

基于GIS的人工神经网络 矿产预测系统设计及应用

杨中宝^{1,2}, 彭省临¹, 李朝艳²

(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] 利用地理信息系统(GIS)和人工神经网络(ANN)相结合,研究了基于GIS的人工神经网络矿产预测系统设计方案,实现了从地质变量优选到人工神经网络成矿预测结果图形显示的计算机自动化处理。在凤凰山矿田的应用显示,预测结果与现有矿床十分吻合,是矿产预测的有效方法。

[关键词] 地理信息系统; 人工神经网络; 矿产预测; 地质变量; 优选

[中图分类号] P62 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)01-0030-04

[作者简介] 杨中宝(1971-),男,云南镇雄人,工程师,中南大学博士,从事地理信息系统与成矿预测研究。

成矿预测的基本目的是预测未发现矿床的位置,并大体知道这些矿床的基本类型、规模和品位^[1]。通常在综合地质分析的基础上,结合各种统计分析方法,研究各类地质变量的相互关系进行成矿预测工作。显然,每一种数据尽管都反映了整个地质现象的某一特点,但特定的地质现象是在漫长的地质时序中各种地质事件耦合的结果。因此,各种数据通过简单的线性分析处理并不能精确表述整个地质过程演化历史,也就难以达到准确成矿预测的目的。

20世纪80年代发展起来的地理信息系统(GIS),以空间信息采集、存储、管理、查询、分析、显示和制图等为特点,在计算机系统的支持下,可以对复杂的地学数据进行有效的数据组织管理、空间分析及高质量高效率的成图处理,从而为成矿预测工作快速、精确、综合地对矿床(体)进行空间定位,对成矿系统演化进行过程分析提供了一个有利地工具。

人工神经网络是大量简单的神经元联结而成的非线性复杂动力学系统,以其并行分布处理、自组织、自适应、自学习和健全性与容错性等独特性

能引起关注,在信息具有不完备性特点的情况下,在模式识别、方案决策、知识处理等方面具有很强的能力^[2]。把人工神经网络引入成矿预测研究领域,有助于理解成矿系统的非线性动力学行为,把人工神经网络与地理信息系统相结合,可以发挥各自信息处理方面的优势,对于更精确地再现成矿系统演化过程具有重要的意义^[3]。

1 系统设计

系统基于MAPX4.0利用VC++6.0为集成开发工具进行组件式开发。根据系统应用目的,除了基本的GIS功能以外,新增加了地质变量优选和人工神经网络成矿预测二大功能模块。系统具有自组织性和自动模式跟踪能力,对于新输入的矢量模式,网络系统会将其与记忆中的模式进行比较分类,从而达到对新输入的矢量模式进行预测的目的。这种模仿人脑思维模式的方法,大大提高了系统对于非线性问题求解的能力,从而更逼近地质对象的本质属性。

系统结构主要由成矿预测系统主菜单、基本GIS图形处理功能模块、地质变量优选模块、人工神经网络预测模块和空间数据管理模块所组成(图1)。

1.1 系统菜单

系统菜单是本系统运行的主界面菜单,只起到

[收稿日期] 2004 03 31

[基金项目] 国家十五科技攻关项目(2001BA609A-06)

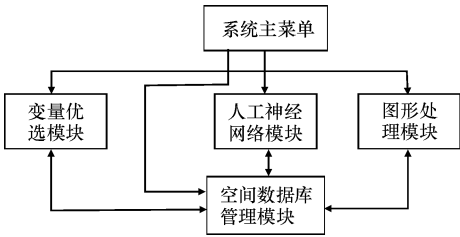


图 1 系统结构示意图

Fig.1 Chart of system structure

协调各功能模块工作的作用,其接口设计成双接口的形式,为系统扩展留下足够的空间。

1.2 空间数据库管理模块

主要进行空间数据(包括图形数据和属性数据)的存储与管理。属性数据利用关系型数据库 Access 和 MapInfo 的 tab 表进行组织,图形数据利用 MapX4.0 提供的图层管理功能进行管理。空间数据管理模块是各功能模块相互调用、相互交换数据的底层平台,是属性数据和图形数据之间的编码匹配和实现可逆互访机制的通道。该模块设计的基本要求是为用户提供动态可视化数据库操作平台,即使不懂数据库的用户也同样能使用本系统,用户能在该模块提供的操作界面上进行数据、字段、记录甚至数据表的增删、修改。但是,标准 VC++ 类 CDatabase 和 MapX4.0 中的数据集合类都没有提供能满足此要求的功能。因此,首先对 ODBC 数据库管理系统进行扩展。该模块主要具有数据查询、数据更新、数据输出的功能。

