

内蒙古准苏吉花铜钼矿区土壤 地球化学异常特征与评价

席明杰,马生明,刘崇民,胡树起,汤丽玲,郭志娟

(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,河北廊坊 065000)

[摘 要]内蒙古准苏吉花铜钼矿床为典型的热液脉型矿床,矿区地表土壤中元素含量及异常特征研究表明,元素在平面上出现明显的分带性,以地表矿化露头为中心,由内向外依次为 Mo-Cu-W-Bi 带、In-Zn-Ag-Cd 带及 Pb-As-Sb 带,该元素组合分带与典型中-高温热液矿床中元素分布规律基本一致。利用综合地质累积指数对土壤中主成矿元素 Mo 与伴生元素 Cu、W、In、Bi 的组合异常进行评价,共圈出 4 个找矿靶区,经野外异常查证与工程验证,建议在 I、II 号靶区进行深部资源预测工作,对 III、IV 号靶区开展进一步查证与验证工作,以期在 IV 号靶区深部发现矽卡岩型矿化。本次研究对准苏吉花地区下一步勘查找矿工作的部署与开展具有重要借鉴意义。

[关键词]土壤地球化学 元素组合分带 地质累积指数 找矿靶区 准苏吉花铜钼矿

[中图分类号]P595 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2013)02-0337-9

Xi Ming-jie, Ma Sheng-ming, Liu Chong-min, Hu Shu-qi, Tang Li-ling, Guo Zhi-juan. Characteristics and evaluation of soil geochemical anomalies of the Zhunsujihua Cu-Mo deposit in Inner Mongolia[J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49(2): 0337-0345.

准苏吉花地区大地构造位置位于西伯利亚板块东南大陆边缘晚古生代陆缘增生带乌里雅斯太活动大陆边缘,属东乌珠穆沁旗-嫩江(中强挤压)Cu-Mo-Pb-Zn-W-Sn-Cr 成矿带、东乌珠穆沁旗-博克图 Fe-Mo-Sn-W-Cu-Pb-Zn-Ag-Au-Cr-萤石成矿亚带、洪格尔钼矿化集中区(Xiao *et al.*, 2003;徐志刚,2008;肖伟,2010),是我国重要的铜钼多金属矿产资源基地之一。区内以往研究程度极低,2000 年以前基本未发现具规模的矿产地,仅有几处矿化点。近年来,随着准苏吉花铜钼矿床、乌兰德勒钼(铜)矿床,乌花敖包钼矿和达来敖包钼矿床等一批重要矿产地的发现,使得该区成为一个最具前景的铜钼成矿带。多数学者认为该地区所处成矿带的成矿背景、成矿作用、主成矿期次等与蒙古国南部欧玉陶勒盖大型铜-金矿床、查干苏布尔加铜(钼)矿床相近(张义等,2003;刘益康等,2003;聂凤军等,2004;张洪涛等,2004),区内乌兰德勒等已知矿床的成因与海西期、燕山期中酸性侵入岩关系密切(陶继雄等,2010;聂凤军等,2011)。2006~2009 年,内蒙古自

治区地质调查院和内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院在准苏吉花地区进行了详细地质勘查工作,为区内矿产资源的开发利用奠定了坚实的基础。准苏吉花铜钼矿区地势平坦,水系极不发育,地表受草甸、风成砂等覆盖物的影响,岩石露头少,岩石(岩屑)地球化学测量及水系沉积物测量等常规地球化学找矿方法难以开展,从而只能在排除风成砂干扰的情况下,选择土壤地球化学测量方法开展地表找矿工作。土壤地球化学测量作为一种常规地球化学勘查方法,在地表勘查与深部找矿工作中具有不可替代的作用和优势(陶琰等,2002;刁理品,2010;付小锦等,2010;张善明,2011)。但在内蒙古半干旱草原景观区,风成砂覆盖严重,应用传统的异常评价方法,不易确定异常下限和异常等级,应用多元回归法进行趋势面分析的效果较差,不能起到圈定异常的作用,为异常成矿前景评价带来不便。为此,本文引入地质累积指数指标,对准苏吉花铜钼矿区土壤地球化学异常特征进行评价,旨在为准苏吉花地区寻找铜钼多金属资源提供新的思路。

[收稿日期]2012-09-21; **[修订日期]**2012-12-28; **[责任编辑]**郝情情。

[基金项目]中国地质调查局地质调查项目(编号 1212011120209)和物化探研究所基本科研业务费项目(编号 AS2010P06)联合资助。

[第一作者]席明杰(1984 年—),硕士,工程师,主要从事勘查地球化学方法技术研究工作。E-mail: mingjiexi@163.com。

1 矿床地质特征

准苏吉花铜钼矿区内大面积出露石炭系上统 - 二叠系下统宝力高庙组, 主要分布于矿区南部和东部, 主体岩性为灰黑色变质粉砂岩, 变余砂状结构, 块状构造, 主要矿物成分为石英、长石和绿泥石。宝

力高庙组北界被二叠纪花岗闪长岩(Pγδ)侵入(图1), 由于受岩浆侵入的影响, 局部岩石发生角岩化, 矽卡岩化现象明显。地层产状变化较大, 走向上呈波状起伏, 但总体呈单斜状产出, 地层倾向一般在300°~330°之间, 倾角在40°~60°之间。第四系主要分布于矿区北部与南部的低洼地带, 北部地区多

