

三峡水库运行对洞庭湖水位影响分析*

黄 群, 孙占东**, 姜加虎

(中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

摘 要: 洞庭湖的水情是长江和四水共同作用的结果, 三峡蓄水运行必将导致洞庭湖的水情变化. 本文利用 BP 神经网络对洞庭湖出口城陵矶站的水位过程进行模拟, 以区分城陵矶水位变化中三峡的影响分量. 模型训练阶段以三峡出库日均流量、洞庭湖四水合成日均流量为输入, 城陵矶站的日水位过程为输出, 应用阶段用三峡入库流量代替出库流量, 从而还原自然状态下的城陵矶水位变化过程, 最后通过比对确定三峡蓄、泄水对洞庭湖水位变化的影响. 计算结果表明, 三峡蓄水对洞庭湖水位产生了较大的影响, 2006 年蓄水使城陵矶水位平均下降 2.03m, 最大降幅 3.30m, 2009 年蓄水使城陵矶水位平均下降 2.11m, 最大降幅 3.12m. 三峡蓄水对秋季城陵矶水位的影响不容忽视.

关键词: 三峡水库; 洞庭湖; 水位; BP 神经网络; 城陵矶站

Impacts of the operation of the Three Gorges Reservoir on the lake water level of Lake Dongting

HUANG Qun, SUN Zhandong & JIANG Jiahu

(*State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China*)

Abstract: Hydrological regime of Lake Dongting is the overlap of discharge from Yangtze River and four other inlets around the lake (i. e. Xiang, Zi, Yuan and Li Rivers). The operation of the Three Gorges Reservoir (TGR) inevitably disturbs this hydrological regime. In this paper, the water level processes of Chenglingji Station (outlet of Lake Dongting) were simulated by using BP neural networks, to evaluate the independent proportion/weight of water level change caused by the operation of the TGR. In the training phase, the average daily outflow discharge of TGR and the synthetic discharge of other four inlets were chosen as inputs, and the water level of Chenglingji Station as output. In the implementation phase, the outflow discharge of TGR was replaced with the inflow to simulate the water level process without regulation of TGR. The results indicate that significant impacts have been introduced due to the runoff regulation of the reservoir. The water level dropped 2.03m in 2006 and 2.11m in 2009 during the reservoir storage period, and the extreme drop was up to 3.30m and 3.12m, respectively. In view of its potential impacts on the structure and function of lake wetlands, proper attention should be paid to this occurrence.

Keywords: Three Gorges Reservoir; Lake Dongting; water level; BP neural networks; Chenglingji Station

洞庭湖是长江中游最大的调蓄湖泊, 长江经三口(松滋口、太平口、藕池口)向洞庭湖分流, 与洞庭湖流域的四水(湘、资、沅、澧)入流经洞庭湖调蓄后由出口城陵矶汇入长江, 所以洞庭湖的水情变化是长江和四水共同作用的结果. 长江通过三口分流和对湖泊出口顶托两个方面对湖泊水情施加影响, 形成相当复杂的江湖关系. 2003 年三峡水库蓄水运行以来洞庭湖水位持续偏枯, 特别是在 2006 年和 2009 年出现了历史罕见的秋旱, 并引发一系列的生态环境问题, 成为研究的热点^[1-2]. 洞庭湖区生态环境问题的形成虽然有气候变化的背景, 但三峡的作用也不可忽视, 如何区分出三峡水库运行对洞庭湖水情的影响分量, 对洞庭湖的生

* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX1-YW-08-01-02)、国家自然科学基金项目(40571028, 40771012)和中国湖泊水质、水量和生物资源调查项目(2006FY110600)联合资助. 2010-08-03 收稿; 2010-11-10 收修改稿. 黄群, 男, 1964 年生, 副研究员; E-mail: qhuang@niglas.ac.cn.

