



## 黑龙江多宝山斑岩铜矿床保存及外围找矿方向

刘宝山<sup>1</sup>, 寇林林<sup>1</sup>, 程招勋<sup>2</sup>, 张春鹏<sup>1</sup>, 李成禄<sup>2</sup>, 杨晓平<sup>1</sup>, 杨宏智<sup>1</sup>, 韩仁萍<sup>1</sup>

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:** 早奥陶世多宝山斑岩铜矿床是古生代多宝山岛弧带上保存最完好的矿床之一, 覆盖于矿床之上的奥陶系、志留系巨厚的沉积地层是使其免受剥蚀的关键因素之一。通过区域铜金矿床(点)产出的地质背景分析, 发现构成多宝山岛弧带弧-盆体系的奥陶系及志留系地层发育较齐全, 在此基础上叠加铜异常浓集中心的部位, 是寻找多宝山式斑岩铜矿的有利靶区, 而靶区深部隐伏的埃达克质侵入岩体是实现找矿突破的关键。

**关键词:** 矿床保存; 找矿方向; 斑岩铜矿; 多宝山岛弧带; 黑龙江省

## Preservation and peripheral prospecting of Duobaoshan porphyry copper deposit in Heilongjiang Province

LIU Bao-shan<sup>1</sup>, KOU Lin-lin<sup>1</sup>, CHENG Zhao-xun<sup>2</sup>, ZHANG Chun-peng<sup>1</sup>, LI Cheng-lu<sup>2</sup>,  
YANG Xiao-ping<sup>1</sup>, YANG Hong-zhi<sup>1</sup>, HAN Ren-ping<sup>1</sup>

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

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

**Abstract:** The Early Ordovician Duobaoshan porphyry copper deposit is one of the best preserved deposits in the Paleozoic Duobaoshan island arc belt, as the overlying thick Ordovician and Silurian sedimentary strata have kept the deposit from being denuded. Through the geological background analysis of the regional Cu-Au deposits/occurrences, it is found that the Ordovician and Silurian strata forming the arc-basin system of Duobaoshan island arc belt are well developed, and the superposed Cu anomaly concentration center is a favorable target area for Duobaoshan-type porphyry copper deposits. The deep concealed adakitic intrusive rock mass in the target area, then, is the key to achieve prospecting breakthrough.

**Key words:** deposit preservation; prospecting target; porphyry copper deposit; Duobaoshan island arc belt; Heilongjiang Province

收稿日期: 2023-03-10; 修回日期: 2023-06-19. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“大兴安岭成矿带战略性矿产调查”(DD20240061); “东北地区铜金稀有金属战略性矿产资源调查”(DD20230028).

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工作, 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: 寇林林(1983—), 女, 硕士, 正高级工程师, 主要从事矿产地质调查及综合研究工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//koulinlin@126.com

引用格式: 刘宝山, 寇林林, 程招勋, 张春鹏, 李成禄, 杨晓平, 杨宏智, 韩仁萍. 黑龙江多宝山斑岩铜矿床保存及外围找矿方向 [J]. 地质与资源, 2025, 34(1): 148-158.

Liu B S, Kou L L, Cheng Z X, Zhang C P, Li C L, Yang X P, Yang H Z, Han R P. Preservation and peripheral prospecting of Duobaoshan porphyry copper deposit in Heilongjiang Province [J]. *Geology and Resources*, 2025, 34(1): 148-158.

## 0 引言

多宝山铜矿位于大兴安岭东北端的黑龙江省嫩江县,地处兴蒙造山带北东段,兴安地块与松嫩地块分界断裂(贺根山-黑河断裂带)西侧的多宝山矿集区(图 1),是一个经历了古亚洲洋构造域、蒙古-鄂霍次克洋构造域以及古太平洋构造域叠加改造的超大型斑岩铜矿床<sup>[2-3]</sup>.

多宝山矿集区内多宝山铜矿床、铜山铜矿床及争光金矿床形成于早奥陶世,距今已有近 500 Ma 的历史,是大兴安岭地区保存最完好的古老矿床.在现已发现的斑岩型铜矿床中,形成时代多集中在中生代和新生代,其次为古生代,而前寒武纪斑岩铜矿床最少.据统计,世界上超过 5 Mt 的斑岩铜矿中,新生代矿床约占总量 59.5%,中生代矿床约占 35%<sup>[4]</sup>.然而这并不意味着新生代具有独特的成矿作用,而是与斑岩型铜矿的保存情况有关.因为斑岩型铜矿一般形成于地下 1~3 km 处<sup>[5-6]</sup>,在漫长的地质演化历史中,随着地壳的抬升和风化剥蚀,大多数形成时代较老的斑岩型铜矿遭受破坏<sup>[7]</sup>.

有学者应用流体包裹体及裂变径迹热年代学等方法,对多宝山铜矿床成矿深度、剥蚀深度进行了探讨.

通过研究得出,成矿深度为 2.4~4.1 km<sup>[8]</sup>,成岩深度约为 6.69 km<sup>[9]</sup>,与矿床有关的多宝山花岗闪长岩岩浆就位冷凝深度约 6.0 km<sup>[10]</sup>.

除了多宝山矿集区 3 个古生代矿床之外,在多宝山岛弧带上未发现与其同时代的铜金矿床.多宝山和铜山矿床铜资源量占到黑龙江省已探明铜资源量的 94%<sup>[11]</sup>,因此,对多宝山铜矿的保存研究意义重大,是区域上实现多宝山式斑岩铜矿找矿新发现的关键.多宝山矿区外围分布着大量与多宝山矿床近一致的成矿要素.本文通过对多宝山地区古生代地层分布特点及厚度研究,探讨地层对矿体的屏蔽保护作用,初步恢复多宝山岛弧沟-弧-盆体系,分析多宝山矿集区外围找矿潜力,以期为进一步找矿勘查实现找矿突破提供支撑.

## 1 矿床地质特征

### 1.1 矿区地质

多宝山矿床位于多宝山岛弧带多宝山矿集区,矿区出露地层主要为奥陶系铜山组和多宝山组(图 2).铜山组以沉积岩为主,夹少量火山碎屑岩,岩性为凝灰砂岩、粉砂岩、砂砾岩、凝灰岩及结晶灰岩;多宝山组是

