

技术方法

基于粗糙集与BP神经网络的底板破坏深度预测

崔凯

(山东省煤田地质规划勘察研究院,山东泰安 271000)

摘要:基于粗糙集理论,以指标集为基础,建立了底板破坏深度影响因素的知识表达系统,提出了规则提取原则,通过粗糙集决策规则的数据处理,得出获得各因素对底板破坏深度的影响顺序为:采深、煤层倾角、工作面斜长、采厚、底板抗破坏能力、工作面是否有切穿型断层或破碎带。由于底板抗破坏能力、工作面是否有切穿型断层或破碎带这些参数难以确定,采用其余4种影响因素建立BP神经网络的预测模型,并根据建立的模型预测肥城煤田的9101和9507工作面的底板破坏深度。通过与实测结果对比,证明该网络模型的计算结果比规程提供的经验公式计算结果更接近实际。

关键词:粗糙集;决策规则;底板破坏深度;BP神经网络

中图分类号:TD745 **文献标识码:**B

引文格式:崔凯.基于粗糙集与BP神经网络的底板破坏深度预测[J].山东国土资源,2016,32(1):59-62. CUI Kai. Predication of Destroyed Floor Depth Based on Rough Set and BP Neural Networks[J].Shandong Land and Resources, 2016,32(1):59-62.

在底板突水机理的理论研究中,“下三带”理论是重要的理论之一,认为开采过程中存在底板破坏带、完整岩层带、承压水导高带。而底板破坏带是影响底板是否突水的重要因素。获得底板破坏深度的方法有多种,其中理论计算的方法有:理论公式法^[1]、经验公式法^[2-4]、数值模拟法等^[5-6],但这些普遍存在考虑因素单一和建立模型理想化或参数选取不合适,预测结果与实测结果相差较大。郭文兵^[7],于小鸽^[8]选取煤层的开采厚度、煤层倾角、采厚、工作面斜长、底板抗破坏能力、是否有断层6个因素,利用BP神经网络模型预测底板破坏深度,取得了很好的预测结果。但有些参数的量化比较困难。该文选取这些影响底板破坏深度的主要因素,建立知识表达系统,运用粗糙集理论,对影响因素进行约简,从中选择主要的影响因素,避免了人的主观偏好。并根据选取的主要影响因素,利用BP神经网络预测底板破坏深度。

1 粗糙集筛选主要影响因素

1.1 底板破坏深度主要因素筛选步骤

粗糙集理论是波兰数学家Z.Pawlak在1982年提出的一种处理不精确、不确定与不完全数据的新的数学理论,基本思想是通过知识库进行分类,归纳出概念和规则^[9]。该文建立影响底板破坏深度的决策表,利用粗糙集理论提取规则,筛选出主要影响因素,算法过程如下。

(1)收集数据,建立指标集。影响底板破坏深度的因素有:采深(m)、煤层倾角(°)、采厚(m)、工作面斜长(m)、底板抗破坏能力、是否有断层。收集一些矿区底板破坏深度影响因素数据,并按给定的分类标准进行处理。

(2)建立底板破坏深度影响因素的知识表达系统。定义分类决策表为 $S = \langle U, C \cup D, V, \rho \rangle$,其中 U 是论域,表征全体对象; $C \cup D$ 是属性全体; $V = \bigcup_{a \in A} V_a$, V_a 是属性的值域; $\rho: U \times A \rightarrow V$ 是信息函数, $\rho_x: A \rightarrow V, x \in U$ 反映了对象 x 在 K 中的完全信息,其中 $\rho_x(a) = \rho(x, a)$ 。 $C = (c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6) =$ 采深(m)、煤层倾角(°)、采厚(m)、工作面斜长(m)、底板抗破坏能力、是否有断层。

收稿日期:2015-03-25;修订日期:2015-04-30;编辑:曹丽丽

作者简介:崔凯(1983—),男,山东诸城人,高级工程师,主要从事地质勘查工作;E-mail:cuikai323@163.com

(3)决策表的约简。对建立的底板破坏深度影响因素表进行属性约简,去除重复行,删除多余属性,获得底板破坏深度影响因素简约表。

(4)规则提取。提取决策规则在决策表中是最重要的内容。决策规则一般表示为 $\wedge(c, v) \rightarrow \vee(d, w)$, 其中 $c \in C, v \in V_c, w \in V_d, \wedge(c, v)$ 为规则的条件部分, 而 $\vee(d, w)$ 为规则的决策部分。

