

大兴安岭北段铜矿床找矿进展及勘查方向

刘宝山¹, 李成禄², 程招勋², 刘桂香¹, 王泽宇¹, 张春鹏¹, 寇林林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: 大兴安岭北段是大兴安岭成矿带的重要组成部分, 其中铜矿是北段的主要矿种, 以斑岩型为主, 矿床规模大, 经济价值和科学研究意义重大。本文在系统总结大兴安岭北段区域地质背景、不同时代铜矿床成矿地质作用的基础上, 综述了大兴安岭北段近年来找矿勘查的新成果, 并提出额尔古纳地块西缘、兴安地块东南缘及两地块缝合带处是寻找铜矿的重要方向, “就矿找矿”“攻深找盲”也是大兴安岭北段铜矿勘查的重点。

关键词: 铜矿; 额尔古纳地块; 兴安地块; 成矿带; 找矿勘查; 大兴安岭

PROSPECTING PROGRESS AND EXPLORATION DIRECTION OF COPPER DEPOSITS IN NORTHERN DAXINGANLING MOUNTAINS

LIU Bao-shan¹, LI Cheng-lu², CHENG Zhao-xun², LIU Gui-xiang¹, WANG Ze-yu¹,
ZHANG Chun-peng¹, KOU Lin-lin¹, HAN Ren-ping¹

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2. Heilongjiang Institute of Natural Resources Survey, Harbin 150036, China

Abstract: The northern Daxinganling Mountains is an important part of Daxinganling metallogenic belt, where copper is the main mineral, dominated by porphyry type, large in scale, with great economic value and scientific research significance. Based on the systematic summary of regional geological background and mineralization process of copper deposits in different ages in northern Daxinganling Mountains, the paper summarizes the new exploration results in the area in recent years, and points out that the western margin of Ergun block, southeastern margin of Xing'an block, and suture zone of the two blocks are important for copper deposit prospecting. Attention should be also paid nearby the existing deposits and blind orebodies in the deep for the exploration of copper deposits in northern Daxinganling Mountains.

Key words: copper deposit; Ergun block; Xing'an block; metallogenic belt; ore prospecting; Daxinganling Mountains

0 引言

大兴安岭北段已发现各类矿产地 140 多处, 金属

矿床以铜、金、钼、铅、锌矿为主^[1]。铜资源对于国民经济具有重要意义, 是我国最为紧缺的大宗战略矿产之

收稿日期: 2024-02-27; 修回日期: 2024-07-02. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“吉黑东部成矿带战略性矿产调查”(DD20240060); “东北地区铜金稀有金属战略性矿产地质调查”(DD20230028); “黑龙江东安-汤旺河金矿大型资源基地综合地质调查”(DD20242075).

作者简介: 刘宝山(1970—), 男, 正高级工程师, 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: 刘桂香(1966—), 女, 高级工程师, 主要从事地质矿产综合研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//549462147@qq.com

一,对外依存度高达70%~80%^[2]。铜矿资源的找矿问题已成为新一轮找矿突破战略行动的重中之重工作。

大兴安岭北段在大地构造位置上属于兴蒙造山带东段,是古生代古亚洲洋构造-成矿域与中-新生代太平洋构造-成矿域的叠加转换部位,在中生代又受到北部蒙古-鄂霍次克洋构造-成矿域的影响,成矿作用复杂而强烈^[3-9],形成多处大、中、小型铜矿床,先后发现了早奥陶世多宝山超大型铜矿床和铜山铜矿床^[10-11],晚三叠世八大关和太平川中小型铜矿床^[12-13],早侏罗世乌奴格吐山大型铜矿床和460高地大型铜矿床^[14-16],晚侏罗世小柯勒河大型铜矿床^[17]、富克山小型铜矿床^[18]、霍洛台小型铜矿床^[19],早白垩世六九山中型铜矿床^[20-21]。近几年在漠河地区又相继发现了770高地铜钼矿床、1077高地铜钼矿床、富克山南铜钼矿点、多里尼河上游金铜多金属矿点等^[18,22],在黑河地区也新发现了八直沟、599高地、一脑丸等铜矿点(图1)。伴随着矿产勘查工作的深入,针对这些矿床、矿点,诸多学者相继开展了大兴安岭北段不同时期不同成因类型铜钼多金属矿床学、地球化学方面的研究,并深入讨论了成矿动力学机制,如古生代古亚洲洋俯冲极性、蒙古-鄂霍次克洋和古太平洋板块俯冲方式和影响的时空范围等方面进展^[8,23-24],提高了大兴安岭北段成矿作用和成矿规律的认识,为找矿勘查提供了理论支撑,促进了矿产勘查找矿的新发现。

本文以大兴安岭北段最新勘查成果为基础,总结大兴安岭北段典型铜矿床成矿地质件及成矿时代,剖析各期铜成矿作用,提出大兴安岭北段铜矿找矿方向,为下一步的找矿勘查工作提供新思路。

1 成矿地质背景

传统上以北纬47°20′为界将大兴安岭分为南北两段。大兴安岭北段主要是指乌兰浩特以北的大兴安岭部分,其大地构造位置处于西伯利亚板块东南缘的增生大陆边缘,包含额尔古纳地块和兴安地块构造单元^[25],主要的区域构造包括古生代新林-喜桂图断裂带、贺根山-黑河断裂带和中生代得尔布干断裂带、嫩江-八里罕断裂带。

额尔古纳地块内分布有海拉尔盆地、根河盆地、漠河盆地等一系列晚中生代北东向火山-沉积盆地,构

成了毗邻蒙古-鄂霍次克缝合带的陆块内部伸展盆地体系^[26]。新元古代的岩浆作用和沉积作用较为发育,在陆块西部的额尔古纳河东岸发育新元古界额尔古纳河群和佳疙疸组,属相对稳定的大陆边缘海相沉积^[27-28]。在东部的漠河地区、韩家园子一带发育中新元界兴华渡口岩群,包括兴华岩组和兴安桥岩组,属于活动大陆边缘的构造背景。新元古代岩浆可能是大陆弧岩浆作用的产物,850 Ma左右的大量A型花岗岩和双峰式火成岩记录了持续的伸展过程^[29]。早古生代弧岩浆活动以早中奥陶世最为发育,以高钾钙碱性系列和中钾钙碱性系列的花岗岩为主;晚古生代发育岛弧岩浆侵入活动,并伴有弧间-弧后沉积作用;中生代是岩浆活动最为频繁、强烈的时期,主要有早三叠世、晚三叠世-早侏罗世、晚侏罗世-早白垩世等火山喷发与岩浆侵入活动,为蒙古-鄂霍次克洋向额尔古纳地块南向俯冲的陆缘弧火山-侵入岩浆作用的反映。中生代陆相火山盆地主要分布在漠河前陆盆地中南部、拉布达林火山盆地和海拉尔断陷盆地西侧^[30]。在额尔古纳地块内划分为上黑龙江Au-Cu-Mo成矿带和新巴尔虎右旗-根河Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-萤石-煤(铀)成矿带^①。上黑龙江Au-Cu-Mo成矿带发育破碎蚀变岩型金矿床和岩浆热液型铜钼矿床,代表性矿床(点)有老沟金矿床、砂宝斯金矿床、十一站铜金矿床、460高地铜钼矿床、霍洛台铜钼矿床、洛古河铜钼矿床、小柯勒河铜钼矿床、770高地铜钼矿床等。新巴尔虎右旗-根河Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-萤石-煤(铀)成矿带代表性矿床有陆相火山岩型比利古铅锌矿床、甲乌拉金银锌矿床、额仁陶勒盖银铅锌矿床,乌努格吐山铜钼矿床、八大关金矿床、太平川铜矿床、八八—铜矿床、岔路口斑岩型钼矿床、大黑山钼矿床、塔源二支线夕卡岩型铜铅锌矿床等^②。

兴安地块呈北东向展布,分布在大兴安岭中北部,其西北侧以喜桂图-新林断裂带为界与额尔古纳地块相接^[31-33],南东侧以贺根山-黑河断裂带为界与松嫩地块相接^[34]。地块前寒武纪基底较为发育,主要为兴华渡口岩群和铁帽山岩群。奥陶纪时期,多宝山岛弧火山-侵入岩浆活动形成大面积的下奥陶统多宝山组火山沉积建造及石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩等侵入岩石组合,并伴有下奥陶统铜山组、多宝山组

①张长捷. 东北地区成矿地质背景研究成果报告. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 2013.

