

文章编号: 0253-9993(2007)09-0926-04

基于 ANN 的煤层顶板导水断裂带高度预测

马亚杰^{1,3}, 李建民^{2,3,4}, 郭立稳¹, 宋恩春²

(1. 河北理工大学 资源与环境工程学院, 河北 唐山 063009; 2. 开滦(集团)有限责任公司, 河北 唐山 063018; 3. 中国矿业大学(北京) 资源与安全工程学院, 北京 100083; 4. 中国煤炭学会 岩石力学与支护专业委员会, 北京 100013)

摘 要: 为预测煤矿顶板导水断裂带的最大高度, 分析了顶板导水断裂带发育的影响因素, 提取了 10 个指标形成裂高预测指标体系, 并收集整理了近 10 a 来我国 24 项裂高观测数据, 建立了样本数据库. 基于 BP 人工神经网络的理论及方法, 建立了煤层开采工作面顶板导水断裂带高度预测模型, 模型检验成功. 依据计算权值, 分析了各指标对裂高的影响程度, 提出工作面倾斜长度、埋深对裂高影响较大并加以解释.

关键词: 人工神经网络; 导水断裂带高度; 预测

中图分类号: TD823.83 **文献标识码:** A

Height prediction of water fractured zone based on ANN

MA Ya-jie^{1,3}, LI Jian-min^{2,3,4}, GUO Li-wen¹, SONG En-chun²

(1. School of Resources and Environment Engineering, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009, China; 2. Kailuan (Group) Co. Ltd., Tangshan 063018, China; 3. School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 4. The Rock Mechanics & Support Special Committee, China Coal Society, Beijing 100083, China)

Abstract: To predict the height of water fractured zone, one system of 10 indexes was composed after analyzing on effecting factors, and a sample data was achieved by collecting and reorganizing 24 observation examples. Based on the theoretic and way of back propagation ANN, one prediction model for height of water fractured zone was built, which was tested to be successful. According to the calculated weight, the effect degree of 10 indexes was analyzed. Depth and length in the dip direction of mining face were thought of greater effect, for which explanation was done.

Key words: ANN (Artificial Neural Network); height of water fractured zone; prediction

顶板导水断裂带的发育高度(简称裂高)的预测研究, 对水体下煤层开采具有重要的意义. 20 世纪 40~80 年代, 我国煤矿进行了大量覆岩破坏现场观测, 获得了导水断裂带最大高度的经验公式, 广泛地应用于我国煤矿生产. 近 10 a 来, 我国煤矿开采地质及生产条件发生了较大变化, 如深部开采、复杂地质条件下开采、大采高、放顶煤等新的开采方法的应用. 随着地质及生产条件的变化, 导水断裂带高度发育规律也随之变化^[1]. 如现阶段我国有支护的综采支架可高达 6.3 m, 对厚 6.3 m 的煤层进行一次采全高. 大采高所造成的顶板导水断裂带高度远大于传统开采方法, 使原处于覆岩破坏变形区之外的含水层进入破坏变形区内, 威胁生产. 为更精确地预测导水断裂带的发育高度, 近 10 a 来我国各煤矿进行了多项导水断裂带高度的测定, 形成了新的裂高观测数据.

研究表明，导水断裂带的发育受到地质环境、岩体力学环境与工程活动综合作用的影响，其高度预测是一项复杂的动力学问题。其影响因素很多，但若抓住其主要影响因素，揭示其影响作用，导水断裂带高度的预测即成为可能。近年来，在自然科学和工程科学领域发展起来的泛决策分析方法如人工神经网络、模糊数学、随机理论、专家系统等，对处理复杂的、非线性顶板问题具有独到性，具有很强的生命力。以近 10 a 来的导水断裂带观测资料形成数据库，采用 Matlab 人工神经网络模块，建立了导水断裂带预测模型，经检验，该模型对导水断裂带的预测具有准确性，能够满足工程需要。

1 导水断裂带发育影响因素及裂高预测指标选取

研究表明，工作面顶板导水断裂带高度主要取决于煤层所处的地质环境条件、煤层与顶板岩体力学条件及采矿工程活动的影响^[2]，指标体系的选取，集中体现 3 方面的影响作用，如图 1 所示。

