青铜峡银北灌区地下水位变化规律分析与模拟

赵新宇，费良军，刘从柱
（西安理工大学水资源研究所，陕西 西安 710048）

摘　要：分析了银北灌区地下水位较高的成因，研究了灌区地下水位年际和年内的动态变化规律，采用主成分分析方法，确定了灌区地下水位变化的主要影响因素，并用变速率的VLBP神经网络实现了对灌区的地下水位变化的模拟。结果表明灌区地下水位变化具有周期性、季节性的特点，并且可以被VLBP神经网络模型准确地模拟。

关键词：地下水位；变化规律；主成分分析；VLBP神经网络
中图分类号：S273.4　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-7601(2007)02-0120-04

青铜峡银北灌区位于宁夏银川平原的北部，总面积3 518 km^2，灌溉面积21.3万hm^2，区内降水稀少(年降水量180～220 mm)，蒸发强烈(年蒸发量1 000～1 550 mm，E601型)，属灌溉农业区。灌区内地下水位较浅，流动滞缓，土壤盐渍化严重，约有半数耕地受到盐害，并有盐荒地5.46万hm^2，是影响灌区农业生产的最大障碍。分析研究灌区地下水位变化规律，合理确定引水量，控制地下水位，是灌区改造亟待解决的问题。

现阶段关于灌区地下水的研究，主要是从灌区地下水资源赋存特点和水质的角度研究地下水资源的可持续利用[1～3]；以田间观测试验资料为基础，研究灌区地下水位动态变化的主要影响因素[4]；采用不同的理论研究地下水位的预测方法[5,6]。但关于大型灌区的地下水位变化规律分析与模拟的研究还不多，本文以宁夏青铜峡银北灌区为实例，分析了导致灌区高地下水位的成因，研究了灌区地下水位的动态变化规律和主要影响因素，模拟了灌区地下水位的变化，对大型灌区的地下水位变化规律研究进行了新的探索。

1　地下水位较高的成因

青铜峡银北灌区干旱少雨，但多年平均地下水位只有1.46 m，在很多地方还有较大的湖泊和沼泽地，这确实是个不多见的反常现象。经分析这种现象的形成有以下几个原因：首先是灌区引水量过大，1980～2000年银北灌区年平均引水量为28.26亿m^3，而同期的耗水量只有13.42亿m^3，过量引水导致渗漏，抬高了地下水位；其次是灌区地势平缓，地下水由南向北运动方向上的坡降只有1/4000～1/6000，侧向径流缓慢，排水困难；第三是灌区地下约1.5 m深处，有一0.5 m厚的含沙层，限制了排水沟的开挖深度，也增加了这个深度以下地下水的排泄难度；第四是灌区管理水平相对较低，灌水方法落后，灌区水稻的灌溉定额为15 000 m^3/hm^2，小麦的灌溉定额为4 500～6 000 m^3/hm^2，灌溉用水浪费严重，过量的灌水提升了农田及其相邻地区的地下水位；第五是灌区渠系年久失修，渠道干、支渠衬砌长度不足30%，斗、农渠基本没有衬砌，渠系水利用系数仅为0.53左右，大量渗漏使渠道两侧地下水位升高，并造成了土壤盐咸化。例如在西干渠两侧就形成了一条长18 km，宽约1 000 m的沼泽和土壤次生盐化带。

2　地下水位的变化规律

根据对青铜峡银北灌区地下水位动态变化图(图1)的研究，地下水位在灌溉季节上升，非灌溉季节下降，而在翌年的灌溉季节重新上升，呈周期性、季节性升降变化，并且最高水位的升降范围，年复一年的保持相对稳定，具有明显的人为灌溉“动态平衡”特征。根据地下水位变化的这种特性，可以将地下水年内变化规律分为以下几个主要时段。

(1) 春灌(4月)前，地下水位多在1.3～2.0 m之间，耕地范围内地下水位一般大于1.7 m，荒地地下水位一般在1.0 m左右。

(2) 灌溉期(5～9月)，每年4月下旬开始的春灌使地下水位大幅度上升，上升幅度一般为1 m以上，在此之后地下水一直保持较高水位，旱作区地下水位一般在0.8～1.5 m变化，水稻区地下水位一般小于0.5 m。

收稿日期：2006-07-07
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，河南省遂平人，博士，主要从事农业水资源管理、节水灌溉研究。E-mail：spxyz@126.com。
中国知网 https://www.cnki.net

