

粒子群算法在煤与瓦斯突出危险预测中的应用

万 宇,齐金平

(兰州交通大学,兰州 730070)

摘 要:煤与瓦斯突出危险是影响煤矿生产安全的一个重大问题,为了解决危险预测的问题,将反映煤与瓦斯突出的六个指标:垂深、倾角、巷道类型、煤层厚度、地质构造和作业方式作为输入层参数,使用 BP 神经网络与粒子群算法结合建立模型,导入数据到 Matlab 中进行模拟仿真,将预测结果与实际情况相对比。结果表明:粒子群算法结合神经网络对预测煤与瓦斯突出危险是有效的,相较于传统预测方法,其预测的速度、精度都有所提升,可以将该算法应用到突出危险预测当中。

关键词:神经网络; Matlab 编程; 特征指标; 粒子群算法

中图分类号:TD76

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of Particle Swarm Optimization in Risk Prediction of Coal and Gas Outburst

WAN Yu, QI Jinping

(Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Coal and gas outburst is one of major issues threatening the safety of coal mine production. In order to realize risk prediction, we chose six indicators of coal and gas outburst as input parameters, including vertical depth, dip angle, roadway type, coal seam thickness, geological structure and operation mode. A model was established based on BP neural network and particle swarm optimization (PSO). The data were imported into Matlab for simulation and then the predicted results were compared to the actual situation. The results showed that the combination of particle swarm optimization and neural network was effective in the prediction. Compared with the traditional methods, its prediction speed and accuracy have been improved and the algorithm could be used in the prediction of the coal and gas outburst.

Key words: neural network; Matlab; characteristic index; particle swarm optimization

中国煤矿开采规模不断增大,开采的深度不断增加,近年来,我国的矿难发生起数和死亡人数虽然连续下降,但是相对于世界平均水平仍然居高不下^[1]。鉴于这种趋势,必须对灾害进行有效的预防和控制,预防和控制的关键在于预测,因此,试验可靠的预测方法已成为优先事项。煤与瓦斯突出是一种非常复杂的动力现象^[2-6],关于它的起源,人们做

了很多研究,一些假设认为,瓦斯突出是由气体,环境压力或其他因素导致的^[7-8]。综合作用假说认为突出是瓦斯、地应力等多种因素共同作用的结果^[9],相比其他单因素假说更具说服力。本文结合主流的综合作用假说,根据实际情况选取六个重要的指标,采用 BP 神经网络进行建模,预测突出危险。

* 收稿日期:2019-07-02

基金项目:国家自然科学基金项目(71861021);甘肃省高等学校科研项目(2018A-026);甘肃省重点研发项目(17YF1FA122)

作者简介:万宇(1996-),男,安徽合肥人,硕士,研究方向:检测技术与自动化装置。

1 预测指标集的建立

本文选择综合作用假说作为预测突出危险的依据,综合考虑到地理位置、主控因素及获取数据的难度,选取垂深、倾角、巷道类型、煤层厚度、地质构造和作业方式六个指标作为影响突出的指标。

巷道类型分为平巷和斜巷,反应了在具备突出发生的可能性基础上,哪种巷道更危险,更容易产生突出。垂深的大小一方面代表着开采地点的应力状况,一方面代表了瓦斯的储存情况,一般认为垂深越深瓦斯含量越丰富,也更容易产生突出危险。一定的煤层厚度也是突出发生的必备条件,因煤层渗透性较差,厚煤层的分层会阻止瓦斯逸散,形成瓦斯分层,增加突出发生可能性。断层倾角一般在 10° 到 60° 之间,角度的不同对突出风险的影响各不相同。不同的地质构造会影响煤层的力学性质以及透气性等^[10],本文主要将其分为断层、褶曲、褶曲轴、倾角变陡区。不同的作业方式也会影响突出,不同操作情况下的地下应力状态有很大区别,是诱导不同突出的重要原因,本文将作业方式分为打钻、手镐、放炮、未知方式四种^[11]。

2 算法分析

BP 神经网络是神经网络中使用最广泛的一种,由 Rumelhart 和 Mc Clelland 于 1986 年提出,它是一种模拟生物思考模式对数据记忆归纳推理的非线性信息处理系统^[12]。网络中信号会通过一个带有权重的传递,神经元相加信号与阈值比对后通过一个激活函数输出继续传递到下一个神经元,如此形成正向传播。在 BP 神经网络训练的过程中,反应其学习过程的实质是反向传播。网络传播的误差信号沿着原来的路径逆向传递,计算所有权值的损失函数梯度,在这个过程中重新调节权重、阈值,经过不断的重复训练,网络收敛精度或迭代次数达到预设的要求^[13-14],可以得到满意的网络参数。网络模型如图 1 所示。