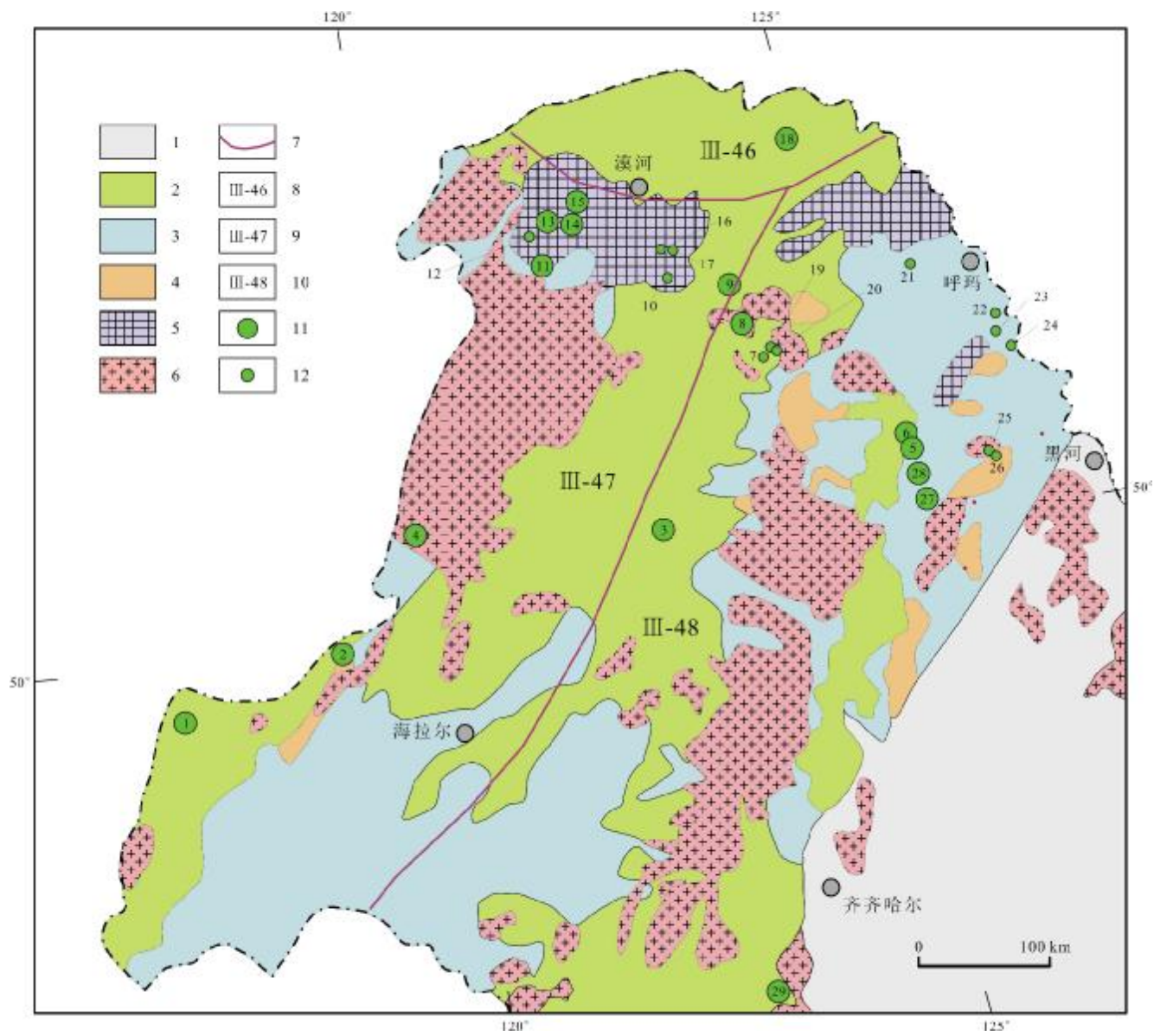


图 1 大兴安岭北段区域地质及矿产分布图

Fig. 1 Regional geological map and distribution of mineral resources in northern Daxinganling Mountains

1—新生界(Cenozoic); 2—中生界(Mesozoic); 3—上古生界(Upper Paleozoic); 4—下古生界(Lower Paleozoic); 5—前寒武系(Precambrian); 6—中生代花岗岩 (Mesozoic granite); 7—成矿带边界 (boundary of metallogenic zone); 8—上黑龙江 Au-Cu-Mo 成矿带 (Upper Heilongjiang Au-Cu-Mo metallogenic belt); 9—新巴尔虎右旗-根河 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-(U)-萤石-煤成矿带 (Xinbaerhu You Qi-Genhe Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-[U]-fluorite-coal metallogenic belt); 10—东乌珠穆沁旗-嫩江 Cu-Mo-Pb-Zn-W-Sn-Cr 成矿带(East Ujimqin Qi-Nenjiang Cu-Mo-Pb-Zn-W-Sn-Cr metallogenic belt); 11—铜矿床(Cu deposit); 12—铜矿点(Cu occurrence); ①—乌努土格山; ②—八大关; ③—阿兴; ④—太平川; ⑤—小多宝山; ⑥—育宝山; ⑦—柯多蒂河西; ⑧—小柯勒河; ⑨—460 高地; ⑩—888 高地; ⑪—1077 高地; ⑫—958 高地; ⑬—富克山; ⑭—霍洛台; ⑮—770 高地; ⑯—白浪拉河上游; ⑰—博乌勒山东南; ⑱—二十一站; ⑲—塔源; ⑳—塔源二支线; ㉑—东岗; ㉒—五道沟; ㉓—格东; ㉔—脑丸; ㉕—599.3 高地; ㉖—八直沟; ㉗—铜山; ㉘—多宝山; ㉙—六九山

及上奥陶统裸河组、爱辉组等弧前、弧间和弧后沉积建造^[35]。反映该时期古亚洲洋北西向俯冲于兴安地块之下,俯冲作用可能于早寒武世开始,延伸至早志留世,表现为区域上发育早寒武世的花岗闪长岩、二长花岗

岩和早志留世的石英闪长岩等。在地块之上发育残留海盆浅海相沉积建造,包括黄花沟组、八十里小河组、卧都河组和泥鳅河组等志留系地层。晚泥盆世—石炭纪,局部地区可延伸至早二叠世,拼合后的块体整体再

次遭受古亚洲洋北西向强烈俯冲作用,岛弧侵入岩浆活动发育,形成石炭纪的石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、正长花岗岩等岩石组合^[36]。中生代时期,陆相火山盆地叠加强烈,主要表现为中侏罗世—早白垩世中基性、中酸性火山活动,强烈的侵入岩浆活动由晚三叠世延续至早白垩世,中生代火山—侵入活动整体反映了蒙古—鄂霍次克洋三叠纪—晚侏罗世南向俯冲至闭合过程中的陆缘远程效应,并在早白垩世受到古太平洋活动的影响^[37]。晚新生代发育陆内断陷盆地,局部出露上新世和晚更新世玄武岩台地。

东乌珠穆沁旗—嫩江 Cu—Mo—Pb—Zn—W—Sn—Cr 成矿带位于兴安地块,成矿带内代表性矿床包括岩浆熔离型北西里钛铁矿床,火山热液型古利库金矿床、大新屯金矿床、旁开门金矿床、三道湾子金矿床、永新金矿床、三合屯金矿床、科洛河金矿床、二十四号桥金矿床,斑岩型多宝山金矿床、铜山金矿床、滨南林场钼矿床、太平沟钼矿床,以及夕卡岩型三矿沟铁铜矿床、小多宝山铜矿床、育宝山铜矿床、关鸟河钨矿床等^①。

2 主要铜矿床时空分布特点

大兴安岭北段已发现铜矿床及矿点数十处,目前达到大型规模的有多宝山、铜山、乌奴格吐山、小柯勒河、460 高地铜矿床等 5 处,典型铜矿床的成矿地质条件、成矿时代、成因类型见表 1。

梳理大兴安岭北段铜成矿作用,主要有 5 个成矿阶段:早奥陶世^[38-39,47]、晚三叠世^[41,48]、早侏罗世和晚侏罗世^[49-51]、早白垩世^[20-21,46]。空间分布上,早奥陶世多宝山、铜山斑岩铜矿床分布于兴安地块嫩江地区多宝山岛弧带上,矿床主要与早奥陶世弧岩浆活动有关;晚三叠世和早侏罗世八大关、太平川、乌奴格吐山斑岩铜矿床主要分布于额尔古纳地块得尔布干断裂西侧的满洲里地区,矿床与晚三叠世和早侏罗世二长花岗岩、花岗闪长岩关系密切;晚侏罗世小柯勒河、460 高地铜矿床主要分布于额尔古纳地块与兴安地块新林—喜桂图断裂带附近的新林地区,而新发现的 770 高地、富克山、霍洛台等铜矿床则位于上黑龙江盆地南缘的漠河地区,矿床与晚侏罗世花岗质岩浆活动紧密相关;早白垩世六九山铜矿床分布于兴安地块东南缘八里罕—嫩江断裂带附近,与早白垩世火山岩浆活动联系密切。

根据表 1 所列测年结果可以看出,区域铜矿床成矿时代变化有以下特点:1)大兴安岭北段铜矿床主要形成于晚古生代和中生代,而以晚中生代矿床数量最多最重要;成矿时代介于 485~145 Ma 之间,但大多数集中于 180~145 Ma;2)矿床形成时代从加里东期至燕山晚期,如加里东期的多宝山(485 Ma)、印支期的八大关(205 Ma)、燕山早期的乌奴格吐山(177 Ma)、燕山晚期的小柯勒河(147 Ma),成矿时代跨度 350 Ma 左右,延续了较长成矿时间,经历了多期成矿作用。

3 铜矿勘查新进展

铜矿是大兴安岭北段优势矿种,基于成矿地质条件分析,结合有效的物化探方法技术是实现大兴安岭地区铜矿找矿突破的关键。大兴安岭北段地质调查和找矿勘查工作程度相对较低,2000 年以来,黑龙江省和内蒙古自治区地质矿产调查单位加大了地质勘查力度,运用化探、地面物探、航磁、工程查证等技术方法和手段,发现了一批具有找矿前景的铜矿点和矿化点,并提交了一批矿产地。

3.1 多宝山地区早奥世铜矿勘查

多宝山矿田的铜山断裂对铜山矿区铜矿体的完整性进行了破坏改造,断裂上盘仅残留了Ⅱ号矿体的头部和Ⅰ号矿体的尾部,Ⅲ号矿体的头部也没有保留下来,在断层下盘仅见到Ⅲ号矿体,而寻找断层下盘的Ⅱ号矿体始终是众多地质学者特别关注的问题^[52]。

铜山矿床受北西向断裂构造控制,主要由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ号矿体构成,只有Ⅰ号矿体露出地表,其他为隐伏矿体。矿石主要呈浸染状构造、细脉浸染状构造、细脉状构造,呈他形一半自形粒状结构、斑状结构、交代残余结构、固溶体分离结构、再结晶结构等。矿石中的金属矿物主要有闪锌矿、方铅矿、黝铜矿、砷黝铜矿、辉钼矿、辉铜矿、磁铁矿、斑铜矿等。围岩蚀变从南西向北东依次发育钾化-硅化、硅化-绢云母化和青磐岩化 3 个蚀变带。成矿过程划分为(Ⅰ)磁铁矿和赤铁矿氧化物阶段;(Ⅱ)黄铁矿、黄铜矿及辉钼矿呈浸染状分布早期金属硫化物阶段;(Ⅲ)黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、斑铜矿、闪锌矿等晚期金属硫化物主成矿阶段;(Ⅳ)石英-碳酸盐脉穿切早期金属矿物石英-碳酸盐阶段^[40,47]。

①张长捷. 东北地区成矿地质背景研究成果报告. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 2013.

