

# 基于综合指数法 及BP神经网络模型的矿压显现程度分析

周向文<sup>1</sup>,杨亚威<sup>2</sup>,杨永康<sup>2</sup>

(1.中煤大同能源有限公司塔山煤业有限责任公司,山西大同 037000;

2.太原理工大学采矿工艺研究所,太原 030024)

**摘要:**中煤集团塔山煤矿矿区内临近矿井进行3-5#煤层开采时曾发生过冲击事件,为保证该矿3-5#煤层一采区实现安全正常回采,依据具体的地质和开采技术条件,采用综合指数法对整个区域的冲击危险性进行评价。研究表明,一采区整体性为无冲击危险性,采用BP神经网络建立预测矿压显现的模型,对整个区域的矿压显现剧烈程度进行划分,对于矿井的安全生产、预警预防措施的制定等方面具有重要的意义。为类似开采技术条件下煤层的矿压治理、预测提供参考。

**关键词:**冲击地压;综合指数法;BP神经网络;矿压显现

中图分类号:TD353

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Strata Pressure Behavior Degree Based on Comprehensive Index Method and BP Neural Network Model

ZHOU Xiangwen<sup>1</sup>, YANG Yawei<sup>2</sup>, YANG Yongkang<sup>2</sup>

(1. Tashan Coal Co., Ltd., China Coal Datong Energy Co., Ltd., Datong 037000, China;

2. Coal Mining Technology Research Institute, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** Rock burst in the mining occurred in the proximity of 3-5 coal seam in the mining area of Tashan Coal Mine. In order to ensure the safety of the No. 1 mining area, the comprehensive index method was used to evaluate the impact risk of the entire area based on the specific geological and mining technical conditions. The study showed the mining area as no rock burst risk. A BP neural network model to predict strata pressure behavior was established for risk classification of strata pressure behavior in the entire area, which was of great significance for the safety production as well as the establishment of early warning and preventive measures and which provided a reference for the treatment and prediction of the strata pressure under the similar conditions.

**Key words:** rock burst; comprehensive index method; BP neural network; strata pressure behavior

### 1 工程概况

中煤大同能源有限公司塔山煤矿位于大同市南郊区口泉乡上窝寨村北,设计能力为300万t/a,现阶段主采5(3-5)#煤层。矿井采用平硐、斜井开拓方式,现有一个主平硐、一个副平硐、一个回风斜井,属

特厚煤层,采用综采放顶煤开采,5#煤煤层平均埋深约为450m。根据已施工钻孔揭露岩性情况统计,5(3-5)#煤层顶板以直接顶分布为主,仅在20号钻孔分布有伪顶,伪顶岩性为泥岩,其厚度为0.65m。直接顶:矿区内普遍分布,岩性主要为砂质泥岩、炭质泥

\* 收稿日期:2019-11-01

基金项目:国家青年基金资助项目(51404167);山西省重点研发计划基金资助项目(201803D31051)

作者简介:周向文(1969-),男,山西大同人,本科,工程师,从事煤矿生产技术与管理工作,E-mail:njgszxw@163.com。

岩、高岭质泥岩及泥岩,其厚度在 1.14~5.62 m 之间。老顶:主要分布在 002、1701 号钻孔附近,岩性为中粒砂岩及粗粒砂岩,其厚度分别为 4.56 m 及 5.43 m。底板:岩性以砂质泥岩、粉砂岩为主,仅在白 20、002 号钻孔附近岩性为细粒砂岩。由于同井田的矿井发生过冲击地压现象,为确保塔山煤矿 3-5# 煤层一采区的安全开采,本文就其冲击危险性展开研究。

## 2 基于指数法的冲击危险性评价

用综合指数法分析已发生的大量冲击地压案例,分离出相应的地质与开采技术条件对冲击地压的影响程度,确定各种因素的影响权重,依据具体的工程地质条件,通过工程类比法建立冲击地压危险性评价和预测的体系<sup>[1-2]</sup>。冲击地压影响因素较多,总体上可以分成自然的、技术的和组织管理方面的因素,其关系如图 1 所示。

