文章编号：1008-0562(2007)06-0837-04

基于 MAPGIS 地质异常提取及找矿有利地段圈定

孙 祥，赵忠英，杨子荣

(辽宁工程技术大学 资源与环境工程学院，辽宁 阜新 123000)

摘 要：为了解决成矿预测中地质异常提取和找矿有利地段圈定的问题，利用 GIS 技术，研究了基于 MAPGIS 的地质异常提取和找矿有利地段圈定的方法。结果表明：相对熵可以反映地层及岩浆岩异常，断裂优益度及中心对称度可以反映断裂异常，找矿有利度可以反映找矿有利地段的级别，并提出了基于 MAPGIS 圈定找矿有利地段的模型。该成果对成矿预测具有一定的参考价值和指导意义。

关键词：MAPGIS；地质异常；相对熵；断裂优益度；断裂中心对称度；找矿有利度；找矿有利地段

中图分类号：P 612 文献标识码：A

Extraction of geological anomaly and delineation of preferable ore-finding area based on MAPGIS

SUN Xiang，ZHAO Zhong-ying，YANG Zi-rong

（College of Resource and Environment Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China）

Abstract：In order to solve the problem in extracting the geological anomaly and delineating the preferable ore-finding area, the method is studied based on GIS. The relative entropy can represent the anomaly of strata and magmatic rocks, the degree of rupture superior can represent the anomaly of rupture, and the ore-finding favorability can represent the anomaly of preferable ore-finding area. The model of delineating the preferable ore-finding area is proposed based on MAPGIS, and the achievement has the certain reference value and the instruction significance to ore prognosis.

Key words：MAPGIS；geologic anomaly；relative entropy；degree of rupture superior；degree of rupture center symmetry；ore-finding favorability；preferable ore-finding area

1 GIS 应用于成矿预测的必然性

成矿预测基本目的是能够预测未发现矿床的位置，并大体知道这些矿床的类型、规模和品位[1]。目前，成矿预测的基本理论有相似类比理论、地质异常理论及组合控矿理论。相似类比理论是根据“模型区”已知矿床成矿条件和控制因素的研究建立矿床模型，或根据所要找寻的矿床类型选择相应的矿床模型，依据矿床模型选择靶区评价变量，建立评价标准，依据标准评价预测区的资源潜力，这种建立在已知矿床研究基础上的模型预测存在下列缺陷：(1)由于矿产勘查工作不平衡性，预测区往往缺乏与模型区同等详细程度的“诊断性”矿化信息；(2)只能预测类型相同或相似的矿床，而不能预测新类型矿床和具“点型”分布的巨型矿床[2]；(3)对于大比例尺成矿预测，由于缺乏足够的已知矿床以致于难以建立矿床模型而无法开展模型预测；(4)由于上述原因，“模型”预测具有很大的不确定性，这表现在地质条件相似的地区，一个地区有矿，而另一个地区则无矿；反之，在一些地质条件有利地段缺乏的矿床并不表明在条件类似的另一地段亦不存在[3]。而地质异常是可能产生特殊类型矿床或产出前所未有的新型或新规模矿床的必要条件[4]，因此，从地质异常角度研究成矿地质条件与通常研究控矿地质因素相比具有更特殊的意义，同时，对地质异常的研究有助于深化对许多基本成矿预测问题的认识。近年来，一些学者一直在探索应用地质异常理论开展成矿预测的新途径[5-6]。

地质异常分析，从本质上讲是个空间分析和综合分析的问题， 而GIS正是处理空间数据、多重数据的强有力工具。所以，对于地质异常的定量研究，毫无疑问，GIS是一种理想的工具，运用GIS中各种空间分析的功能，结合矿床统计预测的一些数学地质方法开发一些自己的程序对于成矿预测将非常有利。本文着重介绍MAPGIS在成矿预测及找矿有利地段圈定中的应用。

2 网格单元划分

为了提取研究区地质变量，首先需要对其进行网格单元划分，目的为了确定地质变量观察尺度和

收稿日期：2006-10-11
基金项目：辽宁省国土资源厅基金资助项目(KJ-2005-001)
作者简介：孙 祥（1980-），男，安徽 无为人，博士研究生，主要从事地理信息系统与成矿预测研究。本文编校：于永江

