

内蒙古标山地区地气测量地球化学特征及找矿预测

袁伟恒^{1,2}, 杨贵才^{1,2*}, 耿国帅^{1,2}, 王美娟^{1,2}, 李娜^{1,2}, 王怡璟^{1,2}

1. 中国地质调查局地球物理调查中心, 河北 廊坊 065000;
2. 中国地质调查局地球浅地表探测技术创新中心, 河北 廊坊 065000



摘要: 标山地区位于内蒙古北山造山带, 月牙山—洗肠井蛇绿岩带以北, 红石山—百合山蛇绿岩带以南, 区内成矿作用强烈。为进一步圈定找矿靶区, 在标山南测区布设了7条地气地球化学剖面, 通过分析单元元素异常特征和元素组合特征, 研究区内地气异常特征。结果表明: 标山南测区Cu元素异常范围大, 异常值高, 为本区成矿前景最好的元素, 元素组合异常显示, Bi、Sb、Cu、Pb和Zn元素异常规模大, 套合性好, 说明主成矿元素为Cu, 伴生Bi、Sb、Pb和Zn等成矿元素。结合成矿地质背景, 圈定了2处综合异常, 通过对综合异常进行分析, 优选1处异常开展异常查证工作。根据异常检查, 揭露铜矿化体1条, 取得较好的找矿效果, 认为区内具备中—低温热液型铜多金属矿找矿潜力。研究结果证明, 地气测量方法是干旱、半干旱覆盖区寻找隐伏铜多金属矿的有效手段。

关键词: 地气测量; 地球化学特征; 矿床成因; 找矿预测; 标山地区

中图分类号: P632 文献标志码: A 文章编号: 1005-2518(2025)04-0753-11 DOI: 10.11872/j.issn.1005-2518.2025.04.353
引用格式: 袁伟恒, 杨贵才, 耿国帅, 等. 内蒙古标山地区地气测量地球化学特征及找矿预测[J]. 黄金科学技术, 2025, 33(4): 753-763. YUAN Weiheng, YANG Guicai, GENG Guoshuai, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Prediction of Geogas Survey in the Biaoshan Area, Inner Mongolia[J]. Gold Science and Technology, 2025, 33(4): 753-763.

内蒙古标山地区位于内蒙古—甘肃—新疆交会的北山地区, 地处塔里木板块、哈萨克斯坦板块和华北板块的交会区域, 地质背景复杂。该区隶属于石板井—黑大山铜、金、铁、镍、锑成矿带, 近年来发现了额勒根乌兰乌拉铜钼矿、小狐狸山钼矿、独龙包钼矿和珠斯楞海尔罕铜矿, 表明区内成矿作用强烈, 具有良好的找矿前景(聂凤军等, 2003; 江思宏等, 2006; Xiao et al, 2010; 丁建华等, 2016; 张善明等, 2018)。然而, 随着找矿工作程度的逐步提高, 找矿难度逐渐加大, 加之区内覆盖层较厚, 稀释了矿化元素的含量, 利用传统方法提取的化探异常已经不能满足新的找矿需求。

针对覆盖区矿产勘查的难题, 国内外学者发展

了多种深穿透地球化学勘探方法, 主要包括地电化学(罗先熔等, 2002; 孙彬彬等, 2015; 刘映东等, 2017)、元素活动态(Wang et al, 2016; 张必敏等, 2016; 孙跃等, 2023)、土壤微细粒(张必敏等, 2013; 刘汉粮等, 2014)和地气测量(童纯茵等, 1990; 王学求等, 1995; Wang et al, 1997; 汪明启等, 2006; 叶荣等, 2012)等方法。其中, 地气测量在覆盖区找矿工作中取得了很好的应用效果, 该方法的实质是对土壤气体中的微量纳米级金属颗粒进行测量, 进而发现异常(王学求, 1998)。该方法不仅在已知矿区成功探测到与矿体位置吻合的地气多元素综合异常(申勇胜等, 2009), 而且在常规化探效果不佳的干旱戈壁覆盖区, 圈定了与隐伏矿体位置高度吻合的

收稿日期: 2024-11-08; 修订日期: 2025-03-11

基金项目: 中国地质调查局项目“内蒙古额济纳旗北山北带金多金属资源调查评价”(编号: DD20243183)和中国地质调查局地球物理调查中心科技创新基金“内蒙古北山北带斑岩型矿床成矿规律研究”(编号: DKC20230002)联合资助

作者简介: 袁伟恒(1991—), 男, 河北邢台人, 工程师, 从事矿床学和矿床地球化学研究工作。E-mail: 528566236@qq.com

*通信作者: 杨贵才(1979—), 男, 湖北随州人, 正高级工程师, 从事矿产资源勘查和地球化学研究工作。E-mail: yangguicai_1979@126.com

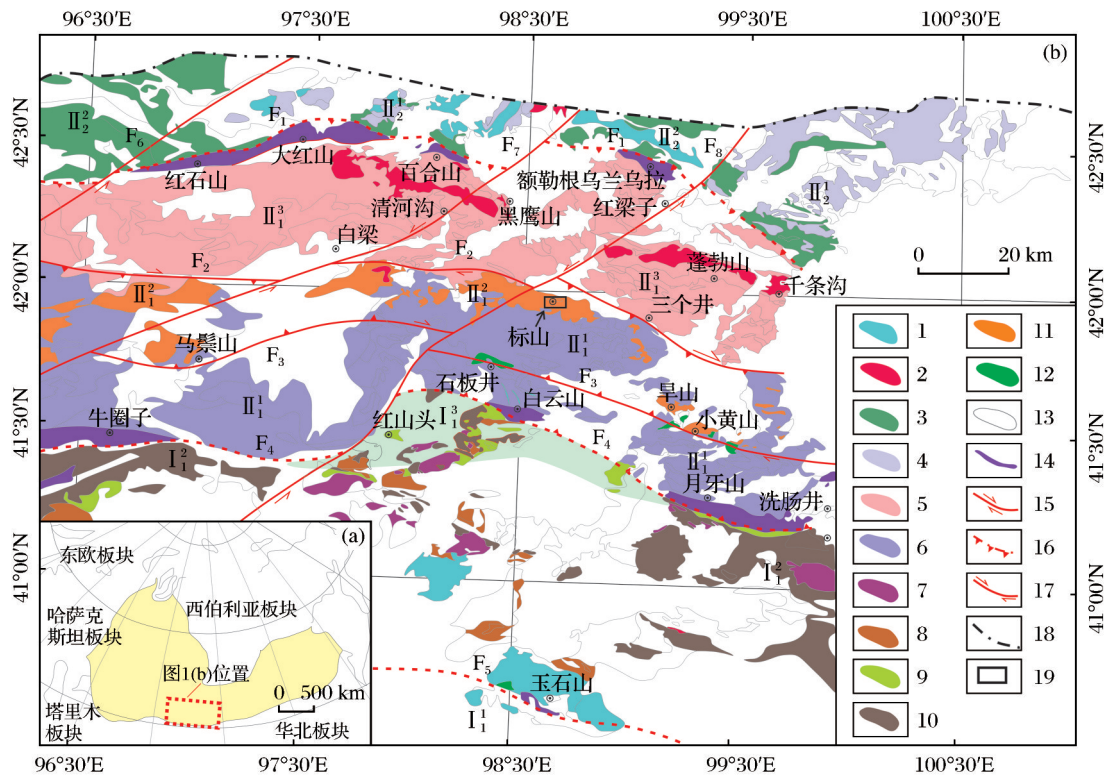
© Editorial Department of Gold Science and Technology (CC BY-NC-ND)

