

地球化学分区方法在地球化学勘查中的应用 ——以胶东半岛乳山寨幅1:5万水系沉积物测量为例

魏印涛

(山东省物化探勘查院, 济南 250013)

摘要: 利用R型因子分析方法对胶东半岛乳山寨幅1:5万水系沉积物测量数据进行了分析, 提取出7个具有代表性的因子, 绘制出地球化学分区图, 并讨论了各分区的地质地球化学特征; 将研究区内水系沉积物样本所体现的全部地球化学统计信息在一幅图中以区块的形式得以反映, 通过对其判读分析各类分区特定的地质地球化学特征, 同时结合圈定的综合异常, 进一步缩小了找矿靶区, 可为矿产勘查工作指明方向。

关键词: 胶东半岛; 乳山寨幅; 水系沉积物测量; 地球化学分区; 山东省

中图分类号: P632.3 **文献标识码:** A

0 引言

勘查地球化学自20世纪30年代诞生以来一直是基本的地质矿产勘查方法之一, 1:5万水系沉积物测量是区域地球化探扫面中一种成熟的方法^[1-5], 并有效运用到找矿工作中^[6-10]。但传统的勘查地球化学资料涉及变量繁多, 所成图件多而复杂, 不利于从整体上寻求其地质地球化学特征和规律^[11]。近年来的实践^[12-15]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元素组合分区, 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。

本文以乳山寨幅1:697件1:5万水系沉积物样品分析数据为基础, 采用R型因子分析方法开展地球化学分区研究; 将所有样品及变量组合类型在一幅图上全部体现, 据此将研究区划分为多种地球化学分区、制作地球化学分区图件, 以便从总体上研究该区的地球化学特征和成矿规律。

1 工区地质概述

1:5万乳山寨幅位于胶东半岛西南部, 隶属于胶辽隆起区和胶南-威海隆起区两个二级大地构造单元。

区内地层出露较少, 主要为下白垩统林寺山组、止凤庄组, 陡崖组水桃林段、野头组定国寺段、野头组祥山段; 在沟谷两侧, 分布有全新统临沂组。区内断裂构造较发育, 主要为NE向, 见少量NNE向和SE向断裂。岩浆岩大面积分布, 主要为崂山序列玉皇山单元石英碱长正长岩、午山单元正长花岗岩、下书院单元正长花岗岩, 伟德山序列虎头石单元二长花岗岩、通天岭单元二长花岗岩、崖西单元二长花岗岩, 早白垩世正长花岗斑岩, 玲珑序列崔召单元二长花岗岩、九曲单元二长花岗岩, 荣成序列威海单元含黑云二长花岗岩。

目前区内已发现矿点、矿化点5处(图1), 矿种主要为金、铁, 成矿潜力较大。

收稿日期: 2019-03-29; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 山东省财政专项(鲁国土资发[2012]112号)资助。

作者简介: 魏印涛(1985—), 男, 化探、地质矿产工程师, 学士, 2009年石家庄经济学院本科毕业, 地球化学专业, 从事地球化学勘查工作。通信地址: 山东省济南市历山路56号, 山东省物化探勘查院; 邮政编码: 250013; E-mail: wtywyt2009@163.com

