

doi: 10.11720/wtyht.2017.1.09

曹园园,李新虎.地球化学综合异常的圈定及找矿效果[J].物探与化探,2017,41(1):58-64.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.1.09>

Cao Y Y, Li X H. Delineation of synthetic geochemical anomaly and evaluation of its effectiveness in ore prospecting[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(1): 58-64. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.1.09>

地球化学综合异常的圈定及找矿效果

曹园园, 李新虎

(宁夏地球物理地球化学勘查院, 宁夏 银川 750004)

摘 要: 能否正确有效地圈定地球化学综合异常是地球化学数据处理的重要内容, 对找矿效果起决定作用。传统方法多在单元素异常的基础上圈定综合异常, 而忽略了异常可能由地层本身高背景富集引起。笔者引用马氏距离识别地球化学离群点的方法圈定综合异常。由于马氏距离是基于多元正态分布理论, 是多变量统计方法的直接推广和应用, 其全面考虑了元素均值、方差及元素间协方差 3 个参数, 是直接针对样本的计算过程, 同时也是一元方法的直接推广, 所以其具有独特的异常识别功能。经各种不同比例尺和不同采样介质化探数据处理应用显示, 利用马氏距离方法求得的地球化学综合异常具边界唯一、界线清楚, 减少了人为圈定异常的影响; 异常强度突出, 指标单一, 可作为评价异常的一个重要参数使用; 发现矿体(矿化)的概率程度高等优势。该方法可在实际中推广应用。

关键词: 地球化学数据处理; 地球化学综合异常; 马氏距离; 找矿效果

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2017)01-0058-07

0 引言

地球化学异常的解释与评价是建立在正确确定地球化学异常与背景的基础上的, 不能确定合适的异常下限, 异常的解释推断就可能出现失误^[1-4]。地球化学背景和异常的划分是地球化学数据处理方法中的重要内容。传统的综合异常数据处理基于一元正态分布理论, 通过计算样品数据的统计学参数(均值、标准离差等)得出背景值和异常下限, 获得单指标异常^[5], 之后采用空间逻辑叠加(“OR”及“AND”)方法形成综合异常^[6]。多年来该方法的使用确定了大量的地球化学综合异常, 随着异常查证及进一步工作, 发现了较多的找矿线索^[7-9], 为化探找矿做出了巨大贡献。但存在几处不足: 一是部分地层本身高背景单一因素引起多元素、大面积的异常, 不可避免; 二是在圈定综合异常时人为因素较多, 不同人可圈出不同面积异常; 三是化探工作主要

优势在于寻找与热活动有关的矿产, 随热活动相关、地球化学性质相近的元素的迁移富集形成异常, 单元素指标无法解决; 四是对部分热活动构造反应不灵敏等。随着多元正态分布理论在地球化学数据处理中的应用, 利用马氏距离计算方法中的离群点识别圈定地球化学综合异常, 可以克服上述不足, 并逐渐成为一种常规的地球化学异常处理方法。

基于多元正态分布理论的多指标综合地球化学异常处理方法, 实际上是多变量统计方法的直接推广与应用^[10-12]。通过马氏距离提取化探综合异常的方法近两年也得到了应用^[13-14]。笔者以近几年工作过的 1:25 万区域化探、1:5 万普查化探(水系、土壤)、1:1 万矿产化探(土壤、岩石)中的分析数据为研究对象, 用马氏距离计算方法中的离群点识别方法重新处理, 结合实际找矿效果, 对该方法的实际应用及使用效果进行讨论, 以期能对地球化学综合异常的圈定及异常评价提供帮助。

收稿日期: 2016-01-11

基金项目: 新疆维吾尔自治区地质勘查基金项目(T15-1-LQ33)

作者简介: 曹园园(1989-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事岩石地球化学、地球化学勘查研究工作。Email: 905368073@qq.com