异常,证明其在特殊景观条件下解决深部找矿问题具有独特优势(郭祥义等,2019;韩伟等,2019)。此外,该方法不仅适用于典型金属硫化物矿床,也适用于获取伟晶岩型稀有金属矿床的深部矿化信息(周四春等,2023)。前人对标山地区成矿潜力开展了一系列研究,通过系统的1:5万区域地质矿产调查,初步形成了对该区成矿地质背景的认识,并圈定了以铁、铜为主的多金属成矿远景区,为该区后续找矿工作指明了方向。此外,为进一步优选找矿靶区,在标山北开展了1:1万土壤地球化学测量工作,发现Cu、Cr和W等元素异常显著,工程验证显示,部分靶区的铜和全铁含量达到工业品位,证实该区具有铜铁多金属矿勘探潜力(李超等,2020;王永开,2021)。虽然前人研究成果为覆盖区找矿提

供了重要线索,但是由于该地区自然条件恶劣,深穿透地球化学方法的系统性应用及异常成因解析仍缺乏实证。鉴于此,本文聚焦标山地区地气测量的元素迁移特征及其异常响应,通过在标山南测区开展1:2.5万地气测量工作,运用深穿透地球化学方法分析元素分布特征和富集规律,圈定重点找矿区域,并开展路线地质调查工作进行查证,进而评价地气测量在区内的应用效果,以期为进一步找矿工作提供方向。

1 地质概况

内蒙古北山地区位于华北板块、塔里木板块和哈萨克斯坦板块的交会处[图1(a)],处于一个巨大



I₁¹-红柳园晚古生代裂谷; I₁²-古铜井中-新元古代克拉通盆地; II₁¹-公婆泉早古生代岩浆弧; II₁²-明水-旱山地块; II₁³-白山晚古生代岩浆弧; II₂¹-黑鹰山晚古生代弧后盆地; II₂²-雀儿山-园包山早、中生代岛弧带; F₁-红石山-百合山晚古生代蛇绿混杂岩带; F₂-白梁-三个井构造带; F₃-石板井-小黄山构造带; F₄-月牙山-洗肠井早古生代蛇绿混杂岩带; F₅-帐房山-玉石山晚古生代蛇绿混杂岩带; F₆-星星峡走滑断裂; F₇-清河沟走滑断裂; F₈-红梁子走滑断裂; 1. 中二叠世火山岩; 2. 二叠纪双峰式岩浆岩; 3. 雀儿山-园包山岛弧岩岩; 4. 黑鹰山弧后盆地建造; 5. 白山岩岩浆; 6. 公婆泉岩岩浆; 7. 泥盆纪双峰式侵入岩; 8. 泥盆-石炭纪裂谷火山岩; 9. 寒武-奥陶纪被动陆源沉积; 10. 中-新元古界盖层; 11. 北山岩群; 12. 奥陶纪辉长岩; 13. 中-新生界; 14. 蛇绿混杂岩; 15. 走滑断裂; 16. 俯冲带及俯冲方向; 17. 韧性剪切带; 18. 国界线; 19. 研究区

图1 内蒙古北山造山带大地构造单元划分图(修改自辛后田等,2020)

Fig. 1 Tectonic units of the Beishan Orogenic Belt, Inner Mongolia(modified after Xin et al,2020)

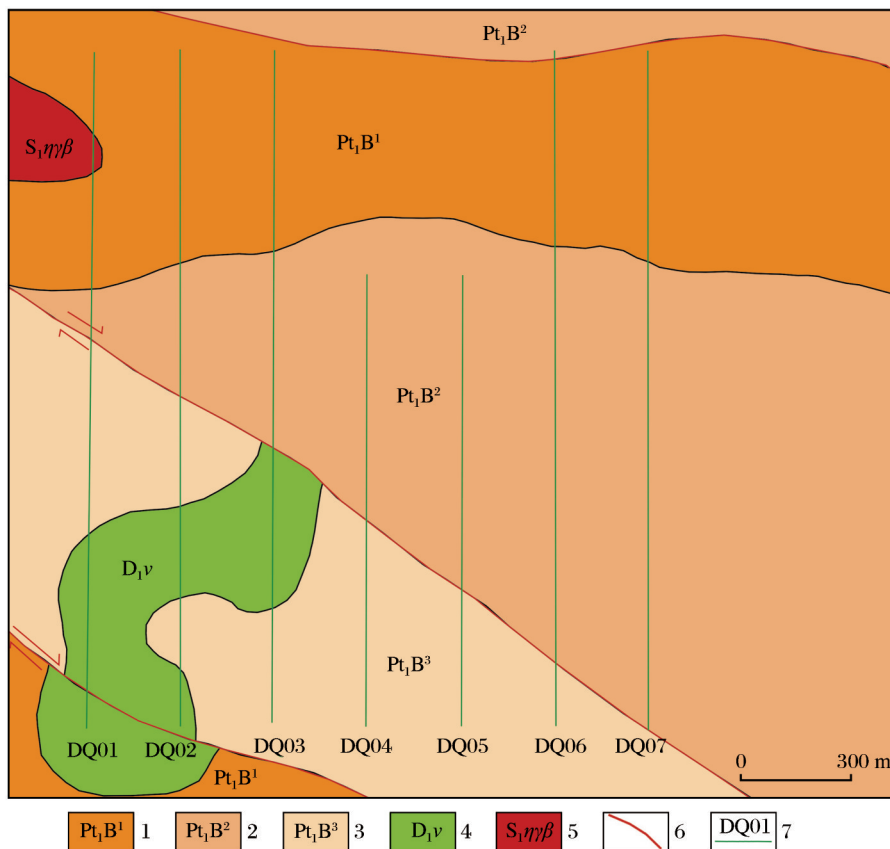
的构造楔形区内,构造特征极为复杂。在漫长的地质演化过程中,该地区经历了多次俯冲—碰撞造山作用和多期次构造—岩浆演化旋回,从而形成了多期次的区域成矿作用(杨合群等,2008;Xiao et al, 2010)。北山地区产出多条呈近EW向的蛇绿岩带和深大断裂(左国朝等,1990;毛启贵,2008),由南向北可划分为敦煌陆块、花牛山弧、明水—旱山地块、黑鹰山弧和雀儿山弧[图1(b)]。标山地区位于内蒙古北山北带,大地构造位置位于明水—旱山地块东侧,南侧受控于月牙山—洗肠井蛇绿岩带,北邻白梁—三个井构造带(辛后田等,2020)。