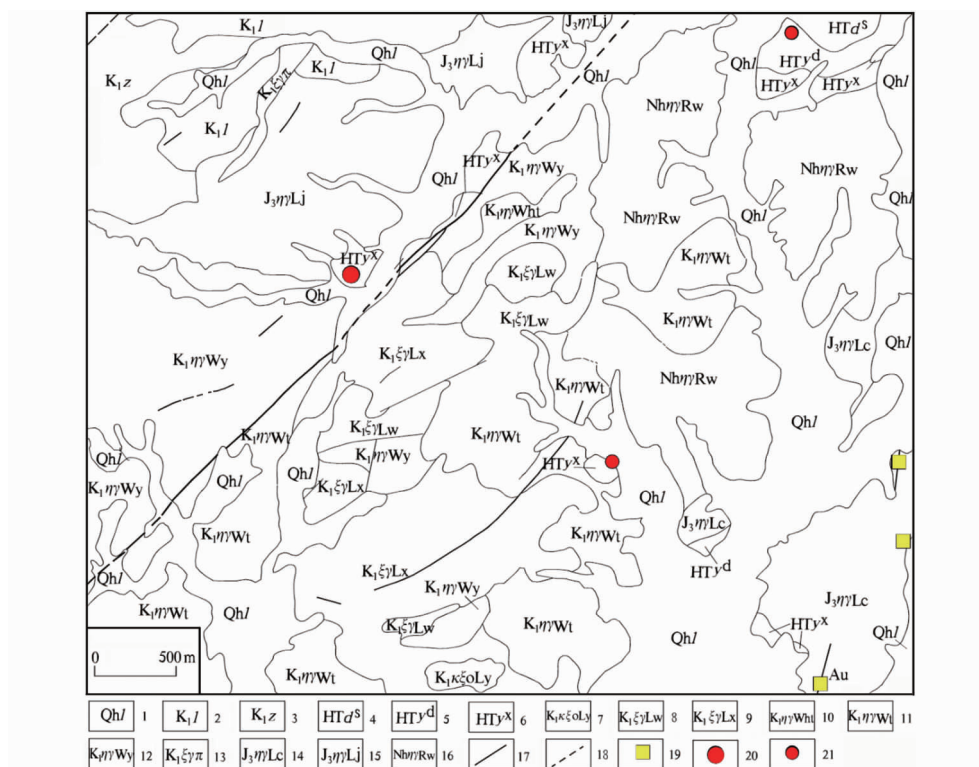


图1 乳山寨幅地质矿产图

Fig. 1 Geological and mineral resources map of Rushanzhai sheet

1. 全新统临沂组; 2. 下白垩统林寺山组; 3. 下白垩统止风庄组; 4. 陡崖组水桃林段; 5. 野头组定国寺段;
6. 野头组祥山段; 7. 崂山序列玉皇山单元石英碱长正长岩; 8. 崂山序列午山单元正长花岗岩;
9. 崂山序列下书院单元正长花岗岩; 10. 伟德山序列虎头石单元二长花岗岩;
11. 伟德山序列通天岭单元二长花岗岩; 12. 伟德山序列崖西单元二长花岗岩;
13. 早白垩统正长花岗岩斑岩; 14. 玲珑序列崔召单元二长花岗岩; 15. 玲珑序列九曲单元二长花岗岩;
16. 荣成序列威海单元含黑云二长花岗岩; 17. 断裂; 18. 推断裂;
19. 金矿化点; 20. 中型铁矿床; 21. 铁矿化点

析质量真实可靠。

2 样品采集与分析方法

工区地貌为低山丘陵,本次水系沉积物测量采用—60 目粒级,最终采样密度为 4.7 个点/km²,共采集水系沉积物样品 1 697 件。

本次研究的样品分析委托具有地质实验测试甲级资质的山东省第四地质矿产勘查院实验室承担,分析 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Sb、Mo、Hg、Ni、As、Bi、W 13 个元素;Au 测试采用化学光谱法,Ag、Sn 采用发射光谱法,Cu、Pb、Zn、Ni 采用 X 荧光光谱法,Sb、Hg、As、Bi 采用原子荧光法,Mo、W 采用极谱法。各元素所采用分析方法检出限均优于规范要求,报出率均为 100%。各批次标样的平均对数偏差及对数偏差的标准离入值合格率均达 100%,分

3 地球化学分区基本原理和方法

R 型因子分析是研究元素共生组合的有效手段和方法^[16-19],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^[20]。在化探数据处理过程中,因子分析有两个作用:一是,依据筛选出的公共因子达到确定分区类型的目的;二是,样品类型的划分则利用因子得分值确定,即确定分区边界和位置,实现地球化学分区。

(1) 确定分区类型

因子分析的主要任务之一是对原有变量进行浓

缩,即将变量中的信息重叠部分进行提取,并合成因子,进而达到减少变量个数的目的,因此要求原有的变量之间应存在较强的相关关系,否则,如果原有变量之间相互独立,不存在信息重叠,也就无法从中综合出能够反映某些变量共同特性的几个较少的公共因子^[21]。准确筛选出公共因子是确定合理的、可解释的元素组合的前提,所以需要运用因子模型来计算因子载荷矩阵。

设样品数量为 m ,每个样品观测变量数为 p ,在符合一定条件的约束下得到因子模型:

$$X_i = a_{i1} \times F1 + a_{i2} \times F2 + \cdots + a_{im} \times Fm + \epsilon_i, i = 1, 2, \cdots, p$$

其矩阵形式:

$$X = AF + \epsilon$$

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

共因子, ϵ 为特殊因子。因子载荷矩阵得出后,为使筛选的公共因子代表性更强,对初始因子载荷矩阵进行方差最大法正交旋转,同时综合考虑工作区地质概况,划分合理的元素组合,从而确定分区类型。

