

466-470

TD 163.1

矿井构造的 GMDH-BP 评价预测方法及其应用*

夏玉成

胡明星

陈练武

(西安矿业学院) (中国矿业大学) (西安矿业学院)

摘要 将自组织建模技术 (GMDH) 与 BP 人工神经网络结合, 能克服现行矿井构造复杂程度评价预测方法的缺陷, 步骤简便易行, 结果更为可靠。应用这种方法, 具体划分出霍州矿区辛置井田不同地段的构造相对复杂程度等级, 经验证, 评价准确率达 90% 以上。

关键词 自组织建模, BP 网络, 矿井构造, 评价预测, 煤矿

中图分类号 TD 163

矿井地质构造是制约我国大部分煤矿综合机械化采煤和一般采煤工作面高产、高效的最主要因素之一。80 年代以来, 国内外学者做了大量工作, 先后提出许多矿井构造的定量评价预测方法。其中, 将灰色系统理论与模糊数学相结合^[1]产生的矿井构造模糊综合评判法^[2], 得到我国构造地质和矿井地质界权威人士的极高评价。

在参与设计和应用模糊综合评判法的过程中, 笔者逐步认识到, 这种方法尚存在一些值得进一步改进的地方。经过几年的探索, 在此提出一种新的矿井构造评价预测方法, 即 GMDH-BP 方法。

GMDH-BP 方法在探采对比基础上, 主要根据勘探资料确定和统计评价指标, 更有利于对未采区进行构造预测, 有较强的实用性和可行性; 除准备原始数据外, 整个评价预测工作可由计算机自动完成, 因而能最大限度地克服人为因素的干扰, 使评价结果具有客观性; 程序运行模仿地质专家进行构造评价时的思维、推理过程, 容错能力强, 具有较强的适应性和较高的可靠性。

1 GMDH-BP 法的基本原理

1.1 自组织建模技术

首先由自变量 x_1, x_2, \dots, x_m 组成变量对 (x_i, x_j) , 计算每一对自变量 (x_i, x_j) 与因变量 y 的回归方程, 即 $y_k = A + Bx_i + Cx_j + Dx_i^2 + Ex_j^2 + Fx_ix_j$ ($i, j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, C_m^2$)。用一个判据对每一个回归方程的拟合效果进行评估, 选出其中最佳者保留下来, 于是得到一组 (假设为 m_1 个) 对 y 进行最佳估计的二次回归方程; 利用这组回归方程生成第二代输入变量的观测值, 代替 x_1, x_2, \dots, x_m ; 计算 y 对这些新的输入变量的二次回归方程, 将得到新的一组 $m_1(m_1 - 1)/2$ 个用新的输入变量估计 y 的回归方程, 本质上是一组 4 个变量的四次多项式; 选择这些方程中的最优者, 生成第三代输入变量来代替第二代, 并用第三代输入变量逐对组合构造下一代的二次回归方程, ……; 继续这一过程, 直到回归方程开始比上一代回归方程的拟合能力有所下降为止; 挑出最后一代的二次多项式中最好的一个, 用来对 y 进行估计^[3]。

收稿日期: 1996-12-30

* 煤炭工业部资助项目 (93-338) 部分内容

GMDH 是一种“自组织”的高阶非线性回归建模方法, 与一般的回归分析不同, GMDH 方法中最终回归模型的幂次及其所包含的原始自变量是根据实际数据和判据客观、自动地确定的, 而不需要事先人为地作出某种假设。

1.2 BP 人工神经网络

BP 网络是人工神经网络中运用较为广泛的一种。其网络结构为前馈式, 输入输出变换函数采用非线性单调上升函数, 联结权的学习算法采用 δ 学习律。

用于评价预测的 BP 人工神经网络设计为具有 1 个输入层、1 个隐层和 1 个输出层的 3 层网络结构 (图 1)。

首先用很小的随机数对网络的权值和阈值初始化; 从网络输入节点输入第一个学习样本信息; 在隐节点和输出节点处, 传播信号都经过函数 $f(x) = 1/(1 + e^x)$ 作用, 在隐节点和输出节点输出结果; 根据期望输出, 计算出输出节点和隐节点的误差, 改正输出节点和隐节点的权值和阈值。将 M 个样本依次输入 BP 网络进行上述学习过程。待全部样本学习一遍后, 计算其均方差 E , 若 E 小于预先设定的精度参数 ε , 则学习结束, 并输出调整后的网络权值和阈值, 否则继续学习, 直到满足 $E < \varepsilon$ 为止^[4]。

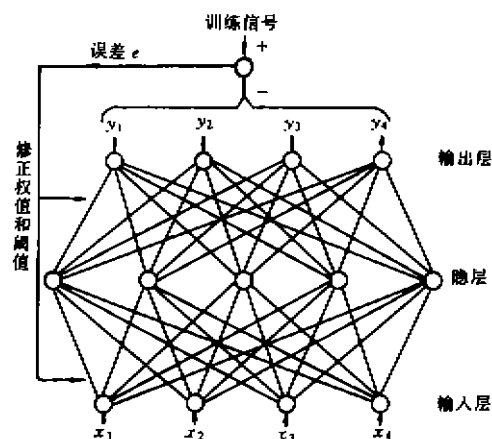


图 1 网络结构及网络训练

Fig.1 Structure and training of network

2 GMDH-BP 法的主要步骤

(1) 在深入、全面地分析矿井构造发育规律及其影响因素的基础上, 筛选出评价指标。要注意选取那些比较容易获取的指标, 兼顾开采指标 (指只能在已采区获得数据的指标) 和勘探指标, 并通过有效方法挑选出少数几个主要指标构成评价因素集。