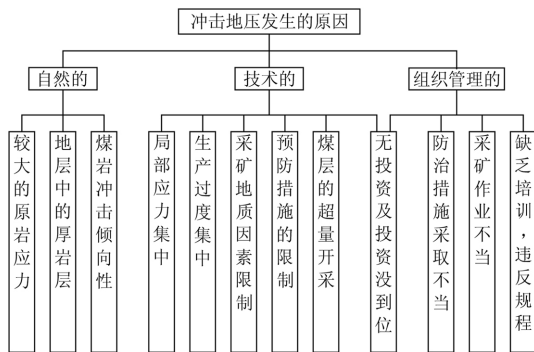


图 1 冲击地压影响因素分类

Fig. 1 Influential factor classification of rock burst

表 2 开采技术条件影响下的冲击地压危险指数

Table 2 Rock burst risk index under the influence of mining technology

序号	因素	冲击地压危险状态影响因素	$W_i$
1	$W_1$	保护层的卸压程度好(近距离 2# 煤已经开采完成)	0
2	$W_2$	工作面距上保护层开采遗留煤柱的水平距离 $0 \leq h_2 < 30$ m	2
3	$W_3$	工作面与临近采空区的关系(两侧采空)	2
4	$W_4$	工作面长度 $L_m$ ( $150 \text{ m} \leq L_m < 300 \text{ m}$ )	1
5	$W_5$	区段煤柱宽度 ( $6 \text{ m} < d \leq 10 \text{ m}$ )	2
6	$W_6$	留底煤厚度 $t_d$	0
7	$W_7$	向采空区掘进的巷道,停掘位置与采空区的距离 $L_{jc}$	0
8	$W_8$	向采空区推进的工作面,停采线与采空区的距离 $L_{mc}$	0
9	$W_9$	采区有落差大于 3 m 的断层	1
10	$W_{10}$	接近煤层倾角剧烈变化的褶曲距离	0
11	$W_{11}$	接近煤层侵蚀或断层部分距离	0

开采技术因素的综合指数计算公式:

$$W_{t2} = \frac{\sum W_i}{\sum W_{imax}} \quad (2)$$

综合指数法将以上因素分为地质因素和开采技术因素分别进行评价<sup>[3]</sup>,然后依据两者中较大的值确定冲击危险性。根据塔山煤矿 3-5# 煤层一采区详细的地质和开采技术条件,采用综合指数法确定的地质因素和开采技术影响下的冲击地压危险指数如表 1、表 2 所示。表中  $W_{t1}$ 、 $W_{t2}$  分别表示地质因素和开采技术因素的综合指数; $W_i$  代表各个因素对应的评价指数; $W_{imax}$  表示该因素评价指数的最大值,各个因素评价指数的最大值均为 3。冲击地压危险等级划分标准如表 3 所示。

表 1 地质因素确定的冲击地压危险指数表

Table 1 Rock burst risk index determined by geological factors

序号	因素	冲击地压危险状态影响因素	$W_i$
1	$W_1$	3-5# 煤层中没有发生过冲击地压 ( $n=0$ )	0
2	$W_2$	开采深度为 430.63~452.91 m	1
3	$W_3$	顶板中存在厚层砂岩岩层 ( $d > 100 \text{ m}$ )	0
4	$W_4$	开采区域内构造应力集中水平 $\leq 10\%$	0
5	$W_5$	顶板岩层厚度特征参数 $L_s = 53.63 \text{ m}$ ( $50 \text{ m} < L_s \leq 70 \text{ m}$ )	1
6	$W_6$	煤的单轴抗压强度 9.44 MPa ( $R_c \leq 10 \text{ MPa}$ )	0
7	$W_7$	煤的弹性能量指数 11.48 ( $W_{ET} \geq 5$ )	3

地质因素的综合指数计算公式:

$$W_{t1} = \frac{\sum W_i}{\sum W_{imax}} \quad (1)$$

将表 1 所示塔山煤矿 3-5# 煤一采区的地质影响因素的具体参数代入式(1)计算可得,地质因素的综合指数  $W_{t1} = 0.238$ 。

将表 2 所示塔山煤矿 3-5# 煤一采区的开采技术影响因素的具体参数代入式(2)计算可得,地质因素的综合指数  $W_{t2} = 0.242$ 。

表 3 冲击地压危险综合指数划分危险等级表

Table 3 Risk classification with comprehensive index of rock burst

综合指数	$W_t \leq 0.25$	$0.25 < W_t \leq 0.5$	$0.5 < W_t \leq 0.75$	$W_t > 0.75$
危险等级	A 无冲击	B 弱冲击	C 中等冲击	D 强冲击

