

基于BP神经网络的矿井水源判别模型

刘猛

(河北鼎基矿业集团,河北邢台054100)

摘要: 矿井水源判别对于矿井防治水工作有重要的导向作用,能够有效减少防治水工作的盲目性.为了能够有效判别矿井突水水源,综合考虑各项水化学指标在水源判别中的重要性,确定以水中6大常量组分($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-)作为判别因子,以BP神经网络理论为基础,以对某矿开采影响较大的野青、砂岩、奥灰和伏青4个含水层水样为建模样本,建立水源判别模型,并随机选取7个矿井采掘过程中收集到的水样进行水源判别预测.结果表明,该7个水样分别来自伏青、野青和砂岩含水层,均与实际结果相符,说明以BP神经网络理论建立的水源判别模型具有较强的实用性,能够快速、有效的识别矿井水源.

关键词: 矿井突水;常量组分;BP神经网络;水源判别

中图分类号:TD745.21

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2015)04-0017-04

On discriminant model of mine water source based on BP neural network

LIU Meng

(Hebei Dingji Mine Group Co., Xingtai 054100, China)

Abstract: The mine water source discrimination plays an important role in guiding mine water prevention, which can effectively reduce the blindness in the water prevention work. To be able to effectively determine the mine water inrush, it shall consider the importance of the water chemistry indicators in source discrimination. Taking the six constant components, i. e. $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- as discriminant factors, this paper, based on BP neural network theory, uses the water chemistry data to establish discriminant model with the water samples from Yeqing, Sandstone, Ordovician and Fuqing aquifers. It randomly selects the seven water samples collected from the source discrimination forecast. Results show that the seven water samples are from Fuqing, Qeqing and Sandstone aquifers, consistent with the actual results. It indicates that the water discriminant model established based on BP neural network theory is strongly practical, and the model is able to quickly and effectively identify the mine water source.

Key words: mine water inrush; constant component; BP neural network; water source discrimination

随着矿井开采深度的逐年加大,矿井水害问题渐趋突出,如果能在矿井突水前后准确判别出矿井的突水水源,对于减少矿井水害事故,降低矿井损失具有重要意义^[1-5].目前,矿井水源判别方法较多,如Bayes判别分析、模糊综合评判、水化学特征分析法等方法,这些方法都有其自身的优势和不足.如模糊综合评判要先给定参数的权值,评价结果具有很强的主观性;Bayes判别分析要根据可能出现的结果事先赋予目标量一个确定值,计算各影响因子与目标量的线性关系,同样带有主观性;水化学特征分析法需要依据矿井积累的水质分析资料并结合相应的地质、水文地质资料综合分析得到,耗费的时间、费用较大^[6-12].

人工神经网络是一种模拟生物神经网络的运算模型,以非线性处理单元模拟生物神经元,用处理单元

之间的可变连接强度模拟突触行为,单元之间依一定的形式连接成网络,呈现出高维性、自组织性、模糊性和自学习能力较强的数学模型,在解决类型识别方面具有很强的优势。

1 BP 神经网络

BP 神经网络从结构上分析属于人工神经网络中的前馈网络(Feedforward Network),前馈网络中有明显的层次关系,包括输入层、隐含层(中间层)和输出层,隐含层可以是 1 层或多层,如图 1 所示。每一层包含若干神经元,层与层间神经元通过连接权重、阈值互连,同层的神经元之间没有联系。学习过程由信号的正向传播与误差的反向传播两个过程组成。正向传播时,输入样本从输入层传入,经各隐含层逐层处理后,传向输出层,若输出层的实际输出与期望的输出不符,则转入误差的反向传播阶段。这种信号正向传播与误差反向传播的各层权值调整过程,是周而复始地进行的,权值不断调整的过程,也就是网络的学习训练过程。BP 神经网络模型与传统的统计分析模型相比具有更好的持久性和适时预报性^[13-17]。

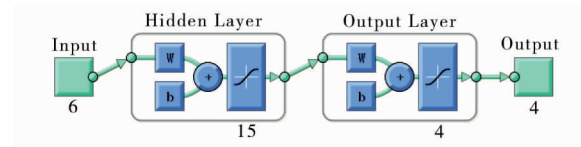


图 1 BP 网络结构

由于 BP 网络的学习过程和计算公式较为复杂、繁琐,而在实际应用过程中,只要明白其基本的工作原理和过程,并结合 matlab 自带的工具箱和简单的编程语言,就能达到建模判别预测的目的。

2 BP 网络学习规则

1) 网络的初始化。给输入层到隐含层连接权值、隐含层到输出层连接权值、隐含层各神经元的阈值以及输出层各神经元的阈值赋予一个区间(-1,1)内的随机值,设定计算过程中的精度值和最大学习次数。

