

# 基于 GIS 的地质异常空间结构分析方法

王 军<sup>1)</sup> 陈振楼<sup>1)</sup> 许世远<sup>1)</sup> 路月仙<sup>1)</sup> 黎清华<sup>2)</sup>

( 1 )华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室 ,上海 200062 ;

2 )中国地质大学资源学院 ,湖北 武汉 430074 )

**摘 要** 地理信息系统(GIS)在地学中的优势主要体现在 4 个方面 :数据获取、数据管理、空间分析和输出功能。本文利用 GIS 对地质异常分析的敏感性和有效性 ,把 GIS 技术与地质异常理论相结合 ,一方面对地质异常理论的概念、研究方法进行了阐述 ,另一方面以胶东矿集区为例 ,对基于 GIS 的地质异常的空间结构分析的方法进行了探讨。研究表明 ,基于 GIS 的地质异常空间结构分析方法是研究地质异常的科学、有效的方法 ,是利用 GIS 进行找矿预测的关键。

**关键词** 地理信息系统 数据信息库 空间结构分析 地质异常

## An Analysis of Geo - anomaly Spatial Structure Based on GIS

WANG Jun<sup>1)</sup> CHEN Zhenlou<sup>1)</sup> XU Shiyuan<sup>1)</sup> LU Yuexian<sup>1)</sup> LI Qinghua<sup>2)</sup>

( 1 )Key Lab. of Geo-information Science of National Education Ministry ,East China Normal University ,Shanghai 200062 ;

2 )Faculty of Earth Resources ,China University of Geosciences ,Wuhan ,Hubei 430074 )

**Abstract** GIS has four main advantages in geosciences : data acquisition , data management , spatial analysis and output function. As a new mineral exploration theory , geo-anomaly has very important instructive significance in looking for and locating ore-forming targets. In view of the sensitive and effective character of GIS in analyzing geo-anomaly , this paper tries to combine geo-anomaly with GIS. The authors on the one hand described in detail the concept of geo-anomaly as well as the study method and on the other hand took the Jiaodong gold concentration area as an example to discuss the method for analyzing geo-anomaly spatial structure based on GIS. The research results indicate that the method is scientific and effective in analyzing geo-anomaly spatial structure based on GIS , which is the key to the utilization of GIS in ore prognosis.

**Key words** geographical information system data and information base analysis of spatial structure geo-anomaly

## 1 GIS 在地学中的应用现状

地理信息系统(简称 GIS)作为现代计算机技术飞速发展的产物 ,不仅可以管理以文字、数字为主的属性信息 ,而且可以管理以图形图像为主的空间信息。该技术在地学中的优势主要体现在 4 个方面。

### 1.1 数据获取

GIS 数据来源主要有 :①矢量图形数据 ;②栅格图像图形数据 ;③文档数据 ;④已有的系统数据。

GIS 数据输入方式主要有 2 类 :①对图形库中数据主要是用数字化仪或扫描仪进行输入 ,如地图、图像等数据的输入 ;②对定义矢量数据的属性库数据其输入有将已有的属性文档转换 GIS 格式存入 GIS 属性库中 ,或将待装入的数据用 GIS 提供的数

据录入界面 ,用键盘输入。

### 1.2 数据管理

数据管理 ,包括 :①输入误差和数据结构类型等方面的处理工作 ,包括数字化输入的图元编辑 ,矢量数据和栅格数据的相互转换 ,误差校正 ,图形变换 ,拓扑关系的建立 ,各种投影坐标系的变换等 ;②空间数据库管理。GIS 的数据库不仅仅具有常规的非空间数据库的功能 ,还具有对空间数据的存储、检索、修改等能力。这是 GIS 数据库优于一般数据库的重要功能之一。

### 1.3 空间分析功能

对数据进行空间分析是 GIS 的核心功能。空间实物数据是由实物的地理位置和描述属性而定义的各个要素构成 ,其分析形式是以点、线、面为基本

特征。空间分析通过实施查询、分析、评价等服务,对空间定位数据及相应属性数据进行综合分析,包括叠加分析、Buffer 分析、网络分析、数学模型分析(统计分析、多元分析等)和二维、三维模型分析等。这些功能能将众多的地质信息按照一定的原则(点型、线型、面型)进行分类存储,将同性质的数据信息组成一个图层,并可实现处理各型间关系的空间分析。这些关系在地质现象中都有充分的体现,如点与线的关系就对应地质现象中的矿床与构造的关系。