在应对非线性问题时,问题的影响因素众多,具有不确定性,神经网络可以考虑不同因素对问题的影响,它拥有强大的自我学习能力并且具有普适性,但是也有一些缺点,比如收敛速度和局部最优等问题。为了提高危险预测的准确性,本文将粒子群算法添加到神经网络权阈值初始化的过程中,使其得到优化。粒子群算法是 1995 年由肯尼迪和伊博哈特提出的并行群体智能算法,其原理简单,执行也并

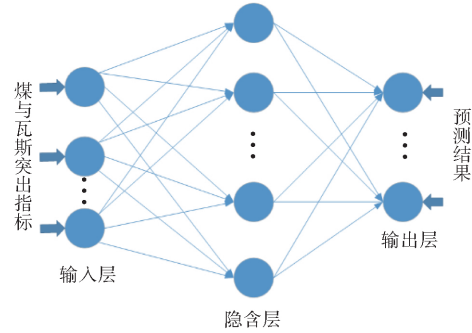


图 1 煤与瓦斯突出 BP 神经网络预测模型
Fig. 1 BP Neural Network Prediction
Model of Coal and Gas Outburst

不复杂。该算法起源于观察鸟类集群行为,受到它们捕食行为的启发,然后建立了一个简单化模型,通过分享团队中个人的信息,可以获得使整个系统从混乱状态到有序状态的最佳解决方案。运算过程与遗传算法有相似的地方,例如都是将系统转化为一系列随机解,然后通过迭代过程找到最优方案。但是相对遗传算法也有一些不同的地方,例如它没有交叉和突变的复杂操作,所以更方便编程。粒子群算法以当前搜索的最优值与历史最优值比较以获取全局最优值,具有存储特性,同时存储了最优的个体和整体信息。该算法以其简洁、精度高受到人们的关注,不仅如此,它还具有普遍适用性,例如在函数优化、提高神经网络学习等方面均有不错的表现。

假设在一个 D 维度的目标搜索空间有 M 个粒子组成一个群体,每个粒子有两个属性,速度和位置, $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iD})$, 代表粒子飞行过程中第 i 个粒子的位置,也是 D 维空间中优化问题的一个可能解决方案,将 X_i 代入适应度函数可以得到一个数值,以适应度来评价位置的优劣程度; $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, \dots, v_{iD})$, 代表粒子 i 的飞行速度; $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, p_{i3}, \dots, p_{iD})$, 代表第 i 个粒子个体所到达过的最佳位置,也是在寻优过程中离目标函数最优解最近的位置; $P_g = (p_{g1}, p_{g2}, p_{g3}, \dots, p_{gD})$, 代表整个群体中所有粒子到达过的最佳位置,相当于个体最优数值中的最优。粒子群算法的速度和位置更新公式为:

$$v_{id}^{k+1} = v_{id}^k + c_1 r_1 (p_{id}^k - x_{id}^k) + p_{gd}^k - x_{id}^k \quad (1)$$

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (2)$$

式中: k 为迭代的次数; i 为粒子编号, $i=1, 2, 3, \dots, M$; d 为维度编号, $d=1, 2, 3, \dots, D$; c_1, c_2 为加速常数,取值为非负常数; r_1, r_2 为 $[0, 1]$ 范围内的随机数。

在更新位置和速度时,粒子的飞行范围可能过大,因此需要设置界限 x_{max} 和 v_{max} 。若粒子 i 在 d 维上的飞行位置或速度超出预设的界限值,则将其大

