



内蒙古莫力达瓦旗葛根台-小黑山地区金铜钼找矿靶区预测

尤洪喜, 秦 涛, 汪 岩, 杨晓平, 杜继宇

中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

摘 要: 内蒙古莫力达瓦旗葛根台-小黑山地区位于大兴安岭中北段东乌旗-嫩江 Cu-Mo-Pb-Zn-W-Sn-Cr 成矿带。通过对研究区与区域典型矿床成矿地质背景及控矿条件的对比分析, 认为葛根台-小黑山地区具有热液型金铜钼矿、剪切带型金矿和斑岩型铜钼矿床的成矿潜力。采用对控矿有利条件信息要素的提取和要素赋值的统计方法, 尝试对研究区进行金铜钼等找矿靶区预测工作, 为后续区域地质调查及找矿工作提供参考。

关键词: 金-铜-钼矿床; 成矿预测; 要素赋值方法; 靶区微块; 内蒙古

PROSPECTING TARGET PREDICTION OF GOLD-COPPER-MOLYBDENUM DEPOSITS IN GEGENTAI-XIAOHEISHAN AREA OF MOLIDAWA QI, INNER MONGOLIA

YOU Hong-xi, QIN Tao, WANG Yan, YANG Xiao-ping, DU Ji-yu

Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: Gegentai-Xiaoheishan area in Molidawa Qi of Inner Mongolia is located in the East Ujimqin Qi-Nenjiang Cu-Mo-Pb-Zn-W-Sn-Cr metallogenic belt in the northern-central Daxinganling Mountains. Based on the comparative analysis of metallogenic geological setting of regional typical deposits in the study area and ore-controlling conditions, it is concluded that Gegentai-Xiaoheishan area has the metallogenic potential of hydrothermal Au-Cu-Mo deposits, shear zone-type Au deposits and porphyry Cu-Mo deposits. Through the statistical method of information element extraction of favorable ore-controlling conditions and factor assignment, the prospecting target areas for gold, copper and molybdenum deposits in the area are predicted, which provides reference for the regional geological survey and prospecting in the future.

Key words: Au-Cu-Mo deposit; metallogenic prediction; factor assignment method; target block; Inner Mongolia

1 区域地质概况

内蒙古莫力达瓦旗葛根台-小黑山地区大地构造位于兴蒙造山带东段扎兰屯-多宝山岛弧带与松嫩地

块交汇部位的突泉-黑河俯冲增生杂岩带^[1-6]北西侧, 嫩江-黑河加里东-燕山期岩浆杂岩与大杨树白垩纪火山岩盆地过渡地带^①, 属于大兴安岭中北段东乌旗-

收稿日期: 2022-06-06; 修回日期: 2022-07-06. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“大兴安岭成矿带(北段)区域地质调查”(DD20240034); “内蒙古 1:5 万嘎尔敖包幅(L51E016001)、汉恩达坂幅(L51E016002)、勒勃温多尔幅(L51E017001)区域地质调查”(DD20242600); “东部岩浆岩带区域地质调查”(DD20230004); “嫩江-黑河地区区域地质调查”(DD20230210).

作者简介: 尤洪喜(1968—), 男, 高级工程师, 从事矿产地质、区域地质工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//2415763784@qq.com

① 黑龙江省区域地质调查所. 1:25 万嫩江县幅区域地质调查报告. 2015.

嫩江 Cu-Mo-Pb-Zn-W-Sn-Cr 成矿带^①(图 1)。出露地层有早古生界中奥陶世铜山组(O_{1-2})岛弧火山岩建造,下泥盆统霍龙门组(D_{1hl})碎屑岩沉积建造,下石炭统莫尔根河组(C_{1m})变质海相中酸性火山岩建造和科洛片麻岩(C_{1kgn})变质建造岩系;中生界晚侏罗世满克头鄂博组(J_{3mk})、玛尼吐组(J_{3mn}),早白垩世白音高老组(K_1b)、甘河组(K_1gh),晚白垩世嫩江组(K_2n)陆相

火山碎屑岩建造;新生界中—上新统孙吴组(N_{1-2s})河流相沉积建造。研究区构造-岩浆活动频繁,侵入岩以晚石炭世—早二叠世为主,主要有萨玛街、大石砬子二长花岗岩($\eta\gamma C_2P_1$),叉拉巴奇碱长花岗岩($\chi\pi\gamma C_2P_1$),哈北正长花岗岩($\xi\gamma C_2P_1$),红石砬子、葛根台花岗闪长岩($\gamma\delta C_2P_1$),小黑山站闪长岩(δC_2P_1)等;中生代中酸性脉岩较为发育。

