

DOI: 10.12401/j.nwg.2022036

内蒙古北山成矿带月牙山-老硐沟地区 金多金属矿床成矿预测

陈耀^{1,2}, 张成³, 张青³, 曹磊³, 付乐兵^{1,*}, 刘冬勤², 杨伟卫², 蔡恒安², 尚世超²

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 湖北省地质局第一地质大队, 湖北 大冶 435100;
3. 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 位于内蒙古自治区北山成矿带东南部的月牙山-老硐沟地区发育有月牙山、老硐沟等一系列金多金属矿床。笔者对该区典型金多金属矿床的地质特征和关键控矿因素进行了系统研究, 结合各类找矿信息开展综合找矿预测工作。研究表明, 区内的典型金多金属矿床多伴生 Ag、Pb、Zn 等元素, 矿体受加里东-华力西期中酸性岩体、北西-北西西向断裂控制, 为典型的热液脉型金多金属矿床。高磁异常体、北西-北西西向断裂、Au-Ag-Sb 地球化学异常叠加部位为此类矿床的有利找矿地段。笔者采用 MRAS 软件对各类找矿信息进行综合, 共圈定 4 个找矿靶区, 野外查证在其内均发现重要矿化线索, 为研究区下一步勘查工作的开展指明了方向。

关键词: 北山成矿带; 月牙山; 老硐沟; 金多金属矿床; 成矿预测

中图分类号: P61

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)02-0151-12

Metallogenic Regularity and Prospecting Prediction of Gold Polymetallic Deposits in Yueyashan-Laodonggou Area of Beishan Metallogenic Belt, Inner Mongolia

CHEN Yao^{1,2}, ZHANG Cheng³, ZHANG Qing³, CAO Lei³, FU Lebing^{1,*},
LIU Dongqin², YANG Weiwei², CAI Heng'an², SHANG Shichao²

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China; 2. First Geological Brigade of Hubei Geological Bureau, Daye 435100, Hubei, China; 3. Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China)

Abstract: The Yueyashan-Laodonggou area of Inner Mongolia is located in the southeast of Beishan ore belt, where has existed a series of gold polymetallic deposits, such as Yueyashan and Laodonggou gold-polymetallic deposit. Based on the systematically analyzed of the geological characteristics and key ore-controlling factors of typical gold-polymetallic deposits in this area, the comprehensive metallogenic prediction is carried out in this paper. The study shows that the gold in the area is mostly occurs with silver, lead, zinc. The gold orebodies are controlled by Caledonian-Hualixi intermediate acidic rock mass and NW-NWW faults, is a typical hydrothermal vein-type gold-polymetallic deposit. The high magnetic anomalies, NW-NWW faults and superposition sites of Au-Ag-Sb geochemical anomalies are favorable ore-prospecting areas of gold polymetallic deposits.

收稿日期: 2022-05-20; 修回日期: 2022-10-03; 责任编辑: 姜寒冰

基金项目: 内蒙古自然资源厅勘查处综合预算项目“内蒙古北山成矿带金铜矿成矿关键问题研究及找矿预测”资助。

作者简介: 陈耀(1996-), 男, 硕士, 主要从事矿床学、成矿规律与成矿预测研究。E-mail: 1396826568@qq.com。

* 通讯作者: 付乐兵(1984-), 男, 副教授, 博士生导师, 主要从事矿床地球化学、成矿规律与成矿预测研究。E-mail: fulb@cug.edu.cn。

The MRAS software is used to synthesize all kinds of prospecting information, four prospecting targets have been delineated, and high-quality mineralization and alteration were observed in four of them by field verification, which pointed out the direction for the next-stage work in this area.

Keywords: Beishan metallogenic belt; Yueyashan; Laodonggou; gold-polymetallic deposits; metallogenic prediction

北山成矿带位于塔里木板块、西伯利亚板块与哈萨克斯坦结合部位, 隶属中亚造山带, 成矿带内深大断裂纵横交错, 岩浆岩发育, 成矿地质背景优越(王玉往等, 2005; Xiao et al., 2011, 2013; 苗来成等, 2014; 赵鹏彬, 2017; 高峰, 2018; 卜建军等, 2019; 任云伟等, 2019)。内蒙古北山地区已发现月牙山、老硐沟、三个井、交叉沟、甜水井等一系列金多金属矿床(杨崇文, 2012; 杜泽忠等, 2015; 何毅等, 2016; 刘怀金等, 2021)。区域地球化学调查显示区内与金成矿有关的化探元素异常规模大、强度高、分带特征明显, 是寻找金多金属矿床的有利地区。但是, 以往矿产勘查及科研工作大多局限于一般性的地质描述, 对各类金矿床关键控矿因素与找矿方向缺少全面和系统的综合性研究。因此, 笔者选择内蒙古北山成矿带东南部的月牙山—老硐沟地区发育的典型金多金属矿床为对象, 在系统分析月牙山、老硐沟等矿床地质特征和关键控矿因素的基础上建立了对应的找矿预测模型, 并结合地物化找矿信息开展了综合成矿预测, 为区域上一步金多金属矿床的找矿勘查工作提供借鉴。

1 成矿地质条件

月牙山—老硐沟地区处于北山成矿带东南部, 以中部的月牙山—洗肠井蛇绿岩带为界, 其南侧为古硐井隆起, 北侧为公婆泉—东七一山早古生代岛弧(图 1)(郑荣国等, 2012; 胡新苗等, 2015; 廖云峰等, 2016; 邵积东, 2016; 杨剑洲, 2019)。区内出露地层由老到新主要有古元古界北山岩群, 中—新元古界长城系古硐井群、蓟县系—青白口系, 古生界寒武系—二叠系, 中生界白垩系及新生界新近系、第四系(牛亚卓, 2019; 郑灵云等, 2019)。其中, 北山岩群主体岩性为形成于前陆盆地滨—浅海沉积环境下的浅变质碎屑岩系; 中—新元古界地层主体岩性为形成于浅海—海岸沉积环境下的碎屑岩与碳酸盐岩沉积; 古生界寒武系—奥陶系主体岩性为形成于岛弧环境下的中基性火山岩沉积; 古生界志留系主体岩性为形成于岛弧环境下的

中基性火山岩沉积; 古生界石炭系主体岩性为形成于深海相沉积环境下的碳酸盐岩沉积; 古生界二叠系主体岩性为形成于浅海陆棚沉积环境下的碳酸盐岩沉积。区内韧性/脆韧性剪切带主要分布在研究区南部古硐井群中及月牙山—洗肠井蛇绿岩带内, 伴生的褶皱构造主要分布在炮台山、盘陀山一带(杨合群等, 2010; 杨鑫等, 2016)。晚期叠加的脆性断层区内广泛分布, 是区内最重要的控矿构造, 以近东西向、北西西向、北西向 3 组最为发育。区内侵入岩整体呈近东西—北西向带状展布, 岩浆活动横跨加里东、华力西、印支期等, 呈现多期侵入特征(杨合群等, 2010; 郑荣国等, 2012; 杨鑫等, 2016)。侵入岩岩性变化较大, 超基性、基性岩体主要分布于研究区中部月牙山—洗肠井蛇绿混杂岩带中(赵鹏彬, 2019), 时代主要为加里东期和华力西期, 另有少量华力西期基性岩呈脉状或者岩枝的形式产出(廖云峰等, 2016; 胡醒民, 2016); 中酸性岩体的侵入时代则集中在加里东期—燕山期, 主要以岩基或岩株的形式产出, 规模较大, 广布于整个研究区(图 1)。