小调整为该界限值。

基于粒子群算法优化神经网络权阈值的算法流程图见图 2。

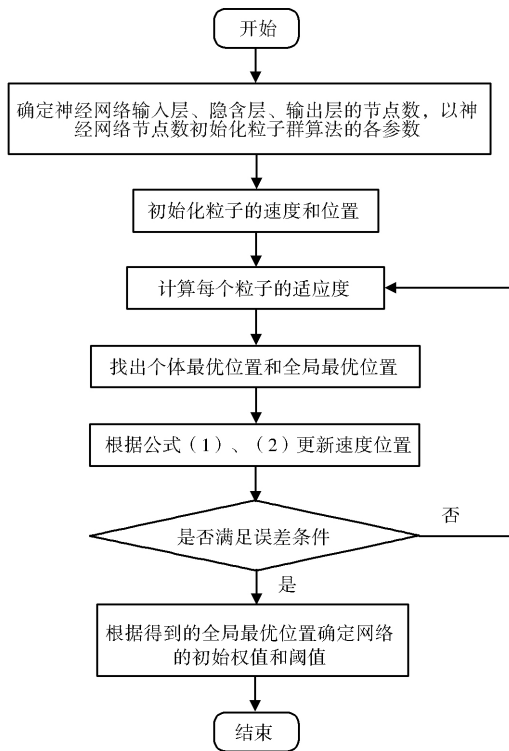


图 2 算法流程图

Fig.2 Algorithm flow chart

3 实例分析

Kolmogorov 映射神经网络存在定理表明,任何连续函数、映射都可以通过三层网络精确实现。因此,本文模型设计采用三层 BP 神经网络,输入层有 6 个神经元,对应表 1 以及上文所述的预测指标。确定隐层神经元数目的方法有许多,本文选择隐层神经元数利用 $s=2n+1$ (n 为输入层结点数) 确定,最终选择为 13 个。为表示突出的发生与不发生,这里用 $[1,0]$ 和 $[0,1]$ 表示,因此输出层神经元确定为 2 个。为了方便计算,需要对非量化指标进行编码,具体编码规则如表 1 所示。表 1 数据来源于网络,是历史上发生突出现象的地点及未发生的地点共 23 个^[15]。应用本文建立的危险性预测模型,用包含突出和非突出地点的前 18 组数据作为网络的学习样本,然后对后 5 组实测数据进行模拟预测,比较预测结果与实际结果来确定该网络模型的可行性。

模型的建立和参数设置均在 Matlab2014 中完成,网络性能函数值设为 1×10^{-5} ,训练次数设置为 2 000 次,学习率为 0.2,隐含层及输出层的传递函数分别为 tansig、logsig,训练函数为 traingd。函数网络输出 $0 \sim 0.4999$ 时可视为 0; $0.5000 \sim 1.0000$ 时可视为 1。图 3 为梯度随训练次数的变化曲线,实际结果与预测结果的对比如表 2 所示。通过数据对比可以得出,神经网络对有无突出危险的判断与现场实际情况基本吻合。

表 1 预测指标集

Table 1 Prediction Indicator Set

序号	巷道类型	垂深/m	煤层厚度/m	倾角/(°)	地质构造	作业方式	实际结果
1	斜巷 0	544.5	6.5	40	褶皱 1	未知 0	1 0
2	斜巷 0	842.2	4.0	26	褶皱 1	放炮 1	1 0
3	斜巷 0	733.6	5.5	50	倾角变陡区 3	放炮 1	1 0
4	平巷 1	875.7	2.5	15	断层 2	放炮 1	1 0
5	平巷 1	987.5	2.9	35	断层 2	放炮 1	0 1
6	平巷 1	710.4	1.8	27	断层 2	放炮 1	1 0
7	斜巷 0	807.8	3.0	35	褶皱 1	放炮 1	1 0
8	斜巷 0	716.5	8.0	55	倾角变陡区 3	放炮 1	1 0
9	斜巷 0	1 021.2	10.3	24	断层 2	放炮 1	0 1
10	平巷 1	790.1	3.5	40	褶皱 1	放炮 1	1 0
11	斜巷 0	811.3	3.0	45	倾角变陡区 3	未知 0	1 0
12	斜巷 0	969.1	5.2	25	断层 2	打钻 2	1 0
13	斜巷 0	979.2	2.6	28	褶皱 1	打钻 2	0 1
14	斜巷 0	812.9	4.25	53	倾角变陡区 3	手稿 3	1 0
15	平巷 1	959.0	3.0	35	褶皱轴 4	打钻 2	1 0
16	平巷 1	990.2	2.8	29	断层 2	手稿 3	0 1
17	平巷 1	1 052.3	5.2	25	褶皱轴 4	打钻 2	1 0
18	斜巷 0	919.0	3.0	25	褶皱轴 4	放炮 1	1 0
19	斜巷 0	788.4	5.45	55	倾角变陡区 3	手稿 3	1 0
20	平巷 1	787.0	3.4	20	断层 2	放炮 1	1 0

序号	巷道类型	垂深/m	煤层厚度/m	倾角/(°)	地质构造	作业方式	实际结果
21	平巷 1	992.8	2.4	30	断层 2	手稿 3	0 1
22	平巷 1	959.4	12.2	23	褶曲轴 4	打钻 2	1 0
23	斜巷 0	1 046.8	9.8	20	断层 2	放炮 1	0 1

表 2 结果对比

Table2 Result comparison		19	20	21	22	23
序号		19	20	21	22	23
实际结果		1	1	0	1	0
		0	0	1	0	1
预测结果		0.998 5	0.999 7	0.250 5	0.942 5	0.143 1
		0.300 1	0.200 0	0.835 3	0.206 2	0.999 4

