

# 应用 LM 算法的神经网络模型研究灌区退水问题

赵新宇, 费良军, 程东娟  
(西安理工大学水资源研究所, 西安 710048)

**摘要:** 在一些引黄灌区中, 灌溉引水的相当大部分要转化为退水回归黄河, 灌区退水研究对这部分水量的重新利用有着重要的意义。该文采用相关分析的方法确定了灌区退水的主要影响因素, 应用 LM 算法的神经网络模型对灌区退水的量化分析方法进行了探讨。实例研究表明, 模型能够较准确的对灌区退水量进行模拟和预测, 对灌区退水问题研究具有较好的应用价值。

**关键词:** 灌区退水量; 神经网络; LM 优化算法

**中图分类号:** S273.1

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2006)08-0250-03

赵新宇, 费良军, 程东娟. 应用 LM 算法的神经网络模型研究灌区退水问题[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 250- 252.

Zhao Xinyu, Fei Liangjun, Chen Dongjuan. Return water of irrigation area using neural network model based on LM Algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(8): 250- 252. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

中国的大型引黄灌区多采用大引大排的灌溉模式, 灌区的退水量往往占到引水量的一半以上, 是不可忽视的再利用资源。目前的灌区退水研究主要是从水质角度研究其可再利用性<sup>[1,2]</sup>, 从灌排系统布局的角度研究其利用方法<sup>[3-6]</sup>, 关于灌区退水的量化分析研究还比较少。在灌区水资源管理中, 常根据引水量和退引比系数来预测退水量<sup>[7]</sup>, 但灌区退水系统和陆地水文系统相似, 是一个处在不断变化之中的受多因素影响的非线性动力系统, 不同时段内的退水量随机波动很大, 传统系数法很难模拟其动态变化, 准确度偏低。

神经网络是以生物神经网络为基础, 模拟人脑行为的一种信息处理方法<sup>[8]</sup>, 具有全息的联想学习能力、自组织、自适应和高度的非线性动态运算能力, 适合于对复杂的非线性动力系统的模拟, 近年来在农业工程的很多方面都得到广泛的应用<sup>[8-11]</sup>, 取得了良好的效果。本文采用相关分析的方法确定灌区退水量的主要影响因素, 建立基于 Levenberg-Marquardt(LM)算法的灌区退水量神经网络模型, 改进 LM 算法的神经网络的训练过程, 并使用 VB.NET 语言实现了模型的训练和模拟过程。

## 1 基于 LM 算法的灌区退水量神经网络模型

### 1.1 灌区退水量的神经网络模型

以宁夏青铜峡河东灌区为研究实例, 建立灌区退水量的神经网络模型。青铜峡河东灌区位于宁夏银川平原南部, 现有灌溉面积 8.07 万 hm<sup>2</sup>, 水源为黄河自流引水, 1991 年~ 2002 年平均引水量 15.96 亿 m<sup>3</sup>, 年平均退水量 10.64 亿 m<sup>3</sup>。由于灌区退水主要集中在 5~ 8 月, 占全年退水量的 80% 以上, 所以选用这个时段进行灌区退水研究。以 1994~ 2003 年 5~ 8 月的月退水量及其影响因素资料作为样本, 采用相关分析的方法分析引水量、降水量、地下水位、蒸发量对退水量的影响程度。在样本量  $n = 40$ , 置信水平  $\alpha = 0.10$  时, 两因素不相关的临界值是  $Y_\alpha = 0.2711$ , 将退水量与各影响因素的关系进行相关检验, 得出这个时段的退水量的相关因素为引水量、降水量(表 1)、地下水位。因

此, 确定引水量、退水量、地下水位为退水量神经网络模型的输入变量, 退水量为输出变量。

表 1 退水量与影响因素的相关关系表

Table 1 Correlation between the return water volume and influence factors

类别	引水量	降水量	地下水位	蒸发量
相关系数	0.814	0.300	- 0.691	- 0.135
有效性检验	√	√	√	

选定能反映退水系统特性的 3 层神经网络建立模型, 3 层分别为输入层、隐层和输出层, 其中隐层采用 S 型作用函数 tansig, 输出层采用线性作用函数 purelin。退水量神经网络模型的结构如图 1, 图中  $p$  表示网络的输入,  $w_1, w_2$  分别表示隐层和输出层的权值,  $b_1, b_2$  分别表示隐层和输出层的偏置值,  $a_1, a_2$  分别表示隐层和输出层的输出值。

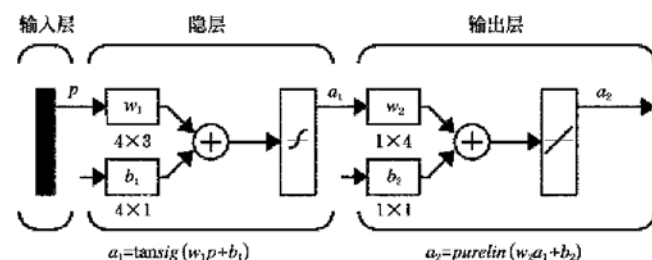


图 1 退水量神经网络模型的结构

Fig. 1 Structure of neural network model of the return water volume

### 1.2 神经网络模型 LM 算法及其改进

神经网络模型的算法有多种, 它的标准 BP 算法有着网络收敛速度慢、学习速率不易确定的弱点, 很难用于实际。LM 算法是一种比较好的优化算法, 它的训练步骤如下:

