第26卷第3期 地球科学与环境学报 Vol. 26 No. 3
2004年9月 Journal of Earth Sciences and Environment Sep. 2004

基于 GIS 确定地球化学异常下限的新方法

彭省临[1]，杨中宝[1,2]，李朝艳[2]，赖建清[1]
(1. 中南大学 地学与环境工程学院，湖南 长沙 410083；2. 云南玉溪师范学院 地理科学系，云南 玉溪 653100)

[摘要] 运用地理信息系统(GIS)空间分析原理，研究了地球化学元素含量与分布面积之间的关系及在异常下限划分中的应用，并以凤凰山矿田为实例，与分形理论做了对比研究，发现利用分形理论对原始数据进行处理得到的异常下限为 1 000 $\times 10^{-6}$，利用样品平均值取代特高品位后的分形异常下限为 240 $\times 10^{-6}$，而利用新方法直接对原始数据进行分析的结果为 250 $\times 10^{-6}$。研究表明，新方法并不要求数据服从正态分布或对数正态分布，能从原始数据中直接识别致矿异常，是确定地球化学异常下限的简便方法。

[关键词] 地理信息系统；地球化学；异常识别；原始数据
[中图分类号] P632 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)03-0028-04

[作者简介] 彭省临(1948-)，男，湖南长沙人，教授，博士生导师，现从事大地构造与成矿学研究工作。

地壳中化学元素的含量在空间分布构成了三维空间中的一个曲面，称之为地球化学面(geochemical surface)。在地球化学测量中，对地球化学面的形态，即元素含量空间分布的了解，是通过一定的采样间距采集的样品数据来确定的，对于给定的采样区间，地球化学面的形态是随采样间距的变化而变化的。20 世纪 50 年代以来，地球化学家基本认为地球化学面的这种变化服从元素在地球化学场中的分布即正态分布或对数正态分布。因此，传统地球化学异常下限的确定方法是统计勘查地球化学数据，检验其是否符合正态分布或对数正态分布，如果不符合，则剔除部分异常数据，通常是元素的特高品位数据，直到数据符合正态分布或对数正态分布为止。对于符合正态分布或对数正态分布的数据，计算得到其平均值和标准离差，然后对全部数据进行异常筛选和评价。一般是以平均值与 2 倍标准离差之和作为地球化学异常下限。但新的研究表明元素的地球化学分布并不局限于正态分布或对数正态分布[1]。笔者从实际应用的角度出发，提出了一种并不局限于地球化学元素符合正态或对数正态分布而直接对原始数据进行处理的分析方法，并以实例为基础，着重介绍了该方法在实际工作中的应用。

[收稿日期] 2003-11-20
[基金项目] 国家十五科技攻关项目(2001BA609A-06)

1 方法原理

地质体中地球化学元素的含量是地壳演化过程中各种地质作用的综合结果。由于地质作用过程的长期性和多期性，导致了各种地球化学元素在地质体中的富集或贫化，造成了地球化学元素的分布在平面上和空间上的圈层结构或分带特征。因此，各种化学元素的含量与分布面积和体积之间的关系在特定的预测区域是固定不变的，通过寻找元素含量与其分布面积和分布体积之间的这种不变关系，可以帮助解决地球化学测量过程中地球化学背景值和异常值的分离问题，而不用考虑样品数据中的特高品位所造成的影响。

假设元素含量在平面或空间分布上各带或圈层间距为 R，各带元素含量的分析值为 $Z_i(i = 1, 2, \cdots, m)$。记相邻分带元素含量值增量绝对值为 $\Delta Z = |Z_{i+R} - Z_i|$，于是可以得到第 i 和第 $i+1$ 个分带之间元素含量的距离为 $L^2 = \Delta R^2 + \Delta Z^2$，这是典型的直角三角形公式(图 1)。

于是，可以用

$$F = \frac{\Delta R}{\Delta Z}, \qquad (1)$$

来描述相邻分带之间各元素含量的变化情况，由式

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 可知,如果元素含量增量趋于无穷大而分带距离增长较小,则 F 趋于常数或无穷小;如果分带距离趋于极大值而含量增量变化较小,则 F 趋于常数或极大值。这表明,无论元素含量在平面和空间中的分布是否均匀,相邻元素含量分带之间的元素含量距离总是存在的。因此 F 可以定量描述各分带之间元素含量的变化程度,利用 F 可以确定地球化学背景值或地球化学异常下限值。

