

doi: 10.11720/wtyht.2015.2.02

刘述敏,王帅,纪仁忠,等.内蒙古东乌旗霍布仁布敦银矿区土壤地球化学特征及异常评价[J].物探与化探,2015,39(2):222-227.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.02

Liu S M, Wang S, Ji R Z, et al. Soil geochemical characteristics and anomaly appraisal of the Huoburenbudun silver mining area in Inner Mongolia[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(2): 222-227. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.02

内蒙古东乌旗霍布仁布敦银矿区 土壤地球化学特征及异常评价

刘述敏,王帅,纪仁忠,王汝杰,史高飞,苏新意,胡浩
(青岛地质工程勘察院,山东 青岛 266071)

摘要:对霍布仁布敦地区 1:5 万土壤地球化学测量资料进行处理分析,应用地球化学块体模型对异常内的潜在 Ag 资源量进行预测,结合本区成矿地质条件与土壤地球化学特征,利用地质累积指数进行评价,圈出 4 个找矿靶区。经过野外工程验证,Ⅱ号靶区和Ⅳ号靶区发现了银矿体(矿化体),建议进一步开展普查工作,对 AgM13 异常进行查证。

关键词:土壤地球化学;地质累积指数;银矿区;找矿靶区;内蒙古霍布仁布敦

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2015)02-0222-06

中国地质科学院地球物理地球化学研究所 2006 年以来在中蒙边界开展了 1:100 万地球化学编图,在内蒙古东部大兴安岭地区圈出了 Ag、Pb、Zn 组合异常 31 处,其中位于霍林郭勒北部霍布仁布敦地区的 AgM13 异常面积最大,达 3 988 km²[1]。2010~2012 年,内蒙古自治区地勘基金管理中心在霍布仁布敦地区部署 1:5 万矿产地质调查项目,开展了面积性土壤地球化学测量工作,取得了高质量的数据[2],证实 AgM13 异常具有较好的找矿意义。笔者通过对 1:5 万土壤地球化学测量数据进行处理分析,对异常区银潜在资源量进行了预测,引入地质累积指数进一步缩小找矿靶区,异常查证结果显示了该区巨大的银矿资源潜力。

1 区域地质背景

霍布仁布敦地区位于中国东部中—新生代滨太平洋构造域,东北构造—岩浆省,中生代大兴安岭东部火山岩带,在东乌旗—嫩江 Cu-Pb-Zn-Fe-W-Mo-Ag-Au 成矿带[3],距拜仁大坝银矿床东北 120 km[4-5]。

区内出露地层主要有上侏罗统满克头鄂博组、玛尼吐组、白音高老组,新近系五岔沟组(图 1)。其中满克头鄂博组分布面积最大,主要岩性包括凝灰

岩、流纹岩、角砾岩、集块岩等,其上为玛尼吐组整合覆盖;玛尼吐组主要分布于区内的中部和西北部,为一套陆相中性火山岩系;白音高老组仅局部可见,为一套陆相酸性火山岩系;新近系五岔沟组零星出露,岩性单一,由气孔状玄武岩和致密块状玄武岩组成。

区内侵入岩主要为燕山期正长斑岩和花岗斑岩,呈北东—北北东向岩株状产出,侵入满克头鄂博组地层。花岗斑岩锆石 U-Pb 同位素测年为 160 Ma。

区内构造不发育,主体表现为北东向展布,控制着燕山期侵入岩的分布,与主体构造相配套发育一系列北西向—近东西向次级断裂构造,为主要的控矿构造,成矿热液沿构造充填交代形成平行分布的北西向—近东西向矿化蚀变带。

2 土壤样品采集与测试方法

霍布仁布敦地区地势平坦,水系不发育,地表受草甸、风成砂等覆盖物的影响,岩石露头少,水系沉积物、岩石地球化学测量等勘查方法难以开展,适合选择土壤化学测量方法开展矿产调查工作[6-7]。