综合以上计算,塔山矿 3-5# 煤层一采区冲击危险综合指数为:

$$W_t = \max\{W_{t1}, W_{t2}\} = \max\{0.238, 0.242\} = 0.242 \quad (3)$$

根据表 3 中所列的综合指数划分冲击危险等级,可得中煤塔山煤矿 3-5# 煤层一采区冲击危险等级综合指数为 0.242,整体无冲击危险性。

### 3 运用 BP 神经网络模型的矿压显现程度分析

根据 3-5# 煤层一采区冲击危险性评价结果,该区域整体上无冲击危险性。在不同的区域,影响冲击危险的因素有所不同,虽然发生冲击地压的可能性非常小,但是某些区域受到的不利影响因素较多。工作面回采期间矿压显现较剧烈,需要对不同区域的矿压显现剧烈程度进行分析。采煤工作面和回采巷道内矿压显现程度是受多种因素影响的复杂问题,基于综合指数法分析结果,塔山煤矿 3-5# 煤层一采区影响矿压显现程度的主要因素有:开采深度、顶板岩层厚度参数、煤的弹性能量指数、工作面距上保护层开采遗留煤柱的水平距离、工作面与临近采空区的关系、工作面长度、区段煤柱宽度和是否存在落差大于 3 m 的断层。其中,煤的弹性指数整个采区不变,因此在进行矿压显现长度划分时不再考虑。

#### 3.1 BP 神经网络的建立

BP 神经网络预测模型一般分为输入层、隐藏层和输出层<sup>[4-5]</sup>。数据由输入层输入,经过隐藏层处理后由输出层输出。若经过隐藏层处理后的数据不能够满足网络模型模拟设定的预期效果,将通过误差的反馈网络自动对数据的运算进行修正,重复误差反向传输的步骤重新模拟计算,直至运算结果达到精度要求为止。其详细的计算过程如图 2 所示。

BP 神经网络模型的关键设定包括网络层数和各层节点数,网络层数中输入层和输出层是固定的,属于单层结构。隐藏层为多层结构,本次构建的模型输入层为影响工作面和回采巷道矿压显现程度的 7 个因素。输出层为强矿压、中等矿压、弱矿压三个矿压现场程度分级。隐藏层的节点数对于所建模型

的计算精准度有着重要影响,根据相关的研究结果,3 层结构的神经网络其隐藏层节点数目为  $2N+1$ ,故本次模型隐藏层节点数为 15 个。

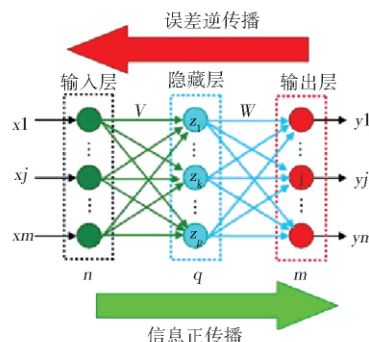


图 2 三层神经网络拓扑结构

Fig. 2 Three-layer neural network topology

#### 3.2 样本的处理

根据塔山煤矿 3-5# 煤层一采区以往工作面回采期间矿压显现的实际情况,获得 12 个样本,输入层的 7 个因素中埋深、工作面长度、区段煤柱宽度、顶板坚硬岩层厚度参数根据实际情况取值,埋深为 430.63~452.91 m,工作面长度 180~240 m,区段煤柱宽度 15~30 m;工作面与临近采空区的关系、工作面距上保护层开采遗留煤柱的水平距离、是否存在落差大于 3 m 的断层、顶板坚硬岩层厚度四个参数需要进行数量化处理,具体的数值选取如表 4 所示;矿压显现程度强矿压、中等矿压、弱矿压三种等级分别用(1 0 0)、(0 1 0)、(0 0 1)表示。为了模型的快捷运算,将数据进归一化处理,处理后的数据范围在 $[0, 1]$ ,归一化公式为<sup>[6-7]</sup>:

$$q_n = \frac{Q_n Q_{\min}}{Q_{\max} Q_{\min}} \quad (4)$$

式中: $q_n$  为各个参数归一化后的数值; $Q_n$  为样本对应参数的初始值; $Q_{\max}$  和  $Q_{\min}$  为各个参数取值的上限和下限。由于篇幅所限,12 个样本参数归一化后的详表不再给出。

#### 3.3 模型的训练及验证

Matlab 软件工具箱中已有许多经典的神经网络框架和函数,建模过程得到了简化,仅需根据不同功能模块的适用范围、优缺点及研究问题的特点,选择合适的计算函数。进行网络训练时所选的函数、算法以及训练参数如表 5 所示,训练过程如图 3 所示。

表 4 矿压显现程度影响因素数值选取  
Table 4 Numerical selection of influential factors for strata pressure behavior