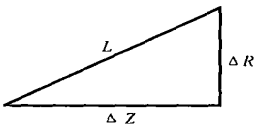


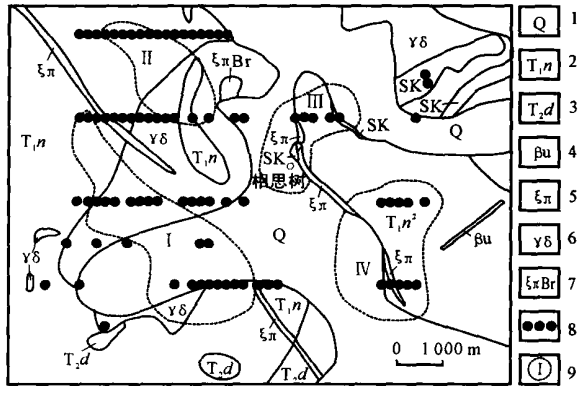
图 1　元素含量增量与分带之间的关系

Fig. 1　Relation between content and zone

2　应用步骤——以凤凰山铜矿区地球化学数据处理为例

凤凰山铜矿床位于铜陵市东南约 35 km 的凤凰山新屋里复式向斜的中段核部,矿区出露的地层主要为三叠系条带状灰岩和白云质灰岩,靠近岩体者都已变成大理岩。岩浆岩发育,主要为新屋里岩体,在平面上以新屋里村为中心呈椭圆形展布,面积近 10 km^2,岩体呈岩株状产于新屋里向斜核部。岩体与围岩呈明显的侵入接触,接触面产状及形态随岩体部位不同和深度变化有明显的差异:北部铁山头、宝山陶一带,接触面向北陡倾,倾角 70°～80°,接触面平直;东部仙人冲一带,接触面倾向东,倾角较陡,一般在 45°～82°;南部清水塘一带向南缓倾,倾角 35°左右;西部及西南部药园山、相思树一带产状变化复杂,部分地段超覆于围岩之上。岩石类型主要为花岗闪长岩和石英二长闪长岩,沿岩体的接触带分布有一系列的矿床,目前已发现的矿床主要有凤凰山、宝山陶、铁山头、仙人冲、清水塘和江家冲等铜矿床。矿体主要呈似"板状"和"不规则透镜状"产于新屋里岩体与三叠系灰岩的接触带上,为矽卡岩-斑岩型,受接触带和断裂构造的复合控制。

研究的化探样品采集于凤凰山铜矿相思树一带(图 2),区内地表没有矿体出露,在位于测区中部的试验剖面深部揭露有斑岩型铜矿体。矿体产出受控于石英二长闪长斑岩体,具有形态复杂、规模大、品位变化大的特点。矿体总体走向 NW,倾向 NE,主要呈脉状、透镜状产出。主要矿石矿物为黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿,少量辉钼矿。主要矿石类型有细脉浸染状黄铜矿石,密集细脉状黄铜矿、斑铜矿石,不规则小脉状侵染状黄铜矿、斑铜矿石,块状黄铜矿石,块状黄铜矿斑铜矿石,团包状脉状黄铜矿、斑铜矿石,角砾状矿石等。根据钻孔和坑道揭露情况,矿体内部及其附近发育强烈的钾化、石英-绢云母化、绿泥石化等,外围发育强烈的绿泥石化。



1 - 第四系残、坡、冲积物;2 - 三叠系下统南陵湖组灰岩、白云质灰岩;3 - 三叠系中统东马鞍山组白云岩、白云质灰岩;4 - 辉绿岩;5 - 燕山期正长斑岩;6 - 燕山期花岗闪长岩;7 - 花岗质角砾岩;8 - 取样位置;9 - 靶区及编号

图 2　凤凰山铜矿地球化学采样位置

Fig. 2　Map of geochemical specimen of Fenghuangshan Cu deposit

2.1　原始数据的收集整理

根据本次研究目的和研究方法的特点,采用基于 MapX 组件进行自主式二次开发,实现地球化学数据的自动化处理。研究共采集地球化学样品 217 件,分析元素包括 Cu,Pb,Zn 等共 17 种。在原始分析数据中,含有一部分特高品位样品,217 件样品中 Cu 的含量平均为 479 $\times 10^{-6}$,其中 > 2 000 $\times 10^{-6}$的有 8 个样品。另外还收集了 1∶2 000地质图 1 幅,代表性矿床勘查报告 1 份。

在传统的地球化学数据处理方法中,特高品位样品通常采用各种数据平滑技术进行处理或利用平均品位代替,有时甚至是作剔除处理,否则划分的地球化学背景值偏高,从而降低了地球化学成矿预测方法的分辨率,影响对致矿异常的识别能力。此采用的方法不用对特高品位进行处理,而是直接对所采集的原始数据进行分析,寻找元素含量分带之间的变化规律,因而处理结果更具有客观性。