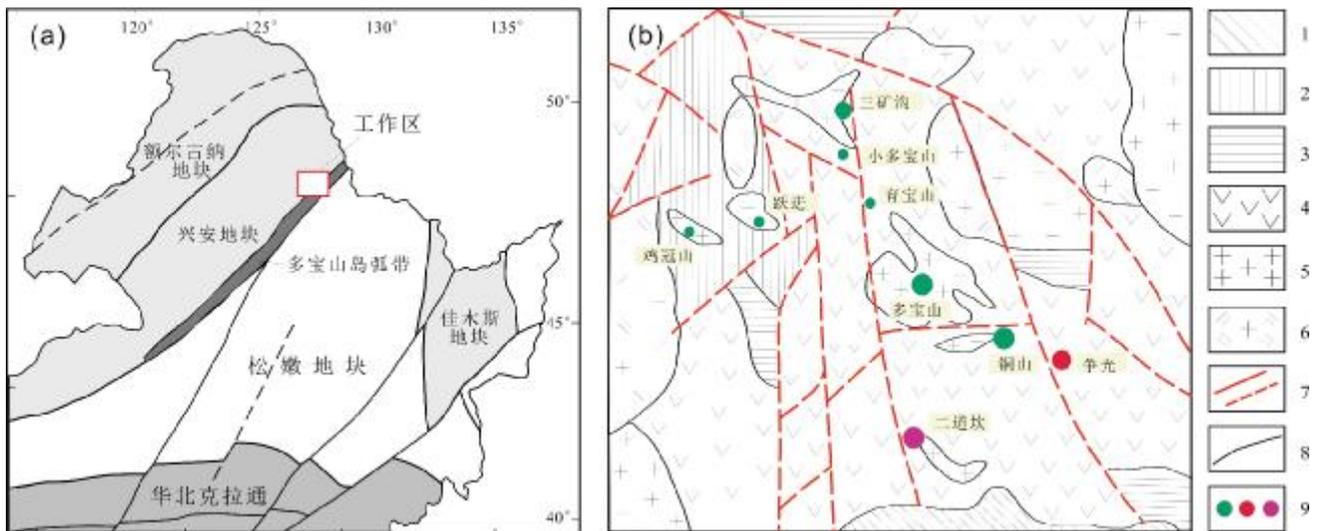


图 1 研究区地质图

Fig. 1 Geological map of the study area

a—大地构造位置图(据文献[1]修改)(tectonic map, modified from Reference [1]); b—多宝山矿集区地质图(据文献[2]修改)(geological map of Duobaoshan ore concentration area, modified from Reference [2]); 1—下白垩统九峰山组(Lower Cretaceous Jiufengshan fm.); 2—下志留统霍龙门组、上志留统泥鳅河组(Lower Silurian Huolongmen fm. and Upper Silurian Niqiuhe fm.); 3—上奥陶统爱辉组、裸河组(Upper Ordovician Aihui fm. and Luohe fm.); 4—晚三叠世二长花岗岩(Late Triassic monzogranite); 5—早侏罗世花岗岩(Early Jurassic granite); 6—下-中奥陶统多宝山组安山岩(andesite of Duobaoshan fm., Lower-Middle Ordovician); 7—断层(fault); 8—地质界线(geological boundary); 9—铜/金/银矿床(Cu/Au/Ag deposit)

一套滨海-浅海相的火山熔岩、火山碎屑岩和碎屑火山沉积岩组合,其中安山岩是矿区的主体岩石,该地层铜元素丰度相对较高,是区域铜矿的主要物源层<sup>[8, 10, 12]</sup>.

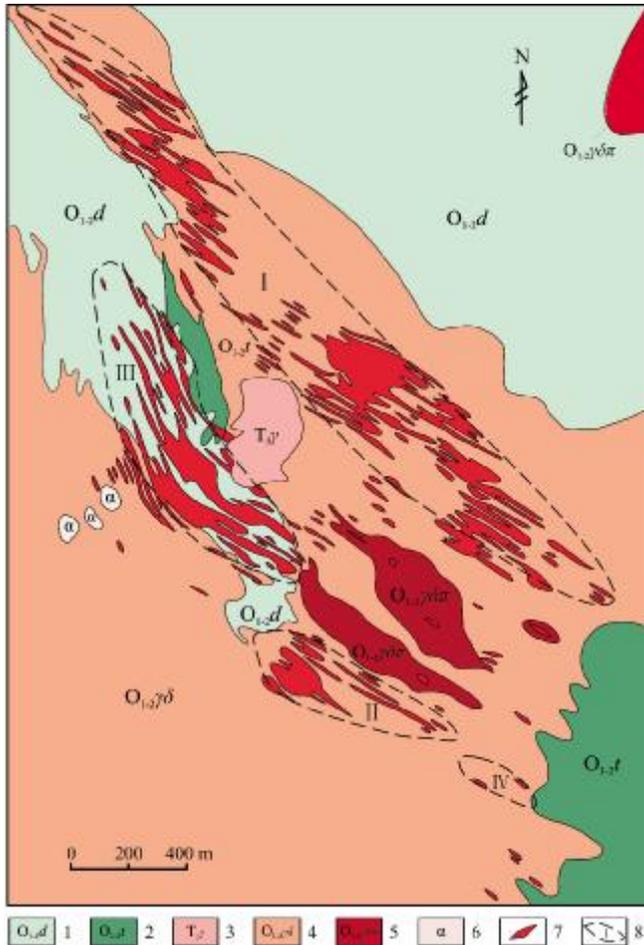


图2 多宝山矿区地质略图

(据文献[10]修改)

Fig. 2 Geological sketch map of Duobaoshan orefield

(Modified from Reference [10])

1—下-中奥陶统多宝山组安山岩 (andesite of Duobaoshan fm., Lower-Middle Ordovician); 2—下-中奥陶统铜山组砂岩、板岩 (sandstone and slate of Tongshan fm., Lower-Middle Ordovician); 3—晚三叠世更长花岗岩 (Late Triassic oligoclase granite); 4—早-中奥陶世花岗岩闪长岩 (Early-Middle Ordovician granodiorite); 5—早-中奥陶世花岗岩闪长斑岩 (Early-Middle Ordovician granodiorite porphyry); 6—安山岩脉 (andesite dike); 7—铜矿体 (Cu orebody); 8—矿带编号 (ore belt number)

矿区侵入岩体及岩脉发育,岩石类型主要有奥陶纪花岗岩闪长岩、花岗岩闪长斑岩,晚三叠世更长花岗岩、角闪辉长岩,早侏罗世安山玢岩及早白垩世闪长岩脉等<sup>[3]</sup>.其中奥陶纪花岗岩闪长岩和花岗岩闪长斑岩与铜矿

化关系密切,花岗闪长岩是多宝山铜矿的主要成矿母岩,4条黄铜矿带发育在该岩体中,花岗闪长斑岩次之,有零星黄铜矿体产出.

花岗闪长岩体呈岩株状,走向北西,倾向南西,倾角 $60^\circ$ ,面积约 $8\text{ km}^2$ ,向下有膨大趋势<sup>[10]</sup>,侵入下奥陶统多宝山组安山岩地层.岩体内多处可见安山岩捕体,与围岩界线清楚.接触带部位围岩不同程度地发生了角岩化、黑云母化.花岗闪长岩呈灰白色、浅灰色,多具半自形粒状结构,部分呈似斑状花岗结构,块状构造,矿物成分由斜长石、石英、条纹长石、暗色矿物及少量硫化物组成.副矿物组合主要为锆石、磷灰石、榍石、磁铁矿.岩石遭受强烈黄铜矿化、辉钼矿化、硅化、绢云母化、钾化、绿帘石化和碳酸盐化.岩石 $\text{SiO}_2$ 含量 $63.39\%\sim 68.85\%$ ,全碱( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ )含量 $5.15\%\sim 6.97\%$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量 $11.09\%\sim 15.95\%$ , $\text{TFe}_2\text{O}_3$ 含量 $3.34\%\sim 5.29\%$ , $\text{CaO}$ 含量 $3.18\%\sim 6.56\%$ ,属于中钾-高钾钙碱性系列,显示中-弱铝质的特征.稀土元素富集,重稀土元素亏损,Eu异常不明显.富集Rb、Cs、Ba和U等大离子亲石元素,亏损Nb、Ti和Ta等高场强元素<sup>[13]</sup>.