1.3 地质变量优选模块

该模块提供两种地质变量操作方式:第一,为全区域地质变量优选模式;第二,为用户指定区域地质变量优选模式。无论哪一种模式,其工作原理一样,只是在进行数据库操作时,系统自动在特定模式所相关的数据库中选择不同的数据而已。具体的地质变量选取方法有:相关系数法、信息量计算法、二态变量选择法、分形选择法、分形方法。在地质变量的分形选择过程中,首先获取指定区域各图层的属性数据,经过信息综合处理,得到各属性数据的代表性综合信息量 V ,并以此构成一个新统计量 C ,然后利用公式:

$$Cr = kr^{D-d} \tag{1}$$

求得 C 的分维数 D ,再利用公式:

$$\begin{aligned} C(C < r_i) &\propto r^{D_1-d} \\ C(C > r_i) &\propto r^{D_2-d} \end{aligned} \tag{2}$$

获取综合信息变量在空间上的多重分形特征。借

用李长江等对元素含量-距离分形研究模式^[4],将空间尺度 $r > r_i$ 的范围定义为该变量的背景分布,把尺度 $r < r_i$ 的范围定义为该信息变量的异常分布,并定义相应的综合信息变量值 C_r 为该变量的异常分布下限。把所有综合信息量值处于异常分布范围内的 C 代表的相应地质变量组成一个异常集合,这就是与成矿有关的地质变量集。

1.4 人工神经网络成矿预测模块

人工神经网络目前约有 200 多种^[5],本系统采用前向 BP 变结构神经网络模型。其主要工作原理为:设有 P 个输入模式, n 个输入变量, q 个隐单元, m 个输出单元,输入层与隐层之间的连接权为 W_{ij} ,阈值为 θ_i ,隐层与输出层之间的连接权为 W_{jk} ,阈值为 θ_j ,则网络计算过程可简化为下式:

$$\begin{bmatrix} X_1^1 & X_1^2 & \cdots & X_1^n & 1 \\ X_2^1 & X_2^2 & \cdots & X_2^n & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ X_P^1 & X_P^2 & \cdots & X_P^n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} & W_{21} & \cdots & W_{m1} \\ W_{12} & W_{22} & \cdots & W_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{1n} & W_{2n} & \cdots & W_{mn} \\ \theta_1 & \theta_2 & \cdots & \theta_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} net_1^1 & net_1^2 & \cdots & net_1^m \\ net_2^1 & net_2^2 & \cdots & net_2^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ net_P^1 & net_P^2 & \cdots & net_P^m \end{bmatrix}$$

简写为 $XW = Z$,于是可得 $W = (X^T X)^{-1} X^T Z$,表明对于一定的 X ,存在一个最小二乘意义上的 W 的最优解^[6],但不是唯一解。由此可推知,对于给定的权值矩阵和给定的输出向量,其输入向量对应于一个特定的向量空间,该空间的任意向量组合均可满足 $XW = Z$ 。不同类型的输入向量信息分布在整个权值矩阵的各个元素上,神经网络的学习过程就是根据这些不同的输入向量及其组合,寻找这种权值连接矩阵,以使该矩阵能最大限度地包容所有这些类型的不同信息,一旦权值矩阵确定,则可用该矩阵进行未知类型的识别。