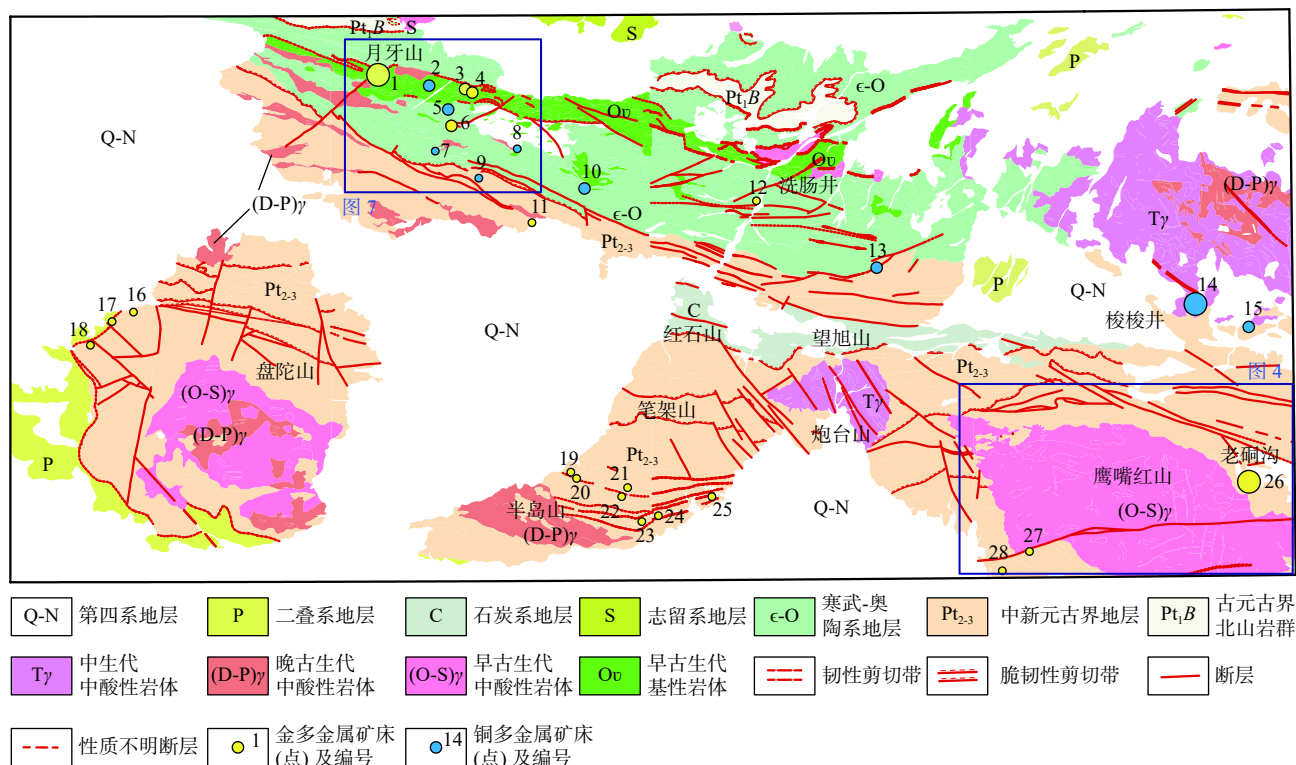
月牙山—老硐沟地区地质构造复杂, 岩浆活动发育, 成矿背景良好。区内现已发现矿床(点)56 个, 包括月牙山金多金属矿床、老硐沟金多金属矿床、梭梭井铁铜多金属矿床等, 主要成因类型有热液脉型、接触交代型等, 矿种有金、银、铜、铅、锌、钨、铁、锰等(董连慧等, 2010; 丁建华等, 2016)。根据矿种类型可将已发现矿床(点)分为 3 大类: 金多金属矿床(点)、铜多金属矿床(点)及钨矿床(点), 其中主要为金多金属矿床(点)(图 1), 该类矿床也是本文的主要研究对象。

2 典型矿床地质物化探特征

2.1 老硐沟金多金属矿床

2.1.1 矿床地质特征概述

笔者在前期资料收集与详实的野外地质调查的基础上发现, 老硐沟金多金属矿床实为金铅锌铁铜多



1. 月牙山金多金属矿床; 2. 月牙山铅矿点; 3. 月牙山东金矿点; 4. 月牙山南东金矿点; 5. 月牙山南东铅矿点; 6. 月牙山南金矿点; 7. 月牙山南铅矿点; 8. 月牙山南东铁铜矿点; 9. 月牙山男铜矿点; 10. 麻黄沟西铁铜矿点; 11. 哈补塔盖乌兰东金铅矿点; 12. 洗肠井金矿点; 13. 洗肠井铁铜矿点; 14. 梭梭井铜多金属矿床; 15. 梭梭井铅铜矿床; 16. 盘陀山西北金矿点; 17. 盘陀山西金矿点; 18. 盘陀山金钨矿床; 19. 半岛山金锑矿点; 20. 半岛山金矿点; 21. 半岛山北东金锑矿点; 22. 半岛山北东金矿点; 23. 半岛山东金矿点; 24. 笔架山南金矿点; 25. 笔架山锑金矿点; 26. 老硐沟金多金属矿床; 27. 古硐井金矿点; 28. 古硐井西金矿点

图1 北山地区月牙山-老硐沟一带地质略图(据段海龙等, 2021)

Fig. 1 Sketch geological map of the Yueyashan-Laodonggou in Beishan area

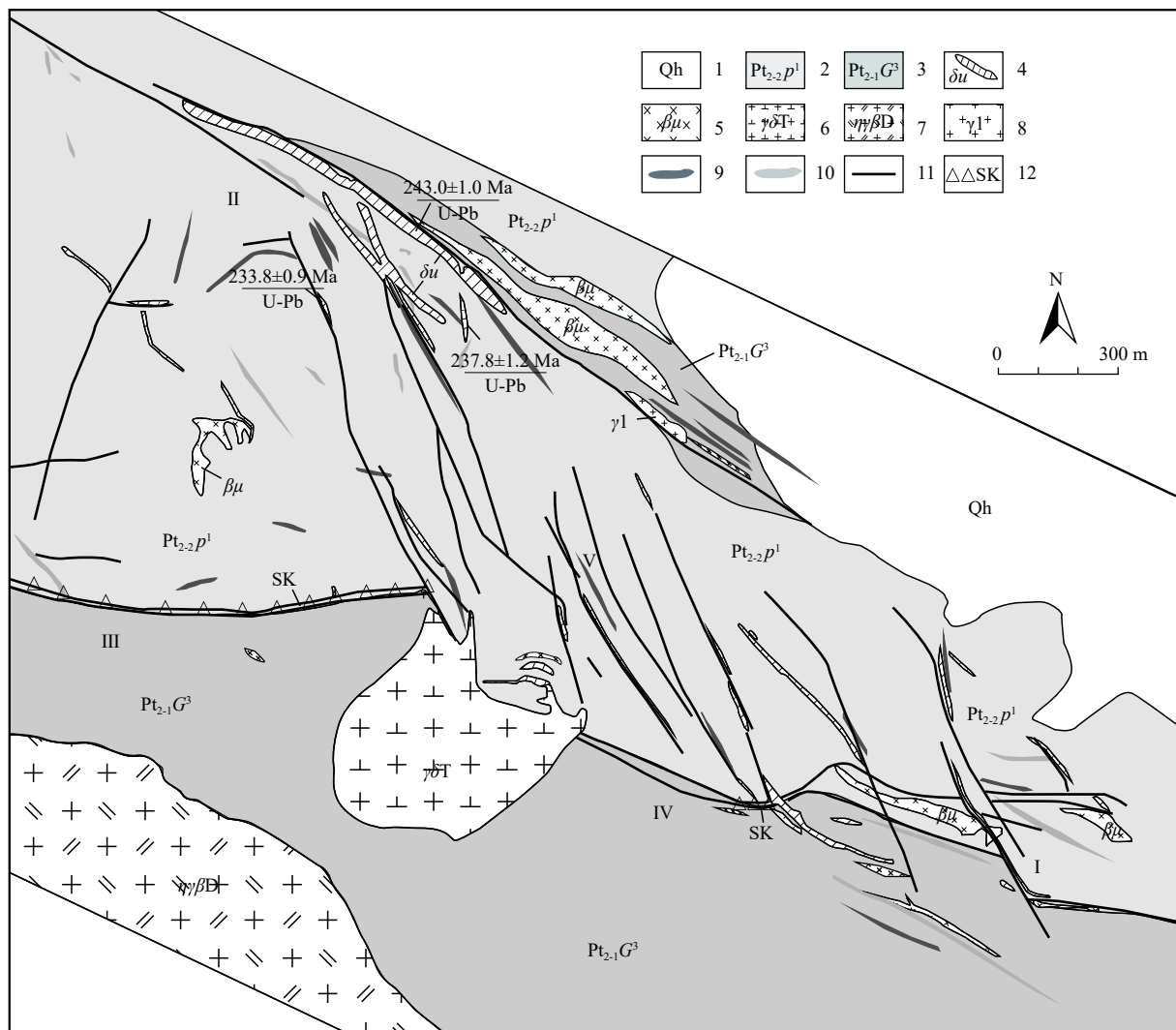
金属矿床,其主要有2种矿化类型:①矿区北部、东部的热液脉型金铅锌多金属矿化,受晚古生代北西-北西西向断裂构造控制。②南部的矽卡岩型铁铜多金属矿化,主要受早古生代岩体周缘接触带控制(图2)。由于两类矿化之间矿化特征、控矿因素存在显著差异,导致其内在成因联系尚存争议,故本文重点对矿区内产出的金铅锌多金属矿化开展解剖。