研究区出露地层主要为古元古界北山岩群(Pt₁B),整体为一套陆源碎屑岩夹碳酸盐岩建造(图2)。根据岩石组合特征,进一步将其划分为4个岩组:第一岩组主要由灰色、灰白色和浅粉色浅粒岩构成,局部与深灰色变粒岩或粉色长石石英岩

交替层理;第二岩组以厚层和块层状石英岩为主;第三岩组则以片岩和变粒岩为主体;第四岩组只在研究区外小面积出露,岩性较为单一,以硅化大理岩为主(徐旭明等,2018)。岩浆岩以古生代侵入岩为主,主要分布于研究区西部,其中晚奥陶世侵入岩岩性为片麻状石英闪长岩,规模较大,呈岩基状产出。早志留世侵入岩岩性为片麻状细—中粒花岗闪长岩和片麻状中—细粒含黑云二长花岗岩,整体呈断续带状分布于晚奥陶世片麻状石英闪长岩南侧。早泥盆世侵入岩岩性为辉长岩,主要呈岩株或岩脉状出露于西南侧,侵入围岩主要为古元古代北山岩群。区内断裂发育,以近EW和NWW向断裂为主,少量为NE向(李超等,2020)。

2 样品采集及测试

在标山南测区布设地气测量剖面7条,采样网



1.北山岩群第一岩组;2.北山岩群第二岩组;3.北山岩群第三岩组;4.早泥盆世蚀变辉长岩;5.早志留世片麻状黑云二长花岗岩;
6.断层;7.地气剖面位置及编号

图2 内蒙古标山地区地质图(修改自李超等,2020)

Fig. 2 Geological map of Biaoshan area in Inner Mongolia(modified after Li et al, 2020)

度为250 m×50 m,采样方位为南北向。地气采集方式采用主动抽气法,通过定量抽取气体,捕集以游离状存在于覆盖层土壤气体中的纳米金属颗粒,再利用化学分析手段,测定纳米金属微粒的含量,从而圈定异常(张必敏等,2018)。在野外工作之前,为了减少工作装置对样品的污染,对所使用的捕集器和捕集剂器皿进行了去离子水清洗和硝酸溶液浸泡清洗。本次工作选用由超纯水和BV-Ⅲ级硝酸配制而成的3%硝酸溶液作为捕集剂。

地气测量流程如下:首先通过钢钎向地下打一个0.5~1.0 m的小孔,然后将螺纹钻钻入地下,保证钻入深度大于0.3 m,每个点位打孔3个,每个孔用抽气筒抽气2次,抽取3 L气体,平均每个孔需采样1~2 min,在局部土壤致密地段,由于游离状气体含量相对较少,每个孔抽气需在10 min以上。抽气过程中,向上匀速拉动抽气筒,抽气筒的容量为1.5 L,待抽气筒拉到顶端后,观察捕集剂气泡情况,当不再有气泡产生或只有极少量气泡产生时完成抽气,将捕集剂装入塑料容器中密封。

地气样品分析工作在中国地质科学院地球物

理地球化学勘查研究所应用地球化学实验室完成,采用高分辨率等离子体质谱法(HR-ICP-MS)进行测试,分析元素为Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Mo、Li、Be、Sb、Co、Ni、As、Bi和Cr,分析方法检出限见表1。由表1可知,各元素报出率均大于95.6%,整体报出率为99.5%。为监测分析质量,每条测线插入1件标准物质溶液同时进行分析,标准物质测定合格率为100%,保证了地气样品分析结果的可靠性。

3 地气测量元素地球化学特征

3.1 元素含量统计特征

通过对研究区229个样品数据进行综合整理,利用SPSS软件对单元素数据平均值、标准离差和变异系数等地球化学特征值进行计算。由表1可知,该区元素离散程度较高,平均值远大于中值,除Au元素之外,其他元素的变异系数均大于1,显示出分异—强分异的特征,表明Au元素分布较为均匀,矿化异常特征不明显,而其他元素分布相对集中,异常特征较为明显,成矿可能性较大。

表1 标山地区地气地球化学测量元素参数特征统计

Table 1 Statistics of element parameter characteristics of geogas geochemical survey in Biaoshan area

元素	检出限/($\mu\text{g}\cdot\text{L}$)	最小值/($\mu\text{g}\cdot\text{L}$)	平均值/($\mu\text{g}\cdot\text{L}$)	中位数/($\mu\text{g}\cdot\text{L}$)	最大值/($\mu\text{g}\cdot\text{L}$)	最大值/最小值	标准离差/($\mu\text{g}\cdot\text{L}$)	变异系数
Ag	0.005	0.004	5.853	0.026	36.708	8 469.37	10.889	1.86
As	0.100	0.060	0.470	0.280	8.750	152.77	0.780	1.65
Au	0.005	0.005	0.010	0.009	0.122	24.83	0.008	0.80
Be	0.005	0.015	0.037	0.022	1.388	91.40	0.094	2.57
Bi	0.002	0.009	0.055	0.025	1.259	139.96	0.127	2.31
Co	0.010	0.060	2.740	0.290	52.410	847.47	5.910	2.16
Cr	0.600	0.620	212.420	4.340	4 388.920	7 113.12	499.910	2.35
Cu	0.060	0.950	73.290	11.760	2 660.670	2 807.63	241.260	3.29
Li	0.100	0.060	0.650	0.270	31.760	577.23	2.160	3.32
Mo	0.007	0.043	1.318	0.173	22.114	514.28	2.732	2.07
Ni	0.050	0.870	117.160	9.430	2 212.240	2 536.69	252.740	2.16
Pb	0.070	0.840	34.640	2.750	1 213.460	1 439.85	123.320	3.56
Sb	0.010	0.060	0.390	0.160	15.570	240.14	1.140	2.90
W	0.008	0.013	0.128	0.041	1.7630	137.83	0.195	1.53
Zn	0.300	0.280	320.760	42.040	6 399.560	942.24	23 035.520	2.94

3.2 元素组合特征

通过对区内地气数据的相关性分析,获得元素间的相关系数,有助于确定元素间亲疏关系。由

表2可知,Co、Cr、Mo、W和Ni的相关系数大于0.9,表现出明显的相关性;Bi、Cu、Pb、Sb和Zn的相关系数以及As、Be和Li的相关系数均大于0.7,表现出