(5)规则分析。根据第 4 步提取的规则,对规则进一步分析,找出主要影响因素。

1.2 实例分析

对典型矿区 10 个工作面的现场实测数据进行整理,结果见表 1^[7]。建立底板破坏深度影响因素决策表,按表 2 给出的影响因素分类标准,对表 1 实测数据进行分类,得到表 3 所示的底板破坏深度影响因素分类决策表。应用粗糙集软件对表 3 进行约简,获得决策规则,部分决策规则见表 4。

表 1 煤层底板破坏深度实测数据

工作面地点	采深(m)	煤层倾角(°)	采厚(m)	工作面斜长(m)	底板抗破坏能力	是否有切穿型断层或破碎带	破坏带深度(m)
峰峰三矿 3707	130	15.0	1.40	135	0.4	0	12.0
峰峰四矿 4804	110	12.0	1.40	100	0.4	0	10.7
双沟矿 1204	308	10.0	1.00	160	0.6	0	10.5
新庄孜矿 4303	310	26.0	1.80	128	0.2	1	16.8
邢台矿 7607	320	4.0	5.4	60	0.6	0	9.7
华丰矿 41303	520	30.0	0.94	120	0.6	0	13.0
井陘一矿 4707	400	9.0	7.50	34	0.4	0	8.0
开滦 1237(1)	900	26.0	2.00	200	0.6	0	27.0
开滦 1237(2)	1000	30.0	2.00	200	0.6	0	38.0
吴村煤矿 3305	327	12.0	2.40	120	0.6	0	11.7

表 2 底板破坏深度影响因素分类

分类标准	1	2	3
采深(m)	<300	300~500	>500
倾角(°)	<8	8~25	>25
采厚(m)	<1.3	1.3~3.5	>3.5
工作面斜长(m)	<90	90~150	>150
底板抗破坏能力	<0.3	0.3~0.6	>0.6
是否有切穿型断层或破碎带	否	有	
底板破坏带深度(m)	<10	10~20	>20

条件属性决策类别采深小于 300 m 的缓倾斜煤层开采时,底板破坏深度属中度破坏;采深在 300~500 m、缓倾斜煤层、工作面斜长在 90~150 m,底板破坏深度属中度破坏;采深在 300~500 m、急倾斜煤层、底板抗破坏能力弱的煤层,底板破坏深度属轻度破坏;采深在 300~500 m、采厚在 1.31~3.5 m 的煤

表 3 底板破坏深度影响因素分类决策

工作面地点	C1	C2	C3	C4	C5	C6	y(k)
峰峰三矿 3707	1	2	2	2	2	1	2
峰峰四矿 4804	1	2	2	2	2	1	2
淄博双沟矿 1204	2	2	1	2	2	1	2
新庄孜矿 4303(2)	2	3	2	2	1	2	1
邢台矿 7607 窄面	2	2	3	1	2	1	2
新汶华丰矿 41303	3	3	1	2	2	1	2
井陘一矿 4707	2	2	3	1	2	1	2
开滦 1237(1)	3	3	2	3	2	1	3
开滦 1237(2)	3	3	2	3	2	1	3
吴村煤矿 3305	2	2	2	2	2	1	2

表 4 部分决策规则

条件属性→决策类别
$c_1(1) \wedge c_2(2) \rightarrow y(2)$
$c_1(2) \wedge c_2(2) \wedge c_4(2) \rightarrow y(2)$
$c_1(2) \wedge c_2(3) \wedge c_5(1) \rightarrow y(1)$
$c_1(2) \wedge c_3(3) \rightarrow y(2)$
$c_1(3) \wedge c_2(3) \wedge c_4(2) \rightarrow y(2)$
$c_1(3) \wedge c_2(3) \wedge c_3(2) \wedge c_4(3) \rightarrow y(3)$
$c_1(2) \wedge c_2(2) \wedge c_3(2) \wedge c_4(2) \rightarrow y(2)$