2.2　建立原始空间数据库

建立原始空间数据库是在对各类资料进行整理、研究及编制相应图件的基础上,将各类地质数据及图形数据录入与编辑的过程。一个完整的空

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

间数据库应包括图形数据和属性数据两部分。

图形输入是将图形信息数据化,转变成按一定数据结构及类型组成的数字化图形,Mapinfo 提供手动跟踪矢量化和数字化仪两种输入方式,按照预处理好的图层划分原则,在计算机内分层进行矢量化。线型、花纹、色标、符号、图例等均按有关标准执行,形成各种 Tab 表。数据主要是录入预测区内收集到的物化探原始数据,以关系型数据库(Access)进行管理。

2.3 地球化学数据处理与地球化学异常下限值确定

首先,利用原始化探数据点坐标,自动生成采样位置分布图(图 2)、各种地球化学元素含量等值线或面图,根据新生成图层性质(如面、线、元素编号),利用 MapX 的符号创建功能实现新生成图层内各图层元素唯一标识的自动赋值。

利用 CMapXFeatureFind 获得图层内各图形元素的长度、周长、面积,并利用公式(1)对上述数据进行自动计算,生成 Access 数据表(本例中部分数据如图 3)。图中 F 值即为公式(1)计算的值。



ID	元素含量	面积	周长	F值
Cu-L-59	600	57539.69139	6ST30.14045	105.15606
Cu-L-437	550	63436.45642	70407.37321	117.9353
Cu-L-20	500	70072.15151	75180.19141	132.7139
Cu-L-18	450	76953.378	79991.35877	137.62453
Cu-L-455	400	84733.40315	84963.63587	155.6005
Cu-L-55	350	95820.91059	90167.571	221.75015
Cu-L-73	300	110888.10701	96001.68202	301.34393
Cu-L-46	250	13941?.63555	10?27?.23477	570.51657
Cu-L-?46	200	165106.9821	111220.42805	1075.70891
Cu-L-253	150	243692.86302	183588.35211	1009.87162
Cu-L-136	100	330922.49961	130223.39514	1744.59873
Cu-L-8	50	520836.8613	140944.59643	3798.28723
Cu-L-6	0	765547.07371	149457.77805	4914.10345

记录 1 4 36 共有记录数 41

图 3 元素含量分带 F 值计算

Fig. 3 F value of content zones

由图 3 可以看出,F 值在 Cu 元素含量为 250 $\times10^{-6}$之前的分带之间,其变化速度较快,而在 250 $\times10^{-6}$以后,F 值则趋于平缓。可以进一步用关系图表示元素含量与相应面积变化之间的关系(图 4)。

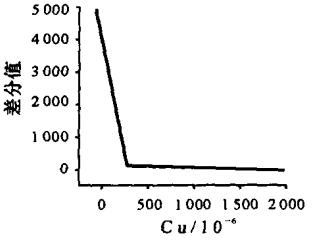


图 4 元素含量与面积关系

Fig. 4 Relation of content and area

由图 4 可以看出,Cu 元素含量与相应面积之间的变化关系可以用两条直线来拟合,以 250 $\times10^{-6}$为转折点,含量 < 250 $\times10^{-6}$的数据点拟合的直线斜率为 17.268 81,而 > 250 $\times10^{-6}$的直线斜率则为 0.110 24。由此可见,在 Cu 元素为(0～250) $\times10^{-6}$的含量分带内,元素含量微小的变化就能引起分带面积的极大变化,而在 > 250 $\times10^{-6}$的含量分带内,元素含量的极大变化引起的相应面积的变化却趋于稳定。换句话说,含量 > 250 $\times10^{-6}$的 Cu 分布在一个相对较小的面积之内。因此,250 $\times10^{-6}$即为要求的 Cu 的地球化学异常下限值。

根据所求的异常下限值,在凤凰山铜矿区相思树一带共圈出 4 个成矿预测靶区(图 2),其中 Ⅰ号靶区异常分布面积大且异常值高,是进行下一步成矿预测工作的首选靶区。

3 不同处理方法比较

传统的统计分析方法是以元素含量在所研究的区域或地质体中呈正态或对数正态分布为基础的,对地球化学背景及异常下限的划分主要是以元素含量值的大小为依据,不可避免地要受到样品取样间距、不同的地质单元以及特高品位样品的影响。因此,传统统计分析方法在进行地球化学数据处理时要求以不同的地质单元进行样品统计分析,并且对特高品位样品进行剔除处理,而这样做的结果势必会影响预测结果的准确性和客观性。