#### 1.4 输出功能

输出是对数据处理及空间分析结果的表达,常以图形、图表等可视化形式表征。GIS 的输出形式有 3 种:①图形、图像输出;②数据报表和文字报告输出;③数字数据输出。GIS 输出方式可分为屏幕显示和利用外部设备输出。

赵鹏大等(1999)提出地质异常概念并应用于找矿实践,很快引起国内外矿产勘查领域的广泛重视,成为国际地学研究的前沿课题之一。在找矿预测的实践中,人们往往对中观规模的地质异常更为重视,这是因为:首先,找矿预测的主要对象是区域和局域级别的,对中观地质异常进行研究具有较强的针对性;其次,在中观地质异常的尺度范围内大都已有一定基础的地质和物探、化探、遥感等资料,为地质异常的定量化研究提供了条件,同时对研究结果的检验更具有可行性(陈永清等 2001)。

## 2 建立 GIS 的地质异常数据信息库

### 2.1 地质异常数据的特征

GIS 具有的空间数据管理和分析功能为有效地进行地质异常空间数据分析提供了可能。其优势体现在 4 个方面:①能将具有时空特征的地质异常数据空间可视化,直接对数据进行空间操作;②提供关于数据的特征和其所属的地质现象的附加信息(即属性数据),便于快速浏览和检索所需地质信息;③将众多的地质信息按一定的原则(点、线、面)进行分类存储,将同性质的数据信息组成一个图层,如构造图层、地层图层等,减少信息噪音;④由于地质信息按图层进行了分类存储,因此可根据对地质信息的需要进行自由组合,从而可实现多思路、多方法地进行地质异常分析。

### 2.2 基于 GIS 的地质异常的数据信息库的建立

2.2.1 地质异常数据信息的收集整理 GIS 数据信息获取是工作量最大且最重要的工作。地质异常数据信息有 2 种表现形式:①空间数据信息(包括地层、构造、岩浆岩、遥感等的图形信息);②包括数学数据(如不同岩性的异常元素丰度等)和文字数据

(如岩性描述等)在内的属性数据信息。在选择数据信息时一定要注意到各类数据的完整性和高精度,例如在收集矿床信息时,要尽可能地收集到所研究区的全部矿床的空间位置坐标信息,各矿床规模大小的信息。

2.2.2 建立地质异常数据信息图层 目前空间数据信息输入常用手持跟踪数字化仪、扫描仪;大部分属性数据通过键盘输入。属性数据是空间数据信息所具有性质的标注和说明,因此必须与空间数据进行逻辑连接。

GIS 对空间数据的管理采用分层方式,地质异常中的各类信息(包括地层、构造、岩浆岩、遥感等异常)在 GIS 中分别构成一个图层(图 1),这种分层管理空间数据的方式不但为各类地质异常进行单异常分析提供了方便,而且为各类地质异常进行组合异常分析提供了可能。

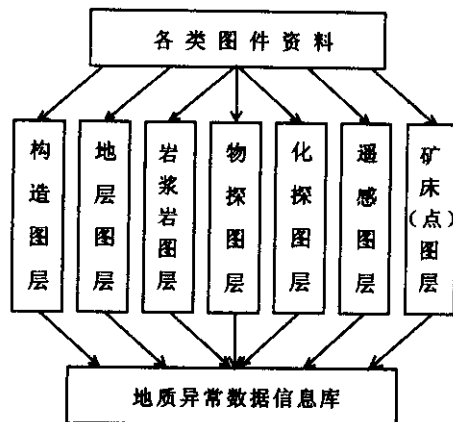


图 1 地质异常数据信息的图层管理

Fig. 1 The coverage management of geo-anomaly information

2.2.3 地质异常空间数据检索 GIS 的空间数据检索包括图示点检索、图示矩形检索、区域检索、条件检索、交叉条件检索。在进行地质异常空间分析时主要用到条件检索和交叉条件检索两种。条件检索是数据检索的主要功能,根据用户给定的条件,将文件中满足条件的图元及其属性检索出来。而交叉条件检索是指同时满足用户给定的多个条件的图元及其属性检索出来。