(2) 划分评价单元, 统计指标数据。以主采煤层底板等高线图为基础, 根据构造和资料点的分布及预测精度选取一定线距, 将研究区划分成若干个正方形网格 (单元)。指标数据的统计可采用单元统计法, 也可采用滑动窗口统计法。

(3) 在某些单元无法直接统计出指标数据时, 根据资料点的空间分布, 排出评价指标的拟时间数据序列, 从中选择最长者, 用 GMDH 方法预测其中所缺数据。

(4) 根据矿井构造实际, 划分矿井构造相对复杂程度等级, 构成评语集。

(5) 设计 BP 网络结构, 并通过自学习过程训练网络权值和阈值。

(6) 将已采区和未采区各单元评价指标数据依次分别输入 BP 网络, 得到各单元构造复杂程度等级的评价预测结果。

3 应用实例

辛置井田位于山西霍州矿区, 建矿开采已有 30 多年历史, 已采区面积大, 地质资料记录较为完整, 便于开展探采对比及构造评价效果验证。

3.1 评价指标

(1) 岩性组合参数 E 。指煤层与其顶、底板的岩石组合类型, 规定如下: 强岩层-煤层-弱岩层组

合, 参数值 $E=1$; 弱、强岩层互层-煤层-强岩层组合, $E=2$; 弱岩层-煤层-强岩层组合, $E=3$; 弱岩层-煤层-弱岩层组合, $E=4$ 。其中, 强岩层包括粗、中、细粒砂岩及石灰岩, 弱岩层包括粉砂岩、砂页岩、泥岩等。

(2) 弱岩层影响系数 K 。指煤层顶面以上 30 m 内所有弱岩层的真厚度 δ 与其到煤层底板间垂直距离 d 的比值之和, 即 $K = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{d_i}$ 。

(3) 主采煤层底板标高 h 。

(4) 构造剩余值 F 。指煤层底板标高的趋势值与实测值之差。

所以, 因素集 $U = \{E, K, h, F\}$ 。

3.2 构造等级划分

将霍州矿区的构造相对复杂程度划分为较简单 (I)、较复杂 (II)、复杂 (III)、极复杂 (IV) 4 个等级。评语集 $V = \{I, II, III, IV\}$ 。

3.3 BP 网络设计

BP 网络由 3 层神经元构成 (图 1)。根据因素集, 输入层含 4 个输入节点 (神经元), 分别对应 E, K, h, F 评价指标; 根据评语集, 输出层也含 4 个神经元, 分别对应 I ~ IV 等级。假设某个单元的构造复杂程度等级为 III, 即构造复杂, 则其期望输出值应为 (0, 0, 1, 0)。

3.4 BP 网络训练

将辛置井田 2 号煤层底板等高线图按 500 m 线距划分为 68 个正方形网格, 分别统计每个单元中的 E, K, h, F 。当某些单元的某个评价指标无法直接统计时, 利用 GMDH 技术进行估计, 获得全部单元的各个指标后, 将它们按指标分别排序, 并用最优分割方法划分成 4 段, 分别对应 I ~ IV 构造等级, 见表 1 所示。

表 1 构造等级对应的指标取值范围
Table 1 Range of indices corresponding to structure grades

评价指标	构造等级			
	I	II	III	IV
h	≤ 466.2	$> 466.2 \sim 496.5$	$> 496.5 \sim 541.8$	> 541.8
K	≤ 0.80	$> 0.80 \sim 1.90$	$> 1.90 \sim 2.59$	> 2.59
F	≤ 10.2	$> 10.2 \sim 22.1$	$> 22.1 \sim 39.9$	> 39.9
E	1	2	3	4

为加速网络的收敛速度, 要在各指标段的取值范围内抽取大量样本, 将各样本从输入节点输入, 其所对应的构造等级作为期望输出, 进行网络权值和阈值的训练, 从而获得实用网络。

3.5 综合评价和预测

将井田内各单元的评价指标数据依次输入训练好的 BP 网络, 很快就可获得对已采区各单元构造相对复杂程度等级的评价值及未采区各单元构造等级的预测值。图 2 是对辛置井田矿井构造的评价预测结果, 经过与已采区实际情况对比验证, 准确率达 90% 以上。