花岗闪长斑岩体呈透镜状产出,地表有2处岩体侵入花岗闪长岩,面积分别小于 $0.08\text{ km}^2$ 、 $0.09\text{ km}^2$ <sup>[10]</sup>,倾向南西,倾角 $65\sim 75^\circ$ ,向北西侧伏,深部合并为一个岩体.与花岗闪长岩接触处花岗闪长岩明显碎裂,接触界线清晰.岩石呈灰白色,斑状结构,斑晶含量 $20\%\sim 30\%$ 不等;基质为显微花岗结构,微晶以石英为主,其次为条纹长石和黑云母.岩石主要由斜长石、石英、钾长石、黑云母以及少量的磁铁矿、磷灰石组成,其中石英斑晶多呈六方锥状,颗粒 $0.5\sim 0.8\text{ cm}$ ,石英、长石与暗色矿物发生了剪切(拉长)变形.岩石遭受黄铜矿化、硅化、绢云母化、绿帘石化和碳酸盐化.岩石 $\text{SiO}_2$ 含量 $68.75\%\sim 73.83\%$ , $\text{MgO}$ 含量 $0.37\%\sim 1.00\%$ , $\text{FeO}^T$ 含量 $0.52\%\sim 1.53\%$ , $\text{CaO}$ 含量 $0.23\%\sim 2.78\%$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量 $14.91\%\sim 18.52\%$ , $\text{K}_2\text{O}$ 含量 $2.36\%\sim 4.28\%$ , $\text{Na}_2\text{O}$ 含量 $3.55\%\sim 5.39\%$ , $\text{P}_2\text{O}_5$ 含量 $0.06\%\sim 0.08\%$ , $\text{TiO}_2$ 含量 $0.18\%\sim 0.21\%$ .LREE相对异常曲线表现为右倾富集,而MREE与HREE整体平坦,Eu表现为轻微的正异常特征,亏损高场强元素,富集大离子亲石元素<sup>[14]</sup>.

花岗闪长岩与黄铜矿成岩成矿时间近一致,为 $475\sim 479\text{ Ma}$ <sup>[3, 15]</sup>,属早奥陶世.花岗闪长斑岩成岩时代为 $462.1\pm 3.3\text{ Ma}$ 、 $459.6\pm 0.94\text{ Ma}$ <sup>[3]</sup>.黄铜矿时代是

469.5±7.2 Ma<sup>[15]</sup>,为中奥陶世.两类岩石均为高钾钙碱性/钙碱性、准铝质-弱过铝质I型花岗岩,具有高硅(SiO<sub>2</sub> 63.64%~71.10%),富Sr(247.33×10<sup>-6</sup>~628.50×10<sup>-6</sup>)、Sr/Y、La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>及低的Yb(0.71×10<sup>-6</sup>~1.40×10<sup>-6</sup>)、Y(10.44×10<sup>-6</sup>~14.83×10<sup>-6</sup>)含量,正的δEu异常或者轻微的负δEu异常(δEu=0.79~1.18)等特点,与埃达克岩的地球化学特征相吻合,形成于古亚洲洋俯冲的岛弧环境<sup>[2,10,16-19]</sup>.

矿区内发育北西向弧形构造,由强片理化的破碎带构成,控制了矿体的形成,使矿体群呈雁行斜列产出<sup>[20]</sup>.弧形构造带内的地层、奥陶纪侵入岩体、矿体均已发生韧性剪切变形,该构造是叠加在北西向构造带的基础上形成<sup>[11]</sup>.

### 1.2 矿体特征

矿床由4条矿带组成,其中I号矿带产于花岗闪长斑岩北东侧,II、III、IV号矿带位于其南西侧,由北西向南东依次出露.矿床共发育215条矿体,矿体总体走向北西,倾向南西,倾角65~80°,受北西向韧性剪切带控制,多呈雁行排列.其中,III号矿带位于矿区中部,为矿区资源储量最大的矿带,长300~1400m,延深大于1000m,厚度2~390m,呈大扁豆状沿310~340°展布,倾向220~250°,倾角65~80°<sup>[13]</sup>.

### 1.3 矿石特征

主要矿石矿物有黄铜矿、斑铜矿和辉钼矿,次要矿物有赤铜矿、辉铜矿、蓝辉铜矿等,脉石矿物以石英、绢云母、绿泥石与碳酸盐为主,其次为磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黑云母、长石、绿帘石等.矿石矿物黄铜矿有硅化浸染状、硅化细脉状、硅化碳酸盐团块状、硅化绿泥石化团块状、沿糜棱面理脉状、钾化交代叠加的产出形式.金属矿物主要呈半自形—他形粒状结构、交代残余结构、斑状变晶结构及压碎结构.矿石构造以浸染状、细脉状及细脉浸染状为主,少见块状、条带状及角砾状构造.浸染状构造为该矿床主要矿石构造,主要表现在黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿等金属矿物以半自形—他形的结构呈浸染状或星点状分布,金属矿物的颗粒粗细及含量不一.细脉状构造在矿床内广泛发育,金属矿物具有沿细小裂隙充填而成的特点.砾状构造仅分布在构造破碎带中,可分为两种类型:其一为后期热液胶结早期的矿石

角砾,胶结物多为石英、碳酸盐等;另一种为包含金属矿物的热液作为胶结物<sup>[10]</sup>.

### 1.4 围岩蚀变特征

矿区内岩石蚀变强、种类多.蚀变矿物主要为钾长石、绢云母、绿帘石、绿泥石和方解石.蚀变空间分布总体上具一定规律性,多产于花岗闪长岩、花岗闪长斑岩及其围岩的裂隙内,由内向外依次为硅化—钾化带、绢英岩化带、青磐岩化带.绢云母化最为普遍.

## 2 地层岩石组合及沉积厚度

杜琦<sup>[10]</sup>详细厘定了多宝山矿区古生代地层单元,阐述了各地层岩石组合,总结了各地层厚度.石国明<sup>①</sup>在开展多宝山地区地质调查时,通过地层压盖关系并结合同位素测年,进一步厘定了多宝山地区古生代地层层序,认为多宝山组形成时间略早于铜山组.统计多宝山矿区早古生代地层总厚度近12.0km(见表1).

## 3 多宝山岛弧沟—弧—盆体系的恢复

依据前人资料,利用各地层岩石组合及分布特点,对多宝山岛弧的地质结构进行了恢复,并建立了多宝山岛弧成矿模型(图3).

### 3.1 俯冲增生杂岩的识别

多宝山地区的俯冲增生杂岩主要产出在关鸟河—窝理河一带,呈北东向展布于多宝山岛弧带的南东缘,与多宝山岛弧带之间为断层接触,两侧多被晚古生代之后地层不整合覆盖或岩体侵入.构造混杂岩带主要由基质和岩块组成.岩块主要成分有橄榄岩、辉石岩、玄武岩、硅质岩、大理岩、辉长岩和火山弧安山岩、英安质凝灰岩;基质主要由新元古代北宽河组变质岩和铜山组凝灰质砂岩构成.关鸟河一带大理岩多呈“岩块”赋存在铜山组变质砂泥质岩层中(图4),大理岩与变质砂泥质岩之间多为构造接触.混杂岩带内玄武岩的成岩年龄为506~485Ma,表明古洋壳俯冲始于晚寒武世;变玄武安山岩、辉长岩的形成时代为484~478Ma,说明在早奥陶世古洋盆内仍有俯冲作用发生,反映玄武安山岩、辉长岩可能形成于洋内岛弧环境.基质内石英片岩中碎屑锆石的最小年龄为480~470Ma,表明洋盆和海沟沉积作用持续到早奥陶世之后;卷入基质内弧前盆地沉积的片岩中碎屑锆石峰值年龄为455~

①石国明,等.一六九幅、多宝山铜矿幅、星火公社幅、一五三幅区域地质矿产调查报告.黑龙江省自然资源调查院,2018.