在进行地质异常空间结构分析时,需要检索出不同的图元,如在地层、岩浆岩图层中,需要把不同时代或不同岩性的地层、岩浆岩检索出来,在构造图层中需要把不同级别或不同展布方向的断裂构造检索出来,从而可以对不同时代或不同岩性的地层、岩浆岩与不同规模的矿床进行空间结构分析。

## 3 基于 GIS 的地质异常空间结构分析方法

GIS 具有强大的空间分析模块,是 GIS 技术的

关键,也是有别于其他信息系统之处。其空间分析模块由叠加分析、相交分析、合并分析、Buffer 分析、统计分析和综合分析等构成。这些空间分析方法在地质异常的空间结构分析中都得到了较好的应用。

3.1 单异常空间结构分析

3.1.1 线型异常空间结构分析 在进行线型异常空间结构分析之前有必要引入一个参数,即矿产当量( $N$ )。池顺都等(1998)为了方便将不同规模的矿床进行比较,引入了一个参数,假设一个地区有 5 种规模的矿床分为特大型、大型、中型、小型矿床和矿点,那么  $N$  就可以用下式计算得到:

$$N_{sum} = N_1 \times K_1 + N_2 \times K_2 + N_3 \times K_3 + N_4 \times K_4 + N_5 \times K_5 \tag{1}$$

其中  $N_1、N_2、N_3、N_4、N_5$  分为特大型、大型、中型、小型矿床和矿点的个数; $K_1、K_2、K_3、K_4、K_5$  则是大、中、小型矿床相应的权系数。权系数可以通过国家对不同矿产的规模规定得到。从上述可知,所谓矿产当量就是换算到同一水平的矿产的个数。

线型异常主要是指断层、接触带等,在此笔者以胶东矿集区矿点(泛指所有的矿产地,包括特大、大、中、小型矿床和狭义的矿点,即(1)式所计算的矿产当量数)与断层之间相互关系分析为例加以说明。首先进行胶东矿集区金矿点与 NE、NNE 及 NW 向断裂进行相交分析,得到“在断裂旁的金矿点”这个新的要素层,要素层包括各金矿点距断裂的最近距离,然后对新要素层进行属性分析。各种属性分析都形成一个结果表,利用该结果表做统计直方图,然后根据矿点与断层距离的统计直方图,可以确定在断层两侧最有利于成矿的距离。以该距离为缓冲带半径做断裂的缓冲区,从而形成了一个新的区,即有利于金成矿的断层影响带。通过计算,胶东矿集区的矿产当量为 3 889,当缓冲带半径取 2.04 个单位时,落在以该半径所做缓冲区内的矿点数占所有矿产当量数(3 889)的 85% 以上。因此,胶东矿集区断裂异常的控矿有利范围在 2.04 个单位所确定的范围内。

3.1.2 面型异常空间结构分析 面型异常是数量最多的异常类型,如地质图中的各类岩浆岩和地层,各类平面分布的遥感、物探和化探异常等。

面型异常的空间结构分析要解决两方面的问题:①面型异常在预测中的必要性,主要是以在这一要素层中是否有大量的矿点出现来评价,用矿床出现率( $F$ )这个指标作定量的评定;②面型异常在预测中的有效性,在作空间分析时,考察面型异常预测有效性的方法之一,是计算单位矿产当量。池顺都等(1998)提出了单位矿产当量( $N_0$ )作为评价找矿相对有效性的指标。其定义为:单位面状信息面积

( $S$ )内出现的矿产当量( $N$ )。其表达式为

$$N_0 = N/S \tag{2}$$

其中, $S$  为面状信息(如:地层、物化探异常等)的面积。

设在研究范围内矿产当量之和为  $N_{sum}$ ,某异常或证据层内计算得矿产当量为  $N$ ,矿床出现率  $F$  为:

$$F = N/N_{sum} \tag{3}$$

胶东矿集区有 15 类地层产出,岩浆岩有 11 类。首先对所出露的地层、岩浆岩进行属性分析,得到有关不同地层(或岩浆岩)的分布区域的属性数据,包括不同区域面积等数据。其次对全部矿点与不同地层(或岩浆岩)区域进行点对面的空间相交分析,分析结果包括不同区域内矿产当量数。在上述分析基础上,根据公式(2)和(3)计算单位矿产当量以及矿床出现率。从而可以得出哪些类型的地层(或岩浆岩)的单位矿产当量及矿产出现率较其他类型的地层(或岩浆岩)高。在胶东矿集区胶东群地层(尤其是蓬乔组和民山组地层)及燕山中期花岗岩的单位矿产当量及矿产出现率远高于其他的地层或岩浆岩。因此,胶东群蓬乔组和民山组地层及燕山中期花岗岩即为寻找矿化体的有利区域。

3.2 组合异常空间结构分析

在进行单异常空间结构分析的基础上,应进一步对组合异常进行空间结构分析,因为,矿异常的形成不是单个异常所形成的,常常表现出由多种异常的联合控制。

组合异常有 2 种形式:线异常与面异常组合和面异常与面异常组合。线异常与面异常的组合会出现在面异常内的线异常与在面异常外的线异常 2 种情况。而在线异常与面异常 2 个面异常组合时,会出现 3 种情况:A 和 B 同时存在,即 A 和 B 相交;A 存在而 B 不存在和 B 存在而 A 不存在(池顺都等,1998)。

3.2.1 线异常与面异常的组合 这里的线异常通常是指断裂异常,而面异常是指各类岩浆岩、地层等。利用 GIS 作断裂与面异常的相交分析,就可得到位于不同时代、不同岩性的地层、岩浆岩中的断裂,在此基础上,选取合适的半径做断裂构造影响带(缓冲带分析),就可以得到有利于寻找位于某一有利地层或岩浆岩中的矿床的断裂构造影响带,这是进行矿床预测的重要标志之一。利用该方法对胶东矿集区的断裂异常同地层岩浆岩异常进行组合,并做出相应的缓冲区,发现该组合异常对于该区的成矿预测具有重要的参考价值。