表 1 大兴安岭北段典型铜多金属矿床特征

Table 1 Characteristics of typical copper polymetallic deposits in northern Daxinganling Mountains

矿床名称	地质背景	成矿时代	规模	成因类型	资料来源
多宝山	赋矿围岩为下一中奥陶统多宝山组,成矿岩体为早奥陶世花岗闪长岩及花岗闪长斑岩,矿床受北西向断裂构造控制;矿区内有晚三叠世更长花岗岩、角闪辉长岩产出,并零星发育黄铁矿化、绢云母化、绿帘石化、绿泥石化等蚀变;矿床经历晚三叠世铜矿化作用叠加	475±5.1 Ma、 475.8±2.8 Ma、 230.9±2.3 Ma	大型	斑岩型	文献[38-39]
铜山	赋矿围岩为下一中奥陶统多宝山组及铜山组,成矿岩体为早奥陶世花岗闪长岩,矿床受北西向断裂构造控制;英云闪长岩侵入多宝山组安山岩,可见绢云母化、碳酸盐化、高岭土化以及浸染状黄铁矿化等蚀变;矿床经历晚三叠世铜矿化作用叠加	472.4±2.9 Ma、 229.4±3.5 Ma	大型	斑岩型	文献[40]
八大关	赋矿围岩为中上泥盆统大民山组流纹质火山岩和石炭系—二叠系小河水河群的凝灰砂岩、凝灰岩、安山岩夹炭质板岩及绿泥片岩,矿体主要产于晚三叠世花岗闪长斑岩内部,其次产于花岗闪长斑岩与围岩内接触带;矿床受褶皱轴部断裂构造控制	226.7±2.4 Ma、 228.7±3.1 Ma	中型	斑岩型	文献[12-13,41]
太平川	矿区围岩主要为新元古代粗—巨斑状中粒黑云母(钾长)二长花岗岩,赋矿岩石为晚三叠世花岗闪长斑岩,受北西向断裂构造控制	202.1±9.4 Ma、 193.5±5.1 Ma	中型	斑岩型	文献[42]
乌奴格吐山	矿区围岩为中泥盆统乌奴耳组结晶灰岩、砂板岩,成矿后地层为上侏罗统满克头鄂博组酸性火山岩;侵入岩为晚三叠世黑云母花岗岩、花岗斑岩及含矿斑岩体早侏罗世二长花岗斑岩,矿体受二长花岗斑岩体控制,产于北西和北东两组断裂交汇部位	178±1 Ma、 177.6±1.2 Ma	大型	斑岩型	文献[15,43]
460 高地	矿区内大面积出露晚三叠世—早侏罗世正长花岗岩及花岗闪长岩,脉岩主要有花岗细晶岩、花岗斑岩、闪长岩、闪长玢岩、石英等;北西向断裂为容矿构造	179.2±1.1 Ma	大型	斑岩型	文献[16]
三矿沟	矿区地层主要为奥陶系中统铜山组、多宝山组,下统裸河组,以及泥盆系中统腰桑南组,其中多宝山组是主要的矿源层;与成矿有关的侵入岩主要为早侏罗世花岗闪长岩	(200±1)~ (185.7±3.2) Ma	小型	夕卡岩型	文献[44]
小柯勒河	矿区围岩为上奥陶统一上志留统吉祥沟组粉砂质板岩、变质砂岩和上侏罗统白音高老组酸性火山岩,侵入岩为晚侏罗世含矿花岗闪长斑岩及流纹斑岩,矿体受北东和北西两断裂交汇控制	147.3±0.8 Ma	大型	斑岩型	文献[18]
富克山	矿区分布早侏罗世二长花岗岩、石英二长岩和少量的花岗闪长斑岩,石英闪长玢岩为含矿岩体并侵入二长花岗岩,闪长玢岩和安山玢岩为成矿后脉岩;矿体主要受北西断裂控制	148.0±2.8 Ma	小型	斑岩型	文献[18]
霍洛台	矿区分布中-新元古界兴华渡口群兴华组二云斜长片麻岩、斜长角闪岩,侵入岩为晚侏罗世二长花岗岩及似斑状二长花岗岩;矿体产于似斑状二长花岗岩内,并受北东和北西向两组断裂交汇控制	146.9±2.3 Ma	小型	斑岩型	文献[45]
1077 高地	矿区地层为上侏罗统满克头鄂博组酸性火山岩,侵入岩为晚侏罗世花岗闪长斑岩、花岗斑岩、石英闪长岩,花岗闪长斑岩与成矿关系密切	晚侏罗世	中型	斑岩型	李成禄等 ^①
770 高地	晚侏罗世花岗岩为主,另有少量花岗闪长岩、闪长玢岩、花岗斑岩等产出,发育北东向断裂构造	晚侏罗世	中型	斑岩型	张徐平等 ^②
六九山	矿区主要出露下白垩统光华组酸性火山岩,侵入岩主要为不规则状或岩株状产出的花岗闪长岩,伴有呈脉状产出的正长斑岩、闪长玢岩等;矿区构造以北东向和北西向断裂发育为特征,两者联合控制火山机构分布,矿床发育在矿区东南部火山口的一侧	109~126 Ma	中型	斑岩型	文献[46]

①李成禄,等.黑龙江新林-漠河铜金矿大型资源基地建设方案.黑龙江省自然资源调查院,2023.

②张徐平,等.黑龙江省漠河县 770 高地铜多金属矿详查总结.黑龙江省有色金属地质勘查局,2019.

2017—2021年,中国地质调查局沈阳地质调查中心与紫金矿业集团股份有限公司紧密合作,在多宝山矿集区开展大比例尺地质填图及重-磁-电-震等地球物理勘查工作,通过获得的多源数据精准刻画了深部地质体的产出状态,并构建了重-磁-电-震综合地球物理找矿模型,精准标定出Ⅱ号矿体产出位置。经过ZK2020-8钻孔查证,在深部1 148.41~1 512.05 m发现视厚度363.64 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%。经紫金矿业集团后续的系统勘查和初步评估,预计新增铜资源量超过 100×10^4 t,实现了多宝山矿集区深部重大找矿突破,揭开了铜山矿床规模由大型向特大型勘查的序幕。另外,2023年黑龙江省自然资源调查院在铜山矿区外围开展物化探异常查证工作,实施了1个1 602 m深部查证孔,在深部1 200~1 300 m处发现1条视厚度41.5 m低品位铜矿体,并在深部圈连出1条视厚度135.46 m的铜矿化体,预示深部及外围仍具有较大的找矿空间^①。

3.2 新林地区早侏罗世和晚侏罗世铜矿勘查

新林地区近几年发现小柯勒河和460高地2个大型铜矿床。

460高地铜钼矿体发育在早侏罗世花岗闪长岩内,成矿时代为179 Ma^[16],铜资源量已达大型。矿区内断裂发育,以北东东、北北西向为主,其次为北东、近东西向,断裂延长多小于2.5 km。北东东和近东西向断裂是区内的容矿构造。矿体围岩为晚三叠世中粗粒正长花岗岩。围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸岩化,其次为高岭土化、绿帘石化、叶腊石化。其中硅化、绢云母化、绿帘石化与铜钼矿化关系较密切。矿化主要有黄铁矿化、辉钼矿化、黄铜矿化,其次有方铅矿化、闪锌矿化等^[54]。区内发现钼矿体3条,铜矿体11条,金矿体7条。钼、铜矿体多呈带状分布,走向60°左右,倾向北西,倾角38~45°。钼矿体控制长度200~600 m,延深60~600 m,平均厚度3.56~54.51 m,Mo平均品位0.073%~0.102%,伴生Cu最高品位0.18%;铜矿体控制长度200 m,延深200~560 m,厚度1.14~7.33 m,Cu平均品位0.23%~1.22%,伴生Mo最高品位0.051%;金矿体走向近东西,倾向北,倾角58°,矿体长度80~410 m,延深47.5~225 m,厚度0.84~3.18 m,

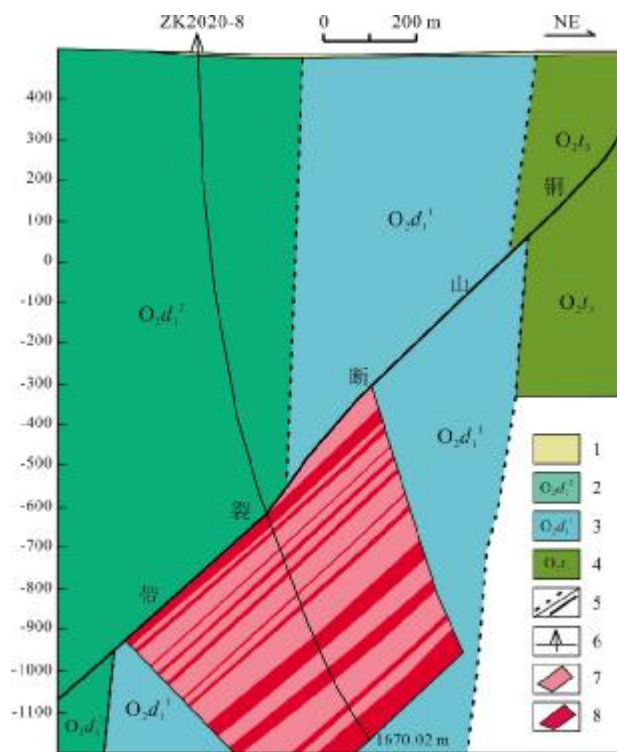


图2 铜山铜矿床1080勘探线矿体剖面图

(据文献[53])

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

(From Reference [53])

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, tufflava, pyroxene andesite and marble in the 1st mem. 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 in the 2nd mem. 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)

最大平均品位 4.09×10^{-6} [54]。

小柯勒河铜矿床处在北西向大乌苏河断裂与北东向小柯勒河断裂的交汇部位,北东向断裂是主要的容矿构造,形成时代为148.0 Ma^[18]。截至2018年,小柯勒河铜矿床圈定铜矿体42条(工业矿体10条、低品位矿体32条),钼矿体44条(工业矿体14条、低品位矿体30条),铜钼矿体16条(工业矿体4条、低品位矿体12条)。矿体主要赋存在花岗闪长斑岩内,钼矿体从地表到深部均有发育,浅部以单独的钼矿为主,深

①王贵鹏,等. 黑龙江省嫩江市铜山南528高地铜金多金属矿普查野外工作总结. 黑龙江省自然资源调查院,2023.