矿区位于鹰嘴红山岩体东北缘,区内出露地层由老到新主要有中元古界长城系古硐井群、蓟县系平头山组及第四系。古硐井群位于矿区西南部,岩性为灰白色变质石英细砂岩夹变质长石石英砂岩,蓟县系平头山组位于矿区的东北部,岩性为灰白色白云质灰岩夹大理岩化白云质灰岩。区内断裂构造发育北西西向、近东西向及北北西向3组(梁巨康等, 2017; 钱建平, 2018; 张桐, 2019),以北西西向和北北西向断裂构造最为发育,在整个矿区均有分布,是金多金属矿体的主要控矿构造。区内侵入岩发育较少,可见黑云

二长花岗岩、辉绿岩、花岗闪长岩、闪长玢岩等呈岩脉或小岩株状产出(图2)。

矿区内5个矿段共圈定36个矿体,其中I、II、IV、V矿段主要发育金多金属矿体,而III矿段发育矽卡岩型铁铜多金属矿体。I、II、IV、V矿段受控于北西向和北北西向断裂,共有30个矿体,矿体总体倾向为北东向,倾角为60°~80°,呈似层状、透镜状、脉状产出,其赋矿围岩主要为大理岩。矿体厚度为0.86~15.52 m, Au品位为0.52~24.90 g/t, Ag品位为0.01~756 g/t, Pb品位为0.57%~18.84%。

矿区内金多金属矿石分为原生矿石和氧化矿石2种。原生矿石中金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、铜蓝等;非金属矿物主要有石英、方解石等。氧化矿石呈土黄色、黄绿色、棕红色,其内产出大量次生氧化形成的褐铁矿、赤铁矿、水砷锌矿、黄钾铁矾等矿物(图3)。矿石构造主要有脉状构造、稠密浸染状构造、稀疏浸染状构造。多期次的



1.第四系; 2.中元古界蓟县系平头山组; 3.中元古界长城系古洞井群; 4.闪长玢岩; 5.辉绿岩; 6.三叠纪花岗岩; 7.泥盆纪黑云二长花岗岩; 8.花岗细晶岩; 9.金多金属矿体; 10.铜多金属矿体; 11.断裂; 12.砂卡岩化

图2 老硐沟金多金属矿区地质略图(底图据钱建平等, 2018 修改; 闪长玢岩年龄引自张国震等, 2021)

Fig. 2 Geological map of the Laodonggou gold-polymetallic deposit

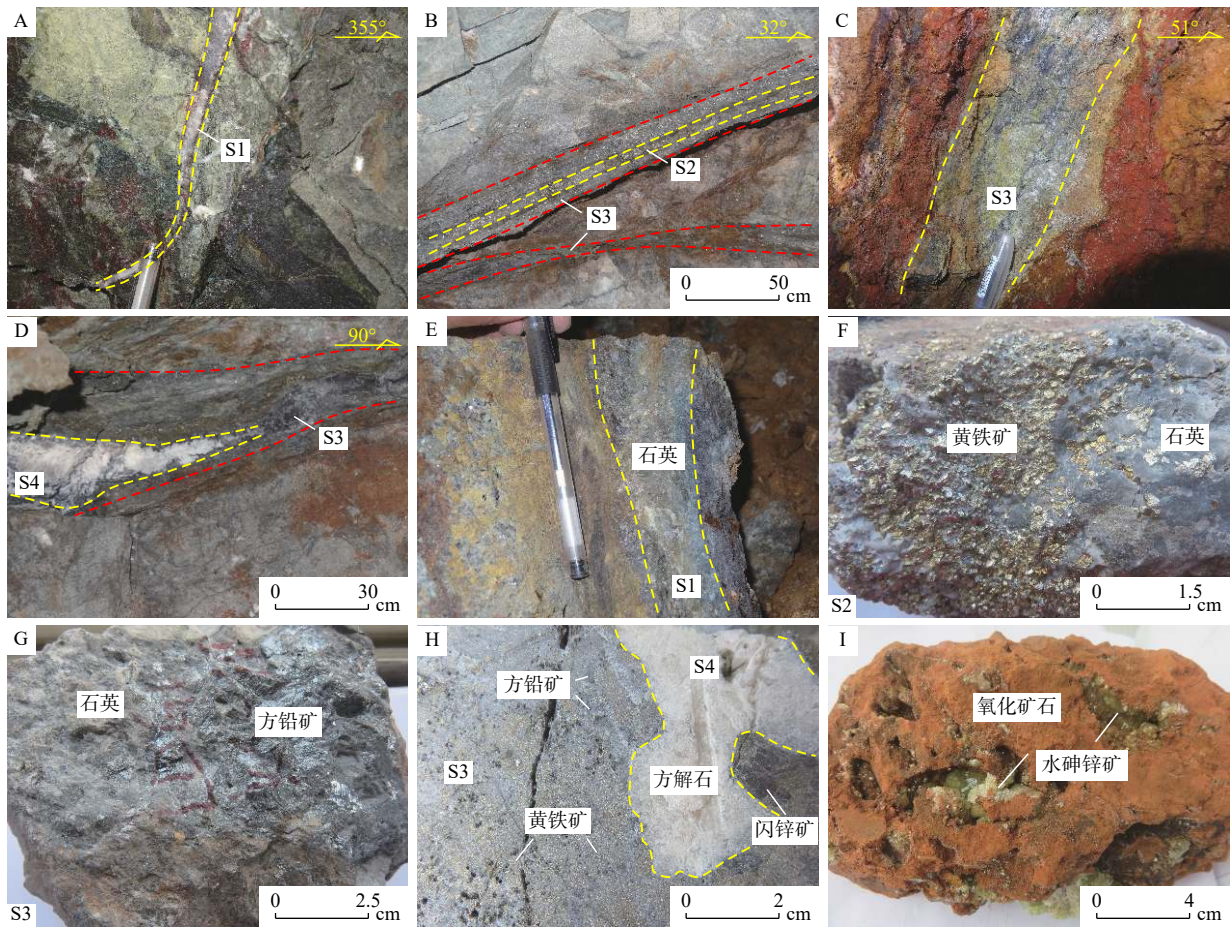
成矿热液活动导致了矿区多期次的围岩蚀变作用, 由于后期氧化作用影响, 区内常见的与金成矿关系密切的围岩蚀变仅能识别出硅化、绢云母化、黄铁矿化等。

根据野外调查、室内岩相学观察结果综合分析, 可将老硐沟金多金属矿床划分为 2 个成矿期, 即热液成矿期和氧化淋滤期。热液成矿期包含: 石英-少量黄铁矿阶段(S1), 此阶段的特征是石英呈乳白色脉状产出, 内部偶见星点状黄铁矿发育(图 3 A、图 3 E); 石英-黄铁矿阶段(S2)发育含大量黄铁矿的石英硫化物脉, 黄铁矿多成脉状或浸染状与石英共生, 颗粒普遍较大, 呈自形-半自形产出(图 3 B、图 3 F); 石英-多金属硫化物阶段(S3)发育黄铁矿、方铅矿、闪锌矿及黄铜矿等多金属石英硫化物脉(图 3 B、图 3 D、图 3 G、