** 通讯作者; E-mail: sun@niglas.ac.cn.

态环境保护及三峡水库的合理调度都是必要的. 目前的研究主要是通过对原型资料的统计分析、建立水力数值模型等手段^[2-4], 分析和预测三峡工程运用后洞庭湖水情变化, 侧重点在于长江干流河床变化和三口分流的变化. 由于对过程细节和监测数据的过分依赖, 在建模上存在一定困难, 模拟结果也往往具有较大不确定性. 本文拟采用神经网络方法分析三峡蓄泄水过程对洞庭湖出口城陵矶水位的影响.

1 研究方法

人工神经网络(ANN)是一种由大量简单的处理单元相互连接组成的高度复杂的大规模非线性自适应系统, 具有较强的处理非线性信息动力系统的功能. 自从 1990s 人工神经网络被引入水文分析以来, 已经得到了较为普遍的应用^[5-7]. 人工神经网络目前应用最多的是 BP 网络模型, BP 网络不仅结构简单, 而且具有很好的非线性映射能力, 理论上只要中间隐含层单元个数足够多, BP 网络能无限逼近任何连续函数.

以三峡水库运行后(2003—2009 年)的出库日均流量、洞庭湖四水(控制站为湘潭、桃江、桃源、津市)合成日均流量为输入数据, 采用 BP 神经网络模拟城陵矶(七里山)站的日水位过程, 在此基础上, 以三峡入库流量替换三峡出库流量进行模拟, 还原自然状态下的城陵矶水位变化过程, 通过比对确定三峡蓄、泄水对洞庭湖水位变化的影响. 研究中选用三层 BP 网络, 即一个输入层、一个隐含层和一个输出层, 隐含层的神经元设为 30 个, 数据样本随机分成训练样本、检验样本(20%)和测试样本(20%)三部分. 模拟精度用均方误差(MSE)、相关系数(R)两个指标评价:

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n}} \quad (1)$$

$$R = \frac{\sum (H - \bar{H})(H_s - \bar{H}_s)}{\sqrt{\sum (H - \bar{H})^2 \sum (H_s - \bar{H}_s)^2}} \quad (2)$$

式中, H 为实测水位, H_s 为模拟水位, ε_i 为模拟水位与实测水位的差.

2 模拟计算

水文过程有其自身的特点, 对神经网络的模拟效能会带来很大的影响, 因此在运用模型前对过程的一些基本特征要有基本认识. 本次工作主要有几点是需要注意的: (1) 由于河槽及湖泊调蓄作用, 下游水位过程比上游流量过程平缓. (2) 下游水位过程相对上游流量过程存在一定的时滞, 从观察数据系列的特征可以看出, 城陵矶水位相对三峡出库、四水流量过程的时滞为 4d 左右. (3) 水位的变化不仅取决于当期流量, 还受到前期多个时段流量的影响.

试验表明, 直接用同期的上游流量数据进行模拟其效果较差, MSE 为 0.95—1.00, R 为 0.954—0.958, 不能满足预测要求. 因此, 在运用 BP 网络前需要根据水文过程的特点对输入数据进行相应的处理, 在本次研究中采用的方法为: 对水位过程设定时滞、上游流量过程的滑动平均处理、用连续 5d(调试结果最好)的流量输入取代相应时间单个流量的输入, 经过这些处理后模拟精度得到大幅度提高, 训练序列、检验序列和测试序列的 MSE 降至 0.13—0.16, R 提高到 0.993—0.994(表 1、图 1、图 2), 并最终确定输入数据如下式:

$$H_t = f(Q1_{t-4}, Q1_{t-5}, Q1_{t-6}, Q1_{t-7}, Q1_{t-8}, Q2_{t-4}, Q2_{t-5}, Q2_{t-6}, Q2_{t-7}, Q2_{t-8}) \quad (3)$$

式中, H 为城陵矶水位, $Q1$ 为平滑后的三峡出库流量, $Q2$ 为平滑后的四水合成流量.