1 计算原理及方法

元素在地质体中的分布概率可以用密度函数表示^[7]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

式中 μ 为数学期望, σ 为标准差,指数部分即为马氏距离。经变换,马氏距离可以表示为

$$D^2 = (X - \bar{X})' S^{-1} (X - \bar{X}), \quad (2)$$

式中, S^{-1} 为原始数据协方差矩阵逆矩阵,与 μ 和 σ 有关; $X - \bar{X}$ 为样本对总体均值 μ 的估计值。

可以看出,元素含量分布密度主要与马氏距离有关。对于每个样品计算其马氏距离,用 $F_a(m, n-m)$ 临界值对比计算结果,判断是否为异常样:

$$D_i^2 \geq \frac{(n^2 - 1)m}{(n - m)n} F_a(m, n - m), \quad (3)$$

式中, n 为样品数, m 为变量数。将异常样剔除,计算剩余样品是否还存在异常样。

如令 $m=1$,将符号适当变化后,式(2)可写成

$$K^2 = \frac{(X - \bar{X})^2}{S^2}, \quad (4)$$

式中, K 为单元素分布系数, $\bar{X}$ 为单元素 X 的均值, S 为原始数据协方差矩阵。开方后式(4)即为常见的单元素正负异常界限公式:

$$X_a = \bar{X} \pm KS. \quad (5)$$

对于单元素异常下限的确定,通常用 $X_a = \bar{X} \pm 3S$ 逐步剔除异常样,直到无剔除时,则认为该单元素剩余数据密度分布基本服从正态分布,此时计算出的均值($\bar{X}$)可以近似的认为是背景值(μ),方差(S)为标准背景离差(σ),通常用 $X_a = \bar{X} \pm 2S$ 计算出单元素异常下限值。

同理对于马氏距离的多元多指标计算,用式(3)逐步剔除异常样,直到无剔除时,则认为剩余样品数据基本服从正态分布,此时的 D_a^2 可以视为正常样与异常样临界面,也即为综合异常下限。

对剩余正常样可计算出各元素的背景值及标准离差,同时确定单元素异常下限。剔除的异常样就是单元素异常样,只要找到临界距离 D^2 ,则大于该值均为异常样。从总体中剔除异常样品,剩下的样品数据就是正态分布总体,从而可求得正态分布总体的平均值,即所求得的综合背景值剔除的异常样就是我们所需要的综合异常样。

2 应用实例

2.1 区域化探(1:25万)数据处理结果

应用“宁夏贺兰山地区1:25万区域化探”工作成果,项目完成于2010年~2012年,面积约11250 km²,分析40种元素和氧化物指标,共有组合样2875个。马氏距离处理结果见图1。传统方式共圈定综合异常46处,与马氏距离新确定的异常存在3处异同。

1) 传统综合异常区同时出现马氏距离异常,主要有01、02、04、08、09、10、11、12、19、27、34、39、40、42、43、44、45、46共18处异常。异常查证(包括北部贺兰山北段和南部卫宁北山1:5万矿调工作区)见矿情况为:01异常南部发现北岔沟金铜矿化;02异常地表踏勘发现超基性小岩体,地球化学剖面发现Cu、Co、Ni矿化;04异常发现柳条沟金铜矿化;08异常发现牛头沟金铜矿,经初步预查提交2.8 t金储量,正继续进行普查工作;09异常经1:5万化探加密,仅在该异常西南部发现与小松山橄榄岩有关的铜镍矿化和异常,与马氏距离异常对应极好;12异常发现龙树沟金铜矿化;27异常为元山子镍钼矿化;40异常为发现的土窑铜矿,提交铜储量约1万t;42异常为卫宁北山金场子金铜矿,正进一步勘查并发现铅锌矿等;43异常主要为铁铜矿,部分开采;其他异常未查证。上述结果初步证实区域化探中马氏距离异常大多与矿化有关。