表2 标山地区地气地球化学测量元素相关系数矩阵
Table 2 Element correlation coefficient matrix of geogas geochemical survey in Biaoshan area

	Ag	As	Au	Be	Bi	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sb	W	Zn
Ag	1														
As	0.36	1													
Au	0.10	0.10	1												
Be	0.15	0.81	0.05	1											
Bi	0.04	0.35	0.03	0.22	1										
Co	0.38	0.36	0.22	0.23	0.24	1									
Cr	0.36	0.19	0.21	0.01	0.20	0.97	1								
Cu	-0.04	0.11	0.03	0.01	0.71	0.19	0.19	1							
Li	0.10	0.78	0.03	0.97	0.35	0.23	0.01	0.14	1						
Mo	0.40	0.34	0.24	0.02	0.15	0.90	0.91	0.17	0.01	1					
Ni	0.35	0.19	0.22	0.01	0.20	0.95	0.98	0.22	0.01	0.90	1				
Pb	-0.03	0.16	0.01	0.00	0.82	0.19	0.19	0.79	0.14	0.16	0.20	1			
Sb	0.02	0.27	0.01	0.01	0.84	0.16	0.17	0.48	0.12	0.16	0.17	0.83	1		
W	0.38	0.25	0.22	0.02	0.21	0.95	0.97	0.19	0.02	0.92	0.95	0.18	0.17	1	
Zn	-0.07	0.12	-0.03	0.00	0.70	0.09	0.09	0.75	0.15	0.06	0.10	0.85	0.67	0.08	1

较为明显的相关性;而 Au 和 Ag 等元素的相关系数均小于 0.4,相关性较差。

对 15 种元素进行 R 型聚类分析,得到聚类分析谱系图如图 3 所示。由图 3 可知,在 $R=18$ 相关水平上,可将元素划分为 5 个组合。第 1 簇元素为 Co、Cr、Mo、Ni 和 W,为一组中—高温元素组合,反映了与中—高温热液成矿作用有关,主要为与基性岩关系密切的元素组合;第 2 簇元素为 Bi、Sb、Cu、Pb 和 Zn,为一套中—低温元素组合,但其中又夹有高温元素 Bi,推测可能具有多期热液活动叠加的特征,主要为与热液活动有关的多金属矿化元素组合;第 3 簇元素为 As、Be 和 Li,为一套低温元素组合,主要为与酸性岩关系密切的元素组合;第 4 簇元素为单元素 Au,形成的异常较弱,与其他元素的相关系数均较差,表明其具有相对独立的地球化学行为,反映该区蚀变辉长岩体对 Au 的富集作用影响较小;第 5 簇元素为单元素 Ag,与其他元素相关性较差,可能为局部构造热液活动的反映。

3.3 元素含量分布特征

为了解元素在空间的分布特征,通过 Min-Max 标准化将原始数据线性转换到指定的区间范围内,然后利用元素标准化值形成研究区元素分布折线图(图 4~图 6)。由图 4 可以看出,Co、Cr、Mo、W 和 Ni 元素在空间上的分布具有一致性,在 1 线和 2 线

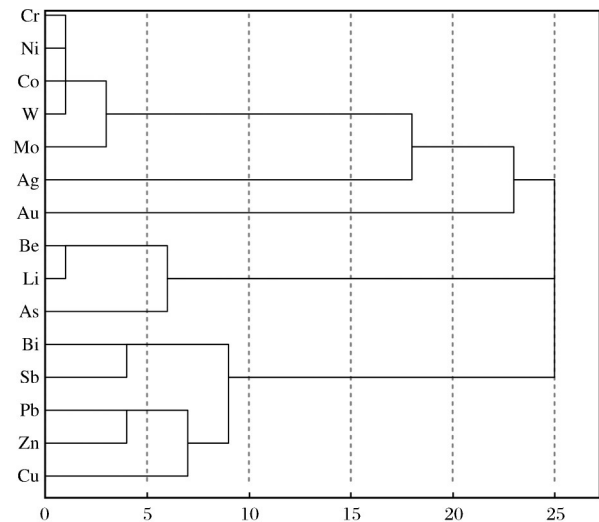
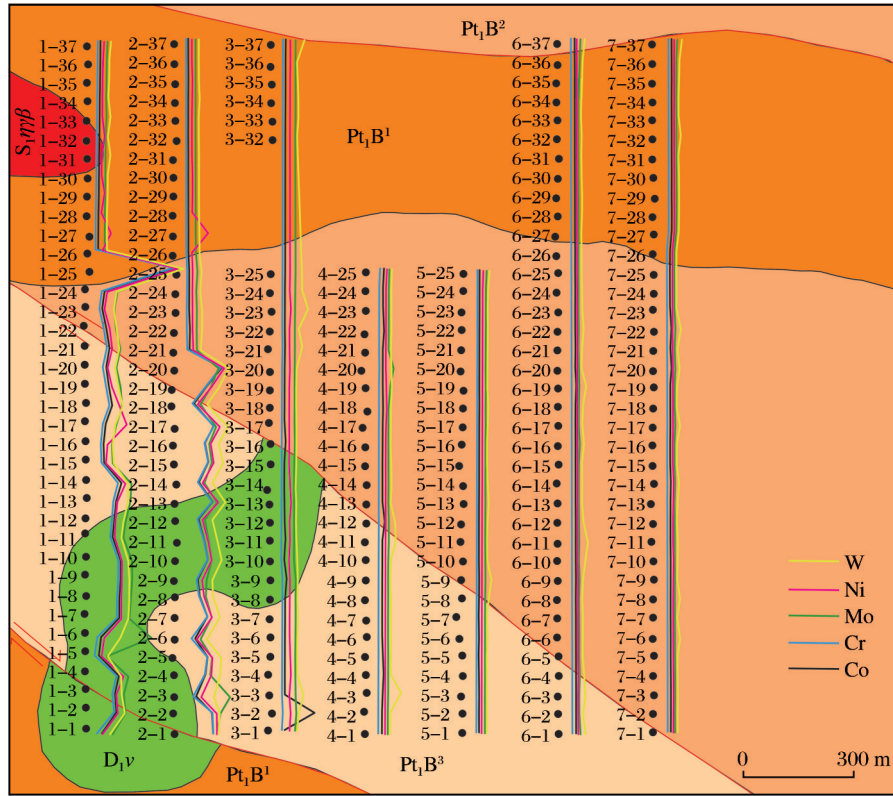


图3 标山地区元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 3 R-type cluster analysis pedigree diagram of elements in Biaoshan area

的南段具有较多高值点,尤其在 1 号线的 25 号点,5 种元素在该处均具有最大值。向东段高值点减少,且高值也相对较小,至最东段的 7 号线,高值点基本不存在。从高值点分布的地质情况来看,高值点主要出露于蚀变辉长岩体及其附近,而 25 号点处于岩体外侧,北山群 1 段和 2 段的岩性分界上。