3 讨论与结论

(1) 洞庭湖水位受到长江和流域内四水的共同影响, 在江湖关系上既有长江分流入湖的作用, 又有湖泊出口江湖相互顶托的作用, 水文情势非常复杂. 城陵矶水位与长江来流和四水来流均呈现出复杂的非线性关系(图 3), 但通过对输入数据进行一定的处理, 神经网络能够在采用很少的影响因子的情况下较为准确

表 1 不同输入数据处理方案的模拟结果比较

Tab. 1 Comparison of *MSE* and *R* under different input data patterns

方案	<i>MSE</i>	<i>R</i>
同期流量数据	0.95 – 1.00	0.954 – 0.958
4d 前流量数据	0.43 – 0.50	0.978 – 0.981
4d 前流量平滑数据	0.29 – 0.30	0.987 – 0.988
前 4 – 8d 流量平滑数据	0.13 – 0.16	0.993 – 0.994

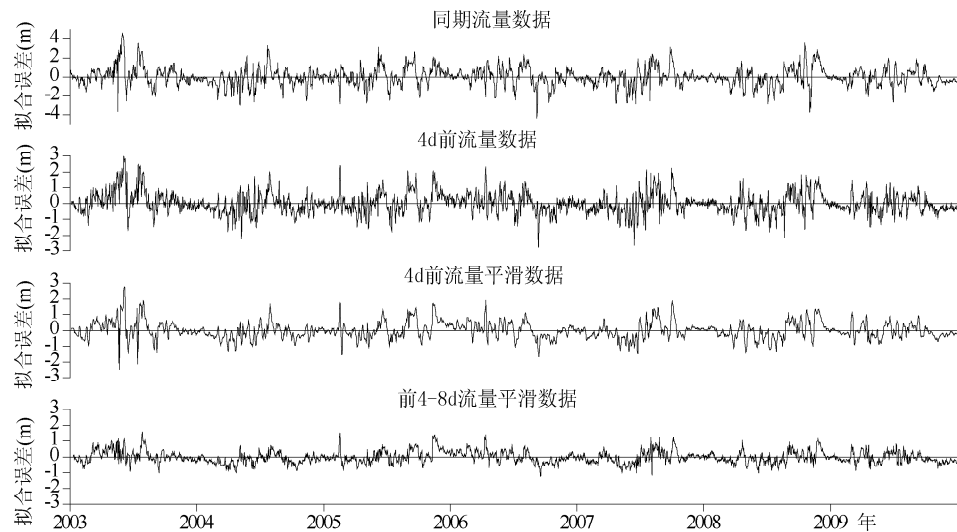


图 1 城陵矶站水位拟合误差

Fig. 1 Changes of fitting error structures for water level of Chenglingji Station

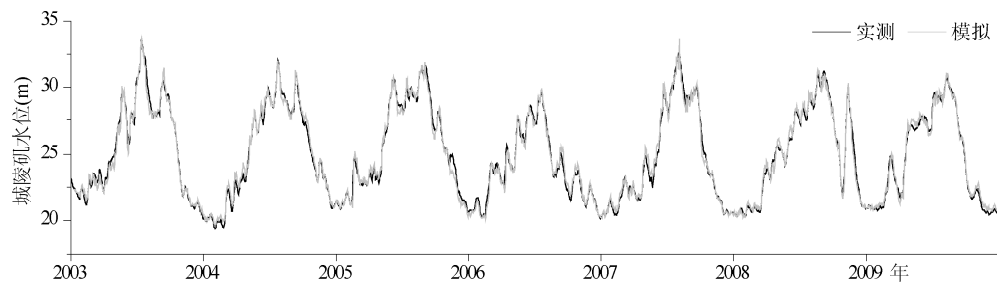


图 2 城陵矶水位模拟(三峡出库流量、四水流量)

Fig. 2 Output of the water level process of Chenglingji Station

地模拟实际水文过程,说明神经网络是水文分析的一种简便、有效的工具,也说明本文数据处理思路是合理的.