图 3 H); 石英-碳酸盐阶段(S4), 主要见方解石细脉穿插早阶段的金属硫化物矿石及围岩(图 3 H)。氧化淋滤期: 矿物形貌以及矿石的结构构造都发生极大改变, 产出一一种特殊矿物——水砷锌矿(图 3 I)。

2.1.2 矿床分布地段多信息显示

老硐沟地段内地层主要出露元古界平头山组白云质灰岩夹大理岩化白云质灰岩, 野马街组含钙质砂岩、灰岩与古洞井群变质碎屑岩。岩浆岩主要为中部的鹰嘴红山岩浆岩体, 其岩性主要为黑云二长花岗岩。地段内构造较为发育, 北西向构造及其所派生的次级构造, 控制了老硐沟金多金属矿床及铁铜多金属矿床的产出, 成矿条件有利。老硐沟地段内整体处于低磁场区, 变化趋势较缓, 区内发育的金多金属矿床在一



S1.石英-少量黄铁矿阶段; S2.石英-黄铁矿阶段; S3.石英-多金属硫化物阶段; S4.石英-碳酸盐阶段

图 3 老硐沟金多金属矿床各阶段矿石矿化特征

Fig. 3 Mineralization and alteration of the Laodonggou gold-polymetallic deposit

定程度上控制了正磁异常的产出。1 : 5 万化探测量显示矿区以 Au、Ag、As、Sb、Pb 元素形成北西向带状异常, 主要单元异常规模大、强度高、浓集趋势明

显、套合良好, 组合复杂, 反映出一套中-低温元素组合特征(图 4)。整体上看, 老硐沟地段是寻找金多金属矿床的有利地段。

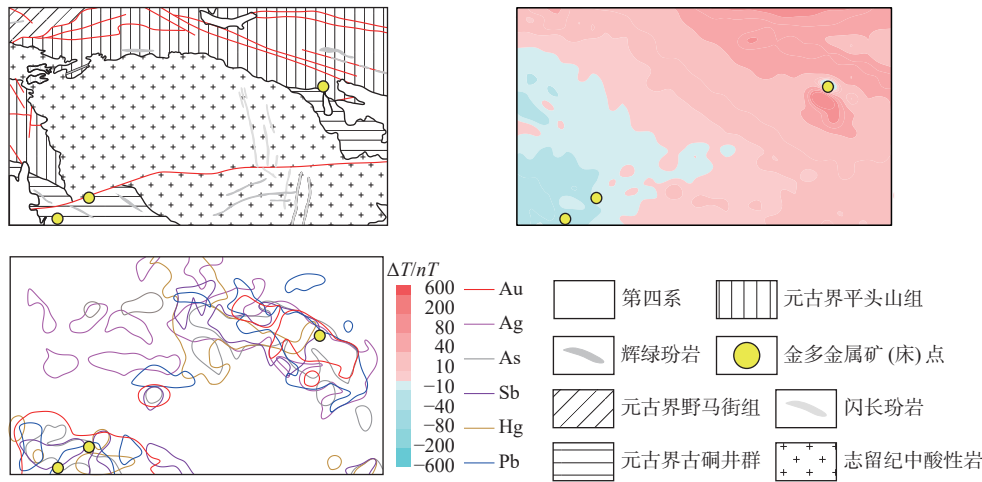


图 4 老硐沟地段地物化多信息剖析图

Fig. 4 Geological, geophysical and geochemical characteristic of the Laodonggou district

2.2 月牙山金多金属矿床

2.2.1 矿床地质特征概述

月牙山金多金属矿床位于研究区西北部, 区内出露地层主要有奥陶系中统咸水湖组硅质灰岩夹少量砂岩和上统白云山组中细粒砂岩夹少量灰岩。区内岩浆岩主要为石炭纪辉长岩, 该岩体规模较大, 以岩株形式产出, 广泛分布于整个矿区内, 另可见多条正长斑岩脉、花岗斑岩脉产出岩体内部(任益书等, 1998; 徐旭升, 2011)。区内构造主要表现为断裂构造, 整体呈北西西向和北东向展布, F3、F7、F9 断裂与成矿有关, 矿区内圈出的主要银金矿体多呈脉状产于其中(图 5)。矿体厚度为 0.40~3.85 m, Au 品位为 1.26~17.60 g/t, Ag 品位为 17.75~202.06 g/t。

月牙山矿区内矿石主要呈脉状、块状、浸染状产出(图 6)。矿石内的金属矿物包括自然金、自然银、碲银矿、辉银矿、黄铁矿、黄铜矿, 非金属矿物主要为石英及少量方解石、绿帘石、钾长石、黑云母。矿区与金成矿相关的围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化等。根据野外调查、室内岩相学观察结果综合分析, 可将月牙山金多金属矿床成矿作用分为 4 个阶段。石英-少量黄铁矿阶段(S1)的显著特征是石英呈乳白色脉状产出, 同时可见星点状黄铁矿产于其中, 黄铁矿颗粒较小(图 6A); 石英-黄铁矿阶段(S2)主要发育以黄铁矿为主的石英硫化脉, 黄铁矿颗粒普遍较大, 呈自形-半自形产出(图 6B); 石英-多金属硫化物阶段(S3)以方铅矿、闪锌矿等金属硫化物产出为标志, 矿石整体硫化物含量升高(图 6C); 石英-碳酸盐阶段(S4)的显著特征是大量碳酸盐矿物出现, 见方解石细脉穿插早阶段的多金属硫化物矿石及围岩(图 6C)。

2.2.2 矿床分布地段多信息显示

月牙山地段内地层主要出露奥陶系咸水湖组硅

质灰岩夹砂岩, 元古界大豁落山组含硅质碳酸盐岩; 岩浆岩主要见奥陶纪辉长岩及石炭纪花岗闪长岩, 发育构造以北西向为主, 局部北东向。月牙山地段 1:5 万磁法测量显示区内磁场整体呈现南高、北低的特征, 金/铜多金属矿床(点)的分布于高磁异常分布

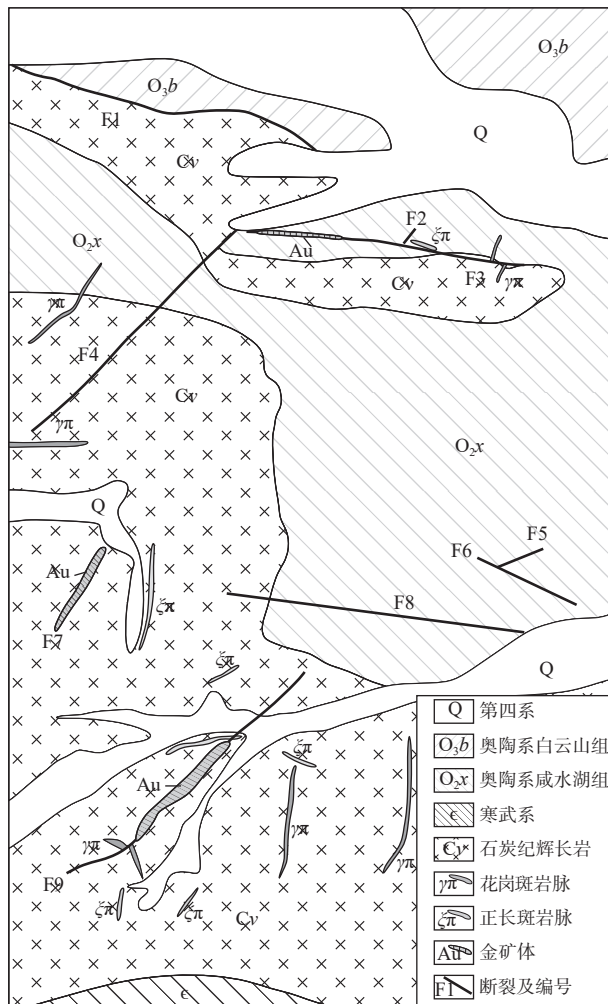


图 5 月牙山金多金属矿区地质略图

Fig. 5 Geological map of the Yueyashan gold-polymetallic deposit



S1. 石英-少量黄铁矿阶段; S2. 石英-黄铁矿阶段; S3. 石英-多金属硫化物阶段; S4. 石英-碳酸盐阶段

图 6 月牙山金多金属矿床各阶段矿石矿化特征

Fig. 6 Mineralization and alteration of the Yueyashan gold-polymetallic deposit

形态吻合程度高; 1:5 万化探显示矿区以 Au、Ag、Pb、Hg 等元素化探异常为主, 伴有 As、Sb、W、Sn、Mo 等元素异常, 主元素异常规模大, 强度高, 具内带, 元素浓集中心明显, 与矿体套合良好, 在月牙山南沿浓集