指标体系的选取遵循：① 有效性，能够有效代表所反应的因素；② 易于理解，概念清晰，便于统一；③ 易于获得可靠的数据；④ 易量化的原则。非构造控制区，煤层的地质环境条件主要反应于埋深、厚度与倾角。煤层与顶板岩体的力学性质体现于煤层的硬度、顶板抗压强度、顶板破碎程度及地层结构类型。其中，顶板抗压强度反应了顶板岩石受力破坏的特征，而顶板破碎程度则反应出顶板岩体的结构，两者共同反应出作为采空区顶板的岩体力学行为。而顶板岩体成层状分布，垂面上的地层软硬相间的结构特征在一定程度上决定了顶板岩梁的破坏作用类型，如梁失稳、砌体梁滑落或变形失稳。在采矿工程活动中，影响裂高发育的因素主要体现在采厚、分层数、工作面尺寸及顶板管理方法。本文考虑全部陷落法顶板管理，因此选取前 3 个作为指标。

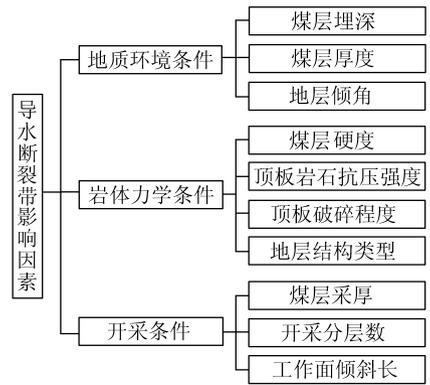


图 1 导水断裂带预测指标

Fig. 1 Indexes to predict water fractured zone

与经验公式相比，神经网络模型可以反应多重多方面因素对导水断裂带的复杂影响，对导水断裂带高度的判断，应更加准确可靠。

2 导水断裂带发育高度人工神经网络预测模型

人工神经网络有很多种类型，其中反向误差传播算法（Back Propagation，以下简称 BP 网络）是应用最广泛、效果最好的方法，与其他传统模型相比，有更好的持久性和适时预报性。已经证明：由一个单隐层和非线性兴奋函数组成的 BP 网络，是通用的分类器（Funahashi, 1989；Cybenko, 1989；Hartman 等, 1990；Hornik 等, 1989）^[3]。也就是说，这样的网络能逼近任意复杂的决策边界。

2.1 样本集的建立

选取近 10 a 来国内 25 次煤矿开采导水断裂带实际观测作为样本，主要数据见表 1。

对评价数据应进行无量纲化处理，转化为无量纲（0，1）值。其中，采厚、煤层倾角分别除以 10 和 90，得到其标准化值；埋深、分层数、采厚、顶板岩体的抗压强度、工作面倾斜长度采用极值法对指标（ X_j ）进行无量纲化转换。

$$X_j = \frac{X_j - \min X_j}{\max X_j - \min X_j} \quad (1 \leq j \leq 10), \tag{1}$$

其中， X_j 为指标值。顶板岩体的破碎程度分完整、中硬、碎裂、松散 5 类，按依次取值为：1，0.8，0.6，0.4，0.2。煤的硬度：硬取 0.8，软取 0.4。地层结构依直接、老顶的岩性特征划分为坚硬 - 坚硬、坚硬 - 软弱、软弱 - 坚硬、软弱 - 软弱，依次取值为 0.1，0.3，0.5，0.7。

表 1 工作面顶板导水断裂带高度预测样本集

Table 1 Sample data for height prediction of water fractured zone in work face roof