部多为铜矿的伴生矿种(图3)。如I-11-4号铜工业矿体为隐伏矿体,控制长度257.8 m,矿体平面呈近楔形,剖面呈纺锤状,走向近东西向分布,垂直厚度17.0 m,最高品位1.40%,平均品位0.48%,伴生钼平均品位为0.013%。I-17-14号铜工业矿体为隐伏矿体,控制长度423.96 m,平均垂直厚度40.50 m,最高品位1.64%,平均品位0.42%^[17-18, 55]。已圈定的铜、钼矿体赋矿标高+835~-538 m,成矿高差大于1 300 m,估算矿床(333级)矿石量 $45\ 837\times 10^4$ t, Cu金属量 109.26×10^4 t, Mo金属量 15.29×10^4 t^[56]。

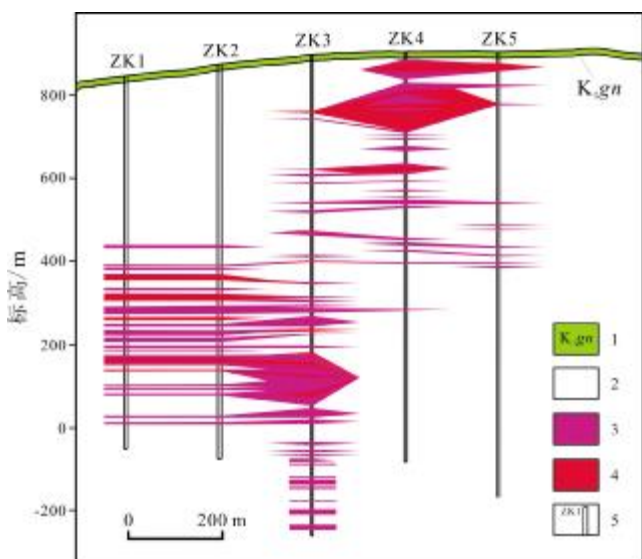


图3 小柯勒河260勘探线铜矿体剖面图

Fig. 3 Profile of Xiaokelehe copper orebody along No.260 exploration line

1—光华组火山岩(volcanic rocks of Guanghua fm.); 2—花岗闪长岩(granodiorite); 3—钼矿体(Mo orebody); 4—铜矿体(Cu orebody); 5—钻孔(borehole)

矿石构造主要为团块状构造、浸染状构造、脉状构造,矿石结构主要为鳞片状结构、粒状结构、固溶体分离结构、碎裂结构、交错结构及浸蚀结构。由赋矿岩石花岗闪长斑岩体中心向外可依次划分为钾化带→黄铁绢英岩化带→青磐岩化带。成矿过程划分为(Ⅰ)磁铁矿-钾长石阶段,主要由磁铁矿、黄铁矿及钾长石组成;(Ⅱ)黄铁矿-辉钼矿-石英阶段,主要由黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿及石英组成,是主要的成矿阶段之一;(Ⅲ)黄铜矿-绢云母-石英阶段,主要由黄铁矿、黄铜

矿、方铅矿、闪锌矿及绢云母、石英组成,是主要的成矿阶段之一;(Ⅳ)绿泥石-碳酸盐阶段,由少量的黄铁矿及绿泥石、方解石组成,为成矿末期阶段的产物。

3.3 漠河地区晚侏罗世铜矿勘查

近几年漠河地区铜矿勘查成果显著,以“小岩体成大矿”理论为指导^[57-58],新发现了一系列具有斑岩-热液型特点的铜钼矿床,包括1077高地铜钼矿、958高地铜钼矿、770高地铜钼矿、霍洛台铜钼矿、富克山铜钼矿等。此外,各矿床周边还有成矿条件类似的多处铜钼矿点待查证。漠河地区的铜矿成矿作用主要与晚侏罗世花岗质斑岩体有关。下面以770高地铜钼矿和1077高地铜钼矿为例阐述这类矿床的主要特征。

770高地铜钼矿床受大林河断裂和霍洛台河断裂交汇控制,赋矿岩体为花岗斑岩。矿石结构为鳞片状结构、晶粒状结构、自形-半自形结构、碎裂结构,矿石构造为块状构造、浸染状构造、条带状构造。金属矿物主要为黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿。围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、绢云母化,少见有萤石化,局部见有泥化,铜、钼矿体主要位于石英-绢云母环状蚀变带上。由含矿花岗斑岩体中心向外依次为石英-钾长石化带、石英-绢云母化带、石英-水白云母-高龄土-黄铁矿化带^①。

截至2018年,770高地矿区已圈定铜矿体4条。其中,I号铜矿体已控制长度1 300 m,最大视厚度250.0 m,矿体平均品位0.22%;Ⅱ号铜矿体已控制长度600 m,最大视厚度58.0 m,矿体平均品位0.23%;Ⅲ号铜矿体已控制长度250 m,最大视厚度112 m,矿体品位0.21%;Ⅳ号铜矿体已控制长度1 300 m,最大视厚度68.0 m,矿体平均品位0.24%。估算(333)铜金属量 33×10^4 t,至今勘查工作仍在进行。由于铜矿体大部分出露地表,埋深较浅,可以露天开采,经济效益巨大^①。

1077高地铜矿床受波里吉里加库河断裂控制,矿区含矿岩体为晚侏罗世花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩,为斑岩型矿床。矿石结构为自形-半自形结构、碎裂结构、固溶体分离结构,矿石构造为块状构造、浸染状构造、条带状构造。金属矿物主要为黄铁矿、辉钼矿、黄铜矿。由含矿斑岩体中心向外依次为钾长石化带、石英-绢云母化带、青磐岩化带^①。

2022年,1077高地矿区圈定工业矿体4条,其中铜矿体3条,金矿体1条;低品位矿体12条,包括铜矿

①曹远兴,等. 黑龙江省漠河地区1077高地铜金矿普查野外工作总结. 黑龙江省地球物理地球化学勘查院, 2023.

体7条、金矿体3条、钼矿体2条。钻孔ZK12601发现铜矿化带厚度100.9 m,加权平均品位0.4088%;工业铜矿体8条,累计视厚度55.10 m,最高品位6.4728%,加权平均品位0.6322%;铜矿化体12条,累计视厚度45.80 m,最高品位0.1942%,加权平均品位0.1401%。Cu-6矿体视厚度9.80 m,最高品位6.4728%,加权平均品位1.5161%。Cu-8矿体视厚度30.90 m,最高品位0.6965%,加权平均品位0.3437%。Cu-10矿体视厚度5.40 m,最高品位2.2174%,最低品位0.2485%,加权平均品位0.7404%。由126勘探线剖面图(图4)上看出,矿体两侧及深部仍有较大的找矿空间^①。

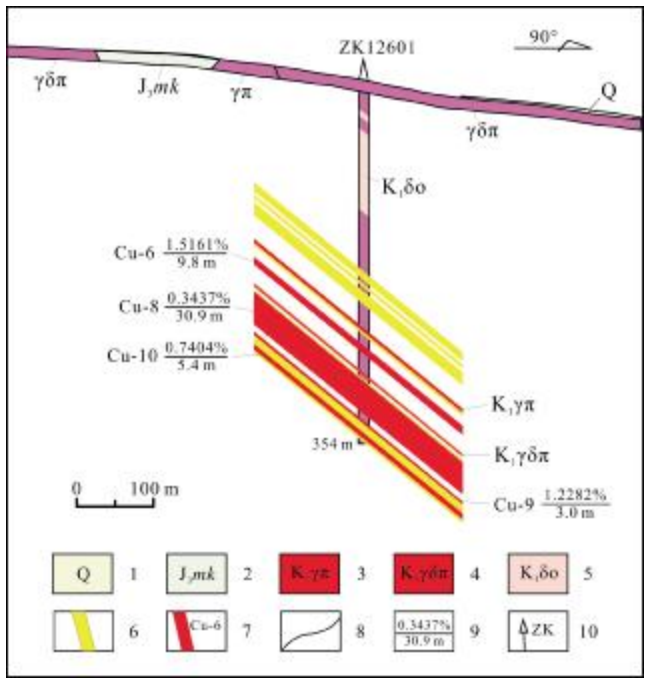


图4 1077矿区126勘探线矿体剖面图

Fig. 4 Profile of orebody in 1077 mining area along No.126 exploration line
1—第四系 (Quaternary); 2—上侏罗统满克头鄂博组火山岩 (volcanic rocks of Manketouebo fm., Upper Jurassic); 3—早白垩世花岗斑岩 (Early Cretaceous granite porphyry); 4—早白垩世花岗闪长斑岩 (Early Cretaceous granodiorite porphyry); 5—早白垩世石英闪长岩 (Early Cretaceous quartz diorite); 6—铜矿化 (copper mineralization); 7—铜矿体及编号 (Cu orebody and number); 8—地质界线 (geological boundary); 9—铜矿体平均品位/视厚度 (average grade/ apparent thickness of copper orebody); 10—钻孔及编号 (borehole and number)

从上述2个矿区铜矿勘查结果可以看出,随着勘查力度的不断加大,漠河地区具有新增铜矿大型资源基地的潜力。

3.4 龙江地区早白垩世铜矿勘查

六九山铜矿床位于黑龙江省龙江县六九地区,是近年来在大兴安岭成矿带发现的新型矿床。共圈定24条铜矿体,其中工业矿体19条,低品位矿体5条,矿床储量已达中型^[46]。其中I、II、IV号矿体规模较大,为主矿体(图5)。矿带东西长约1200 m,南北宽约500 m,矿体赋存水平标高0~300 m。矿体主要产在爆破角砾岩及花岗闪长岩中,呈不规则脉状、透镜状产出。矿体最大长度780 m,一般在300 m左右,平均厚度7.18 m。矿体Cu平均品位0.59%~1.01%,矿床平均品位0.73%。