中心形成较大规模的 Au、Pb 等元素的高背景异常区, 反映出以中温成矿元素为主, 伴有低温、高温元素复杂的元素组合特征(图 7)。整体上, 月牙山地段具有寻找金多金属矿床的潜力。

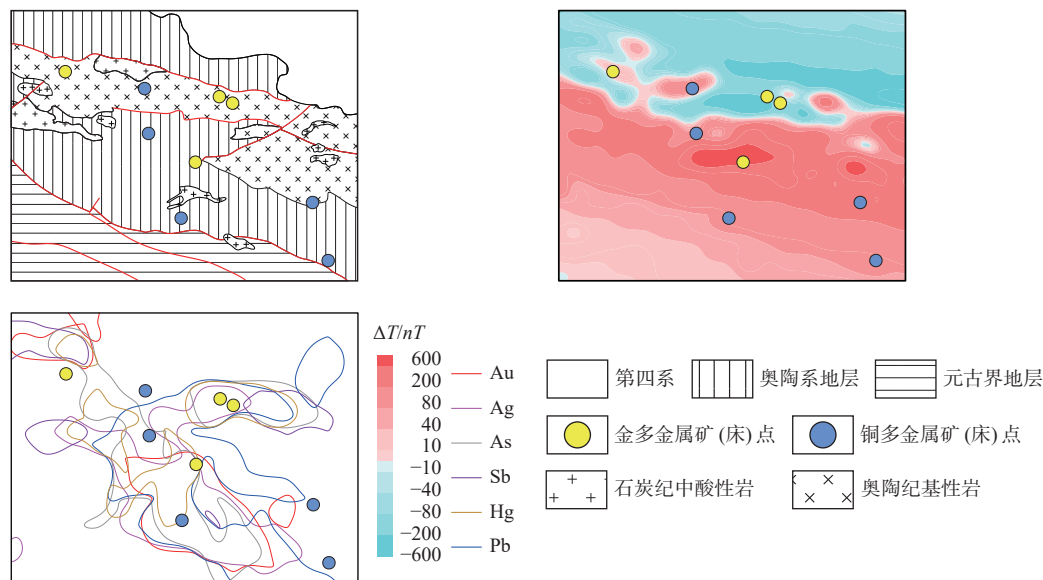


图 7 月牙山地段地物化多信息剖析图

Fig. 7 Geological, geophysical and geochemical characteristic of the Yueyashan district

3 控矿因素及找矿标志

典型金多金属矿床地质特征研究表明, 区内金多金属矿体受断裂控制均产于北西-北北西向断裂构造中, 形成的矿体以脉状、浸染状为主, 矿化以金为主, 伴生银、铅、锌等有益组分, 矿石类型主要以石英脉型和蚀变岩型为主; 黄铁矿化、硅化、碳酸盐化与矿体空间关系密切。主要矿物组合为银金矿、自然金、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿以及石英、方解石等, 呈现典型热液脉型金多金属矿床的特征。

断裂构造是重要的控矿因素, 研究区内不同级别断裂从不同尺度上控制了金多金属矿床、矿体的产出, 规模较大的北西向断裂控制了区域性成矿带的展布, 近东西向、北西向和相对次级的北东向断裂则为岩浆活动和矿液提供了运移通道和沉积场所, 更次级的北西-北北西向断裂控制了矿体的产出位置和形态。同时, 区内矿床(点)多形成于华力西和印支期(江思宏等, 2006), 与同期的侵入岩体具有极为密切的空间关系, 岩浆活动的同时必然会伴随大量的热液活动, 可能为成矿提供了成矿流体和物质来源。化探测量显

示高温到低温元素异常并沿接触带从内到外分带性明显, 内接触带形成矽卡岩型或高温热液型矿床, 如鹰嘴红山钨矿床, 梭梭井铁铜、铅铜矿床等; 远离内接触带以 Cu、Pb、Zn、Au 等中-低温热液矿床(点)为主, 如老硐沟金矿床等。这种元素分带异常对于开展找矿工作具有极大的指示意义。

另外, 物探异常显示区内金多金属矿体通常具有较高的视极化率和较低的视电阻率值, 且多位于中酸性岩体附近, 与磁异常套合相对较好。化探异常显示: 矿体附近通常会形成高强度的 Au、Ag、Sb 等元素异常, 同时与靠近岩体的 W、Mo 异常以及岩体与地层接触带附近的 Cu、Pb、Zn 异常构成异常分带。因此, 高磁、高极化、低电阻的物探异常与套合较好的化探异常是区内金多金属矿床重要的找矿标志。

4 物化探找矿信息提取

前人已 在月牙山-老硐沟地区完成了 1:5 万矿产地质调查工作, 已有的磁法和化探数据为本次工作提供了详实的资料支撑。笔者在传统化极、延拓、求导等计算的基础上, 对磁法数据开展了总水平梯度模

量计算,综合分析解译出 23 条推断断裂构造、36 个高磁性体以提取深层次的找矿信息。需要说明的是,解译出的高磁性体推测与 2 个因素有关,其一可能表示月牙山-洗肠井蛇绿岩带内地表或者隐伏的强磁性岩体,其二可能由老硐沟、梭梭井等矽卡岩型铁铜矿床内隐伏的磁铁矿体所造成(段海龙等, 2021)。区内已成规模的金矿床如月牙山和老硐沟金多金属矿床,前者分布于 Y05 高磁性体周围,后者分布于 Y36 高磁性体周围,在地质上与中酸性岩体的产出关系密切,同时上述 2 个矿床均位于磁法推断的北西向断裂附近。整体上,推断解译出的大型断裂构造(尤其北西向、北西西向)和高磁性体与研究区金多金属矿床具有密切

关系。

同时,本次工作为简化图面结构并突出有效找矿信息,依据因子分析结果对 1:5 万化探数据进行了降维与融合(赵少卿等, 2012; 黄文斌等, 2020),研究区内 Au、Ag 等成矿元素所属因子包含的元素组合为 Au-Ag-As-Sb-Hg,该因子得分等值线图(图 8)。整体来看,异常集中分布/因子得分值高的地段主要呈现 2 个特征:①分布于加里东、华力西及印支期中酸性岩体周缘,如在鹰嘴红山及盘陀山等地区。②是异常与区内北西-近东西向断裂套合较好,如在月牙山及老硐沟等地区。区内异常多呈不规则状,同时规模相对较大,与区内已发现的金多金属矿床(点)套合度高。