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

取值范围，提高评价结果的准确性。如何确定最佳网格单元大小，并非易事，它必须结合实际资料水平和采用的评价模型，选择合理的单元划分方法。目前有规则网格单元划分和不规则单元划分两种方法。

2.1 规则网格单元划分

即通过选择一定大小的网格将整个研究区划分为面积相等、形状相同的单元，用作统一观测和取值范围的基本单元。对预测单元的划分应该考虑的因素有：预测比例尺和精度要求；预测区地质条件复杂程度，矿点数及空间分布特征；研究区范围大小及保证统计分析所需的单元数；地质特征的空间变异性。

单元面积的大小目前尚无明确的划分准则，但常用的经验算法有[7]：

（1）单元面积=2×预测区总面积／矿点数

（2） 据相应比例尺的地质图用 1~4cm^2 的面积作为基本单元的大小，如对于 l/25 万地质图，单元大小为 0.25~1 km^2 的面积。

2.2 不规则单元划分

一般以地层边界、岩体边界及物化探的异常体的边界作为单元边界，同时一般要求网格单元的长轴方向与区域构造线的方向一致；网格单元的形状与地质体的形状相似；网格单元的大小要能反映出研究对象结构特征。

在MAPGIS中可根据实际情况选择一种网格单元，利用MAPGIS编辑子系统生成网格线文件，再利用“其它”菜单中的自动剪断线、线转弧段及拓扑重建生成网格区文件（命名为A1.wp），从而为后面的空间分析做准备。

3 异常提取及找矿有利地段圈定

MAPGIS空间分析子系统中用于空间分析的数据格式是区文件（*.wp）、线文件（*.wl）和点文件（*.wt）。区文件所包含的数据如地质图上的地层、岩体、脉岩、围岩蚀变、混合岩化、变质相带、特殊岩层及各类平面分布的物化探异常等；线文件所包含的数据如断层、褶皱轴等；点文件所包含的数据如矿点、火山构造、钻孔、各类测试数据采样点、泉水及震中等。这些专题信息数据格式文件与网格文件A1. wp进行空间叠加操作，即可提取每个网格单元成矿信息数据变量。

同时，MAPGIS还能够综合这些独立的地质数据生成一些新的组合数据类型，从而将成矿预测及找矿标志大大减少，便于靶区的圈定。组合数据主要有相对熵、断裂优益度、断裂中心对称度及找矿有利度。

3.1 相对熵

利用网格单元中各区类数据（地层、岩体、脉体等）的面积百分数与研究区内所有该类型数据可以计算各网格单元的相对熵[9-11]，其计算公式为

$$100Hr = \frac{-100\sum_{i=1}^{N} p_i \ln p_i}{\ln N}$$

式中： p_i 为N元系统中第i成分所占百分比（i=1，2…，N）；N为所研究的N元系统。

相对熵一般用于考查地质建造组合特征与矿化的关系及围岩蚀变组合特征与矿化的关系[12]，在MAPGIS中圈定相对熵异常及其分析的步骤为：

（1）提取出各个网格单元中地质建造及围岩蚀变的属性数据与网格总面积的比值 x_i，在此基础上计算各网格单元的相对熵

$$E_{jk} = -\frac{\sum_{i=1}^{N} x_i \ln x_i}{\ln N}$$

式中，N为网格单元内存在的各类地质体个数；j、k为该网格单元的行号和列号；

（2）根据研究区所有网格单元计算的相对熵的值利用MAPGIS中DTM分析子系统绘制相对熵等值线图，进而对该等值线图进行分级；

（3）根据划分出的n个等级的相对熵等值线区域中不同级别的矿产当量和单位矿产当量[13]进行异常分析。

3.2 断裂优益度及中心对称度

利用网格中线性构造（如断层）的长度、方向及各线性体所属方位角区间的控矿权重，求出网格单元的断裂优益度和中心对称度，计算断裂优益度的公式[14]如下

$$\varepsilon = l_1\omega_1(1+\frac{|\sin\theta|}{2}) + \sum_{i=2}^{n} l_i[1+\frac{|\sin(\alpha_i-\alpha_{i-1})|}{2}]\omega_i$$

