成矿预测中应用 GIS 的主要步骤

刘治国¹, 池顺都², 周顺平³

(1. 中国地质大学 研究生院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074;

3. 中国地质大学 信息工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: GIS 在成矿预测中需要处理的成矿信息包括遥感信息、地质信息、物探信息和化探信息; GIS 支持下的成矿预测包括资料收集、各类数据的准备和数据库的建立、控矿因素分析、建立找矿预测模型、空间检索与分析、特征提取与合并、结果修证的地质解释, 预测成果的输出等步骤; GIS 工具的应用为成矿预测提供了又一条有效的途径。

关键词: 成矿预测; 矿产勘查; GIS; 空间分析

中国分类号: P612; P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2002)02-0140-05

1 引言

地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS) 是介于信息科学、空间科学和地球科学之间的交叉学科, 是计算机科学、遥感技术、信息技术、信息工程与现代地质方法的有机结合。地理信息系统的主要作用是对空间信息进行采集、存储、管理、查询、分析、显示和进行制图等处理^[1]。在计算机系统的支持下, GIS 不仅能够绘制高质量的图解, 更重要的是能够有序地管理各图形实体的描述性数据, 并能对复杂的地理系统进行快速、精确、综合的空间定位和过程分析。因此, GIS 技术一出现, 就得到了地学界的广泛关注, 并迅速渗透到与地学有关的各个领域。

2 GIS 在成矿预测中需处理的主要成矿信息

信息是用数字、图形、影像、文字、符号及介质来表达事物、事件、现象的内容、数量或特征, 信息来自未加工的原始资料数据。成矿信息是指指示和识别某种矿床条件和赋存方式的地质信息总和, 可分描

述性、事实性成矿信息, 及通过深加工才能获取的加工型数据^[2]。随着找矿技术的发展、成矿信息的来源和种类也越来越多, 目前应用 GIS 处理的主要成矿信息有遥感信息、地质信息、物探信息和化探信息。下面对其进行简单的说明。

2.1 遥感信息

遥感信息是指在远距离、高空和外层空间的各种平台上, 运用各种传感器来获得的地表信息。它通过数据的转换、传输和处理, 从而实现研究地面物体形状、大小、位置、性质及其环境的相互关系。近年来, GIS 和遥感的紧密结合, 不仅有助于提高数据自动分类的精度以及空间定位和信息复合, 而且可促进空间信息的专题制图、动态监测和信息更新自动化。在成矿预测方面, 通过对遥感图像变换及方向滤波等图像处理^[3], 可了解地层、岩浆岩及构造等控矿条件, 来作为在大范围内进行成矿预测的依据。

2.2 地质信息

众所周知, 要对某地进行成矿预测, 首先要寻找相关的地质信息, 如预测区已经知晓的矿床、矿点分布情况; 预测区的地层分布情况; 预测区的构造分布情况, 以及岩浆岩分布情况。在这些地质信息的基础之上, 才有可能开展下一步的成矿预测工作。

2.3 物探信息

由于地球物理勘查方法种类较多, 如重力、磁法、电法、地震、放射性测量等, 因而导致物探信息的

收稿日期: 2001-11-19; 修订日期: 2002-01-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(40072091)资助。

作者简介: 刘治国(1977-), 男, 湖南桃源人, 硕士研究生, 研究方向为矿产普查与勘探。

多样化。目前,在固体矿产找寻方面,重力、磁法及放射性测量的物探信息相对应用较多;而在石油的勘探过程中,地震及电法的应用相对要多一些。地球物理勘查主要是以地质体的物理性质差异为直接观测对象,并通过观测地球物理场的变化,来进行地质解释,因此,物探方法是一种间接的找矿方法,其成矿信息的提取,主要侧重于发挥物探深源性的探测优势,以及对深部构造的认识。