- 1) 将所有输入提交网络并计算相应的网络输出  $a$  和误差  $e$ , 然后计算所有输出的误差平方和  $F(x)$ ;
- 2) 初始化敏感度, 进行反向传播计算, 计算雅可比阵的元素;
- 3) 求网络参数(权值和偏置值)的调整矩阵  $\Delta x_k$ ;
- 4) 用  $x_k + \Delta x_k$  调整网络参数, 重新计算误差平方和, 如果新的和小于第 1 步中计算所得的和, 则把网络训练速度  $\mu_k$  减小  $\theta$  倍, 并更新  $\Delta x_k$ , 然后用  $x_{k+1} = x_k + \Delta x_k$  调整网络参数, 转第 1

收稿日期: 2005-06-27 修订日期: 2006-05-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(50179030); 陕西省水资源与环境重点实验室重点科研项目(03JS041)

作者简介: 赵新宇(1974-), 男, 河南遂平县人, 博士生, 主要从事农业水资源管理、节水灌溉研究。西安 西安理工大学水资源研究所 748 信箱, 710048。Email: spxyz@126.com

步;如果平方误差和没有减少,则把  $\mu_k$  增大  $\theta$  倍,转第 3 步;

5) 达到设定的网络收敛条件,退出训练,存储相关网络参数。

基于 LM 算法的神经网络虽然有着很多优点,但也有着 BP 神经网络共有的缺点,就是可能收敛于局部最小点。为了克服这一缺点,对基于 LM 算法的神经网络训练过程进行改进。将网络训练完成的条件由均方误差达到某一设定值,改变为两次相邻训练的均方误差的差值的绝对值达到某一设定值,并且连续进行 20 次网络收敛,每次随机取初始网络权值和偏置值。训练结束后,选取 20 次收敛中结果最好的一次,较好的减少了网络收敛于局部最小的点可能性。由于 LM 算法的神经网络具有在几百次以内就完成一次收敛训练的良好特性,所以连续进行 20 次收敛的时间不会过长。

## 2 基于 LM 算法的退水量神经网络模型检验与应用

### 2.1 基于 LM 算法的退水量神经网络模型的检验

首先对退水量神经网络模型参数(网络层数、隐层神经元)选取的合理性进行检验。使用 VB.NET 语言编制基于 LM 算法的退水量神经网络模型训练程序,采用青铜峡河东灌区 1991~2001 年 5~8 月份的引水量、降水量、地下水位资料作为输入数据,退水量作为输出数据,设定网络初始训练速度为  $\mu_0 = 0.01$ ,速度改变系数为  $\theta = 3$ 。程序在连续进行 20 次的收敛后,自动选取其中误差最小的一次作为训练结果,此次收敛的训练次数为 232 次,模型退水量模拟值和实际值之间的均方误差 0.078。再将 2002 年 5~8 月份的资料作为检验数据输入训练好的模型,得到一组退水量的检验值,其与实际值的均方误差为 0.082。可以看出,模型的训练精度和验证精度都比较高,说明网络参数的选取是合理的。

其次采用标准 BP 算法的退水量神经网络模型,对比分析 LM 算法的退水量神经网络模型的训练精度和速度。BP 算法模型使用与 LM 算法模型相同的网络结构和训练数据,网络训练 11 万次后达到收敛,模型退水量模拟值与实际值之间的均方误差为 0.182。由此可见,相对于标准 BP 算法模型,LM 算法模型在训练速度和精度方面都有很大的优势。1994~2002 年 5~8 月份两种不同算法的退水量神经网络模型的退水模拟结果和实测数据的对比如图 2 所示(图中每年含 5、6、7、8 月的数值点)。

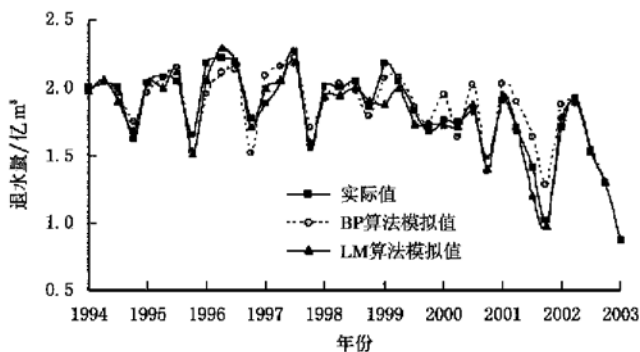


图 2 退水量实际值与模拟值对比图

Fig. 2 Comparison of the actual value and simulative value of return water volume