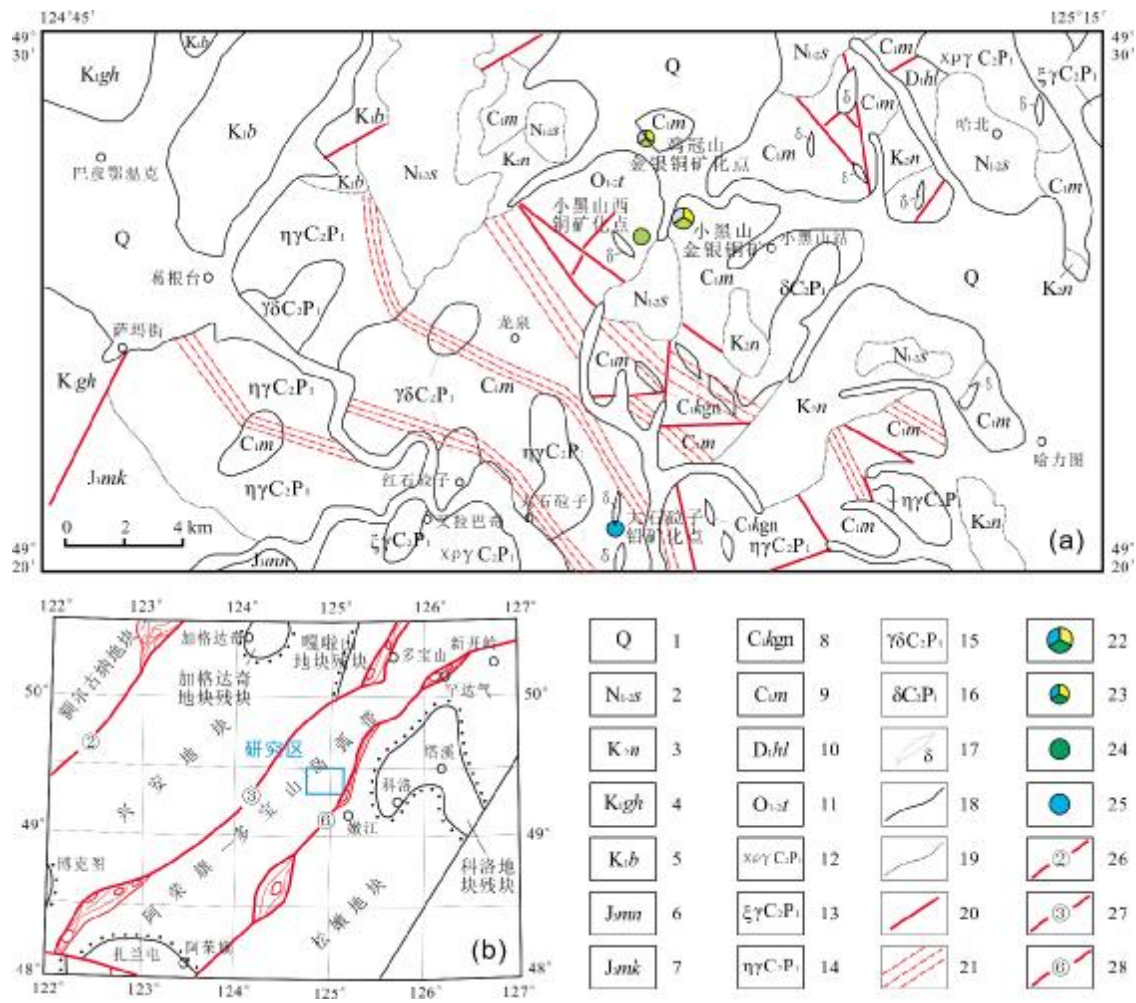


图 1 研究区构造位置及地质图

Fig. 1 Tectonic location and geological map of the study area

a—研究区地质图 (geological map); b—大地构造位置图 (tectonic location map); 1—第四系 (Quaternary); 2—孙吴组 (Sunwu fm.); 3—嫩江组 (Nenjiang fm.); 4—甘河组 (Ganhe fm.); 5—白音高老组 (Baiyingaolao fm.); 6—玛尼吐组 (Manitu fm.); 7—满克头鄂博组 (Manketouebo fm.); 8—科洛片麻岩 (Keluo gneiss); 9—莫尔根河组 (Moergenhe fm.); 10—霍龙门组 (Huolongmen fm.); 11—铜山组 (Tongshan fm.); 12—碱长花岗岩 (alkali-feldspar granite); 13—正长花岗岩 (syenogranite); 14—二长花岗岩 (monzogranite); 15—花岗闪长岩 (granodiorite); 16—闪长岩 (diorite); 17—闪长岩脉 (diorite dike); 18—地质界线 (geological boundary); 19—角度不整合界线 (angular unconformity); 20—实测断层 (surveyed fault); 21—韧性剪切带 (ductile shear zone); 22—金银铜矿点 (Au-Ag-Cu ore occurrence); 23—金银铜矿化点 (Au-Ag-Cu mineralized spot); 24—铜矿化点 (Cu mineralized spot); 25—铅矿化点 (Pb mineralized spot); 26—头道桥-新林俯冲增生杂岩带 (Toudaoqiao-Xinlin subduction accretionary complex); 27—伊尔施-三卡俯冲增生杂岩带 (Yi'ershi-Sanka subduction accretionary complex); 28—突泉-黑河俯冲增生杂岩带 (Tuquan-Heihe subduction accretionary complex)