表 1 多宝山矿区一带早古生代地层岩石组合及厚度一览表

Table 1 Rock assemblages and thicknesses of Early Paleozoic strata in Duobaoshan orefield

地层单位	代号	厚度/m	岩石组合
泥鳅河组	S <sub>3</sub> D <sub>2</sub> n	>2100	上部深灰色、灰黑色及灰绿色杂砂岩、细砂粉砂岩、粉砂质板岩、流纹质凝灰岩、凝灰板岩等,中部灰色-灰绿色细碧岩、角斑岩、安山岩、英安岩、流纹岩、凝灰质砂岩等,下部深灰色及灰黑色板岩、泥质板岩、绢云板岩、灰色-灰绿色变质粉砂岩、变质凝灰粉砂岩,夹灰岩透镜体
卧都河组	S <sub>3</sub> w	>190	上部灰黄色及黄绿色变质粉砂岩、粉砂质板岩与变质细粒杂砂质石英砂岩互层,夹含砾细砂岩,下部浅灰绿色及灰绿色粉砂质板岩,局部见暗灰紫色粉砂质板岩、变质粉砂岩,底部为褐黄色绿泥板岩
八十里小河组	S <sub>2</sub> b	>402	浅褐色粉砂岩,黑褐色泥质粉砂岩,浅灰色粗砂岩和细砂粉砂岩
黄花沟组	S <sub>1</sub> h	>606	上部深灰色细砂岩,下部为灰绿色泥质粉砂岩、灰绿-黑色粉砂泥质岩夹层状凝灰岩,最底部为黄灰色层状粉砂岩和黄绿色层状细砂岩
爱辉组	O <sub>3</sub> ah	>650	以黑色绿泥板岩、绢云板岩为主,夹黄色及白色变质粉砂岩薄层
裸河组	O <sub>3</sub> l	>900	主要为凝灰砂岩、粉砂岩及绢云板岩、绿泥板岩,夹凝灰岩及结晶灰岩透镜体,颜色以浅绿色、灰绿色为主
多宝山组三段	O <sub>1-2</sub> d <sup>3</sup>	1320	由灰绿色及灰白色英安岩、英安质火山角砾岩、凝灰岩及流纹质火山岩组成,局部夹安山质凝灰岩等
多宝山组二段	O <sub>1-2</sub> d <sup>2</sup>	1650	以灰绿色安山岩、安山质火山碎屑岩为主,夹少量中酸性火山岩,局部夹凝灰板岩
多宝山组一段	O <sub>1-2</sub> d <sup>1</sup>	1850	灰绿色安山岩、英安质-安山质火山角砾岩、凝灰岩、凝灰熔岩夹大理岩透镜体,顶部为沉凝灰岩
铜山组三段	O <sub>1-2</sub> t <sup>3</sup>	836	上部由紫灰色-灰紫色凝灰质砂砾岩、含磁铁矿长石砂岩、含赤铁矿粗砂岩、含磁铁矿砂砾岩和粗砂岩以及灰绿色千枚岩、石英长石砂岩、钙质细砂岩等组成;中部以灰白-紫灰色凝灰质砂砾岩、含磁铁矿砂砾岩和含磁铁矿石英砂岩为主,夹凝灰质砂岩和结晶灰岩透镜体;下部安山岩及中性凝灰岩
铜山组二段	O <sub>1-2</sub> t <sup>2</sup>	394	灰白-黄白色流纹质凝灰岩、灰黄色-灰黑色含生物碎屑灰岩、长石杂砂岩、黑色板岩等
铜山组一段	O <sub>1-2</sub> t <sup>1</sup>	950.88	主要由细碎屑沉积岩组成,岩性为浅灰白色-白色大理岩、粉砂岩、板岩、中细粒杂砂质砂岩等

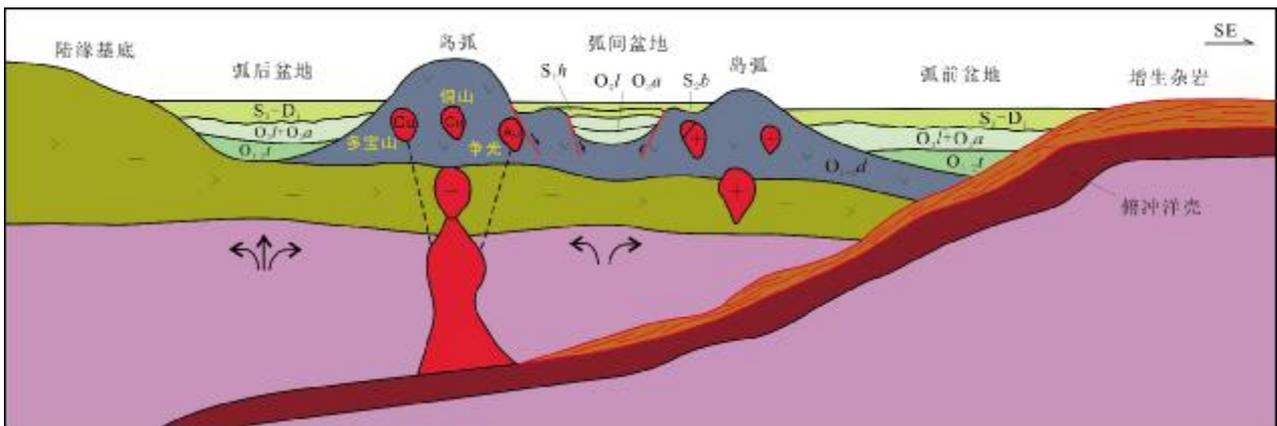


图 3 多宝山岛弧沟-弧-盆体系划分及成矿模式图

Fig. 3 The trench-arc-basin system and metallogenic model of Duobaoshan island arc

S<sub>3</sub>-D<sub>1</sub>—晚志留—早泥盆世残余海盆沉积(Late Silurian-Early Devonian residual sea basin sediment); S<sub>2</sub>b—八十里小河组(Bashilixiahe fm.); S<sub>1</sub>h—黄花沟组(Huanghuagou fm.); O<sub>3</sub>ah—爱辉组(Aihui fm.); O<sub>3</sub>l—裸河组(Luohu fm.); O<sub>1-2</sub>t—铜山组(Tongshan fm.); O<sub>1-2</sub>d—多宝山组(Duobaoshan fm.)

449 Ma,反映洋盆持续俯冲作用延续到晚奥陶世之后; 弧前盆地沉积凝灰岩中锆石结晶年龄为 461~457 Ma,

反映洋盆在晚奥陶世仍存在俯冲作用. 综合各类岩石的测年结果<sup>[14, 21]</sup><sup>①②</sup>,多宝山地区的古洋盆可能形成于

①杨晓平,等. 大兴安岭地区区域地质志. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 2019.

②林敏,等. 1:5 万牛汾台林场等四幅区域地质调查报告. 福建省地质调查研究院, 2019.