序号	地质条件			岩体力学性质				开采活动			测定裂高/m	测试地点
	煤层埋深/m	煤层倾角/(°)	煤层厚度/m	煤层硬度	地层结构	抗压强度/MPa	破碎程度	分层数	采厚/m	采空区斜长/m		
1	550.0	15	2.40	硬	②	71.00	Ⅲ	4	2.40	180	55.32	祁东煤矿 3 ₂ 41 煤
2	320.0	6	1.70	软	②	90.00	I	1	1.70	65	27.50	杨庄矿 8 煤层
3	150.4	23	6.00	硬	①	23.00	Ⅱ	3	2.00	174	58.40	八矿井田 110333
4	125.0	5	8.00	软	①	15.00	I	2	3.00	150	22.00	铁北矿 2 煤层
5	450.0	8	8.00	硬	②	45.00	I	1	8.00	170	86.80	兴隆庄煤矿 4320
6	43.0	60	4.00	软	②	53.00	I	1	3.00	30	35.00	东滩煤矿 4308
7	120.0	8	1.23	软	③	34.00	Ⅱ	1	1.20	75	31.00	赵坡煤矿 16 号煤
8	101.1	1	3.20	硬	④	25.20	Ⅱ	1	2.20	158	63.00	乌兰木伦 3 号
9	417.0	4	8.50	硬	②	43.00	I	2	2.90	80	68.00	鲍店煤 13013 号
10	300.0	2	4.00	硬	③	43.00	I	1	4.00	75	120.00	观台矿 2 号
11	276.0	7	4.50	软	①	11.70	Ⅲ	1	4.50	350	17.20	芦岭煤矿 8 号
12	284.0	7	3.50	软	③	10.00	Ⅱ	2	7.00	130	26.00	芦岭煤矿 9 号
13	84.0	3	4.00	硬	③	27.00	I	1	4.00	108	30.00	范各庄煤矿 7 号
14	49.0	5	6.00	硬	①	34.50	Ⅳ	1	4.00	135	45.00	大柳塔矿 1203
15	117.0	2	3.40	硬	③	30.00	Ⅳ	1	3.40	205	72.00	潘榭矿 C13-1
16	290.0	8	8.40	硬	①	14.00	I	1	6.00	645	85.60	淮南新集矿 1
17	263.0	2~6	6.62	硬	④	29.00	I	1	6.50	180	83.90	某矿 2 煤层
18	89.0	7	2.10	硬	②	114.40	I	1	2.03	69	45.86	柳花岭 4 煤层
19	200.0	0	7.64	软	①	53.00	Ⅱ	1	1.50	45	4.50	老石旦 16 号煤层
20	200.0	76	6.00	硬	②	96.00	I	1	8.00	89	48.00	淮南孔集矿西二
21	84.0	1	6.00	硬	③	40.00	Ⅱ	2	6.00	100	42.50	某矿 3 煤层
22	230.0	37	2.00	软	①	21.32	I	1	2.00	85	52.50	童亭 711 煤层
23	56.0	0	4.50	硬	②	74.00	Ⅳ	1	4.30	55	42.50	祁连塔煤矿 1 煤层
24	350.0	5	2.50	硬	③	32.00	Ⅱ	1	2.50	135	20.00	鲁西矿 3 _上 107

注：I——整体结构；II——层状结构；III——碎裂结构；IV——散体结构；①——软弱-软弱；②——坚硬-坚硬；③——软弱-坚硬；④——坚硬-软弱，前者指直接顶，后者指老顶。

2.2 网络的建立、训练及检验

采用 Matlab 6.5 神经网络工具箱，建立了由 1 个输入层、1 个隐层、1 个输出层构成的 3 层 BP。确定输入层的节点数为 10，输出层节点数为 1，中间层为 8 节点。网络结构如图 2 所示。

在 24 个样本数据中，取 2~14，18~24 作为训练样本；1，15~17 作为验证样本，检验网络模型。输入训练样本数据进行网络训练，网络训练误差下降曲线如图 3 所示。输入检验样本数据矩阵，网络输出结果为