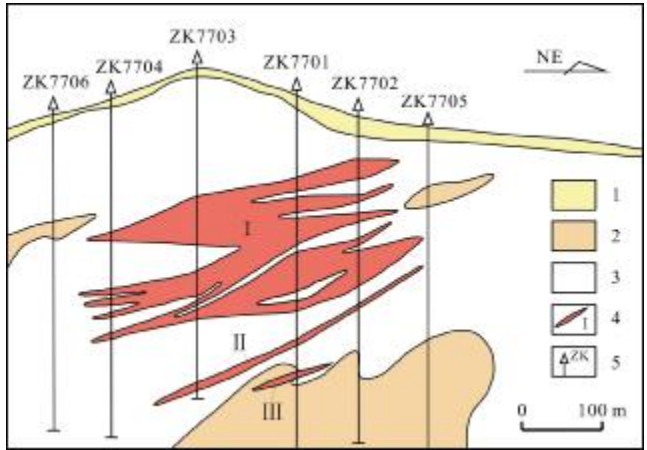


图5 六九山矿区77勘探线矿体剖面图

Fig. 5 Profile of orebody in Liujiushan mining area along No.77 exploration line
1—第四系(Quaternary); 2—花岗斑岩(granite porphyry); 3—隐爆角砾岩(cryptexplosive breccia); 4—铜矿体(copper orebody); 5—钻孔(borehole)

I号矿体呈不规则脉状-囊状产出,走向45°~95°,倾向北西,倾角0°~34°,最大控制长度700 m,垂深205 m,平均宽度50 m,平均垂直厚度13.46 m,赋存标高120~280 m,平均品位0.70%。II号矿体呈不规则脉状产出,走向60°~75°,倾向北西,倾角20°~30°,最大控制长度500 m,垂深165 m,平均宽度23 m,最大控制垂直厚度32 m,平均垂直厚度8.85 m,赋存标高120~268 m,平均品位0.72%。IV号矿体呈不规则脉状-囊状产出,走向60°~85°,倾向北西,倾角25°~27°,最大控制长度780 m,垂深170 m,平均厚度19 m,最大控制垂直厚度38 m,平均垂直厚度6.13 m,赋存标高140~250 m,平均品位0.74%^[48]。

①曹远兴,等. 黑龙江省漠河地区1077高地铜金矿普查野外工作总结. 黑龙江省地球物理地球化学勘查院, 2023.

矿石构造主要为块状构造、浸染状构造和角砾状构造,矿石结构为他形粒状结构、固溶体分离结构、包含结构以及由充填作用形成的脉状结构等。金属矿物主要为黄铁矿和黄铜矿,微量斑铜矿、辉铜矿、蓝铜矿、黝铜矿、闪锌矿、辉钼矿、磁铁矿、镜铁矿。蚀变矿化期次划分为硅质交代阶段、石英-硫化物阶段、玉髓-绿泥石-碳酸盐化阶段。

综上所述,大兴安岭北段从北到南,随着铜矿的新发现及深部调查的新突破,显示出该地区铜矿找矿潜力巨大,随着勘查程度的深入,矿床储量和规模将会不断增大。新一轮战略找矿行动,应对这些具有较大成矿潜力的新区及外围重点部署,加大勘查力度。

4 讨论

大兴安岭北段经历了古亚洲洋、蒙古-鄂霍次克洋、古太平洋构造域演化。现有资料表明,从古生代到中生代发现了不同规模的铜矿床,资源储量方面,奥陶纪多宝山和铜山矿床规模最大,为大型—超大型,矿床数量上侏罗纪最多。铜矿床在空间分布上受大地构造演化、区域构造、岩浆作用的控制。前人研究^[1, 3-5, 8-9, 23-24]表明,早奥陶世斑岩型铜矿形成于古亚洲洋北西向俯冲地质环境,晚三叠世、侏罗纪斑岩型铜矿形成于蒙古-鄂霍次克洋俯冲的构造背景,而早白垩世晚期铜矿与古太平洋北西向活动有关。

4.1 早奥陶世构造—岩浆铜成矿作用

新元古代末期—寒武纪,随着新林-喜桂图洋闭合(约 500 Ma),兴安地块拼贴至额尔古纳地块东南缘,伴随着古亚洲洋的分支嫩江洋由南东向额尔古纳地块与兴安地块联合地体的俯冲,多宝山岛弧带沿阿荣旗—多宝山一线增生拼贴。奥陶系多宝山组、铜山组、裸河组、爱辉组及志留系黄花沟组等火山—沉积地层是构成多宝山岛弧带火山弧、弧前盆地、弧间盆地、弧后盆地的重要组成部分。侵入弧的早奥陶世花岗闪长岩是多宝山铜矿、铜山铜矿成矿地质体,其成因机制推测为俯冲的嫩江洋板片熔体交代地幔楔导致了部分熔融,形成高镁的埃达克质岩浆,一部分喷出地表形成高镁的安山质火山岩,另一部分则在地壳和地幔边界的岩浆房内发生部分熔融,形成含矿花岗闪长岩,同时含矿岩浆在上升过程中又萃取了围岩部分成矿物质,从而形成多宝山和铜山铜矿床,成矿时代约为

475 Ma。

4.2 晚三叠世构造—岩浆铜成矿作用

在三叠纪,大兴安岭北段由古亚洲洋构造域转换为蒙古-鄂霍次克洋构造域,并延至晚侏罗世末期,表现为蒙古-鄂霍次克大洋板块向额尔古纳地块南东向俯冲,额尔古纳地块由被动大陆边缘转变为活动大陆边缘环境,形成大量三叠纪高钾钙碱性的中酸性侵入岩。自北向南沿额尔古纳地块西边缘形成太平川(202 Ma)^[59]、八大关(228 Ma)^[60]、八八一(237 Ma)^[25]等多个斑岩型铜钼矿床。另外,在中蒙古地块上还发育有阿林诺尔斑岩型铜钼矿床(227 Ma)^[61],在兴安地块多宝山地区形成小多宝山夕卡岩铜矿床(232.8 Ma)^[38]。上述这些铜钼矿床形成于俯冲挤压背景。在蒙古-鄂霍次克洋板块强烈俯冲阶段,被交代的大量地幔物质发生部分熔融,形成的基性玄武质岩浆底侵于下地壳底部,致使下地壳发生部分熔融,形成具有 I 型花岗岩特点的花岗质岩浆。花岗质岩浆携带了大量 Cu 元素强力上侵就位,为区域铜矿的形成提供了丰富的物源及充足热源。近些年有关大兴安岭北段晚三叠世铜钼矿床研究新进展鲜有报道。这些矿床的地质构造背景、形成机制与成矿条件是新一轮找矿突破行动重点关注的问题,是实现该期铜矿突破的关键所在。

4.3 早中侏罗世构造—岩浆成矿作用

早中侏罗世蒙古-鄂霍次克大洋板块仍持续向额尔古纳地块南向俯冲,被俯冲板片脱水交代的地幔楔发生部分熔融所形成的玄武质岩浆大量喷出地表,形成了早侏罗世中钾—高钾钙碱性系列的中基性火山岩^[62];而高温的玄武质岩浆为下地壳部分熔融提供了充足热源,使下地壳部分熔融产生的中酸性岩浆强力上升侵位,形成了具有 I-型特征的花岗质岩石,并在额尔古纳地块西缘形成了乌奴格吐山大型铜钼矿床,成矿时代为 177 Ma。另外,还有黄花菜沟铜钼、头道井西山铜矿点等^[43]。受蒙古-鄂霍次克大洋板块持续向南俯冲远程效应的影响,在兴安地块多宝山一带形成了三矿沟夕卡岩型铜铁矿床(176 Ma)^[63-64]和育宝山夕卡岩型铜矿床(174.2 Ma)^[40]。中侏罗世在大兴安岭中段布敦化一带发育系列次火山岩,该期岩浆作用形成了布敦化铜矿床(166 Ma)^[65]。

4.4 晚侏罗世构造—岩浆成矿作用

晚侏罗世早期在大兴安岭南段形成了莲花山铜矿

床(162 Ma)、闹牛山铜矿床(162 Ma)^[65], 150~147 Ma 大兴安岭北段地区可能又经历了蒙古-鄂霍次克洋平板俯冲过程^[18], 由低角度俯冲诱发的挤压环境有利于斑岩型铜矿的形成^[66-67]。低角度俯冲的大洋板片前端由于持续的高温加热发生部分熔融, 形成高氧逸度、高 Cu 和 Mo 含量的埃达克质岩浆。埃达克质中酸性岩浆上升至地壳浅表部位, 由于温度压力变化含矿岩浆发生出溶作用, 形成以铜钼为主的成矿流体。成矿流体在演化过程中交代围岩, 先后发生钼、铜矿化, 最终形成斑岩铜钼矿床。如小柯勒河铜钼矿床、富克山铜钼矿床和霍洛台铜钼矿床, 这 3 个矿床的成矿时代分别为 148.0 Ma、147.3 Ma 和 146.8 Ma。与矿床有关的花岗质成矿岩体均显示高 Sr ($1000 \times 10^{-6} \sim 1430 \times 10^{-6}$)、低 Y ($3.7 \times 10^{-6} \sim 8.0 \times 10^{-6}$) 和 Yb ($0.26 \times 10^{-6} \sim 0.54 \times 10^{-6}$) 特征, 并具有高的 Sr/Y 比值(139~332)^[18], 具有明显的俯冲洋壳部分熔融埃达克质岩体性质, 该地球化学参数是寻找斑岩型铜矿岩体的有利标志。

4.5 早白垩世构造-岩浆铜成矿作用

在大兴安岭东北部地区有关早白垩世铜矿报道较少。王筱箐等^[46]、宫永吉等^[20]和杨元江等^[21]报道了大兴安岭北段东坡六九山铜矿床成矿地质特征、成因与构造背景等方面特征。六九山铜矿区侵入矿体的英云闪长斑岩年龄为 118.41~126.94 Ma^[21], 由于大部分矿体赋存于下白垩统光华组隐爆火山角砾岩内, 据此推断成矿时代应为早白垩世晚期。该成矿时间与大兴安岭北段地区火山岩或次火山岩主要成岩年龄 128~110 Ma 吻合^[68]。火山岩和次火山岩岩浆活动的增强, 也在区域上形成了砂宝斯金矿床、比利亚谷铅锌矿、东珺银铅锌矿等一批中低温热液 Au-Ag-Pb-Zn 矿床。早白垩世早期, 区域上处于古太平洋向欧亚大陆板块挤压作用减缓阶段和蒙古-鄂霍次克洋闭合造山后由挤压向伸展转换时期, 区域性的岩石圈伸展作用造成大规模软流圈物质的强烈上涌, 导致新生的加厚的玄武质下地壳发生部分熔融, 在深部形成具有高氧逸度、富含矿质和流体的中酸性埃达克质岩浆, 而浅部则形成非埃达克质岩浆。在伸展构造环境下, 火山喷发的晚期阶段, 部分中酸性埃达克质岩浆上升至地壳浅部, 含矿流体发生出溶作用, 流体在迁移演化过程中发生钼铜和银铅锌矿化, 最终形成区域上砂宝斯等浅成热液金矿床和六九山斑岩铜矿床。