1.5 图形处理功能模块

图形处理功能模块是系统与用户进行交互式对话的工具。

(1)用户可以通过鼠标或键盘为变量优选模块和人工神经网络预测模块在图形处理窗口中选择研究区域。

(2)利用 GIS 强大的图形处理功能,对预测区进行图形运算,空间分析,为人工神经网络的成矿预测结果与相应的预测单元进行配权处理,以各种

图形的形式再现人工神经网络的预测输出结果。

1.6 各模块之间的数据连接

由图 1 可以看出,除系统主体框架直接调用各系统模块以外,其他各模块之间是相互独立的,其间是通过数据库进行数据传输与共享达到相互连接的^[7]。

1.6.1 地质变量优选模块与图形处理模块间的数据交换

地质变量优选模块与图形处理模块间的数据连接:首先,图形处理模块为地质变量优选模块提供不同尺度的预测区域。地质变量优选程序根据预测区域提供的地质特征,从空间数据库中提取相应的属性值进行地质变量的选取并存入相应的数据表内。然后,图形处理程序通过空间数据库,可对各地质变量进行空间分析并改变图形数据。

1.6.2 地质变量优选模块与人工神经网络成矿预测模块间的数据交换

首先,人工神经网络模块从空间数据库中提取预测区域内已知矿床(点)各地质变量值作为学习样本,然后,再从数据库中提取相应预测区域内各预测单元的地质变量属性值进行成矿预测。

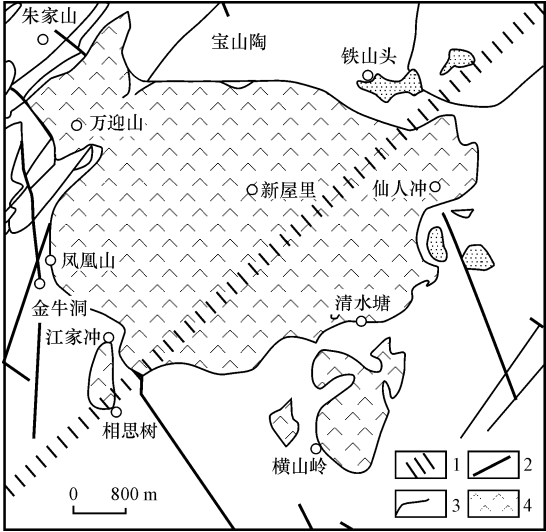
1.6.3 人工神经网络成矿预测模块与图形处理模块间的数据交换

人工神经网络成矿预测模块与图形处理模块间的数据连接:首先,图形处理模块为人工神经网络成矿预测模块提供不同尺度的预测区域。人工神经网络成矿预测模块对预测区域进行自动预测单元划分,并从空间数据库中提取相应的单元各地质变量的属性值,进行网络处理并把预测结果存入空间数据库^[8]。然后,图形处理程序通过空间数据库获取网络预测结果,对其进行空间统计分析和单元配权分析,并以图形的形式显示各预测单元的预测结果。

2 在凤凰山矿田成矿预测中的应用

凤凰山矿田位于安徽铜陵矿地区 S 状复式向斜中段(图 2)。矿田内出露主要岩体是形成于燕山晚期新屋里岩体,岩体中部为花岗闪长岩,周围以石英二长闪长岩为主,出露面积近 10 km²,呈椭圆状岩株,其长轴为东西向展布,与围岩呈侵入接触,围绕新屋里岩体周围出露志留系到三叠系中统地层。药园山、宝山陶、铁山头、仙人冲、清水塘、江家

冲、朱家山等矿床(点)围绕岩体产出,区内断裂构造控制岩体和矿床的分布。北东向冲断-褶皱构造叠加于东西向和南北向基底构造之上,形成大型网脉状构造分布,控制着含矿岩体的侵位格局。岩体侵位和冷凝过程中形成压剪性构造则为矿床形成提供成矿空间,控制矿体的空间展布规律。



1 - 向斜轴; 2 - 断层; 3 - 地层界限; 4 - 侵入岩体
图 2 安徽铜陵凤凰山矿田地质简图

Fig. 2 Geological map of Fenghuangshan ore field

2.1 信息单元划分及地质变量的提取

基本信息单元采用正方形格网单元,有利于计算各地质变量综合信息量和利用已知矿床(点)所在的信息单元作为网络的训练样本或检验样本。利用计算机自动提取的地质变量为:①岩体与地层的接触带;②三叠系中下统;③围岩蚀变;④断层交汇部位;⑤石英二长闪长岩;⑥北北西向断裂;⑦北东向断裂;⑧北北东向断裂;⑨北西向断裂;⑩地球化学和地球物理异常带。

