

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

赵少卿¹, 魏俊浩¹, 高翔¹, 易建¹, 陈冲¹, 翟亚峰¹, 田宁¹, 秦志刚², 张文胜³

(1. 中国地质大学资源学院, 武汉 430074; 2. 湖北省鄂东北地质大队, 湖北 孝感 432000; 3. 湖北省第四地质大队, 湖北 咸宁 437100)

摘要: 利用 R 型因子分析方法, 对内蒙古西部石板井地区 1：5 万岩屑地球化学测量数据进行了分析, 提取出 6 个具有代表性的因子, 绘制出地球化学分区图及因子得分等值线图, 并讨论了各分区与其地质背景的对应关系。依据分区结果, 结合北山区域成矿背景、工作区地质特征及野外地质调查发现的孔雀石矿化点, 确定了 Cu-Zn 分区是有利的成矿地段, 并与志留系公婆泉组变质安山岩有关, 90% 的孔雀石矿化点位于该分区中。通过对工作区进行地球化学分区, 结合各分区中 Cu 元素含量的统计特征, 绘制了 Boxplot 对比图, 分析 Cu 元素在各分区中的聚集特征, 为地球化学勘查提供了找矿方向, 确定了成矿有利的地质体。

关键词: 岩屑地球化学测量; 因子分析; 地球化学分区; 北山地区

中图分类号: P632

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2012)02-0027-08

近年来的实践^[1-4]表明, 在开展勘查地球化学工作和研究的过程中, 有必要对工作区进行地球化学分区, 划分出不同的地球化学块体, 从而针对不同的地球化学子区进行异常信息提取, 并研究其地质意义。

前人^[1-5]所做的中小比例尺和地球化学普查工作, 大多是对工作区水系沉积物测量所得到的系统数据进行地球化学分区和地质意义解释。不同的地理景观条件, 元素的表生分散富集规律不同, 西部干旱一半干旱地区的元素背景含量明显低于东部地区^[6]。笔者在分析内蒙古西部戈壁荒漠景观条件基础上, 对石板井工作区 1：5 万岩屑地球化学测量数据进行 R 型因子分析, 确定元素组合类型, 根据因子得分值对工作区进行地球化学分区, 确定子区边界, 绘制地球化学分区图和因子得分等值线图, 对可能具有成矿意义的因子与其对应的地质体进行详细探讨, 以总结该地区的地质地球化学特征, 并为成矿预测指明参考方向。

1 工作区地质概况及采样技术要求

工作区位于内蒙古自治区西部, 与新疆及甘肃接壤, 属北山山系马鬃山区的东北侧, 马鬃山主峰海拔 2 583.5 m, 最低海拔 1 800.0 m, 区内一般相对高差较小, 属残山丘陵地貌。大地构造位置为天山

—兴蒙褶皱带(一级构造单元)北山褶皱系(亚一级构造单元)公婆泉槽向斜(二级构造单元)东北部, 处于白山—狼娃山晚古生代岩浆弧与马鬃山早古生代岩浆弧的结合部位。工作区出露地层由老至新为中元古界北山群(Pt_2B), 古生界公婆泉组(Sg), 中生界龙凤山组(Jl)、赤金堡组(Kc)及新生界第四系(Q)(图 1)。区内岩浆岩广泛分布, 主要为华力西中期的辉长岩($C_1\gamma$)、闪长岩($C_1\delta$)、花岗闪长岩($C_2\gamma\delta$)、黑云母花岗岩($C_2\gamma\beta$)等基性、中性、酸性岩类以及华力西晚期的钾长花岗岩($P\epsilon\gamma$)等。此外, 区内脉岩极其发育, 主要为钾长花岗岩脉等酸性岩脉及闪长岩脉、安山玢岩脉、辉绿玢岩脉等中基性岩脉。区内主要发育北东向和北西向两组断裂构造, 北东向断裂规模较大, 明显切割华力西期侵入岩体, 大部分为正断层; 北西向断裂构造表现非常强烈, 切割之前形成的所有断裂以及区内中生代以前的地层和华力西期侵入岩体, 多为高角度正断层。工作区附近的公婆泉铜矿的控矿构造为北西向和北东东向断裂, 斑岩型铜矿床赋存于断裂的交汇部位^[6-8]。工作区和公婆泉铜矿区均位于北山成矿带上, 推测区内的北西向和北东向断裂为重要的控矿构造。

工作区具有独特的戈壁荒漠地球化学景观特征, 降雨量少, 蒸发量大, 干燥多风, 植物稀少, 为典型的大陆性干旱气候。由于风蚀和风力搬运作用强

收稿日期: 2011-05-16

编辑: 禹华珍

基金项目: 内蒙古自治区国土资源厅项目“内蒙古额济纳旗基东等四幅 1：5 万区域矿产地质调查项目”(NMKD 2008-32)

作者简介: 赵少卿(1985—), 男, 现正攻读矿产普查与勘探专业硕士学位, 主要从事于矿产勘查研究工作。E-mail: zhaoshaoqing7@yeah.net

通信作者: 魏俊浩(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床学、矿床地球化学等方面的教学与科研工作。E-mail: junhaow@163.com

烈,地表松散堆积物中风成沙和钙积层分布较为普遍,风成沙的介入影响了采集样品的质量,导致样品中各元素的质量分数降低,异常强度和规模相应减小^[10-12];且测区水系不发育。因此,为避免风成沙的干扰,提高找矿效果,摒弃传统的水系沉积物测量,在该工作区开展岩屑地球化学测量是较为有效的化探测量方法。由于采样物质要求尽量为岩屑,故在地形有起伏的残山地段,采样位置尽量布置在出露