式中，i为线性构造序数；α_i 为第i条线性构造的方位角；θ为第一条线性构造与最后一条线性构造的夹角；l_i 为第i条线性体在该网格单元的长度；ω_i 为第i条线性体所属方位区间的线性构造控矿权重，可通过

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

已知样本统计求出。将ε分别按$\alpha_1<\alpha_2<\cdots<\alpha_n$及$\alpha_1>\alpha_2>\cdots>\alpha_n$分别计算出$\varepsilon_1$和$\varepsilon_2$值，$\frac{\varepsilon_1+\varepsilon_2}{2}$则为该网格单元的断裂优益度值。

计算断层中心对称度的公式[14]如下

$$\sigma_3=\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}l_i\sin^2(\theta_i-\overline{\theta})}{\sum_{i=1}^{n}l_i}\right]^{\frac{1}{2}}\qquad \overline{\theta}=\frac{\sum_{i=1}^{n}l_i\theta_i}{\sum_{i=1}^{n}l_i}$$

式中，$\overline{\theta}$为平均方位，并与各线性体成锐角；θ_i为某网格第i条线性体在地理坐标上半空间的方位角，-90°≤θ_i≤90°；l_i为某网格第i条线性体的长度。

在以构造为主要控矿因素的内生矿产中，用断裂优益度来评价每个网格单元是否有利储矿；用中心对称度来研究和圈定古火山机构、小型等轴状隐伏侵入体等具有放射状断层体系的环形构造。仅仅应用MAPGIS难以计算断裂优益度及中心对称度，本文应用MAPGIS自带的二次开发库，应用Visual C++开发了计算断裂优益度及中心对称度的小程序，进而将该程序嵌入到MAPGIS空间分析子系统的标准菜单中，便于后续应用。

3.3　找矿有利度

找矿有利度主要是分析矿点的产出与证据层间的相互关系。池顺都等[5]、赵鹏大等[15]已经介绍过找矿有利度的分析方法和有关找矿有利度分析的计算方法，本文重点介绍MAPGIS中计算找矿有利度的方法。

（1）线型地质异常的找矿有利度分析

首先在MAPGIS中生成矿点文件KD.wt及断层文件DL.wl，然后利用空间分析子系统下的点对线叠加分析，叠加结果为矿点文件，该方法保留所有矿点，找到距离某点最近的线并计算出点线之间的距离，然后将线号和点线距离记录到属性中，进而通过直方图等数理统计方法得出控矿断层最优的影响半径，再将该值作为缓冲区半径进行缓冲区分析，得到控矿断层的异常区S1.wp，将S1.wp与A1.wp作区对区叠加分析，得出每个单元中的控矿断层异常区文件S2.wp，进而统计每个单元的异常面积、见矿异常面积、矿产当量、单位矿产当量及矿床出现率分析其找矿有利度。

（2）面型地质异常的找矿有利度分析

MAPGIS首先生成相应的面型地质异常的区文件（命名为YC1.wp），将YC1.wp与A1.wp作区对区叠加分析，得出每个单元中异常区文件YC2.wp，再将之前生成的矿点文件KD.wt与YC2.wp作点对区叠加分析，最后统计每个单元的异常面积、见矿异常面积、矿产当量、单位矿产当量及矿床出现率分析其找矿有利度。

综合各个最有利的线型地质异常与面型地质异常就可以计算其找矿有利度，MAPGIS中的计算主要是对这些控矿标志进行着色，再将选出的各异常的文件进行区对区合并分析，合并后区的颜色的色标就是各成矿有利因素之和；最后对合并后区的颜色的色标进行统计分析，确定找矿有利地段的级别划分界限，进而依据划分界限对不同色标区圈出各级找矿有利地段；

