



引文格式: 尤洪喜, 石绍山, 魏明辉, 等. 辽宁省本溪县红旗沟地区成矿条件分析及找矿靶区预测[J]. 西北地质, 2024, 57(4): 206–217. DOI: 10.12401/j.nwg.2022040

Citation: YOU Hongxi, SHI Shaoshan, WEI Minghui, et al. Analysis of Ore-forming Conditions and Prediction of Prospecting Targets in Hongqigou Area, Benxi County, Liaoning Province[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(4): 206–217. DOI: 10.12401/j.nwg.2022040

## 辽宁省本溪县红旗沟地区成矿条件分析及 找矿靶区预测

尤洪喜, 石绍山\*, 魏明辉, 秦涛, 杨佳林

(中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034)

**摘要:** 通过对辽宁省本溪县红旗沟地区区域典型矿床成矿相关岩体的成矿属性及构造、围岩等成矿条件对比分析, 认为研究区内热液石英脉型金(铜)矿床、矽卡岩型、斑岩型铜金钼多金属矿床、与基性岩有关的铜金钴镍金属矿床的极具找矿潜力。运用有利成矿条件信息的赋值统计方法, 对研究区进行金铜钼等找矿靶区预测工作。

**关键词:** 红旗沟地区; 有利成矿条件; 岩体成矿属性; 找矿靶区预测; 主观赋值统计方法; 靶区微块; 靶区类型

中图分类号: P632

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)04-0206-12

### Analysis of Ore-forming Conditions and Prediction of Prospecting Targets in Hongqigou Area, Benxi County, Liaoning Province

YOU Hongxi, SHI Shaoshan\*, WEI Minghui, QIN Tao, YANG Jialin

(Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China)

**Abstract:** Based on large quantities of Liaoning province red flag trench typical ore deposit mineralization related to regional mineralization properties of rock mass and structure, metallogenic conditions, such as comparative analysis of surrounding rock, in that study hydrothermal quartz vein type gold (copper) ore deposit, skarn type, porphyry copper gold molybdenum polymetallic deposit, related to the rock copper gold cobalt nickel metal deposit prospecting potential. Gold, copper, molybdenum and other prospecting targets in the study area are predicted by the statistical method of assigning the information of favorable metallogenic conditions.

**Keywords:** Hongqigou area; favorable metallogenic conditions; metallogenic attribute of rock mass; prediction of prospecting target area; statistical method of subjective assignment; target area microblock; target area type

收稿日期: 2022-05-12; 修回日期: 2022-09-04; 责任编辑: 曹佰迪

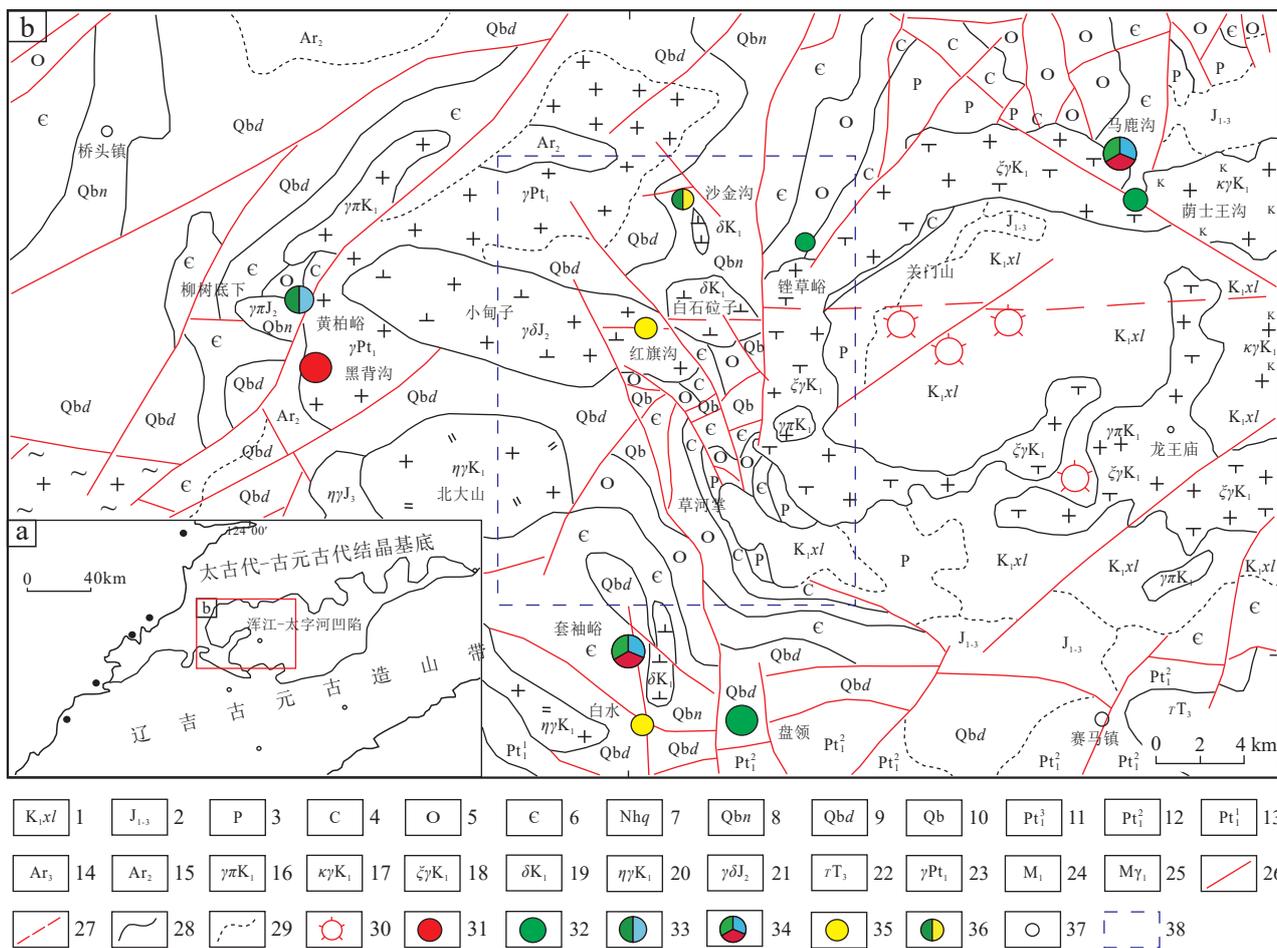
基金项目: 中国地质调查局项目“东北地区区域基础地质调查”(DD20221632)和“松辽盆地西缘嫩江—红彦地区区域地质调查”(DD20221632-01)联合资助。

作者简介: 尤洪喜(1968–), 男, 高级工程师, 主要从事矿产地质勘查、区域地质调查工作。E-mail: 2415763784@qq.com。

\* 通讯作者: 石绍山(1977–), 男, 高级工程师, 主要从事勘查地质普查及地球化学相关工作。E-mail: 38650957@qq.com。

辽宁省本溪县红旗沟地区大地构造位于新元古代—晚古生代浑江—太子河拗陷南缘与辽吉古元古代造山带毗邻部位(图1);成矿地质背景位于辽东-吉南多金属成矿带(Ⅲ级)的南芬-万宝中生代铜多金属成矿带(Ⅳ)的西部。浑江—太子河拗陷是在太古代—古元古代基底上形成的陆间拗陷盆地及陆缘海盆,历经多期次交替式的拉张下陷和构造隆升活动(李强等,2007),在其内形成的了晚元古代—古生代—中生代时期复杂的盆地沉积建造类型。出露的地层主体以

青白口系、寒武系、奥陶系为主。区域构造岩浆活动强烈,尤其燕山中晚期发育强烈的中酸性岩浆侵入和火山喷发活动,伴随岩浆活动形成的含矿流体热液与基底变质含矿热液不断叠加、汇聚,在岩体内部及与碳酸盐岩接触部位形成了众多的热液脉型金、铜金及矽卡岩型铜钼多金属矿床。例如,黄柏峪矽卡岩型铜钼矿床、马鹿沟矽卡岩型铜多金属矿床、套袖峪矽卡岩型铜铅锌多金属矿床,白水热液石英脉型金矿床等,均充分显示了区域内的极大找矿潜力。



