

基于人工神经网络的宝鸡市市区地下水调控方案研究

蔡明科, 胡国杰, 许义和

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 为合理确定地下水调控方案, 采用 BP 算法, 研究了宝鸡市市区地下水位动态变化过程, 建立了地下水位动态变化预测模型, 通过对 1990–2005 年地下水数据的训练, 预测了未来 3 a 的地下水变化情况, 结果表明预测结果与实测结果非常吻合, 说明 BP 模型能较好地预测宝鸡市市区地下水位动态变化; 依据此模型, 结合宝鸡市水资源开发利用现状及未来水利工程建设规划, 提出了宝鸡市未来不同水平年地下水调控方案与合理开发利用宝鸡市市区地下水资源

关键词: 地下水位; BP 神经网络; 影响因素; 水平年; 调控方案

中图分类号: TV212.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0176-04

Study on Regulation Schemes in the Urban Area of Baoji City with Artificial Neural Network

CAI Ming-ke, HU Guo-jie, XU Yi-he

(College of Water Resources and Architecture Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To ascertain the regulation schemes of groundwater reasonably, using BP algorithm, this paper studied the changing process of groundwater regime of urban area of Baoji city, established the prediction model of groundwater regime and predicted the changes of groundwater of the future 3 years after training the groundwater data of the years from 2000 to 2005. The results showed that the prediction coincided with the practical one, which showed that the BP model could be used to predict the groundwater level of urban area of Baoji city. Based on the model, combined with the present situation of water resources development and use of urban area of Baoji and the program of hydraulic project construction in the future, this paper put up the groundwater regulation schemes of different future level years and the reasonable suggestions of the development and use of groundwater resources of urban area of Baoji city.

Key words: groundwater level; BP neural network; influence factor; level years; regulation schemes

地下水资源是宝鸡市市区的主要供水水源, 由于超采致使水位逐年急剧下降, 水质受到不同程度污染, 城市的供水受到影响。2000 年, 冯家山水库市区引水工程建成, 城市供水紧缺现象得到根本解决。为了涵养城市地下水资源, 保护水环境, 建立与大城市建设相适应的现代化供水体系, 2001 年市政府在对宝鸡市水资源开发利用进行战略研究的基础上, 做出了逐步关闭市区自备水源井的决定。随着自备井的关停地下水位快速回升, 致使部分地区地下水升幅偏大, 如附近的冯家山水科大楼地下室一度出现地下水

上渗现象, 给居民生活带来了影响, 因此预报地下水位, 研究地下水位动态的调控方案, 对宝鸡市市区地下水资源的持续开发利用显得十分迫切和必要。传统的地下水分析预测方法如有限单元法、有限差分法、回归分析、谐波分析、时间序列分析、概率统计法等。这些方法多以线性理论为基础, 考虑问题偏于简单化, 导致预测精度不高^[1]。而本文使用近年发展起来的人工神经网络理论和方法, 结合 MATLAB 软件对地下水位进行预测, 取得较好的效果, 和实际比较吻合, 对调控方案的制定具有一定的指导意义。

收稿日期: 2010-04-23

资助项目: 水利部《节水型社会建设》项目(水综节水[2009]100号)

作者简介: 蔡明科(1970–), 男, 硕士, 主要从事水文水资源及节水技术方面的研究。E-mail: cmk197006@163.com

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

1 研究区概况

研究区为宝鸡市金台区和渭滨区, 规划面积 75 km²。宝鸡市地处陕西省关中平原西侧, 位于东经 106°18′21″- 108°03′14″、北纬 33°34′50″- 35°06′16″, 东连咸阳、西安, 南接汉中, 西、北与甘肃天水市和平凉市毗邻。东西长 162.4 km, 南北宽 169.35 km, 辖金台、渭滨和陈仓三区及凤翔、扶风、岐山、眉县、陇县、千阳、麟游、凤县和太白九县, 总面积 18 172 km²。渭河自西向东横穿中间, 在市境内流程长 206 km。