2) 传统综合异常与地层完全对应的异常主要有11、16、22、24、39等异常,化探多元素异常与地表出露地层界线基本一致,元素异常基本无分带。11异常主要为石炭系含煤地层区,同时出现马氏距离异常,其中发现有王全口热液型小型铁矿并开采;39异常为牛首山奥陶系地层,仅出现小面积马氏距离异常,异常查证地球化学剖面出现部分元素的高含量,地表未见矿化,深部情况未知;其他传统异常区则未出现马氏距离异常;说明用马氏距离圈定区域化探异常可在一定程度上排除纯地层本身富集元素异常。

3) 传统综合异常与马氏距离异常不对应的异常主要有两处,一是06、07号异常北部马氏距离异常,单元素异常主要为La等分散稀有元素,出露岩性为太古宇黑云斜长片麻岩和混合花岗岩,应有一定找矿前景,而传统方法未圈定异常;另一处为39异常南部马氏距离异常,出露岩性为新近系地层,异常元素为Au、Sr、Ba异常,原因不明。

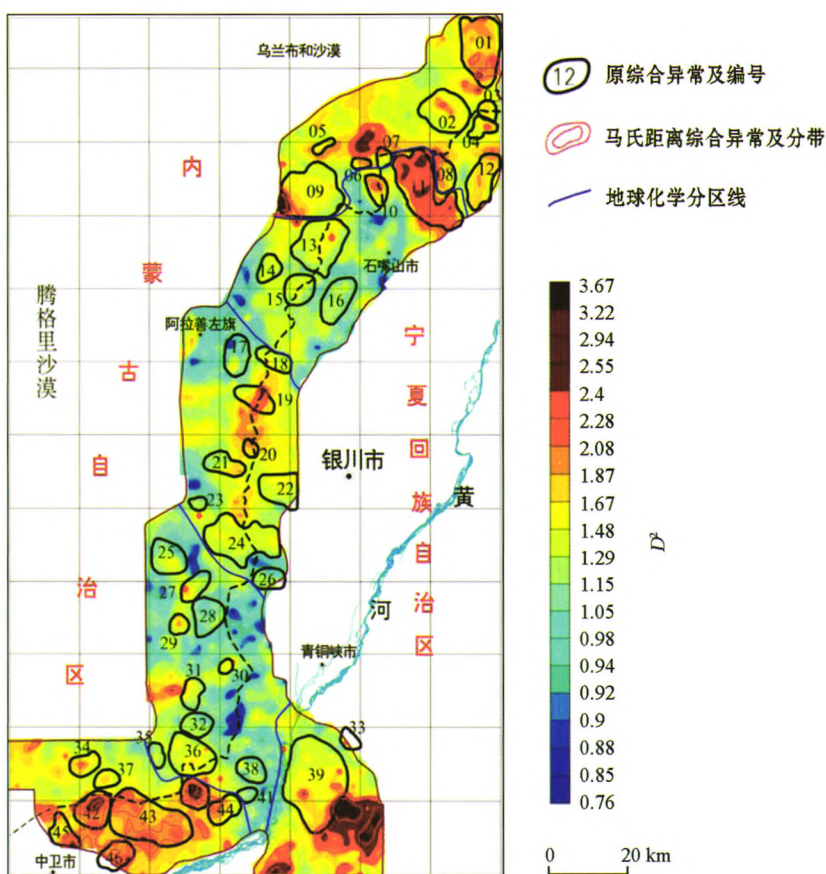


图 1 贺兰山 1:25 万区域化探马氏距离异常分布

值得注意的是,区域化探工作由于面积较大,大多会涉及不同地球化学单元,也即需要用地球化学分区来确定不同单元内各元素异常下限。从图 1 看出,马氏距离在各子区都能圈定出异常,同时贺兰山中段到目前为止基本无矿化发现,与马氏距离在本子区主要显示背景(仅出现 19 异常)相一致。