根据地貌景观及野外取样实验,样品的采样层位一般为残积层、残坡积层(C 层)。样品介质主要为残积物、残坡积物或坡积物中的中粗粒(-4~+20

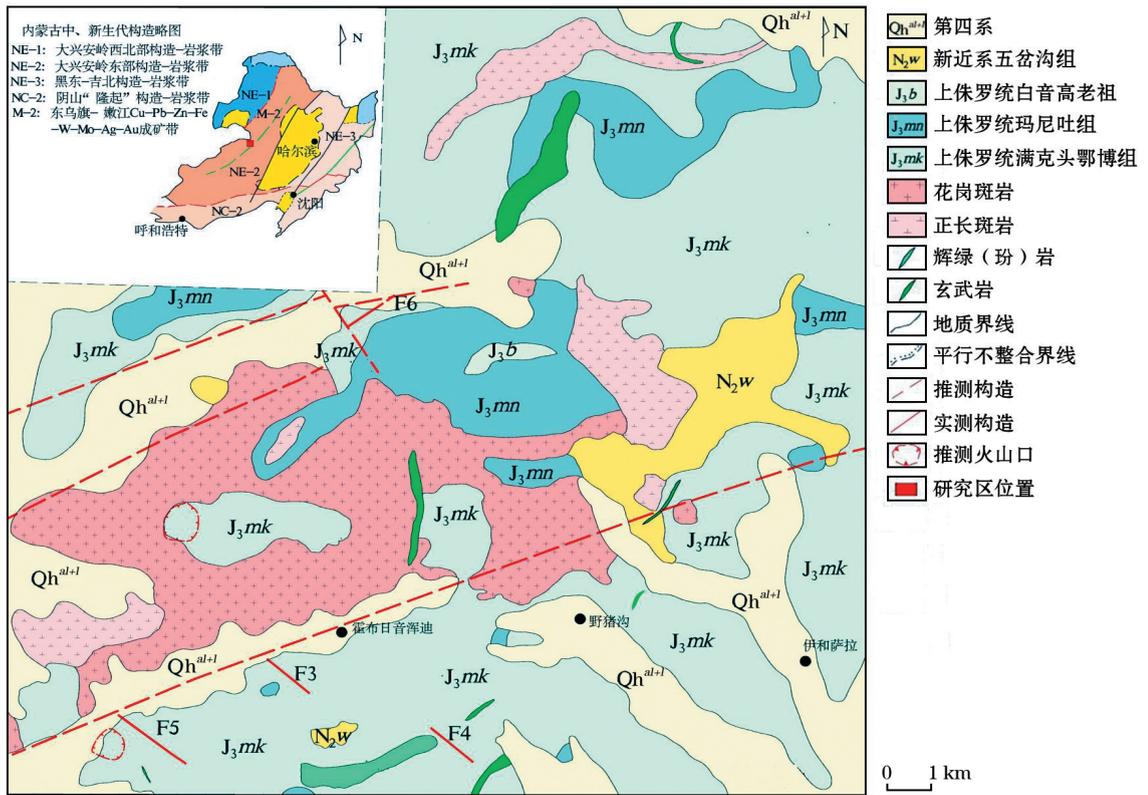


图 1 霍布仁布敦地区大地构造位置及区域地质

目)土壤颗粒^[8]。在低山草原景观区,采样点布置在山坡、山脚等有利于残坡积物堆积的部位,准平原区草原景观区采样点布置在地形相对较高的残坡积物发育地段,采样深度大于 50 cm。

工作区平均采样密度为 8~12 个点/km²,大面积新近系及第四系覆盖区平均采样密度为 1 个点/km²。为了增强土壤样品的代表性,在采样点 30~50 m 范围内 3 处取样,组合成一个单点样品,并严格按照干燥—碎样—过筛(-4~+20 目)—拌匀—称重(不小于 160 g)—装袋—装箱的工序进行加工与保存,在严格防止样品交叉污染的情况下送实验室分析。

土壤样品分析工作由承德华勘五一四地矿测试研究院承担完成。分析元素 12 种(Au、Ag、As、Bi、Cu、Hg、Mo、Pb、Sn、Sb、W、Zn),其中 Au 采用石墨炉原子吸收光谱法分析,Ag、Sn 采用一米光栅分析,As、Hg 采用原子荧光光谱法分析,其余元素采用等离子体质谱法(ICP-MS)分析。

3 土壤地球化学测量结果与异常评价

3.1 土壤地球化学特征

根据勘查地球化学中已有的定义及统计公式,对本区 2 448 件土壤样品的原始分析数据进行统计

分析。利用迭代剔除法,逐步剔除大于和小于 3 倍标准离差的特高值后,计算出全区各元素的平均值(X)和标准离差(δ),再根据 $T=X+2\delta$ 求得元素的异常下限值,变异系数=标准离差/平均值,富集系数=平均值/陆壳含量。统计结果显示(表 1),Ag、Pb、Zn、Cu、Hg、As 标准离差较大,Sb、As、Pb、W、Mo、Sn、Ag 富集系数较大,说明 Ag、Pb、W、Sb、As 等在土壤中发生了较强的富集。