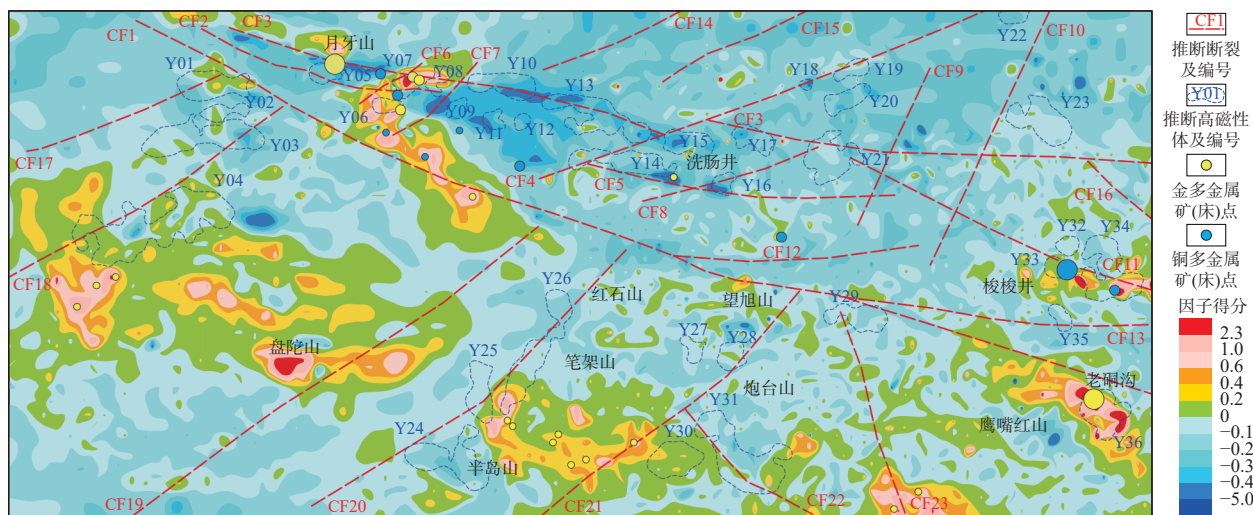


图 8 月牙山-老硐沟地区磁法与化探找矿信息叠合图

Fig. 8 Superposed diagram of Geophysical and geochemical prospecting information in Yueyashan-Laodonggou area

5 成矿预测与验证结果

在前期控矿因素总结及找矿信息提取的基础上,笔者采用 MRAS 软件对各类找矿信息进行了综合,并据此进行找矿靶区的圈定。本次选择了区内金多金属矿点、侵入岩、构造(已有构造+推断构造)、化探异常(Au-Ag-As-Sb-Hg)等作为证据因子,进而利用 MRAS 软件计算这些证据因子的权重值,并根据矿点和其他证据因子的空间关系计算出各证据因子的先验概率,从而制作了基于证据权重法的成矿预测图(图 9)。在剔除已有矿权设置地段后,笔者共筛选出 A1、B1、C1、C2 等 4 个找矿靶区,野外针对其开展矿产检查,结果显示靶区内矿化蚀变现象发育,具较好找矿潜力。

A1 靶区位于月牙山南部,区内发育地层主要为奥陶系咸水湖组与罗雅楚山组,岩浆岩主要为早古生代蛇绿岩及石炭纪花岗闪长岩,另可见北西西向断裂构造产出。远景区北部出现正、负磁异常,南部为正磁异常,等值线密集,异常与花岗闪长岩空间分布在一定程度上吻合,此外 1:5 万化探在该区圈定东西向带状展布的多种元素异常,异常以 Pb、Zn、Cu、Au、Ag 为主,套合有 As、Hg、Sb 等元素,具有三级异常浓度分带,异常浓集中心明显。野外查证在区内发现蚀变带、破碎带共 15 条(图 10A),走向多为北西向和北东向,与月牙山金多金属矿床一致,带内发育明显的褐铁矿化,偶见绿泥石化;捡块样结果表明该区 Au 最高为 1.16 g/t, Ag 最高为 327 g/t, Pb+Zn 最高大于 10%。

B1 靶区位于月牙山南部,区内发育地层主要为

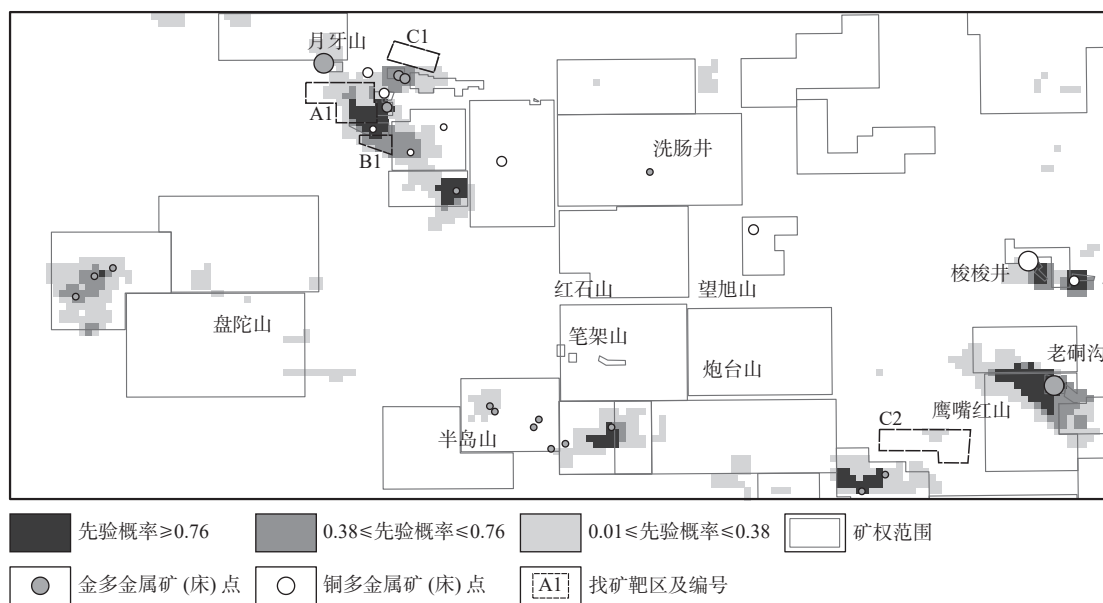
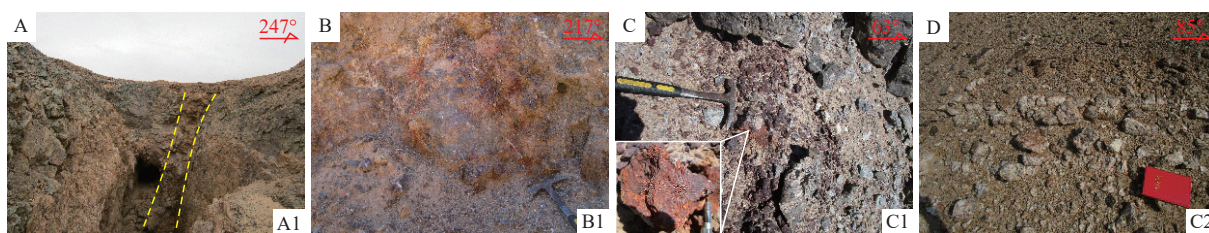


图9 月牙山-老硐沟地区金多金属矿证据权重法成矿预测图

Fig. 9 Metallogenetic prediction map of gold polymetallic deposit in Yueyashan-Laodonggou



A. A1 靶区构造破碎带; B. B1 靶区褐铁矿化破碎带; C. C1 靶区褐铁矿化蚀变带; D. C2 靶区褐铁矿化石英脉

图10 找矿靶区内典型构造蚀变现象

Fig. 10 Typical structural and alteration in the prospecting target

寒武系—奥陶系西双鹰山组及新元古界大豁落山组, 无岩体或脉岩出露, 另可见近东西向及北西向断裂构造发育。区内不发育明显的物探异常, 但 1:5 万化探测量显示区内发育 Au、Cu、Ag、Pb、Zn 等多种化探元素异常, Au 异常极值点可达 24.40×10^{-9} , Cu 异常极值点可达 107.00×10^{-6} 。野外查证区内见硅化、褐铁矿化等矿化蚀变现象发育(图 10B), 捡块样结果表明该区 Au 含量最高达 1.2 g/t。