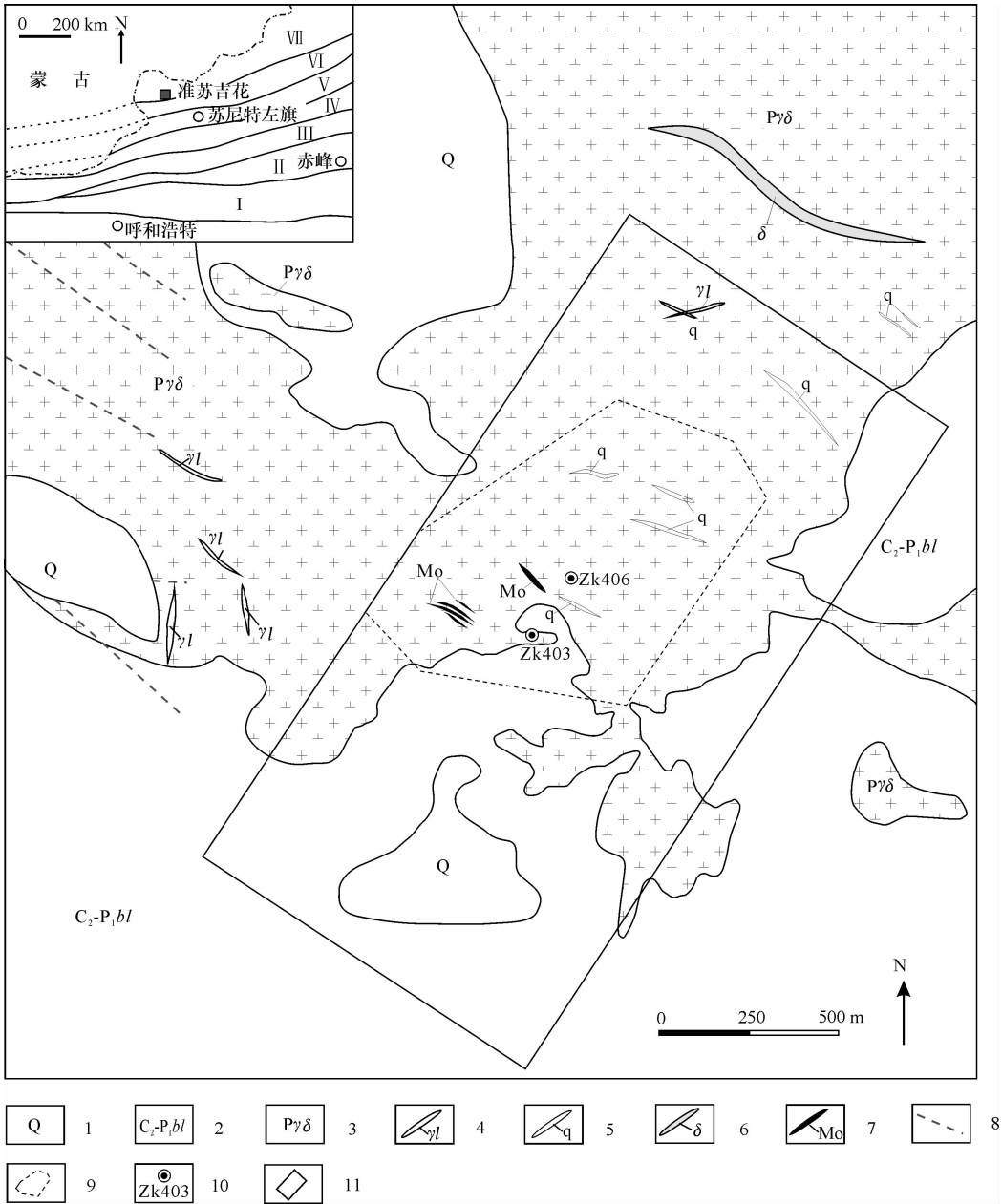


图1 准苏吉花铜钼矿区地质简图^①

Fig. 1 Simplified geological map of the Zhunsujihua Cu-Mo deposit^①

I - 华北克拉通; II - 白乃庙弧; III - 温都尔庙俯冲杂岩体; IV - 二道井增生杂岩体; V - 宝力道弧杂岩体; VI - 贺根山蛇绿岩增生杂岩体; VII - 乌里雅斯太活动大陆边缘; 1 - 第四系; 2 - 上石炭统 - 下二叠统宝力高庙组; 3 - 二叠纪花岗闪长岩; 4 - 花岗细晶岩脉; 5 - 石英脉; 6 - 闪长岩脉; 7 - 钼矿化脉; 8 - 推测断层; 9 - 1080m 中段矿体群地表投影范围; 10 - 钻孔位置及编号; 11 - 土壤测量范围

I - North China carton; II - Bainaimiao arc; III - Ondor Sum Sbduction-accretion complex; IV - Erdaojing accretion complex; V - Baolidaao arc-accretion complex; VI - Hegenshan ophiolite-arc-accretion complex; VII - Uliastai active continental margin; 1 - Quaternary; 2 - uper Carboniferous lower Permian Baoligaomiao Formation; 3 - Permian granodiorite; 4 - granite aplite vein; 5 - quartz vein; 6 - diorite vein; 7 - molybdenum mineralization vein; 8 - infer fault; 9 - orebody groups surface projection range of 1080m middle; 10 - drilling location and its number; 11 - soil measurement range

为更新统砾石层,地表所见沉积物多由砂和砾石组成,砂成分主要以石英、长石为主,夹杂少量的岩屑;砾石成分复杂,有斑状花岗岩砾石、花岗岩砾石、石英质砾石,及少量的花岗闪长岩砾石,砾石大小悬殊,磨圆度一般,多呈次圆-次棱角状,分选性差。南部地区为全新统残、坡积层,主要由灰色的粘土、砂、砾石组成。上部为腐殖土,下部为砂、砾石及少量粘土,砾石成分复杂,局部见风成砂,覆盖比较薄,厚度 0~10m,平均厚度 5m。

矿区构造较为单一,整体上为一北西倾的单斜,呈北东向展布。受区域构造活动影响,区内断裂构造发育,主体构造呈北东向展布,为区内主要的控岩构造。与主体断裂构造相配套发育一系列北西向次级断裂构造,为区内主要的容矿构造,为后期含矿石英脉所充填,形成总体呈北西走向雁行式排列的含矿石英脉群。

矿区内岩浆活动强烈,表现为海西晚期侵入的准苏吉花花岗闪长岩体及后期侵入的酸性岩脉。准苏吉花花岗闪长岩体属于准苏吉花花岗岩体的一部分,岩石呈中粒结构,块状构造,主要矿物成分为斜长石、钾长石、石英、角闪石,次为黑云母,副矿物有磁铁矿、榍石、磷灰石;岩体常以舌状侵入宝力高庙组中,出露于矿区北部与中部,锆石 U-Pb 年龄为 298.2 ± 3.1 Ma(刘翼飞,2012)。区内酸性脉岩主要有花岗细晶岩脉、闪长岩脉与石英脉,岩脉总体呈北东东向分布,其中石英脉与矿化关系极为密切。