由图 5 可以看出,Bi、Cu、Pb、Sb 和 Zn 元素的分布也较一致,其高值点主要分布在 1 线的 14 号点、2 线



Pt₁B¹-北山岩群第一岩组;Pt₁B²-北山岩群第二岩组;Pt₁B³-北山岩群第三岩组;D₁v-早泥盆世蚀变辉长岩;
S₁ηγβ-早志留世片麻状黑云二长花岗岩

图4 标山地区 Co、Cr、Mo、Ni、W 元素标准化折线图

Fig. 4 Standardized line diagram of Co, Cr, Mo, Ni, W elements in Biaoshan area

的13号点和15号点、3线的13号点、4线的18号点、6线的14号点和21号点以及7号线的14号点,其异常点形成2条高值带,分别位于断层两侧。其中, I号高值带近似分布在岩体与地层的接触带上, II号高值带分布在辉长岩体的外接触带上,与岩体的距离约为100 m,说明岩体控制了该异常的展布。

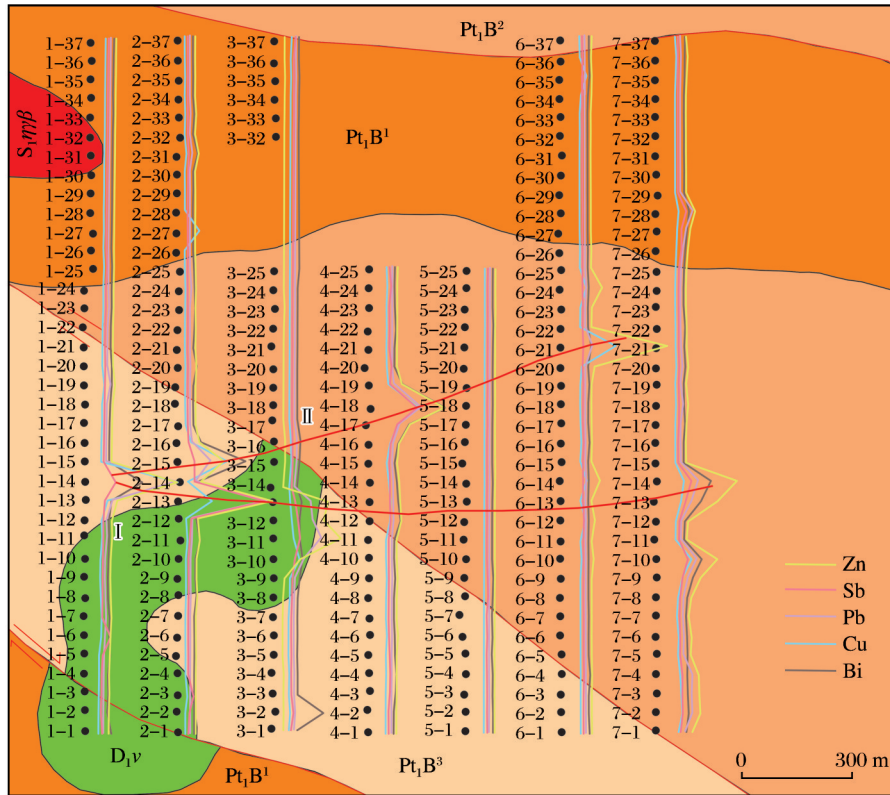
由图6可以看出,Ag、As、Au、Be和Li元素的分布趋势不一致。其中,Ag的高值点较多,主要分布在1线、2线、3线的南段和7线的北段,南段主要为辉长岩体的内外接触带,北段主要分布在北侧的断裂与北山岩群1段、2段的岩性界面之间;As、Be和Li的高值点主要分布在3线的2号点;Au的高值点分布在6线的9号点,且高值点较少。

4 异常查证

根据异常特征和成矿地质条件,对 I 号高值带

进行了野外异常查证。异常区出露地层主要为北山岩群第三岩组,岩性主要为二云石英片岩;侵入岩主要为早泥盆世蚀变辉长岩,呈不规则岩株状产出;高值带附近发育一条NW走向的走滑断层。

通过路线地质调查,在异常区西侧发现1条矿化体,宽度为1~2 m,局部达3 m,地表断续出露长度大于30 m,走向290°~300°。矿化主要分布于古元古代北山岩群第三岩组和蚀变辉长岩中,矿化体与围岩呈渐变过渡关系,在矿化体附近发现了较好的孔雀石化、铜蓝矿化、褐铁矿化、硅化和绿帘石化等矿化蚀变现象(图7),矿体受NWW向断裂和NEE向次级断裂控制。地球化学资料显示,北山岩群和早泥盆世辉长岩Cu、Co和Ni等成矿元素具有明显富集的特征,推测蚀变辉长岩为金属矿产的富集提供了热源和物质来源,NW向断裂及其次级断裂则为成矿热液提供了运移通道和容矿空间,初步认为矿床成因类型为中-低温热液型。铜矿化体



Pt₁B¹-北山岩群第一岩组;Pt₁B²-北山岩群第二岩组;Pt₁B³-北山岩群第三岩组;D₁v-早泥盆世蚀变辉长岩;
S₁γγβ-早志留世片麻状黑云二长花岗岩; I、II-高值带编号

图5 标山地区Bi、Cu、Pb、Sb、Zn元素标准化折线图

Fig. 5 Standardized line diagram of Bi, Cu, Pb, Sb, Zn elements in Biaoshan area

与Cu元素高值带引起的异常重合,表明地气地球化学测量在研究区具有较好的找矿效果,建议下一步对地气高值带进行槽探工程控制,从而更有效地评价异常。

5 找矿标志

结合研究区地气地球化学异常特征、异常查证情况和成矿地质条件分析,认为标山地区是寻找中—低温热液铜多金属矿的有利区,找矿标志主要有以下5个方面:

(1)地层标志。区内中—低温热液型铜矿产赋存于古元古代北山岩群内,尤其是北山岩群第一岩组和第三岩组是主要的赋矿层位,二者是本区寻找中—低温热液型铜矿产的地层标志。