2) 随即选取 k 个输入样本及对应的预先设定的目标值 $T_k = (y_1, y_2, \dots, y_k)$ 提供给网络。

3) 利用输入样本、连接权值、阈值计算隐含层各神经元的输入、输出值和输出层各神经元的输入、输出值。

4) 依据目标值 T_k 和实际输出值计算隐含层、输出层各单元之间的误差。

5) 利用隐含层、输出层各单元之间的误差和隐含层的输出值、输入层的输出值来修正连接权值和阈值。

6) 计算全局误差。

7) 判断网络是否满足要求。当全局误差小于初始设定的精度值或学习次数大于设定的最大次数时,结束计算过程,否则,随机选取下一组学习样本及对应的期望输出目标值,返回 3) 进入下一轮的学习过程,通过反复训练和调整网络结构直到满足要求。

8) 保存已训练好的网络,利用 `sim()` 函数调用网络进行判别预测。

3 水源判别模型实例

某矿目前主要开采 2# 煤,经过长期积累的水文地质资料和水化学资料以及已发生过的出水资料综合分析得知,对矿井采掘威胁较大的含水层主要有砂岩、野青、伏青和奥灰含水层,因此从各含水层标准集水样中分别选取砂岩水样 12 个、野青水样 3 个、伏青水样 5 和奥灰水样 10 个,参见表 1。

以水中 6 大常量组分($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-)作为判别因子,建立 BP 神经网络水源判别模型,网络训练过程及判别预测均用 matlab 软件实现,步骤如下:

1) 首先用表 1 数据建立矩阵并设为变量 x , x 为 30×6 的矩阵,使用 `xlsread()` 语言将数据导入软件工作空间。输出变量 T_k 为只含有数字 0 和 1 的 30×6 的矩阵,当输出结果为(1 0 0 0)时,判定水样为野青水,同理当输出结果为(0 1 0 0), (0 1 0 0) 和(0 0 0 1),判定结果分别为砂岩水、奥灰水和伏青水。

2) 输入层的节点数由研究对象的输入变量维数来决定,由于每个水样都是由 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 6 个因子决定的,所以网络输入层的节点数为 6 个。

3) 输出层的节点数取决于所需的输出表示方式确定,把不同含水层的水样均由 4 个值表示,所以输出层节点数为 4 个。

4) 隐含层的节点数暂没有直接的确定方法,主要是依据建模人的经验并结合反复试验,调整隐含层节点数观察网络效果得到的,通过多次试验发现,当隐含层节点数为 15 个时网络效果较好,神经网络结构参见图 1。

表1 BP神经网络水源判别建模样本水质信息

含水层	Na ⁺ + K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
野青水	211.280	346.290	126.460	99.630	1 373.100	333.710
	294.500	290.980	111.140	89.000	1 383.800	312.970
	170.130	384.570	136.070	78.360	1 482.170	286.130
砂岩水	1 049.950	0.800	4.380	476.540	43.220	1 809.500
	1 001.900	4.210	0.850	362.730	1.650	1 766.010
	1 001.900	4.210	0.850	362.730	1.650	1 768.010
	981.900	6.410	2.310	371.940	86.020	1 528.860
	1 033.400	1.800	1.580	390.380	3.290	1 506.290
	1 036.620	3.410	1.220	399.600	2.470	1 840.610
	1 142.140	13.230	4.990	541.780	9.060	2 154.800
	1 382.130	6.610	3.400	376.550	391.840	2 022.420
	1 183.530	3.010	2.310	454.560	8.640	2 070.610
	1 142.140	3.410	1.820	408.820	9.470	1 979.100
	1 198.930	3.210	1.700	440.730	28.810	1 976.050
1 144.210	2.400	1.820	415.910	2.470	2 077.320	
奥灰水	11.338	97.895	23.311	14.396	160.485	212.796
	15.891	96.232	22.411	14.750	168.304	208.586
	23.037	94.709	26.688	20.290	191.760	203.990
	11.912	103.186	22.435	13.403	150.198	199.984
	20.329	104.408	26.205	17.338	201.224	213.162
	8.900	90.962	21.329	13.615	143.614	197.727
	22.721	68.617	16.428	16.133	63.783	239.395
	20.766	115.070	24.940	19.076	221.799	212.369
	17.863	119.539	26.509	20.742	238.670	205.353
	20.460	130.860	40.250	93.960	97.140	363.610
伏青水	370.140	237.470	79.650	129.770	1 064.400	530.770
	375.200	218.640	79.160	116.650	1 074.280	492.940
	361.400	229.660	79.770	121.620	1 011.710	565.540
	329.690	254.110	86.340	118.430	1 113.790	456.340
	326.460	250.500	88.160	127.290	1 089.920	469.150

5) 设定网络误差为0.001,学习次数为10 000,开始训练网络.由于每次训练网络时,系统会重新调整网络的初始值,因此当网络效果不佳时,可通过反复训练来观察网络收敛效果.经过训练,网络误差小于0.001,满足精度要求.

6) 将输出结果与目标变量进行对比,观察网络输出效果,通过对比发现,均与原始结果相符,说明网络训练效果较佳,保存网络.