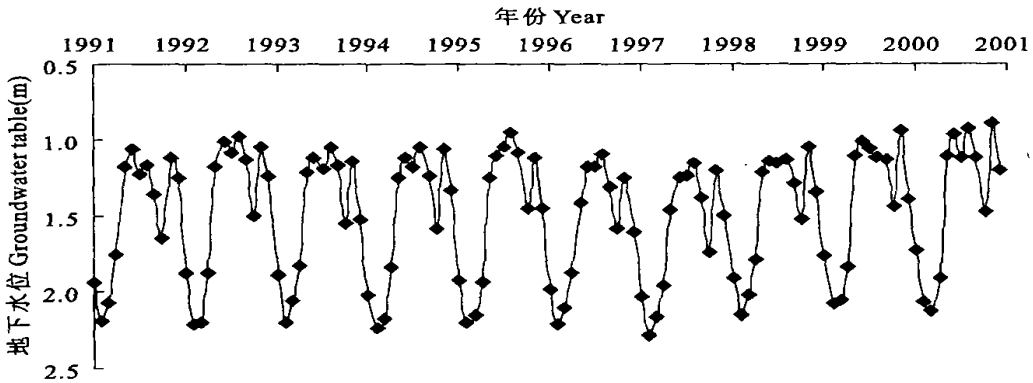

图 1　银北灌区 1991～2000 年月地下水位动态变化图

Fig.1　Month groundwater table of Yinbei irrigation areas from 1991 to 2000

(3) 灌溉间歇期(9 月下旬～10 月下旬),9 月下旬起渠道停灌约一个月,地下水位普遍下降约 1 m,地下水位在 1.5～2.0 m 变化。

(4) 冬灌期(10 月下旬～11 月中旬),由于冬灌期灌水量大而集中,地下水位急剧上升,这时地下水位多在 1.0 m 左右,部分田块地下水位接近地表。

(5) 停灌期(11 月下旬～次年 4 月),冬灌结束后,地下水位开始下降,地下水主要消耗在两个方面,一是水平排泄到排水沟或黄河,二是以土壤冻结水的形式保持在土壤中,次年的 2 月下旬至 4 月上旬,土壤冻结水融化,地下水位缓慢上升 0.3～0.8 m。

灌区地下水位年际间保持相对稳定,年平均地下水位没有出现持续上升或持续下降的情况。另外,地下水位各年的最高水位,最低水位变化也很小,处于相对稳定状态。

3　地下水位变化影响因素主成分分析

灌区地下水位的变化主要受灌区渠道引水量、退水量、降雨量、蒸发量、地下水开采量等因素的影响,但这些指标之间具有一定的相关关系,可以对它们进行主成分分析,用较少的新指标代替原来的 5 个指标,以降低地下水位变化规律分析的复杂性。

主成分分析的基本思想是根据原有 p 个变量之间的相关性,用 m(比 p 小) 个主成分(特殊的线性组合) 来反映全部变量的大部分样本变差[7]。设 $X_1, X_2, \cdots, X_p$ 为原有的 p 个指标,$X = (x_{ij})_{n\times p}$ 为其标准化观察矩阵,$Z_i = \sum_{i=1}^{m} l_{ip}X_p$, $i = 1,2,\cdots,m$ 为新指标(主成分),$L_i = (l_{1i}, l_{2i}, \cdots, l_{pi})^T (i = 1, 2, \cdots, p)$ 为系数矩阵。用 Z 中较少的新指标代替原来 X 中的 p 个指标,就要求它们含有尽可能多的原指标信息且互不相关,指标中所含信息量的大小通常用该指标的方差来表示。设 $R = (r_{ij})_{p\times q}$ 为 p 个变量之间的关系系数矩阵,Z_i 的样本方差为 $\mathrm{Cov}(Z_i, Z_j) = L_i^T R L_j (i, j = 1,2,\cdots,p)$。$R$ 的特征值和对应的正交单位化特征向量分别为 $\lambda_1 \geqslant \lambda_2 \geqslant \cdots \lambda_p > 0, e_1, e_2, \cdots, e_p$,则取 $L_i = e_i$ 时,$\mathrm{Var}Z_i = \lambda_i, \mathrm{cov}(Z_iZ_j) = 0 (i, j = 1,2,\cdots,p)$,可以证明原有指标的标准化样本总体方差为 p,称 $\frac{\lambda_i}{p}$ 为第 i 个主成分的贡献率;$\sum_{i=1}^{k} \frac{\lambda_i}{p}$ 为前 m 个主成分的累积贡献率它表明了前 m 个主成分所能代替原有指标的信息量。