本次研究采用工作区 1 697 件样品 13 元素的化验数据做因子分析,前 7 个特征根代表的方差为 80.557%,大于总方差的 80%(表 1),因此把这 7 个因子作为区内的主要因子。在反映元素组合方面,正交旋转因子负载矩阵比初始因子更具合理性和解释性,因此笔者采用正交旋转因子负载矩阵来确定本区的元素组合(表 2)。因此,可以认为这 7 个因子分别代表了本区 7 种不同元素组合类型,即:F1: Au-As-W; F2: Pb-Ag-Zn; F3: Bi-Sb; F4: Ni-Cu; F5: Sn; F6 Mo; F7: Hg。

(2)划分样品类型

表 1 因子解释原有变量总方差情况

Table 1 The factor-explained general variance of the original variables

因子	特征根	特征根百分比	累计百分比
F1	3.080	23.693	23.693
F2	21.815	13.960	37.652
F3	1.551	11.929	49.582
F4	1.389	10.682	60.264
F5	0.951	7.315	67.579
F6	0.890	6.850	74.428
F7	0.797	5.129	80.557

表 2 正交旋转因子矩阵

Table 2 Orthogonal rotation factor matrix

变量	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
As	0.888	0.084	0.122	0.154	-0.028	-0.013	0.166
W	0.888	0.111	0.007	-0.017	0.087	0.147	-0.002
Pb	0.110	0.838	0.214	0.102	-0.073	0.214	0.047
Ag	0.186	0.722	0.077	-0.082	0.315	-0.129	0.183
Zn	0.004	0.675	-0.001	0.589	-0.102	0.090	0.023
Bi	-0.020	0.167	0.916	0.044	0.044	0.032	-0.034
Sb	0.138	0.056	0.910	0.110	-0.058	-0.009	0.130
Ni	0.001	0.035	-0.004	0.798	-0.169	-0.160	0.025
Cu	0.101	0.052	0.159	0.790	0.117	0.028	0.012
Sn	0.038	0.056	-0.018	-0.051	0.943	0.144	0.068
Mo	0.199	0.191	0.023	-0.131	0.176	0.807	-0.084
Au	0.506	0.160	0.002	-0.044	0.020	-0.549	-0.344
Hg	0.096	0.165	0.078	0.031	0.077	-0.002	0.913

确定分区类型后,如何确定每个样品属于何种类型呢。采用的方法如下:

设样品 i 对应的 p 个因子得分为:

$$F(i, j), \text{ 其中 } j = 1, 2, \cdots, p = 1, 2, \cdots, n$$

若 $F(i, k) = \text{Max}_{j=1, p} [F(i, j)]$, 则第 i 个样品归为第 k 类。

该方法的主要依据是:基于因子得分是标准化数值,因此可以进行大小比较。一件样品在因子 k 中具有最大的得分值,表明该样品在该因子组合类型中所占份额最大,因此将该样品归为第 k 类。从而,区内 n 个样品可分为 p 个类型。如果把空间位置相邻的同类样品划分为一个分区,则可以确定分区的具体位置和边界,从而达到元素组合分区的目的。据此,本研究将全部样品所反映的因子分类信息划分为与因子元素组合类型相同的 8 个元素组合分区,如图 2 所示。

4 地球化学分区特征

从图 2 可以看出,各分区位于工作区的不同位置,各区内地球化学异常的元素组合类型、地层构造及成矿规律均表现出一定的特点。

(1)F1 地球化学分区

F1 因子主要元素为 Au、As、W,零星分布全区,面积约 19 km²。该因子元素组合方差贡献率为 23.693%,为区内主要的矿化因子。根据水系沉积物化验数据,在该分区内圈定数处以 Au 为主元素的综合异常,异常元素峰值高,套合好,具有较好的找矿前景。因此 判断该区的找矿方向应以 Au 为