2.4 化探信息

地球化学成矿信息的提取主要是从区域地球化学场角度出发,研究区域地球化学元素的物质结构与空间结构性特征。它主要涉及到区域化探异常的圈定与识别,而因子分析法、判别分析法、聚类分析法等^[4]传统的数学地质方法在这方面一直发挥着重要的作用。这些方法能够有效地研究元素的相关关系,找出与成矿作用相关的地球化学元素组合。

3 GIS 支持下的成矿预测

地质工作者在多年的地质找矿过程中已积累了大量的数据与信息,如何有效地利用这些数据和信息为进一步的资源开发服务,是当今地质行业的一大难题。自从把 GIS 引入到地质行业中来后,成矿预测又多一条重要的、有力的途径。目前,GIS 支持下的成矿预测方法具体有多种,如证据权重法^[5]、联想求异法^[6]等。现就 GIS 支持下的成矿预测的一般操作过程作以下简述。

3.1 资料收集阶段

在成矿预测中^[7],这是一个普遍的阶段,也是一个必备的阶段。它包括文字资料、图件资料、遥感资料、物化探资料、数字资料以及野外第一手资料的获取。它是进行以后工作的前提和基础。

3.2 研究区地质、物化探概况

这部分内容一般是具体实例在成矿预测时所需要介绍的背景材料,其主要内容是:①地质概况。它又包括:研究区地层的出露情况,及简要指明地层与成矿的关系;研究区的构造情况,及构造控矿的大体规律;研究区的岩浆岩情况,以及矿点与岩浆岩分布的关系。②地球物理概况。其中需要简单的介绍重力、磁法、电法、地震、放射性测量等异常,并指明主要与成

矿有关的异常类别。③地球化学特征。将收集到的元素异常加以简要分析,并注意元素之间是否关系密切。例如要对某地铜矿进行预测,就要着重分析铜元素的地球化学异常,并比较它与其他元素,如银、钴等的地球化学异常,看银、钴异常与铜矿关系是否密切。

3.3 数据准备及数据库建立

对已收集的文字、图件、遥感、物化探、数字以及野外第一手资料等数据进行处理过程中,先确定数据库结构,划分不同图层,并建立数据库,然后将数据分类输入数据库中^[8]。描述性数据可通过键盘直接输入,图形数据则可用数字化仪,将线、点等逐点数字化,或者通过扫描仪将全图输入计算机后进行数字化。各类数据可通过数据转化软件将相应数据转化成可使用形式,以满足空间检索与分析要求。

3.3.1 地质数据

地质数据主要采用区调报告、矿产分布图、以及相应的矿产储量和矿产质量等方面的内容。其地质数据分 3 个文件录入。①点文件。主要为矿点资料。其属性有矿床规模及规模代码。矿种的录入就看预测针对情况,单一矿种的预测,就仅录入单一矿种就行。②线文件。可分为岩层分界线文件和构造线文件两类。其中岩层界线文件又可分为一般岩层界线和不整合岩层界线两个分文件。构造线文件主要录入断层线,它也分了几个图层:实测断层,推测断层等构造线文件。③区文件。主要是地层和岩浆岩分布区。区文件是在线文件的基础上,经过造区,充填,赋予属性之后得到的。每个区的属性主要有:岩性、代号、形成时代、其他属性视需要而定^{①②}。对于主要考虑的地层,应作较为详细的划分。

3.3.2 物探数据

理论上来说,要对物探的重力、磁法、电法、地震、放射性测量等信息都予录入,但在实际的操作过程中,往往只对与成矿密切相关的信息给予录入。另外,也有资料不全,无法对其他信息录入的情况。物探数据也可分为两类,线文件和区文件。线文件主要是等值线图,其属性主要为所代表的异常值;区文件一般由等值线造区,并赋予异常值而得到。

3.3.3 化探数据

主要为元素化探异常数据,均采自相应的化探异常图。一般由元素等值线文件及由等值线包围的区文件组成,其属性主要为该元素的异常值。

①吴信才. 地理信息系统原理、方法及应用. 武汉: 中国地质大学信息工程学院. 2000. 1-16, 306-313.