1. 白垩系小岭组; 2. 侏罗系; 3. 二叠系; 4. 石炭系; 5. 奥陶系; 6. 寒武系; 7. 南华系桥头组; 8. 青白口系南芬组; 9. 青白口系钓鱼台组; 10. 青白口系; 11. 下元古界含铁碎屑岩建造; 12. 下元古界含铜碎屑岩-碳酸盐岩建造; 13. 下元古界含硼火山岩建造; 14. 新太古界含铜金绿岩建造; 15. 中太古界含铁建造; 16. 早白垩世花岗岩斑岩; 17. 早白垩世碱长花岗岩; 18. 早白垩世似斑状正长花岗岩; 19. 早白垩世闪长岩; 20. 早白垩世二长花岗岩; 21. 中侏罗世花岗岩闪长岩; 22. 晚三叠世粗面岩; 23. 古元古代片麻状花岗岩; 24. 太古代混合岩; 25. 太古代混合花岗岩; 26. 实测断层; 27. 推测隐伏断层; 28. 整合地质界线; 29. 不整合地质界线; 30. 火山机构; 31. 铁矿床; 32. 铜矿床; 33. 铜钼矿床; 34. 铜多金属矿床; 35. 金矿(床); 36. 铜金矿; 37. 乡镇驻地; 38. 研究区范围

图1 研究区构造位置图(a)和区域地质图(b)

Fig. 1 (a) Structural location map and (b) regional geological map of the study area

为进一步加大区域内找矿成果,精准找矿空间范围,笔者通过对区内已知典型矿床成矿地质特征及控

矿条件的深入分析,进一步提取关键性控矿地质要素条件,选取草河掌镇红旗沟地区约312 km<sup>2</sup>作为找矿

靶区预测研究区,通过对区内控矿条件要素的主观赋值加权统计方法,预测区内铜金钼等多金属找矿靶区。

## 1 典型矿床地质特征

通过典型矿床地质特征及控矿条件分析发现,区域内分布的较大型金属矿产类型主要以矽卡岩型铜钼多金属矿床为主(贺高品等, 1988; 孙宁等, 2015),其次为热液石英脉型金矿、铜金矿床。矽卡岩型多金属矿床多伴有磁铁矿、铅锌、钼等,具有工业开采价值的较多,进一步找矿的前景也较大。该类矿床点主要分布于岩体侵入灰岩围岩接触带附近(刘志宏, 2009)。已发现的同类矿床(点)较多,例如黄柏峪铜钼多金属矿床、马鹿沟铜多金属矿床、荫土王沟铜矿床、套袖峪铜多金属矿床。热液石英脉型金矿、铜金矿床主要白水金矿床,红旗沟金矿、沙金沟铜金矿等。

### 1.1 矽卡岩型矿床

黄柏峪铜钼矿床:矿区位于本溪市桥头镇东南约10 km处的黄柏峪村,矿床位于NE向韩家堡子向斜与东西向黄柏峪挤压构造带交接复合部位。区内发育EW向、NE向主要深切断裂构造。地表有较大面积1:5万水系Cu-Pb-Zn-Ag-As综合异常,中心位于区内柳树底岩体( $\gamma\pi J_2$ )西部附近。外围出露NE向展布的古元古代片麻状花岗岩( $\gamma Pt_1$ )、近EW向展布的中侏罗世小甸子-红旗沟花岗闪长岩( $\gamma\delta J_2$ )、NE向展布的早白垩世花岗斑岩( $\gamma\pi K_1$ )。矿区周围出露中太古界基底含铁建造层( $Ar_2$ )及不整合覆盖其上的青白口系钓鱼台组(Qbd)、南芬组(Qbn)、古生代寒武系(C)、奥陶系(O)、石炭系(C)等地层。近EW向柳树底岩体( $\gamma\pi J_2$ )与青白口系南芬组泥灰岩、寒武系碱厂组灰岩、奥陶系马家沟组灰岩接触部形成矽卡岩化带及相关的含铜钼多金属矿体(共发现17条矿体)。矿体主要赋存在EW向构造带内的似层状、扁豆状、囊状、网脉状矽卡岩中。矿石以热液充填交代细脉浸染状构造为主,矿石原生金属矿物主要有辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、赤铁矿,次生矿物主要有褐铁矿、铜兰、孔雀石等,脉石矿物有石英、方解石、绿泥石、绢云母等,成因类型为矽卡岩型铜钼矿床,主成矿时代为早白垩世。矿石中Cu平均品位为0.56%、Mo平均品位为0.022%。已有黄柏峪铜钼矿床成因的综合研究资料认为,在已知黄柏峪矽卡岩型铜钼矿床外围具有寻找隐伏的斑岩型、矽卡岩型和热液脉型金铜、铅锌矿

床潜力,并已发现了隐伏斑岩型矿床的初步找矿线索(吴迪, 2005)。

马鹿沟铜多金属矿床:矿床位于马鹿沟EW向构造与SN向、NE向、NW向构造交接处。地表发育近10 km<sup>2</sup>的铜铅锌钼组合异常,异常主体围绕岩体与围岩接触带展布,异常区内有马鹿沟、荫土王沟矽卡岩型铜多金属矿床分布。矿区内出露古生代寒武系(C)、奥陶系(O)灰岩。出露的岩体主要近EW向展布的早白垩世多斑状正长花岗岩( $\xi\gamma K_1$ )、中细粒碱长花岗岩( $\kappa\gamma\pi K_1$ )。其中早白垩世多斑状正长花岗岩俗称马鹿沟岩体与成矿关系密切,岩体北东侧以凹凸状与围岩接触。内外接触带多形成各种矽卡岩带,灰岩大理岩化,角岩化普遍。矿区内共发现21条矿体。除少数出露地表外,均为盲矿体。矿体一般赋予侵入接触线凹入的部位及外接触带的层间裂隙。矿体形态主要为筒状,少数为囊状,似脉状。大部分与围岩层理一致,与接触线斜交。矿石构造以致密块状为主,少数呈浸染状。矿石矿物主要为黄铜矿、磁铁矿,其次为白钨矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿等。脉石矿物为石英、萤石、方解石、白云石等。矿石品位:Cu为1.3%、Mo为0.2%、Au为 $2\times 10^{-6}$ 、Ag为 $2\times 10^{-6}$ 、W为0.08%、TFe为20%~40%。伴生有V、Ga、In、Ge、Np等稀有分散元素。矿床成因类型为高中温矽卡岩热液充填交代类型(董立军, 2017),主成矿时代为早白垩世。

套袖峪铜铅锌多金属矿床:矿区位于草合掌镇西南西6 km处的套袖峪沟里,矿床产于套袖峪NW向套袖峪背斜与NW向断裂交汇部位。背斜由新元古代青白口系、南华系、寒武系、奥陶系组成,平行及斜交背斜轴的次级断裂发育,控制成矿。矿区地表见有早白垩世SN向闪长岩脉。区内共发现4个含矿层,矿体、含矿层与地层产状一致。背斜轴部矿体呈鞍状,矿化层总厚度约为500 m。含矿围岩为南芬组泥灰岩、寒武系碱厂组角砾状灰岩,受层间裂隙、节理裂隙控制。矿体扁豆状群状、细脉状、脉状,沿走向、倾向有分枝。具工业价值的矿体142个,多为盲矿体。矿石呈块状、条带状、浸染状、细脉状,次为角砾状、斑点状。Pb、Zn、Cu、Sn、S等元素具有工业价值,Ag、Cd、In等元素可综合利用。矿石品位:Pb为1.83%、Zn为1.97%、Cu为2.34%、Sn为0.36%、S为23.4%。围岩蚀变有矽卡岩化、硅化,其次为绿泥石化,绢云母化,碳酸盐化等(辽宁省地质局区域地质测量队二分队, 1967)。成矿可分成两个阶段、7个成矿期次;第一成矿阶段为

早白垩世早期成矿阶段,成因与早白垩世二长花岗岩( $\eta\gamma K_1$ )向ES方向隐侵有关,形成I、II、III成矿期次,为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、赤铁矿、磁黄铁矿、锡石、毒砂、黝锡矿、砷黝铜矿主要成矿阶段,形成石榴子石、石英等脉石矿物。第二阶段为早白垩世中晚期阶段,与套峪早白垩世脉状侵入的闪长岩( $\delta K_1$ )有关,分4个成矿期次,形成主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、赤铁矿、磁黄铁矿、毒砂矿物,脉石矿物石英、方解石、白云石、重晶石、萤石、石膏等。矿物具垂直、水平分带现象,由浅至深铜、黄铁矿逐渐增加,铅锌相对减少;水平方向,由背斜中部到矿区南东端,也具有相同的分带特征(辽宁省地质局区域地质测量队二分队,1967)。矿床成因类型为高中温矽卡岩热液充填交代类型。