4 结 论

(1) 自组织建模技术完全依赖实际数据客观地建立指标估计模型, 对原始数据的统计分布形式无任何限制, 十分适合地质指标的预测。

(2) BP 网络可模仿地质专家进行矿井构造评价预测时的思维、推理过程, 同时最大限度地避免人

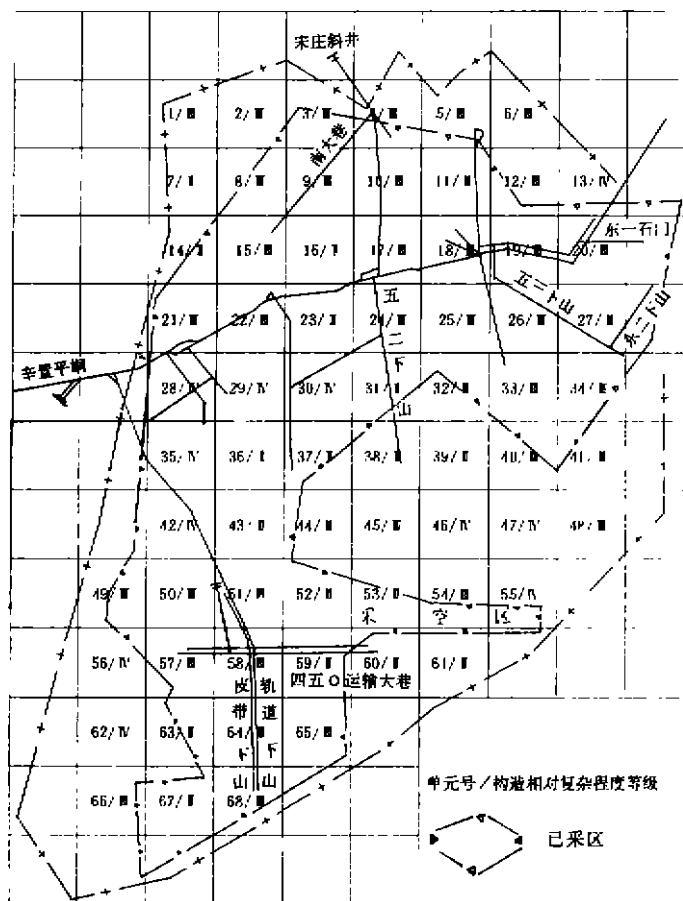


图2 辛置井田构造评价预测

Fig.2 Evaluation and prediction of structures in Xinzi Coal Mine

为因素的干扰,可靠性高。

(3) 霍州矿区辛置井田无 I 级单元, III, IV 级单元共占单元总数的 64.7%。这说明, 该井田在霍州矿区内的构造比较复杂。在井田东、西两侧有 IV 级单元出现, 在布置工作面、确定采煤方法时应予以注意。

本课题研究得到霍州矿务局有关领导和辛置矿地测科同行们的大力支持, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 夏玉成, 徐凤银. 灰色关联分析在模糊综合评判中的应用. 西安矿业学院学报, 1991 (1): 44~49
- 2 徐凤银, 龙荣生, 夏玉成等. 矿井地质构造定量评价及其预测. 煤炭学报, 1991 (4): 85~94
- 3 黄建平. 理论气候模式. 北京: 气象出版社, 1992
- 4 史忠植. 神经计算. 北京: 电子工业出版社, 1993

作者简介

夏玉成,男,副教授。1984年毕业于西安矿业学院地质系,获硕士学位,现任西安矿业学院地质系主任。从事构造地质与计算机地质学的教学和科研工作。曾在《中国煤田地质》、《中国数学地质》、《西北地质》等刊物发表论文30篇。主编出版《中国区域地质学》、《构造控煤概论》等专著、教材4本。陕西省西安市西安矿业学院地质系,邮政编码:710054。

胡明星,男,1996年于西安矿业学院研究生毕业。现在中国矿业大学攻读GIS方向博士学位。江苏省徐州市中国矿业大学采矿系,邮政编码:221008。

GMDH-BP METHOD AND ITS APPLICATION IN EVALUATION AND PREDICTION OF MINE STRUCTURE

Xia Yucheng

Hu Mingxing

Chen Lianwu

(Xi'an Mining Institute) (China University of Mining and Technology) (Xi'an Mining Institute)

Abstract BP artificial neural network combined with GMDH self-organized modeling is a more simple and reliable way than the current method used in evaluation and prediction of complexity degree of mine structure. The relative complexity degrees of the structures developing in various sections of Xinzhi Coal Mine in Huozhou Mining Area were determined by this method, and the degree of accuracy more than 90 % was verified.

Keywords self-organized modeling, BP network, mine structure, evaluation and prediction



欢迎订阅

《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》

《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》是中国煤炭学会主办的刊物，是向国内外公开发行的英文版煤炭科学技术方面的综合性学术刊物。

《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》是向世界传播我国煤炭科技的重要媒体,对加强中外科学技术交流,宣传我国煤炭科技成就,提高我国煤炭科学技术的国际地位将起到重要的作用。及时报道我国煤炭科技新理论、新技术、新经验也是本刊的主要任务。

《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》是半年刊, 每年6月份和12月份出版。每册国内订价20元, 全年共收费40元。现已开始办理1998年订阅手续, 订阅者可直接向本编辑部联系, 订单函索即寄。

本刊地址：北京市和平里煤炭科学研究总院内《煤炭学报》编辑部。

邮政编码: 100013. 电话: (010) 64214931—2264.