的岩体(有时为山包)根部靠上位置(斜坡处),尽量避免采集到风成黄土以及外来沉积物,以保证采集的岩屑纯净无其他杂质。根据《地球化学普查规范》(1:50 000)的规定,采样密度为 12~14 个/km²,采样粒级为 0.9~4.75 mm(—4~20 目),采样层位为 C 层,样坑深度 40 cm 以上。与传统的水系沉积物测量相比,岩屑测量可有效排除风成沙和钙积层的干扰,可以保证样品的代表性及化探数据的准确性^[13]。

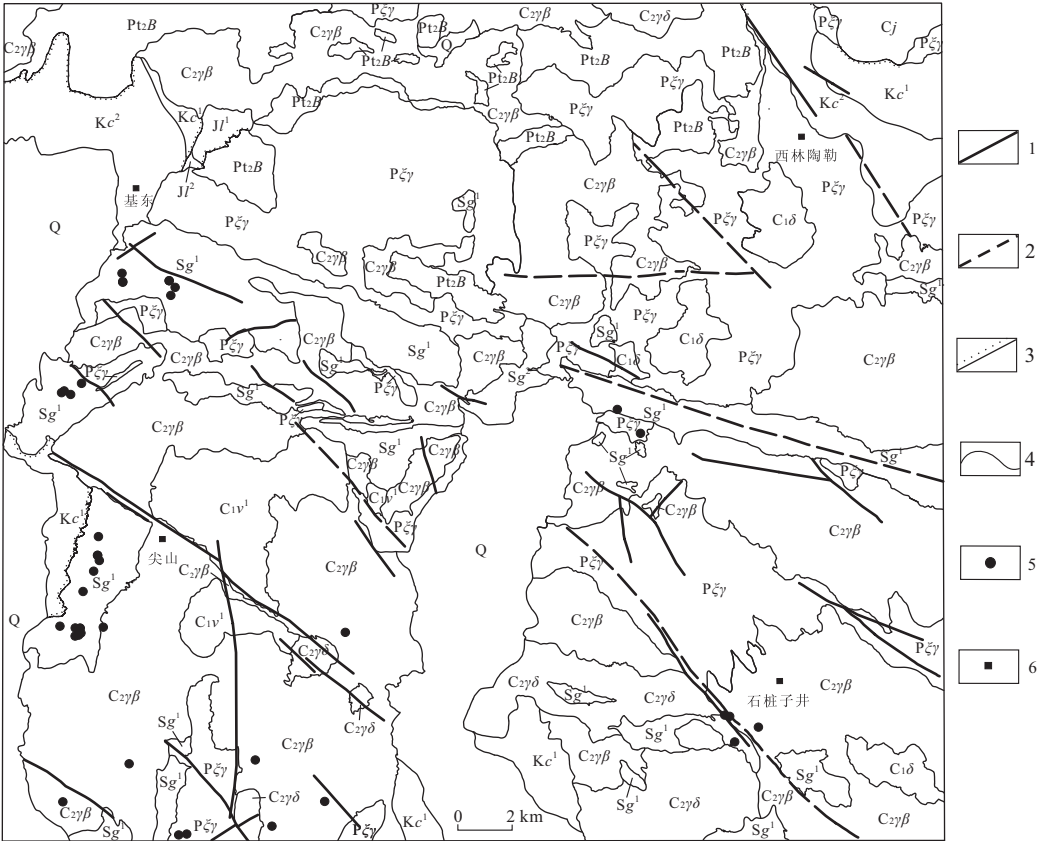


图 1 工作区地质图(实测)

Fig.1 Geological map of the study area

Q. 第四系;Kc². 赤金堡组上段;Kc¹. 赤金堡组下段;J_l². 龙凤山组上段;J_l¹. 龙凤山组下段;Cj. 炭发台子组;Sg². 公婆泉组上段;Sg¹. 公婆泉组下段;Pt₂B. 中元古界北山群;P_ξγ. 华力西晚期钾长花岗岩;C₂₇β. 华力西中期黑云母花岗岩;C₂₇δ. 华力西中期花岗岩闪长岩;C₁δ. 华力西中期闪长岩;C₁v¹. 华力西中期辉长岩。1. 断裂;2. 推测断裂;3. 地层不整合线;4. 地层分界线;5. 孔雀石矿化点;6. 地名。

2 地球化学分区基本原理和方法

因子分析是利用降维的思想,从研究原始变量相关矩阵内部结构出发,把一些具有错综复杂关系的变量归结为少数几个综合因子的一种多元统计分析方法^[14]。因子分析在化探数据处理过程中的作用有两个:①根据筛选出的公共因子确定元素组合;②利用因子得分值划分样品类型,确定子区位置和边界,实现地球化学分区^[1-3]。因子分析的步骤有:确定因子载荷,进行因子旋转并计算因子得分,其中

初始因子载荷矩阵不是唯一的,其因子的意义往往含糊不清,因此需要进行因子旋转以得到更具实际意义的公共因子。

2.1 确定元素组合

因子分析是研究元素共生组合的有效手段和方法,因子分析中每一个因子所包含的主要元素,不仅仅表示它们的一种组合关系,而且反映了一种内在的成因联系,合理提取公共因子并确定元素组合是获得可靠地质地球化学信息的必然条件^[1,15]。