采用银北灌区 1991～2001 年的月引水量、月退水量、月降水量、月蒸发量、月地下水开采量进行主成分分析,分析结果如表 1 所示。

表 1　R 的特征值,贡献率以及累积贡献率

Table 1　The eigenvalue ,contribution rate and accumulated contribution rate of R

因素 Factors	引水量 Water diversion	退水量 Return water	降水量 Precipitation	蒸发量 Evaporation	地下水开采量 Groundwater yield
特征值 Eigenvalue	3.716	1.01	0.81	0.266	0.02
贡献率 Contribution rate	0.619	0.167	0.135	0.044	0.035
累积贡献率 Accumulated contribution rate	0.619	0.786	0.921	0.965	1

中国知网 https://www.cnki.net

分析结果表明,引水量的主成分贡献率最大,达到0.619,引水量、退水量、降水量3项的累积贡献率达到了0.921,说明这3项指标可以反映全部影响因素信息量的92.1%,因此确定引水量、退水量、降水量为分析地下水变化规律的第一、二、三主成分。地下水开采量的主成分贡献率最小,是因为灌区地上水开采量很少,对地下水位的变化还难以形成较大的影响。

4 灌区月地下水位的变化神经网络模拟

采用BP神经网络的方法对灌区月地下水位的变化进行模拟,BP网络是指在具有非线性传递函数神经元构成的采用误差反向传播算法(BP—Back Propagation)的前馈网络(MFNN—Multilayer Feed forward Neural Networks),是神经网络中使用最广泛的一类。该网络通常由输入层、隐层和输出层组成,层与层之间多采用全互联方式,同一层单元之间不存在相互连接,BP网络的每一层连接权值都可以通过学习来调节。BP网络的基本处理单元(输入层除外)的作用函数(又称激活函数)有多种,理论上已经证明具有阈值和至少一个S型隐含层加上一个线性输出层的网络,能够逼近任何一个有理函数。建立地下水位BP神经网络模型如图2所示,其中输入层含3个神经元,隐层含4个神经元,输出层含1个神经元,隐层采用S型激活函数为tansig,输出层采用线性函数为pureline。

BP神经网络是通过训练误差反向传播修改网络权重来实现对客观对象的识别,它有着网络收敛速度慢、学习速率不易确定的弱点,为了加快网络的收敛速度,采用学习率自适应调整的VLBP算法[8]训练地下水位神经网络模型。VLBP算法在网络的训练中根据权值 w 改变的后的平方误差 $F(x)$ 大小,动态的改变网络的学习速度:如果一次权值改变后平方误差(在整个训练集上)的递增超过 ζ,学习速率乘以 ρ 的系数;当平方误差的递增不超过 ζ,学习速率乘以 η 的系数;其它情况学习速率保持不变。

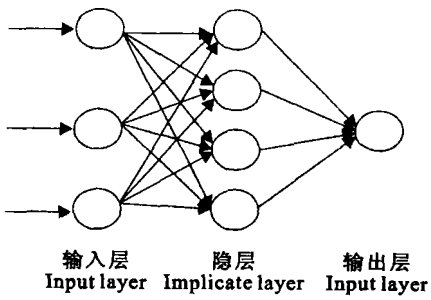

图2 地下水位神经网络模型结构图

Fig.2 Structure of the groundwater table neural network model

采用1991～2000年4～11月的月引水量、退水量、月降水量资料作为网络的输入值,地下水位资料作为输出值,设定初始学习速率 $\zeta=4\%$, $\rho=0.7$, $\eta=1.05$, $\alpha_0=0.006$,用VLBP网络训练13200次后,网络收敛,平方误差为mse=0.015,实际值与模拟值的对比如图3(图中每年包括4～11月8个数据点)。

