

铜陵凤凰山铜矿区多源信息综合集成成矿预测模型探讨

毛政利¹, 刘之葵², 赖健清³, 杨 斌³

(1. 平顶山工学院 测绘与国土信息系, 河南 平顶山 467001;

2. 桂林工学院, 广西 桂林 541000; 3. 中南大学 地学与环境工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 在研究凤凰山铜矿区成矿地质背景和成矿作用过程的基础上, 运用历史分析和动力分析的综合分析方法, 结合现代成矿预测理论, 提取了本区多元地学信息综合集成的成矿预测信息, 并利用具有较强的非线性拟合功能的 BP 神经网络模型, 探讨建立了本区多元信息综合集成的成矿预测模型。

关键词: 多元信息综合集成; 历史- 动力分析方法; BP 神经网络; 成矿预测模型; 铜陵凤凰山铜矿

中图分类号: P612; P618. 41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-1412(2008)01-0058-04

区量化的多源信息综合集成的成矿预测模型。

0 引言

找矿模型是以先进的成矿理论为指导来收集、分析和研究与成矿作用有关的各类信息, 总结出最客观的认识、最主要的控矿因素、最有利的找矿标志而建立起来的, 它是理论与实践相结合的产物^[1], 因而在地球科学领域得到越来越广泛的应用。随着找矿难度的增大, 模型找矿得到了不断地发展与深化, 赵鹏大教授强调运用数学地质方法研究矿床的统计性找矿标志, 以建立统计找矿模型^[2]; 王世称教授从综合信息成矿分析出发, 建立综合信息找矿模型^[3]。综合信息找矿模型自从提出以来, 得到了不断的发展, 已成为理论上较成熟、方法较全面、实用性较强的矿产预测体系^[4,5], 它是以找矿信息为基础, 在已有的理论和概念指导下抽象出矿产资源体可能存在的控矿因素、找矿标志、找矿准则和矿化信息而建立起来的^[6,7]。本文试图在详细研究铜陵凤凰山铜矿区控矿因素、矿床的演化过程的基础上, 结合矿床形成与演化的历史- 动力学机制, 挖掘其中所包含的隐含信息, 运用成矿预测理论与方法, 探讨建立本地

1 建模意义

隐伏矿床的定位预测是现今成矿学和矿床学研究的前沿和热点, 也是成矿预测学的难点所在。特别是大比例尺隐伏矿体的预测, 是在具体的矿区范围内, 在系统地开展大比例尺综合地质测量基础上, 以现代成矿理论为指导, 对各种地质、物化探、遥感等资料进行综合分析, 提取找矿标志、矿化信息及控矿因素等, 建立预测找矿模型^[8], 它具有小尺度、高精度的特点^[9]。而对于隐伏矿体, 特别是埋深较大的隐伏矿体, 其在地表所探测到的信息已经弱化, 目前认为穿透力强的探测手段如物化探方法等又具有多解性。因此, 要使大比例尺隐伏矿体的定位预测达到小尺度、高精度的要求, 必须在仔细研究找矿标志信息的同时, 深入调查研究矿床的形成与定位机制, 不仅要进行深入的矿床学研究, 还要进行深入的成矿学、成矿动力学研究, 挖掘出对隐伏矿体定位预测有利的信息, 达到隐伏矿体定位预测效果。

凤凰山铜矿是铜陵有色金属公司的骨干企业之

收稿日期: 2006-04-26

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(编号: 2001BA609A-06)资助。

作者简介: 毛政利(1967-), 男, 湖南武冈人, 博士, 现主要从事地理信息系统教学与科研工作。E-mail: zhlmiao@163.com

一, 经过多年开采, 已经出现了资源危急, 寻找接替资源已迫在眉睫。因此, 高效而切实可行的成矿预测模型的建立将对凤凰山铜矿寻找接替资源具有一定的指导作用, 同时也是对大比例尺隐伏矿体定位预测的多源信息综合成矿预测模型在理论和方法上的尝试性拓展。

2 建模原理

模型建立是在详细、综合研究凤凰山铜矿区矿床学和成矿动力学基础上, 运用综合信息成矿预测思想, 对各种于成矿预测有利的找矿标志信息、成矿学和成矿动力学信息进行非线性综合集成。

自然界是普遍联系和变化发展的, 成矿作用过程也是这样, 它不是一个孤立的过程, 而是受多种因素相互联系、共同制约的复杂耦合作用过程; 矿床的形成与定位是在其自身发展过程中, 在外界条件作用下而形成与定位的。因此, 在成矿预测研究中, 要以辩证的观点, 不仅要研究矿床的形成与演化过程, 而且要研究其动力学机制, 以更深层次地揭示矿床定位机制, 获得有效的成矿预测信息。