确定合理的、对成矿作用具有指示意义的元素组合的前提是准确筛选公共因子,因此需要建立因

子模型,计算因子载荷矩阵。设有 n 个样品,每个样品观测 p 个变量,在满足一定条件的前提下得到因子模型:

$$X_i=a_{i1}F_1+a_{i2}F_2+\cdots+a_{im}F_m+\epsilon_i,i=1,2,\cdots,p$$

其矩阵形式为:

$$\mathbf{X}=\mathbf{A}\mathbf{F}+\boldsymbol{\epsilon}$$

式中: $\mathbf{A}=\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{p1} & \cdots & a_{pm} \end{bmatrix}$ 为因子荷载矩阵; $\mathbf{F}$ 为公

共因子; $\boldsymbol{\epsilon}$ 为特殊因子。

得到因子载荷矩阵后,为使提取的公共因子更具代表性和可解释性,需要再对初始因子载荷矩阵进行方差最大法正交旋转,并结合工作区实际地质特征,合理地划分出元素组合。

2.2 划分样品类型

因子载荷矩阵中划分出的元素组合类型反映了岩屑测量样品的地球化学分类,而要确定所有的样品各自属于哪种元素组合类型,则需要在因子分析的过程中计算因子得分。因子得分值反映每个样品在各种地质作用中的属性,可利用它研究某种地质作用的空间特征^[15],即根据因子得分值可以将所有样品按特定的元素组合进行归类。

计算因子得分,在统计模型上就需要将公共因子 F 用变量的线性组合来表示,设公共因子得分 F_j 由变量 x 表示的线性组合为:

$$F_j=\beta_{j1}x_1+\beta_{j2}x_2+\cdots+\beta_{jp}x_p,j=1,2,\cdots,m$$

式中: β_j 为变量系数; p 为变量(元素)数。

每个样品都有一个对应的因子得分,在不同因子中的得分反映了样品所具有的地球化学元素组合特征^[16],当分析因子(元素组合)被赋予客观合理的地质、成矿作用解释后,对于每个样品来说,每个因子的得分就是对该样品地质、成矿作用信息的示踪^[5],因此,可以选取因子得分最大者代表该样品有可能的成矿信息。

3 工作区岩屑测量地球化学分区

3.1 样品分析质量

通过对内蒙古西部石板井地区进行 1:5 万岩屑地球化学测量,共采集 10 257 个样品,分析了包括 Au、Ag、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Bi 12 个元素。样品测试在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成,样品分析测试过程中严格参照 DZ/T0011-91/DZ0130 规范中有关 1:5 万地球化学普查样品分析方法与质量监控要求执行,本次工作样品分析各项质量指标均能满足或基本达到规范

与设计要求,满足本次地球化学分区的要求。

3.2 元素组合类型分析

因子分析的前提条件是:利用 Bartlett 球度检验(Bartlett test of sphericity)和 KMO (Kaiser-Meyer-Olkin)检验对所选数据的相关关系进行检验。KMO 和 Bartlett 球度检验值的大小是衡量样本数据是否适合进行因子分析的 2 个主要指标,KMO 值越接近于 1,意味着变量间的相关性越强^[17]。Bartlett 球度检验用于检验相关矩阵是否是单位阵,即各变量是否各自独立,概率 P 值小于给定的显著性水平 α ,则认为原有变量适合作因子分析,Kaiser 给出了常用的 KMO 度量标准,即 0.9 代表非常适合;0.8 代表适合;0.6 代表不适合^[4]。利用 SPSS 软件,对工作区内 12 个元素,10 257 件样品的测试数据进行 R 型因子分析,首先得到 Bartlett 球度检验和 KMO 检验结果(表 1)。根据表 1,KMO 值为 0.779,说明适合作因子分析,Bartlett 球度检验统计值为 36 254 在自由度为 66 的条件下在 0.000 水平上达到显著,概率 P 值为 0.000。如果显著性水平 α 为 0.05,则概率 P 值小于显著性水平 α ^[4,17],因此,本工作区数据适合作因子分析。

表 1 Bartlett 球度检验和 KMO 检验分析表

Table 1 Bartlett's and KMO test	
KMO 值	0.779
Bartlett 球度检验统计量	36 254
自由度	66
概率 P 值	0.000

下一步根据因子分析的原理,计算相关系数矩阵,经 SPSS 统计软件进行因子分析,得到工作区 12 种元素原始含量数据的相关系数矩阵,如表 2 所示。可见,Cu 和 Zn;Pb 和 Sn;W 和 Bi;As 和 Sb 等元素有较好的相关性,从成因方面来分析,相关性较好的元素可能在成因和来源上有一定的关联^[18]。

因子分析的关键是求出相关系数矩阵的特征值,根据特征值大于 0.75 和累计方差贡献率大于 75%的原则,合理提取公共因子。选取累计方差贡献率>75%为标准进行因子提取(表 3),可选取 6 个主因子,这 6 个主因子共解释了原有 12 个变量总方差的 76.717%,且旋转前后总的累计贡献率没有发生变化,即总的信息量没有发生变化,表明因子分析效果较好。

因子分析的主要目的是将具有相近因子载荷的各个变量置于一个公共因子之下,正交旋转因子载荷矩阵比初始因子载荷矩阵更具合理性和可解释性,故采用正交旋转因子载荷矩阵(表 4)来划分元素