矿区内围岩蚀变主要是沿断裂构造破碎带产出的动力蚀变和热液充填型热液蚀变,可划分为硅化、云英岩化、绢云母化三个阶段。早期硅化阶段除形成石英外,还有少量钼矿生成。云英岩化阶段是准苏吉花铜钼矿床的主要成矿期,辉钼矿主要形成于此阶段,与其伴生的有黄铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿等;绢云母化阶段是形成辉钼矿的次要阶段,与其共生、伴生的矿物有黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿等。和铜钼矿同时共生的脉石矿物为斜长石、钾长石、石英、黑云母,其次有少量的绢云母、绿泥石、绿帘石、碳酸岩等。

矿体主要赋存于二叠纪花岗闪长岩及其围岩宝力高庙组中,呈透镜状产出,一般具尖灭再现现象,最大延长达 800 多米,一般在 300~350m 左右,延深数十米至 400m 左右,矿体厚度变化在 0.5m 至 10 余米之间,平均约 3.16m。矿石钼品位一般在 0.06%~0.35%,最高值为 3.93%,平均值为 0.138%。矿石呈细脉浸染状、网脉状和细脉状产出。金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿和辉钼矿,其次为辉铜矿、斑铜矿和黝铜矿;脉石矿物为石英、斜长石、钾长石、绢云母、黑云

母、白云母、方解石、绿泥石和绿帘石。

2 土壤样品采集与测试方法

根据研究区内各地质单元产状特征,确定土壤地球化学测量测线方向为 35°,网度为 100m×40m,土壤测量面积为 2km²(图 1)。踏勘阶段针对不同微景观区进行了野外取样实验,通过对土壤粒级组分统计观察发现:-4~+40 目样品颗粒成分以岩屑为主,-40~+60 目风成沙干扰已经达到 20% 以上。结合相似地区以往工作经验,确定采样粒级为 -4~+40 目。为增强样品代表性,样品由采自采样点周围位于点线距 1/10 距离范围内的 2~3 个子样组合而成,取样层位以 C 层(20~40cm)为主,个别地方风成沙干扰严重,取样层位可以 B 层为主。并严格按照干燥-碎样-过筛(-4~+40 目)-拌匀-称重(≥300g)-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中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室承担完成。分析元素 12 种(Ag、As、Bi、Cd、Cu、In、Mo、Pb、S、Sb、W、Zn),其中 As、Sb 用原子荧光光谱法(AFS)分析,S 用压片法-X 射线荧光光谱法(XRF)分析,其余元素用等离子体质谱法(ICP-MS)分析。

3 土壤地球化学测量结果与讨论

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,对准苏吉花铜钼矿区 560 件土壤样品的原始分析数据进行了统计分析。利用迭代剔除法,逐步剔除大于 3 倍标准离差的特高值后,计算出全区各元素的背景平均值($\bar{X}$)和标准离差(δ),再根据 $T = \bar{X} + 2\delta$ 求得元素的异常下限值,富集系数=平均值/地壳丰度;变异系数=标准偏差/平均值。统计结果显示(表 1),元素 Mo、As、Sb、W、Cd、Cu 的富集系数较大,Pb、Cu、S、Ag、Cd、Zn 的标准离差较大,W、Mo、Cu、Zn、In 的变化系数较大,说明 Mo、Cu、W、As、S、Cd、Ag、Zn、In 等元素在土壤中发生了较强的次生富集,局部形成了富集矿化,而其它元素在土壤中的分布则较为均匀。

运用 GeoIPAS 2.0 软件对研究区内土壤样品原始分析数据进行相关分析(表 2),从分析结果可以看出,主成矿元素 Mo 与伴生元素 Ag、Bi、Cd、Cu、In、S、W、Zn 呈正相关关系,其中 Mo 与 Ag、Cu、In、S 相关性较高,Mo 与 Cu 的相关性系数最大;Mo 与 As、Pb、Sb 则呈负相关关系,Mo 与 As 的相关性系数最小。

表 1 土壤地球化学测量数据统计

Table1 Statistics of soil geochemical measurements

元素	Ag	As	Bi	Cd	Cu	In	Mo	Pb	S	Sb	W	Zn
最大值	175	11.2	2.21	315	97	0.741	10.9	35	206	0.75	7.56	393
最小值	35	5.40	0.17	37	9.6	0.021	0.88	11	104	0.36	1.07	26
平均值	91	8.20	1.60	153	37.9	0.080	5.92	20	138	0.56	2.77	78
背景值	82	8.20	0.70	145	34	0.115	4.73	18	143	0.57	2.33	96
标准离差	28	1.50	0.38	59	17	0.134	2.65	5	24	0.10	1.11	79
异常下限值	111	11	1.55	190	51	0.09	8.82	22	170	0.69	3.18	96
富集系数	1.66	4.31	0.40	2.13	2.11	2.02	9.87	1.19	0.69	3.11	3.08	1.29
变化系数	0.30	0.18	0.24	0.39	0.45	1.66	0.45	0.23	0.17	0.17	0.40	1.02
地壳丰度	55	1.9	4	72	18	0.04	0.6	17	200	0.18	0.9	60

注： $w(\text{Ag,Cd})/10^{-9}$; $w(\text{其他元素})/10^{-6}$;地壳丰度引自迟清华等(2008)。

表 2 土壤地球化学数据相关系数矩阵

Table 2 Matrix of correlation coefficients of soil geochemical data

元素	Ag	As	Bi	Cd	Cu	In	Mo	Pb	S	Sb	W	Zn
Ag	1.00											
As	0.49	1.00										
Bi	0.15	0.26	1.00									
Cd	0.42	0.15	0.01	1.00								
Cu	0.60	0.18	0.32	0.34	1.00							
In	0.46	0.07	0.03	0.59	0.50	1.00						
Mo	0.20	-0.03	0.08	0.06	0.43	0.18	1.00					
Pb	0.48	0.14	0.09	0.51	0.39	0.50	-0.05	1.00				
S	0.46	0.44	0.07	0.27	0.36	0.27	0.17	0.19	1.00			
Sb	0.12	0.32	0.06	0.03	0.05	-0.04	-0.15	0.09	0.00	1.00		
W	0.18	0.17	0.27	0.05	0.25	0.13	0.08	0.05	0.22	-0.03	1.00	
Zn	0.52	0.11	0.09	0.65	0.54	0.84	0.08	0.71	0.26	0.01	0.23	1.00