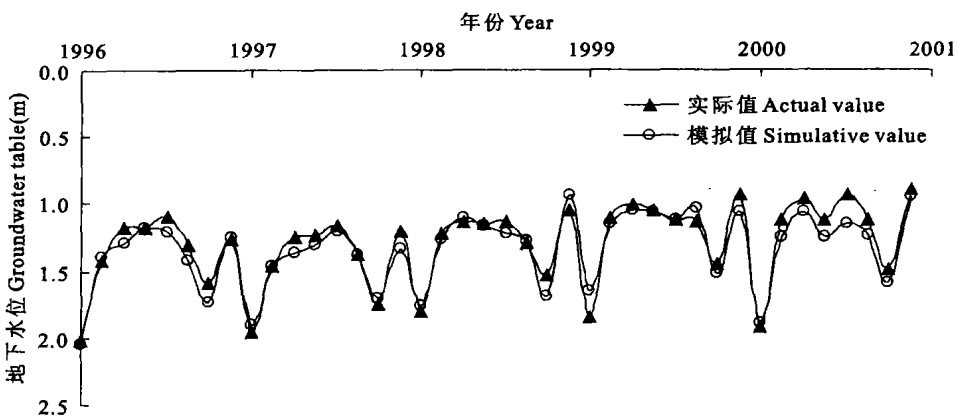

图3 1996～2000年4～11月地下水位实际值与模拟值对比图

Fig.3 Comparison of actual value and simulative value of the groundwater table

将2001年4～11月的月引水量、月退水量、月降水量分别输入训练好的地下水位神经网络预测模型,进行地下水位预测,预测结果如表2。由图3和表2可以看出地下水位预测模型的模拟预测效果都是比较好的。

中国知网 https://www.cnki.net

表 2　2001 年地下水位实际值与预测值对比表

Table 2　Comparison of actual value and forecast vale of groundwater table in 2001

月份 Month	实际值 Actual value (m)	预测值 Forecast value (m)	月份 Month	实际值 Actual value (m)	预测值 Forecast value (m)
4 月 April	1.83	1.80	8 月 August	1.04	1.18
5 月 May	1.22	1.36	9 月 September	1.19	1.30
6 月 June	1.07	1.18	10 月 October	1.60	1.50
7 月 July	1.10	1.17	11 月 November	1.05	1.10

5　结　论

1) 青铜峡银北灌区的地下水位较高是灌区土壤大面积盐渍化的主要原因,而地下水位较高的主要是由引水量过大,灌水技术落后,灌溉管理水平低,沟渠衬砌率低和灌区特有地形地质条件等原因造成的。

2) 青铜峡银北灌区的地下水位动态变化具有周期性、季节性的特点,受随机性因素的影响,在年际间相对稳定,是人为灌溉形成的动态平衡,影响灌区地下水位变化的主要因素是引水量、退水量、降水量。

3) 应用变速率的 BP 神经网络,能够实现对灌区月地下水位变化较为准确的模拟预测。根据地下水位模拟预测的结果,可以合理的确定引水量范围,控制灌区地下位,减轻土壤盐渍化。

参 考 文 献:

[1] 杨路华,沈荣开,曹秀玲.内蒙古河套灌区地下水合理利用的方案分析[J].农业工程学报,2003,19(5):56－59.

[2] 刘俊民,李佩成.论渭北黄土台原灌区地下水可持续利用[J].干旱地区农业研究,1999,17(3):106－111.

[3] 惠春莉,罗三强,郭　军.洛惠渠灌区地下水化学性质分析[J].地下水,2003,21(4):180－181.

[4] 魏晓妹,刘俊民,王立坚.黄土原灌区地下水动态机理的试验研究[J].干旱地区农业研究,1999,17(1):100－105.

[5] 陈南祥,王树谦,苏万益.灌区地下水位动态预报系统软件开发研究[J].灌溉排水,2000,19(2):58－61.

[6] 屈忠义,陈亚新,史海滨.内蒙古河套灌区节水灌溉工程实施后地下水变化的 BP 模型预测[J].农业工程学报,2003,19(1):59－62.

[7] 沈国舫.现代数学方法在地理学中的应用[M].北京:机械工业出版社,2001.84－92.

[8] Martin T Hagan, Hovard B Demuth.神经网络设计[M].北京:机械工业出版社,2002.234－236.

Analysis and simulation of groundwater table change of Yinbei irrigation region in Qingtongxia

ZHAO Xin-yu, FEI Liang-jun, LIU Cong-zhu

(*Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi* 710048, *China*)

Abstract: Soil salinization of Yinbei irrigation region in Qingtongxia is very serious and restricts healthy development of agriculture. The main reason of soil salinization of irrigation region is excessively high groundwater table. In this paper, the reason of high groundwater table is analyzed, major factors influencing the groundwater table of irrigation region are ascertained, the change law of groundwater table within and between years is researched, and the groundwater table change is simulated with neural network model based on change velocity algorithm. These researches have laid theory foundation for controlling the groundwater table and soil salinization of Yinbei irrigation region.

Keywords: groundwater table; change law; principal component analysis; VLBP neural network

中国知网　https://www.cnki.net