5 勘查方向

在大兴安岭北段地区主要发育 5 期斑岩铜矿成矿作用: 1) 与古亚洲洋俯冲有关的以多宝山铜矿为代表的早奥陶世斑岩铜矿床; 2) 与蒙古-鄂霍次克洋俯冲有关的以晚三叠世太平川、八大关铜矿为代表的斑岩型矿床; 3) 以乌奴格吐山为代表的早侏罗世斑岩型铜矿床; 4) 以小柯勒河为代表的晚侏罗世斑岩型铜矿床; 5) 与古太平洋有关的早白垩世六九山铜矿床。古亚洲洋、蒙古-鄂霍次克洋、古太平洋构造域在大兴安岭北段的先后叠加活动为岩浆-成矿作用提供了有利的成矿地质条件。

多宝山铜矿床位于兴安地块南东缘早古生代多宝山岛弧带, 乌奴格吐山铜矿床位于额尔古纳地块西缘得尔布干深大断裂构造带西侧, 小柯勒河铜矿床位于兴安地块与额尔古纳地块新林-喜桂图混杂岩带上。然而, 这些重要成矿构造带至今发现的铜矿床相对较少, 如多宝山岛弧带北东-南西延长数千千米, 仅仅发现了多宝山及铜山斑岩铜矿床, 产于额尔古纳地块西缘的铜矿床数量也仅为个位数。一般情况下, 斑岩型铜矿床常成群成带产于大洋板片俯冲产生的岛弧和陆缘弧环境, 亦即多产于聚合板块活动时期, 缝合带的上盘, 而活动大陆边缘的构造-花岗质岩浆发育区是斑岩铜矿产出的最佳部位^[69]。因此, 兴安地块与额尔古纳地块边缘及得尔布干断裂、新林-喜桂图俯冲混杂岩带的上盘是寻找斑岩型铜矿床的有利区。

从学者对大兴安岭北段铜矿床的报道可以看出, 与铜矿床有关的成矿岩体多为中酸性埃达克质岩体, 显示出高 Sr、低 Y 和 Yb、弱负-正 Eu 异常地球化学特征, 具有相对高的 Sr/Y 比值^[18, 39-40]。加强侵入岩体地球化学性质的研究, 建立岩石地球化学标志, 是发现斑岩铜矿的有效途径之一。重点加强埃达克质岩体的调查, 是实现斑岩铜矿找矿突破的关键。

黑龙江省龙江县六九山铜矿床是 21 世纪初发现的, 认为有望成为大型的铜矿床, 在成矿成因方面是斑岩型还是浅成热液型争议较大, 制约了找矿突破。六九山铜矿床与早白垩世晚期火山-岩浆活动关系密切, 矿床发育在爆破角砾岩筒中, 矿体主要产于早白垩世花岗闪长岩和光华组火山岩中, 上部为角砾岩型, 下部为斑岩型^[46]。在超过 20 km² 的矿区范围内发育 9 处中心式火山机构, 火山机构是铜矿体产出的有利部位,

表明矿床外围仍有较大的找矿潜力。对外围火山机构的勘查部署研究是实现铜矿突破的关键,更是六九山铜矿由中型向大型迈进的决定性因素,应加大加快勘查工作。六九山铜矿床的地质特征及地质构造背景为火山岩区寻找斑岩型铜矿提供了找矿思路,具有重要的借鉴意义。

斑岩型矿床普遍发育蚀变作用,通常会影响到数立方千米的岩石,且具有明显的分带现象^[18,40,47],上述铜矿床矿化蚀变普遍发育,以钾化带为中心,外围依次为黄铁绢英岩化带及青磐岩化带,显示出斑岩型铜矿床环状、分带式蚀变特征。因此,矿产地质调查应加强矿化蚀变的识别及类型的划分,环状、分带式蚀变岩是寻找斑岩型铜矿床的重要直接标志之一。

目前,大兴安岭北段地区受林地等外部环境及勘查手段相对落后等因素的制约,各类矿床大多存在勘查程度相对较低、探矿深度相对较浅、资料数据可靠性相对较差、综合研究认识相对偏低等问题。因此,已知矿山深部及外围的找矿预测应是矿产资源调查和评价的重要组成部分,也是在短时间内实现战略矿产找矿突破的关键,更是快速实现增储上产的最佳途径。如多宝山矿集区铜山矿区通过钻孔对重、磁、电、震三维成矿模型的验证,发现厚达数百米的铜矿体,实现了铜山矿区深部找矿重大突破,展现出矿床由大型向超大型发展的潜力。小柯勒河铜矿床受当时勘查条件的影响,还未全面达到普查程度,已圈定的铜钼矿体走向和倾向尚未完全进行封闭控制。另外,由于当时目标任务是寻找浅成低温热液金矿床,勘查时部分钻孔终孔深度相对较浅,部分介于300~500 m,致使矿床深部铜矿潜力没有挖掘出来。因此,加强“就矿找矿”工作,“攻深找盲”,挖掘深部找矿潜力,也是大兴安岭北段地区重要的找矿方向。

致谢:本文成文过程中得到中国地质调查局沈阳地质调查中心辛后田副主任的指导;匿名评审专家提出的宝贵建议和意见促进了本文质量的提高。在此,谨致以崇高的敬意和衷心的感谢!

参考文献(References):

[1]余宏全,常国雄,李进文,等.内蒙古大兴安岭北段及邻区铜钼铅锌多金属矿床成矿时代分布规律[J].矿床地质,2010,29(S1):

499-501.

She H Q, Chang G X, Li J W, et al. Metallogenic epoch distribution of Cu-Mo-Pb-Zn polymetallic deposit in northern section of Greater Hinggan Mountains and adjacent areas of Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(S1): 499-501. (in Chinese)

[2]徐琳,唐金荣.我国铜资源供给风险识别及分析研究[J].北京大学学报(自然科学版),2017,53(3):555-562.

Xu L, Tang J R. Copper supply risk identification and analysis study in China [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2017, 53(3): 555-562.

[3]Mao J W, Pirajno F, Lehmann B, et al. Distribution of porphyry deposits in the Eurasian continent and their corresponding tectonic settings[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 79: 576-584.

[4]武广,王国瑞,刘军,等.大兴安岭北部主要金属矿床成矿系列和区域矿床成矿谱系[J].矿床地质,2014,33(6):1127-1150.

Wu G, Wang G R, Liu J, et al. Metallogenic series and ore-forming pedigree of main ore deposits in northern Great Xing'an Range [J]. Mineral Deposits, 2014, 33(6): 1127-1150.

[5]Xu W L, Pei F P, Wang F, et al. Spatial-temporal relationships of Mesozoic volcanic rocks in NE China: Constraints on tectonic overprinting and transformations between multiple tectonic regimes[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 74: 167-193.

[6]Tang J, Xu W L, Wang F, et al. Geochronology, geochemistry, and deformation history of Late Jurassic-Early Cretaceous intrusive rocks in the Erguna Massif, NE China: Constraints on the Late Mesozoic tectonic evolution of the Mongol-Okhotsk orogenic belt [J]. Tectonophysics, 2015, 658: 91-110.

[7]Li Z Z, Qin K Z, Li G M, et al. Neoproterozoic and Early Paleozoic magmatic records from the Chalukou ore district, northern Great Xing'an Range, NE China: Implications for tectonic evolution and Mesozoic Mo mineralization[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2018, 165: 96-113.

[8]Deng C Z, Sun D Y, Han J S, et al. Late-stage southwards subduction of the Mongol-Okhotsk oceanic slab and implications for porphyry Cu-Mo mineralization: Constraints from igneous rocks associated with the Fukeshan deposit, NE China[J]. Lithos, 2019, 326-327: 341-357.

[9]Xu C H, Sun F Y, Fan X Z, et al. The Early Cretaceous tectonic evolution of the southern Great Xing'an Range, northeastern China: New constraints from A2-type granite and monzodiorite[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 2022, 59(3): 135-155.

[10]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.