表 1 研究区地下水动态及其影响因素

项 目	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
降水入渗补给量/万 m ³	1291.0	619.0	951.8	648.4	1200.5	1059.1	1073.9	802.7	803.9	1482.4	832.4	998.4
河道渗漏补给量/万 m ³	5713.4	6385.4	6052.6	6355.9	5803.9	5945.2	5930.5	6201.6	6200.5	5521.9	6172.0	6005.9
人工开采量/万 m ³	6602.9	7292.7	7229.0	7500.8	7522.5	6984.1	6558.0	4942.9	4747.2	4044.1	4989.7	4250.0
闸坝蓄水渗漏量/万 m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1606
加权平均埋深/m	57.10	64.30	64.10	66.50	66.56	61.71	58.20	46.48	44.58	45.48	46.50	39.5

2 宝鸡市地下水动态预测

本文将建立宝鸡市区地下水动态预测的 BP 网络模型。BP 模型的学习思路是^[2]: 当给定一个网络的输入模式时, 它有输入层单元传递到隐层单元, 经处理后, 然后再传递到输出层单元。由输出层处理后产生一个输出模式, 这个过程称为前向传播。如果输出响应与期望输出模式有误差而不满足要求时, 就转入误差后向传播, 将误差值沿连接通路逐层反向传递并修改各层的连接权值和阈值。这样不断重复前向传播和误差后向传播过程, 直到各个训练模式都满足要求时, 结束学习过程。

2.1 建立 BP 网络模型

2.1.1 BP 网络模型模型设计 (1) 用 1990- 2005 年的研究区地下水位动态变化的影响因子和水位加权埋深值作为模型的学习样本来训练 BP 网络模拟模型, 将 2006- 2008 年的资料作为测试样本; 并对原始数据进行归一化处理。将数据处理为区间[0, 1] 之间的数据。归一化方法有很多形式, 这里采用如下公式^[4]:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\max_{1 \leq j \leq n} \{x_{ij}\}}, i= 1, 2, \dots, m; j= 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中: x_{ij} —— 样本原始数据第 i 行第 j 列的元素; x_{ij}^* —— 样本归一化后数据第 i 行第 j 列的元素; $x_{ij}^* \in [0, 1]$ 。

(2) 网络训练中各种参数的确定在对 BP 神经网络进行预测之前, 要根据各个参数取值的基本原则, 对算法中需要设定的网络训练参数及其取值进行确定。

¹ 网络节点。本文的研究是建立在 BP 神经网络模型采用 3 层网络结构基础之上, 其中输入层的输入变量有 4 个, 分别对应于影响地下水位动态变化的

市区北临黄土台塬, 南依秦岭山脉, 西为群山所阻, 东去进入宽阔的关中平原, 呈长条状分布在渭河两岸的高漫滩及一级阶地之上, 东西长 20 km, 南北宽 3~ 5 km。该地区地下水动态变化主要受降水入渗补给、河道渗漏补给、人工开采和闸坝蓄水渗漏等因素的影响。

选取 1990- 2005 年研究区范围内降水入渗补给量、河道渗漏补给量、人工开采量和闸坝蓄水渗漏量等及地下水加权平均埋深数据(见表 1), 建立 BP 网络模型, 并用 2006- 2008 年的数据对模型进行检验。

4 个主要因素, 即降水入渗补给量、河道渗漏补给量、人工开采量和闸坝蓄水渗漏量, 一个隐含层含 9 个节点; 输出变量对应于地下水加权平均埋深。即本文构成一个 4- 9- 1 的 BP 网络模型。

④初始权值的确定。初始权值应该是一组不完全相等的数值, 所以在程序设计中, 产生一组(- 1, 1) 之间的随机数来作为网络的初始权值。

(四) 训练速率。在网络训练中, 训练速率过大, 会影响网络的稳定性, 会引起系统振荡, 但训练速率过小, 会导致收敛速度较慢, 所以, 在网络设计中, 应该用不同的训练速率对网络进行训练并不断进行调整, 最终选择合适的训练速率, 其一般取值为(0. 01 ~ 0. 6), 本文选取 0. 4。

$\frac{1}{4}$ 允许误差。一般取 0. 001~ 0. 000 01, 本文选取 0. 001, 当迭代结果的误差小于该值时, 系统结束迭代计算, 给出结果。