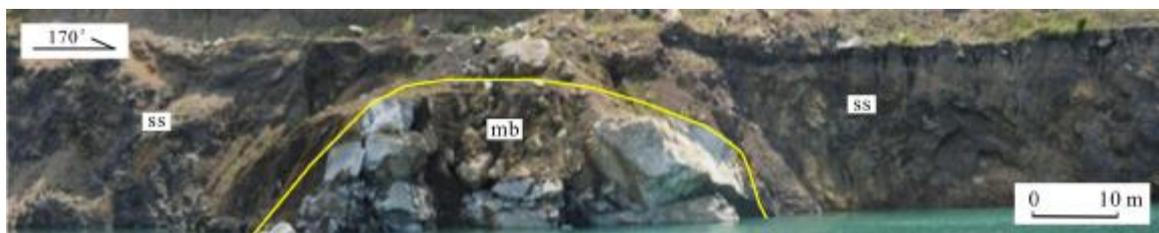


图4 关鸟河大理岩岩块

Fig. 4 Marble blocks in Guanniaohe area

mb—大理岩(marble); ss—变粉砂岩(metasiltstone)

晚寒武世,于早奥陶世早期开始向陆缘俯冲,俯冲作用延续到晚奥陶世。

### 3.2 早中奥陶世多宝山岩浆弧

早中奥陶世岩浆弧主要分布在多宝山一带,位于多宝山俯冲增生杂岩带的南东侧,岩石类型由花岗闪长岩、花岗闪长斑岩等组成,时代为早奥陶世—中奥陶世。火山弧主要物质组成为多宝山组中性火山岩,岩石类型较复杂,以片理化蚀变安山岩、变质安山岩、变质英安岩、变英安质凝灰岩、变质玄武岩为主,夹少量沉积岩。

多宝山岛弧带的俯冲洋盆于早奥陶世北西向俯冲,板片熔体交代地幔楔发生部分熔融,形成埃达克质高镁玄武质—安山质熔体。一部分高镁熔体喷发至地表形成多宝山火山弧,为一套高镁玄武岩—安山岩组合。高镁玄武岩的斑晶矿物主要由0.5~1.0 mm单斜辉石、少量角闪石和长石组成, MgO含量9.20%~11.23%,平均含量10.21%;高镁安山岩斑晶矿物主要由0.5~2.0 mm角闪石和斜长石组成, MgO含量6.20%~7.85%, Cr平均含量 $542 \times 10^{-6}$ , Ni平均含量 $87 \times 10^{-6}$ ,  $Mg^{\#}$ 平均值65<sup>[14]</sup>。另一部分高镁熔体底垫在壳幔边界。持续的俯冲不断形成幔源高镁、热的、含水的玄武质岩浆,在壳幔边界形成一个大的岩浆房,通过结晶分异以及陆壳混染作用,最终演化形成钙碱性花岗闪长岩和花岗闪长斑岩并最终成矿<sup>[14]</sup>。晚奥陶世在伸展机制下,海盆扩张形成上奥陶统裸河组、爱辉组深海沉积建造。中泥盆统一下石炭统前陆盆地沉积,中泥盆统泥鳅河组为深灰色、灰黑色板岩、灰色—灰绿色变质粉砂岩、砂砾岩岩石组合;中泥盆统腰桑南组为灰绿色杂砂岩、泥质板岩为主,夹有灰岩透镜体;中—上泥盆统根里河组为深灰—灰黑色细粒杂砂岩、含砾中细粒砂

岩等;下石炭统花达气组下部为褐色砾岩夹杂砂岩和板岩,黑色砂质板岩与杂砂岩互层。中泥盆统一下石炭统沉积地层不整合于奥陶纪增生杂岩和多宝山弧盆系之上,表明晚泥盆世—早石炭世发生弧陆汇聚,弧后(残余)海盆闭合,结束了弧后洋盆向大陆的转换。

### 3.3 下—中奥陶统铜山组弧前盆地

铜山组具有弧间沉积的空间展布特点,洋壳俯冲开始后受拉伸作用影响,多宝山初始弧形成。伴随火山喷发,在铜山组中夹较多火山碎屑物,随着不断的拉伸作用,铜山组在弧前、弧间盆地沉积。弧间盆地随着海水逐渐变深,形成铜山组半深海沉积,并有笔石等深海化石出现。部分铜山组卷入增生杂岩中,呈不整合覆盖于增生杂岩和火山弧之上。

铜山组下部为正常沉积细碎屑岩—碳酸盐岩沉积组合,为远离海岸的浅海环境的产物;中部为韵律性强的沉积碎屑岩、火山碎屑岩组合,单韵律层以粗粒陆源碎屑岩或粗粒火山碎屑岩开始,以黑色板岩结束;上部为长石砂岩、凝灰砂岩、沉凝灰岩夹火山碎屑岩的一套火山沉积岩组合,黑色板岩减少,属浅海—滨海沉积环境的产物;顶部为砂岩、砂砾岩、火山碎屑岩及结晶灰岩,黑色板岩消失,出现灰紫色、紫色砂岩、砂砾岩,并显示海退环境。铜山组内大理岩 Rb/K 比值为0.0055~0.0114,显示浅海沉积环境, Th/U 比值为3.31~4.80,反映了缺氧的沉积环境,总体上代表了岛弧弧前盆地海水的沉积环境<sup>①</sup>。

### 3.4 上奥陶统裸河组、爱辉组弧间弧背盆地

裸河组下部以凝灰砂岩、长石砂岩、杂砂岩及砾岩为特征,夹多层结晶灰岩透镜体,上部为细砂粉砂岩、粉砂岩、板岩夹细砂岩,夹少量硅质岩、灰岩,靠近岛弧安山岩浅海沉积。受拉伸作用影响,海水逐渐加深,岩

①石国明,等. 一六九幅、多宝山铜矿幅、星火公社幅、一五三幅区域地质矿产调查报告. 黑龙江省自然资源调查院, 2018.

石自下而上由粗变细,表现为海进陆退的沉积特征.裸河组化石丰富,以三叶虫化石为主,腕足次之,含少量的牙形石化石,代表浅海环境的生物组合特征.裸河组1个灰岩样品的Rb/K比值为0.0038, Th/U比值为2.97,总体反映弧后盆地海进环境.

爱辉组为一套微细层理发育的砂板岩层,为灰绿、灰黑色粉砂岩与板岩互层或板岩夹薄层粉砂岩.底部含笔石,属次深海相深水缺氧环境.上部夹细粒砂岩,岩石成熟度较低,为浅海相沉积环境.粉砂岩及泥岩具水平层理或水平纹理,反映沉积期水动力条件相对稳定.古生物较贫乏,下部产笔石、腕足化石.上部1个细粒长石砂岩样品Rb/K比值为0.0046, Th/U比值为0.13,小于0.75,反映了浅海沉积环境.

### 3.5 下志留统黄花沟组、中志留统八十里小河组弧后盆地

下志留统黄花沟组和中志留统八十里小河组浅海相沉积岩叠加于奥陶统铜山组、裸河组、爱辉组之上.黄花沟组下部为灰黑色板岩,中部为细砂粉砂岩与板岩互层,上部为粉砂质板岩夹粉砂岩;八十里小河组岩性主要为细粒杂砂质长石石英砂岩夹变质粉砂岩,局部夹灰绿色蚀变安山岩、安山质凝灰岩.

### 3.6 上志留统卧都河组、中泥盆统泥鳅河残余海盆

上志留统卧都河组和中泥盆统泥鳅河组为陆表海沉积.卧都河组不整合于奥陶纪—中志留统多宝山弧盆系之上,底部发育近源堆积的砾岩,发育大量石英砂岩、砾岩,砂砾石为变质安山岩、花岗岩等,成分来源于多宝山弧盆系和岩浆弧.泥鳅河组为一套泥质岩、粉砂岩、灰岩组合,显示浅海—半深海环境.早石炭世花岗岩岩浆侵入并伴随同时期陆相火山岩喷发,海水全面退出,海盆闭合.

## 4 奥陶系和志留系对矿床的保护作用

大多数学者认为多宝山铜矿床矿质更多来源于多宝山组<sup>[10-11, 16, 22-23]</sup>,杜琦等<sup>[10]</sup>阐述了斑岩岩浆上侵从多宝山组安山岩萃取铜元素的成矿机制;刘扬等<sup>[23]</sup>认为中奥陶世岩浆活动为成矿提供了部分矿源,热液活动从高背景场的多宝山组地层中汲取成矿元素并使其运移和富集;赵超<sup>[14]</sup>研究发现,矿源物质大多来源于深部岩浆,多宝山铜矿形成过程中有多期次基性岩浆注入作用,深部基性岩浆与岩浆房中酸性岩浆混合形

成铜矿床,成矿物质并不是从围岩多宝山组萃取过来的.总之,多宝山组是矿床的主要赋矿围岩,覆盖于多宝山铜矿之上,对矿床免受剥蚀起到了保护作用.