(2) 以三峡入库流量替换三峡出库流量作为输入变量,通过训练好的 BP 网络计算得到还原长江自然径流过程后的城陵矶水位变化过程(图 4).

三峡水库自 2003 年运行以来,经过了 5 次蓄水过程,分别为:2003 年 6 月 1 日至 6 月 10 日蓄至 135m; 2006 年 9 月 20 日至 10 月 27 日蓄至 156m;2007 年 9 月 25 日至 10 月 23 日再次蓄水至 156m. 2008 年 9 月 28 日至 11 月 4 日蓄至 172.3m. 2009 年 9 月 15 日启动 175m 试验性蓄水,11 月底蓄至 171.43m(引自中国

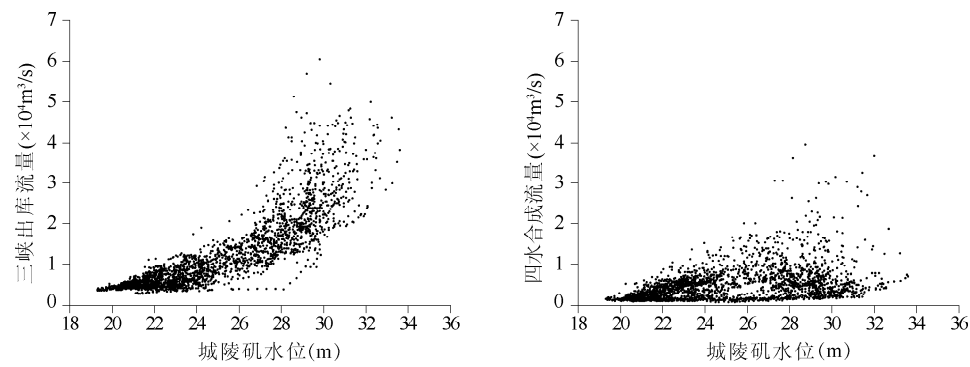


图3 城陵矶水位与三峡出库流量、四水合成流量关系
Fig.3 Relationship between water level of Chenglingji Station and discharge of the TGR, synthetic discharge of four inlets

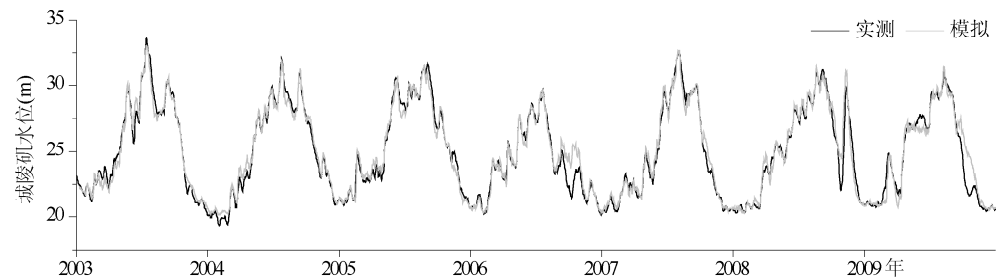


图4 城陵矶水位还原模拟(三峡入库流量、四水流量)
Fig.4 Output of water level process of Chenglingji Station without regulation of the TGR

长江三峡集团公司发布数据).从模拟结果看,5次蓄水均对洞庭湖水位产生较大的影响,尤其是2006年和2009年蓄水的影响更大,2006年蓄水期间,城陵矶水位平均下降2.03m,最大降幅3.30m,2009年蓄水期间,城陵矶水位平均下降2.11m,最大降幅3.12m(表2).