②中国地质大学(武汉)信息工程学院. MAPGIS 地理信息系统使用手册. 武汉: 中国地质大学出版社. 2000. 323-342.

GIS 对数据的管理采取分层方式, 地质上每一类特征的数据都可以组成一个图层^[9]。在找矿预测中, 根据对象可以选择有效的数据源组成多个图层, 如地理地质、物探化探、遥感信息等数据层, 在对它们预处理并数字化输入后, 再进行修正与编辑, 从而建立数据库。

3.4 控矿因素分析

在控矿因素分析过程中, 单元层的编制是一种有效的途径。单元层是一组与主题相关的数据, 是图形数据和属性数据集。形成单元层的实质是对数据进行重新分类, 突出某个因素与成矿的关系^[8, 10]。例如: 认为深大断裂为一控矿因素, 利用 GIS 的数据查询分析功能, 从所有断层属性数据中选出深大断裂的属性数据。再利用 GIS 中的单元层程序形成深大断裂的单元层, 同时建立图与断层属性表的联系。另外通过 GIS 的叠加功能建立深大断裂与已知矿床的综合单元层, 以此过程对数据进行重新分类。利用以上方法还可对地质、物探、化探、遥感等数据进行重新分类。

3.5 选取变量, 建立找矿预测模型

数据信息的多元化导致了地质变量的多样化, 而地质变量是随时间、空间的变化而变化的地质现象或地质特征的量化标志^[11], 它是构成资源特征与地质找矿标志之间的统计关系的基本元素。为了有效的提取成矿预测信息, 有必要对诸多变量进行筛选, 减少变量个数, 突出与成矿密切相关的变量, 得到最优变量组合。其途径可以通过控矿因素分析得到一部分; 还可通过变量的空间关系定量化, 对变量进行筛选。

目前进行定量化的方法有相关系数法^[4]、证据权法、找矿信息量法^[2, 12]和模糊逻辑法^[8]等。现仅对找矿信息量法加以说明。设计该方法的目的是研究某种地质变量(地质标志、控矿因素)对成矿或找矿所起的作用, 从而确定该变量在综合评价中权重。

$$I_{A_j B} = \lg \frac{P(B/A_j)}{P(B)} = \lg \frac{P(A_j/B)}{P(A_j)} = \lg \frac{N_j/N}{S_j/S}$$

式中: $I_{A_j B}$ 表示 A 标志 j 状态出现对成矿作用发生的信息量; $I_{A_j B} > 0$ 表示该标志在此状态是较有利的找矿标志; $I_{A_j B} < 0$ 表示该标志在此状态是不利的找矿标志。该原理的 GIS 实现的具体步骤如下:

(1) 构造统计单元;

(2) 统计具有 A 标志 j 状态又含矿的单元数 N_j , 含矿单元总数 N 具有 A_j 标志单元数, 及区域单元总数 S ;

(3) 按公式计算各单元的信息量;

(4) 对各找矿标志进行信息排序综合, 生成组合信息量。

通过诸如此类的定量化计算方法, 可以计算出诸多地质变量的权系数或信息量, 然后对它们进行排序, 选取恰当的临界值, 提取有效的地质变量, 作为下步成矿预测的地质变量。

在对矿床地质模型、找矿标志与准则和找矿手段的认识基础上, 就可以确定最佳找矿组合, 从而也就建立了成矿预测模型, 它是具体的、具有明确的对象, 如区域找矿, 还是矿区盲矿的寻找。

3.6 空间检索与分析

确定了主要控矿因素或控矿因素与矿体的空间关系后, 就要进行空间检索与分析, 赋空间以地质含义。其中, 空间检索和查询主要着眼于数据的空间条件, 是把满足给定条件的数据查找出来的过程, 可分为属性数据查询和几何数据查询; 空间分析目的在于从已有的空间信息中生成新的具有附加价值的空间信息, 或使空间信息间存在的空间结构得以表示^[13]。它是一种将两层地图要素叠加产生一个新的要素的分析方法, 其结果是原来的要素被分割、剪断、套合, 然后生成新的要素, 新要素综合了原来两层要素所具有的属性。在 GIS 中, 该模块提供了空间拓扑叠加分析、缓冲区分析及多层立体叠置分析等功能。