为了进一步了解研究区内土壤中不同元素之间的地球化学特征,应用 SPSS 软件对研究区内 560 件土壤样品原始分析数据进行 R 型聚类分析,得出元素的聚类分析谱系图(图 2)。在聚类过程中,元素 In、Sb、W、As 最先聚类,其次是 Mo、Bi、Pb;中间是 Cu、Ag、Zn、S,最后是 Cd。依据元素聚类次序可将 12 个元素分为 3 个组合,第一组由 In、Sb、W、As、Mo、Bi、Pb 组成,第二组由 Cu、Ag、Zn、S 组成,第三组为单元素 Cd。截取距离系数 5 和 15 进行分析,In、Sb、W、As、Mo、Bi 和 Pb 元素距离系数小于 5,Cu、Ag、Zn、S 元素距离系数介于 5~15 之间,仅 Cd 元素距离系数大于 15,这与按照元素聚类顺序分成的 3 个元素组合一致。

3.2 单元素异常

为了探讨研究区土壤中元素异常在平面上的分布特征与规律,应用 GeoIPAS 软件绘制了区内 Mo、Cu 等 12 种元素的单元素地球化学异常图(图 3),因 As、Sb 异常特征与 Pb 异常相似,故未在图 3 中展

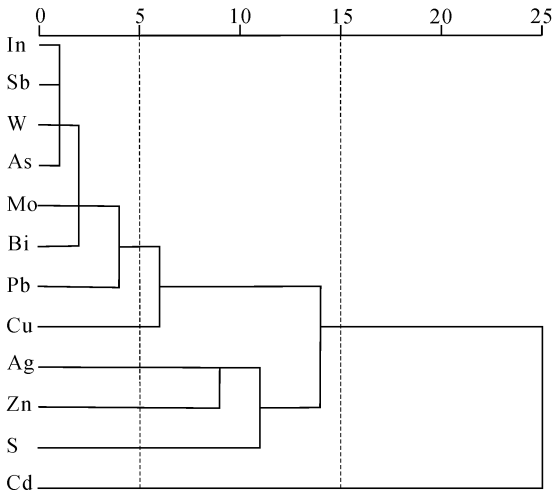


图 2 土壤地球化学元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 2 Pedigree chart of R-type clustering analysis of soil geochemical elements

示。从图 3 中可以看出,研究区土壤地球化学异常以 Mo、Cu 为主,伴生 In、Ag、Zn、Pb、W、Bi,局部叠加 S 和 Cd 异常。其中 Mo、Cu、In、W、Bi 异常形态规

则,分布较为集中,浓度分带清晰,具多个浓集中心,主要围绕二叠纪花岗闪长岩边缘及其与围岩的接触带分布,浓集中心多与花岗闪长岩内酸性岩脉的产出位置一致,与花岗闪长岩关系密切;Zn、Ag、Cd、S 异常分布比较分散,多分布于 Mo、Cu 等主成矿元素异常的外围,Ag 异常沿花岗闪长岩体与地层接触带呈串珠状分布;Pb 异常则远离花岗闪长岩体分布,主要集中于围岩地层中,距主成矿元素异常较远,与花岗闪长岩体关系不大。

整体而言,区内 Mo、Cu、W、In、Bi 等元素异常强度高,规模大,具有较好的套和性,异常分布范围与区内平行分布的酸性岩脉产出位置相近,并与深部 1080m 标高揭示的钼矿体群产出范围吻合,很好的反应了深部钼矿体的产出位置,说明主成矿元素 Mo 与伴生元素 Cu、W、In、Bi 之间相关性较高。

同时,研究区 Mo、Cu、W 等元素异常在平面上反映出明显的分带特征,其基本特征是以 Mo、Cu 异常(钼矿体所在位置)为中心,由内向外依次形成三个元素组合分带:内带元素组合为 Mo-Cu-W-Bi,中带元素组合为 In-Zn-Ag- Cd,外带元素组合为 Pb-As-Sb。显然这种元素组合分带的划分不是截然的,纵使某些元素异常分布范围较大,在两个或三个元素组合分带中同时出现,但不影响研究区内元素在宏观上的分布分配规律。从宏观上看,研究区内元素平面分布规律与典型中-高温热液矿床中元素分布规律(邵跃,1997)基本一致。

3.3 元素组合异常

相对某一矿床而言,矿体分布往往受多种因素的影响,因而在研究由矿体形成地球化学异常的特征时,同样也需要考虑相应的影响因素,如在不同自然景观区开展土壤地球化学测量时,需要考虑自然景观特征对土壤地球化学异常的影响。准苏吉花铜钼矿区地处典型的半干旱草原自然景观区,土壤地球化学异常受风成沙干扰较大,为了更准确地圈定异常范围,消除风成沙的影响,研究中采用多种元素组合来进行异常的圈定。综合考虑土壤中各元素的次生富集特征,主成矿元素 Mo 与伴生元素的相关性,元素 R 型聚类分析特征,以及单元素在平面上的分布特征与套合关系后,选取 Mo、Cu、W、In、Bi 5 个元素进行组合异常研究。

由于风成沙等自然景观特征影响,在区内应用传统的异常评价方法不能起到圈定异常的作用。因此,为了系统研究区内多元素组合异常特征,圈定有利找矿靶区,本文参考环境污染异常评价方法,引入

地质累积指数(Index of geoaccumulation)(腾彦国等,2002;Rantitsch G *et al.*, 2004;尚英男等,2005)来研究区内元素组合异常特征,该指数也称为 Muller 指数,近年来常被作为一种评价指标应用到矿产勘查评价中,区分异常下限、划分异常等级、圈定找矿靶区(Förstener U *et al.*, 1990;崔敏等,2007;严成文等,2010;孙社良等,2011),其表达公式为:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 \cdot BE_n} \right]$$

公式中, I_{geo} 为地质累积指数, C_n 为样品中元素 n 的浓度, BE_n 为地球化学背景值,1.5 为常数,是为了消除由于成岩作用引起地球化学背景值的变动(Muller,1969)。