$$a = [54.5 \quad 71 \quad 86.5 \quad 83].$$

样本实际结果为

$$t_2 = [55.32 \quad 72 \quad 85.6 \quad 83.9].$$

网络检验输出结果与样本实测结果接近，通过检验，模型建立成功。

2.3 权重的确定及结果分析

利用样本集对网络进行训练的目的在于训练网络系统的权

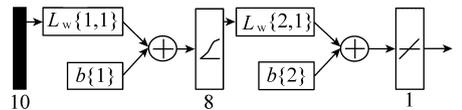


图 2 BP 神经网络模型结构

Fig. 2 Structure of BP neural network

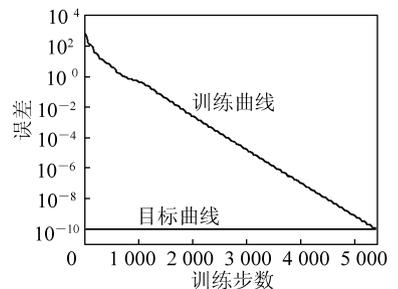


图 3 网络训练误差下降曲线

Fig. 3 Error curves of networking training

重值，本文对各指标权重的计算结果见表 2，反映了所选取的裂高影响因素的作用大小。

表 2 10 个评价指标权重计算结果
Table 2 Calculated weight value of 10 indexes

因素	工作面倾斜长	分层数	采厚	煤的硬度	埋深	抗压强度	煤层倾角	岩体破碎程度	地层结构	煤厚
权重	0.370 6	0.089 9	0.161 4	0.077 6	0.037 5	0.023 9	0.209 4	0.020 7	0.008 4	0.000 3
排序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

权重的计算结果表明：

(1) 所选样本中，工作面倾斜长度对导水断裂带发育高度的影响最大。采煤工作面顶板可视为一端由工作面煤壁支撑，另一端由边界煤柱支撑的梁，而梁从下而上的开裂受梁跨距的影响，即理论上导水断裂带高度必定受到工作面倾斜长度的影响。经验认为，采空区的尺寸在覆岩不充分采动的条件下起作用，当采空区面积达到覆岩充分采动条件时，基本上不起作用^[4]。本文所选取的 24 个样本中，有 18 例倾向方向非充分采动，因此，权重计算结果显示工作面倾斜长度的影响是合理的。网络计算结果表明，在煤矿生产中，工作面尺寸对导水断裂带高度的影响也是较多存在的。但对于非充分采动，其覆岩破坏的高度较充分采动条件下低，这一点为某些矿区提高煤层开采上限留有余地。另一方面，伴随开采深度日趋增加，非充分或单向非充分采动越来越常见（长和宽小于 $(0.9 \sim 2.2)H$ ， H 为煤层的埋深），工作面尺寸对垮落带、断裂带发育的影响更加值得探讨。

(2) 分层数与采厚影响显著。依据经验公式，采厚与分层数是影响裂高的最主要因素，经验公式可表示为 $H_1 = \frac{M}{en + f}$ 形式。本文模型所反应结果与经验公式一致。

(3) 代表顶板岩体力学性质的岩体抗压强度、岩体的破坏程度两项指标的计算权重反映出顶板岩体力学性质对裂高具有一定程度的影响。而理论及经验认为，其影响较强，仅次于采厚。指标取值的不统一及不确定性，影响了网络的计算结果。这也说明，覆岩力学性质及结构特征的定量化，对利用 ANN 精确预测裂高具有重要意义，是今后进行更深入工作的重点。

(4) 一般情况下，煤层的埋深代表原岩应力的大小，埋深越大原岩应力越大，由应力重分布产生的裂高也会越大，所以埋深对裂高的影响不容忽视，在今后的研究中值得关注。

3 结 语

为提高煤层开采上限以及满足水患防治的需要，裂高问题一直是研究的热点。近十几年来，钻孔探测技术、微地震监测等多种探测技术得到较大的发展，积累了大量的观测数据。重视对这些数据的收集整理、合理的分析与挖潜，将使裂高的科学预测具有美好前景。

参考文献：

- [1] Hong Yiqing, Ma yajie, Wu Qiang. New hydro-geological problems and countermeasures in Chinese coal mines [A]. APSS [C]. 北京：科学出版社，2005. 705.
- [2] 中国煤田地质总局. 中国煤田水文地质学 [M]. 北京：煤炭工业出版社，2007. 259
- [3] 马亚杰. 基于人工神经网络的地震经济损失评估 [J]. 世界地震工程，2007，23（1）：146.
- [4] 煤炭科学研究院北京开采研究所. 煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用 [M]. 北京：煤炭工业出版社，1981.