2.1.2 BP 网络模型模型实现 利用 MATLAB 软件的神经网络工具箱来实现 BP 模型的建立。该工具箱针对各种网络提供多种网络训练算法, 以满足解决不同实际问题的需要^[5]; 网络训练过程中实时显示当前训练结果信息, 提供训练误差实时变化曲线, 方便用户根据网络训练情况及时调整网络结构, 提高工作效率。该工具箱丰富的函数使神经网络的初学者可以理解各种算法的内容实质, 而其强大的扩充功能更令研究人员工作起来游刃有余。此外神经网络工具箱中还给出大量示例程序, 为使用工具箱提供了生动实用的范例。

根据前面的分析, 将处理后的数据进行分类, 将 1990- 2005 年的数据作为训练样本, 2006- 2008 年

的数据作为测试样本,然后将数据导入工具箱。将标准化后的训练样本和测试样本进行学习,从图 1 可以看出经过 26 次训练后,误差达到允许误差 0.001,网络性能达到最好,所以停止训练,模型建立。

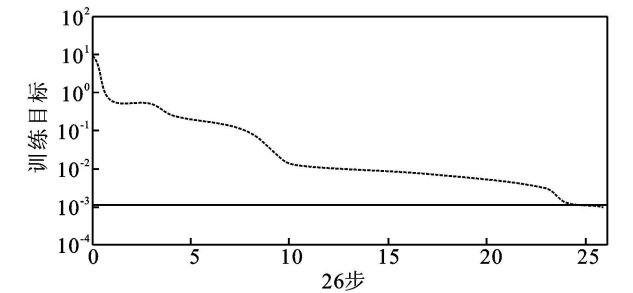


图 1 研究区地下水位动态 BP 模型训练步数及误差

BP 网络模拟结果见图 2, 从该结果可以看出 1990–2005 年的地下水位加权埋深实测值与模型模拟值比较吻合, 说明此模型模拟精度较高。所以建立的 BP 网络模型的性能达到了要求, 可以用来对 2006–2008 年进行预测。

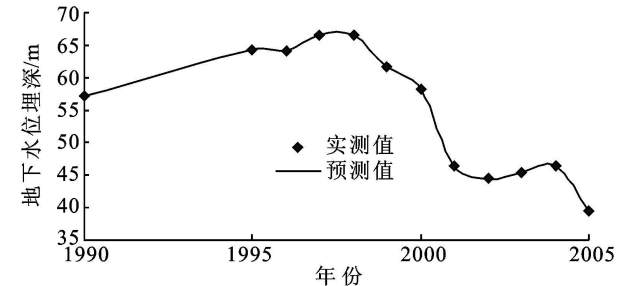


图 2 研究区 BP 网络模拟曲线

2.2 BP 网络模型检验

运用训练后的模型对 2006–2008 年三个检验样本水位进行预测, 以此检验模型, 结果见表 2。

表 2 研究区 BP 网络预测结果

年份	实际值/ m	拟合值/ m	相对误差/ %
2006	36.1	34.41	4.68
2007	26.7	25.68	3.82
2008	22.8	22.03	3.38

上述运用 BP 网络模型模拟了研究区 1990–2005 年的地下水位埋深, 并根据建立的模型对 2006–2008 年的地下水位埋深做了预测, 得到以下结论: 模型的模拟误差都比较小, 模拟精度高; 预测误差偏大一些, 但也均在 5% 以内。总体而言, 模型模拟预测精度都可以满足要求, 可以为研究区及各水源地的地下水位动态调控提供合理的依据。

3 宝鸡市地下水动态调控方案

根据以上所建立的 BP 模型及模拟结果, 结合宝鸡市的实际情况, 就可以对宝鸡市的地下水进行调控。以达到地下水位埋深在 25~35 m 的目标。

3.1 调控目的

在满足宝鸡市区社会经济发展, 特别是居民生活用水需要的前提下, 通过对各个水源地地下水的开采或限采, 尽可能使宝鸡市区地下水位维持在 25~35 m, 以达到地下水采补平衡及地质稳定的目标, 涵养市区地下水资源, 同时不会形成新的地下水生态环境问题。