赋值	顶板岩层厚度 特征参数 $L_s/m$	工作面与邻近 采空区的关系	工作面距上保护层开采 遗留的煤柱的水平距离/m	与落差大于 3 m 的断层的距离/m
0	$L_s < 50$	实体煤工作面	$h_z \geq 60$	$L_d \geq 100$
1	$50 < L_s \leq 70$	一侧采空	$30 \leq h_z < 60$	$50 \leq L_d < 100$
2	$70 < L_s \leq 90$	两侧采空	$0 \leq h_z < 30$	$20 \leq L_d < 50$
3	$L_s > 90$	三侧及以上采空	$h_z < 0$ (煤柱下方)	$L_d < 20$

表 5 训练函数及参数  
Table 5 Training functions and parameters

数据选取	传输函数	传递函数	训练函数	训练次数	目标精度	学习速率	误差
选值	purelin	tansing	trainlgdx	5 000	$1 \times 10^{-3}$	0.01	均方差

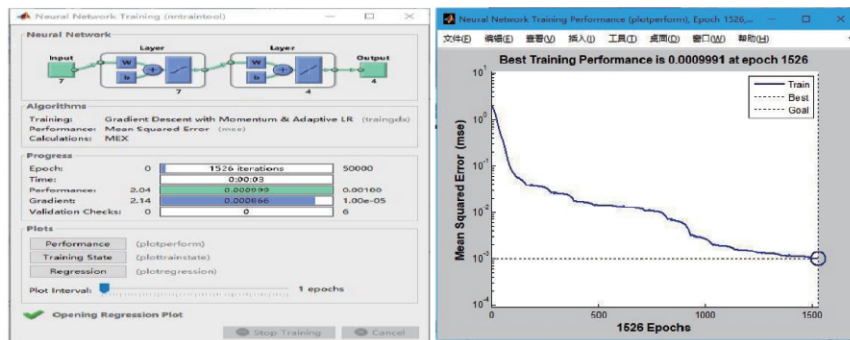


图 3 神经网络训练过程

Fig. 3 Training process of neural network

网络训练结束后,利用 11 和 12 号样本数据进行验证,测试结果如表 6 所示。根据检验数据可知,该神经网络可根据具体的地质和开采技术条件,对矿压显现程度进行预测,精度能够达到生产实际活动的需要。

表 6 样本验证结果

Table 6 Sample verification results

序号	测试结果			实际值	均方差
11	1.000 0	0.001 5	0.007 9	1 0 0	0.001 0
12	0.004 1	0.985 6	0.002 3	0 1 0	

### 3.4 一采区矿压显现强度区域划分

采用上述方法对塔山煤矿 3-5# 煤层一采区矿压现场程度进行预测,数据取值点间距为 5 m,得到研究区域矿压显现程度划分结果,见图 4。一采区大部分区域为弱矿压,孤岛工作面切眼和巷道内存在出现强矿压的可能,断层较为发育的区域通常为中等矿压显现区域。

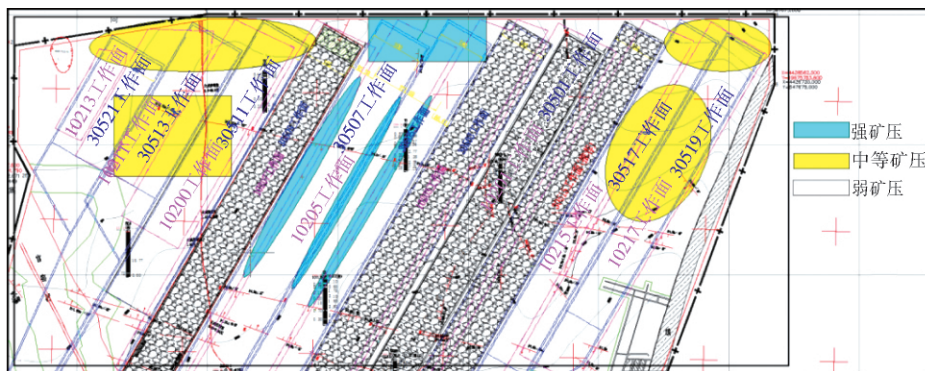


图 4 3-5# 煤层一采区冲击危险区域划分结果

Fig. 4 Division of rock burst risk zone in No. 1 mining area of 3-5# coal seam

## 4 结束语

本文以中煤集团塔山煤矿 3-5# 煤层一采区冲击危险性及矿压显现程度分析预测为目标,通过现场调研、理论分析计算,以及综合指数法等对整个采

区的冲击危险性进行评价。研究表明,一采区整体为无冲击危险性,影响工作面和回采巷道矿压显现程度的主要因素有包括:开采深度、顶板岩层厚度参数、工作面距上保护层开采遗留煤柱的水平距离、工作面与邻近采空区的关系、工作面长度、区段煤柱宽