①中国地质调查局沈阳地质调查中心. 东北地区矿产资源潜力评价与综合成果报告. 2013.

奥陶纪至新生代,研究区域经历了古亚洲洋构造域活动演化、蒙古-鄂霍次克洋演化^[6]和太平洋构造活动的叠加改造,在区域上形成了以多宝山超大型斑岩铜矿为代表的奥陶纪多宝山岛弧环境的 Cu、Au、Mo、W 成矿作用;与中酸性、碱性岩体有关的晚石炭世晚期一早二叠世后造山环境的中-高温 Au、Cu、Mo,中-低温 Au、Cu 和稀有金属成矿作用;晚三叠世一中侏罗世穹状隆起环境的热液型-斑岩型 Au、Mo 成矿作用;早白垩世盆岭构造背景下的火山热液型金银铜等成矿作用。多阶段多期次的成矿活动叠加,造就了研究区内广泛分布的 Cu、Au、Mo 等内生金属矿产资源,找矿潜力巨大。

2 成矿地质条件分析

2.1 侵入岩

前人对区域内的岩体含矿属性曾做过研究工作^[2-3, 7-10],认为晚石炭世一早二叠世侵入岩为多宝山岛弧带与松嫩地块碰撞拼合后的造山后伸展产物,岩石主体发育碎裂构造,局部发育北西向-近东西向韧性剪切带,与晚石炭世前围岩面理基本一致。本研究采用 1:25 万嫩江县幅区调划分的侵入岩分类方案,岩体成因类型及成矿属性特征主要参考大兴安岭中北段与金铜钼矿有关的岩浆岩成矿专属性及红彦地区成矿预测资料^[8, 11](表 1)。

2.2 火山-沉积建造

研究区出露的赋矿围岩主要为火山-沉积建造,从老到新依次有古生界铜山组、霍龙门组、科洛杂岩^[12-13](非正式填图单位)、莫尔根河组^[14],中生界满

克头鄂博组、玛尼吐组、白音高老组、甘河组。根据区域资料,总结各类地层主体岩石组合、成因环境及赋矿属性特征,如表 2 所示。

2.3 构造条件

总结前人对区域金、铜、钼典型矿床和成矿规律^[10, 15-16],研究认为:区域上矿床分布总体受北东向和北北东向区域性断裂和隆起(隆起区和岩浆杂岩区)-拗陷(盆地)交接带构造控制,局部定位受次级北西-北北西向和北东-北东向断裂带、环形构造(侵入穹隆和火山机构)、韧性剪切带(北北东-北东向、近东西向及北西向)、推覆构造带(近东西向或北东向)及其次级拆离断层(近南北向)、次级隆-拗构造及剥蚀程度等控制^[8]。利用已知区内的各类控矿、容矿构造样式的分布资料,进一步结合区内遥感、航磁、重力解译的构造分布,形成研究区内控矿构造分布图。根据对控矿构造成果的总结,确定研究区有利成矿的控矿构造要素组合类型及分布(表 3)。

2.4 化探异常条件

葛根台-小黑山地区 1:5 万土壤地球化学测量对 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Hg、W、Sn、Mo、Bi、Sb 等 12 种元素数据的富集系数和变异系数研究表明^①:As、Sb、Ag 富集系数和变异系数均较高,具较大成矿可能或作为成矿指示元素,常与 Au 元素伴生富集,可作为低温热液金矿化的指示元素;W、Pb、Bi、Sn 具较高富集系数和较低变异系数,指示该类元素在地质体具有相对较高的含量且分布均匀,常与花岗岩体有关,可作为中高温热液成矿指示元素;Au、Cu、Hg、Mo 含量正常或低,但(尤其 Au)具有较高的变异系数,反映该类元素多为

表 1 研究区侵入岩成因类型及成矿属性表

Table 1 Genetic types and metallogenic attributes of intrusive rocks in the study area