表 2 工作区元素(变量)相关系数矩阵
Table 2 Correlation matrix in the study area

元素	Au	Cu	Zn	Pb	Sn	Ag	Mo	W	As	Sb	Bi	Hg
Au	1.000											
Cu	0.216	1.000										
Zn	0.158	0.639	1.000									
Pb	-0.041	-0.236	-0.131	1.000								
Sn	0.081	0.180	0.277	0.334	1.000							
Ag	0.107	0.236	0.248	0.123	0.373	1.000						
Mo	0.124	0.416	0.294	0.108	0.236	0.173	1.000					
W	0.122	0.312	0.236	0.083	0.310	0.176	0.385	1.000				
As	0.129	0.380	0.270	0.108	0.270	0.177	0.403	0.394	1.000			
Sb	0.130	0.363	0.269	0.103	0.275	0.180	0.378	0.424	0.785	1.000		
Bi	0.171	0.436	0.243	0.119	0.298	0.182	0.400	0.483	0.413	0.454	1.000	
Hg	0.066	0.126	0.125	0.038	0.224	0.071	0.164	0.133	0.167	0.199	0.146	1.000

表 3 工作区 R 型因子分析特征值和累计方差贡献率
Table 3 The characteristic roots and total variance explained of R-factor analysis in the study area

因子	旋转前			旋转后		
	总特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%	总特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
F_1	3.876	32.304	32.304	2.127	17.726	17.726
F_2	1.494	12.453	44.757	1.762	14.686	32.412
F_3	1.169	9.739	54.495	1.691	14.095	46.506
F_4	0.944	7.864	62.359	1.583	13.196	59.702
F_5	0.921	7.677	70.036	1.035	8.626	68.328
F_6	0.802	6.682	76.717	1.007	8.389	76.717

组合类型,确定因子数为 6 个, F_1 代表 W-Bi-Mo 元素组合; F_2 代表 As-Sb 元素组合; F_3 代表 Cu-Zn 元素组合; F_4 代表 Pb-Ag-Sn 元素组合; F_5 和 F_6 分别代表 Hg 和 Au 元素。

样品在不同的公共因子中得分最大者赋予自定义值(例如第 n 个样品第 j 个因子得分值最大,则返回 j),然后将每一个公共因子中得分最大的样品划分出来,进行地球化学分区。根据因子得分值将样品划分成 6 类,每一类样品代表了一定类型的地球化学子区。因此,根据工作区地质条件及矿化类型,结合因子得分值圈定出的地球化学子区的边界见图 2。

表 4 工作区 R 型因子分析正交旋转因子载荷矩阵
Table 4 Orthometric rotating factor loading matrix of R-factor analysis in the study area

变量	因子载荷					
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
W	0.750	0.195	0.043	0.099	0.023	0.032
Bi	0.749	0.228	0.086	0.102	0.022	0.123
Mo	0.686	0.173	0.183	0.092	0.090	-0.009
As	0.281	0.888	0.099	0.111	0.052	0.034
Sb	0.304	0.878	0.085	0.105	0.087	0.040
Cu	0.400	0.197	0.757	0.119	0.022	0.104
Zn	0.219	0.096	0.746	0.322	0.071	0.017
Pb	0.224	0.058	-0.664	0.478	0.014	-0.053
Ag	-0.018	0.110	0.218	0.798	-0.089	0.083
Sn	0.297	0.090	-0.052	0.736	0.236	-0.010
Hg	0.077	0.098	0.052	0.067	0.972	0.030
Au	0.098	0.051	0.086	0.051	0.030	0.983

3.3 地球化学分区的解释与评价

因子得分是用来说明因子中各元素(变量)所代表相关信息的权重^[19]。在因子分析过程中,每个样品都有因子得分值,一个样品因子得分值的大小反映了该样品所代表某种地质信息的多少,从而可以根据每个样品的因子得分值来划分地球化学子区类型,并对每件样品所代表的地质信息进行评价。

对工作区中 10 257 件样品的 12 种元素(变量)做因子分析后,在 Excel 中构建一个函数,将每一个

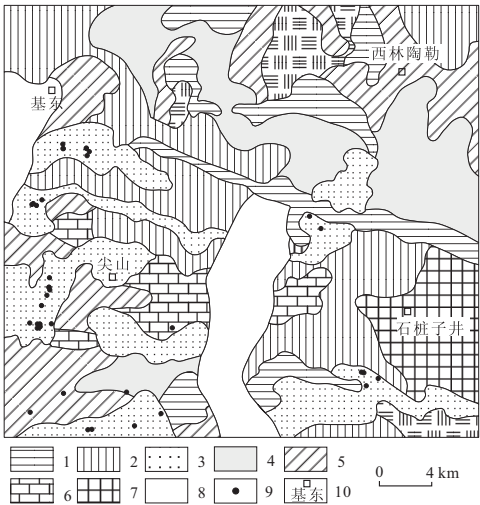


图 2 地球化学分区图

Fig.2 Geochemical subdivisions map

1. F_1 (W-Bi-Mo)分区; 2. F_2 (As-Sb)分区; 3. F_3 (Cu-Zn)分区; 4. F_4 (Pb-Ag-Sn)分区; 5. F_5 (Hg)分区; 6. F_6 (Au)分区; 7. $F_4 + F_6$ (Pb-Ag-Sn-Au)分区; 8. 混合因子(第四系)分区; 9. Cu 矿化点; 10. 地名。