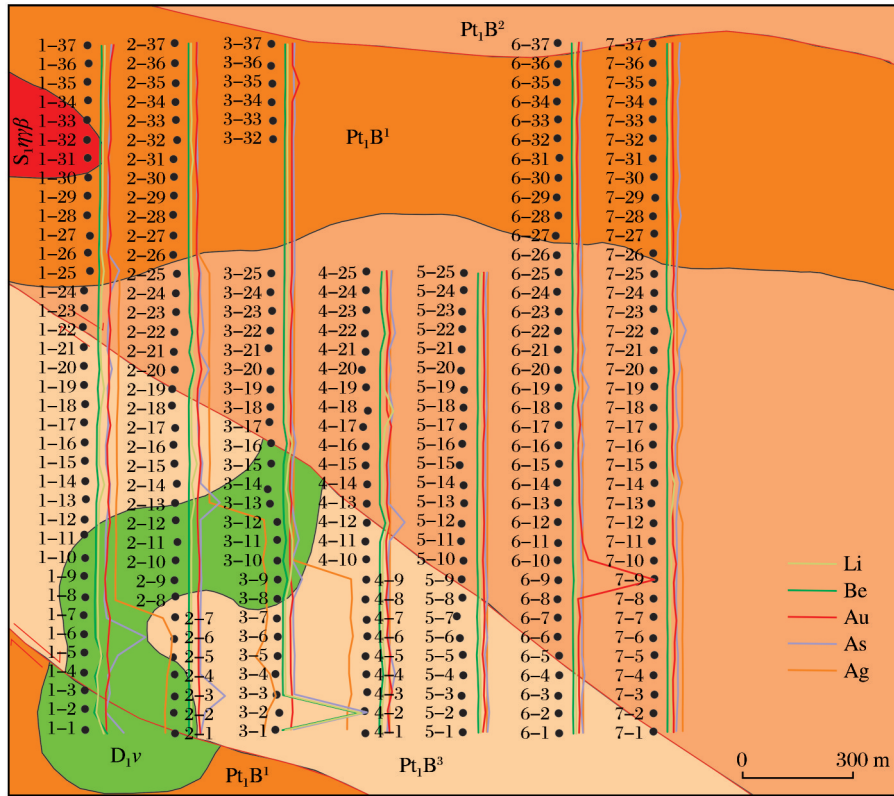
(2)构造标志。断裂对该类矿床的分布具有明显的控制作用,矿化体多发育在NW向断层破碎

带内或其次级构造带内,多呈脉状展布。因此,区内NW向和NNW向断裂是主要的控矿构造。

(3)侵入岩标志。区内中—低温热液型铜矿产与早泥盆世蚀变辉长岩关系密切,区内该期侵入岩Cu等主要成矿元素呈明显的富集特征,为热液型多金属矿床的形成提供了丰富的成矿物质来源,其侵入围岩均为古元古代北山岩群,二者共同作用为区内中—低温热液型铜矿产的形成创造了条件。

(4)围岩蚀变标志。通过路线地质调查,在地气异常高值区发现了较好的孔雀石化、铜蓝矿化、褐铁矿化、硅化和绿帘石化,这些蚀变类型是寻找中—低温热液型铜多金属矿的重要找矿标志。

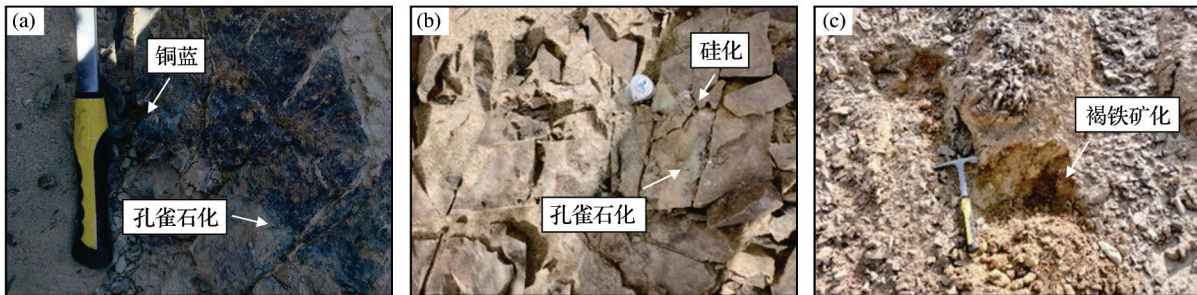
(5)地球化学元素组合标志。通过对地气地球化学元素异常进行分析可知,Cu元素的异常范围大,异常值高,为主攻矿种,以Cu-Pb-Zn-Bi-Sb为主的地球化学元素组合异常规模大,套合性好,是寻找中—低温热液型铜多金属矿的重要找矿标志。



Pt₁B¹-北山岩群第一岩组;Pt₁B²-北山岩群第二岩组;Pt₁B³-北山岩群第三岩组;D₁v-早泥盆世蚀变辉长岩;
S₁γβ-早志留世片麻状黑云二长花岗岩

图6 标山地区 Ag、As、Au、Be、Li 元素标准化折线图

Fig. 6 Standardized line diagram of Ag, As, Au, Be, Li elements in Biaoshan area



(a)辉长岩中孔雀石化和铜蓝矿化;(b)石英片岩中孔雀石化和硅化;(c)石英片岩中褐铁矿化

图7 标山地区 I 号异常区典型蚀变特征

Fig. 7 Typical alteration characteristics of No. 1 anomaly area in Biaoshan area

6 结论

(1)地气单元异常显示,研究区 Cu 元素的异常范围大,异常值高,为本区成矿前景最好的元素。地气元素组合异常显示,Bi、Sb、Cu、Pb 和 Zn 元素异常规模大,套合性好,说明主成矿元素为 Cu,伴生 Bi、Sb、Pb 和 Zn 等成矿元素。

(2)本次工作对地气异常高值区进行了野外异常检查,揭露铜矿化体 1 条,矿化体位置与地气异常形态套合较好,表明地气地球化学测量在研究区具有较好的找矿效果,建议下一步对高值区进行槽探工程控制,从而更有效地对异常进行评价。

(3)铜矿化体主要分布于蚀变辉长岩中,受 NWW 向断裂控制,矿化类型以孔雀石化和褐铁矿

化为主,结合地气地球化学特征和野外地质调查,认为蚀变辉长岩与NW向构造破碎带的结合部位是成矿有利空间。

参考文献 (References):