### 1.2 热液石英脉型矿床

白水金矿床:位于草河口镇套袖峪沟门EW向逆冲断裂带与南北向断裂交汇部位,早白垩世白水寺二长花岗岩( $\eta\gamma K_1$ )东部侵伏端,发育SN向闪长岩脉。矿带近EW向,以主干东西向逆掩断层为界,南侧上盘为辽河群大石桥3段地层,北侧下盘为钓鱼台组石英岩及石英砂岩,共发现26条矿体,南侧矿体发育在辽河群大理岩及片岩夹变粒岩层中,Au平均品位为 $8.93 \times 10^{-6}$ ,北侧矿体及矿化体发育在钓鱼台组石英岩及石英砂岩中的破碎带内。含矿岩石为石英岩质构造角砾岩,Au品位约为 $1.61 \times 10^{-6}$ 。矿床类型为热液石英脉+破碎蚀变岩型(刘泽增,2012)。

红旗沟金矿床:位于草河掌-四棵杨树NW向构造带与EW向构造的交接地带。控矿构造为NNE、NNW两组断裂及NW、NE、近SN向3组节理。矿体围岩为中侏罗世花岗闪长岩。矿区共发现13条含金石英脉,产状以走向 $340^\circ \sim 350^\circ$ ,倾向NE,倾角大多为 $50^\circ \sim 60^\circ$ ;走向为 $5^\circ \sim 25^\circ$ ,倾向NW,倾角为 $40^\circ \sim 60^\circ$ 。Au品位最高为 $11.64 \times 10^{-6}$ ,最低为 $0.01 \times 10^{-6}$ 。Ag品位一般为 $20 \times 10^{-6}$ ,最高为 $500 \times 10^{-6}$ 。含金石英脉为灰白色,极少数为灰黑色。矿石矿物为自然金、黄铁矿、方铅矿、自然银等。脉石矿物为石英。次生矿物有褐铁矿、孔雀石、兰铜矿、斑铜矿、磷氯铅矿、含水赤铁矿。金一般多赋存于石英脉的破碎处,或者石英脉与围岩的接触部位。往往含硫化物越多,金的含量也就越高。围岩黄铁绢英岩化、硅化、绢云母化,蚀变较广,且普遍含微量( $0.2 \times 10^{-6}$ )金(辽宁省地质局区域地质测量队二分队,1967)。

沙金沟铜金矿:位于草河掌-四棵杨树NW向构造带与EW向构造的交接地带。出露地层为钓鱼台组石英岩和南芬组页岩、泥灰岩等,侵入脉岩有闪长玢岩、辉绿岩、煌斑岩等。断层极为发育,主要为NNW、NEL两组压扭性走向断层,控制含铜石英脉的分布。矿区面积 $1.5 \text{ km}^2$ ,已发现13条矿体。最长矿体为360 m,宽为 $0.3 \sim 0.6 \text{ m}$ 。其他长度小于200 m,宽度为 $0.1 \sim 1 \text{ m}$ ,产状与断层近一致。矿体脉宽变化较大,多被脉岩穿插。含铜石英脉发育在南芬组泥灰岩中的品位高。围岩主要有黄铁矿化、硅化、绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化。各矿体矿物组合近一致,主要为黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、斜方辉铋矿、自然金等。Cu品位最高为12.59%,平均为1.40%;Au品位为 $1 \times 10^{-6} \sim 11.59 \times 10^{-6}$ ;Ag品位为 $2.6 \times 10^{-6} \sim 74 \times 10^{-6}$ ;Zn品位为0.1%;Bi品位为0.1%~0.3%;Sr品位为0.03%~0.1%。矿床成因类型为热液石英脉型(辽宁省地质局区域地质测量队二分队,1967)。

通过对典型矿床地质特征的分析,总结出各矿床的控矿地质条件见表1。矽卡岩型矿床控矿主要地质特征为酸性岩体+接触带+碳酸盐岩围岩为特征;热液石英脉及破碎蚀变岩复合型金铜矿床控矿主要地质特征为中酸性岩体基性岩脉+次级张性裂隙、破碎带为特征,对围岩选择性除了碳酸盐岩外,还包括了钓鱼台组石英岩,航磁异常方面有或靠近航磁正异常。两类矿床都发育在多组断裂交汇部位,都有对应主矿元素的化探异常分布。

## 2 控矿地质条件分析

### 2.1 侵入岩及成矿属性

为确保与成矿相关性岩体的可信度及在后续靶区预测时的可用性,根据已总结出的与典型矿床成矿相关的主要岩体的主微量元素数据(表2),对其岩浆成因类型及含矿属性进行分析判别。区内与成矿可能相关的岩体共分7类:柳树底下 $\gamma\pi J_2$ 岩体、马鹿沟 $\xi\gamma K_1$ 、荫士王沟 $\kappa\pi K_1$ 、北大山及白水矿床白水寺 $\eta\gamma K_1$ 、红旗沟 $\gamma\delta J_2$ 、沙金沟 $\gamma Pt_1$ 岩体、沙金沟 $\delta K_1$ 。笔者采用Collins等(1982)、李安石(1993)花岗岩成因类型 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 图解确定岩浆岩成因类型,采用专属性判别 $\text{Rb}/\text{Sr}-\text{SiO}_2$ 图解进行成矿属性判别(路远发,2004)。

柳树底下 $\gamma\pi J_2$ 岩体在图2a中落入S型花岗岩区

表1 典型矿床特征及有利成矿条件统计表

Tab. 1 Statistical table of typical deposit characteristics and favorable metallogenic conditions

典型矿床名称	成矿及伴生元素	成因类型	岩浆岩	控矿构造	容矿构造	赋矿围岩	矿源层	化探异常	航磁异常
黄柏峪铜钼矿床	主Cu、Mo;	矽卡岩型	1.γπJ <sub>2</sub>	1.EW∧NE断裂; 2.向斜构造	1.岩体与围岩接触带; 2.EW向断裂蚀变带	1.Qbn泥灰岩、Cj灰岩、Om灰岩; 2.矽卡岩	1.Ar <sub>2</sub> ; 2.γPt <sub>1</sub>	发育1:20万水系沉积物CuPbZnAgAs综合异常	无
马鹿沟铜多金属矿床	主Cu、Mo、Au、W、Tfe; 伴生V、Ga、In、Ge、Np	矽卡岩型	1.ξγK <sub>1</sub> ; 2.κγπK <sub>1</sub>	1.EW∧SN∧NE∧NW向断裂; 2.倒转背斜构造	1.岩体与围岩接触带; 2.近SN向层间裂隙	1.Cz灰岩、Om; 2.矽卡岩	1.ξγK <sub>1</sub> ; 2.κγK <sub>1</sub>	发育1:20万水系沉积物铜铅锌钼组合异常	无
套袖峪铜铅锌多金属矿床	主Cu、Pb、Zn、Sn、S, 伴生银、镉、锑等	矽卡岩型	1.ηγK <sub>1</sub> (隐伏); 2.δK <sub>1</sub>	1.EW∧SN∧NW断裂; 2.背斜构造	1.NW向及SN向的次级断裂; 2.层间裂隙、节理	1.Qbn泥灰岩、Cj角砾状灰岩	1.ηγK <sub>1</sub> 、 2.δK <sub>1</sub>	发育1:20万水系沉积物铜铅锌钼组合异常	无
白水金矿床	主Au	热液石英脉+破碎蚀变岩型	1.ηγK <sub>1</sub> ; 2.δK <sub>1</sub>	1.EW∧SN∧NW断裂	1.EW向断层破碎带; 2.SN向张性节理裂隙	1.Qbd石英岩、角砾岩; 2.Pt <sub>1</sub> <sup>2</sup> 大理岩, 2.δK <sub>1</sub> 片岩	1.ηγK <sub>1</sub> 、 2.δK <sub>1</sub>	发育1:20万水系沉积物AuCuPb异常	无
红旗沟金矿床	主Au, 伴生Cu、Pb、Ag	热液石英脉型	1.γδJ <sub>2</sub>	1.NNE∧NNW断裂	1.SN向节理; 2.NW向节理; 3.NE向节理	1.(γδJ <sub>2</sub> )	1.γδJ <sub>2</sub>	发育1:20万水系沉积物金铜钼组合异常	有正异常
沙金沟铜金矿	主Cu、Au; 伴生Ag、Zn、Bi、Sr	热液石英脉型	1.δK <sub>1</sub> ; 2.γPt <sub>1</sub> ; 3.δ、χ	1.NW∧EW向2.组断裂构造交接处	1.NNW向张性裂隙; 2.NE向张性裂隙	1.Qbd石英岩; 2.Qbn页岩、泥灰岩	1.γPt <sub>1</sub> ; 2.δK <sub>1</sub>	发育1:20万水系沉积物金铜钼组合异常	有正异常