度、是否存在落差大于 3 m 的断层。运用 BP 神经网络手段,建立矿压显现程度的预测模型,对整个采区矿压显现的剧烈程度进行划分,对于指导矿井生

产过程中矿压的预防、支护措施的制定及矿井的安全生产具有重要的现实意义。

#### 参考文献:

- [1] 侯博. 赵庄煤矿煤巷掘进冲击地压产生机理与测控技术研究[J]. 能源技术与管理, 2019, 44(5): 141-143.  
HOU Bo. Research on the Mechanism and Measurement and Control Technology of Rockburst in Coal Roadway Driving in Zhaozhuang Coal Mine[J]. Energy Technology and Management, 2019, 44(5): 141-143.
- [2] 杨岁寒. 综采放顶煤工作面冲击地压微震事件分布规律研究[J]. 能源与环保, 2019(9): 52-56.
- [3] 张家乐. 小庄煤矿 40214 工作面冲击地压防治技术[J]. 煤炭技术, 2019, 38(7): 144-146.  
ZHANG Jiale. Comprehensive Prevention and Control Technology of Impact Ground Pressure on 40214 Working Face in Xiaozhuang Coal Mine [J]. Coal Technology, 2019, 38(7): 144-146.
- [4] 宋红立. 特厚坚硬煤层分层放顶煤开采冲击机理及防治技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2019.
- [5] 赵辉. 冲击地压煤层掘进巷道“卸-支”协同治理技术及应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2019(10): 75-78.  
ZHAO Hui. Co-processing Technology and Application of “Unloading-support” for Roadway Driving in Coal Seam with Impact Pressure[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2019(10): 75-78.
- [6] 代树红, 王晓晨, 潘一山, 等. 模量指数评价煤的冲击倾向性的实验研究[J]. 煤炭学报, 2019, 44(6): 1726-1731.  
DAI Shuhong, WANG Xiaochen, PAN Yishan, et al. Experimental Study on the Evaluation of Coal's Impact Tendency by Modulus Index[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(6): 1726-1731.
- [7] 魏永启, 周芳, 魏效喆. 赵楼煤矿 5303 工作面冲击地压危险性分析[J]. 山东煤炭科技, 2019(5): 166-169.  
WEI Yongqi, ZHOU Fang, WEI Xiaoshu. Risk Analysis of Impact Ground Pressure of 5303 Working Face in Zhaolou Coal Mine[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2019(5): 166-169.

(编辑: 樊 敏)

#### (上接第 4 页)

- [5] 张兴, 王凌云. 矿山地质环境保护与治理研究[J]. 中国矿业, 2011, 20(8): 52-55.  
ZHANG Xing, WANG Lingyun. Research on the Protection and Treatment of Subarea, Classification and Gradation for Mining Geological Environment[J]. China Mining Magazine, 2011, 20(8): 52-55.
- [6] 陈乐. 新型煤化工产业发展规划研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2015.
- [7] 王婷婷, 曹飞, 唐修波, 等. 利用矿洞建设抽水蓄能电站的技术可行性分析[J]. 储能科学与技术, 2019, 8(1): 195-200.  
WANG Tingting, CAO Fei, TANG Xiubo, et al. Technical Feasibility Analysis of Utilizing Mine to Construct Pumped Storage Plant[J]. Energy Storage Science and Technology, 2019, 8(1): 195-200.
- [8] 王斌. 我国绿色矿山评价研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.
- [9] 鞠建华, 强海洋. 中国矿业绿色发展的趋势和方向[J]. 中国矿业, 2017, 26(2): 7-12.  
JU Jianhua, QIANG Haiyang. The Trend and Direction of Green Development of the Mining Industry in China[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(2): 7-12.
- [10] 谢和平, 侯正猛, 高峰, 等. 煤矿井下抽水蓄能发电新技术: 原理、现状及展望[J]. 煤炭学报, 2015, 40(5): 965-972.  
XIE Heping, HOU Zhengmeng, GAO Feng, et al. A New Technology of Pumped-storage Power in Underground Coal Mine: Principles, Present Situation and Future[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(5): 965-972.
- [11] 高传昌. 抽水蓄能电站技术[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2011.
- [12] 张景松, 杨春敏. 流体力学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.

(编辑: 樊 敏)