基于主成矿元素 Mo 与伴生元素 Cu、W、In、Bi 对异常的综合影响和矿床统计预测中特征分析的方法,计算式采用“综合地质累积指数(I_{GEO})”对矿区内的 Mo、Cu、W、In、Bi 元素组合进行系统评价。计算中用到的公式如下:

$$I_m = \frac{g_m}{\sum_{i=0}^5 g_i} \tag{1}$$

$$C_{mn} = X_{mn} \times I_m \tag{2}$$

$$I_{\text{geoM}} = \log_2 \left[\frac{C_{mn}}{1.5 \cdot B_m} \right] \tag{3}$$

$$I_{\text{GEO}} = I_{\text{geoMo}} + I_{\text{geoCu}} + I_{\text{geoW}} + I_{\text{geoIn}} + I_{\text{geoBi}} \tag{4}$$

公式中 g_m 为元素 m 的原始相关系数, I_m 为标准化相关系数;基于主成矿元素 Mo 的重要作用,其原始相关系数取值为 1,其它 4 元素原始相关系数取其与 Mo 元素的相关系数。 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。

分别将相关数据代入公式(1)、(2)、(3)和(4)便可计算出各个采样点的综合地质累积指数(具体计算过程略)。统计全区 560 个采样点综合地质累积指数(I_{GEO})可知,其最大值为 -5.86,最小值为 -30.8,平均值为 -21.4。综合地质累积指数异常下限确定方法与土壤地球化学测量异常下限计算方法一致(见 4.1),本次研究中选取 $I_{\text{GEO}} = -20$ 为异常下限, $I_{\text{GEO}} > -20$ 时即为异常,并依此绘制了研究区土壤地球化学测量综合地质累积指数异常图(图 4)。

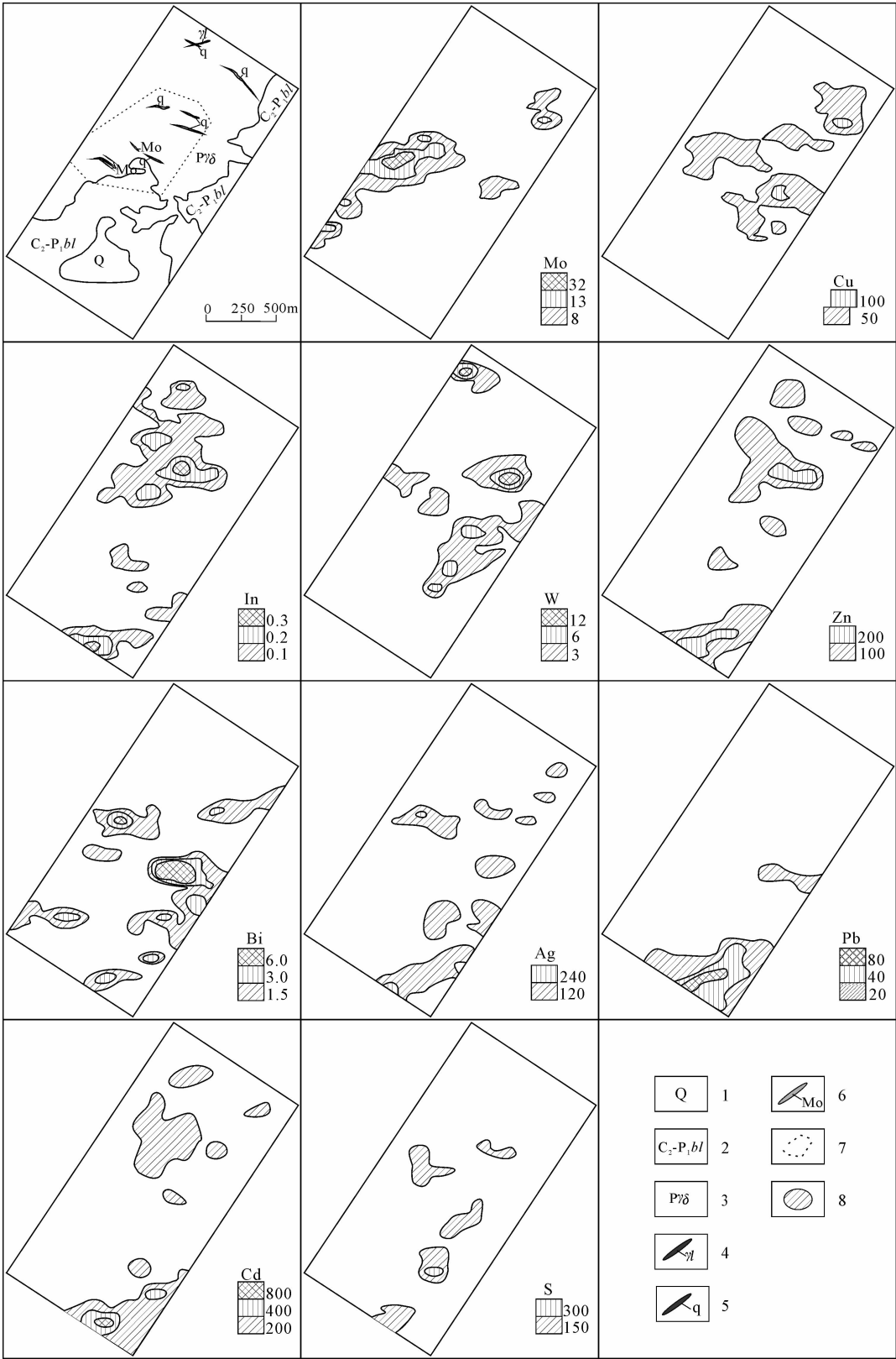


图 3 准苏吉花铜钼矿区土壤地球化学测量单元素异常图

Fig. 3 Single element anomalies of soil geochemical survey in the Zhunsujihua Cu-Mo deposit

1 - 第四系; 2 - 上石炭统 - 下二叠统宝力高庙组; 3 - 二叠纪花岗岩闪长岩; 4 - 花岗细晶岩脉; 5 - 石英脉; 6 - 钼矿化脉; 7 - 1080m 标高矿体群地表投影范围; 8 - 地球化学异常

1 - Quaternary; 2 - upper Carboniferous lower Permian Baoligaomiao Formation; 3 - Permian granodiorite; 4 - granite aplite vein; 5 - quartz vein; 6 - molybdenum mineralization vein; 7 - orebody groups surface projection range of 1080m middle; 8 - geochemical anomalies