C1 靶区位于月牙山北东, 区内发育地层主要为奥陶系锡林柯博组及第四系, 岩浆岩不甚发育, 仅可见少量近东西向石英脉产出, 无明显断裂构造发育。该区北部显示为负磁异常, 南部显示为正磁异常, 等值线密集, 1:5 万化探测量显示区内发现有金高值点, 异常高值点可达 11.80×10^{-9} 。野外查证区内可见构造破碎带发育, 带内产出褐铁矿化等蚀变(图 10C); 捡块样结果显示, 区内 Au 含量为 0.41 g/t, Cu 含量 > 0.5%。

C2 靶区位于鹰嘴红山岩体内部, 其主要岩性黑云二长花岗岩, 另有近东西向断裂出露。该区磁异常强度较低, 整体为正磁异常。1:5 万化探显示远景区内主要为 Au-As-Sb 异常, 具有三级浓度分带, 浓集中心明显且套合性极好。野外查证在区内发现多条石英脉, 走向主要为北西向、北东向及近南北向, 延长可达数百米, 带内褐铁矿化较强(图 10D)。捡块样结果显示区内 Au 含量最高达 2.62 g/t。

6 结论

(1) 月牙山与老硐沟均为典型热液脉型金多金属矿床, 两者矿石特征相差较小, 成矿期次均可在热液成矿期划分 4 个阶段, 老硐沟金多金属矿床还发育氧化淋滤期, 并可见水砷锌矿发育。

(2) 区内金多金属矿床主要控矿因素为构造和岩

浆岩,前者提供成矿空间和热液运移通道,后者提供运移动力和成矿物质。 Au-Ag-As-Sb-Hg 为区内金多金属矿床的代表元素共生组合,元素化探异常套合性较好、强度高的地区即为找矿有利地段,物探信息所解译出的高磁异常区、高磁性体和推断断裂也对成矿具有一定指示意义。

(3)综合地质与物化探找矿信息,结合证据权重法共圈定 4 处找矿靶区,区内见矿效果较好,可作为下一阶段该类矿床找矿的重点工作区域。

致谢:李奥冰、张维康、刘玉国参加了实地调查,野外工作得到招金集团圆通矿业何毅、杨晓奇、宋建成等人的大力支持,在此一并致谢。

参考文献(References):

- 卜建军,吴俊,史冀忠,等.北山-巴丹吉林地区石炭纪-二叠纪构造古地理及其演化[J].地质科技情报,2019,38(06):113-120.
- BU Jianjun, WU Jun, SHI Jizhong, et al. Carboniferous-Permian tectonic palaeogeography of Beishan-Badain Jaran region and its evolution[J]. Geological Science and Technology Information, 2019, 38(06): 113-120.
- 丁建华,邢树文,肖克炎,等.东天山-北山 Cu-Ni-Au-Pb-Zn 成矿带主要成矿地质特征及潜力分析[J].地质学报,2016,90(07):1392-1412.
- DING Jianhua, XING Shuwen, XIAO Keyan, et al. Geological characteristics and resource potential analysis of the Dongtianshan-Beishan Cu-Ni-Au-Pb-Zn metallogenic belts[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(07): 1392-1412.
- 董连慧,冯京,刘德权,等.新疆成矿单元划分方案研究[J].新疆地质,2010,28(01):1-15.
- DONG Lianhui, FENG Jing, LIU Dequan, et al. Research on classification of metallogenic unit of Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(01): 1-15.
- 杜泽忠,于晓飞,李永胜.内蒙古额济纳旗老硐沟金矿床地质特征[J].矿物学报,2015,35(S1):996-997.
- DU Zezhong, YU Xiaofei, LI Yongsheng. Geological characteristics of Laokonggou gold deposit in Ejina Banner, Inner Mongolia[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015, 35(S1): 996-997.
- 段海龙,陈耀,张青,等.北山成矿带月牙山-老硐沟地区铜多金属矿床成矿预测[J].地质科技通报,2021,40(05):188-197.
- DUAN Hailong, CHEN Yao, ZHANG Qing, et al. Metallogenic prediction of copper polymetallic deposit in the Yueyashan-Laodonggou area, Beishan Ore Belt[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2021, 40(05): 188-197.
- 高峰,营坤坤,李宁,等.北山造山带东段菱菱泉岩体地球化学特征、锆石 U-Pb 年代学及其构造意义[J].西北地质,2018,51(03):26-37.
- GAO Feng, JIAN Kunkun, LI Ning, et al. U-Zircon U-Pb Dating and Geochemistry of Jijiquan Pluton in the Eastern Section of Beishan Orogenic Belt and their Tectonic Implications[J]. Northwestern Geology, 2018, 51(03): 26-37.
- 何毅,王乐进,刘培海.内蒙古老洞沟金矿床地质特征与成矿规律研究[J].有色金属文摘,2016,31(01):20-21.
- HE Yi, WANG Lejin, LIU Peihai. Research on geological characteristics and metallogenic regularity of Laodonggou gold deposit in Inner Mongolia[J]. Nonferrous Metals Abstract, 2016, 31(01): 20-21.
- 胡醒民,廖云峰,程海峰,等.内蒙古月牙山一带基性火山岩的地质特征、形成时代及归属[J].地质通报,2016,35(8):1234-1242.
- HU Xingmin, LIAO Yunfeng, CHENG Haifeng, et al. A discussion on the geological characteristics, formation age and attribution of basic volcanic rocks in Yueyashan area, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 2016, 35(8): 1234-1242.
- 胡新苗,赵国春,胡新悦,等.内蒙古北山地区月牙山蛇绿质构造混杂岩带地质特征、形成时代及大地构造意义[J].地质通报,2015,34(2-3):425-436.
- HU Xinzhuo, ZHAO Guochun, HU Xinyue, et al. Geological characteristics, formation epoch and geotectonic significance of the Yueyashan ophiolitic tectonic mélange in Beishan area, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(2-3): 425-436.
- 黄文斌,罗先熔,刘攀峰,等.青海省石灰沟地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿预测[J].地质科技通报,2020,39(3):150-159.
- HUANG Wenbin, LUO Xianrong, LIU Panfeng, et al. Geochemical characteristics of stream sediments and ore prospecting prediction in shihuigou area, Qinghai Province[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2020, 39(3): 150-159.
- 江思宏,聂凤军,胡朋,等.北山地区岩浆活动与金矿成矿作用关系探讨[J].矿床地质,2006,25(S1):269-272.
- JIANG Sihong, NIE Fengjun, HU Peng, et al. Discussion on the relationship of magmatism and gold metallogeny in Beishan mountain area[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(S1): 269-272.
- 梁巨康,杨晓奇,高云,等.内蒙古老硐沟金矿区溶洞型矿体地