7) 利用随机选取的7个水样进行水源判别预测,参见表2.利用sim()函数调用网络,进行判别预测,并与实际类型进行对比分析,均与实际类型相符,参见表3.

表2 7个待判水样水质分析结果

待判样本	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
水样1	1 149.04	2.40	3.16	226.92	929.39	1 367.80
水样2	1 155.48	2.40	2.80	225.15	938.86	1 333.02
水样3	1 157.55	2.40	2.31	229.41	949.56	1 309.84
水样4	195.87	492.98	171.82	77.30	1 929.17	298.94
水样5	213.35	477.35	163.31	79.78	1 881.84	311.14
水样6	394.91	1.60	2.80	92.54	124.30	122.02
水样7	380.02	3.81	5.72	124.81	108.66	380.69

表 3 7 个待判水样判别结果与实际类型对比

待判样本	BP 模型计算结果				判别结果	实际类型
水样 1	0.000 0	0.263 3	0.000 0	0.992 9	伏青水	伏青水
水样 2	0.000 0	0.233 1	0.000 0	0.994 9	伏青水	伏青水
水样 3	0.000 0	0.229 2	0.000 0	0.996 0	伏青水	伏青水
水样 4	1.000 0	0.000 0	0.001 6	0.000 3	野青水	野青水
水样 5	1.000 0	0.000 0	0.001 2	0.000 3	野青水	野青水
水样 6	0.000 0	0.001 5	0.994 5	0.009 0	砂岩水	砂岩水
水样 7	0.000 0	0.002 0	0.993 8	0.000 5	砂岩水	砂岩水

4 结论

1) 以 BP 神经网络理论为基础,以水中 6 大常量组分($\text{Na}^+ + \text{K}^+, \text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}, \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^-$)作为判别因子,建立 BP 神经网络水源判别模型具有可行性。

2) BP 神经网络判别模型可以保存为模板文件,能够随时增加建模水样进行修改,在进行水源判别时可以直接调用,省去了大量的探查和试验工作,具有快速高效、操作简单、结果客观可靠、成本较低等优点。

3) 模型检验及实例计算结果均与实际情况相符,表明建立的 BP 神经网络水源判别模型具有较高的识别度,能够为矿井的防治水工作提供参考依据。

参考文献:

- [1] 白峰青,卢兰萍,缙书宝,等. 德盛煤矿特大突水治理技术[J]. 煤炭学报,2007,32(7):741-743.
- [2] 武强,崔芳鹏,赵苏启,等. 矿井水害类型划分及主要特征分析[J]. 煤炭学报,2013,38(4):561-565.
- [3] Winter T C, Buso D C, Shattuck P C, et al. The effect of terrace geology on groundwater movement and on the interaction of groundwater and surface water on a mountainside near Mirror Lake, New Hampshire, USA[J]. Hydrological Processes,2008,22(1):21-32.
- [4] 李志明. 大采深高承压矿井水文地质条件及防治水技术[J]. 煤炭科学技术,2010,38(9):104-107.
- [5] Shan Y, Qin Y, Wang W F. Chromium leaching mechanism of coal mine water[J]. Mining Science and Technology,2010(1):97-102.
- [6] 张小明,贾克明,姜祖水. 在建煤矿突水水源分析与防治方法研究[J]. 煤炭科学技术,2013,41(8):106-109.
- [7] 谭博,高艳卫. 基于多元统计分析的矿井水源的 Bayes 逐步判别及混合模型[J]. 中国煤炭,2013,(5):111-115.
- [8] 李燕,徐志敏,刘勇. 矿井突水水源判别方法概述[J]. 煤炭技术,2010,29(11):87-89.
- [9] 宋淑光,孟辉,张牧,等. 水质特征模型在下组煤首采面突水水源判别中的应用[J]. 煤矿安全,2012,43(6):122-124.
- [10] 刘杰刚,徐新启,时艳汝,等. 多元统计分析模型在矿井突水水源判别中的应用[J]. 中国煤炭,2013,(2):101-104.
- [11] 连会青,刘德民,尹尚先. 水化学综合识别模式在矿井水源判别中的应用[J]. 煤炭工程,2012(8):107-109.
- [12] 万文. 矿井突水水源分析的 Bayes 判别分析模型及其应用[J]. 矿业工程研究,2009,24(3):37-41.
- [13] 徐忠杰,杨永国,汤琳. 神经网络在矿井水源判别中的应用[J]. 煤矿安全,2007(2):4-6.
- [14] 祝翠,钱家忠,周小平,等. BP 神经网络在潘三煤矿突水水源判别中的应用[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版),2010,18(5):35-38.
- [15] Ma L Q, Zhang D S, Li X, et al. Technology of groundwater reservoir construction in goafs of shallow coalfields[J]. Mining Science and Technology, 2009,19(6):730-735.
- [16] 刘猛,白峰青,陈少帅,等. 水源判别标准集在矿井防治水中的应用[J]. 矿业工程研究,2014,29(3):30-33.
- [17] 崔佳星. 邢台矿地下水化学特征及突水水源判别模型研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2012.