[11]Liu J, Li Y, Zhou Z H, et al. The Ordovician igneous rocks with high Sr/Y at the Tongshan porphyry copper deposit, satellite of the Duobaoshan deposit, and their metallogenic role [J]. Ore Geology

- Reviews, 2017, 86: 600–614.
- [12]李春风, 柳振江, 宓奎峰, 等. 内蒙古八大关斑岩型铜钼矿地球化学特征与成矿过程探讨[J]. 矿床地质, 2014, 33(S1): 215–216.
- Li C F, Liu Z J, Mi K F, et al. Geochemical characteristics and metallogenic process of porphyry copper-molybdenum deposit in Badaguan, Inner Mongolia[J]. Mineral Deposits, 2014, 33(S1): 215–216. (in Chinese)
- [13]康永建, 向安平, 余宏全, 等. 内蒙古八大关斑岩型 Cu-Mo 矿床成矿流体特征及成矿机制研究[J]. 地质学报, 2016, 90(8): 1778–1797.
- Kang Y J, Xiang A P, She H Q, et al. The characteristics of ore-forming fluids and mineralization mechanism in the Badaguan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, NE China [J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(8): 1778–1797.
- [14]秦克章, 李惠民, 李伟实, 等. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代[J]. 地质论评, 1999, 45(2): 180–185.
- Qin K Z, Li H M, Li W S, et al. Intrusion and mineralization ages of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, northwestern China[J]. Geological Review, 1999, 45(2): 180–185.
- [15]陈志广, 张连昌, 万博, 等. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床低 Sr-Yb 型成矿斑岩地球化学特征及地质意义[J]. 岩石学报, 2008, 1: 115–128.
- Chen Z G, Zhang L C, Wan B, et al. Geochemistry and geological significances of ore-forming porphyry with low Sr and Yb value in Wunugetushan copper-molybdenum deposit, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(1): 115–128.
- [16]Kan J, Qin KZ, Wang L, et al. The influence of fluid-exsolving depth on mineralization quality: Evidence from biotite and zircon mineralogy and fluid inclusions from the 460 Gaodi porphyry Mo-Cu deposit, NE China[J]. Minerals, 2023, 13(5): 699.
- [17]尚毅广, 孙丰月, 姜和芳, 等. 大兴安岭北段霍洛台铜铅锌矿区花岗岩的岩石成因: 地球化学和锆石 U-Pb 年代学制约[J]. 世界地质, 2017, 36(2): 474–485.
- Shang Y G, Sun F Y, Jiang H F, et al. Petrogenesis of granodiorites in Huoluotai Cu-Pb-Zn mining area: Constrain from geochemistry and zircon U-Pb geochronology, northern Daxing'anling[J]. Global Geology, 2017, 36(2): 474–485.
- [18]邓昌州. 大兴安岭北部中生代斑岩铜矿: 成岩与成矿[D]. 长春: 吉林大学, 2019: 1–236.
- Deng C Z. Petrology and metallogenesis of the porphyry Cu deposits in the northern Great Xing'an Range[D]. Changchun: Jilin University, 2019: 1–236.
- [19]Sun Y G, Li B L, Zhao Z H, et al. Late Jurassic adakitic ore-bearing granodiorite porphyry intrusions in the Xiaokele porphyry Cu (-Mo) deposit, Northeast China: Implications for petrogenesis and tectonic setting[J]. Acta Geochimica, 2021, 40(5): 702–717.
- [20]宫永吉, 孙景贵, 刘阳. 再论大兴安岭中东部六九山铜矿床成矿地质特征、成因与成矿地质背景[J]. 吉林地质, 2020, 39(4): 1–10.
- Gong Y J, Sun J G, Liu Y. A re-evaluation on the deposit geological features, genesis and metallogenic geological setting of Liujiushan Cu deposit in the central-eastern segment of the Greater Xing'an Range [J]. Jilin Geology, 2020, 39(4): 1–10.
- [21]杨元江, 吕长禄, 李科, 等. 黑龙江六九铜矿区岩浆岩年代学及成矿指示意义[J]. 矿物岩石, 2021, 41(3): 118–127.
- Yang Y J, Lv C L, Li K, et al. Magmatic geochronology and metallogenic geological significance in Liujiu Cu deposit, Heilongjiang Province[J]. Mineralogy and Petrology, 2021, 41(3): 118–127.
- [22]王磊. 黑龙江省漠河县霍洛台铜钼矿床地质特征及找矿方向研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- Wang L. Study on geological characteristics and prospecting direction of copper-molybdenum deposit in Helotai, Mohe County, Heilongjiang Province [D]. Changchun: Jilin University, 2018.
- [23]李文龙, 杨晓平, 钱程, 等. 大兴安岭北段富克山岩浆弧的组成: 对蒙古-鄂霍茨克洋南向俯冲的制约[J]. 地学前缘, 2022, 29(2): 146–163.
- Li W L, Yang X P, Qian C, et al. Composition of the Fukeshan magmatic arc in the northern Great Xing'an Range: Constraints on the southward subduction of the Mongol-Okhotsk oceanic plate [J]. Earth Science Frontiers, 2022, 29(2): 146–163.
- [24]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.
- [25]余宏全, 李红红, 李进文, 等. 内蒙古大兴安岭中北段铜铅锌金银多金属矿床成矿规律与找矿方向[J]. 地质学报, 2009, 83(10): 1456–1472.
- She H Q, Li H H, Li J W, et al. The Metallogenetical characteristics and prospecting direction of the copper-lead-zinc polymetal deposits in the northern-central Daxing'anling Mountain, Inner Mongolia[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(10): 1456–1472.
- [26]孙永刚. 大兴安岭北段晚侏罗世斑岩型铜(钼)矿床成矿作用及找矿方向研究[D]. 长春: 吉林大学, 2021.
- Sun Y G. Study on metallogenesis and prospecting direction of Late Jurassic porphyry Cu (Mo) deposits in the northern segment of the Great Xing'an Range[D]. Changchun: Jilin University, 2021.
- [27]Zhang Y H, Xu W L, Tang J, et al. Age and provenance of the Ergunahe Group and the Wubinaobao Formation, northeastern Inner Mongolia, NE China: Implications for tectonic setting of the Erguna massif[J]. International Geology Review, 2014, 56(6): 653–671.
- [28]Zhao S, Xu W L, Tang J, et al. Timing of formation and tectonic nature of the purportedly Neoproterozoic Jiageda Formation of the

- Erguna massif, NE China: Constraints from field geology and U-Pb geochronology of detrital and magmatic zircons [J]. *Precambrian Research*, 2016, 281: 585–601.
- [29] 许文良, 孙晨阳, 唐杰, 等. 兴蒙造山带的基底属性与构造演化过程[J]. *地球科学*, 2019, 44(5): 1620–1646.
- Xu W L, Sun C Y, Tang J, et al. Basement nature and tectonic evolution of the Xing'an-Mongolian orogenic belt[J]. *Earth Science*, 2019, 44(5): 1620–1646.
- [30] 唐杰. 额尔古纳地块中生代火成岩的年代学与地球化学: 对蒙古-鄂霍茨克缝合带构造演化的制约[D]. 长春: 吉林大学, 2016: 1–189.
- Tang J. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic igneous rocks in the Erguna massif, NE China: Constraints on the tectonic evolution of the Mongol-Okhotsk suture zone[D]. Changchun: Jilin University, 2016: 1–189.
- [31] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *岩石学报*, 2005, 21(3): 749–762.
- Ge W C, Wu F Y, Zhou C Y, et al. Zircon U-Pb ages and its significance of the Mesozoic granites in the Wulanhaote region, central Da Hinggan Mountain[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(3): 749–762.
- [32] Zhao S, Xu W L, Wang W, et al. Geochronology and geochemistry of Middle-Late Ordovician granites and gabbros in the Erguna region, NE China: Implications for the tectonic evolution of the Erguna Massif[J]. *Journal of Earth Science*, 2014, 25(5): 841–853.
- [33] Feng Z Q, Jia J, Liu Y J, et al. Geochronology and geochemistry of the Carboniferous magmatism in the northern Great Xing'an Range, NE China: Constraints on the timing of amalgamation of Xing'an and Songnen blocks[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 113: 411–426.
- [34] Li Y, Xu W L, Wang F, et al. Geochronology and geochemistry of Late Paleozoic volcanic rocks on the western margin of the Songnen-Zhangguangcai Range massif, NE China: Implications for the amalgamation history of the Xing'an and Songnen-Zhangguangcai Range massif[J]. *Lithos*, 2014, 205: 394–410.
- [35] 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: 1–174.
- 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: 1–174.
- [36] 白令安. 大兴安岭中北部热液铜矿床的成矿机制与资源预测[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 1–130.
- Bai L A. Study on metallogenic mechanism and resource forecast of hydrothermal Cu deposits in the central and north of the Great Xing'an Range, NE China[D]. Changchun: Jilin University, 2013: 1–130.
- [37] 李宇. 兴安地块中生代火成岩的年代学与地球化学: 对蒙古-鄂霍茨克构造体系演化的制约[D]. 长春: 吉林大学, 2018: 1–142.
- Li Y. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic igneous rocks in the Xing'an massif, NE China: Constraints on the evolution of the Mongol-Okhotsk tectonic regime [D]. Changchun: Jilin University, 2018: 1–142.
- [38] 向安平, 杨郅城, 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.
- [39] 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 magmatic-tectonic-mineralization of the Duobaoshan gold-bearing porphyry copper deposit in the eastern part of the Central Asian orogenic belt [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2019: 1–223. (in Chinese)
- [40] 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: 1–199.
- Hao Y J. Mineralization and metallogenic regularity of Duobaoshan ore concentration area in Heilongjiang Province, Northeast China [D]. Changchun: Jilin University, 2015: 1–199.
- [41] 康永建, 余宏全, 向安平, 等. 内蒙古八大关矿区印支期岩浆活动及其找矿意义[J]. *中国地质*, 2014, 41(4): 1215–1225.
- Kang Y J, She H Q, Xiang A P, et al. Indo-Chinese magmatic activity in the Badaguan ore district of Inner Mongolia and its metallogenic implications [J]. *Geology in China*, 2014, 41(4): 1215–1225.
- [42] 王召林, 李占龙, 郑小明. 内蒙古太平川钼铜矿床岩石地球化学、热液活动记录与年代学[J]. *矿产勘查*, 2017, 8(2): 184–195.
- Wang Z L, Li Z L, Zheng X M. Petrogeochemistry, records of hydrothermal activities and geochronology of the Taipingchuan Mo-Cu deposit, Inner Mongolia [J]. *Mineral Exploration*, 2017, 8(2): 184–195.
- [43] 谭钢. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床成矿作用研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2011: 1–91.
- Tan G. The ore-forming processes and mineralization of Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2011: 1–91.
- [44] 吕鹏瑞, 李德荣, 彭义伟, 等. 黑龙江三矿沟砂卡岩型 Cu-Fe-Mo 矿床矿石硫化物硫、铅同位素特征及锆石 U-Pb 定年[J]. *中国地质*, 2012, 39(3): 717–728.
- Lv P R, Li D R, Peng Y W, et al. S-Pb isotopic characteristics of ore sulfides and U-Pb dating of zircon from the Sankuanggou skarn-type Cu-Fe-Mo deposit in Heilongjiang Province [J]. *Geology in China*, 2012, 39(3): 717–728.
- [45] Sun Y G, Li B L, Zhao Z H, et al. Age and petrogenesis of late Mesozoic intrusions in the Huoluotai porphyry Cu-(Mo) deposit, Northeast China: implications for regional tectonic evolution [J].