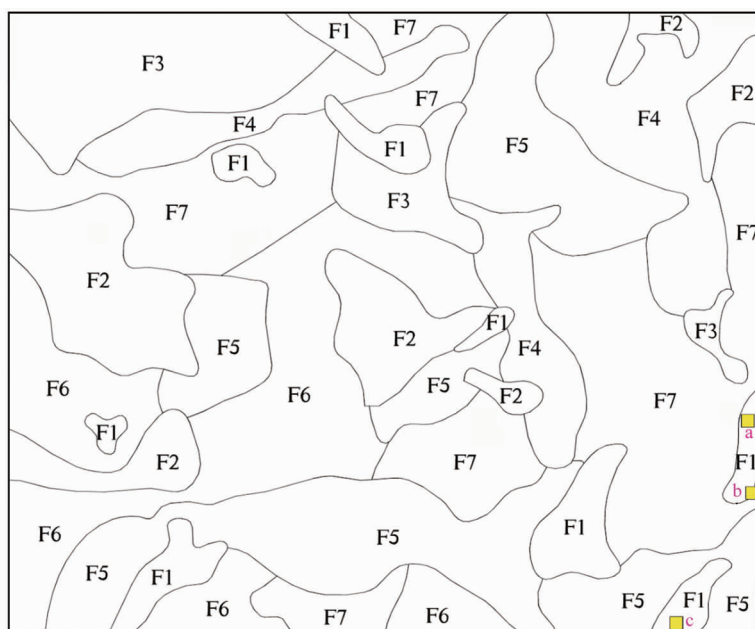


图 2 乳山寨幅水系沉积物测量地球化学分区图

Fig. 2 Geochemical zoning map of river sediments of Rushanzhai sheet

F1—F7. 地球化学分区编号; a—c. 金矿化点位置及编号

主, As、W 为其伴生指示元素。

(2) F2 地球化学分区

F2 因子元素组合为 Pb、Ag、Zn, 是区内主要的多金属矿化因子, 呈不规则状零星分布于工作区内, 总面积约 34.80 km²。结合地球化学分区图、综合异常图和区内的地质矿产特征, 这是一组与中-低温热液金属硫化物成矿作用有关的元素组合类型, 主成矿元素为 Pb、Zn、Ag 为其伴生元素。F2 因子元素组合方差贡献率为 13.960%, 排名第二, 此次水系沉积物测量在区内圈出 2 处较好的以 Pb、Zn 为主元素的综合异常, 异常强度高, 套合好。

(3) F3 地球化学分区

F3 因子主要分布在工作区西北部, 共三个区块, 面积约 41.30 km²。该因子元素组合为 Bi、Sb, 方差贡献率为 11.929%, 为低温元素组合。根据水系沉积物综合异常特征, 区内 Bi、Sb 异常均较弱, 未见明显异常, 推测该因子主要作为 F2 因子的前端指示元素。

(4) F4 地球化学分区

F4 因子主要零星分布于全区, 元素组合为 Cu、Ni, 方差贡献率为 10.682%。因子区出露岩性主要为玲珑序列九曲单元的二长花岗岩, 荣成序列威海单元含黑云二长花岗岩。F4 因子也是区内的主要矿化因子, 矿化元素为 Cu、Ni 为其伴生指示元素。此次水系沉积物测量工作在该分区内圈定两处以

Cu 为主元素的综合异常, 异常套合好、强度高, 整体沿北东向展布, 与区内主构造方向一致, 推测该因子矿化与北东向断裂构造有关。目前, 根据踏勘检查和异常查证, 在区内未见铜矿化线索, 下一步应在 F4 因子与 Cu 综合异常重叠区进一步加强找矿工作。

(5) F5 地球化学分区

F5 因子元素组合仅为 Sn, 分布较广, 面积总计近 100 km²。因子元素组合仅为 Sn, 与工作区中其它元素没有明显的共生关系, 区内主要出露中酸性岩浆岩。本次水系沉积物测量区内 Sn 异常强度普遍较弱, 但分布位置基本与酸性岩浆岩吻合, 推测该因子异常主要由广布该区的酸性岩浆岩引起。

(6) F6 地球化学分区

该因子在工区内零星分布, 呈不规则状展布, 面积约 70 km²。该元素组合仅为 Mo, 从 Mo 与各主因子的相关性来看, Mo 在各因子上的载荷相当小甚至存在负载, 与工作区中其它元素没有明显的共生关系, 表明 Mo 富集具较大的独立性。区内圈定 5 处 Mo 异常, 异常显示较弱, 经前期异常检查, 未发现明显矿化蚀变, 推测该因子异常与广布该区的酸性岩浆岩有关, 但也不排除钼局部成矿的可能性。

(7) F7 地球化学分区

该分区在工区内面积较广, 总面积近 70 km²。该因子元素组合仅为 Hg, 从 Hg 与各主因子的相关



图3 矿化体展布特征(a号金矿化点)

Fig. 3 Distribution characteristics of mineralized bodies

性来看,其与工作区中其它元素没有明显的共生关系,表明 Hg 富集具较大的独立性。本次水系沉积物测量在区内圈定两处 Hg 异常,异常面积小,强度弱,仅具有外带。推断 Hg 元素主要是局部断裂构造的反映,或作为其它元素的伴生元素出现,成矿可能性较小。

5 应用效果

上述 F1、F2 两因子为区内的重要多金属矿化因子,在工作区内占主要地位。本次共筛选了 5 处异常开展查证工作,其中 3 处为 F1 因子内以 Au 为主元素的综合异常,2 处为 F2 因子内以 Pb、Zn 为主元素的综合异常。