表2 岩体全岩地球化学数据(主量元素:%; 稀土和微量元素: 10<sup>-6</sup>)Tab. 2 Whole-rock geochemical data of rock mass (Major elements: %; REE and Trace elements: 10<sup>-6</sup>)

岩体名称代号	样号	岩性	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO
柳树底下岩体 γπJ <sub>2</sub>	QP37S1	花岗斑岩	0.48	0.29	10.05	80.5	0.07	6.65	0.11	0.12	0.12
	QP37S3	花岗斑岩	0.42	0.61	12.47	75.52	0.11	7.95	0.04	0.28	0.28
马鹿沟ξγK <sub>1</sub>	Pm105XWG13	正长花岗岩	4.36	0.7	13.88	69.9	0.12	4.18	0.72	0.47	0.091
	Pm105XWG14	正长花岗岩	4.78	0.6	14.74	68.76	0.13	4.61	0.66	0.45	0.094
荫士王沟 κγπK <sub>1</sub>	Pm506XWG2	碱长花岗斑岩	4.86	0.75	15.32	68.44	0.11	4.39	0.49	0.38	0.09
	Pm506XWG3	碱长花岗斑岩	3.74	0.26	12.92	75.52	0.01	4.53	0.03	0.10	0.06
北大山ηγK <sub>1</sub>	QP43S1	二长花岗岩	5.24	0.06	5.24	74.96	0.06	5.47	0.06	0.008	0.008
	QP43S3	二长花岗岩	4.64	0.87	4.64	70.46	0.08	4.59	0.08	0.039	0.039
	QP39S1	二长花岗岩	4.7	0.98	4.7	71.02	0.15	4.89	0.15	0.036	0.036
	C-G6	花岗闪长岩	4.76	0.34	16.63	69.41	0.06	2.32	3.00	0.17	0.08
红旗沟γδJ <sub>2</sub>	QP34S2	花岗闪长岩	5.61	1.22	17.60	65.04	0.25	2.40	3.21	0.33	0.06
	QP34S2-3	花岗闪长岩	5.31	1.03	17.36	66.82	0.23	2.88	3.65	0.30	0.06
沙金沟γPt <sub>1</sub>	PM511G1	片二长花岗岩	3.85	0.54	12.97	75.8	0.02	4.05	0.17	0.08	0.03
	QP30D2	二长花岗岩	3.46	0.37	13.54	73.84	0.07	4.14	1.28	0.11	0.03
白石砬子δK <sub>1</sub>	PM007G18K1	角闪石闪长岩	2.84	6.08	17	46.95	0.05	0.69	12.6	1.525	0.124
	PM007G28K1	角闪石闪长岩	3.88	3.00	17.19	52.67	0.5	3.61	6.84	1.726	0.102

续表 2

岩体名称代号	样号	岩性	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO
柳树底下岩体 $\gamma\pi J_2$	QP37S1	花岗斑岩	0.34	1.72	1.72	968.8	2.65	5.75	5.382	1.77	145.7
	QP37S3	花岗斑岩	0.34	1.87	1.87	890.9	3.79	7.00	7.708	3.78	218.4
马鹿沟 $\xi\gamma K_1$	Pm105XWG13	正长花岗岩	2.77	1.8	0.9	609.39	5.24	12.52	41.307	3.72	139.05
	Pm105XWG14	正长花岗岩	2.65	1.56	0.8	905.96	3.57	12.20	34.280	3.64	148.5
荫士王沟 $\kappa\gamma\pi K_1$	Pm506XWG2	碱长花岗斑岩	4.07	2.21	0.91	737.61	4.32	8.53	33.950	4.01	143.15
	Pm506XWG3	碱长花岗斑岩	2.25	1.01	0.52	169.29	1.86	3.19	58.362	0.17	220.15
北大山 $\eta\gamma K_1$	QP43S1	二长花岗岩	1.07	0.14	1.07	485.9	1.58	6.21	20.690	2.52	216.2
	QP43S3	二长花岗岩	1.07	0.97	1.07	917.8	3.79	12.49	28.130	6.01	250.1
	QP39S1	二长花岗岩	0.93	1.9	0.93	1 127	4.90	5.50	0.050	5.20	121.9
	C-G6	花岗闪长岩	2.62	1.58	0.35	1 053	1.72	4.38	8.050	3.85	55.3
红旗沟 $\gamma\delta J_2$	QP34S2	花岗闪长岩	1.45	1.29	2.06	873.2	4.61	4.92	6.013	2.62	40.1
	QP34S2-3	花岗闪长岩	1.28	1.26	0.35	878.3	5.40	7.18	5.716	3.33	29.9
沙金沟 $\gamma Pt_1$	PM511G1	片二长花岗岩	2.02	1.31	0.37	515.64	1.34	7.13	5.620	4.35	105.44
	QP30D2	二长花岗岩	0.73	1.33	1.04	1 209.2	15.80	0.60	6.500	1.00	123.9
白石砬子 $\delta K_1$	PM007G1 $\delta K_1$	角闪石闪长岩	10.776	6.76	1.18	1 601	18.00	27.06	21.700	32.52	77.6
	PM007G2 $\delta K_1$	角闪石闪长岩	9.774	5.25	0.57	109	1.72	7.34	56.740	1.80	199

岩体名称代号	样号	岩性	Sr	V	Zr	Hf	Ta	Li	Th	U	Rb/Sr	数据来源
柳树底下岩体 $\gamma\pi J_2$	QP37S1	花岗斑岩	150.7	34.58	105.4	4.04	4.04	4.04	1.15	0.72	1.03	①
	QP37S3	花岗斑岩	152.3	54.93	53.6	2.55	2.55	2.55	1.66	0.93	0.70	①
马鹿沟 $\xi\gamma K_1$	Pm105XWG13	正长花岗岩	186.1	20.98	382.1	10.01	1.89	20.26	15.83	2.29	0.75	②
	Pm105XWG14	正长花岗岩	188.3	21.26	329.1	10.56	1.25	16.52	14.08	2.22	0.79	②
荫士王沟 $\kappa\gamma\pi K_1$	Pm506XWG2	碱长花岗斑岩	229.1	23.32	303.5	8.62	1.91	17.27	5.405	2.10	0.62	②
	Pm506XWG3	碱长花岗斑岩	23.1	4.37	226.6	9.46	4.11	7.53	7.013	4.52	9.52	②
北大山 $\eta\gamma K_1$	QP43S1	二长花岗岩	201.6	10.87	64.5	3.10	3.14	15.90	27.79	3.99	1.07	①
	QP43S3	二长花岗岩	446.3	20.55	160.1	6.14	4.33	46.58	22.43	3.94	0.56	①
	QP39S1	二长花岗岩	540.6	24.18	89.6	3.11	0.83	0.32	3.82	1.18	0.23	①
	C-G6	花岗闪长岩	1 015.4	9.03	124	3.25	0.45	19.23	0.78	0.78	0.05	②
红旗沟 $\gamma\delta J_2$	QP34S2	花岗闪长岩	1 162.0	69.50	119.1	4.53	1.35	9.98	1.74	0.56	0.03	①
	QP34S2-3	花岗闪长岩	1 212.0	60.88	6.4	0.55	1.31	7.34	0.84	0.47	0.02	①
沙金沟 $\gamma Pt_1$	PM511G1	片二长花岗岩	104.5	9.27	81.78	2.22	0.62	4.12	11.91	6.58	1.01	②
	QP30D2	二长花岗岩	488.8	13.70	138.7	12.50	8.14	20.00	10.2	2.00	0.25	①
白石砬子 $\delta K_1$	PM007G1 $\delta K_1$	角闪石闪长岩	988.1	146.67	234	4.35	1.44	15.76	4.17	1.45	0.08	②
	PM007G2 $\delta K_1$	角闪石闪长岩	28.2	5.01	257	6.90	4.49	13.66	9.54	2.74	7.06	②

注: ①数据来源于辽宁省地质调查院(2014); ②数据来源于沈阳地质调查中心(2015)。

域,与 Sn-W 型矿化作用有关(Collins et al., 1982); 在图 2b 中落入矽卡岩型白钨矿区,二者结论近一致,与黄柏峪矽卡岩型铜钼矿床的实际成矿类型一致,但主矿元素尚有差异;马鹿沟  $\xi\gamma K_1$ 、荫士王沟  $\kappa\gamma\pi K_1$  在图 2a 中落入 I-A 型花岗岩过渡区域,仅荫士王沟  $\kappa\gamma\pi K_1$  一个样品落入 A 型花岗岩过渡区域,与斑岩型