岩体名称	岩石化学特征	成因类型	成矿专属性	主要分布范围
小黑山站闪长岩	略贫碱次铝质-过铝质高钾钙碱性花岗岩		斑岩型 Cu-Mo 矿 热液型 Au-Cu 矿	中部小黑山站一带
叉拉巴奇正长花岗岩	主要表现为富碱次铝不饱和型高钾钙碱性花岗岩	I 型、A 型	斑岩型 Cu-Mo 矿	中部叉拉巴奇及东北角
红石砬子、葛根台花岗闪长岩	略富碱、富硅、铝的弱过铝质高钾钙碱性花岗岩	I 型、非埃达克质 I 型	热液型 Au 矿	西北部葛根台、中部红石砬子一带
萨玛街、大石砬子二长花岗岩	略富碱的过铝质高钾钙碱性花岗岩	I 型、A 型	热液型 Au 矿	小黑山西萨玛街、大石砬子
叉拉巴奇、哈北碱长花岗岩	略富碱的铝不饱和型的钙碱性花岗岩	A 型	热液型 Au 矿	叉拉巴奇、哈北

①中国地质大学(武汉). 内蒙古莫力达瓦达斡尔族自治旗拉抛等八幅 1:5 万区域矿产地质调查报告. 2015.

表 2 研究区火山-沉积地层及赋矿属性类型表

Table 2 Volcano-sedimentary strata and ore-hosting attribute types in the study area

岩石地层	岩性特征	主体岩石化学特征及构造成因背景	赋矿属性类型
甘河组	中基性火山岩	准铝质、中钾钙碱性,类似大兴安岭地区的碱性玄武岩	热液型 Au 矿
白音高老组	酸性火山岩	弱-强过铝质、高钾钙碱性,低 Ti 且具较高分异程度的 Al 型成因,类似大兴安岭地区的大陆裂谷碱性流纹岩	热液型 Au 和 Cu 矿床,Ag(Pb-Zn)
玛尼吐组	中性火山岩	成因环境属蒙古-鄂霍次克造山带后碰撞伸展背景或古西太平洋板块俯冲相关的弧后伸展背景下区域由挤压向伸展转换过渡的早阶段	热液型 Ag(Pb-Zn-Mo)、Au 矿化
满克头鄂博组	酸性火山岩		热液型、斑岩型 Ag(Pb-Zn-Mo)
莫尔根河组	中(基)性-酸性火山岩	准铝质-弱过铝质、中-高钾钙碱性;弱-强过铝质、高钾钙碱性,属非埃达克质岩的低分异 I 型钙碱性弧火山岩,为陆缘弧火山岩	利于 Cu-Mo-Au 成矿,海相火山岩块状硫化物型铁铜金矿床
科洛杂岩	混杂变质建造岩	原岩形成于古亚洲洋板块俯冲、消减过程,经晚三叠世—中侏罗世构造岩浆事件和晚侏罗世—早白垩世陆内伸展形成的一套混杂变质建造岩系	与 Au、Cu 矿化有关
霍龙门组	碎屑岩沉积	多以残片的形式产出,局部发育蓝闪石片岩,代表古亚洲洋板块俯冲、消减过程中陆壳残片相或增生楔的大地构造背景	可作为热液脉型 Au 矿赋矿围岩
铜山组	碎屑岩为主	为低绿片岩相陆缘岛弧沉积建造	斑岩型 Cu-Mo 矿,热液型 Au-Cu 矿

表 3 研究区控矿构造要素组合类型表

Table 3 Combination types of ore-controlling structures in the study area

构造样式	构造要素组合类型	与成矿关系
断裂构造	≥4 组断裂交汇, E-W∧S-N∧NE∧NW(实测及遥感、航磁、重力解译); 古生代、中生代盆缘断裂倾向 1 km 范围;隆起边缘内外 0.5 km 范围	最重要的控矿构造和容矿构造发育部位
	2~3 组断裂交汇(实测、遥感、航磁、重力有两者显示为准)	重要的控矿构造和容矿构造发育部位
环形构造	遥感及实测环形构造、火山机构	与火山热液型、斑岩型成矿关系密切
褶皱构造	背斜、向斜构造轴部,与断裂交汇部位	控矿、容矿作用
岩体中韧性剪切带	DS2、3、4、5、7、8、9、10	控制剪切带型 Au 矿分布
地层中韧性剪切带	主要分布于莫尔根河组中	控制热液蚀变岩型 Au 矿分布

局部富集而具成矿可能^[8]。据此,可选定 Au、Cu、Mo、Ag 作为研究区内预测的主要成矿元素。

预测区内 12 种元素相关性计算分析结果表明,As、Sb、Hg 相关性较好,代表低温成矿元素组合,Au 为中低温元素;W、Mo 相关性较好,代表高温成矿元素组合;Cu、Zn 相关性强,代表中温成矿元素组合;其余元素相关性特征不明显。

据以上元素因子分析和聚类分析结果,结合热液

矿床中成矿元素行为特征,可将区内元素组合划分为 3 个大类:1)主要元素为 Au、As、Sb、Hg,为低温热液成矿元素组合,作为寻找金矿床的指示元素组合;2)主要元素为 Zn、Cu、Ag、Pb,为中高温热液成矿元素组合,作为寻找铜和铅、锌、银矿床的指示元素组合;3)主要元素为 W、Mo、Sn、Bi,为高温成矿元素热液组合,可作为寻找钼矿床的指示元素^①。

结合预测区内各元素异常分布及组合特征,将

①中国地质大学(武汉). 内蒙古莫力达瓦达斡尔族自治旗拉抛等八幅 1:5 万区域矿产地质调查报告. 2015.