分形理论用于进行地球化学数据处理在理论和方法上都还不是很成熟。李长江等(1999)在研究分形理论用于地球化学数据处理时,利用"将工作区域划分为若干相等大小的采样单元,在第一单元内采集一个(或若干个)样品,以该样品(或若干样品加权平均)的元素含量代表这一个单元的元素含量值。"[1]可见,利用分形理论处理化探数据,至少在目前应用水平上还是要经过数据平滑处理或特高品位剔除处理。笔者利用分形理论对上述同样数据进行地球化学背景及异常划分的时候发现,分形方法对样品中特高品位特别敏感,直接利用原始数据进行处理得到的分形结果为异常下限 1 000 $\times10^{-6}$,而利用样品平均值代替特高品位时所得结果仅为 240 $\times10^{-6}$,利用移动平均方法进行数据平滑处理所得到的分形结果为 420 $\times10^{-6}$(图 5,图 6)。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

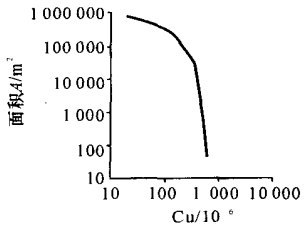


图 5　数据平滑处理后的分形结果

Fig. 5　Reulst of after data processing

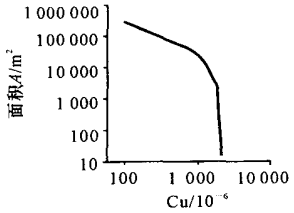


图 6　原始数据分形结果

Fig. 6　Result of primary data

4　结论

基于 MapX 提供的基础功能可以利用 VC + + 方便地实现与 MapInfo 和 Surfur 的调用接口,交互地选择叠加分析的区域范围,灵活地选择参加叠加分析的图层,可以任意给定网格单元的数量及大小。这种方法也不受图形比例尺大小的限制,且较容易将分析结果建立 GRD 模型,转换成直观的等值线图或 DTM 形式的三维栅格图像。

通过与不同处理方法对凤凰山铜矿地球化学数据处理结果的分析比较可以看出,笔者所提出的处理方法通过地球化学数据信息载体从元素含量值本身向空间距离(如不同元素含量分带的面积和周长等)转换,克服了由于传统数据处理方法要求样本数据服从正态或对数正态分布,处理结果受少数特高品位样本数据影响的缺点,提高了处理结果对致矿异常的分辨率,是对地球化学原始数据实现直接处理的一次有意义的尝试。

[参 考 文 献]

[1] 李长江,麻土华. 矿产勘查中的分形混沌与 ANN[M]. 北京:地质出版社,1999.

[2] 申维. 成矿预测中的分形模型分维数估计的新方法[J]. 长春地质学院学报, 1997,7(1): 86～91.

[3] 李永军,赵仁夫,李注苍,等. 岩浆混合花岗岩微量元素成因图解尝试 ——以西秦岭温泉岩体为例[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2003, 25(3):7～12.

[4] 张治国,韩燕. Torgerson 方法在某斑岩铜钼矿蚀变与矿化分析中的应用[J]. 世界地质, 2002,21(4):401～406.

[5] Hubbert M K. Darcy law and the field eqution of the flow undergroud fluids[J]. Trans. Amer. Lnst. Min. Metal. Eng. 1956,207:202～239.

[6] An Ou, Gao Guobao, Li qunfang, et al. Forecast method for risk area and risk time of strong earthquake by superimposing the residual and present stress field[J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1994, 14(1):66～73.

[7] 张均. 隐伏矿体定位预测的方法学基础及方法论[J]. 贵金属地质, 2000,9(2):100～104.

[8] 池顺都,赵鹏大,刘粤湘. 研究矿床时间谱系的 GIS 途径[J]. 地球科学 ——中国地质大学学报, 2001,26(2): 181～184.

New method to determine geochemical anomalies lower limit based on GIS

PENG Sheng-lin[1], YANG Zhong-bao[1,2], LI Chao-yan[2], LAI Jian-qing[1]

(1. *College of Geoscience & Environment Engineering, Central South University, Changsha*, 410083, *China*; 2. *Geography department, Yuxi teacher's College, Yuxi*, 653100, *China*)

Abstract: This paper discusses the relation between geochemical element content and distributed area and its application to determine the lower limit of element geochemical anomalies by means of geographical information system(GIS) spatial analysis. With the Fenghuangshan copper field as an example, the results show that the lower limit of element geochemical anomalies is $1\ 000\times10^{-6}$ using the fractal method and original data, 240×10^{-6} using the substitution of awerage for extreme high grade, and 250×10^{-6} using new method and original data. The results indicate that the new method can recognize abnormity from the original data and it is unnecessary for variables to conform to normal or log-normal distribution. The new method is a simple method to determine the lower limit of element geochemical anomalies.

Key words: geographic information system; geochemistry; anomalies recognize; original data

[英文审定:杨家喜]

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net