铜矿化作用有关(朱国宝, 2019), 在图 2b 中主体落入矽卡岩型白钨矿区,荫士王沟  $\kappa\gamma\pi K_1$  一个样品落入与斑岩型钼矿区域,结合二者结论与马鹿沟矽卡岩型铜钼矿床类型、主矿元素近一致、尚有寻找斑岩型铜钼矿床潜力;北大山及白水矿床白水寺  $\eta\gamma K_1$  在图 2a 中落入 I-A 型花岗岩过渡区域,在图 2b 中主体落入矽卡

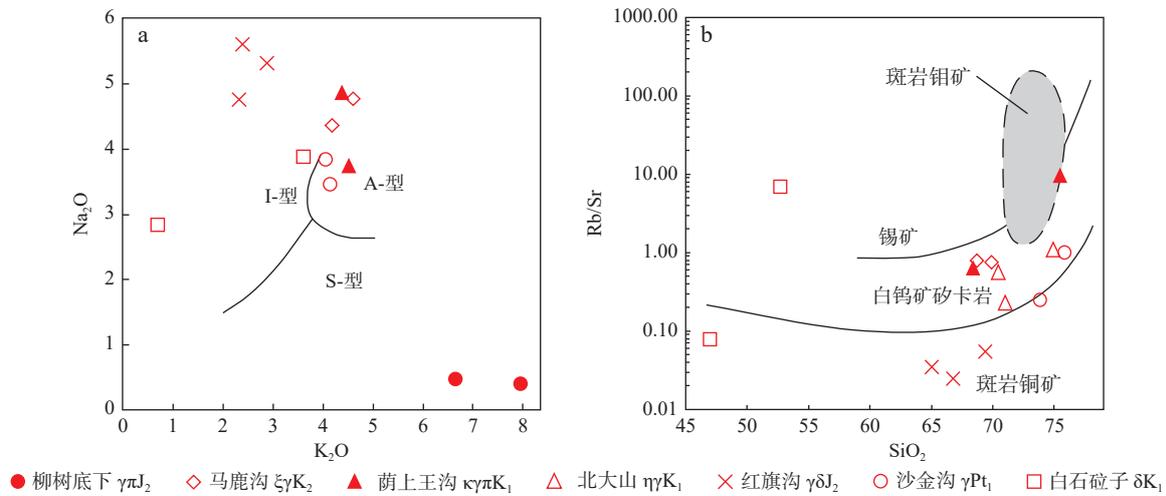


图2 岩体成因类型 Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O 图解(a) (据 Collins et al., 1982) 和成矿专属性判别 Rb/Sr-SiO<sub>2</sub> 图解(b) (据 Blevin et al., 1995)

Fig. 2 (a) Diagram of Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O and (b) diagram of Rb/Sr-SiO<sub>2</sub> discrimination of metallogenetic specificity

岩型白钨矿区,与套袖峪铜铅多金属矿床特征吻合较好,与白水金矿床略有差异;红旗沟 γδJ<sub>2</sub> 在图 2a 中落入 I 型花岗岩过渡区域,在图 2b 中主体落入斑岩铜矿区域,与实际略有差异,但示矿性好,说明除热液石英脉型金矿床外,该区尚有斑岩型铜金矿床找矿潜力;沙金沟 γPt<sub>1</sub> 两个岩体样品落入图 2a 的 A 型花岗岩区,图 2b 的矽卡岩型白钨矿与斑岩型铜矿过渡区,与石英脉型沙金沟铜金矿在成矿类型上略有差异,说明该区尚有矽卡岩型、斑岩型铜金矿床的找矿潜力;沙金沟 δK<sub>1</sub> 的两个样品在图 2a 中都落入 I 型花岗岩内,图 2b 中分别落入斑岩铜矿和锡矿区域,虽与该区热液石英脉型铜金矿类型有差异,但也能说明该区尚有斑岩型铜金矿床的找矿潜力。总体说明这 7 类岩体与已知典型矿床的成矿相关性很好,可以作为预测斑岩型、矽卡岩型金铜矿的侵入岩条件。

## 2.2 控矿、容矿构造

典型矿床特征及有利成矿条件统计表(表 1)显示,区内典型矿床都发育在多组断裂交汇部位,不同之处在于褶皱构造对矽卡岩型矿床产出部位也具有明显的控制作用。譬如黄柏峪铜钼矿床形成于黄柏峪 EW 向断裂、NE 向断裂、褶皱与黄柏峪岩侵入体西端的 4 组构造交汇部位;马鹿沟铜多金属矿床、荫士王沟矿床形成于 EW 向错草峪-荫士王沟断裂、NE 向关门山-荫士王沟断裂、NW 向荫士王沟断裂、SN 向马鹿沟断裂带、同斜背形褶皱,早白垩世两个岩体侵入端的 7 组构造共同交汇部位,南部的套袖峪铜多金属矿床也是形成于套峪 EW 向断裂、SN 向断裂、脉状

闪长岩、NW 向断裂、背斜、早白垩世北大山岩体东南隐伏端 6 组构造的交汇部位。

容矿构造处于 NW 向、SN 向、NE 向张性节理裂隙和 EW 向的破碎蚀变带发育部位,岩体侵入形成的环形接触带、环形、放射状张性裂隙对矽卡岩型矿床产出部位也具有明显的控制作用。有多组构造交汇部位是与导矿深断裂融通部位,是含矿热液运移和富集部位;多组断裂交汇部位,在断裂活动时,因为有多组地质块体边界汇聚,不同块体内的应变存在差异,易形成张应力集中和次级张性节理裂隙,利于能效释放和成矿物质卸载,具有容矿作用。例如,红旗沟地区位于 EW 向、SN 向、NW 向、NE 向 4 组断裂交汇的核心部位,中侏罗世岩体沿 EW 向断裂侵入,对断裂南北侧围岩产生侧向挤压,在岩体南北侧区域以及岩体内部形成 SN 向张性裂隙构造;岩体垂向顶掀及冷凝产生的回缩塌陷作用都会在岩体内部及与围岩接触的周边部位形成的近环状交织放射状的张裂构造;早白垩世发育的 NE 向、NW 向扭性断裂、SN 向侵入岩体可以在构造附近区域形成较广泛分布的 NNW 向、NNE 向、近 EW 向的张性裂隙构造。以上说明控矿及容矿构造是决定矿床定位的关键构造要素条件。

## 2.3 围岩条件分析

通过对区内众多铜钼多金属矿床、金(铜)矿的矿体围岩统计结果(表 1)可知,区内铜钼、金等成矿对碳酸盐岩、中酸性岩体、钓鱼台组石英岩等围岩具有明显的选择性。

区内几处较大规模矿床如黄柏峪铜钼矿床、马鹿

沟铜多金属矿床、荫土王沟铜矿床、套袖峪铜多金属矿床等都是矽卡岩型矿床。矿体主要赋存在岩体与碳酸盐岩层接触部所形成的矽卡岩带内,如黄柏峪铜钼多金属矿床矿体(含矿矽卡岩)主要发育在寒武系张夏组灰岩、南芬组泥灰岩、奥陶系灰岩与黄柏峪中酸性花岗闪长岩体( $\gamma\delta J_2$ )接触部形成的近EW向矽卡岩带内;马鹿沟、荫土王沟铜多金属矿床含矿矽卡岩主要发育在寒武系馒头组、张夏组灰岩与马鹿沟多斑状正长花岗岩( $\xi\gamma K_1$ )、荫土王沟中细粒碱长花岗岩( $\kappa\gamma K_1$ )接触部形成的矽卡岩带内;套袖峪铜多金属矿床矿体产于南芬组泥灰岩、寒武系碱厂组角砾状灰岩与隐伏岩体接触部附近发育的矽卡岩带内。说明区内较大规模的矽卡岩型铜钼多金属矿床成矿对碳酸盐岩层选择性最好,而碳酸盐岩建造在区内分布最为广泛,条件可据。热液脉型金矿矿体主要赋存在侏罗世花岗闪长岩体、青白口系钓鱼台组石英岩、南芬组泥灰岩中的石英脉及蚀变破碎带中。如白水金矿产于青白口系钓鱼台组石英岩中的9号、20号金矿体,含矿岩石为钓鱼台组石英岩质构造角砾岩,沙金沟铜金矿的含铜金石英脉主要发育在南芬组泥灰岩中,红旗沟金矿矿体主要赋存于花岗闪长岩体内的石英脉中,围岩黄铁绢英岩化、硅化、绢云母化蚀变较广,经分析也含微量( $0.2 \times 10^{-6}$ )金。可见区内石英脉型金矿体主要在青白口系的钓鱼台组石英岩、南芬组的泥灰岩层、侏罗世花岗闪长岩中分布,金成矿对围岩也有比较明显的选择性。