- Wang X Q, Cheng Z Z, Lu Y X, et al, 1997. Nanoscale metals in earthgas and mobile forms of metals in overburden in wide-spaced regional exploration for giant deposits in overburden terrains [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 58 (1): 63-72.
- Wang X Q, Zhang B M, Lin X, et al, 2016. Geochemical challenges of diverse regolith-covered terrains for mineral exploration in China [J]. *Ore Geology Reviews*, 73: 417-431.
- Xiao W J, Mao Q G, Windley B F, et al, 2010. Paleozoic multiple accretionary and collisional processes of the Beishan orogenic collage [J]. *American Journal of Science*, 310 (10): 1553-1594.
- 丁建华, 邢树文, 肖克炎, 等, 2016. 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*, 90 (7): 1392-1412. Ding Jianhua, Xing Shuwen, Xiao Keyan, et al, 2016. Geological characteristics and resource potential analysis of the Dongtianshan-Beishan Cu-Ni-Au-Pb-Zn metallogenic belts [J]. *Acta Geologica Sinica*, 90 (7): 1392-1412.
- 郭祥义, 叶荣, 鲁美, 等, 2019. 半干旱荒漠草原覆盖区地气测量方法研究——以内蒙古维拉斯托锌铜多金属矿床为例 [J]. *地质与勘探*, 55 (3): 789-800. Guo Xiangyi, Ye Rong, Lu Mei, et al, 2019. Geogas measurement experiments in the semi-arid desert steppe: an example of the Weilasituo Zn-Cu polymetallic deposit in Inner Mongolia [J]. *Geology and Exploration*, 55 (3): 789-800.
- 韩伟, 刘华忠, 王成文, 等, 2019. 哈密天宇铜镍矿地气测量地球化学特征及指示意义 [J]. *物探与化探*, 43 (3): 502-508. Han Wei, Liu Huazhong, Wang Chengwen, et al, 2019. Geochemical characteristics and indication significance of geogas survey in the Tianyu Cu-Ni deposit of Hami [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 43 (3): 502-508.
- 江思宏, 聂凤军, 胡朋, 等, 2006. 北山地区岩浆活动与金矿成矿作用关系探讨 [J]. *矿床地质*, 25 (增刊1): 269-272. Jiang Sihong, Nie Fengjun, Hu Peng, et al, 2006. Discussion on the relationship of magmatism and gold metallogeny in Beishan Mountain area [J]. *Mineral Deposits*, 25 (Suppl.1): 269-272.
- 李超, 罗先熔, 汤国栋, 等, 2020. 内蒙古额济纳旗标山北土壤地球化学异常特征及找矿前景 [J]. *地质与勘探*, 56 (6): 1170-1182. Li Chao, Luo Xianrong, Tang Guodong, et al, 2020. Characteristics of soil geochemical anomalies and ore-search prospect in the north of Biaoshan, Ejinaqi, Inner Mongolia [J]. *Geology and Exploration*, 56 (6): 1170-1182.
- 刘汉粮, 王学求, 张必敏, 等, 2014. 沙泉子隐伏铜镍矿地球化学勘查方法试验 [J]. *物探化探计算技术*, 36 (6): 763-770. Liu Hanliang, Wang Xueqiu, Zhang Bimin, et al, 2014. Geochemical exploration for concealed Cu-Ni deposit, Shaquanzi, Xinjiang [J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 36 (6): 763-770.
- 刘映东, 张必敏, 罗先熔, 2017. 地电化学在隐伏铜镍矿勘查中的应用及异常形成机理探讨 [J]. *地质与勘探*, 53 (4): 694-703. Liu Yingdong, Zhang Bimin, Luo Xianrong, 2017. Mechanism of geoelectrochemistry anomalies and application to prospecting of buried Cu-Ni deposits [J]. *Geology and Exploration*, 53 (4): 694-703.
- 罗先熔, 陈三明, 杜建波, 等, 2002. 地球电化学勘查法寻找不同埋深隐伏金矿的研究 [J]. *矿物岩石*, 22 (4): 42-46. Luo Xianrong, Chen Sanming, Du Jianbo, et al, 2002. Study of geoelectro-chemical method in search for different hidden deposits [J]. *Mineralogy and Petrology*, 22 (4): 42-46.
- 毛启贵, 2008. 北山及邻区古生代—早中生代增生与碰撞大地构造格局 [D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所. Mao Qigui, 2008. Paleozoic to early mesozoic accretionary and collisional tectonics of the Beishan and adjacent area, Northwest China [D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等, 2003. 蒙甘新相邻(北山)地区金铜矿床时空分布特征及成矿作用 [J]. *矿床地质*, 22 (3): 234-245. Nie Fengjun, Jiang Sihong, Bai Daming, et al, 2003. Temporal-spatial distribution and metallogenic processes of gold and copper deposits in Inner Mongolia-Gansu-Xinjiang border (Beishan) region [J]. *Mineral Deposits*, 22 (3): 234-245.
- 申勇胜, 马小红, 张玉洁, 等, 2009. 青海省化隆县拉水峡铜镍矿区地气汞气测量异常特征分析 [J]. *黄金科学技术*, 17 (4): 54-57. Shen Yongsheng, Ma Xiaohong, Zhang Yujie, et al, 2009. Discussion on the anomaly characteristics of Lashuixia Cu-Ni deposit in Qinghai by geogas and mercury gas measurement [J]. *Gold Science and Technology*, 17 (4): 54-57.