注: 图中 $w(\text{Ag}, \text{Cd})/10^{-9}$; $w(\text{其它元素})/10^{-6}$ 。

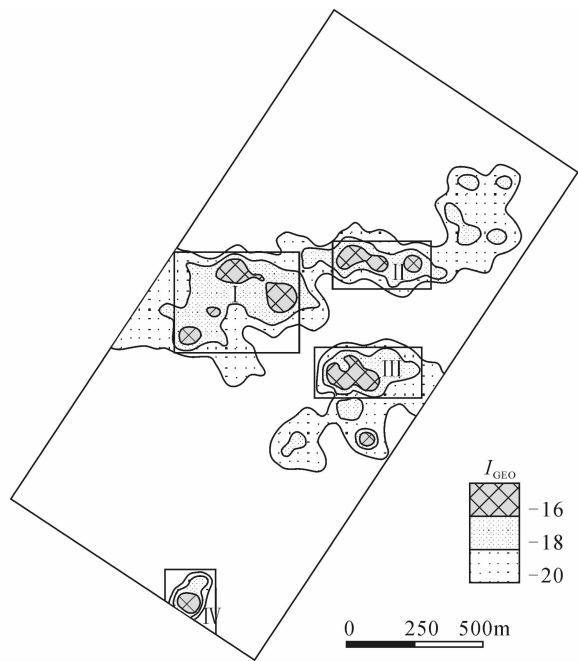


图 4 准苏吉花铜钼矿区综合地质累积指数异常图

Fig.4 Anomaly map of aggregative I_{GEO} in Zhunsujihua Cu - Mo deposit

注:图中 I、II、III、IV 代表优选靶区位置及编号。

综合地质累积指数异常图显示,元素组合异常主要在花岗闪长岩内部及其外接触带呈不规则状展布,元素异常强度高、规模大。在远离花岗闪长岩体的宝力高庙组中也有少量异常分布,但异常强度较低,规模小。元素组合异常分布特征表明土壤地球化学异常与花岗闪长岩体关系密切。

准苏吉花铜钼矿床与区内已知的乌兰德勒、乌花敖包和达来敖包等钼矿床成矿地质背景相似,均属于与花岗质岩浆侵入有关的热液矿床。地质推测其钼矿体应产于花岗闪长岩内部或花岗闪长岩与围岩宝力高庙组的接触带部位;岩体内部北西向和北北西向断裂发育部位也是较为有利的含矿构造。地质推测钼矿体产出部位与元素组合异常产出位置吻合较好,说明该区土壤地球化学测量异常为有效的地质异常。

本次研究在综合考虑区内元素土壤地球化学特征、单元素异常特征、综合地质累积指数异常特征及异常产出的地质环境等因素的基础上,圈出 4 个有利找矿靶区(图 4)。其中 I 号靶区异常强度高,规模大,结合矿区地质特征分析,确定 I 号靶区为最有利的找矿地段。

4 元素组合异常检查与验证

为了探明土壤地球化学异常的成矿前景,对圈定

的 4 个找矿靶区进行野外异常检查,发现地表出露花岗闪长岩体内构造裂隙发育,硅化强烈,裂隙充填物以石英脉为主,偶尔见闪长质充填物,并在研究区西部发现多条北西向辉钼矿化脉(图 1)。地表石英脉破碎,裂隙中可见褐铁矿化产出,石英脉与花岗闪长岩接触部位见有黄铁矿化、绿泥石化、绿帘石化、钾化和弱萤石化,整体而言,地表石英脉中辉钼矿化较弱,仅研究区西部少数几条石英脉中见到明显辉钼矿化。

在 I 号靶区内施工 Zk406 与 Zk403 两个钻孔进行工程验证(图 1),Zk406 孔深 805.4m,矿体主要呈北西向细脉梳状产于 0~400m 的花岗闪长岩中,单个样品 Mo 最高含量为 0.67%,最低含量为 0.001%。钻孔中黄铁矿化普遍发育,并伴随有绿泥石化、绿帘石化、钾化、绢云母化和萤石化现象。花岗闪长岩中裂隙发育,部分裂隙被石英细脉、方解石细脉充填,裂隙面见有强烈的绿泥石、钼华钼钙矿和萤石薄膜。辉钼矿化主要有 2 种赋存方式:在石英脉附近发育,呈薄膜状、星点状、浸染状、细脉状和团块状赋存于石英细脉内部及两侧;沿花岗闪长岩中的裂隙发育,主要呈细脉状充填于裂隙中,或以薄膜状附着于裂隙面上。Zk403 孔深 363m,见矿一般,矿体同样呈北西向细脉梳状产于花岗闪长岩中,单个样品 Mo 最高含量为 0.36%,最低含量为 0.001%,矿化现象与 Zk406 相似。

I 号靶区内地表产出 4 条北西向辉钼矿化脉,对其进行野外观察发现,辉钼矿化主要产于裂隙石英脉中,同时见有褐铁矿化、黄铁矿化、弱蓝铜矿化、绿泥石化和绿帘石化。单个样品中 Mo 最高含量为 0.31%,最低含量为 0.001%。

II 号靶区地表石英脉群发育,钻孔验证矿化类型与 I 号靶区相似,见矿效果较好。III 号靶区异常分布于花岗闪长岩与围岩宝力高庙组接触带部位,IV 号靶区异常分布于宝力高庙组中,地表被风化残积物覆盖,矿化信息匮乏,仍需要进行工程验证,尤其是 IV 号靶区,需要查明其深部是否存在花岗闪长岩侵入体,可能会出现矽卡岩型矿化。

5 结论

(1) 准苏吉花铜钼矿床是与海西晚期花岗闪长岩有关的热液脉型矿床,二叠纪花岗闪长岩体内部北西向小型断裂带及其外接触带是钼矿化富集有利地段,北西向断裂对成矿起到一定控制作用。区内的花岗闪长岩中的硅化、黄铁矿化、绿泥石化、绿帘石化、钾化、绢云母化、褐铁矿化、钼华钼钙矿等矿