以上分析说明围岩条件是成矿的关键要素条件,在区内分布范围明显。青白口系钓鱼台组、南芬组在区内广泛分布,侏罗世花岗闪长岩体出露面积也很大,目前仅在岩体内的东部红旗沟一带发现了1处石英脉型金矿,青白口系钓鱼台组、南芬组中仅在南部白水、北部沙金沟一带发现了热液脉型金矿,根据有利的成矿围岩条件分析,其他地区还有发现类似金矿的潜力。

#### 2.4 矿源层

富含矿质的前寒武变质基底建造和广泛发育的燕山期岩浆岩为区内提供了丰富的内生金属成矿物质基础。

在区内发育太古代混合花岗岩( $M\gamma_1$ )、混合岩( $M_1$ )、中太古代含铁建造( $Ar_2$ )、下元古界含硼火山岩建造( $Pt_1^1$ )、下元古界含有色贵金属碎屑岩-碳酸盐岩建造( $Pt_1^2$ )、下元古界含铁碎屑岩建造( $Pt_1^3$ )等富含Fe、

Cu、Au、Pb、Zn、Co等元素的前寒武变质基底建造;区内广泛出露的中寒武世张夏组灰岩,Cu、Pb、Zn平均含量普遍高于地壳克拉克值的5~30倍,也是区内重要的含矿碳酸盐岩建造。深部气液流体上升经过这些含矿建造层时,能够对矿质金属产生淬取和再次富集作用。

岩石地球化学特征显示:中侏罗世红旗沟花岗闪长岩( $\gamma\delta J_2$ )为形成于碰撞后抬升和造山晚期的壳幔混源相对富钠过铝质碱性系列的I型花岗岩(石绍山等,2014;朱国宝,2019),在熔体成岩过程中,形成的气液流体富含Cu、Au、Ag、Mo、Pb、Zn、W等元素,与斑岩型Cu、Mo(Au、Ag)、Pb、Zn、W成矿有关(杨永胜,2017);早白垩世马鹿沟多斑状正长花岗岩( $\xi\gamma K_1$ )及荫土王沟碱长花岗岩( $\kappa\gamma K_1$ )为形成于后造山伸展环境下,壳源高钾钙碱系列的A型花岗岩(毕献武等,1999),能够形成富含Sn、Mo、Nb、Ta、Zr、Hf、Y、REE、U、Be等元素的气液流体,与Sn、Mo及稀有金属成矿有关。岩浆活动为流体向上运移提供热动力同时,也为成矿流体提供了丰富的矿质元素,是内生金属成矿的主要矿源层。

#### 2.5 物化遥异常及矿化蚀变信息

物探、化探、遥感异常及矿化蚀变是成矿预测和勘查找矿的间接或直接标志信息,在实际找矿预测中,考虑预测区内物探、化探、遥感成果数据精度、覆盖程度不同等问题,需要结合实际掌握的数据资料完备程度,对物化遥异常及矿化蚀变信息进行取舍,剔除那些不完整、掌握不充分的要素条件。

涵盖全区的重力资料只有1:20万区域重力布格异常图,重力场总体上从东南向西北呈逐渐升高的趋势,局部还是有些高低变化,局部异常应当是浅部地质体的反映,东部的重力低是中酸性侵入体的反映,局部重力高应是古生界碳酸盐岩地层以及太古宙地质体所引起。区域重力测量资料使用的数据比例尺较小,只勾画出较大规模的断裂构造和一定深度地质体的物性差异界面,其解译成果与小面积范围的实际构造形迹存在较大的偏差性,所以在小面积中大比例尺(本文)靶区预测时不采用。

涵盖全区的航磁资料有1:5万航磁 $\Delta T$ 异常图,反映的地磁场特征总体比较平稳,局部强磁异常为铁矿床异常。区内具有磁性的地质体主要是太古界鞍山群、太古宙片麻杂岩、古元古界辽河群,“鞍山式”铁矿;辉长闪长岩体也能引起明显的航磁异常,二长

花岗岩等侵入岩为弱磁性。其他时代地层均为无磁性或弱磁性,一般不会引起明显的航磁异常。在区内铁矿床、辉长闪长岩体航磁异常反映明显,铜金等矿床无明显异常显示。因此,笔者在靶区预测时不采用航磁异常信息条件。遥感信息提取的蚀变异常因受人类活动所产生的信息干扰性较大,经验证与已知的矿床、矿化点对应性一般,所以在本次靶区预测中不采用该要素。

区域化探资料较多,能涵盖全区的只有1:20万的水系沉积物测量的异常成果资料,水系沉积物测量有Cu、Pb、Zn、Ag、Hg、W、Co、Mo、As、Au异常。发育有黄柏峪-兰河峪-缸草甸子-白水等多个重要的金属成矿异常带。异常带中有规模较大的Pb、Zn异常,Cu异常,Au、Ag异常,Mo异常多处,且异常区内多数有重砂金、铅异常及沙金存在,多数与矿床、矿点对应。化探异常信息成矿指示意义明显。

地表已知矿化蚀变信息是勘查找矿的重要标志,但因各区域内地质工作程度不同以及人为因素的影响等,会使有的矿化信息被疏漏,局部矿化信息分布密集的不客观现象。因此,用地表已知矿化蚀变信息进行靶区预测意义不大,但作为验证靶区预测结果,指导进一步找矿工作具有重要意义。

### 3 找矿靶区预测

#### 3.1 预测方法

笔者运用赵鹏大等(1993)、叶天竺等(2014)、王世称(2010)、刘绍平(2011)等成矿预测理论方法(梁帅等,2013;杨佳佳等,2016),结合区域内典型铜金钼多金属矿床成矿条件的分析总结,把研究区有利成矿的侵入岩条件、构造条件、围岩及矿源层条件、化探异常条件等作为成矿预测要素条件,并分别进行权重赋值,圈定分布范围、绘制多要素叠合图,根据需要布设合适尺度的网格,对网格内各要素权重进行加权统计。

#### 3.2 圈定成矿要素分布范围

将预测区内的岩体 $\gamma\delta J_2$ 、 $\delta K_1$ 、 $\xi\gamma K_1$ 、 $\eta\gamma K_1$ 分别设置为要素a1、a2、a3、a4。将预测区内有4组方向以上的断裂构造等构造形迹交汇部位设置为要素b1,将2~3组方向以上的断裂等构造形迹交汇部位设置要素b2,将褶皱及扭性断裂派生张裂区域、岩体侵位形成环状放射状裂隙范围区域设置要素b3。将太古

代含铁建造及元古代片麻状花岗岩 $\gamma Pt_1$ 设置要素为c1,钓鱼台组石英岩设置要素为c2,南芬组泥灰岩设置要素为c3,寒武系奥陶系灰岩设置要素为c4,中侏罗世花岗岩闪长岩、早白垩世闪长岩设置要素为c5。将1:20万水系沉积物铜异常区设置要素为h1,金异常区设置要素为h2,钼异常区设置要素为h3,共设15个要素条件。

圈定成矿要素分布范围,用制图软件(CorelDRAW或MAPGIS等)分图层(一个要素对应用一个图层)圈定要素分布范围,形成不同色彩度的图层区文件,标注图层名称、属性。

#### 3.3 叠合图网格化处理及要素组合权重统计

对根据要素条件圈定的单要素区进行叠合,获研究区得多要素叠合图,然后对叠合图进行网格化,采用2 km×2 km的正方形网格。

对各成矿要素进行主观权重赋值,主要根据前面典型矿床分析总结出的各类型矿床中成矿要素对成矿贡献程度或重要性主观打分赋值,笔者用三级分值进行权重赋值:关键要素赋值1,重要赋值0.5,不重要赋值0,要素权重赋值结果见表3。