3.6.1 空间拓扑叠加分析

它是使各种地理信息重叠并进行多种逻辑运算的方法, 它先使输入的多个数据层的特征相叠加, 产生新的特征, 同时建立新的属性关系。具体做法是将同一地区、同一比例尺的两组或更多的多边形要素的数据图层进行叠置。点、线、面都可以相互叠加, 形成多边形-多边形, 点-多边形, 线-多边形, 点-点, 线-线, 点-线的分析。地质点、矿床(点)、取样点、工程布置点均可视为几何上的点; 断层以及各种构造线、地质分界线可视为线; 而物化探异常区、地层、岩石则在图中表现为多边形。通过叠加或数据复合, 可以找出它们之间的相互联系, 提取矿化信息, 这种叠置可以是对任何数据源进行操作, 如遥感、航磁、物化探数据与地质数据叠加等, 找出它们之间的相关性和耦合度^[14]。成矿有利地段实质上就是多因素异常组合区, 通过空间拓扑叠加操作可客观地寻找出组合异常带。

3.6.2 缓冲区分析

从特定的点、线段、区域出发, 提取出与其有某

一距离范围内的地区的方法。它一般包括: 点的缓冲区分析、线的缓冲区分析和面的缓冲区分析。其中, 线性地质构造的缓冲区分析在成矿预测中应用较为广泛, 具有很重要的地质意义。如云南元江铜矿预测中, 根据 GIS 统计方法发现铜矿床(矿点)与断层的间距大部分在 2.0 km 之内, 并且当断层影响带为 1.13 km 时, 矿床(点)数与取 2.0 km 的影响带几乎没有差别, 这就可以选择半径为 1.13 km 的缓冲区作为铜矿 GIS 的证据层^[15]。

3.6.3 多层立体叠置分析

该项功能实现多种要素的空间立体叠加显示, 它和上述叠加分析的根本区别在于它不对空间数据和属性数据进行叠加和连接, 只作多层立体叠置显示, 以展示各层要素在空间位置上的变化情况。

3.7 特征的提取与合并

以上各种分析的过程, 实质上也是对地质特征和地质信息提取与合并的一个过程。它需要建立并存储一个信息层的特征子集, 形成新的信息层。其方法有两种, 一是利用一个空间区域作为截取范围, 提取一个信息层, 如提取区域性大断裂两侧某一范围所有化探异常信息; 二是用信息层中的特征属性与规定的逻辑表达式相匹配, 则可以确定保留或删除信息层的一个子集。如果相临多边形的某个指定项的值相同, 那么可以将相临多边形合并, 简化图层特征。由此可见, 特征的提取与合并和空间检索与查询有相似之处。

3.8 形成预测图、结果修正和相关地质解释

在进行了上述操作后, 接下来就是叠加形成初期的成矿预测图。GIS 由于数据的存储和再现是分开, 所以可能对数据进行满足要求的操作处理与再成图, 正是由于这一特点, 可以根据修改思路重新进行上述有关步骤, 对结果进行修正。GIS 可以输出一般的地图, 也可以自动绘制等值线图、三维显示图, 有的还可以进行趋势面分析、剖面显示等^[13]。

对于已经成图的预测成果, 应加以适当的地质解释, 以便地质人员对其 GIS 预测图件有个明确的理解, 便于正确的指导以后的工作。

3.9 预测成果的输出

对成矿预测图确证无误, 并能进行合理的地质解释后, 就要对成矿预测成果进行输出。其输出主要包括两部分: 图形输出和文字报告的输出。

4 结束语

随着找矿难度的加大, 目前要取得地质找矿的进展, 必须在两个方面有所突破: 一是研究并掌握成矿条件、成矿规律; 另外就是运用新的找矿技术手段来获得新的、更多的、精确的数据, 提取矿化信息。GIS 工具的应用, 可以起到管理资料, 利用资料进行综合分析, 提取成矿信息的作用, 为新时期的成矿预测提供了又一条有效的途径。