2.2 普查化探(1:5万)数据处理结果

2.2.1 土壤地球化学(1:5万)测量

应用内蒙古某地共 3 幅 1:5 万土壤地球化学调查成果,项目完成于 2005 年~2008 年,分析样品 6 139 个,共分析 12 种元素。本次选用其中一幅调查成果进行讨论,数据 2 473 个,马氏距离处理结果见图 2。传统方式圈定异常区同时出现马氏距离异常的有 13、14、31、44、45、61、65、66、75、77、78 共 11 处异常。44 异常发现金铜矿化;66 异常发现金矿化。值得一提的是,31 异常发现与辉长岩有关的 Cu、Co、Ni 矿化,因之前的工作未分析 Cr、Co、Ni 等,仅出现 Au、Cu、Sn 等小面积异常,后 1:1 万异常查证时出现 Cu、Cr、Co、Ni、Au、Ag 等异常与矿化对应较好。13、14 异常与 31 异常具相似地质环境,未进行异常查证,出现马氏距离异常,应有一定找矿前景;

65 异常与 44 异常具相似地质环境,未进行异常查证,应有一定成矿前景;其他异常未查证。

2.2.2 水系沉积物地球化学(1:5万)测量

应用贺兰山东北段 2 幅 1:5 万水系沉积物地球化学调查成果,项目 2013 年完成野外工作,分析样品 3 001 个,共分析 18 种元素。本次选用其中一幅调查成果进行分析,数据 1 553 个,马氏距离处理结果见图 3。传统方式圈定的异常区同时出现马氏距离异常的有 01、02、03、05、06、08、09、12、14 共 9 处异常。还未安排下一步异常查证工作,将其年度报告中异常解释评价情况结合马氏距离异常说明如下。

01、09 异常为甲类异常,为寻找铁钴镍铅锌矿的有利异常,其中 01 异常铁最高达 53.8%,钴最高达 0.05%,已达工业品位,为新发现矿化;02、05、12、14 异常为乙类异常,为寻找铅锌有利区;其他异常多与煤系地层有关,不排除局部有富集成矿的可能,暂定为丙类异常。