为了进一步了解 12 种元素在全区的共生组合规律及相关性,应用 GeoIPAS 软件对全区土壤样品中各元素含量进行了相关分析,得出元素的相关系数矩阵(表 2)。

从表 2 可以看出,本地区 Ag 与 Au、Cu、Mo、Pb、Sn、W、Zn、As、Sb、Bi、Hg 呈正相关关系,其中 Ag 与 Pb、W、Zn、Sb、Hg 相关性较高,Ag 与 Pb 的相关系数最大,与 Sn 的相关系数最小。

运用 SPSS 软件对原始数据进行 R 型聚类分析^[10],得出元素的聚类分析谱系(图 2)。依据聚类次序可将元素分成三组:第一组为 W、Zn、Pb、Ag;第二组为 Hg、Mo、Sb、Au、Cu;第三组为 As、Sn、Bi。从分组情况看,主成矿元素 Ag 有较强的独立性,Ag 与 Pb 相似性较强,与 Au、Cu 相似性差,反映本区 Ag 与 Au、Cu 成矿关系并不密切。

表 1 霍布仁布敦地区土壤测量元素地球化学参数

参数	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	W	Hg	As	Sb	Bi	Sn
平均值	0.66	61.5	10.59	29.46	46.95	1.21	1.67	10.88	8.04	1.23	0.22	2.23
背景值	0.6	58	9.35	28.71	47	1.1	1.6	10.13	6.7	1.1	0.21	2.2
标准离差	0.21	25.07	4.81	9.56	14.8	0.51	0.61	4.6	5.29	0.72	0.09	0.6
变异系数	0.32	0.41	0.45	0.33	0.32	0.42	0.36	0.42	0.66	0.58	0.42	0.27
最大值	1.24	135	24.02	56.77	97.47	2.7	3.4	23.9	23.51	3.33	0.49	3.9
最小值	0.06	20	0.16	1.99	0.93	0.3	0.29	1.97	0.23	0.03	0.05	0.6
异常下限	1.2	120	20	50	100	3	3	25	20	4	0.4	3
陆壳含量 ^[9]	1.3	56	27	11	72	0.8	1	30	2.5	0.2	0.18	1.7
富集系数	0.51	1.10	0.39	2.68	0.65	1.51	1.67	0.36	3.22	6.15	1.22	1.31

注: Au、Ag 含量单位为 10⁻⁹, 其余元素含量单位为 10⁻⁶

表 2 霍布仁布敦地区土壤地球化学数据相关系数矩阵

元素	Au	Ag	Cu	Mo	Pb	Sn	W	Zn	As	Sb	Bi	Hg
Au	1											
Ag	0.202	1										
Cu	0.238	0.178	1									
Mo	0.161	0.256	0.182	1								
Pb	0.051	0.429	0.091	0.096	1							
Sn	0.084	0.031	0.122	0.044	0.006	1						
W	0.053	0.384	0.098	0.115	0.621	0.027	1					
Zn	0.038	0.37	0.101	0.051	0.637	-0.01	0.78	1				
As	0.169	0.189	0.043	0.096	0.143	0.014	0.145	0.122	1			
Sb	-0.018	0.336	-0.01	0.313	0.315	0.034	0.332	0.19	0.147	1		
Bi	0.115	0.146	0.035	0.048	0.088	0.069	0.114	0.061	0.014	0.11	1	
Hg	0.142	0.335	0.207	0.102	0.336	-0	0.262	0.178	0.098	0.108	0.14	1