不同 GIS 系统软件都有一定的应用范围, 功能也并不完全相同, 在应用时要注意面向对象进行软件二次开发, 如矢量数据结构为主体的矿产资源 GIS 评价系统, GIS 矿产资源定量评价自动化系统等^[2], 这在找矿领域基本还是一片空白。如果通过各方努力, 能开发出成矿预测 GIS 专用系统, 必将大大提高地质找矿工作的效率。

参考文献:

- [1] 朱创业. 地理信息系统在矿产预测中的应用—以华蓥山锑矿带为例[J]. 成都大学学报, 1999, 18(2): 36-38.
- [2] 肖克炎, 张晓华, 王四龙, 等. 矿产资源 GIS 评价系统[M]. 北京: 地质出版社, 2000. 15-25, 87-96.
- [3] 刘荫椿, 董晓辉, 刘志杰. 基于 GIS 的金矿多源地学信息复合处理及应用[J]. 黄金地质, 1997, 3(1): 63-66.
- [4] 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 矿床统计预测[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 53-61, 125-198.
- [5] 苏红旗, 肖克炎, 王四龙. 基于 GIS 的证据权重法矿产预测系统(EWM)[J]. 地质与勘探, 1999, 35(1): 44-46.
- [6] 池顺都. GIS, 经验找矿与 求异找矿结合的工具——化探异常找矿效果经验分析[J]. 地质与勘探, 2000, 36(1): 71-74.
- [7] 卢作祥, 范永香, 刘辅臣. 成矿规律和成矿预测学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 223-225.
- [8] 吴玺虹. 利用 GIS 编制矿产预测图[J]. 地质与勘探, 2000, 36(3): 48-50.
- [9] 李颖, 杨永旨, 范云芳. 阿尔泰成矿区金矿预测图图库及属性的建立方法[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(3): 293-295.
- [10] 张晓军, 张均. 基于 GIS 的川西地区金矿初步预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(增刊): 83-87.
- [11] 陈永良, 伍伟, 刘大有. 基于 MapInfo 的地质变量自动化选择与赋值[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(3): 289-292.
- [12] 黄旭钊, 徐昆, 梁月明. 利用 MapInfo 综合分析多源地学信息进行矿产预测[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(2): 189-191.
- [13] 谢荣举, 何继善, 彭省临. 地理信息系统在找矿预测中的应用

[J]. 湖南地质, 2000, 19(1): 58-62.

[14] 池顺都, 赵鹏大, 刘粤湘. 应用 GIS 研究矿产资源潜力——以云南澜沧江流域为例[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(5): 493-497.

[15] 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.

THE MAIN STEPS OF APPLYING GIS TO ORE PREDICTING

LIU Zhi-guo¹, CHI Shun-du², ZHOU Shun-ping³.

(1. Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3. Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: GIS has been used in metallogenic prediction. Data that is required to process include information of remote sensing, geophysical and geochemical exploration. GIS-supported ore prediction consists of steps, such as data collection and preparation, setting up data base, ore-controlling factor analysis and ore exploration modeling, spatial retrieval, signature extraction and amalgamation, result revision and geological interpretation, output of prediction results etc. GIS is a new tool for ore prediction.

Key words: mineralogical prediction; mineral exploration; GIS; space analysis

(上接第 130 页)

PREDICTION OF BLIND ORE BODY IN XIAOREQUANZI COPPER MINE

WEN Chun-qi, XU Xin-huang, LUO Xiao-jun

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Based on geology of the mine area and ore deposit and the relevant preworks the model units are selected for setting up synthetic predictive model, division of predictive models, variable extraction and assignment. Then the possible locations of ore bodies are predicted with information integration and analogue and characteristic analysis methods. 5 targets are pointed out and 5 drill holes designed.

Key words: blind ore; location prediction; Xiaorequanzi copper mine; Xinjiang