- 孙彬彬, 张学君, 刘占元, 等, 2015. 地电化学异常形成机理初探[J]. 物探与化探, 39(6): 1183-1187. Sun Binbin, Zhang Xuejun, Liu Zhanyuan, et al, 2015. A preliminary study of the formation mechanism of the geoelectric chemistry anomaly[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 39(6): 1183-1187.
- 孙跃, 张振宇, 冯斌, 等, 2023. 覆盖区矿产资源地球化学勘查方法技术研究新进展[J]. 物探与化探, 47(6): 1387-1399. Sun Yue, Zhang Zhenyu, Feng Bin, et al, 2023. Advancements in research on geochemical exploration methods and technologies for mineral resources in overburden areas [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 47(6): 1387-1399.
- 童纯菡, 梁兴中, 李巨初, 等, 1990. 隐伏金矿床上的地气异常[J]. 科学通报, 35(16): 1280. Tong Chunhan, Liang Xingzhong, Li Juchu, et al, 1990. Geogas anomaly in hidden gold deposits[J]. Chinese Science Bulletin, 35(16): 1280.
- 汪明启, 高玉岩, 张得恩, 等, 2006. 地气测量在北祁连盆地区找矿突破及其意义[J]. 物探与化探, 30(1): 7-12. Wang Mingqi, Gao Yuyan, Zhang De'en, et al, 2006. Breakthrough in mineral exploration using geogas survey in the basin area of northern Qilian region and its significance[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 30(1): 7-12.
- 王学求, 1998. 寻找和识别隐伏大型特大型矿床的勘查地球化学理论方法与应用[J]. 物探与化探, 22(2): 81-89, 108. Wang Xueqiu, 1998. Geochemical methods and application for giant ore deposits in concealed terrains [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 22(2): 81-89, 108.
- 王学求, 谢学锦, 卢荫蔭, 1995. 地气动态提取技术的研制及在寻找隐伏矿上的初步试验[J]. 物探与化探, 19(3): 161-171. Wang Xueqiu, Xie Xuejin, Lu Yinxiu, 1995. Dynamic collection of geogas and its preliminary application in search for concealed deposits [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 19(3): 161-171.
- 王永开, 2021. 内蒙古额济纳旗沙河北幅土壤地球化学特征与异常评价[J]. 地质找矿论丛, 36(2): 195-201. Wang Yongkai, 2021. Characteristics and anomaly evaluation of soil geochemistry of Shahebei sheet of Ejinaqi in Inner Mongolia [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 36(2): 195-201.
- 辛后田, 牛文超, 田健, 等, 2020. 内蒙古北山造山带时空结构与古亚洲洋演化[J]. 地质通报, 39(9): 1297-1316. Xin Houtian, Niu Wenchao, Tian Jian, et al, 2020. Spatiotemporal structure of Beishan orogenic belt and evolution of Paleo-Asian Ocean, Inner Mongolia [J]. Geological Bulletin of China, 39(9): 1297-1316.
- 徐旭明, 程海峰, 段炳鑫, 等, 2018. 内蒙古北山地区标山一带北山岩群长石石英岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义 [J]. 新疆地质, 36(3): 393-398. Xu Xuming, Cheng Haifeng, Duan Bingxin, et al, 2018. The LA-ICP-MS U-Pb geochronology of detrital zircons from quartzite in the Beishan complex-group in Biaoshan area in Beishan region during Changchengian period and its geologic significance [J]. Xinjiang Geology, 36(3): 393-398.
- 杨合群, 李英, 李文明, 等, 2008. 北山成矿构造背景概论 [J]. 西北地质, 41(1): 22-28. Yang Hequn, Li Ying, Li Wenming, et al, 2008. General discussion on metallogenic tectonic setting of Beishan Mountain, Northwestern China [J]. Northwestern Geology, 41(1): 22-28.
- 叶荣, 张必敏, 姚文生, 等, 2012. 隐伏矿床上方纳米铜颗粒存在形式与成因 [J]. 地学前缘, 19(3): 120-129. Ye Rong, Zhang Bimin, Yao Wensheng, et al, 2012. Occurrences and formation of copper nanoparticles over the concealed ore deposits [J]. Earth Science Frontiers, 19(3): 120-129.
- 张必敏, 王学求, 2018. 矿产勘查的纳米地球化学理论与方法 [J]. 地球科学, 43(5): 1503-1517. Zhang Bimin, Wang Xueqiu, 2018. Theory and technology of nanogeochemistry for mineral exploration [J]. Earth Science, 43(5): 1503-1517.
- 张必敏, 王学求, 贺灵, 等, 2013. 内蒙古半干旱草原区隐伏矿地球化学勘查方法试验 [J]. 物探与化探, 37(5): 804-810. Zhang Bimin, Wang Xueqiu, He Ling, et al, 2013. Geochemical exploration for concealed deposits on semi-arid grasslands of Inner Mongolia [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 37(5): 804-810.
- 张必敏, 王学求, 徐善法, 等, 2016. 盆地金属矿穿透性地球化学勘查模型与案例 [J]. 中国地质, 43(5): 1697-1709. Zhang Bimin, Wang Xueqiu, Xu Shanfa, et al, 2016. Models and case history studies of deep-penetrating geochemical exploration for concealed deposits in basins [J]. Geology in China, 43(5): 1697-1709.
- 张善明, 兰生科, 贺中银, 等, 2018. 内蒙古北山额勒根乌拉一带土壤测量地球化学特征及找矿方向 [J]. 现代地质, 32(4): 655-666. Zhang Shanming, Lan Shengke, He Zhongyin, et al, 2018. Soil geochemical characteristics and prospecting direction in Elegenwulanwula area of Beishan district, Inner Mongolia [J]. Geoscience, 32(4): 655-666.
- 周四春, 王登红, 刘晓辉, 等, 2023. 综合地气测量探测伟晶岩稀有金属矿技术方法及应用 [J]. 物探与化探, 47(6): 1627-1634. Zhou Sichun, Wang Denghong, Liu Xiaohui,

et al, 2023. Technical methods for integrated geogas survey and their applications in the exploration of pegmatite-type rare metal deposits [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 47(6): 1627-1634.

左国朝, 何国琦, 1990. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京: 北京大学出版社. Zuo Guochao, He Guoqi, 1990. Plate tectonics and metallogenic regularities in Beishan region [M]. Beijing: Peking University Press.

Geochemical Characteristics and Prospecting Prediction of Geogas Survey in the Biaoshan Area, Inner Mongolia

YUAN Weiheng^{1,2}, YANG Guicai^{1,2}, GENG Guoshuai^{1,2}, WANG Meijuan^{1,2}, LI Na^{1,2}, WANG Yijing^{1,2}

1. Center for Geophysical Survey, China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China;

2. Technology Innovation Center for Earth Near Surface Detection, China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China

Abstract: The Biaoshan area located within the Beishan Orogenic Belt in Inner Mongolia, is geographically positioned north of the Yueyashan-Xichangjing ophiolite belt and south of the Hongshishan-Baiheshan ophiolite belt. This area is part of the Shibanjing-Heidashan Cu, Au, Fe, Ni metallogenic belt. Recent discoveries, including the Elegenwulanwula Cu-Mo deposit, Xiaohulishan Mo deposit, Dulongbao Mo deposit, and Zhusilenghaierhan Cu deposit, underscore the region's intense mineralization and promising potential for further exploration. However, the increasing challenges associated with surface exploration and the interference of cover layers with traditional geochemical methods, necessitate the use of deep-penetrating geochemical techniques to elucidate the causes of anomalies and accurately identify target areas for future mineral exploration. This study examines the elemental migration characteristics and anomaly response mechanisms of geogas survey in the Biaoshan area, establishing seven geogas geochemical profiles in the southern Biaoshan region. Through a detailed analysis of single-element anomalies and element associations, the geogas anomaly characteristics within the region were systematically investigated. The findings reveal that the copper (Cu) element displays an extensive anomaly range and elevated anomaly values, identifying it as the most promising element for mineralization within the area. The geogas element association anomalies further demonstrate that bismuth (Bi), antimony (Sb), copper (Cu), lead (Pb), and zinc (Zn) exhibit significant anomaly scales and strong spatial coincidence. This suggests that copper is the primary mineralizing element, with bismuth, antimony, lead, and zinc serving as associated mineralizing elements. In light of the geological context of mineralization, two comprehensive anomalies were delineated. Subsequent analysis of these anomalies led to the selection of one for further investigation. Anomaly inspection, revealed a copper orebody, characterized by a width of 1~3 m and an extension exceeding 30 m. This orebody is hosted within the third formation of the Beishan group and altered gabbro, and is accompanied by alterations such as malachite, chalcopyrite, goethite, and silicification. The mineralization is controlled by northwest-trending faults and associated secondary structures, with the spatial distribution of the mineralization body closely aligning with the anomaly morphology. Considering the geological conditions conducive to mineralization, it is posited that the region holds potential for the discovery of medium-temperature to low-temperature hydrothermal copper polymetallic deposits. Prospecting indicators for this category of mineral deposits have been identified. The findings of this study indicate that the geogas survey technique is an effective method for detecting concealed copper polymetallic deposits in arid and semi-arid regions with surface cover.

Key words: geogas survey; geochemical characteristics; genesis of deposit; prospecting prediction; Biaoshan area