3.2.2 两类面异常的组合 通常只有 2 种具有强空间相关性的面异常才能组合成具有预测意义的组

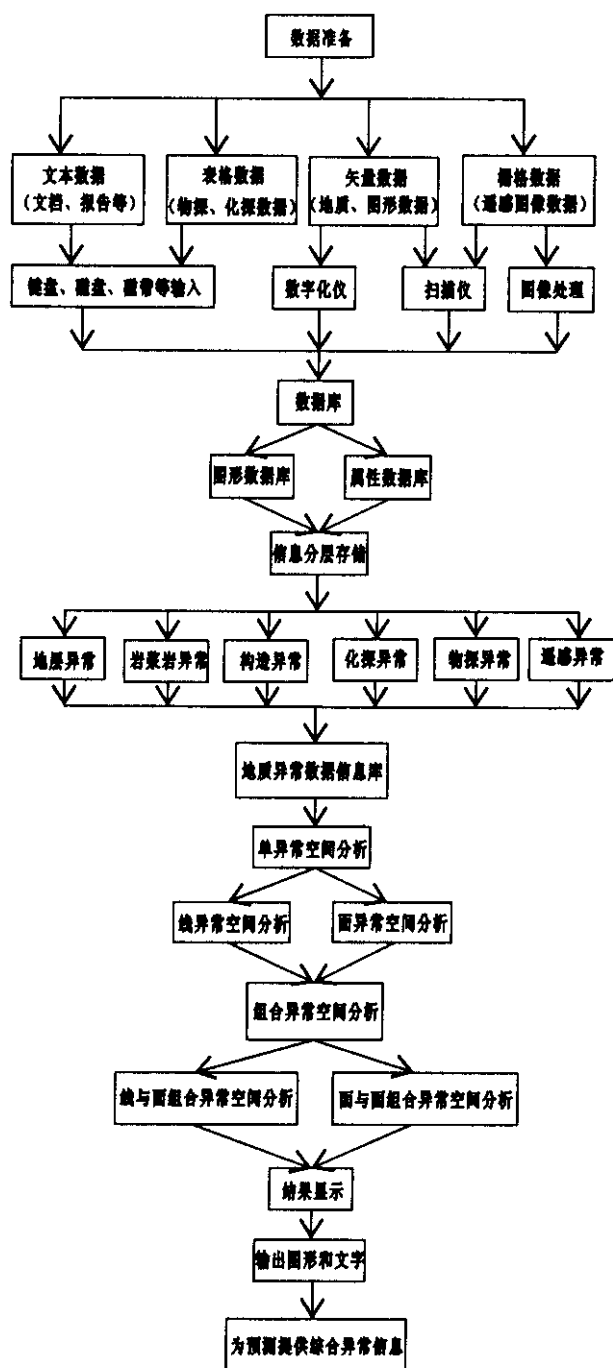


图2 基于GIS的地质异常空间结构分析流程

Fig.2 The flow chart of the analysis of geo-anomaly spatial structure based on GIS

合异常。因此,在进行异常组合之前进行2种面异常的空间相关性分析是十分必要的。

池顺都等(1998)对面异常的组合进行了一定的研究,并引入了空间相关系数这一参数,具体为:如有A、B两个面型异常在空间相交,两个面型异常的总面积分别为 $\sum S_A$ 和 $\sum S_B$ ,且 $\sum S_A$ 小于 $\sum S_B$ 。A和B相交的总面积为 $\sum S_{AB}$ 。显然,若二者不相交,则 $\sum S_{AB}$ 为0;若二者完全相交,则 $\sum S_{AB}$ 等于 $\sum S_A$ 。

一般 $\sum S_{AB}$ 小于 $\sum S_A$ 。考虑到空间相关系数的值应在0~1之间,所以采用此式计算即:

$$K = 2\sum S_{AB} / (\sum S_A + \sum S_B) \quad (4)$$

根据(4)式所计算的两类面异常空间相关系数的大小,确定这两类面异常是否有必要进行空间相交分析。

在进行空间相关系数计算后,如果二者具有较强的相关性,则对这两种异常进行相交分析,从而可以得出组合异常。在此基础上根据研究区的实际地质情况再对所确定的组合异常进行检验及预测靶区的优选。通过对胶东矿集区单异常中的面异常空间结构分析,认为胶东矿集区胶东群地层、燕山中期花岗岩及二者的接触部位具有良好的找矿前景,可以组成的岩性面异常图。而胶东矿集区的化探异常具有明显指示矿床存在的作用。如果能将这两类面异常进行组合,就会具有浓缩找矿信息提高找矿可靠性的作用,因此,笔者对这两类面异常的空间相关性进行了分析,发现二者的空间相关性系数K为0.51,即二者的相关性较强,可以进行组合。通过对组合后的面异常与没有组合时的面异常的找矿有利度进行比较,发现组合异常同没有组合时的面异常的矿床出现率基本相等,然而组合异常的面积远远小于没有组合时的单一异常面积。由此可见,组合异常具有强化浓缩异常信息,增强预测可靠性的功能。

### 3.3 GIS的地质异常空间结构分析的工作流程

基于GIS的地质异常空间结构分析的工作流程包括3个步骤(图2)。(1)数据准备;(2)地质异常的数据信息库的建立;(3)地质异常信息的空间结构分析。

### 参考文献

- 陈永清,刘红光. 2001. 初论地质异常数字找矿模型. 地球科学——中国地质大学学报, 26(2): 129~134.  
池顺都,吴新林. 1998. 云南元江地区铜矿GIS预测时的找矿有利度和空间相关性分析. 地球科学——中国地质大学学报, 23(1): 75~78.  
赵鹏大,陈永清,刘吉平等. 1999. 地质异常成矿预测理论与实践. 武汉:中国地质大学出版社, 1~138.

### References

- Chen Yongqing, Liu Hongguang. 2001. A preliminary view on digital pattern for mineral exploration based on geo-anomaly. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 26(2): 129~134 (in Chinese with English abstract).  
Chi Shundu, Wu Xinlin. 1998. Beneficial degree and spatial correlation analysis of copper deposits prediction by GIS in Yuanjiang area, Yunnan province. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 23(1): 75~78 (in Chinese with English abstract).  
Zhao Pengda, Chen Yongqing, Liu Jiping et al. 1999. The principles and practice of application of geo-anomaly to ore-forming prediction. Wuhan: The Press of China University of Geosciences, 1~138 (in Chinese with English abstract).