化蚀变可作为寻找钼矿体的间接找矿标志。

(2) 准苏吉花铜钼矿区地表土壤中富集 Mo、Cu、W、As、S、Cd、Ag、Zn、In 等元素,主成矿元素 Mo 与伴生元素 Ag、Bi、Cd、Cu、In、S、W、Zn 呈正相关关系,与 Ag、Cu、In、S 相关性较高。研究区土壤中微量元素异常在平面上自西向东依次形成三个元素组合分带,内带元素组合为 Mo-Cu-W-Bi,中带元素组合为 In-Zn-Ag-Cd,外带元素组合为 Pb-As-Sb,该分带与典型中-高温热液矿床中元素分带规律基本一致。

(3) 应用地质累积指数对土壤中主成矿元素 Mo 与伴生元素 Cu、W、In、Bi 的组合异常进行评价,可快速圈定有利找矿靶区,指导区内矿产勘查工作。按照综合地质累积指数(I_{GEO})大于-20 即为异常的原则,在区内共圈定 4 个有利找矿靶区。

(4) 本次工作圈定的 4 个有利找矿靶区中,I、II 号靶区已进行工程验证,实际见矿效果较佳。建议对 I、II 号异常开展相关深部资源预测工作,对 III、IV 号靶区进行工程验证,特别是 IV 号靶区,以期在其深部发现矽卡岩型矿化。

[注释]

① 内蒙古自治区第九地质矿产勘查开发院. 2008. 内蒙古自治区苏尼特左旗准苏吉花铜钼矿详查报告[R].

[References]

Cui Min, Liu Zhi-hong, Wu Guo-xue. 2007. Evaluation of soil-geochemical prospecting information around Wulaga gold deposit of Heilongjiang[J]. World Geology, 26(2):192-198 (in Chinese with English abstract)

Chi Qing-hua, Yan Ming-cai. 2008. Handbook of elemental abundance for applied geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House: 101-105 (in Chinese)

Diao Li-pin. 2010. Application of soil geochemical survey in the Puqing antimony-gold exploration area deposit and prospecting effect[J]. Geology and Exploration, 46(1):120-127 (in Chinese with English abstract)

Förstner U, Ahlf W, Calmano W. 1990. Sediment criteria development-contributions from environmental geochemistry to water quality management [M]//Heling D, Rothe P, Forstner U. Sediments and environmental geochemistry: selected aspects and case histories. Springer Verlag, Berlin Heidelberg: 311-338

Fu Xiao-jin, Wang Zhi-gang, Zhang Qi-jun, Shi Wen-xue, Li Hong-chen, Zhan Hua-ming, Chen Dan-ming, Fu Fang-jian, Chen Huai-liang, Fan Li-ping, Wang Xi-yu. 2010. Application of soil geochemical survey to lateritic nickel ore exploration in the Philippines[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 25(4):372-376 (in Chinese with English abstract)

Liu Yi-kang, Xu Ye-bing. 2003. The prospecting and main features of OyeTolgoi porphyry Cu-Au deposit in Mongolia[J]. Geology and Prospecting, 39(1):1-4 (in Chinese with English abstract)

Liu Yi-fei, Nie Feng-jun, Jiang Si-hong, Hou Wan-rong, Liang Qing-ling, Zhang Ke, Liu Yong. 2012. Geochronology of Zhunsujihua molybdenum deposit in Sonid Left Banner, Inner Mongolia, and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 31(1):119-128 (in Chinese with English abstract)

Muller G. 1962. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river [J]. Geojournal, 2:108-118

Nie Feng-jun, Jiang Si-hong, Zhang Yi, Liu Yan, Hu Peng. 2004. Geological features and origin of porphyry copper deposits in China-Mongolia border region and its neighboring areas[J]. Mineral Deposits, 23(2):176-189 (in Chinese with English abstract)

Nie Feng-jun, Zhang Ke, Liu Yi-fei, Jiang Si-hong, Liu Yong, Liu Yan. 2011. Indosinian magmatic activity and molybdenum, gold mineralization along the northern margin of north China craton and adjacent Area[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 41(6):1651-1666 (in Chinese with English abstract)

Rantitsch G. 2004. Geochemical exploration in a mountainous areas by statistical modeling of poly populational data distributions [J]. Journal of Geochemical Exploration, 82(1/3):79-95.

Shao Yue. 1997. Lithology exploration of hydrothermal ore deposit (Primary Halos) [M]. Beijing: Geological Publishing House: 18-20 (in Chinese)

Shang Ying-nan, Ni Shi-jun, Zhang Cheng-jiang, Huang Yi, Yin Guan. 2005. Application of Index of geo-accumulation (I_{geo}) for evaluation of pollution of heavy metals in surface sediments from rivers in Chengdu[J]. Guangdong Trace Elements Science, 12(10):12-16 (in Chinese with English abstract)

Sun She-liang, Xu Qing-feng, Zhang Shou-ting, Gao Yong-zhang, Gu Wen-shuai. 2011. Characteristics and evaluation of soil geochemical anomalies of the Chenjiagou Mo deposit in Luanchuan County, Henan province [J]. Geological Bulletin of China, 30(11):1785-1793 (in Chinese with English abstract)

Teng Yan-guo, Tuo Xian-guo, Ni Shi-jun, Zhang Cheng-jiang. 2002. Applying Geo-accumulation Index to assess heavy metal pollution in sediment: Influence of different geochemical back-ground[J]. Environmental Science and Technology, 25(2):7-9 (in Chinese with English abstract)

Tao Yan, Gao Zhen-min. 2002. Feasibility of geochemical soil survey in exploring concealed ore of Gejiu Tin deposits [J]. Geology and Prospecting, (5):54-57 (in Chinese with English abstract)

Tao Ji-xiong, Zhong Ren, Zhao Ming-yue, Zheng Bao-jun. 2010. Geological characteristics and ore-prospecting criteria of the Ulander porphyry Molybdenum Deposit in Sonid Left Banner, Inner Mongolia [J]. Acta Geoscientia Sinica, 31(3):413-422 (in Chinese with English abstract)

Xu Zhi-gang, Chen Yu-chuan, Wang Deng-hong, Chen Zheng-hui, Li Hou-min. 2008. Scheme for subdivision of metallogenic belts in China [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-10 (in Chinese)

Xiao Wei, Wang Yi-tian, Jiang Si-hong, Hou Wan-rong. 2010. Explanatory notes for the simplified geology and mineral resource map and typical geographical and topographic features of southern Mongolian and its neighboring Areas [J]. Acta Geoscientia Sinica, 31(3):