表3 成矿要素权重赋值表

Tab. 3 Weight assignment table of ore-forming elements

要素名称	要素属性	热液型金 铜矿床相 关要素权 重赋值	矽卡岩型 铜金矿床 相关要素 权重赋值	斑岩型铜 钼金矿床 相关要素 权重赋值
a1	岩体 $\gamma\delta J_2$	1	1	1
a2	岩体 $\delta K_1$	1	1	1
a3	岩体 $\xi\gamma K_1$	0	1	0.5
a4	岩体 $\eta\gamma K_1$	0.5	1	0.5
b1	4组以上断裂交汇处	0.5	1	1
b2	2~3组断裂交汇处	1	0.5	0.5
b3	褶皱、派生张裂、 环状放射状裂隙	1	0.5	1
c1	元古代片麻状花岗 岩 $\gamma Pt_1$	0.5	0	0.5
c2	钓鱼台组石英岩	1	0	0.5
c3	南芬组泥灰岩	0.5	0.5	0.5
c4	寒武系奥陶系灰岩	0	1	0.5
c5	岩体 $\gamma\delta J_2$ 、岩体 $\delta K_1$	1	0	1
h1	1:20万水系铜异常	1	1	0.5
h2	1:20万水系金异常	1	1	0.5
h3	1:20万水系钼异常	0	0.5	0.5
	总权重	10	10	10

按 3 种不同类型矿床的要素赋值, 分别代入统计, 岩型铜钼金矿床 3 种类型矿床预测靶区网格权值得出热液石英脉型金铜矿床、矽卡岩型铜金矿床、斑 (表 4)。

表 4 三种类型矿床预测区网格权值统计表

Tab. 4 Statistical table of grid weights of predicted target areas of three types of ore deposits

石英脉型金铜矿床预测区网格加权值									矽卡岩型铜金床矿预测区网格加权值									斑岩型铜钼金矿床预测区网格加权值								
x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	
y10	2.5	3.5	4.5	6	5.5	3.5	1	1	y10	1.5	2.5	3.5	4	4	3.5	2	1.5	y10	2	3	3.5	4.5	4.5	3	1	1.5
y9	2.5	4.5	4.5	4.5	5.5	3.5	2	2	y9	2	2.5	2.5	3	4.5	3.5	2	3	y9	2.5	3.5	3.5	3.5	4	3	2	2.5
y8	5	5	3.5	7	6	8	3.5	2	y8	3	3	2.5	5	5	6	5	2	y8	4.5	4.5	3	6	5.5	7	4	2
y7	2	3	5.5	8	5.5	7	2.5	1	y7	1.5	2	3.5	6	5.5	5.5	3.5	1.5	y7	2.5	3.5	5	7	5.5	6.5	3	1.5
y6	4	3	5.5	5.5	7.5	6.5	1.5	1	y6	1.5	1.5	4.5	5.5	7.5	5.5	3	2	y6	3.5	3	5.5	5.5	8	6	2	1
y5	2.5	4.5	3.5	4.5	4.5	3.5	1.5	1	y5	1.5	2.5	2.5	4	5	5	3.5	2	y5	2	4	3.5	5	4.5	4.5	2.5	1
y4	0.5	2.5	3	3	2.5	1.5	1.5	0	y4	1	1.5	3	4	4.5	4	3.5	1	y4	0.5	2	3.5	3.5	3	3.5	3	0.5
y3	1.5	3.5	4	1.5	2	1	1	0	y3	1.5	3	2.5	2	2.5	1.5	2.5	1	y3	1	3	3.5	1.5	1.5	1.5	2	0.5
y2	3	5.5	6	3.5	1.5	0	1	1	y2	2.5	5.5	4.5	3.5	2	1	1.5	1.5	y2	2.5	4.5	4.5	3	1.5	0.5	1.5	1.5
y1	3	3.5	5	6	2	0	0	0	y1	3	2.5	4	5.5	2	1	1	1	y1	2.5	2.5	3.5	5	2	0.5	0.5	0.5

### 4 预测结果

#### 4.1 预测靶区圈定方法

理论上缺少成矿要素 a、b、c 中的任一项是不利成矿区; 一般权值越高的靶区成矿潜力越大。针对 3 种不同类型矿床圈定预测靶区选取不同的阈值进行

靶区圈定, 主要参考区内已知矿床(点)出露部位的最低权值作为阈值圈定同类型矿床预测靶区。区内已知热液石英脉型金铜矿床(点)两处(图 3), 其一为红旗沟金矿床, 位于微区块 x3y6(5.5)、x3y7(5.5)、x4y6(5.5)、x4y7(8)围域内, 沙金沟铜金矿位于微区块 x4y9(4.5)、x4y9(6)、x5y10(5.5)、x5y10(5.5)围域内, 所以阈值选为 4.5, 将权值 ≥ 4.5 的微区块圈定为热液

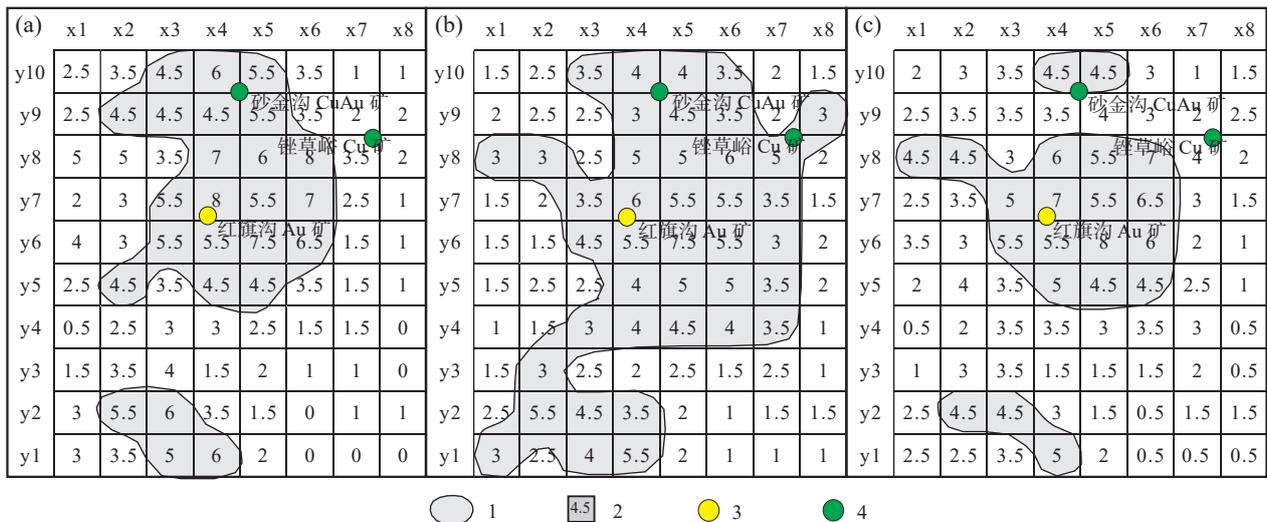
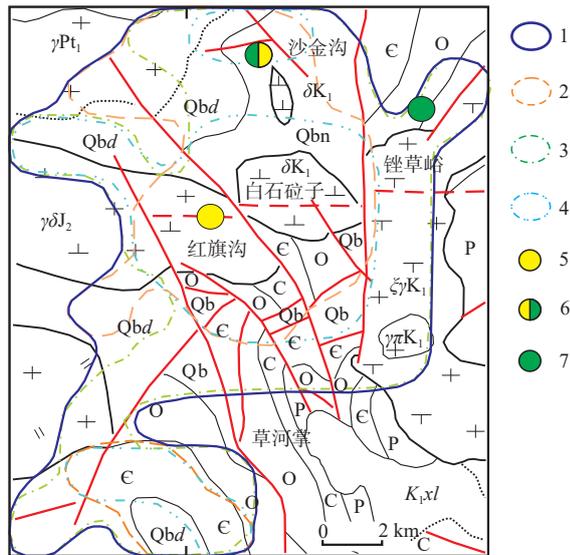


图 3 石英脉型金矿靶区预测图(a)、矽卡岩型铜金矿靶区预测图(b)和斑岩型铜钼金矿靶区预测图(c)  
Fig. 3 (a) Prediction map of quartz vein type gold deposit, (b) skarn type copper-gold deposit and (c) porphyry type copper-molybdenum-gold deposit

石英脉型金铜矿床预测靶区, 权值小于 4.5 的作为不含矿区域; 区内已知矽卡岩型铜矿床为错草峪小型铜矿床(图 3), 位于微区块 x7y8(5)、x7y9(2)、x8y8(2)、x8y8(3)围域内, 阈值选为 3; 区内虽没有已知斑岩型铜钼多金属矿床, 但其成矿热液来源与热液型矿床很可能是同源或相关的, 在圈定斑岩型矿床预测靶区时阈值也选定 4.5。