表2 三峡蓄水对城陵矶水位的影响
Tab.2 Changes of water level of Chenglingji Station caused by water storage of the Three Gorges Reservoir

蓄水期(年.月.日)	平均降幅(m)	最大降幅(m)
2003.6.1 - 2003.6.10	0.59	1.87
2006.9.20 - 2006.10.27	2.03	3.30
2007.9.25 - 2007.10.23	0.63	1.41
2008.9.28 - 2008.11.4	0.71	1.39
2009.9.15 - 2009.10.31	2.11	3.12

(3) 为进一步分析三峡运行对城陵矶水位的影响,统计1990-1999年每年中各天的最高水位和最低水位,确定每天水位的变动范围,再用城陵矶水位实测和还原过程与之比对(图5).结果表明相对于1990s,水位整体偏低,反映了水情由丰转枯的大的变化趋势.但春、夏季的水位基本在1990s的高低值范围内波动,接近1990s的平均水平,秋季的水位虽然相对来说下降较多,也大多高于1990s的同期最低水位,出现异常的是2006年和2009年.

对比还原后的城陵矶水位,如无三峡水库蓄水2009年秋季的水位将基本在1990s的变动范围内,即使是2006年的特枯年份,如无三峡蓄水秋季水位出现异常的时间也将缩短近一半,结合洞庭湖近期水情变化

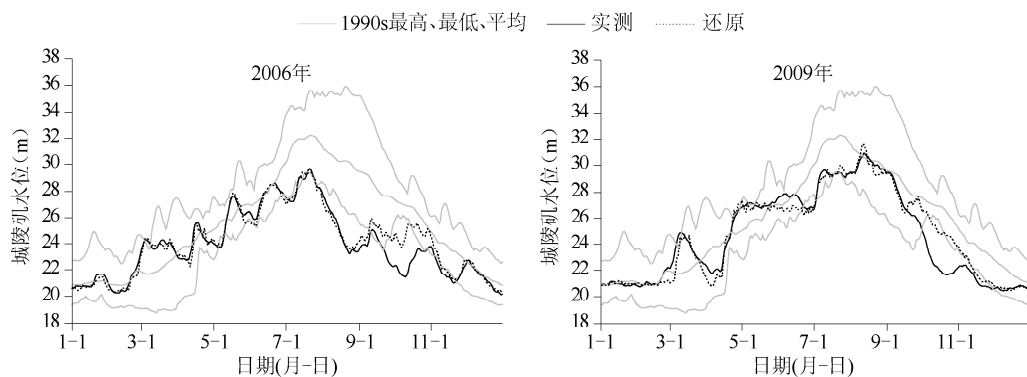


图5 城陵矶2006年、2009年与1990s水位比较

Fig. 5 Comparison of water level in 2006 and 2009 with that in 1990s at Chenglingji Station

对泥沙、湖泊湿地植被演替等影响的研究^[1,3-4],认为三峡蓄水对秋季城陵矶水位的影响不容忽视。

4 参考文献

- [1] 谢永宏,陈心胜. 三峡工程对洞庭湖湿地植被演替的影响. 农业现代化研究, 2008, **29**(6): 684-687.
- [2] 李景保,常 疆,吕殿青等. 三峡水库调度运行初期荆江与洞庭湖区的水文效应. 地理学报, 2009, **64**(11): 1342-1352.
- [3] 张细兵,卢金友,王 敏等. 三峡工程运用后洞庭湖水沙情势变化及其影响初步分析. 长江流域资源与环境, 2010, **19**(6): 640-643.
- [4] 宫 平,杨文俊. 三峡水库建成后对长江中下游江湖水沙关系变化趋势初探Ⅱ. 江湖关系及槽蓄影响初步研究. 水力发电学报, 2009, **28**(6): 120-125.
- [5] 熊立华,郭生练,王 元. 神经网络在洪水实时预报中的应用研究. 水电能源科学, 2002, **20**(3): 28-31.
- [6] 朱星明,卢长娜,王如云等. 基于人工神经网络的洪水水位预报模型. 水利学报, 2005, **36**(7): 806-811.
- [7] 王光生,苏佳林,沈必成等. 神经网络理论在河道洪水预报中的应用. 水文, 2009, (5): 55-58.