上述马氏距离圈定异常大多被评价为甲、乙类异常。

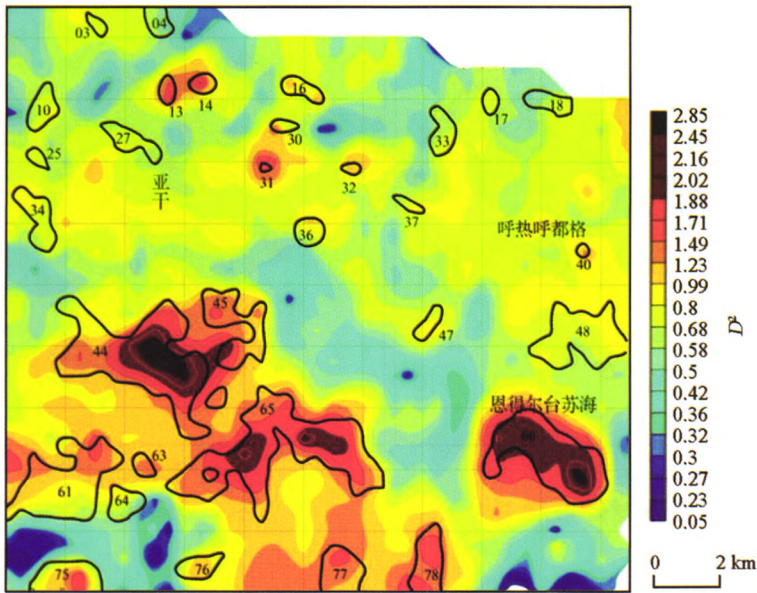


图 2 内蒙古某地 1:5 万普查化探马氏距离异常分布

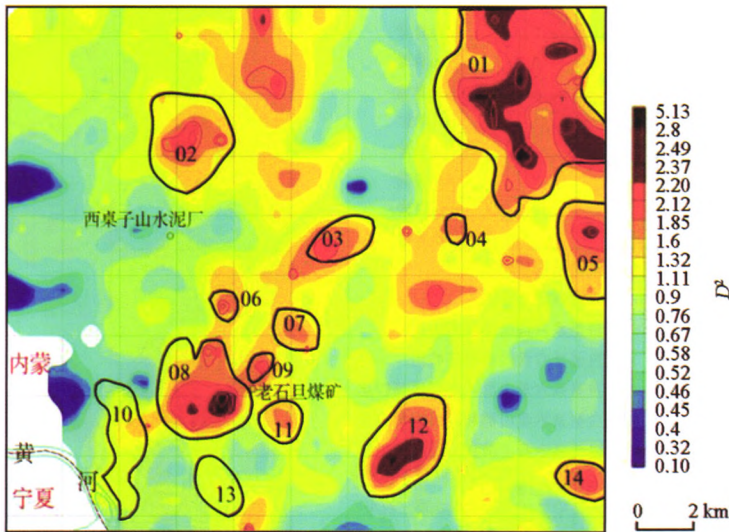


图 3 贺兰山东北 1:5 万普查化探马氏距离异常分布

2.3 矿产化探(1:1万)数据处理结果

2.3.1 土壤地球化学(1:1万)测量

1) 宁夏西华山金铜矿 1:1 万土壤地球化学测量。项目完成于 2010 年~2012 年,测线方向北东向约 45°,测网为 100 m×40 m。分析样品 3 506 个,分析元素 15 种。由于工作区北部数据不太规范,本次用南部共 2 837 个数据进行分析,原地球化学综合异常和马氏距离处理结果见图 4、图 5。传统方式圈定的异常与马氏距离异常基本相同,见矿及异常情况说明如下。

02、03 异常发现铜矿化,04、06 异常发现铅矿化,05 异常发现金矿化,07 异常发现金铅矿,08 异常发现为金铜矿。

图 4 中的 07 异常共形成西、中、东 3 个异常浓集中心,对比图 5 中的马氏距离异常,则主要显示这 3 个多元素异常的浓集中心,可见马氏距离主要以“AND”方式圈定异常。对比其他异常,马氏距离圈定的异常中一般存在某一元素的浓度分带。另外,图 5 中以 06、08 异常为主形成一环形异常带,与遥感解释的环形构造极为相似,而图 4 中不能发现这一现象。

2) 宁夏六盘山立洼峡铅锌矿 1:1 万土壤地球化学测量。项目完成于 2012 年底,面积 11 km²,测网 100 m×40 m,测线方向为东西向,分析样品 2 646 个,共分析 10 种元素,原地球化学综合异常和马氏距离处理结果见图 6、图 7。传统方式圈定的异常与

异常,说明该异常区应主要为地层高背景元素富集区。沿构造破碎带出现的 01、03、05 异常,马氏距离异常非常清楚,与构造基本一致,目前正在 03 异常区进一步勘查。