层,底板破坏深度属中度破坏;采深大于 500 m、急倾斜煤层、工作面斜长 90~150 m,底板破坏深度属中度破坏;采深大于 500 m、急倾斜煤层、采厚 1.31~3.5 m、工作面斜长大于 150 m 的煤层,底板破坏深度属于重度破坏;采深在 300~500 m、急倾斜煤层、采厚在 1.31~3.5 m 的煤层、工作面斜长 90~150 m,底板破坏深度属中度破坏。考虑各个因素,当底板破坏深度属中度和重度破坏时,导致底板破坏的可能性顺序为:采深、煤层倾角、工作面斜长、采厚、底板抗破坏能力。

2 建立 BP 神经网络底板破坏深度预测模型

于小鸽采用 6 个影响底板破坏的因素预测底板破坏深度,根据粗糙集的筛选结果,选取采深、煤层倾角、工作面斜长、采厚 4 个影响因素,建立 BP 神经网络底板破坏深度预测模型,与实测结果进行比较。

2.1 样本的选取及网络学习的训练

利用 MATLAB 程序建立 BP 神经网络预测模型。选取全国 30 个工作面的现场实测数据作为 BP 神经网络的学习训练样本和测试样本,结果见表 5^[7]。选定表 5 中的 1~25 个样本作为学习样本,其余 5 个样本作为测试样本检验网络的性能。P 为输入向量矩阵,T 为目标向量矩阵。作为底板破坏深

表 5 学习样本和检验样

序号	工作面地点	采深 /m	煤层倾角 /°	采厚 /m	工作面斜长 /m	破坏带深度 /m
1	邯鄲王凤矿 1830 面	123	15.0	1.10	70	7.00
2	邯鄲王凤矿 1951 面	123	15.0	1.10	100	13.4
3	峰峰二矿 2701(1)	145	16.0	1.50	120	14.0
4	峰峰三矿 3707	130	15.0	1.40	135	12.0
5	峰峰四矿 4804	110	12.0	1.40	100	10.7
6	肥城曹庄矿 9203	148	18.0	1.80	95	9.00
7	肥城白庄矿 7406	225	14.0	1.90	130	9.75
8	淄博双沟矿 1204	308	10.0	1.00	160	10.5
9	淄博双沟矿 1208	287	10.0	1.00	130	9.50
10	澄合二矿 22510	300	8.0	1.80	100	10.0
11	韩城马沟梁矿 1100	230	10.0	2.30	120	13.0
12	鹤壁三矿 128	230	26.0	3.50	180	20.0
13	新庄孜矿 4303(1)	310	26.0	1.80	128	16.8
14	新庄孜矿 4303(2)	310	26.0	1.80	128	29.6
15	邢台矿 7802 面	259	4.0	3.00	160	16.4
16	邢台矿 7607 窄面	320	4.0	5.40	60	9.70
17	新汶华丰矿 41303	520	30.0	0.94	120	13.0
18	井陘一矿 4707 小 1	400	9.0	7.50	34	8.0
19	井陘一矿 4707 小 2	400	9.0	4.00	34	6.0
20	井陘三矿 5701(1)	227	12.0	3.50	30	3.5
21	井陘三矿 5701(2)	227	12.0	3.50	30	7.0
22	开滦赵各矿 12371	900	26.0	2.00	200	27.0
23	开滦赵各矿 12372	1000	30.0	2.00	200	38.0
24	霍县曹村 11-014	200	10.0	1.60	100	8.50
25	吴村煤矿 32031(1)	375	14.0	2.40	70	9.70
26	吴村煤矿 32031(1)	375	14.0	2.40	100	12.9
27	邯鄲王凤矿 1930	118	18.0	2.50	80	10.0
28	邢台矿 7607 宽面	320	4.0	5.40	100	11.7
29	井陘一矿 4707 大面	400	9.0	4.00	45	6.5
30	吴村煤矿 3305	327	12.0	2.40	120	11.7