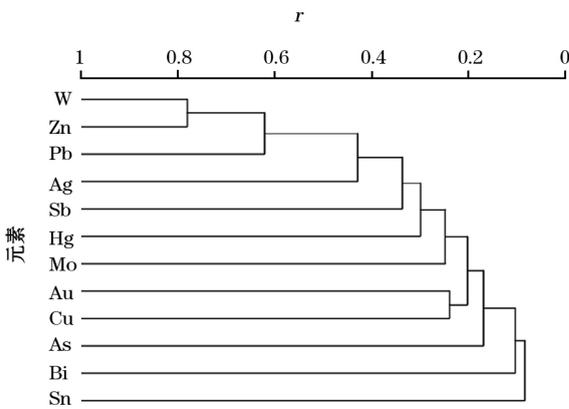


图 2 土壤地球化学元素 R 型聚类分析谱系

3.2 单元素异常

为了探讨本区土壤元素异常在平面上的分布特征与规律,应用 GeoIPAS 软件绘制了 12 种元素的单元素地球化学异常(图 3)。因 Ag、Pb、Zn、W、Au、Cu、Mo 和 As 等 8 种元素的单元素异常点个数较多,大部分达到了 3 级浓度带,所以图中仅给出了这 8 种。其余 4 种元素异常规模较小,个别异常较分散。

从图 3 中可以看出,区内土壤地球化学异常以 Ag、Pb 为主,伴生有 Zn、W,元素异常强度高,规模

大,具有较好的套合性。就整体而言,Ag、Pb、Zn、W 异常形态相似,分布集中,总体呈北西向展布;而 Cu、Mo、Au 异常形态相近,有近南北向展布的趋势。同时在平面上自北西向南东,元素异常有分带的特征,西北部为 Cu、Mo、Au 组合,中部为 Ag、Pb、Zn 组合,向东南为 As、Sb、Hg 组合。这种分带规律反映了距离岩体中心由远到近,元素组合有由中高温到中低温组合的变化规律,暗示着异常的形成与岩体的形成有一定的关系。

Ag 异常范围最广,异常总面积 81 km²,具多个异常中心,异常峰值 5 450×10⁻⁹。根据地球化学块体模型对异常内潜在 Ag 资源量进行预测^[1,11],金属供应量(异常面积 81×异常块体厚度 500×岩石密度 2.3×异常平均值 600)为 55 890 t,潜在资源量(金属供应量×成矿率 10%)为 5 589 t。

3.3 元素组合异常

矿床分布往往受到多种因素的影响,为了更为准确地圈定异常范围,采用多种元素组合来进行异常的圈定。综合考虑各元素在土壤中的次生富集性、元素的 R 型聚类分析特征、单元素在平面上的分布特征与套合关系等因素后,选取 Ag、Pb、Zn、W,引入“地质累计指数”,研究区内元素组合异常特征。该指数近年来常被应用于矿产勘查评价