3.2 调控步骤

2008 年宝鸡市区地下水开采量为 2 538 万 m³, 对应的地下水位平均埋深为 22.08 m, 地下水位偏高, 在局部地区应重启自备井, 增加地下水开采量。依据 2.1 所建立的 BP 模型以及调控目的, 在降水入渗补给量、河道渗漏补给量和闸坝蓄水渗漏补给量均取多年平均值的条件下, 若将调控水位的目标设置为 25~35 m, 通过模型模拟计算, 则对应的地下水开采量是 2 800 万 m³ 到 3 800 万 m³。本次调控方案的目标是通过关闭或开启自备井来调整年地下水开采量, 尽可能使得市区地下水位埋深在 25~35 m。调控的基本步骤如下:

- (1) 以 2008 年地下水位及开采量为参照标准。
- (2) 确定未来不同水平年的前一年年均水位 h_1 , 及其年开采量 $Q_{增}$ 。
- (3) 若 $h_1 < 25$ m, 则该水平年需增加地下水开采量(增加部分为 $Q_{增}$), 且 $Q_{减} + Q_{增} < 3\,800\text{ m}^3$; 若 $h_1 > 35$ m, 则该水平年需关闭部分自备井, 减少地下水开采量(减少部分为 $Q_{减}$); 若 $25\text{ m} \leq h_1 \leq 35\text{ m}$, 则该水平年维持前一年的地下水开采量, 可稍微增减。

(4) 依据不同情景下的地表水供水能力和需水量, 计算供需差值。若地表水供水能力大于需水量, 则该水平年开采地下水 2 800 万 m³ 用于城市供水, 需水量的剩下部分由地表水提供; 若地表水供水能力小于需水量, 且差值小于 3 800 万 m³, 则该水平年地表水全部用于供水, 需水量的剩下部分由地下水提供; 若差值大于 3 800 万 m³, 则需启用应急水源。

3.3 调控结果分析

3.3.1 调控结果 2001 年, 宝鸡市政府开始逐步关闭市区自备水源井, 至 2007 年底, 水利部门在市区不同水源地先后共关闭自备井 240 眼, 使地下水年开采量由关井前的 6 000 多万 m³ 下降到 2008 年的 2 000 多万 m³, 累计减少年开采量近 4 000 万 m³, 市区地下水位持续下降的态势得到了基本控制, 地下水位逐年上升。为了进一步合理开发利用地下水资源, 本文制定的调控方案通过对不同情景下地下水开采量的计算模拟, 结合地表水和应急水源的联合调度, 根据所建立的 BP 网络模型得出了不同情景下的地下水位埋深。调控结果按基本节水方案和强化节水方案进行分析。不同水平年基本调控方案见表 3, 强化调控方案见表 4。

表 3 不同水平年基本方案调控表

年 份	情景	方案	地表水/ 万 m ³	需水量/ 万 m ³	缺(余)水 量/万 m ³	地下水供水 量/万 m ³	地表水供水 量/万 m ³	应急水源供水 量/万 m ³	较 2008 年地下水 开采量增加/万 m ³	地下水 埋深/m
2010	1	50%	11648.1	15739.4	4091.3	3800.0	11648.1	291.3	1270.0	35.0
	2	75%	10196.8	15739.4	5542.6	4042.6	10196.8	1500.0	1512.6	37.4
	3	95%	7698.6	15739.4	8040.8	6540.8	7698.6	1500.0	4010.8	60.1
2020	4	50%	32448.1	26791.5	- 5656.7	2800.0	23991.5	-	270.0	25.0
	5	75%	27996.8	26791.5	- 1205.4	2800.0	23991.5	-	270.0	25.0
	6	95%	20498.6	26791.5	6292.9	4792.9	20498.6	1500.0	2262.9	44.3
2030	7	50%	45548.1	38585.3	- 6962.8	2800.0	35785.3	-	270.0	25.0
	8	75%	40496.8	38585.3	- 1911.5	2800.0	35785.3	-	270.0	25.0
	9	95%	32398.6	38585.3	6186.7	4686.7	32398.6	1500.0	2156.7	43.4