现根据表 3,4 和图 1,2 对工作区的地球化学分区特征进行讨论。

F_1 因子的方差贡献率为 17.726%,为工作区占主要地位的因子,元素组合为 W-Bi-Mo 高温元素,地球化学性质相近,易在酸性岩体中富集,可代表与岩浆热液有关的元素组合。W-Bi-Mo 子区主要分布在工作区的中部、花岗岩体与北山群地层的接触带及接触带两侧,并沿着北西西向大断裂构造方向展布,呈带状分布特征,反映了区内岩浆活动时期高温元素的富集阶段,这与 F_1 因子的元素组合类型密切相关。该分区内出露的岩体为华力西中期黑云母花岗岩, F_1 因子得分高值区域与该黑云母花岗岩体吻合程度较高。而在工作区其他部位分布的华力西晚期酸性花岗岩体中这 3 个元素的含量却较少,可能与不同时代侵入岩在物质成分上的差异性有关。

F_2 因子的方差贡献率为 14.686%,是区内占次要地位的因子。该元素组合 As-Sb 为低温元素组合,As、Sb 同为第 V 主族元素且 As 为亲铜元素,属低温半金属两性元素,地球化学行为相近,迁移能力较强。As、Sb 可作为前缘晕元素组合类型,作为成矿区域的指示性元素。As-Sb 子区在工作区中分布面积较大,大多分布在酸性侵入岩体外围,从区内实际的地质背景分析,在基东的北山群地层中分布较广泛,其附近出露黑云母花岗岩,更为突出的分布特征是沿北西向的断裂构造附近分布。 F_2 因子得分高值区的空间分布也位于酸性侵入岩体外围,As、

Sb 元素的分布特征充分体现了低温元素的易迁移特征,可作为矿体(化)的前缘指示元素。

F_3 因子的方差贡献率为 14.095%,也是区内占重要地位的因子,Cu、Zn 元素均表现为亲疏性,Zn 元素活动性相当高,迁移能力强,易形成异常。从工作区实际地表矿化特征来看,地表铜矿化点几乎全部落在 F_3 因子的 Cu-Zn 元素组合的分区内,是各分区中最重要的因子类型,该元素组合为成矿元素组合,与成矿关系密切。Cu-Zn 子区主要分布在工作区尖山的西北部和基东的西南部,与公婆泉组变质火山岩(主要为安山岩)分布较吻合。此外,在西林陶勒南部和石桩子井南部也有零星分布,但分布面积较小。图 3 中, F_3 因子得分高值区与公婆泉组火山岩地层的空间位置及其分布特征极其吻合,工作区内全部铜矿化点的 60% 都分布在尖山的西北部, F_3 因子分区是寻找与铜相关的热液型金属矿产的重要远景区,可将该分区定为下一步勘查工作异常查证的重点检查区。

F_4 因子中 Pb 是亲酸性元素,不易迁移;Ag 反映断裂构造及岩浆活动,而 Sn 则与花岗岩体有关。综合来看,这 3 种元素组合在一起,说明其代表的地质背景极其复杂。Pb-Ag-Sn 子区主要分布于基东东北部和西林陶勒西部,而在石桩子井则杂乱分布,分布特征均与区内华力西晚期的钾长花岗岩体有关,但 Pb、Ag 为与热液有关的中低温元素,反映特定的构造活动,这 3 种元素组合类型代表了区内地质背景复杂。

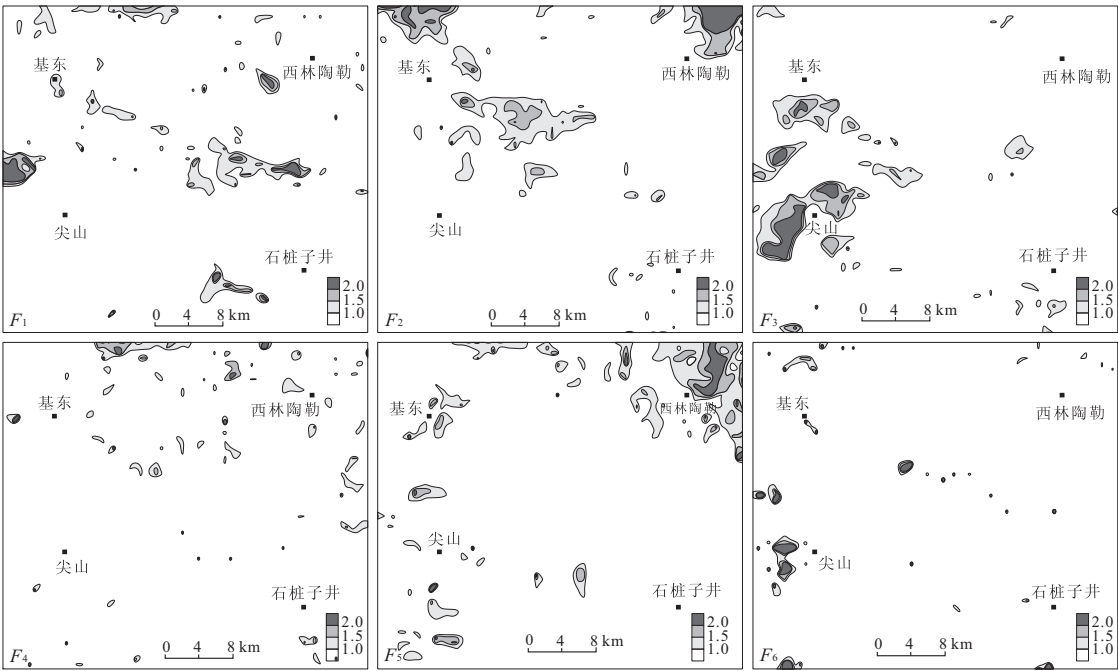


图 3 工作区各因子得分等值线图
Fig.3 Map of the factor score in the study area

F_5 、 F_6 因子分别代表 Hg 和 Au。Hg 是熔点很低的金属元素,具有很强的迁移能力,扩散面积较大,多与构造活动有关;Hg 子区主要集中于西林陶勒东北角、基东和尖山酸性岩体外围的地层中,但面积较小。Au 子区主要分布于尖山西部,相对较分散,无明显的规律性。Au 因子得分较低,为特殊的因子类,与区内其他分区在地质背景方面无相关联系。图 2 中空白区域为第四系,由于采样物质具多来源特征,因子类型较为杂乱,不能反映一定的地球化学背景,故将其划分为混合因子区。