侵入多宝山组的花岗闪长岩约形成于475 Ma,多宝山铜矿体多产于花岗闪长岩体边部,成矿作用主要发生于早奥陶世478~474 Ma<sup>[3, 13, 15, 24-26]</sup>,成岩成矿时代一致.由前述可知,多宝山铜矿床形成之前该地区多宝山组和铜山组已有大量沉积,沉积厚度大于7.0 km,矿床形成之后上奥陶统裸河组、爱辉组及下志留统黄花沟组等地层连续沉积并整合于多宝山组之上,这些巨厚的沉积地层对矿体免受后期剥蚀起到了良好的保护作用.志留纪至二叠纪为陆内伸展环境,而志留纪至石炭纪期间多宝山矿集区一直处于沉积环境<sup>[13]</sup>,这也使得多宝山铜矿一直保存于海盆之下.三叠纪受到蒙古—鄂霍次克洋南向俯冲的影响,多宝山地区岩浆活动强烈,矿床遭受抬升剥蚀<sup>[3]</sup>.

冷亚星等<sup>[9]</sup>通过角闪石地质温压计及裂变径迹热构造年代学分析,与矿体有关的多宝山花岗闪长岩成岩深度6.67~13.20 km,为加里东期—燕山期,岩体抬升约为3.2 km,成矿后的剥蚀作用主要发生在印支期之后,多宝山成矿岩体平均剥蚀深度为6.36~6.69 km.由这些数据不难看出,岩浆定位及成岩成矿深度相对较深,虽然后期构造活动强烈,岩体大幅抬升,但古生代巨厚的沉积地层顶盖也使得矿床大部分得以保留.矿区有中生代中酸性、中基性岩体(脉)侵入矿床,但规模较小,虽然对矿体形态的完整性有一定的破坏,但是未明显造成矿体的抬升剥蚀.因此,多宝山组等早古生代地层对矿体的保存几乎没有受到中生代岩浆岩侵入的影响.

另外,多宝山矿集区多宝山铜矿北西端的三矿沟成矿深度为3.94~9.64 km<sup>[27]</sup>,多宝山铜矿床成矿深度在2.4~4.1 km<sup>[8]</sup>,多宝山铜矿东南部的争光金矿床成矿深度小于1.5 km<sup>[2]</sup>.由此可见,矿集区北西端向南东端成矿深部逐渐变小,也反映出北西向南东剥蚀程度降低,南东端矿床埋藏相对较深,暗示南东端深部可能存在“多宝山式”斑岩铜矿化.

与多宝山铜矿床相距4 km的铜山矿床,其含铜花岗闪长岩体出露面积远远小于多宝山含铜花岗闪长岩体.钻孔ZK2020-8钻进1 600 m仍未发现含铜斑岩体<sup>[28]</sup>,所见岩石仍为多宝山组安山岩,但在1 200~

1 600 m 安山岩中发现脉状及层状黄铜矿. 依据重磁电异常反演推断, 1 900~2 000 m 见到含铜花岗闪长岩体<sup>[29]</sup>. 这些结果进一步反映出多宝山组对铜矿床的保护作用, 也揭示出矿区深部巨大的找矿潜力. 矿床虽然经历了后期的抬升剥蚀, 但是多宝山组等早古生代地层盖层的“遮风挡雨”, 使矿床大部分得以保留, 铜资源储量仍位于大型矿床行列.

## 5 多宝山式斑岩铜矿找矿方向

### 5.1 地层的控矿作用

多宝山岛弧从扎兰屯延伸到黑河地区, 北东向延伸上千千米, 而地表识别多宝山岛弧的典型标志就是多宝山组安山岩的分布情况. 沿嫩江至黑河一线, 不仅在多宝山矿集区, 而且在北疆、霍龙门、老道店一带都有早古生代多宝山组、铜山组、裸河组、爱辉组、黄花沟组等地层分布. 这些地层是多宝山岛弧的弧前盆地、火山弧、弧间盆地、弧后盆地等结构单元的组成部分, 这也揭示出北疆、霍龙门、老道店等地段是多宝山岛弧残留的部位. 经过近几年区域地质矿产调查, 在北疆、霍龙门、老道店等地段发现了多处赋存在多宝山组等地层中的铜金矿(化)点找矿线索, 这进一步表明了北疆、霍龙门、老道店等地段具有较大的铜金找矿潜力. 赵忠海等<sup>[11]</sup>统计分析, 多宝山矿集区多宝山组和铜山组所含铜元素平均含量分别为  $125 \times 10^{-6}$  和  $81 \times 10^{-6}$ , 远高于地壳铜的克拉克值( $55 \times 10^{-6}$ , 表 2). 与成矿有关的花岗闪长岩、花岗闪长斑岩的铜元素含量分别为  $38 \times 10^{-6} \sim 69 \times 10^{-6}$  和  $80 \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6}$ , 亦高于铜元素背景值. 因此推断多宝山斑岩型矿床的铜元素既有来源于围岩地层(多宝山组和铜山组), 也有来自深部岩浆. 依据多宝山矿集区斑岩-浅成低温铜金成矿系统模型综合分析, 北疆、霍龙门、老道店等地具有寻找多宝山式斑岩铜矿-浅成低温热液金矿的潜力.

另外, 从多宝山矿床邻近的铜山矿床深部调查成果来看, 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 5), 而矿体仍产出在多宝山组安山岩中, 在深达 1 600 m 仍未发现早奥陶世含铜花岗闪长斑岩体<sup>[3, 28]</sup>, 一方面表明矿区剥蚀程度较小或多宝山组等地层沉积较厚, 另一方面也表明了多宝山组安山岩是区域铜金找矿的重要线索.

表 2 多宝山铜矿床近矿地层及岩体铜元素分析结果  
Table 2 Contents of Cu in surrounding strata and rock mass of Duobaoshan Copper deposit

地质单元	岩石名称	Cu 含量/ $10^{-6}$
多宝山组	中-酸性凝灰熔岩	50
	中-酸性凝灰岩	137
	中性凝灰岩	142
	安山岩	151
	凝灰砂岩	134
	平均值	125
铜山组	中性凝灰岩	98
	凝灰砂岩	95
	中-酸性凝灰熔岩	80
	凝灰质砂砾岩	47
	平均值	81
侵入岩	花岗闪长岩	38-69
	花岗闪长斑岩	80-150
	黑龙江地区背景值	18.5
	克拉克值	55

### 5.2 侵入岩与成矿的关系

岩浆侵入及相关的热液活动是斑岩铜矿成矿不可或缺的必要条件, 铜矿床一般与同时代的火山岩紧密共生. 沿嫩江-黑河几乎未发现奥陶纪花岗质侵入岩, 伴随多宝山弧火山岩(多宝山组安山岩)的喷发形成, 不排除花岗质岩体在深部隐伏的可能, 隐伏岩体的发现是实现多宝山式斑岩铜矿找矿突破的关键. 因此, 在外围找矿时应加强对多宝山组或早古生代地层下部隐伏奥陶纪斑岩体的调查. 在多宝山矿区早奥陶世含铜花岗闪长斑岩体侵入多宝山组, 由于多宝山成矿斑岩体具有与加厚下地壳部分熔融形成的埃达克岩相似的地球化学属性<sup>[2]</sup>, 在找矿调查工作中, 一方面要加强侵入斑岩体时代归属判别, 另一方面更要加强地球化学属性的研究, 识别出与成矿有利的斑岩体, 加快实现找矿的新发现. 另外, 多宝山组岩石的铜含量非常高, 是区域上中生代夕卡岩矿床的主要物源, 如多宝山矿集区, 三矿沟夕卡岩铜铁矿发育在早侏罗世英云闪