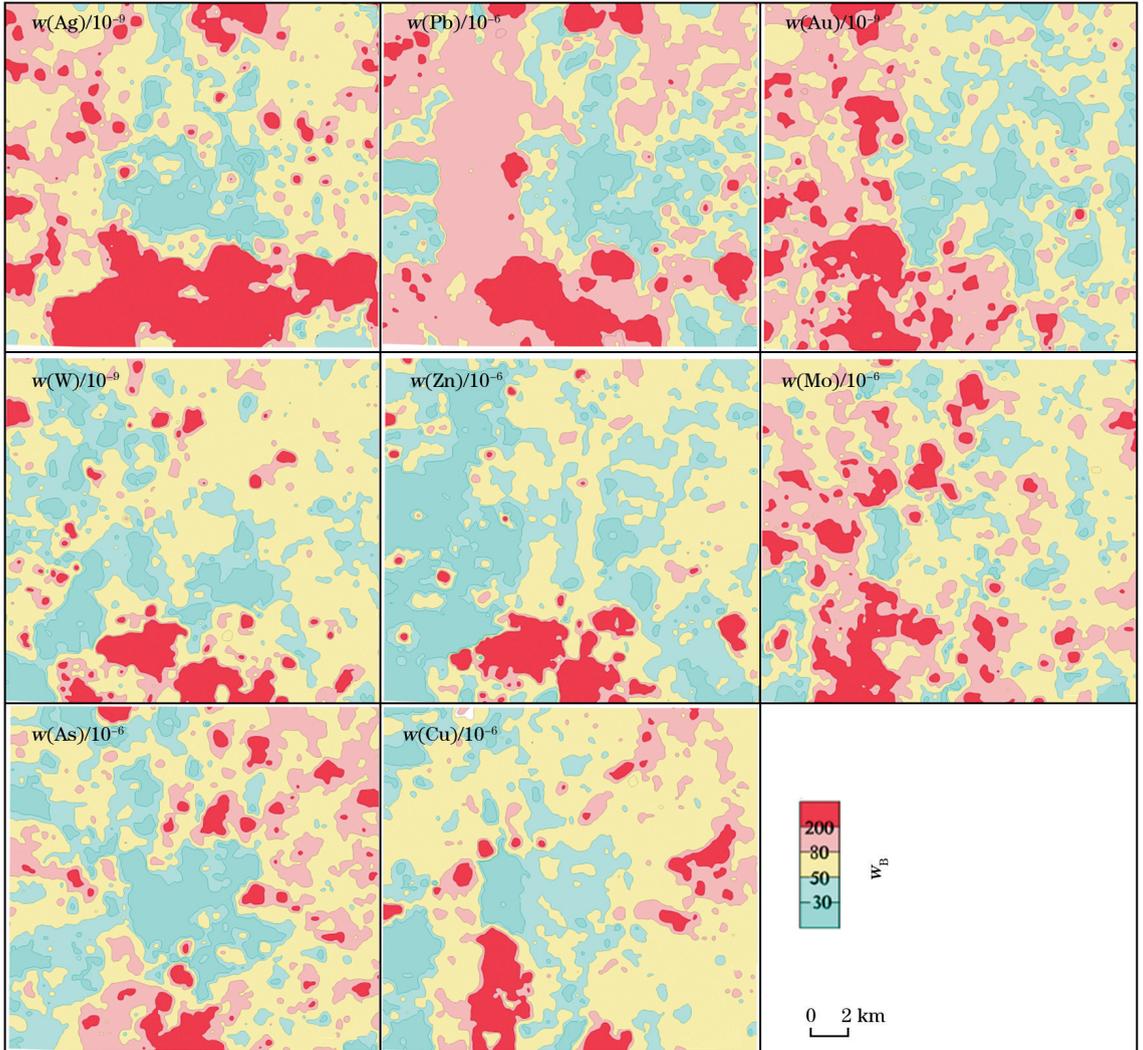


图3 霍布仁布敦地区土壤地球化学测量单元元素异常

中^[12-15],其表达式为

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left(\frac{C_i}{1.5BE_i} \right)$$

式中: I_{geo} 为地质累积指数; C_i 为样品中元素*i*的浓度, BE_i 为地球化学背景值;1.5为常数,是考虑到成岩作用可能会引起背景值的变动,通常用来表征沉积特征、岩石地质等其他影响。

基于Ag、Pb、Zn、W四个元素对异常的综合影响和矿床统计预测中特征分析的方法,计算时采用“综合地质累积指数(I_{geo})”对矿区内的Ag、Pb、Zn、W组合进行评价。本次计算用到的公式如下:

$$I_m = \frac{g_m}{\sum_{i=0}^4 g_i}, \quad (1)$$

$$C_{mn} = X_{mn} \times I_m, \quad (2)$$

$$I_{\text{geoM}} = \log_2 \left(\frac{C_{mn}}{1.5B_m} \right), \quad (3)$$

$$I_{\text{GEO}} = I_{\text{geoAg}} + I_{\text{geoPb}} + I_{\text{geoZn}} + I_{\text{geoW}} \quad (4)$$

式中: g_m 为元素*m*的原始相关系数; I_m 为标准化相关系数。考虑到成矿元素Ag的重要作用,其原始相关系数取值1,其他3个元素Pb、Zn、W的原始相关系数取其与Ag的相关系数。 n 为样品编号; X_{mn} 为元素*m*第*n*个样品的土壤地球化学含量原始值; C_{mn} 为元素*m*第*n*个样品进行标准化之后的土壤地球化学含量值; B_m 为元素*m*的土壤地球化学含量异常下限值; I_{geoM} 为元素*m*的地质累积指数; I_{GEO} 为综合地质累积指数。

依次将相关数据带入式(1)、(2)、(3)、(4),便可以计算出各个采样点的综合地质累积指数。其中,综合地质累积指数最大值4.11,最小值-22.20,平均值-13.90。本次研究将综合地质累积指数 $I_{\text{GEO}} > -11.25$ 时的元素含量确定为异常,并用Surfer8.0软件作出综合地质累积指数异常分布(图4)。