#### 4.2 靶区圈定预测结果

圈定热液石英脉型金铜矿预测靶区两处, 包含 27 个靶区微块, 总面积为 108 km<sup>2</sup>(图 3a); 圈定矽卡岩型铜金多金属矿预测靶区 1 处, 包含 40 个靶区微块, 总面积为 160 km<sup>2</sup>(图 3b); 圈定斑岩型铜钼多金属矿预测靶区 3 处, 包含 21 个靶区微块, 总面积为 84 km<sup>2</sup>(图 3c)。将 3 个类型靶区预测图进行叠合, 并与预测区地质图套合, 绘制得出预测靶区分布地质图(图 4), 获得预测综合找矿靶区 1 处。



1. 预测综合找矿靶区; 2. 石英脉型金铜矿预测靶区; 3. 矽卡岩型铜金矿预测靶区; 4. 斑岩型铜钼矿预测靶区; 5. 石英脉型金铜矿床; 6. 石英脉型铜金矿床; 7. 矽卡岩型铜矿床

图4 预测靶区分布地质图

Fig. 4 Geological map of predicted target area distribution

## 5 结论

(1) 通过与区域典型矿床及有利成矿条件的对比分析, 认为红旗沟地区极具成矿有利的矿源层、围岩、聚矿构造和岩浆岩条件。

(2) 通过对研究区出露的岩体与区域典型矿床相关的成矿岩体在主微量元素特征及成矿属性方面的

对比分析, 认为研究区内不仅具有寻找较大的热液石英脉型金矿、矽卡岩型铜金钼多金属矿床的潜力, 而且尚具有寻找斑岩型铜钼多金属矿床以及与基性岩(红旗沟  $\delta K_1$ )有关的铜金钴镍及稀散金属矿床的潜力。

(3) 运用有利成矿条件赋值统计方法在研究区内预测出综合找矿靶区 1 处, 热液石英脉型金铜矿预测靶区两处, 矽卡岩型铜金矿预测靶区 1 处, 斑岩型铜钼金矿预测靶区 3 处。

## 参考文献(References):

- 毕献武, 胡瑞忠, 叶造军, 等. A 型花岗岩类与铜成矿关系研究——以马厂箐铜矿为例[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(6): 490-495.
- BI Xianwu, HU Ruizhong, YE Zaojun, et al. Study on the relationship between A-type granitoids and copper mineralization: A case study of Machangqing Copper Mine[J]. Science in China (Series D), 1999, 29(6): 490-495.
- 董立军. 辽宁省本溪县陈英-兰河峪铜多金属矿找矿潜力分析[J]. 有色矿冶, 2017, 33(1): 9-12.
- DONG Lijun. Analysis on the Ore Prospecting Potential of Copper Multi-metal Resources of Chenying-Lanheyu District in Benxi, Liaoning[J]. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 2017, 33(1): 9-12.
- 贺高品, 叶慧文. 辽东-吉南地区早元古代两种类型变质作用及其构造意义[J]. 岩石学报, 1988, 14(2): 152-162.
- HE Gaopin, YE Huiwen. Two types of Early Proterozoic metamorphism and its tectonic significance in Eastern Liaoning and Southern Jilin Area[J]. Acta Petrologica Sinica, 1988, 14(2): 152-162.
- K-51-XXIX(宽甸)幅矿产图说明书 1: 20000[R]. 辽宁省地质局区域地质测量队二分队, 1967.
- 李强, 张捷, 廖勇, 等. 辽东裂谷的基本特征及含矿建造划分[J]. 有色矿冶, 2007, 23(4): 9-12.
- LI Qiang, ZHANG Jie, LIAO Yong, et al. Basic features of Liaodong rift and categorization of its Ore-bearing formation[J]. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 2007, 23(4): 9-12.
- 李安石. 辽宁省侵入岩与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- LI Anshi. Intrusive rocks and mineralization in Liaoning Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.
- 路远发. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 460-464.
- LU Yuanfa. GeoKit: A geochemical toolkit for Microsoft Excel[J]. Geochemistry, 2004, 33(5): 460-464.
- 刘绍平. 数学地质方法及应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.

- LIU Shaoping. LIU Shaoping. The methods and applications on mathematical geology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.
- 刘志宏. 黑龙江省翠宏山钨钼锌多金属矿床地质特征及成因[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- LIU Zhihong. Geological characteristics and origin of deposit in Cuihongshan W, Mo, Zn Polymetatic Deposit [D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- 刘泽增. 本溪白水文成矿区带地质特征及远景[J]. 有色矿冶, 2012, 28(5): 1-3.
- LIU Zezeng. Geological Characteristics and Mining Prospect of Baishui Gold Mine Belt in Benxi City[J]. Non-ferrous Mining and Metallurgy, 2012, 28(5): 1-3.
- 梁帅, 翟富荣, 杨占兴, 等. 辽东二棚甸子-万宝地区铜多金属矿床控矿条件分析及成矿预测[J]. 矿床地质, 2013, 32(2): 415-426.
- LIANG Shuai, ZHAI Furong, YANG Zhanxing, et al. Ore-controlling conditions and metallogenic prognosis of copper polymetallic deposits in Erpengdianzi-Wanbao area of eastern Liaoning Province[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(2): 415-426.
- 辽宁地质勘察院. 辽宁1:5万桥头镇幅、本溪市幅、南芬幅、铁山街幅区域地质调查报告[R]. 2014.
- 石绍山, 尤洪喜, 成龙, 等. 辽宁本溪地区关门山岩体地球化学特征及构造环境[J]. 地质与资源, 2014, 34(5): 441-445.
- SHI Shaoshan, YOU Hongxi, CHENG Long, et al. Geochemistry and tectonic environment of the Guanmenshan intrusive rocks in Benxi area, Liaoning Province[J]. Geology and Resources, 2014, 34(5): 441-445.
- 沈阳地质调查中心. 辽宁1:5万本溪县、草河掌、田师傅、南孤山子幅区域地质调查报告[R]. 2015.
- 孙宁, 孔凡乾, 韦龙明, 等. 广东省麻布岗地区银多金属矿床地质特征及找矿方向[J]. 有色金属(矿山部分), 2015, 67(1): 43-46.
- SUN Ning, KONG Fanqian, WEI Longming, et al. Geological characteristics and exploration potential of Mabugang Ag-Polymetallic Deposits, Guangdong Province[J]. Non-Ferrous Metals (Mining Section), 2015, 67(1): 43-46.
- 吴迪. 本溪黄柏峪铜钼矿床成矿地质条件浅析[J]. 有色矿冶, 2005, 21(3): 8-11.
- WU Di. The Ore-forming Condition of the Cu-Mo Deposit in Huangbaiyu Area of Benxi[J]. Non-Ferrous Mining and Metallurgy, 2005, 21(3): 8-11.
- 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 Shicheng. The new development of theory and method of synthetic information mineral resources prognosis[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(10): 1399-1403.
- 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 Tianzhu, LV Zhicheng, PANG Zhenshan, et al. Theory and method of prospecting prediction in exploration area (General) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- 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: 中国地质大学武汉, 2017.
- YANG Yongsheng. Metallogenic Specialization of Gold, Copper and Molybdenum Mineralized Magmatic Rocks in the Middle-Northern Great Xing'an Range and Metallogenic Prediction in Hongyan Area[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2017.
- 杨佳佳, 林楠. 基于证据加权模型的综合信息成矿预测[J]. 地质学报, 2016, 90(10): 2908-2918.
- YANG Jiajia, LIN Nan. Comprehensive Information Prospecting Based on the Weighted Evidence Model[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(10): 2908-2918.
- 朱国宝. 辽宁东部地区中侏罗世黄柏峪岩体地球化学特征及其构造环境[J]. 资源信息与工程, 2019, 34(5): 20-22.
- ZHU Guobao. Geochemical characteristics and tectonic environment of the Middle Jurassic Huangbaiyu Pluton in eastern Liaoning [J]. Resource Information and Engineering, 2019, 34(5): 20-22.
- 赵鹏大, 孟宪国. 地质异常与矿产预测[J]. 地球科学, 1993, 18(01): 39-47.
- ZHAO Pengda, MENG Xianguo. Geological anomaly and mineral prediction[J]. Earth Science, 1993, 18(01): 39-47.
- Blevin P L, Chappell B W. Chemistry, origin and evolution of mineralized granites in the Lachlan Fold Belt, Australia; the metallogeny of I- and S-type granites[J]. Economic Geology, 1995, 90(6): 1604-1619.
- Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. Nature and origin of A type granites with particular reference to Southeastern Australia[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1982, 80: 189-200.