凤凰山铜矿区已有的矿床大多数为夕卡岩型, 近年来发现了斑岩型矿体^[10]。区内矿床的形成主要是由中酸性岩浆活动所引起的, 其成矿物质来源主要来自岩浆, 有地层成矿物质的加入, 成矿流体为岩浆水和大气水的混合, 流体的运移受岩浆活动所提供的热能、构造应力场和构造扩容性所驱动, 矿体的定位与岩体、构造、围岩直接相关, 既受前印支期形成的 EW 向和 SN 向基底断裂构造的控制, 又受印支期和后印支期形成的 NE 和 NW 向盖层断裂构造控制, 是在近地表环境下岩浆- 地层- 构造- 流体- 温度场- 压力场等共同耦合作用的结果, 具有明显的多因复成特点。因此, 以递进成矿学理论为指导, 在综合研究矿区矿床学和成矿动力学基础上而建立起来的多源信息综合成矿预测模型对本矿区隐伏矿体的定位预测是切实可行的。

3 建模方法

3.1 成矿预测信息的提取

(1) 地质信息的提取。对大比例尺隐伏矿体定位预测而言, 利用先进的成矿理论深入地分析

研究矿床的形成与定位机制, 并从中挖掘出合理有效的预测信息是成功预测的关键。凤凰山铜矿床是多因复成矿床, 其主要的成矿期有两期: 早期的花岗闪长岩期和晚期的石英二长闪长岩期。花岗闪长岩是凤凰山岩体的主体岩性, 它是在燕山运动期间, 由于强大的分散式地幔蠕动的流的作用, 本区地幔隆起, 地壳处于拉张环境, 基底断裂得以活化, 熔融状态的花岗闪长岩质岩浆沿基底断裂上侵而引起的。据刘文灿等^[11]研究, 它是同构造气球膨胀式侵位的, 在侵位过程中, 由于对局域构造应力场的改变, 岩浆作用引起的高压流体的作用, 形成了复杂的脆- 韧性构造系统, 它们不仅与以前形成的构造共同构成了热液对流循环的通道, 而且为矿体的形成与定位提供了空间; 另一方面, 岩浆侵位过程中强大的热能使岩体周围成为热液活动中心, 岩体周围的大气水不断地把地层中的成矿元素析出, 并向岩体边缘汇聚, 与富含成矿元素的岩浆热液混合富集成矿。稍后不久发生了石英二长闪长岩浆活动, 这期岩浆活动也带来大量的成矿物质, 并形成热液对流循环; 所不同的是, 此时花岗闪长岩成为它的围岩之一, 在热液对流循环过程中其中的成矿元素也被析出并带至石英二长闪长岩边缘, 与岩浆热液共同组成成矿热液, 在构造薄弱地段(如先期形成的接触带夕卡岩型矿体赋存部位), 由于成矿热液产生的巨大压力而发生又一次爆裂作用, 流体压力得以释放, 金属硫化物结晶沉淀成矿。如果围岩是致密的夕卡岩或压性断层, 它们对成矿热液有一定的屏蔽作用, 随着石英二长闪长岩的结晶冷凝, 成矿溶液充填于岩体内微细裂隙中而形成斑岩型矿体。

根据上述分析, 提取石英二长闪长岩与围岩接触带、引张- 挤压转换体制下和岩体侵位过程中形成的脆性扩容断裂构造、花岗闪长岩体与围岩接触带、挤压体制下 NE 向褶皱- 冲断构造系统的 NW 向次级横向张性断层带、铁帽等作为本区隐伏矿体定位预测的地质信息。

(2) 地球物理信息的提取。根据有效性实验测量结果, 结合理论上的分析, 总结提取隐伏矿体定位预测的地球物理标志信息: 近矿的充电激电综合异常带、CSAMT 的低阻带、多频激电综合异常带等。

(3) 地球化学信息的提取。构造作用与地球化学作用是成矿作用过程中主要的动力学作用。在成矿断裂裂隙系统中, 成矿元素的运移比在块状岩石中的运移要容易得多, 因而通过研究成矿构造中的构造岩、蚀变岩和脉岩的地球化学特征可以捕捉到

深部隐伏矿体反映在地表的构造地球化学异常。对于块状岩石,根据前面的分析,凤凰山铜矿区的成矿作用主要是由岩浆活动所引起的,在成矿作用过程中成矿热液把周围岩石中的成矿元素析出并迁移富集于岩体边缘及其附近,同时,成矿热液中的成矿元素也向周围岩石扩散,这一作用过程势必使成矿元素在矿体外围形成较大的含量梯度。因此,可以提取成矿元素构造地球化学异常和含量梯度作为隐伏矿体成矿预测的地球化学信息。