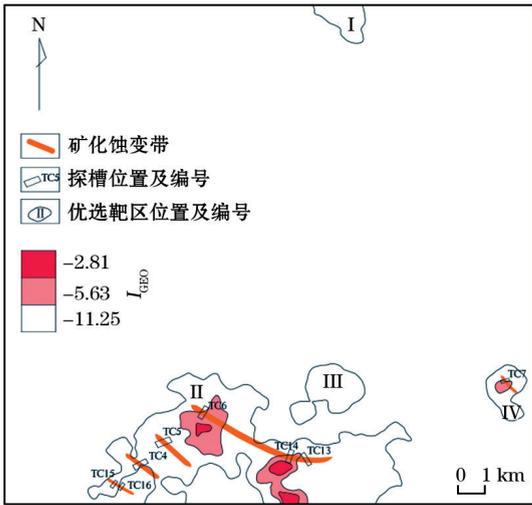


图4 霍布仁布敦地区综合地质累积指数异常

综合地质累计指数异常图显示,元素组合异常主要在燕山期花岗斑岩体东南侧满克头鄂博组酸性火山碎屑岩中展布,异常的强度高,规模大。元素组合异常分布特征表明,土壤地球化学异常明显受北西向断裂破碎带控制。

本次研究在综合分析元素土壤地球化学特征、单元素异常分布特征、异常赋存的地质环境、综合地质累积指数分布特征等因素的基础上,圈出4个找矿靶区(图4)。其中,Ⅱ号靶区异常强度高,规模大,结合矿区地质情况分析,Ⅱ号靶区为最有利的找矿地段。

4 元素组合异常查证

对4个找矿靶区进行野外异常检查,重点放在Ⅱ号靶区,投入了大比例尺地质测量、地质剖面、物探和槽探工程等多种工作方法。

Ⅱ号靶区西部出露燕山期花岗斑岩,东部出露满克头鄂博组地层。地层中发育北北西向构造蚀变带,异常主要围绕蚀变带分布。利用槽探对4条矿化蚀变带进行揭露,10条探槽中均见到规模不等的银矿体(矿化体),其中以1号矿化蚀变带规模最大。1号矿化蚀变带位于靶区中部,由TC6、TC14两条探槽进行揭露,长度约5 km,西端走向 300° ,向东渐变为 85° ,倾向西南,倾角 60° 。TC6控制两层矿化体,水平厚度分别为10 m、2 m,银含量在 $(19.7 \sim 242) \times 10^{-6}$,东端控制一厚层矿化体,水平厚度分别为28 m,银含量在 $(6.83 \sim 162) \times 10^{-6}$;其他3条矿化蚀变带分布于1号矿化蚀变带以南,相隔2 km,呈北西向平行展布,矿化体水平厚度1~7 m,银含量在 $(43.25 \sim 1\ 332) \times 10^{-6}$ 。矿化岩石为凝灰质碎裂岩,

具有强硅化、绢英岩化蚀变,发育褐铁矿化。

在Ⅳ号靶区开展了1:1万地质草测,地表圈出北西向矿化蚀变带3条。针对其中一条矿化蚀变带进行探槽揭露,发现矿化体3条,矿化体在地表出露长约100~300 m,宽约1~5 m,矿化岩石为凝灰质碎裂岩,以硅化、褐铁矿化、钾化为主,矿化以Ag为主,伴生有Pb、Zn,其中银矿化最高含量 439×10^{-6} 。

5 结论

(1)霍布仁布敦地区发现的热液脉状银矿与燕山期岩浆活动有关,赋存于满克头鄂博组火山岩地层中,受北西向及近东西向构造控制。将成矿地质条件与土壤地球化学特征结合起来进行综合分析,能够有效地选出土球化探组合元素;对土壤地球化学测量中的组合元素进行评价,可以快速圈定有利的找矿靶区,指导矿产勘查工作。

(2)区内土壤中富集Ag、Pb、W等,主成矿元素为Ag,Ag与Pb、W、Zn、Sb、Hg相关性较高,与Au、Cu、Mo相似性差,成矿关系并不密切。

(3)单元素Ag异常强度高,范围大,元素组合全,使用地球化学块体模型预测区内Ag金属供应总量为55 890 t,潜在资源量为5 589 t,成矿潜力大。

(4)应用地质累积指数对土壤中主成矿元素Ag与伴生元素Pb、Zn、W的组合异常进行评价,在区内共圈定了4个找矿有利靶区。对Ⅱ号靶区和Ⅳ号靶区进行查证,已发现矿体(矿化体)共计有7条,总体呈北西—近东西向脉状展布。围岩地层为满克头鄂博组晶屑凝灰岩、熔结凝灰岩、含角砾晶屑凝灰岩。矿化岩石为蚀变碎裂岩,硅化、褐铁矿化强烈。矿化以Ag为主,伴生Pb、Zn,Ag含量 $(6.83 \sim 1\ 332) \times 10^{-6}$ 。建议对Ⅱ号靶区和Ⅳ号靶区开展普查工作,对Ⅰ号靶区和Ⅲ号靶区进行工程验证,此外还应对AgM13部署矿产调查工作。