根据以上分析，笔者提出GIS圈定地质异常的模型及其确定找矿有利地段的模型如图1所示。

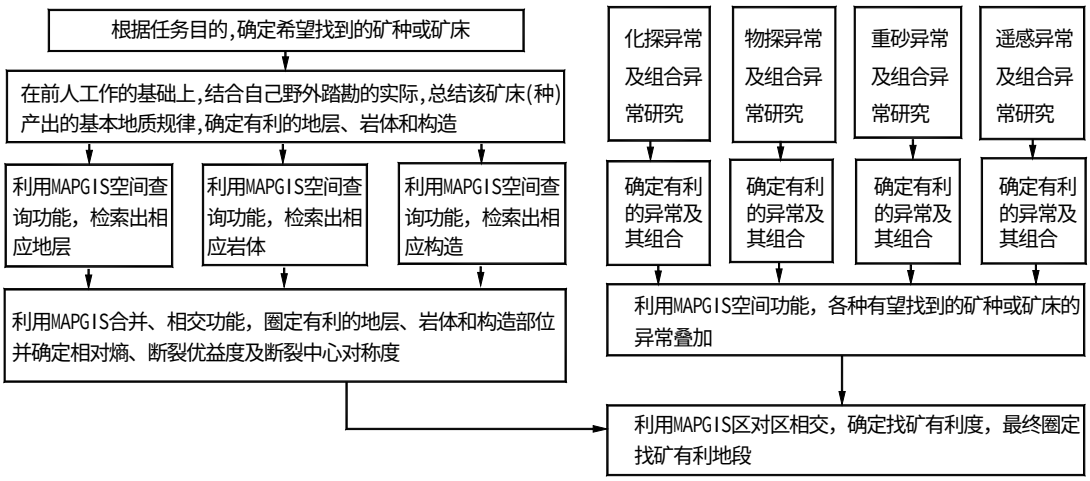

图 1　MAPGIS 圈定找矿有利地段的模型

Fig.1 model of delineating the preferable ore-finding area based on MAPGIS

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

4 结 论

运用 GIS 技术进行矿产预测是一项新技术，它为定量预测提供重要数据准备和空间分析的基础。相对熵、断层优益度、断层中心对称度及找矿有利度分析在定量预测中起着重要作用，其分析结果可作为矿产预测工作中的一个指标和依据。在成矿预测过程中，尤其应该注重组合异常的分析和提取计算，因为成矿过程是一个多因素起作用的结果。

参考文献：

[1] 翟裕生,邓军,崔彬,等.成矿系统及综合地质异常[J].现代地质,1999,13(1):99-104.

[2] Zhao Pengda. Theories, principle, and methods for statistical prediction of mineral deposits[J]. Mathematical Geology, 1992 (6):589-595.

[3] Gorelov,D.A. Quantitative characteristics of geological anomalies in assessing ore capacity[J]. Internal Geology Rew,1982, (4):457-465.

[4] 赵鹏大,池顺都.初论地质异常[J].地球科学：中国地质大学学报,1991,16(3):241-248.

[5] 池顺都,周顺平,吴新林.GIS支持下的地质异常分析及金属矿产经验预测[J].地球科学：中国地质大学学报,1997,22(1):99-103.

[6] 赵鹏大,陈永清.地质异常矿体定位的基本途径[J].地球科学：中国地质大学学报,1998,23(2):111-114.

[7] 赵鹏大,胡旺亮,李紫金.矿床统计预测[M].北京:地质出版社,1994.

[8] 吴信才.MAPGIS 地理信息系统[M].北京:电子工业出版社,2004：191-232.

[9] 池顺都.熵——研究矿体内部结构的重要工具[J].地质与勘探,1990,26(5):38-43.

[10] 矫东风,吕新彪.信息熵在甘南西部金矿预测中的应用研究[J].地质与勘探,2004,40(3):69-73.

[11] 蔡宇.制药企业环境污染事故风险模糊熵权排序模型 [J].辽宁工程技术大学学报,2006,25(6): 304-306.

[12] 池顺都,赵鹏大.地质建造组合熵异常与找矿有利地段圈定[J].现代地质,2000,14(4):423-428.

[13] 池顺都.吴新林.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[J].地球科学：中国地质大学学报,1998,23(1):75-78.

[14] 赵不亿,秦小光.遥感构造的定量分析方法[J].地质科技情报,1988,7(1):127-136.

[15] 赵鹏大,池顺都,陈永清.查明地质异常:成矿预测的基础[J].高校地质学报,1996,2(4):361-373

≈≈≈