Au、Cu、Mo、Ag 等元素组合异常分布范围作为靶区预测的化探异常要素条件。具体为: Au、Sb、Hg 组合异常指示金矿预测范围; Cu、Ag 元素异常指示铜、银矿预测范围; W、Mo 组合异常范围指示钨矿预测范围。

3 找矿靶区预测

3.1 预测方法

运用赵鹏大、叶天竺、王世称等的成矿预测理论方法^[17-19], 参考邵军^[20]、叶水盛^[21]运用综合信息成矿预测方法在黑龙江省呼玛-漠河地区、内蒙古大兴安岭东南部区预测应用研究的技术成果, 结合研究区的实际情况和前文对区内已知矿产成矿条件的分析总结, 把研究区内成矿有利的侵入岩条件、构造条件、围岩条件、化探异常条件等作为成矿预测要素, 分别圈定其分布范围并进行主观权重赋值、要素叠合, 再根据工作或预研究程度的需要布设适合尺度的网格, 对网格内的叠合权重进行加权统计, 最终参照区域内已知矿产部位的权重设定预测靶区圈定的阈值下限, 以此圈定找矿预测靶区。

3.2 叠合图网格化处理

将预测区内的岩体 $\chi\gamma C_2P_1$ 、 $\eta\gamma C_2P_1$ 、 $\gamma\delta C_2P_1$ (包括 δ 脉岩)、 $\xi\gamma C_2P_1$ 分别设置为要素 a1、a2、a3、a4; 将预测区内有 4 组方向以上的断裂等构造形迹交汇部位设置为要素 b1, 2~3 组方向断裂等构造形迹交汇部位设置为要素 b2, 解译的隐伏岩体或火山机构形成环状放射状裂隙范围半径 $r \leq 2$ km 区域设置为要素 b3, $2 < r \leq 4$ km 区域设置为要素 b4, 褶皱构造要素设置为 b5, 岩体内剪切带要素设置为 b6, 地层中剪切带要素设置为 b7; 将铜山组设置为要素 c1、莫尔根河组设置为要素 c2, 霍龙门组设置为要素 c3, 满克头鄂博组设置为要素 c4, 玛尼吐组设置为要素 c5, 白音高老组设置为要素 c6, 甘河组设置为要素 c7, 科洛杂岩设置为要素 c8; 将 1:5 万水土壤测量 Au-Sb-Hg 组合异常区设置为要素 h1, Cu 异常区设置为要素 h2, Mo 异常区设置为要素 h3, Ag 异常区设置为要素 h4。共设 23 个要素条件。用制图软件(CorelDraw 或 MapGIS 等)圈定各要素分布范围, 最终形成预测区多要素叠合图, 然后对多要素区叠合图进行网格化处理, 采用 2 km×2 km 等边距正方形网格。

3.3 要素分类赋值及网格加权统计

对提炼出的各类预测成矿要素进行权重赋值, 主要根据各成矿要素对成矿贡献程度或重要性打分赋值, 用 4 级分值进行权重赋值: 关键成矿要素赋值 1.5, 重要成矿要素赋值 1, 一般重要或相关成矿要素赋值 0.5, 不重要成矿要素赋值 0。然后用 Excel 表将要素组合形成要素累加公式表, 再根据要素权重赋值, 按 4 种不同类型矿床(点)的预测要素赋值, 分别代入要素公式表进行加权统计, 分别得出热液型、剪切带型金矿和热液型、斑岩型铜钼矿的预测靶区(网格微块)的权值。

4 预测结果

4.1 分类预测结果

根据得出的热液型、剪切带型金矿和热液型、斑岩型铜钼矿 4 种类型矿床(点)的预测靶区网格权值统计结果, 参考区内已知矿(化)点所处部位的权值, 将高于同类矿(化)点的最小权值 0.5, 作为圈定同类找矿预测靶区的阈值。即热液型金矿找矿靶区圈定阈值为 6, 剪切带型金矿找矿靶区圈定阈值为 6.5, 热液型铜钼矿找矿靶区圈定阈值为 6.5, 斑岩型铜钼矿找矿靶区圈定阈值为 7.5。将阈值以上的权值区域圈定为预测找矿靶区, 分别得出 4 种不同矿种不同类型的找矿预测靶区网格图(图 2)。