经查证,在 F1 地球化学分区内发现 3 处金矿化点(图 2 左下部 a—c 点),a 金矿化点矿化体展布特征、含金黄铁矿化碎裂岩(矿石)特征如图 3 和图 4 所示;在 F2 分区内发现一处铅锌矿化点。

经查证结果表明,地球化学分区与对应元素综合异常的重叠区域是找矿的有利部位,可以大大缩小找矿靶区,应作为找矿重点区域。

6 结语

(1)运用因子分析方法将工区分为七个地球化学分区:F1: Au、As、W 地球化学分区;F2: Pb、Ag、Zn 地球化学分区;F3: Bi、Sb 地球化学分区;F4:



图4 含金黄铁矿化碎裂岩(a号金矿化点)

Fig. 4 Au-bearing pyritized cataclastic rock

Ni、Cu 地球化学分区;F5: Sn 地球化学分区;F6: Mo 地球化学分区;F7: Hg 地球化学分区。

(2)将工区内全部的地球化学分区的地球化学信息在一张图上得以体现,更易于从整体上认识区内的地球化学规律。

(3)根据元素组合分区所反映的信息,可以判断区内的主成矿元素。结合圈定的综合异常,可以达到缩小找矿靶区的目的。

(4)从工区各因子方差贡献率来看,工区内的 Au、Pb、Zn 元素为区内主成矿元素;区内下一步的勘查工作,应将元素组合分区图和综合异常图统筹考虑,针对重点矿种,加强重叠区域的查证工作。

参考文献:

- [1] 王学求. 勘查地球化学近十年进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2013, 32(2):190-197.
- [2] 奚小环, 李敏. 中国区域化探若干基本问题研究: 1999—2009 [J]. 中国地质, 2012, 39(2):267-282.
- [3] 谢学锦, 任天祥, 奚小环, 等. 中国区域化探全国扫面计划卅年[J]. 地球学报, 2009, 30(6):700-716.
- [4] 奚小环, 张连. 地质矿产部“八五”期间物探、化探、遥感勘查若干新进展[J]. 物探与化探, 1997, 21(1):1.
- [5] 谢学锦. 区域化探全国扫面工作方法的讨论[J]. 物探与化探, 1979, 3(1):18-26.
- [6] 王瑞廷, 毛景文, 任小华, 等. 区域地球化学异常评价的现状及其存在的问题[J]. 中国地质, 2005, 32(1):168-175.
- [7] 王学求. 勘查地球化学 80 年来重大事件回顾[J]. 中国地质, 2013, 40(1):322-330.
- [8] 赵君, 乔树岩, 戴慧敏. 水系沉积物测量在阿巴通德拉扎卡地区找矿应用[J]. 物探与化探, 2011, 35(1):24-27.
- [9] 汤正江, 程治民, 洪大军. 太平沟水系沉积物异常特征及找矿效果[J]. 物探与化探, 2011, 35(5):584-587.
- [10] 赵武强, 崔森, 邹先武, 等. 湖南禾库地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J]. 中国地质, 2014, 41(2):638-647.

- [11] 纪宏金. 区域化探中若干新图件的计算与制作[J]. 物探化探计算技术, 1991(2): 98-104.
- [12] 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.
- [13] 董毅, 范丽琨, 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 吴锡生. 化探数据处理方法[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 38-39.
- [17] 赵鹏大. 定量地质学理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 178-180.
- [18] 李惠, 张文华, 常凤池. 大型、特大型金盲矿预测的原生叠加晕模型[J]. 地质找矿论丛, 1999, 14(3): 125-134.
- [19] 何其芬, 魏印涛, 陈宏杰, 等. 青海省裕龙沟地区水系沉积物测量元素组合分区[J]. 物探与化探, 2015, 39(2): 306-310.
- [20] 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.
- [21] 董毅, 范丽琨, 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.

Application of geochemical zoning methods to geochemical survey: Taking example of stream sediments survey at scale 1 : 50 000 in Rushan Zhai Area, Jiaodong Peninsula

WEI Yintao

(Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Jinan 250013, China)

Abstract: In this study R-factor analysis is used to deal with stream sediment data of Rushanzhai sheet, Jiaodong Peninsula. Seven representative factors are extracted and geochemical zoning chart drawn. Geochemical characteristics of each zone are discussed. All geochemical statistical information embodied by the sediments specimen of the study area in blocks is reflected in one map. Interpretation and analysis of specific geological and geochemical characteristics of each zone are combined with the integrated anomalies outlined to narrow target area point out the direction for the next prospecting work in the area.

Key Words: Jiaodong peninsula; Rushanzhai sheet; stream sediment survey; geochemical zoning; Shandong province