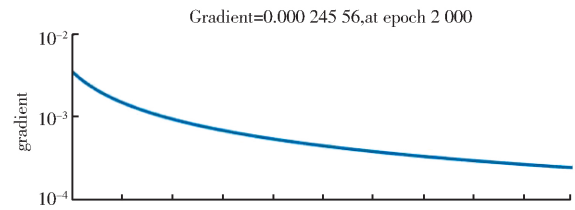


图 3 梯度变化曲线

Fig. 3 Gradient curve

4 结束语

本文将粒子群算法与 BP 神经网络结合建立模型对煤与瓦斯突出危险性进行了模拟预测,分析表明这种方法对煤与瓦斯突出危险性预测是有效的,相比传统的单指标预测方法进一步增加了突出预测

的准确性,为减少煤矿安全维护工作的资源消耗提供支持。由于地理位置的不同,影响各个矿井突出危险的主控因素不一定相同,根据实际情况,可以调整预测指标集使网络模型更加符合特定的环境,再使用本文介绍的方法建模,使矿井突出预测工作更加合理准确。

参考文献:

- [1] 何志慧. 我国公共政策执行的异化及其治理——以煤矿安全生产政策为例[D]. 海口:海南大学,2010.
- [2] 程五一,张序明,吴福昌. 煤与瓦斯突出区域预测理论及技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2005.
- [3] LI S,WANG Q J,LUAN Q L. Development of Regional Prediction Information System of Coal and Gas Outburst[J]. Journal of Coal Science & Engineering(China),2006(1):79-81.
- [4] Hudecek V. Analysis of Safety Precautions for Coal and Gas Outburst-hazardous Strata[J]. Journal of Mining Science,2008,44(5):464-472.
- [5] 马雷哈夫,魏风清,等. 煤瓦斯突出预测方法和防治措施[M]. 北京:煤炭工业出版社,2003.
- [6] 张超林,许江,彭守建,等. 煤与瓦斯突出物理模拟试验研究进展及展望[J]. 煤田地质与勘探,2018(4):1-8.
ZHANG Chaolin,XU Jiang,PENG Shoujian,et al. Research Progress and Prospect of Physical Simulation Test of Coal and Gas Outburst [J]. Coalfield Geology and Exploration,2018(4):1-8.
- [7] 于不凡. 煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,2005.
- [8] 张建铭. 煤与瓦斯突出防治技术手册[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2006.
- [9] 张九零. 马家沟矿深部水平石门揭煤煤与瓦斯突出预测研究[D]. 唐山:河北理工大学,2005.
- [10] 李明亮. 地质构造对煤矿安全生产的影响[J]. 内蒙古煤炭经济,2017(8):24-25.
LI Mingliang. The Influence of Geological Structure on Coal Mine Safety [J]. Inner Mongolia Coal Economy,2017 (8):24-25.
- [11] 曾建治,刘志文. 作业方式与(煤与瓦斯)突出的关系探讨[J]. 煤,2011,20(2):42-43,50.
ZENG Jianzhi,LIU Zhiwen. Discussion On the Relationship Between Operation Mode and Outburst [J]. Coal,2011,20(2):42-43,50.
- [12] 赵呈领,陈智慧,黄志芳. 适应性学习路径推荐算法及应用研究[J]. 中国电化教育,2015(8):85-91.
ZHAO Chengliang,CHEN ZhiHui,HUANG Zhifang. Adaptive Learning Path Recommendation Algorithms and Application Research [J]. China Audiovisual Education,2015(8):85-91.
- [13] 李东,周可法,孙卫东,等. BP 神经网络和 SVM 在矿山环境评价中的应用分析[J]. 干旱区地理,2015,38(1):128-134.
LI Dong,ZHOU Kefa,SUN Weidong,et al. Application Analysis of BP Neural Network and SVM in Mine Environmental Assessment [J]. Arid Region Geography,2015,38(1):128-134.
- [14] 刘智斌,曾晓勤,刘惠义,储荣. 基于 BP 神经网络的双层启发式强化学习方法[J]. 计算机研究与发展,2015,52(3):579-587.
LIU Zhibin,ZENG Xiaojin,LIU Huiyi,et al. Double-layer Heuristic Reinforcement Learning Method Based on BP Neural Network [J]. Computer Research and Development,2015,52(3):579-587.
- [15] 缪燕子. 多传感器信息融合理论及在矿井瓦斯突出预警系统中的应用研究[D]. 北京:中国矿业大学,2009.

(编辑:樊 敏)