2.2 成矿预测结果与分析

利用上述 10 个地质变量作为输入节点对网络进行训练,得到图 3 的网络预测数据,相应图形输出结果如图 4。由于研究区被划分为 400 个信息单元,只列出一部分,图 3 中输出 1 输出值> 0.5,表示有大型矿床存在,输出 2 中预测值> 0.5,表示中小型矿床,输出 3 输出值> 0.5,表示无矿,样本编号代表信息单元编号。

从图 4 可知,凤凰山矿田内已知矿床(点)均位于人工神经网络预测的大型或中小型矿床的高值区,因此,预测结果具有一定的可靠性,所以相思树和横山岭可作为下一步成矿预测的靶区。

样本编号	输出1	输出2	输出3
1	0.996600	0.004327	0.00367
2	0.995501	0.00571	0.004021
3	0.997438	0.003193	0.004040
4	0.997034	0.003808	0.003658
5	0.994478	0.004377	0.000915
6	0.007040	0.991453	0.004453
7	0.000012	0.002773	0.990653
8	0.000001	0.004208	0.009594
9	0.006396	0.990601	0.005513
10	0.000028	0.001856	0.990525
11	0.000024	0.001777	0.993049
12	0.000047	0.004701	0.998616
13	0.000036	0.001714	0.990358
14	0.982839	0.015197	0.000840
15	0.996386	0.003688	0.000379
16	0.989645	0.013742	0.000358
17	0.000059	0.008532	0.997883
18	0.000029	0.000739	0.999800
19	0.990917	0.000663	0.001640
20	0.000002	0.000954	0.094575
21	0.000001	0.000205	0.991820
22	0.000015	0.003172	0.997044
23	0.997793	0.002840	0.000393
24	0.000005	0.000593	0.991821
25	0.000010	0.000786	0.992825
26	0.000011	0.000707	0.993322

Fig. 3 System prognosis data window

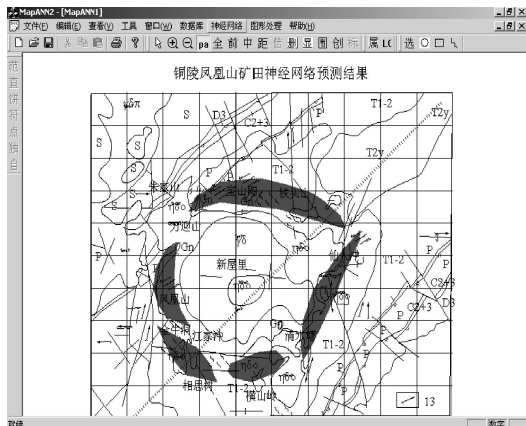


Fig. 4 ANN prognosis graphical window

从信息科学的角度出发, 结合当代成矿学和成

[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] 李双成, 郑高. 人工神经网络在地质研究中的应用进展[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 68 ~ 76
- [3] 张振飞, 高凤亮, 马智民. 基于 GIS 的单元簇遗传建模及其在区域矿产预测中的应用[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(3): 15 ~ 19
- [4] 李长江, 麻士华. 矿产勘查中的分形、混沌与 ANN[M]. 北京: 地质出版社, 1999
- [5] 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
- [6] Powell M J D. An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculation derivatives [J]. Computer J, 1964, (7): 155 ~ 162
- [7] Forbes S R, Burke R G, Varma H. Designing and building a CHS bathymetric data warehouse[J]. International Hydrographic Review, 1999, (2): 111 ~ 124.
- [8] 胡光道. 地质数据仓库设计中的几个问题[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999 24(5): 522 ~ 524.

Changsha, 410083, China; 2. Geography department, Yuxi Teacher's College, Yunnan Yuxi 653100, China)

Key words: geographic information system; artificial neural network; metallogenic prognosis; geological variable; excellent