4.2 综合预测结果

将预测出的热液型金矿找矿靶区定义为 Q 类, 剪切带型金矿找矿靶区定义为 b 类, 热液型铜钼矿找矿靶区定义为 c 类, 斑岩型铜钼矿找矿靶区定义为 d 类, 再将上述四类靶区进行叠合, 得出 Q、b、Qb、Qc、Qbc、Qcd、bcd、Qbcd 共 8 种不同组合类型的 42 个预测靶区微块和两处预测靶区(葛根台-大石砬子金铜钼预测靶区、小黑山金铜钼预测靶区)(图 3)。

5 结论

(1) 通过对葛根台-小黑山一带成矿地质条件及所处的区域成矿地质背景分析, 认为区内具有热液型金、铜钼矿, 剪切带型金矿, 斑岩型铜钼矿等成矿有利条件和找矿前景。

(2) 通过对区内侵入岩、构造、火山-沉积地层与



图 2 矿床分类预测靶区网格图

Fig. 2 Target prediction grid of deposit types

1—热液型金矿预测靶区(hydrothermal Au deposit); 2—剪切带型金矿预测靶区(shear zone-type Au deposit); 3—热液型铜钼矿预测靶区(hydrothermal Cu-Mo deposit); 4—斑岩型铜钼矿预测靶区(porphyry Cu-Mo deposit)

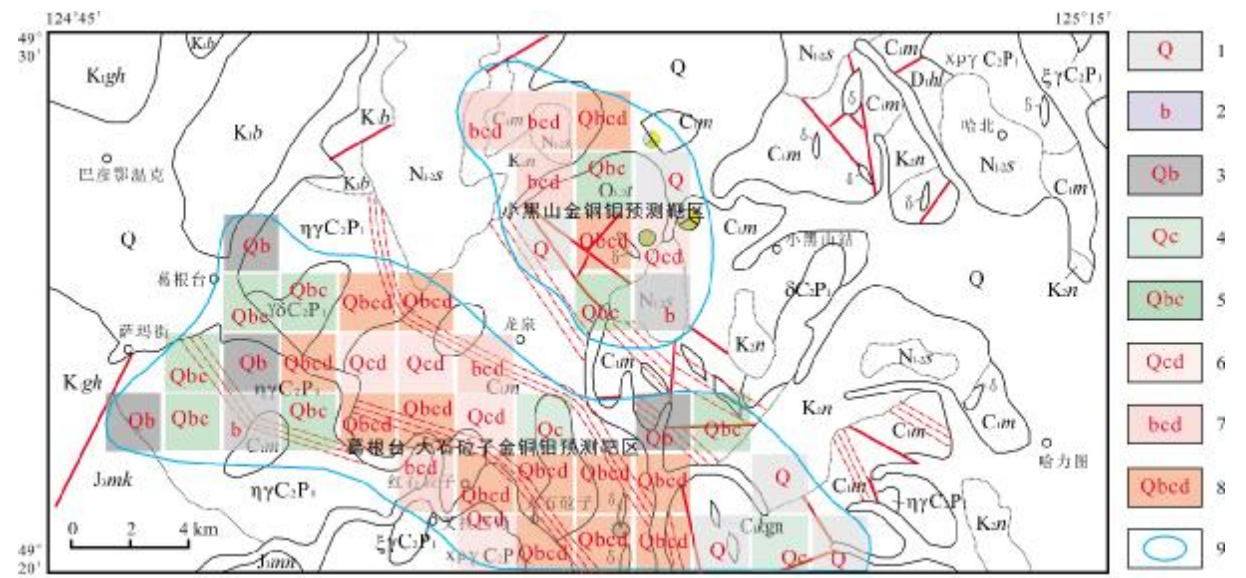


图 3 预测靶区综合地质图

Fig. 3 Comprehensive geological map with predicted target areas

1—Q 类预测靶区微块(Q-type predicted target microblock); 2—b 类预测靶区微块(b-type predicted target microblock); 3—Qb 类预测靶区微块(Qb-type predicted target microblock); 4—Qc 类预测靶区微块 (Qc-type predicted target microblock); 5—Qbc 类预测靶区微块 (Qbc-type predicted target microblock); 6—Qcd 类预测靶区微块(Qcd-type predicted target microblock); 7—bed 类预测靶区微块(bed-type predicted target microblock); 8—Qbcd 类预测靶区微块(Qbcd-type predicted target microblock); 9—综合预测靶区(comprehensive predicted target)