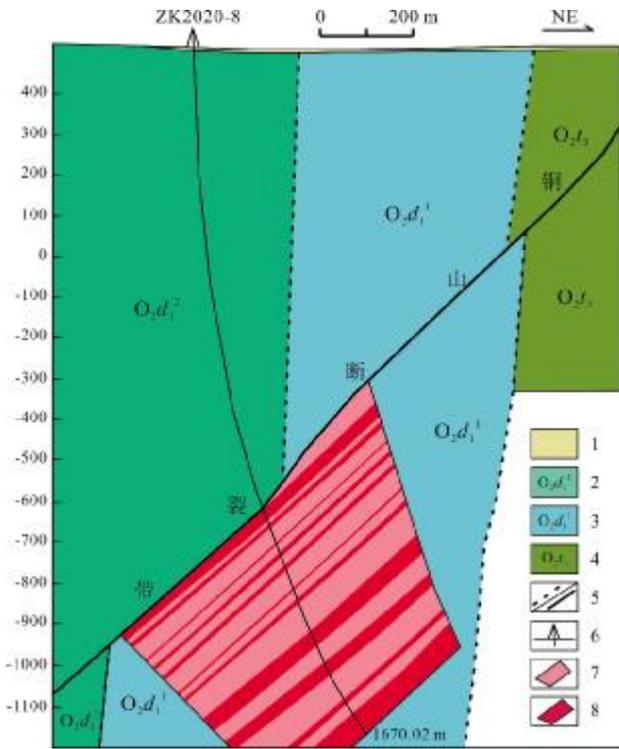


图5 铜山铜矿床1080勘探线见矿剖面图  
(据文献[30]修改)

Fig. 5 Profile of Tongshan copper deposit along No. 1080 exploratory line  
(Modified from Reference [30])

1—第四系(Quaternary); 2—多宝山组凝灰岩、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—实测/推测断层(surveyed/inferred fault); 6—钻孔(borehole); 7—铜矿体(Cu orebody); 8—富铜矿体(Cu-rich orebody)

长岩与多宝山组薄层角岩化大理岩接触带部位,因此,在区域找矿勘查时,也应加强三矿沟式铜铁矿床的寻找.在调查发现三矿沟式铜铁夕卡岩矿床的同时,也预示着该地区具有多宝山式斑岩铜成矿的潜力.

### 5.3 铜地球化学特征对找矿的指示

区域上铜异常总体呈东北向带状分布,而异常浓集中心多呈串珠状北西向雁列展布,这与多宝山矿集区铜异常北西走向近一致.由区域化探Cu地球化学图(图6)看出,嫩江-黑河一线铜异常发育,在北疆、霍龙门、老道店等地多处Cu异常浓集中心发育,具有内、中、外三级浓度分带,而这些地方是多宝山岛弧弧

盆体系地质单元出露较齐全的部位,在此处发育七林河、八支沟、依克特、581.6高地等多处铜金矿点.据国外统计结果,北美已知的56个斑岩铜矿中,有90%位于已知的铜矿化区内,而且80%是在紧邻已知矿床或矿点的地区发现的<sup>[31]</sup>.因此,类比多宝山矿集区多宝山组等地质单元及铜异常分布特点,北疆、霍龙门、老道店等地具有较好的铜金找矿潜力.

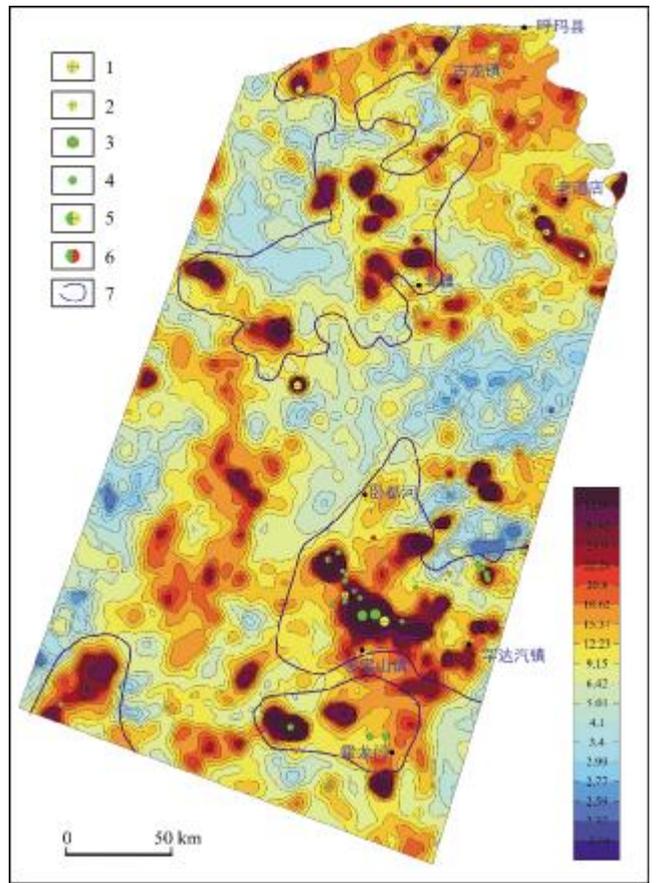


图6 区域Cu地球化学图及金铜矿床(点)分布图

Fig. 6 Regional Cu geochemical map with distribution of Au-Cu deposits and occurrences

1—金矿床(Au deposit); 2—金矿点(Au occurrence); 3—铜矿床(Cu deposit); 4—铜矿点(Cu occurrence); 5—铜金矿床(Cu-Au deposit); 6—铜铁矿床(Cu-Fe deposit); 7—古生代地层范围(Paleozoic strata)

## 6 结论

(1)早古生代奥陶系、志留系地层是多宝山斑岩铜矿现今保存完好的重要因素之一.

(2)多宝山岛弧带弧盆体系发育及Cu异常浓集中心叠加处,是寻找多宝山式斑岩铜矿最有利的靶区.