利用 R 型因子分析的因子得分绘制地球化学等值线图,已被广大地质工作者所应用^[20],因子得分等值线图体现了各元素组合在工作区中的分布状况,其地质、地球化学意义更加明确^[21-22]。根据分区的 6 种因子类型,绘制因子得分等值线图(图 3),解释 6 种元素组合的空间分布特征,并且可以和地球化学分区图做对比,从而更好地解释各子区类型与地质体的关系。

由图 3 可以非常清晰地看出各因子元素组合类型分布于工作区不同的地段,从而能够反映相应地段地球化学异常中共生或伴生的有用元素组合类型^[4]。图 3 中各因子元素组合的含量高低分布与图 2 中各因子的地球化学子区十分吻合,这将为下一步化探异常的查证及大比例尺的异常圈定提供方向。

4 地球化学分区对成矿的指示意义

分区结果表明, F_3 因子可能为区内具有成矿意义的因子,在 Cu-Zn 子区中,聚集了地表 90% 孔雀石矿化点,铜元素的高度富集与公婆泉组的火山岩地质体有密切关系,笔者结合区域成矿背景和铜元

素在不同地质体中的聚集特征初步判定工作区内的成矿作用与铜矿种有关。

4.1 区域成矿特征的指示作用

工作区位于北山成矿带,北山地区处于塔里木—中朝、哈萨克斯坦和西伯利亚板块的汇聚地带,地质演化特征复杂,构造—岩浆活动强烈,具有利的成矿地质条件^[23-25]。北山成矿带是中亚巨型成矿带的重要组成部分,在北山地区已发现一批重要铜矿床,如公婆泉、白山堂斑岩型铜矿床,大红山热液型铜矿床等,向西延伸至新疆东天山地区,有著名的东天山土屋、延东铜矿床。对比研究北山地区铜多金属矿床的成矿地质背景和成矿规律特征(表 5),结合作业区内提取的成矿信息,推断在区内可寻找与铜有关的热液型、斑岩型和矽卡岩型矿床。

4.2 铜元素的分布与聚集特征

铜元素是工作区的主成矿元素,图 3 中 F_3 因子组合异常图清晰地反映了铜元素的空间分布特征,铜元素高背景和异常区集中分布在尖山西北部 and 基东西南部,异常面积大、浓度分级明显。此外,两处相对较弱异常区分布于西林陶勒西南部和石桩子井南部,异常面积较小。异常地段出露的地层为志留系公婆泉组变质安山岩,侵入岩主要为石炭纪黑云母花岗岩、花岗闪长岩,地表发现的孔雀石矿化点与异常主体吻合较好。

任何地区都有元素的聚集与分散,这种特征与该区的地质背景有密切的关系^[36],根据不同地质体(分区)中元素的含量高低,可以快速查明元素异常分布与地质体的成因联系,缩小找矿靶区,提供找矿方向。为研究工作区内铜元素在不同分区中的分布与富集状况,笔者采用箱图分析方法^[37]对不同分区内的铜元素分析数据做统计分析(表 6),绘制了 Boxplot 对比图(图 4)。

表 5 甘新蒙北山地区铜矿床简要地质特征对比

Table 5 Comparison of geological features of copper deposits in Beishan area of Gansu-Xinjiang-Inner Mongolia				
矿床实例	公婆泉铜矿床 ^[24-26]	白山堂铜矿床 ^[27-31]	东天山土屋铜矿床 ^[32-35]	工作区
地质环境	塔里木—中朝板块中段过渡类型区岛弧环境	塔里木板块东北缘裂谷构造环境	塔里木板块与准噶尔板块碰撞对接缝合带北侧的石炭纪增生拼贴岛弧带	明水—石板井—小黄山蛇绿岩带(岛弧带)
成矿时代	中—晚志留世	早—中石炭世	晚石炭世早期	
侵入岩组合	海西中晚期的辉长岩,辉绿玢岩,石英闪长岩,花岗闪长岩和二长花岗岩	半环形次火山—侵入杂岩体,斜长花岗斑岩,花岗闪长斑岩	海西中晚期的闪长玢岩和斜长花岗岩	华力西晚期钾长花岗岩、华力西中期黑云母花岗岩,少量的酸性斑岩脉
火山岩组合	岛弧玄武岩—安山岩—粗安岩—石英粗面岩—流纹岩组合,以安山岩、英安斑岩为主	次流纹斑岩—英安斑岩—石英粗面岩—角砾熔岩	玄武岩—安山玄武岩—安山岩—安山质角砾熔岩—英安岩	玄武岩—玄武安山岩—安山岩—火山碎屑岩
成矿元素组合	Cu-Ag-Au	Cu-Pb-Zn-Ag-Mo	Cu-Mo-As-Ag	Cu-Zn

表 6 工作区各分区中 Cu 元素的特征参数

Table 6 Cu element characteristics parameters of different subdivisions from the study area