成矿关系及化探异常资料的深入分析,总结出 23 个的作为找矿靶区预测的要素条件。

(3)运用要素赋值统计方法,对有利成矿条件信息要素主观赋值、加权统计,在研究区预测出两个分别具有热液型、剪切带型金铜和斑岩型铜钼等成矿潜力的找矿靶区。

参考文献(References):

- [1] 杨晓平, 钟辉, 杨雅军, 等. 大兴安岭地区古生代构造格架重建: 来自俯冲增生杂岩研究进展[J]. 地学前缘, 2022, 29(2): 94-114.
Yang X P, Zhong H, Yang Y J, et al. Research progress on the subduction-accretion complex: Reconstruction of the tectonic framework of the Great Xing'an Range[J]. Earth Science Frontiers, 2022, 29(2): 94-114.
- [2] 唐克东, 邵济安, 李永飞. 松嫩地块及其研究意义[J]. 地学前缘, 2011, 18(3): 57-65.
Tang K D, Shao J A, Li Y F. Songnen massif and its research significance[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(3): 57-65.
- [3] 汪岩, 付俊彧, 杨帆, 等. 嫩江-黑河构造带收缩与伸展——源自晚古生代花岗岩类的地球化学证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(2): 374-388.
Wang Y, Fu J Y, Yang F, et al. Contraction and extension in Nenjiang-Heihe tectonic belt: Evidence from the Late Paleozoic granitoid geochemistry[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2015, 45(2): 374-388.
- [4] 付俊彧, 汪岩, 那福超, 等. 内蒙古莫力达瓦旗哈达阳构造混杂岩地质特征及发现的意义[J]. 地质与资源, 2015, 24(5): 408-413.
Fu J Y, Wang Y, Na F C, et al. Geology of the Hadayang tectonic melange in Inner Mongolia: Discovery significance[J]. Geology and Resources, 2015, 24(5): 408-413.
- [5] 付俊彧, 汪岩, 那福超, 等. 内蒙古哈达阳镁铁-超镁铁质岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学特征: 对嫩江-黑河地区晚泥盆世俯冲背景的制约[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1740-1753.
Fu J Y, Wang Y, Na F C, et al. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of the Hadayang mafic-ultramafic rocks in Inner Mongolia: Constraints on the Late Devonian subduction of Nenjiang-Heihe area, Northeast China[J]. Geology in China, 2015, 42(6): 1740-1753.
- [6] 付俊彧, 那福超, 李仰春, 等. 蒙古-鄂霍茨克洋南向俯冲: 小兴安岭西北部落马湖群中三叠世岩浆记录[J]. 地质通报, 2021, 40(6): 889-904.
Fu J Y, Na F C, Li Y C, et al. Southward subduction of the Mongol-Okhotsk Ocean: Middle Triassic magmatic records of the "Luomahu Group" in Northwest of Lesser Khingan Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(6): 889-904.
- [7] 梁岳岳, 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.
- [8] 杨永胜. 大兴安岭中北段与金铜钼矿有关岩浆岩成矿专属性及红彦地区成矿预测[D]. 武汉: 中国地质大学, 2017.
Yang Y S. Metallogenic specialization of gold, copper and molybdenum mineralized magmatic rocks in middle-northern Great Xing'an Range and metallogenic prediction in Hongyan area [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2017.
- [9] 杨永胜, 吴春明, 吕新彪, 等. 低硫化型与高硫化型浅成低温热液金矿蚀变特征与成矿关系的对比研究[J]. 地质与勘探, 2015, 51(4): 655-669.
Yang Y S, Wu C M, Lü X B, et al. Comparison of hydrothermal alteration characteristics of low sulfidation and high sulfidation epithermal gold deposits and their relation with mineralization [J]. Geology and Exploration, 2015, 51(4): 655-669.
- [10] 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.
Hao Y J. Mineralization and metallogenic regularity of Duobaoshan ore concentration area in Heilongjiang Province, Northeast China [D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [11] 孙德有, 吴福元, 李惠民, 等. 小兴安岭西北部造山后 A 型花岗岩的时代及与索伦山-贺根山-扎赉特碰撞拼合带东延的关系[J]. 科学通报, 2000, 45(20): 2217-2222.
Sun D Y, Wu F Y, Li H M, et al. Emplacement age of the postorogenic A-type granites in northwestern Lesser Xing'an Ranges, and its relationship to the eastward extension of Suolushan-Hegenshan-Zhalaite collisional suture zone [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(5): 427-432.
- [12] 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 the Xinkailing-Kele complex in the northwestern Lesser Xing'an Range, and its geological implications [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(2): 201-209.
- [13] 赵海滨, 莫宣学, 徐受民, 等. 黑龙江新开岭变质核杂岩的组成及其演化[J]. 地质科学, 2007, 42(1): 176-188.
Zhao H B, Mo X X, Xu S M, et al. Composition and evolution of the Xinkailing metamorphic core complexes in Heilongjiang Province [J]. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(1): 176-188.
- [14] 赵芝, 迟效国, 潘世语. 小兴安岭西北部石炭纪地层火山岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(8): 2452-2464.
Zhao Z, Chi X G, Pan S Y. Zircon U-Pb LA-ICP-MS dating of Carboniferous volcanics and its geological significance in the northwestern Lesser Xing'an Range [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(8): 2452-2464.
- [15] 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.
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.