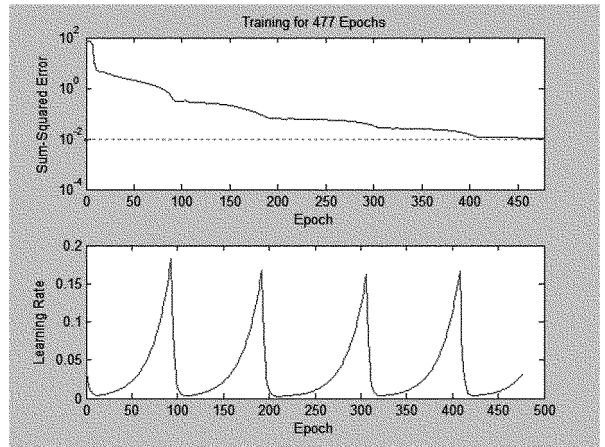


图 2 训练过程曲线

网络结构。这种隐层神经元的模式可以对神经网络内部参数进行调整,获得满意的结果。训练误差散点图和训练过程曲线图见图 1 和图 2。

2.2 模型检验

将规程公式^[4]及现场实测结果与 BP 神经网络的预测结果进行比较(表 6),神经网络、理论计算底板破坏深度与实测值相比,最大绝对误差分别为 0.89, 1.882, 最大相对误差分别为 7.6%, 16.08%。说明神经网络的计算结果比经验公式计算结果更接近实际,更能满足生产实际的需要。

表 6 神经网络预测结果与理论值实测值的比较

序号	工作面编号	底板破坏深度/m			理论计算值与实测值比较		神经网络计算值与实测值比较	
		实测值	规程公式	神经网络计算值	绝对误差 /m	相对误差 /%	绝对误差 /m	相对误差 /%
26	吴村煤矿 32031(1)	12.90	11.95	12.54	0.95	7.3	0.36	2.7
27	邯鄲王凤矿 1930	10.00	8.27	9.75	1.726	17.26	0.25	2.5
28	邢台矿 7607 宽面	11.70	9.82	12.59	1.882	16.08	-0.89	7.6
29	井陘一矿 4707 大面	6.50	5.40	6.55	1.31	17.4	-0.05	0.8
30	吴村煤矿 3305	11.70	13.37	12.10	-1.667	14.2	-0.4	3.4

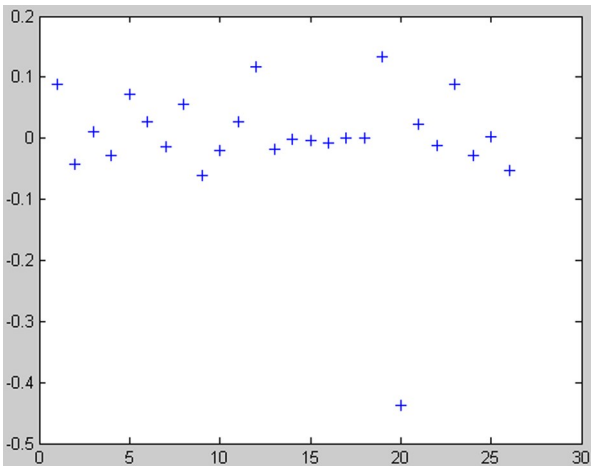


图 1 实验网络目标输出与实际输出散点图

度的影响因素,为实际底板破坏深度。通过多次实验,选择每个隐层神经元个数为 13:15 的三层神经

3 实例应用

选择白庄煤矿 9101 工作面和 9507 工作面验证粗糙集与 BP 神经网络预测底板破坏深度的有效性和实际应用价值,两工作面均采用“双端封堵测漏装置”进行底板破坏现场实测,测得 9101 工作面的底板破坏深度为 13.30 m,9507 工作面的底板破坏深度为 15.35 m。根据工作面上各个钻孔的采前、采后观测结果分析,9101 工作面和 9507 工作面的采深分别是 336 m,400 m;煤层倾角分别为 6°,7°;工作面斜长分别为 100 m,120 m;采厚分别为 1.34 m,