可见,大比例尺化探中马氏距离也可在一定程度上区分出地层高背景含量区。

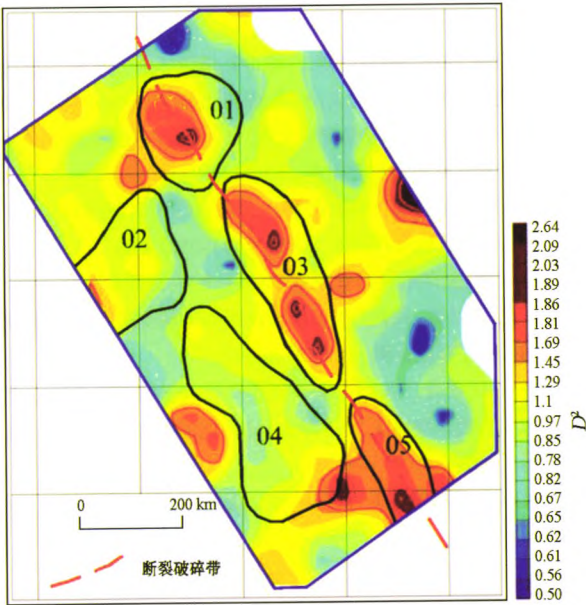


图 8 贺兰山北部铜金矿 1:1 万化探马氏距离

3 剔除异常样比率及综合异常下限的确定

3.1 剔除异常样比率的确定

用式(3)判断各样品马氏距离值,只要存在异常样时剔除,剩余样品由于样品数的改变,形成新的

临界值,继续剔除,直到无异常样为止。但全部剔除异常样运算数据量相当大,虽然马氏距离以多元正态分布理论为基础,但在数据处理时不要求数据完全满足正态分布要求,而只是通过逐步剔除一定异常样后,寻求一个近似的正态分布的背景,达到区分背景与异常的目的^[15]。

根据已处理资料情况统计,一般前 2~3 次剔除数累积占全部异常样的 70%~80%以上,占总体样本的 15%以上,单次剔除数大于 200 个。后面单次剔除数迅速减少到几十、几个,对总体结果已影响不大。所以用马氏距离计算时设置为剔除累积数大于总体样本 15%,即可将大部分含特高元素值的异常样剔除,剩余样本基本可满足正态分布要求。

3.2 综合异常下限的确定

异常下限 D_a^2 与 $F_a(m, n-m)$ 值有关(一般取 $\alpha = 0.10$),一般化探数据 n 远大于 m , F 检验临界表仅给出了 $(n-m)$ 小于 200 的各值和 500、 ∞ 两值,在样品数小于 500 时可以查表内插;样品大于 500 或更多的大于 1000 时, $F_a(m, n-m)$ 基本为一定值,在剔除判断时主要依据式(3)中剔除前后 n 的变化而有微小变化,最终的 D_a^2 值小于实际使用值。用圈定异常数约占总体样本 15%左右、圈定异常尽量不出现孤立点异常两个条件检验图面异常效果,实际使用值在最终剔除临界值基础上上提 18%左右(表 1),即可与实际使用值近似,其为一个确定值,避免了人为圈定综合异常时面积大小或取“OR”、“AND”的人为影响。

表 1 各工作区综合异常下限取值检验

工作区名	样品数	元素	D_a^2	使用值
贺兰山 1:25 区域化探	2875	40	1.72	2
内蒙 1:5 万土壤化探	6139	12	1.27	1.5
贺兰山东北 1:5 万水系化探	3001	18	1.42	1.7
西华山 1:1 万土壤化探	3506	15	1.35	1.6
六盘山立洼峡 1:1 万土壤化探	2646	10	1.21	1.4
贺兰山北部 1:1 万岩石化探	344	15	1.38	1.6

注: D_a^2 和使用值为对数值

4 结论

1) 利用多元正态分布理论下的马氏距离圈定地球化学综合异常,具异常界线单一、强度突出的功能,可以避免人为影响。同时,马氏距离本身为一数值,亦可作为异常评价参数。

2) 由于马氏距离综合考虑了元素相关系数、方差、协方差 3 个参数,所圈定异常经查证见矿概率较高,特别是构造反映明显,其圈定异常相当于传统方法中的“AND”方式,无论中比例尺或大比例尺化探资料的处理,都可在一定程度上消除受地层高背景单一因素引起的异常。

3) 一般化探工作区样品数量较多,超过上千个,经逐步剔除异常样,在剔除数大于总体样本

15%时即可满足近似的正态分布背景,不需要全部剔除。最终将最终临界值上提 18%作为综合异常下限的唯一值。

4) 由于该方法是对样品的处理,最终成果仅有一个 D^2 值,图面较为简单,与地质或矿产图对应解释,或作为对综合异常的评价都是一个很好的底图或参数。

5) 存在的不足是综合异常性质,特别是主成矿元素的判断等仍需要借助于单元素异常等参数评价,如使用因子分析、判别分析等。

参考文献:

- [1] 史长义.异常下限与异常识别之现状[J].国外地质勘探技术, 1995,166(3):19-25.
- [2] 孙忠军.矿产勘查中化探异常下限的多重分形计算方法[J].物探化探计算技术,2007,29(1):54-57.
- [3] 戴慧敏,宫传东,鲍庆中,等.区域化探数据处理中几种异常下限确定方法的对比——以内蒙古查巴奇地区水系沉积物为例[J].物探与化探,2010,23(4):69-75.
- [4] 姚涛,陈守余,廖阮颖子.地球化学异常下限不同确定方法及合理性探讨[J].地质找矿论丛,2011,26(1):96-101.
- [5] 宋运红,李振祥,孙连辉,等.马氏距离与欧氏距离方法在地球化学异常处理中的对比[J].吉林地质,2008,27(4):117-129.
- [6] 向运川,任天祥,弃绪赞,等.化探资料应用技术[M].北京:地质出版社,2010,62-66.
- [7] 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.
- [8] 崔晓亮,刘婷婷,王文恒,等.东昆仑布青山地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J].物探与化探,2011,35(5):573-578.
- [9] 严明书,李瑜,鲍丽然,等.西藏申扎地区 1:5 万水系沉积物地球化学特征及找矿意义[J].物探与化探,2016,40(1):10-16.
- [10] 吴昌荣.地球化学异常评价文集[M].河北:中国地质学会勘查地球化学专业委员会出版,1989:134-144.
- [11] 赵荣军,和向丽,李俊芳.基于 EXCEL 的马氏距离计算方法[J].物探化探计算技术,2005,27(4):358-360.
- [12] 阮天健,朱有光.地球化学找矿[M].北京:地质出版社,1985.
- [13] 毕武,袁小龙,段新力,等.用马氏距离方法提取化探综合异常[J].新疆有色金属,2015(2):66-68.
- [14] 付力,伍剑波,王锐军,等.马氏距离综合异常评价方法在青海省门县西河坝地区 1:5 万水系沉积物测量中的运用[J].甘肃地质,2014,23(4):69-75.
- [15] 吴锡生.化探数据处理方法[M].北京:地质出版社,1993:38-46.

Delineation of synthetic geochemical anomaly and evaluation of its effectiveness in ore prospecting

CAO Yuan-Yuan, LI Xin-Hu

(Ningxia Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Yinchuan 750004, China)

Abstract: The correct and effective delineation of synthetic geochemical anomaly is the key part of geochemical data processing, and plays a fundamental role in ore prospecting result. Traditional methods delineate synthetic geochemical anomaly based mainly on single element anomaly; nevertheless, many anomalies are caused by stratigraphic high background enrichment. In this paper, the authors use the method of Mahalanobis distance to identify geochemical outliers, and delineates synthetic geochemical anomaly. Because Mahalanobis distance is based on the theory of multivariate normal distribution, and hence is the direct promotion and application of multivariate statistical method. It fully considers three parameters, i.e., element mean content, variance and covariance, its computing process is directly based on samples, and therefore it is also the direct promotion of one-dimensional method having a unique anomaly identification function. The results of geochemical data processing applications with a variety of different scales and different sampling media show that the synthetic geochemical anomaly detected by Mahalanobis distance method has advantages of unique boundary, clear boundary, and reducing the effect of man-made anomaly delineation. In addition, with prominent anomaly intensity and single index, it can be used as an important parameter of anomaly evaluation with high probability of finding orebodies (mineralization). This method therefore can be promoted and applied in practice.

Key words: geochemical data processing; synthetic geochemical anomaly; Mahalanobis distance; ore prospecting effect

(本文编辑:蒋实)