(4) 成矿动力学信息的提取:成矿过程主要是构造动力学和流体动力学的作用过程。构造应力场是成矿流体迁移聚集的主要动力来源之一,构造应力场最大剪应力梯度越大,表示剪切作用强,容易产生有利矿体形成的裂隙。应变能降越大,岩石越易于破碎,释放的能量越多,成矿热液越易于沉淀成矿。成矿断裂构造系统的分维值是表征断裂构造复杂程度的参数,是构造活动多期性和复杂性的反映。越来越多的研究表明,断裂破碎过程具有随机自相似性,断裂的分布和几何形态具有明显的分形结构,分维值越高,越有利于矿床形成,矿床规模也越大^[12,13]。围岩蚀变是成矿热液与外界发生物质交换的具体体现,这种交换破坏了成矿热液的平衡,促使成矿物质沉淀成矿。结合凤凰山铜矿区的具体情况,提取以下的成矿动力学预测信息:构造应力场最大剪应力梯度、构造应力场应变能降、断裂构造系统分维值、特征围岩蚀变等。

3.2 基于BP神经网络的信息数据融合

由上述分析可知,凤凰山铜矿区成矿作用是岩浆、地层、构造、流体、温度场、压力场等耦合作用的过程,很难用某几个变量的线性函数关系来描述,是一个非线性耦合作用过程。因此,可选用BP神经网络模型来对成矿预测的多元地学信息数据进行融合。

神经网络是一种人工智能,它提供了一种非线性静态映射,能以任意精度逼近任意给定的非线性关系,能够学习和适应未知不确定系统的动态特征,并将其隐含存储于网络内部的连接权中,需要时可通过信号的前馈处理,再现系统的动态特征。多层前馈网络由输入层、输出层和至少一个隐含层组成,各层包含一个或多个神经元,相邻两层神经元之间通过可调权值连接,其信息由输入层依次向隐含层传递,直至输出层。每个神经元以加权的形式综合它的全部或部分输出,并根据非线性激活函数的形状产生相应的输出。BP算法是基于多层前馈网络

模型的一种有导师的学习算法,它包含正向传播和反向传播两个过程。在正向传播过程中,样本从输入层经过隐含单元层层处理,各层神经元的输出仅对下一层神经元的状态产生影响,直至输出层。若网络输出与其期望输出之间存在偏差,则进入反向传播过程。反向传播时,误差信号由原正向传播途径反向回转,并按误差函数的负梯度方向,对各层神经元的权系数进行修正,最终使期望的误差函数趋向最小^[14]。其正向传播数学模型为:

$$\begin{cases} y_i^l = \sigma(x_i^l) \\ x_i^l = \sum_{j=1}^{N_{l-1}} w_{ij}^l y_j^{l-1} + \theta_i^l \quad (l = 1, 2, 3 \dots L) \end{cases}$$

式中, y_i^l 为第 l 层第 i 个节点的输出值; x_i^l 为第 l 层第 i 个节点的激活值; w_{ij}^l 为第 $l-1$ 层第 j 个节点到第 l 层第 i 个节点的连接权值; θ_i^l 为第 l 层第 i 个节点的阈值; N_l 为第 l 层节点数; L 为总层数; $\sigma(\)$ 为神经元激活函数,一般取 $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ 。

反向传播数学模型为:

$$\begin{cases} \delta_i^l(k) = y_i^l(k) - y_{di}(k) & (l = L) \\ \delta_i^l(k) = \sum_{j=1}^{N_{l+1}} \delta_j^{l+1}(k) \sigma'(x_i^{l+1}(k)) w_{ij}^{l+1}(k) & (l = 1, 2 \dots L-1) \end{cases}$$

式中, $y_i^l(k)$ 为第 l 层第 i 个节点第 k 次实际输出值; $y_{di}(k)$ 为期望输出值。

权值修正: $w_{ij}^l(k+1) = w_{ij}^l(k) - \eta \delta_i^l(k) \sigma'(x_i^l)$

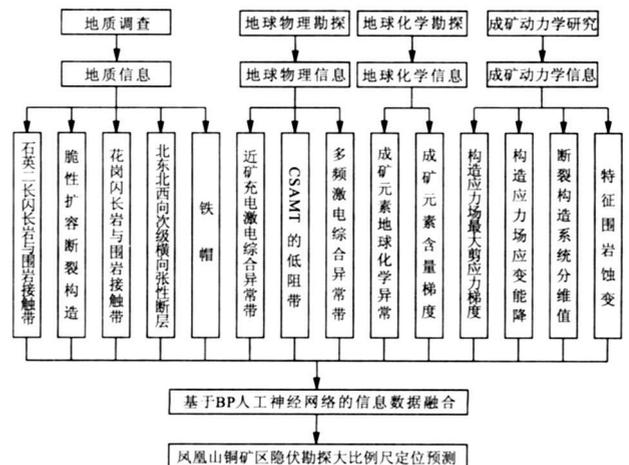


图1 凤凰山铜矿区多源信息综合集成成矿预测模型

Fig.1 The metallogenic prediction model of synthetically integrated multiple informations in Fenghuangshan ore district, Tongling

