.
- Zhu J L. Study on solar-geothermal hybrid power system optimal design [C]//The First China Solar Thermal Power Generation Conference. Dunhuang: China Renewable Energy Society, 2015. (in Chinese)
- [84]谢迎春, 朱家玲, 宋安达, 等. 基于有机朗肯循环的太阳能与地热能耦合的发电系统装置: CN109139157A [P]. 2018-08-17.
- Xie Y C, Zhu J L, Song A D, et al. A power generation system device coupled with solar energy and geothermal energy based on organic Rankine cycle: CN109139157A [P]. 2018 -08 -17. (in Chinese)
- [85]全鸣玉. 基于有机朗肯循环的太阳能地热能联合发电系统研究[D]. 长春: 吉林大学, 2021.
- Quan M Y. Research on hybrid solar-geothermal power generation system based on organic Rankine cycle [D]. Changchun: Jilin University, 2021.
- [86]Gholamian E, Habibollahzade A, Zare V. Development and multi-objective optimization of geothermal-based organic Rankine cycle integrated with thermoelectric generator and proton exchange membrane electrolyzer for power and hydrogen production [J]. *Energy Conversion and Management*, 2018, 174: 112-125.
- [87]Zare V, Palideh V. Employing thermoelectric generator for power generation enhancement in a Kalina cycle driven by low-grade geothermal energy [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2018, 130: 418-428.
- [88]Habibollahzade A, Houshfar E, Ashjaee M, et al. Enhanced performance and reduced payback period of a low grade geothermal-based ORC through employing two TEGs [J]. *Energy Equipment and Systems*, 2019, 7(1): 23-39.