参考文献:

- [1] 申伍军,王学求.内蒙古大型银矿床区地球化学预测[J].地球学报,2010,31(3):449-455.
- [2] 仲卫国,纪仁忠,于洋,等.内蒙古自治区东乌珠穆沁旗霍布仁布敦等三幅1:5万矿产地质调查成果报告[R].青岛地质工程勘察院,2014.
- [3] 徐志刚,陈毓川,王登江,等.中国成矿区带划分方案[M].北京:地质出版社,2008.
- [4] 郑翻身,蔡红军,张振法,等.内蒙古拜仁达坝维拉斯托超大型银铅锌矿的发现及找矿意义[J].物探与化探,2006,30(1):13-20.
- [5] 刘翼飞,聂凤军,江思宏,等.内蒙古拜仁达坎铅-锌-银矿床:

- 元素分带及其成因[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2012, 42(4):1055-1088.
- [6] 刘汉粮, 迟清华, 王玮, 等. 内蒙古中东部残山丘陵草原覆盖区化探方法研究[J]. 物探与化探, 2013, 37(3):382-388.
- [7] 王秋印, 程华生, 朱梅花, 等. 土壤地球化学测量在内蒙古东乌旗查干楚鲁银铅锌多金属矿区的找矿效果[J]. 物探与化探, 2009, 33(6):652-656.
- [8] 张必敏, 王学求, 贺灵, 等. 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, 2013, 37(5):804-810.
- [9] 迟清华, 鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京:地质出版社, 2007.
- [10] 张科, 曹新志, 孙华山. 粤西北庞西铜银矿床化探元素统计分析[J]. 黄金, 2004, 25(6):16-19.
- [11] 王学求. 大型矿床地球化学定量评价模型和方法[J]. 地学前缘, 2003, 10(1):257-261.
- [12] 孙社良, 徐青峰, 张寿庭, 等. 河南栾川地区陈家沟钼矿区土壤地球化学异常的特征与评价[J]. 地质通报, 2011, 30(11):1785-1793.
- [13] 腾彦国, 度光国, 倪师军, 等. 应用地质累积指数评价水系沉积物中重金属污染:选择地球化学背景的影响[J]. 环境科学与技术, 2002, 25(2):7-9.
- [14] 席明杰, 马生明, 刘崇民, 等. 内蒙古准苏吉花铜钼矿区土壤地球化学异常特征与评价[J]. 地质与勘探, 2013, 49(2):337-345.
- [15] 崔敏, 刘志宏, 吴国学. 黑龙江省乌拉嘎金矿外围土壤地球找矿信息评价[J]. 世界地质, 2007, 26(2):192-198.

Soil geochemical characteristics and anomaly appraisal of the Huoburenbudun silver mining area in Inner Mongolia

LIU Shu-Min, WANG Shuai, JI Ren-Zhong, WANG Ru-Jie, SHI Gao-Fei, SU Xin-Yi, HU Hao

(Qingdao Institute of Geological Engineering Investigation, Qingdao 266071, China)

Abstract: This study is aimed at searching for silver ore-prospecting target areas in Huoburenbudun area based on 1:50 000 soil geochemical survey data. In this paper, the potential Ag resources in the geochemical anomaly area were evaluated and predicted by the geochemical block model. In combination with regional metallogenic geological conditions and soil geochemical characteristics, the authors evaluated the index of geoaccumulation and delineated four prospecting target areas. Through field survey verification, silver orebodies and mineralized bodies were found in Target II and Target IV. Further detailed geological survey is necessary for confirming metallogenic province, with special attention paid to mineral survey of AgM13 anomaly.

Key words: soil geochemical anomaly; index of geological accumulation; silver ore district; prospecting target; Huoburenbudun area in Inner Mongolia

作者简介: 刘述敏(1966-),男,高级工程师,1988年毕业于成都地质学院,主要从事矿产地质勘查工作。E-mail: liushu-min272100@163.com