- 质特征与成矿规律研究[J]. *科技视界*, 2017, (21): 4-5.
- LIANG Jukang, YANG Xiaoqi, GAO Yun, et al. Cave-type Orebody in the Old Gougou Gold Deposit, Inner Study on Geological Characteristics and Metallogenic Laws[J]. *Science and Technology Vision*, 2017, (21): 4-5.
- 廖云峰, 胡新苗, 程海峰, 等. 内蒙古月牙山蛇绿岩的岩石学、地球化学特征及其地质意义[J]. *地质通报*, 2016, 35(8): 1243-1254.
- LIAO Yunfeng, HU Xinzhuo, CHENG Haifeng, et al. Petrological and petrochemical characteristics and geological significance of Yueyashan ophiolite[J]. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(8): 1243-1254.
- 刘怀金, 李源, 吉虎利, 等. 内蒙古蓬勃山-交叉沟地区金成矿规律及找矿预测[J]. *中国矿业*, 2021, 30(S1): 249-254+259.
- LIU Huaixin, LI Yuan, JI Huli, et al. Gold metallogenic regularity and prospecting prediction in Pengboshan -Jiaochagou area, Inner Mongolia[J]. *China Mining Magazine*, 2021, 30(S1): 249-254+259.
- 苗来成, 朱明帅, 张福勤. 北山地区中生代岩浆活动与成矿构造背景分析[J]. *中国地质*, 2014, 41(04): 1190-1204.
- MIAO Laicheng, ZHU Mingshuai, ZHANG Fuqin. Tectonic setting of Mesozoic magmatism and associated metallogenesis in Beishan area[J]. *Geology in China*, 2014, 41(04): 1190-1204.
- 牛亚卓. 新甘蒙北山地区晚古生代古沉积面貌及构造属性[D]. 西安: 西北大学, 2019.
- NIU Yazhuo. Late Paleozoic paleogeographic reconstruction and tectonic implication of the Beishan Region, NW China[D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- 钱建平, 符有江, 周永宁, 等. 内蒙古额济纳旗老硐沟金多金属矿区成矿构造系统解析和构造控矿规律[J]. *大地构造与成矿学*, 2018, 42(06): 1046-1063.
- QIAN Jianping, FU Youjiang, ZHOU Yongning, et al. Analysis of the metallogenic structure system and the regularities of tectonic ore control of the Laodonggou gold polymetallic mining area, Ejinaqi, Inner Mongolia[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2018, 42(06): 1046-1063.
- 任益书, 贺中银. 内蒙古月牙山地区金矿成矿地质特征及找矿方向[J]. *内蒙古地质*, 1998, (03): 2-6.
- REN Yishu, HE Zhongyin. Geological feature of metallization and prospecting guiding of Yueyashan area gold deposit, in Inner Mongolia[J]. *Geology of Inner Mongolia*, 1998, (03): 2-6.
- 任云伟, 任邦方, 牛文超, 等. 内蒙古哈珠地区石炭纪白山组火山岩: 北山北部晚古生代活动陆缘岩浆作用的产物[J]. *地球科学*, 2019, 44(01): 312-327.
- REN Yunwei, REN Bangfang, NIU Wenchao, et al. Carboniferous volcanics from the Baishan formation in the Hazhu Area, Inner Mongolia: Implications for the Late Paleozoic Active Continental Margin Magmatism in the Northern Beishan[J]. *Earth Science*, 2019, 44(01): 312-327.
- 邵积东. 内蒙古地质构造单元划分及存在的有关问题[J]. *西部资源*, 2016, (03): 84-87.
- SHAO Jidong. Division of geological tectonic units in Inner Mongolia and related problems[J]. *Western Resources*, 2016, (03): 84-87.
- 王玉往, 王京彬. 北山地区与火山活动有关铜多金属成矿条件及找矿前景浅析[J]. *地质与勘探*, 2005, 41(6): 34-37.
- WANG Yuwang, WANG Jingbin. Metallogenic factors and potential for Cu-polymetallic deposits related to volcanic activity in the Beishan area[J]. *Geology and Prospecting*, 2005, 41(6): 34-37.
- 徐旭升. 试析月牙山铜金矿普查区地质特征[J]. *内蒙古科技与经济*, 2011, (03): 47-49.
- XU Xusheng. Try to analysis the geological characteristics of Yueyashan copper and gold deposit survey area[J]. *Inner Mongolia Science Technology & Economy*, 2011, (03): 47-49.
- 杨崇文. 内蒙古额济纳旗交叉沟石英脉型金矿床地质特征研究[J]. *西部资源*, 2012, (02): 100-101.
- YANG Chongwen. Geological characteristics of Jiaochagou quartz vein type gold deposit in Ejina Banner, Inner Mongolia[J]. *Western Resources*, 2012, (02): 100-101.
- 杨合群, 赵国斌, 李文明, 等. 内蒙古盘陀山-鹰嘴红山含钨花岗岩带形成时代及源区示踪[J]. *地质与勘探*, 2010, 46(03): 407-413.
- YANG Hequn, ZHAO Guobin, LI Wenming, et al. Formation age and source tracing of the tungsten-bearing granite belt in the Pantuoshan-Yingzuihongshan area, Inner Mongolia[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(03): 407-413.
- 杨剑洲, 龚晶晶, 高健翁, 等. 北山造山带白云山蛇绿岩地幔橄榄岩成因及形成环境[J]. *西北地质*, 2019, 52(03): 1-13.
- YANG Jianzhou, GUO Jingjing, Gao Jianwei, et al. Petrogenesis and Geotectonic Setting of Mantle Peridotites from the Baiyunshan Ophiolite in Beishan Orogen[J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(03): 1-13.
- 杨鑫, 马宝军, 张善明, 等. 内蒙古北山盘陀山地区地质特征及成矿条件分析[J]. *西部资源*, 2016, (05): 66-67.
- YANG Xin, MA Baojun, ZHANG Shanming, et al. Analysis on geological characteristics and metallogenic conditions of Pantuoshan area, Beishan, Inner Mongolia[J]. *Western Resources*, 2016, (05): 66-67.

- 张国震, 张永, 辛后田, 等. 内蒙古北山老硐沟金多金属矿床闪长玢岩年代学、地球化学及其成矿意义[J]. 矿床地质, 2021, 40(03): 555–573.
- ZHANG Guozhen, ZHANG Yong, XIN Houtian, et al. Geochronology and geochemistry of diorite porphyrite from Laodonggou gold-polymetallic deposit, Beishan, Inner Mongolia, and its metallogenic significance[J]. Mineral Deposits, 2021, 40(03): 555–573.
- 张桐. 内蒙古额济纳旗老硐沟金银矿地质特征及找矿预测研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
- ZHANG Tong. Geological characteristics and prospecting forecast of Laodonggou Lead-Silver-Gold Deposit in Ejina Banner, Inner Mongolia[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2019.
- 赵鹏彬, 李维成, 罗乾周, 等. 内蒙北山鹰嘴红山花岗岩体形成时代及构造环境分析[J]. 西北地质, 2019, 52(04): 1–13.
- ZHAO Pengbin, LI Weicheng, LUO Qianzhou, et al. Formation Age and Tectonic Environment of Yingzuihongshan Granite in Beishan, Inner Mongolia[J]. Northwestern Geology, 2019, 52(04): 1–13.
- 赵鹏彬, 张继军, 高云鹏, 等. 内蒙北山白云山北 A 型花岗岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. 西北地质, 2017, 50(03): 36–46.
- ZHAO Pengbin, ZHANG Jijun, GAO Yunpeng, et al. Geochronology and Geochemistry of Northern Baiyunshan Granites in the Beishan Area, Inner Mongolia, China and Their Geological Significance[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(03): 36–46.
- 赵少卿, 魏俊浩, 高翔, 等. 因子分析在地球化学分区中的应用: 以内蒙古石板井地区 1 : 5 万岩屑地球化学测量数据为例[J]. 地质科技情报, 2012, 31: 27–34.
- ZHAO Shaoqing, WEI Junhao, GAO Xiang, et al. Factor analysis in the geochemical subdivisions: taking 1: 50000 debris geochemical survey in the Shibanjing area of Inner Mongolia as an example[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31: 27–34.
- 郑灵云, 何毅, 杨晓奇, 等. 内蒙古额济纳旗老硐沟金矿床溶洞中金的富集特征及找矿方向[J]. 西部资源, 2019, (1): 25–26.
- ZHENG Lingyun, HE Yi, YANG Xiaoqi, et al. Gold enrichment characteristics and prospecting direction in karst cave of Laodonggou gold deposit, Ejina Banner, Inner Mongolia[J]. Western Resources, 2019, (1): 25–26.
- 郑荣国, 吴泰然, 张文, 等. 北山地区月牙山-洗肠井蛇绿岩的地球化学特征及形成环境[J]. 地质学报, 2012, 86(06): 961–971.
- ZHENG Rongguo, WU Tairan, ZHANG Wen, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting and of the Yueyashan-Xichangjing ophiolite in the Beishan area[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(06): 961–971.
- Xiao W J, Mao Q G, Windley B F, et al. Paleozoic multiple accretionary and collisional processes of the Beishan orogenic collage[J]. American Journal of Science, 2011, 310(10): 1553–1594.
- Xiao W J, Windley B F, Allen M B, et al. Paleozoic multiple accretionary and collisional tectonics of the Chinese Tianshan orogenic collage[J]. Gondwana Research, 2013, 23(4): 1316–1341.