473 – 484 (in Chinese with English abstract)

Xiao W J, Windley B F, Hao J,Zhai M G. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt [J]. Tectonic, 22: 1484 – 1505

Yan Chen-wen, Li Wen-qian. 2010. The evaluation of soil-geochemical prospecting information around Meiziwo tungsten in Northern Guangdong [J]. China Tungsten Industry, 25 (5) : 18 – 21 (in Chinese with English abstract)

Zhang Yi, Nie Feng-jun, Jiang Si-hong, Hu Peng. 2003. Discovery of the OyuTolgoi copper-gold deposit in the Sino-Mongolia border region and its significance for mineral exploration [J]. Geological Bulletin of China, 22 (9) : 708 – 712 (in Chinese with English abstract)

Zhang Hong-tao, Chen Ren-yi, Han Fang-lin. 2004. Reunderstanding of metallogenic geological conditions of porphyry copper deposits in China [J]. Mineral Deposits, 23 (2) : 150 – 163 (in Chinese with English abstract)

Zhang Shan-ming. 2011. Principle and methods to search for ore bodies at depth using soil eochemistry [J]. Geology and Exploration, 47 (6) : 1114 – 1123 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

崔敏, 刘志宏, 吴国学. 2007. 黑龙江省乌拉嘎金矿外围土壤地球化学找矿信息评价 [J]. 世界地质, 26 (2) : 192 – 198

迟清华, 鄂明才. 2008. 应用地球化学元素丰度数据手册 [M]. 北京: 地质出版社: 101 – 105

刁理品. 2010. 沟系土壤地球化学测量在贵州普晴锦金矿勘查区应用与找矿效果 [J]. 地质与勘探, 46 (1) : 120 – 127

付小锦, 王志刚, 张启军, 石文学, 李宏臣, 詹华明, 陈丹明, 付方建, 陈怀亮, 范丽平, 王玉玉. 2010. 土壤地球化学测量在菲律宾红土型镍矿勘查中的应用 [J]. 地质找矿论丛, 25 (4) : 372 – 376

刘益康, 徐叶兵. 2003. 蒙古 OyuTolgoi 斑岩铜金矿的勘查 [J]. 地质与勘探, 39 (1) : 1 – 4

刘翼飞, 聂凤军, 江思宏, 侯万荣, 梁清玲, 张可, 刘勇. 2012. 内蒙古苏尼特左旗准苏吉花钼矿床成岩成矿年代学及其地质意义 [J].

矿床地质, 31 (1) : 119 – 128

聂凤军, 江思宏, 张义, 刘妍, 胡朋. 2004. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因 [J]. 矿床地质, 23 (2) : 176 – 189

聂凤军, 张可, 刘翼飞, 江思宏, 刘勇, 刘妍. 2011. 华北克拉通北缘及临区印支期岩浆活动与钼和金成矿作用 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 41 (6) : 1651 – 1666

邵跃. 1997. 热液矿床岩石测量 (原生晕法) 找矿 [M]. 北京: 地质出版社: 18 – 20

尚英男, 倪师军, 张成江, 黄艺, 尹观. 2005. 应用地质累积指数评价成都市河流表层沉积物重金属污染 [J]. 广东微量元素科学, 12 (10) : 12 – 16

孙社良, 徐青峰, 张寿庭, 高永章, 顾文帅. 2011. 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, 30 (11) : 1785 – 1793

腾彦国, 庾先国, 倪师军, 张成江. 2002. 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, 25 (2) : 7 – 9

陶琰, 高振敏. 2002. 个旧锡矿土壤次生晕地球化学勘查的可行性分析 [J]. 地质与勘探, (5) : 54 – 57

陶继雄, 钟仁, 赵明月, 郑宝军. 2010. 内蒙古苏尼特左旗乌兰德勒钼 (铜) 矿床地质特征及找矿标志 [J]. 地球学报, 31 (3) : 413 – 422

徐志刚, 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案 [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 10

肖伟, 王义天, 江思宏, 侯万荣. 2010. 南蒙古及邻区地质矿产简图及地形地貌特点 [J]. 地球学报, 31 (3) : 473 – 484

严成文, 李文钊. 2010. 粤北梅子窝钼矿外围土壤地球化学找矿信息评价 [J]. 中国钨业, 25 (5) : 18 – 21

张义, 聂凤军, 江思宏, 胡朋. 2003. 中蒙边境欧玉陶勒盖大型铜 – 金矿床的发现及对找矿勘查工作的启示 [J]. 地质通报, 22 (9) : 708 – 712

张洪涛, 陈仁义, 韩芳林. 2004. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质条件 [J]. 矿床地质, 23 (2) : 150 – 163

张善明. 2011. 运用土壤地球化学寻找深部矿体的原理及方法 [J]. 地质与勘探, 47 (6) : 1114 – 1123

Characteristics and Evaluation of Soil Geochemical Anomalies of the Zhunsujihua Cu-Mo Deposit in Inner Mongolia

XI Ming-jie, MA Sheng-ming, LIU Chong-min, HU Shu-qi, TANG Li-ling, GUO Zhi-juan
(*Institute of Geophysical and Geochemical Exploration CAGS, Langfang Hebei 065000*)

Abstract: The Zhunsujihua copper-molybdenum deposit in Inner Mongolia is a typical hydrothermal vein type deposit. The element content and anomaly characteristics of the surface soil indicate that the elements exhibit a zonal distribution on the plane. This zonal distribution is centered by the surface mineralization outcrop, outward with a broad zone of Mo-Cu-W-Bi zone, In-Zn-Ag-Cd zone, and the outermost Pb-As-Sb zone in turn. This zonal sequence conforms to the distribution of elements in typical middle-high hydrothermal deposits. The combined anomalies of the major metallogenic element Mo and accompanying elements Cu, W, In and Bi are evaluated by geologic accumulation indices, and four target areas are determined. According to field investigations and project verification, deep-seated resource forecast is suggested to conduct in the target areas of I and II, and further investigations and verification need to be carried out in the target areas III and IV, and it is expected to discovery skarn mineralization in target area IV. This study is of great significance for deployment and implementation of the next exploration in the Zhunsujihua district.

Key words: soil geochemical anomalies, element composition zoning, Index of geologic accumulation, prospecting target, Zhunsujihua Cu-Mo deposit, Inner Monglia