表 4 不同水平年强化方案调控表

年 份	情景	方案	地表水/ 万 m ³	需水量/ 万 m ³	缺(余) 水量/万 m ³	地下水供水 量/万 m ³	地表水供水 量/万 m ³	应急水源供水 量/万 m ³	较 2008 年地下水 开采量增加/万 m ³	地下水 埋深/m
2010	1	50%	11648.1	13744.1	2095.9	2800.0	10944.1	-	270.0	25.0
	2	75%	10196.8	13744.1	3547.3	3547.3	10196.8	-	1017.3	32.0
	3	95%	7698.6	13744.1	6045.5	4545.5	7698.6	1500.0	2015.5	42.2
2020	4	50%	32448.1	23970.6	- 8477.5	2800.0	21170.6	-	270.0	25.0
	5	75%	27996.8	23970.6	- 4026.2	2800.0	21170.6	-	270.0	25.0
	6	95%	20498.6	23970.6	3472.0	3472.0	20498.6	-	942.0	31.2
2030	7	50%	45548.1	33110.9	- 12437.1	2800.0	30310.9	-	270.0	25.0
	8	75%	40496.8	33110.9	- 7385.8	2800.0	30310.9	-	270.0	25.0
	9	95%	32398.6	33110.9	712.4	2800.0	30310.9	-	270.0	25.0

3.3.2 结果分析 从表 3 的结果分析, 针对基本节水方案, 在充分利用地表水资源的前提下, 三个规划年(2010 年、2020 年、2030 年)的 9 个子方案, 缺水程度较高, 五次启动应急水源, 4 个子方案未能实现水位调控目标, 说明在不实行强化节水措施的情况下, 宝鸡市区水资源供需矛盾尖锐, 仅依靠开启备用水源, 既不能完全满足供水需要, 也不可能达到涵养地下水资源, 调节市区地下水位的目标, 特别是 95% 频率下, 可供水量缺口很大, 最大年缺水 8 040. 8 万 m³。

对比基本节水方案, 强化节水方案中各个子方案的缺水量明显较小(或余水量较大), 最大 6 045. 4 万 m³, 年地下水开采量较小, 应急水源的启用次数、水量远小于基本方案, 调控的地下水位亦能更好地满足调控目标。说明在强化节水方案下, 既完全满足供水需要, 也能达到涵养地下水资源的目的。

4 结 语

该文分析了宝鸡市地下水资源概况, 在此基础上建立 BP 网络模型模拟该地区地下水位的动态变化, 结果表明, 模型较为理想; 为使地下水达到采补平衡, 结合调控水位 25~ 35 m 的目标设置, 提出了宝鸡市地下水动态在不同水平年下的两种调控方案, 即基本方案和强化方案。对比基本方案和强化方案, 可以发

现, 在相同的水平年条件下, 强化方案中各个情景的缺水量较小(或余水量较大), 年地下水开采量较小, 应急水源的启用次数、水量远小于基本方案, 调控的地下水位亦能更好地满足调控目标, 为宝鸡市合理开发利用地下水资源提供了依据。

参考文献:

[1] 张忠永, 王明涛, 贾惠艳. 人工神经网络在地下水动态预测中的应用[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2002, 21(4): 504-506.

[2] 马建琴, 周慧, 邱林, 等. 基于模拟退火算法和 BP 算法的神经网络在灌区地下水中的应用[J]. 华北水利水电学院学报, 2007, 12(6): 5-6.

[3] 赵胜利, 刘燕, 李书全, 等. BP 网络预测地下水动态[J]. 河北农业大学学报, 2002, 10(4): 206-207.

[4] 高婷. 城市圈物流需求的 BP 神经网络预测模型[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.

[5] 袁永生. 面向型号论证的舰船快速性预报及系统实现[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.

[6] 许东, 吴铮. 基于 MATLAB6. X 的系统分析与设计: 神经网络[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.

[7] 陈葆仁, 洪再吉. 地下水动态及其预测[M]. 北京: 科学出版社, 1988.

[8] 韩力群. 人工神经网络教程[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.