$$(k) y_j^{l-1}(k) + \alpha \Delta w_{ij}^l(k)$$

式中, α 为动量因子; η 为学习率; $\Delta w_{ij}^l(k) = w_{ij}^l(k-1) - w_{ij}^l(k-2)$

在实际应用中, 用一个仅含 1 个隐含层的前馈网络模型就能以任意精度逼近任意非线性函数^[15-17]。因此, 凤凰山铜矿区可选用一个 3 层 (即含 1 个隐含层) 的 BP 人工神经网络模型来融合多元地学信息数据。

综上所述, 铜陵凤凰山铜矿区多源信息综合集成成矿预测模型如图 1。

参考文献:

- [1] 彭省临, 邵拥军. 隐伏矿体定位预测研究现状及发展趋势[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(3): 329-334.
- [2] 赵鹏大. 矿床统计预测[M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [3] 王世称. 综合信息矿产定量预测[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1985.
- [4] 王世称, 范继璋, 杨永华. 矿产资源评价[M]. 长春: 吉林科技出版社, 1990.
- [5] 王世称, 陈永良, 夏立显. 综合信息矿产预测理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [6] 刘亮明, 王志强, 彭省临, 等. 综合信息论在储量危急矿山深边

部找矿中的应用——以铜陵凤凰山铜矿为例[J]. 地质科学, 2002, 37(4): 444-452.

- [7] 肖克炎. 试论综合找矿模型[J]. 地质与勘探, 1994, 30(1): 41-45.
- [8] 肖克炎, 赵鹏大. 试论大比例尺成矿预测的基本问题及研究途径[J]. 有色金属矿产与勘探, 1994, 3(1): 49-56.
- [9] 张均. 高精度预测模型及其构建方法——以脉状金矿为例[J]. 高校地质学报, 2000, 6(1): 64-71.
- [10] 彭省临, 邵拥军, 刘亮明. 安徽铜陵凤凰山铜矿矿床成因新认识[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 443-446.
- [11] 刘文灿, 高德臻, 储国正. 安徽铜陵地区构造变形分析及成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 1-133.
- [12] 金章东, 卢新卫, 张传林. 江西德兴斑岩铜矿田断裂分形研究[J]. 地质论评, 1998, 44(1): 57-62.
- [13] 张拴宏, 周显强. 断裂系统分形研究新进展[J]. 桂林工学院学报, 2000, 20(1): 84-88.
- [14] 何玉彬, 李新忠. 神经网络控制技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1-121.
- [15] Cybenko G. Approximation by Superpositions of A Sigmoidal Function[J]. Math. Contr. Signal Sys., 1989, 2(4): 303-314.
- [16] Funahashi K I. On The Approximate Realization of Continuous Mapping by Neural Networks[M]. Intel. Conf. NN, 1989.
- [17] Hornik K. Approximation Capabilities of Multilayer Feedforward Network[J]. Neural Networks, 1991, 4(2): 251-257.

DISCUSSION ON THE METALLOGENIC PREDICTION MODEL OF SYNTHETIC INTEGRATED MULTIPLE INFORMATION IN FENGHUANGSHAN ORE DISTRICT, TONGLING

MAO Zheng-li¹, LIU Zhi-kui², LAI Jian-qing³, YANG Bin³

(1. Department of Survey & Land information, Pingdingshan Institute of Technology, Pingdingshan, 467001, Henan, China; 2. Guilin university of Technology, Guilin 541000 Guangxi, China; 3. College of Geoscience & Environment Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Based on the detail studies of geological settings and processes of metallogeny in Fenhuangshan ore district, combined with modern theories of metallogenic prediction, the informations of metallogenic prediction of synthetic integrated multiple geoscience informations have been extracted by using the synthetic and historic and dynamic analysis. The model of metallogenic prediction of synthetic integrated multiple information in the district has been discussed and constructed with taking advantage of the BP artificial neural network, which has strong fitting function of nonlinear.

Key Words: synthetic integrated multiple information; historic and dynamic analysis; BP artificial neural network; the model of metallogenic prediction; Fenhuangshan of Tongling