- 2013(4): 47–49. (in Chinese)
- [7] 陈建平, 李靖, 谢帅, 等. 中国地质大数据研究现状[J]. 地质学刊, 2017, 41(3): 353–366.
- Chen J P, Li J, Xie S, et al. China geological big data research status [J]. Journal of Geology, 2017, 41(3): 353–366.
- [8] 吴龙华, 朱月霞, 侯振华, 等. 基于“互联网+”思路的地质大数据平台建设研究[J]. 中国矿业, 2023, 32(5): 65–74.
- Wu L H, Zhu Y X, Hou Z H, et al. Research on the construction of geological big data platform based on the idea of “Internet+” [J]. China Mining Magazine, 2023, 32(5): 65–74.
- [9] 于广婷, 刘同文, 曹发伟, 等. 地质大数据轻量化集成展示与专题应用[J]. 测绘通报, 2021(11): 140–144.
- Yu G T, Liu T W, Cao F W, et al. Lightweight integrated presentation and thematic application of geological big data[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021(11): 140–144.
- [10] 王凯, 刘媛媛. 吉林省地质大数据中心建设初探[J]. 吉林地质, 2021, 40(4): 80–82.
- Wang K, Liu Y Y. Preliminary discussion on the construction of geological big data center in Jilin Province[J]. Jilin Geology, 2021, 40(4): 80–82.
- [11] 王宏, 于雪鸥, 曾涛, 等. 面向地质大数据应用的云平台管理系统建设及其应用[J]. 能源与环保, 2023, 45(4): 245–253.
- Wang H, Yu X O, Zeng T, et al. Construction and application of cloud platform management system for geological big data application [J]. China Energy and Environmental Protection, 2023, 45(4): 245–253.
- [12] 杨宇谦. 地勘单位参与“大数据”项目建设的现状、问题及对策[J]. 中国国土资源经济, 2018, 31(7): 31–34.
- Yang Y Q. Current situation, problems and countermeasures of geological prospecting units participate in the “big data” project construction [J]. Natural Resource Economics of China, 2018, 31(7): 31–34.
- [13] 刘苏庆. 地质大数据分析关键技术研究与应用——以淮南地面塌陷为例[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2021.
- Liu S Q. Research and application of key technologies of geological big data analysis: Taking the ground collapse in Huainan as an example [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2021.

(上接第 584 页/Continued from Page 584)

- [16] 宋国学, 秦克章, 王乐, 等. 黑龙江多宝山矿田争光金矿床类型、U–Pb 年代学及古火山机构[J]. 岩石学报, 2015, 31(8): 2402–2416.
- Song G X, Qin K Z, Wang L, et al. Type, zircon U–Pb age and paleo-volcano edifice of Zhengguang gold deposit in Duobaoshan orefield in Heilongjiang Province, NE-China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2015, 31(8): 2402–2416.
- [17] 赵鹏大, 孟宪国. 地质异常与矿产预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1993, 18(1): 39–47.
- Zhao P D, Meng X G. Geological anomaly and mineral prediction[J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 1993, 18(1): 39–47.
- [18] 叶天竺, 吕志成, 庞振山, 等. 勘查区找矿预测理论与方法(总论) [M]. 北京: 地质出版社, 2014.
- Ye T Z, Lyu Z C, Pang Z S, et al. Theory and method of prospecting prediction in exploration area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014. (in Chinese)
- [19] 王世称. 综合信息矿产预测理论与方法体系新进展[J]. 地质通报, 2010, 29(10): 1399–1403.
- Wang S C. The new development of theory and method of synthetic information mineral resources prognosis [J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(10): 1399–1403.
- [20] 邵军. 黑龙江省呼玛–漠河地区岩金矿综合信息成矿预测[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
- Shao J. Metallogenic prediction based on synthesis information for endogenic gold deposits in Huma–Mohe area, Heilongjiang Province [D]. Changchun: Jilin University, 2005.
- [21] 叶水盛. 综合信息矿产预测系统在内蒙古大兴安岭东南部多金属矿床密集区预测应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- Ye S S. Applied study on the prediction with the prediction system of comprehensive information mineral resources in the concentration region of polymetallic deposits at the southeast section of Daxinganling Mountains in Inner-Mongolia [D]. Changchun: Jilin University, 2007.