(3)与多宝山组弧火山岩(安山岩)同期并具埃达

克属性的花岗斑岩体,是实现多宝山式斑岩铜矿找矿突破的关键。

### 参考文献(References):

- [1]张兴洲,杨宝俊,吴福元,等.中国兴蒙-吉黑地区岩石圈结构基本特征[J].中国地质,2006,33(4):816-823.  
Zhang X Z, Yang B J, Wu F Y, et al. The lithosphere structure in the Hingmong-Jihe (Hinggan-Mongolia-Jilin-Heilongjiang) region, northeastern China[J]. *Geology in China*, 2006, 33(4): 816-823.
- [2]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.
- [3]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.
- [4]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.
- [5]Camus F. Geologia de los sistemasporfiricosen los Andes de Chile, Santiago, Santiago, Chile[J]. *Servicio Nacional de Geologiy Minería*, 2003, 267.
- [6]Cooke D R, Wilson A J, Davies A G S. Characteristics and génesis of porphyry copper-gold deposits[M]//Cooke D R, Deyel C, Pongratz J. 24th Au Workshop. 2nd ed. Hobart: University of Tasmania, Centre for Ore Deposit Research, 2004: 17-34.
- [7]Cooke D R, Hollings P, Walshe J L. Giant porphyry deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls [J]. *Economic Geology*, 2005, 100(5): 801-818.
- [8]刘军,武广,钟伟,等.黑龙江省多宝山斑岩型铜(钼)矿床成矿流体特征及演化[J].岩石学报,2010,26(5):1450-1464.  
Liu J, Wu G, Zhong W, et al. Fluid inclusion study of the Duobaoshan porphyry Cu (Mo) deposit, Heilongjiang Province, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(5): 1450-1464.
- [9]冷亚星,王建平,任纪舜.黑龙江多宝山斑岩铜矿赋矿岩体侵位深度及其对成矿的约束[J].地质通报,2022,41(4):642-656.  
Leng Y X, Wang J P, Ren J S. The emplacement depth of ore-hosting rock body and its constraints on mineralization in Duobaoshan porphyry copper deposit, Heilongjiang Province [J]. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(4): 642-656.
- [10]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. Duobaoshan porphyry copper deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 1-335. (in Chinese)
- [11]赵忠海,郑卫政,曲晖,等.黑龙江多宝山地区铜金成矿作用及成矿规律[J].矿床地质,2012,31(3):601-614.  
Zhao Z H, Zheng W Z, Qu H, et al. Cu-Au mineralization and metallogenic regularity of Duobaoshan area, Heilongjiang Province [J]. *Mineral Deposits*, 2012, 31(3): 601-614.
- [12]韩振新,徐衍强,郑庆道.黑龙江省重要金属和非金属矿产的成矿系列及其演化[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 significant metal and nonmetal minerals in Heilongjiang Province[M]. Harbin: Heilongjiang People's Publishing House, 2004: 1-240. (in Chinese)
- [13]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.
- [14]赵超.中亚造山带东段多宝山富金斑岩铜矿床多期构造-岩浆-成矿作用[D].北京:中国科学院地质与地球物理研究所,2019:1-223.  
Zhao C. The multi-stage magmatic-tectonic-mineralization processes of Duobaoshan gold-rich porphyry copper deposit in eastern Central Asian Orogenic Belt [D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 2019: 1-223. (in Chinese)
- [15]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.
- [16]赵元艺,王江朋,赵广江,等.黑龙江多宝山矿集区成矿规律与找矿方向[J].吉林大学学报(地球科学版),2011,41(6):1676-1688.  
Zhao Y Y, Wang J P, Zhao G J, et al. Metallogenic regularity and prospecting direction of Duobaoshan ore field, Heilongjiang Province, China [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2011, 41(6): 1676-1688.
- [17]葛文春,吴福元,周长勇,等.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[J].科学通报,2007,52(20):2407-2417.  
Ge W C, Wu F Y, Zhou C Y, et al. Porphyry Cu-Mo deposits in the eastern Xing'an-Mongolian Orogenic Belt: Mineralization ages and their geodynamic implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(24): 3416-3427.
- [18]崔根,王金益,张景仙,等.黑龙江多宝山花岗闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J].世界地质,2008,27(4):

- 387-394.
- Cui G, Wang J Y, Zhang J X, et al. U-Pb SHRIMP dating of zircons from Duobaoshan granodiorite in Heilongjiang and its geological significance[J]. *Global Geology*, 2008, 27(4): 387-394.
- [19]魏浩. 黑龙江多宝山铜(钼)矿床流体成矿作用及区域远景评价[D]. 北京: 北京科技大学, 2012: 1-168.
- Wei H. Fluid mineralization and prospect evaluation of the Duobaoshan porphyry Cu (Mo) deposit, Heilongjiang[D]. Beijing: University of Science & Technology Beijing, 2012: 1-168.
- [20]Liu J, Wu G, Li Y, et al. Re-Os sulfide (chalcopyrite, pyrite and molybdenite) systematics and fluid inclusion study of the Duobaoshan porphyry Cu (Mo) deposit, Heilongjiang Province, China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 49: 300-312.
- [21]杨晓平, 付俊彧, 汪岩, 等. 东北地区大地构造演化与成矿制约[J]. *地质与资源*, 2024, 33(4): 417-446, 550. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.002.
- Yang X P, Fu J Y, Wang Y, et al. Tectonic evolution and mineralization constraints in Northeast China [J]. *Geology and Resources*, 2024, 33(4): 417-446, 550. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.002.
- [22]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.
- [23]刘扬, 程学展, 王喜臣, 等. 黑龙江多宝山斑岩铜矿的铜金属来源与富集规律[J]. *地质科学*, 2008, 43(4): 671-684.
- Liu Y, Cheng X Z, Wang X C, et al. Cu-source and enrichment laws of the Duobaoshan porphyry copper deposit in Heilongjiang Province [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2008, 43(4): 671-684.
- [24]Hao Y J, Ren Y S, Duan M X, et al. Metallogenic events and tectonic setting of the Duobaoshan ore field in Heilongjiang Province, NE China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 97: 442-458.
- [25]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.
- [26]李运, 符家骏, 赵元艺, 等. 黑龙江争光金矿床年代学特征及成矿意义[J]. *地质学报*, 2016, 90(1): 151-162.
- Li Y, Fu J J, Zhao Y Y, et al. Chronological characteristics and metallogenic significance of Zhengguang gold deposit, Heilongjiang Province, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90(1): 151-162.
- [27]吕鹏瑞, 顾雪祥, 李德荣, 等. 黑龙江嫩江地区三矿沟矽卡岩型铜-铁-钼多金属矿床的成矿流体特征与成矿机制[J]. *地质通报*, 2011, 30(10): 1563-1574.
- Lv P R, Gu X X, Li D R, et al. Ore-forming fluid characteristics and mineralization mechanism of the Sankuanggou skarn-type Cu-Fe-Mo polymetallic deposit in Nenjiang area of Heilongjiang Province [J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(10): 1563-1574.
- [28]许逢明, 赵院冬, 李成立, 等. 黑龙江多宝山矿集区三维地质建模与深部找矿预测[J]. *地质与勘探*, 2022, 58(3): 629-652.
- Xu F M, Zhao Y D, Li C L, et al. Three-dimensional geological modeling and deep prospecting prediction of the Duobaoshan ore concentration area in Heilongjiang Province[J]. *Geology and Exploration*, 2022, 58(3): 629-652.
- [29]赵理芳, 李希元, 李成立, 等. 基于重、磁、电法的多宝山矿集区隐伏斑岩体识别与深部找矿实践[J]. *矿床地质*, 2022, 41(6): 1217-1231.
- Zhao L F, Li X Y, Li C L, et al. Recognition of concealed porphyry body and deep prospecting practice in Duobaoshan ore concentration area based on gravity, magnetic and electromagnetic surveys [J]. *Mineral Deposits*, 2022, 41(6): 1217-1231.
- [30]刘宝山, 李成禄, 程招勋, 等. 大兴安岭北段铜矿床找矿进展及勘查方向[J]. *地质与资源*, 2024, 33(4): 564-577, 611. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.010.
- Liu B S, Li C L, Cheng Z X, et al. Prospecting progress and exploration direction of copper deposits in northern Daxinganling Mountains [J]. *Geology and Resources*, 2024, 33(4): 564-577, 611. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.04.010.
- [31]王喜臣, 马德友, 刘金英. 寻找中国超大型铜矿床——以多宝山铜矿田为例[J]. *地球学报*, 1999, 20(S1): 222-226.
- Wang X C, Ma D Y, Liu J Y. Searching super-large copper deposit in China: An example from Duobaoshan copper orefield [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1999, 20(S1): 222-226.