分 区	特征参数 lg[w(Cu)/10 ⁻⁶]		
	平均值	中位数	离散度
F ₁	1.093	1.056	0.456
F ₂	0.984	0.958	0.364
F ₃	1.328	1.322	0.450
F ₄	0.870	0.833	0.409
F ₅	0.809	0.770	0.379
F ₆	0.817	0.707	0.393
全区	0.988	0.935	0.511

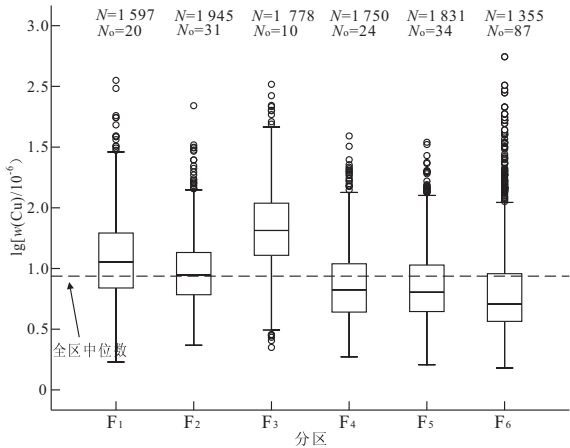


图 4 工作区各分区中 Cu 的 Boxplot 对比图(N 为样品数, No 为异点数)

Fig. 4 Boxplot map of Cu element of different subdivisions in the study area

表 6 和图 4 表明,在 6 类地球化学分区中,Cu 元素质量分数的样本统计量(平均值、中位数、离散度等)表现出一定的差异,Cu 元素在 F₃ 分区有最大的中位数,离散度仅略低于 F₁ 分区(离散度越大,表明元素呈相对集中趋势),所以 F₃ 分区是工作区内成矿的有利地质体,可以在 F₃ 分区的公婆泉组变质安山岩地质体中寻找与 Cu 有关的多金属矿床。

5 结 论

- (1)工作区属典型的干旱戈壁荒漠残山景观区,区内广泛发育风成沙和钙质层,且水系不发育,在该区开展传统的水系沉积物地球化学测量会受到限制,而且可能会导致异常漂移,而岩屑地球化学测量则能有效地避开上述干扰因素,适合在该区开展化探扫面工作。
- (2)利用因子分析,将工作区内 12 种元素划分成 6 种元素组合,并结合区域成矿特征、工作区地质条件,通过对矿化特征及地球化学分区图和因子得分等值线图进行对比研究得出,最具找矿意义的元

素组合为 Cu-Zn 组合,Cu-Zn 子区与区内志留系公婆泉组变质安山岩地层吻合程度很高,地表 90% 的孔雀石矿化点分布在该地质体中,且以尖山西南部和石桩子井南部的公婆泉组变质安山岩地质体为最有利的成矿地段,后期工程验证,在该地段发现的矿化带 Cu 品位达 0.8%。根据地球化学分区结果,综合研究其与工作区内地质体的分布特征,发现各子区的边界形态与区内地质内容非常吻合,验证了地球化学分区在中大比例尺预测中的可行性,为今后的地质工作指明了方向。

(3)区域成矿背景特征表明,在工作区内寻找与 Cu 有关的斑岩型、热液型和矽卡岩型矿床具有指导意义。通过 Boxplot 图解也证明了该区公婆泉组变质安山岩地质体中 Cu 元素的聚集特征比较明显,在公婆泉组变质安山岩地层中及其与黑云母花岗岩岩体的接触带上寻找铜矿床具有较好前景。

本文的完成得到了内蒙古第二地质矿产勘查院各位领导的大力支持,谭俊和石文杰在研究思路方面给予了重要指导和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 时艳香,纪宏金,陆继龙,等. 水系沉积物地球化学分区的因子分析方法与应用[J]. 地质与勘探,2004,40(5):73-76.
- [2] 董毅,范丽珉,段焕春,等. 青海大坂山地区水系沉积物测量元素组合分区[J]. 地质与勘探,2009,45(1):70-74.
- [3] 戴慧敏,鲍庆中,宫传东,等. 因子分析法对内蒙古查巴奇地区水系沉积物地球化学分区的应用研究[J]. 现代地质,2010,24(2):246-251.
- [4] 董毅. 因子分析在水系沉积物测量地球化学分区中的应用探讨[J]. 矿产与地质,2008,22(1):78-82.
- [5] 王永华,龚鹏,龚敏,等. 成矿带 1:20 万水系沉积物地球化学分区的方法及地质意义:以西藏冈底斯铜多金属成矿带为例[J]. 现代地质,2010,24(4):801-806.
- [6] 李宝强,孙泽坤. 区域地球化学异常信息提取方法研讨[J]. 西北地质,2004,37(1):103-108.
- [7] 王玉往,姜福芝,祝新友,等. 北山地区斑岩铜矿含矿岩体的某些地质特征及判别标志[J]. 有色金属矿产与勘查,1996,5(4):204-212.
- [8] 许荣科,鲁胜章,李兴德,等. 甘肃北山公婆泉铜矿集区成矿构造剖析及成矿预测[J]. 地质与勘探,2010,46(1):93-101.
- [9] 张发荣,李宗杰,周会武,等. 甘肃北山地区铜矿找矿模型及找矿远景[J]. 甘肃地质学报,2002,11(1):63-68.
- [10] 范红科,温银维,姜美义,等. 内蒙古中东部半干旱荒漠草原景观区岩屑地球化学测量的方法技术及应用效果[J]. 地质与勘探,2008,44(5):64-69.
- [11] 康明,岑况,吴悦斌,等. 北山戈壁荒漠景观 1:5 万地球化学测量方法研究[J]. 地质与勘探,2004,40(3):64-68.
- [12] 黄志荣. 新疆特殊景观区区域化探研究[J]. 新疆有色金属,2006(1):13-14.
- [13] 石文杰,魏俊浩,王启,等. 分区上异点校正法在干旱地区 1:5 万地球化学异常圈定中的应用[J]. 地质科技情报,2011,30(1):34-41.