- Geoscience Frontiers, 2022, 13(2): 101344.
- [46]王筱箴, 吕骏超, 胥嘉, 等. 黑龙江六九山铜银矿床地质特征[J]. 地质与资源, 2016, 25(2): 137-143.
- Wang X Z, Lyu J C, Xu J, et al. Geological characteristics of the Liujiushan copper-silver deposit in Heilongjiang Province[J]. Geology and Resources, 2016, 25(2): 137-143.
- [47]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, 2020:1-223.
- Cai W Y. Metallogenesis of copper-molybdenum-gold polymetallic in the Duobaoshan orefield, Heilongjiang Province [D]. Changchun: Jilin University, 2020:1-223.
- [48]Zhang F F, Wang Y H, Liu J J, et al. Origin of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, NE China: Constraints from geology, geochronology, geochemistry, and isotopic compositions [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2016, 117: 208-224.
- [49]Zhai M G, Santosh M. Metallogeny of the North China Craton: Link with secular changes in the evolving earth [J]. Gondwana Research, 2013, 24(1): 275-297.
- [50]王献忠, 宋贵斌, 公维国, 等. 黑龙江塔河宝兴沟金矿床地质特征及流体包裹体研究[J]. 黄金, 2014, 35(4): 19-25.
- Wang X Z, Song G B, Gong W G, et al. Study on geological characteristics and fluid inclusions of Baoxinggou gold deposit in Tahe, Heilongjiang Province[J]. Gold, 2014, 35(4): 19-25.
- [51]李良, 孙丰月, 李碧乐, 等. 黑龙江省漠河县砂宝斯金矿床流体特征及矿床成因[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2015, 40(7): 1163-1176.
- Li L, Sun F Y, Li B L, et al. Ore-forming fluid features and genesis of Shabaosi gold deposit in Mohe County, Heilongjiang Province[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2015, 40(7): 1163-1176.
- [52]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.
- [53]刘宝山, 程招勋, 邵军, 等. 黑龙江嫩江-黑河地区铜金多金属找矿新进展及勘查方向[J]. 地质与资源, 2022, 31(3): 331-341.
- Liu B S, Cheng Z X, Shao J, et al. Latest prospecting progress and exploration direction of copper-gold polymetallic deposits in Nenjiang-Heihe area, Heilongjiang Province [J]. Geology and Resources, 2022, 31(3): 331-341.
- [54]付忠才. 黑龙江省呼玛县北西里钒钛磁铁矿成矿岩体特征[J]. 中国金属通报, 2019(11): 61, 63.
- Fu Z C. Characteristics of ore-forming rock mass of vanadium-titanium magnetite in Beili, Huma County, Heilongjiang Province [J]. China Metal Bulletin, 2019(11): 61, 63. (in Chinese)
- [55]王朝亮. 黑龙江省新林区小柯勒河铜(钼)矿成矿与找矿模型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018:1-72.
- Wang C L. Study on the mineralization and prospecting model of Xiaokele River copper (molybdenum) ore in Xinlin District, Heilongjiang Province [D]. Changchun: Jilin University, 2018:1-72.
- [56]孟凡波, 邓昌州, 冯雨周, 等. 大兴安岭北段晚中生代斑岩铜钼矿床成矿岩体黑云母地球化学特征及地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2021, 40(4): 914-924.
- Meng F B, Deng C Z, Feng Y Z, et al. Mineral geochemistry of biotites from the mineralized intrusive bodies in the Late Mesozoic porphyry Cu-Mo deposits, northern Great Xing'an range and its geological implications [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2021, 40(4): 914-924.
- [57]汤中立. 中国的小岩体岩浆矿床[J]. 中国工程科学, 2002, 4(6): 9-12.
- Tang Z L. Magmatic ore deposits in small rockbody in China [J]. Engineering Science, 2002, 4(6): 9-12.
- [58]李文渊, 张照伟, 陈博. 小岩体成大矿的理论与找矿实践意义——以西北地区岩浆铜镍硫化物矿床为例[J]. 中国工程科学, 2015, 17(2): 29-34.
- Li W Y, Zhang Z W, Chen B. The theory on small intrusions forming large deposits and its exploration significance: Taking for magmatic Ni-Cu sulfide deposits example in the northwestern of China [J]. Engineering Sciences, 2015, 17(2): 29-34.
- [59]陈志广, 张连昌, 卢百志, 等. 内蒙古太平川铜钼矿成矿斑岩时代、地球化学及地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(5): 1437-1449.
- Chen Z G, Zhang L C, Lu B Z, et al. Geochronology and geochemistry of the Taipingchuan copper-molybdenum deposit in Inner Mongolia, and its geological significances [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(5): 1437-1449.
- [60]侯召硕. 内蒙古额尔古纳地区八大铜钼矿床成因与构造背景[D]. 长春: 吉林大学, 2014:1-56.
- Hou Z S. Ore genesis and tectonic setting of Badaguan copper-molybdenum deposit in Erguna region, Inner Mongolia [D]. Changchun: Jilin University, 2014:1-56.
- [61]刘翼飞, 聂凤军, 江思宏, 等. 蒙古国阿林诺尔钼矿床赋矿花岗岩年代学及地球化学特征[J]. 地球学报, 2010, 31(3): 343-349.
- Liu Y F, Nie F J, Jiang S H, et al. The geochronology and geochemical features of ore-hosting granite in the Aryn Nuur molybdenum deposit, Mongolia [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3): 343-349.
- [62]Wang W, Tang J, Xu W L, et al. Geochronology and geochemistry of Early Jurassic volcanic rocks in the Erguna massif, Northeast China: Petrogenesis and implications for the tectonic evolution of the Mongol-Okhotsk suture belt [J]. Lithos, 2015, 218-219: 73-86.

- 山成矿带的应用[J]. 西部探矿工程, 2017, 29(7): 62-64.
- Liu W W, Song D L, Lin G L. The application of TGQ-100C truck mounted multifunctional drilling rig in the East Tianshan metallogenic belt[J]. West-China Exploration Engineering, 2017, 29(7): 62-64. (in Chinese)
- [18]周增辉, 杨振, 刘锐, 等. 半干旱草原浅覆盖区手持钻机化探取样技术的应用及探索——以内蒙古拜仁达坝银铅锌矿区为例[J]. 地质与勘探, 2021, 57(2): 360-369.
- Zhou Z H, Yang Z, Liu R, et al. Application of the geochemical exploration sampling technology using hand-held sampling drilling tools in semiarid grasslands with thin cover-an example of the Bairendaba Ag-Pb-Zn deposit in Inner Mongolia [J]. Geology and Exploration, 2021, 57(2): 360-369.
- [19]周锋, 李堃, 白金贵. 绿色勘查技术在矿山地质钻探施工中的应用效果研究[J]. 世界有色金属, 2023(21): 109-111.
- Zhou F, Li K, Bai J G. Research on the application effect of green exploration technology in mining geological drilling construction [J]. World Nonferrous Metals, 2023(21): 109-111.
- [20]赵超. 地质矿产勘查中绿色勘查技术应用分析[J]. 世界有色金属, 2023(23): 142-144.
- Zhao C. Application analysis of green exploration technology in geological and mineral exploration [J]. World Nonferrous Metals, 2023(23): 142-144.
- [21]陈勇, 陆生林, 黄晟辉. 空气反循环取样钻探技术应用于金矿勘查的地质效果对比研究[J]. 钻探工程, 2021, 48(9): 82-88.
- Chen Y, Lu S L, Huang S H. Comparative study on geological effect of air reverse circulation sampling drilling technology in gold exploration[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(9): 82-88.
- [22]邓梦春, 陆生林, 殷琨, 等. 地质勘探空气反循环钻进技术找矿效果示范应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(3): 1-6.
- Deng M C, Lu S L, Yin K, et al. Application research on demonstration of air reverse circulation drilling for prospecting in geological exploration [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(3): 1-6.
- [23]冯常英, 刘殿有, 皮微微, 等. 空气反循环连续取样在含金砾岩钻探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(2): 48-52.
- Feng C Y, Liu D Y, Pi W W, et al. Application of air reverse circulation continuous sampling in auriferous conglomerate [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(2): 48-52.
-
- (上接第 577 页/Continued from Page 577)
- [63]葛文春, 隋振民, 吴福元, 等. 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(2): 423-440.
- Ge W C, Sui Z M, Wu F Y, et al. Zircon U-Pb ages, Hf isotopic characteristics and their implications of the Early Paleozoic granites in the northeastern Da Hinggan Mts., northeastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(2): 423-440.
- [64]褚少雄, 刘建明, 徐九华, 等. 黑龙江三矿沟铁铜矿床花岗闪长岩锆石 U-Pb 定年、岩石成因及构造意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 433-450.
- Chu S X, Liu J M, Xu J H, et al. Zircon U-Pb dating, petrogenesis and tectonic significance of the granodiorite in the Sankuanggou skarn Fe-Cu deposit, Heilongjiang Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2): 433-450.
- [65]盛继福, 傅先政. 大兴安岭中段成矿环境与铜多金属矿床地质特征 [M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- Sheng J F, Fu X Z. Metallogenic environment and geological characteristics of copper polymetallic deposit in the middle part of the Greater Hinggan Mountains [M]. Beijing: Seismological Press, 1999. (in Chinese)
- [66]Cooke D R, Hollings P, Walshe J L. Giant porphyry deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls [J]. Economic Geology, 2005, 100(5): 801-818.
- [67]Asadi S, Moore F, Zarasvandi A. Discriminating productive and barren porphyry copper deposits in the southeastern part of the central Iranian volcano-plutonic belt, Kerman region, Iran: A review [J]. Earth-Science Reviews, 2014, 138: 25-46.
- [68]Deng C Z, Sun G Y, Sun D Y, et al. Origin of C type adakite magmas in the NE Xing'an block, NE China and tectonic implication [J]. Acta Geochimica, 2018, 37(2): 281-294.
- [69]芮宗瑶, 张立生, 陈振宇, 等. 斑岩铜矿的源岩或源区探讨[J]. 岩石学报, 2004, 20(2): 229-238.
- Rui Z Y, Zhang L S, Chen Z Y, et al. Approach on source rock or source region of porphyry copper deposits [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2): 229-238.