1.34 m。

将工作面底板破坏深度的影响因素归一化带入 BP 网络模型,得到 9101 工作面和 9507 工作面的底板破坏深度分别为 13.35 m, 15.39 m。根据规程^[4]计算 9101 工作面、9507 工作面的底板破坏深度分别为 10.28 m, 13.16 m。

根据计算的绝对误差和相对误差,将神经网络预测、规程公式^[10]计算结果与现场实测结果进行对比(表 7)。通过比较,BP 神经网络预测结果更接近实测值,能够在现场广泛应用。

表 7 神经网络预测结果与理论值实测值的比较

工作面编号	底板破坏深度/m			理论计算值 与实测值 比较		神经网络 计算值与 实测值比较	
	实测 值	规程 公式	神经网络 计算值	绝对 误差 /m	相对 误差 /%	绝对 误差 /m	相对 误差 /%
9101 工作面	13.30	10.28	14.15	3.02	22.7	-0.85	6.4
9507 工作面	15.35	13.16	16.39	2.19	14.3	-1.04	6.8

4 结论

(1) 运用粗糙集理论建立底板破坏深度影响因素分类知识表达系统进行数据分析、提取决策规则,获得各因素对底板破坏深度的影响顺序为:采深、煤层倾角、工作面斜长、采厚、底板抗破坏能力、工作面是否有切穿型断层或破碎带。

(2) 根据粗糙集理论获取的各因素对底板破坏

深度的影响顺序,只选取采深、煤层倾角、工作面斜长、采厚 4 个影响因素,利用 BP 神经网络预测底板破坏深度,避免了底板抗破坏能力、工作面是否有切穿型断层或破碎带这些参数难以确定的影响。

(3) 将 BP 神经网络预测底板破坏深度的结果与相关规程给出的理论计算结果、现场实测结果对比,BP 神经网络的预测结果更接近实测值,具有较高的可行性。

参考文献:

- [1] 施龙青,韩进.开采煤层底板“四带”划分理论与实践[J].中国矿业大学学报,2005,24(1):16-23.
- [2] 李白英,弭尚振.采矿工程水文地质学[M].泰安:山东矿业学院出版社,1988:20-50.
- [3] 高延法,施龙青.底板突水规律与突水优势面[M].徐州:中国矿业大学出版社,1999.
- [4] 国家煤炭工业局.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M].北京:煤炭工业出版社,2000.
- [5] 王成绪.底板突水的数值计算方法研究[J].煤田地质与勘探,1997,25(S1):11-13.
- [6] 冯启言,陈启辉.煤层开采底板破坏深度的动态模拟[J].矿山压力与顶板管理,1998,(3):71-73.
- [7] 郭文兵,邹友峰,邓喀中.煤层底板采动导水破坏深度计算的神经网络方法[J].中国安全科学学报,2003,(3):28-30.
- [8] 于小鸽,韩进,施龙青.基于 BP 神经网络的底板破坏深度预测[J].煤炭学报,2009,(34):731-736.
- [9] 张文修,吴伟志.粗糙集理论介绍和研究综述[J].模糊系统与数学,2000,(14):1-12.

Predication of Destroyed Floor Depth Based on Rough Set and BP Neural Networks

CUI Kai

(Shandong Provincial Prospecting and Planning Institute of Coal Geology, Shandong Tai'an 271000, China)

Abstract: Based on rough set theory and the index set, representation system of influencing factors of destroyed floor depth has been set up, and rule extraction principle has been put forward. Through data processing of rough set decision rule, factors controlling order of destroyed floor depth is mining depth, coal seam inclination angle, workface inclined length, mining thickness, coal floor anti-destructive capacity; faults or broken zones. Because parameters of coal floor anti-destructive capacity and faults or broken zones is difficult to determine, by using other four influencing factors, destroyed floor depths based on BP networks have been built. The destroyed floor depths of No.9101 workface and No.9507 workface in Feicheng coal field have been predicated according to the established network model. By comparing the results of neural network model and the results of empirical formula provided by national regulations with the actual measurement results, the results obtained by neural network model are closer to reality than the results of empirical formula calculation.

Key words: Rough set; decision rule; destroyed floor depth; BP neural networks