### 2.2 基于 LM 算法的退水量神经网络模型的应用

目前灌区水资源管理中估算退水量常用的退引比系数法<sup>[7]</sup>,是将灌区较长系列退水量与相应时段的引水量相除,得到一个系数,用此系数进行灌区退水量分析的一种方法。例如,使用青铜峡河东灌区 1991~2001 年 5~8 月份的退水量、引水量

资料可以求得退引比系数为 0.584,在实用中根据此系数和灌区的引水量,就可以估算出灌区的退水量。由于退引比系数法只考虑引水量对退水量的影响,而且是一个线性模型,不太适合于受气象因素和地下水位变化影响较大,规律复杂的月退水量的分析。而基于 LM 算法的退水量神经网络模型是一个考虑了更多影响因素的非线性智能模型,相对而言更加科学。分别使用基于 LM 算法的退水量神经网络模型和退引比系数法,计算 2003 年 5~8 月份的退水量,进行对比分析,计算结果如表 2。从表中可以看到,基于 LM 算法的退水量神经网络模型在应用中精度较高,效果比退引比系数法好。

表 2 退水量实际值与模型预测值对比表

Table 2 Comparison of actual return water volume and return water volume predicted by model

月份	实测值 /亿 m <sup>3</sup>	LM 算法 模型计算值 /亿 m <sup>3</sup>	LM 算法 模型误差 /%	退引比系数 法计算值 /亿 m <sup>3</sup>	退引比系数 法误差 /%
5 月	0.92	0.87	- 5.15	1.16	25.6
6 月	0.68	0.62	- 8.82	0.87	27.9
7 月	0.75	0.76	1.33	0.64	- 17.2
8 月	0.72	0.74	2.78	0.84	16.9

## 3 结论与讨论

1) 灌区退水系统与陆地水文系统相似,是一个复杂的非线性动力系统,其退水量主要受引水量、降水量、地下水位的影响,月退水量的变化呈一定的周期性,但随机波动较大,用传统数值分析方法很难进行模拟。

2) 神经网络有着很强的非线性映射和自学习能力,用它建立的模型能够很好的反映灌区退水系统的特性,对灌区的退水量进行较为准确的模拟和预测。相对于标准 BP 算法的退水量神经网络模型而言,LM 算法的退水量神经网络模型的模拟预测效果更好,并能以快得多的速度完成网络模型的收敛训练。

3) 在使用 VB.NET 语言进行神经网络模型编程的时候,对基于 LM 算法的神经网络的训练过程进行改进,能够较好地克服 BP 神经网络收敛于局部最小点和过度训练的弱点。

4) 目前分析退水量常用的退引比系数法仅考虑引水量与退水量的线性关系,只能粗略对退水量做出估算,而基于 LM 算法的退水量神经网络模型采用多影响因素输入,非线性映射的方式来研究退水系统,相对于退引比系数法具有更高的精度。

### [参考文献]

- [1] 马云瑞,苗济文,张益民,等.宁夏低矿化度回归水灌溉对土壤盐碱化的影响[J].农业环境保护,1998,17(4):241-244.
- [2] 王杰,苗济文,张益民,等.银川灌区灌溉回归水质量评价[J].农业环境保护,1997,16(4):145-148.
- [3] 马太玲,袁保惠,梅金铎.内蒙古套灌区建立回归水灌溉系统可行性分析[J].灌溉排水,2001,20(2):69-72.
- [4] 马云瑞,张益民,苗济文,等.宁夏灌溉回归水开发再利用的评价[J].自然资源学报,1997,12(2):133-138.
- [5] 雍富强,刘学军.宁夏引黄灌区沟水利用研究[J].水资源保护,2004(3):17-19.
- [6] 李三林,贾士权.浅析回归水利用及其效益[J].中国农村水利水电,1996(1):13-14.
- [7] 孙洪保.内蒙古河套灌区用水试验及结果应用[J].甘肃水利水电技术,2001,37(4):277-279.
- [8] 何勇,张淑娟,方慧.基于人工神经网络的田间信息插值方法研究[J].农业工程学报,2004,20(3):120-123.
- [9] 蒋益虹,冯雷.神经网络方法在红曲杨梅果酒发酵工艺优化中的应用[J].农业工程学报,2003,19(2):140-143.

- [10] 丁天怀, 李 勇, 苗君哲. 基于 BP 神经网络的皮棉杂质在线检测方法[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 137- 139.
- [11] 刘洪斌, 武 伟, 魏朝富. 土壤水分预测神经网络模型和时间序列模型比较研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 33- 36.

## Return water of irrigation area using neural network model based on LM Algorithm

Zhao Xinyu, Fei Liangjun, Chen Dongjuan

(*Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China*)

**Abstract:** In some Yellow River irrigation areas, most of irrigation water returns to its source as return water and the study of return water has a significant meaning to reuse it. The paper determines the major factors on the return water using correlation analysis method and discusses the quantitative analysis method of return water with the neural network model based on Levenberg-Marquardt algorithm. Through studying examples, the model can accurately simulate and predict the return water volume and has the application value in the study of return water volume of irrigation area.

**Key words:** return water volume of irrigation area; neural network; LM optimization algorithm