[14] 向东进. 实用多元统计分析[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2005:157-171.

[15] 董庆吉,陈建平,唐宇,等. R 型因子分析在矿床成矿预测中的应用[J]. 地质与勘探,2008,44(4):64-68.

[16] 焦保权,白荣杰,孙淑梅,等. 地球化学分区标准化方法在区域化探信息提取中的应用[J]. 物探与化探,2009,33(2):165-169.

[17] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2004,9-12.

[18] 王雄军,赖健清,鲁艳红,等. 基于因子分析法研究太原市土壤重金属污染的主要来源[J]. 生态环境,2008,17(2):671-676.

[19] Davis J C. Statistical and data analysis in geology[M]. 2nd ed. New York:John Wiley & Sons,1986:646.

[20] 朴寿成,翟玉峰,赵春光,等. 因子计量图的新思路[J]. 地质与勘探,2002,38(2):68-70.

[21] Levinson A A. Introduction to exploration geochemistry[M]. 2nd ed. Chicago ;Wilmette Applied Pub. ,1976:1-924.

[22] Omaljev V T. Definitions of the concepts of geochemical field, background,and noise[J]. Geochem. Internat. ,1987,24(2):1-6.

[23] 郭晓东,李强之,金宝义,等. 北山地区金和铜等成矿规律及找矿方向探讨[J]. 黄金地质,2003,69(2):33-37.

[24] 张雨莲,许荣科,陕亮,等. 北山公婆泉斑岩铜矿区域地质地球化学异常结构模式[J]. 物探与化探,2009,33(4):406-423.

[25] 王大为,邹治平,李绍雄. 甘肃公婆泉铜矿成矿地质特征及矿床成因[J]. 西北地质科学,1995,16(1):115-122.

[26] 殷勇,张旗,殷先明,等. 甘肃北山埃达克岩特征及其找矿意义[J]. 甘肃地质,2009,18(1):6-11.

[27] 代双儿. 北山地区板块构造演化及成矿系列研究[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2001,37(6):112-120.

[28] 殷先明. 甘肃北山斑岩型铜矿找矿研究[J]. 甘肃地质学报, 2003,12(2):1-5.

[29] 殷先明. 甘肃省火山岩型铜矿找矿工作再思考[J]. 甘肃地质, 2007,16(4):16-20.

[30] 白生顺. 大红山地区铜成矿浅析[J]. 甘肃科技,2009,25(15): 35-37.

[31] 彭巨贵,张发荣,赵福昌. 甘新蒙北山地区成矿带划分和基本特征对比[J]. 地球科学与环境学报,2006,28(3):11-18.

[32] 芮宗瑶,王福同,李恒海,等. 新疆东天山斑岩铜矿带的新进展[J]. 中国地质,2001,28(2):11-16..

[33] 任秉琛,杨兴科,李文明. 东天山土屋特大型斑岩型铜矿成矿地质特征与矿床对比[J]. 西北地质,2002,35(3):68-75.

[34] 陈富文,李华芹,陈毓川,等. 东天山土屋一延东斑岩型铜矿田成岩时代精确测定及其地质意义[J]. 西北地质,2002,35(3): 68-75.

[35] 聂风军,江思宏,白大明,等. 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,2003,22(3):234-244.

[36] 史长义. 勘查数据分析(EDA)技术的应用[J]. 地质与勘探, 1993,29(11):52-58.

[37] Tukey J W. Exploratory data analysis[M]. Boston:Addison-Wesley,1977:506.

Factor Analysis in the Geochemical Subdivisions: Taking 1 : 50 000 Debris Geochemical Survey in the Shibanjing Area of Inner Mongolia as An Example

ZHAO Shao-qing¹,WEI Jun-hao¹,GAO Xiang¹,YI Jian¹,CHEN Chong¹,
ZHAI Ya-feng¹,TIAN Ning¹,QIN Zhi-gang²,ZHANG Wen-sheng³

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
2. Northeast Geological Team of Hubei Province, Xiaogan Hubei 432000, China;
3. No. 4 Geological Team of Hubei Province, Xianning Hubei 437100, China)

Abstract: The authors analyzed the 1 : 50 000 debris sample data in the Shibanjing area of Inner Mongolia with the R-mode factor analysis method. Six representative factors were extracted from the data. The geochemical subdivisions have a close relationship with the geological background by making a study of the geochemical subdivision map, factor score map and geological map. Comprehensive studies of the back-ground of regional metallogenic in Beishan area, geological characteristics and malachite mineralization show that the Cu-Zn subdivision which mainly related with the metamorphic andesite of Silurian Gongpo-quan Formation being the most favorable metallogenic area. 90% of the malachite mineralization was found in these subdivisions. By the study of the statistical characteristics of copper content in all the subdivisions, we have manufactured Boxplot comparison chart and analyzed the aggregation of copper element. In short, the geochemical subdivisions can guide for metallogenic prognosis and favorable geological body.

Key words: debris geochemical survey; factor analysis; geochemical subdivision; Beishan region