

鄱阳湖水利枢纽工程对湖泊水位变化影响的模拟*

王 鹏^{1,2}, 赖格英^{1,2**}, 黄小兰^{1,2}

(1: 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330022)

(2: 江西师范大学地理与环境学院, 南昌 330022)

摘 要: 水位变化是影响湖泊水文过程和生态环境的重要因素. 本研究基于环境流体力学(EFDC)模型构建了鄱阳湖水利枢纽工程与主湖区的二维模型, 模拟水利枢纽工程运行后对主湖区及湿地保护区水位变化节律的影响. 模拟结果表明: 水利枢纽工程对湖泊水位的影响由北向南逐渐减小, 水利枢纽工程提升了大湖北部水位, 使南北水位差减小, 将影响鄱阳湖枯水期的流速及自净能力. 吴城和南矶湿地自然保护区核心区水位变化受水利枢纽工程的影响较小, 吴城自然保护区核心区在水位低于 13.8 m 时与大湖脱离, 不再受水利枢纽工程影响, 但水利枢纽工程会影响蚌湖与大湖脱离时间; 南矶自然保护区位于鄱阳湖南部, 水位受水利枢纽工程影响很小. 水利枢纽工程条件下, 湖泊水位受人工控制, 枯水年和平水年湖泊水位的变化基本一致, 枯水年水利枢纽工程对湖泊水位的影响大于平水年, 但对湖泊南部的水位变化影响仍然较小. 模型模拟结果可以揭示在目前调度方案下, 水利枢纽工程对湖泊水位变化节律的影响规律, 为工程建设提供一定的理论参考.

关键词: 鄱阳湖水利枢纽工程; EFDC 模型; 水位变化; 湿地自然保护区

Simulation of the impact of Lake Poyang Project on the dynamic of lake water level

WANG Peng^{1,2}, LAI Geying^{1,2} & HUANG Xiaolan^{1,2}

(1: *Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, P. R. China*)

(2: *School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, P. R. China*)

Abstract: Dynamic of water level is the key factor to affect the hydrological processes and ecological environment in lakes. Based on the EFDC model, a two-dimensional model comprising the Lake Poyang Project and the main lake is constructed to simulate the impact of Lake Poyang Project on dynamics of water level in the main stem and the wetland nature reserve. Simulation results show that: the impact of Lake Poyang Project on water level is gradually reduced from north to south, and water level in the northern part of the lake is raised due to the project, which decreases the north-south water level difference and affects the flow rate and the water purification capacity. The impact of Lake Poyang Project on the core area of Wucheng and Nanji Nature Reserve is little; the core area of Wucheng Nature Reserve is separated from the main lake and not affected by the project when the water level is lower than 13.8 m, but the time of separation will be affected by the project; while the core area of Nanji Nature Reserve is located in the southern part of the lake, and the impact of the project is little. In the dry year, the dynamic of water level is the same as that in the normal year due to the regulation of the project. The impact of Lake Poyang Project on dynamic of water level is larger in the dry year than that in the normal year, but the impact on the southern part is still little in dry year. The simulation result can reveal the law of the impact of Lake Poyang Project on dynamic of water level with the existing regulation scheme, and provide some reference for the construction of the project.

Keywords: Lake Poyang Project; EFDC model; dynamic of water level; wetland nature reserve

水位变化是湖泊水文过程和水量平衡的动态反映, 对湖泊的水质、泥沙、水生生物等生态环境要素具有

* 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2012CB417003)资助. 2013-03-14 收稿; 2013-04-23 收修改稿. 王鹏 (1982~), 男, 博士, 讲师; E-mail: wangpengjlu@gmail.com.

** 通信作者; E-mail: laigeying@126.com.

重要影响^[1]。鄱阳湖是我国第一大淡水湖,水位受自身流域入湖水量和长江水位顶托的双重影响,水位变幅巨大。Hu 等^[2]通过研究鄱阳湖的流量和水位变化,认为由于鄱阳湖流域的降水存在增加的趋势,在 1960—2003 年间长江水位对鄱阳湖的顶托作用趋于变弱。但王怀清等^[3]对江西省 79 县市气象站 1960—2006 年逐日降水观测资料进行分析,认为鄱阳湖各子流域的年降水量变化趋势不明显,仅呈略增大趋势;Zhang 等^[4]研究发现鄱阳湖流域秋季和冬季降水量明显增加,夏季降水量只有少量增加甚至是减少;叶许春等^[5]研究认为夏季暴雨频率的增加,是引起 1990s 鄱阳湖流域径流显著增大的主要原因;Ye 等^[6]通过对 1960—2007 年的数据分析,认为长江的顶托作用减弱的主要原因是长江径流量与鄱阳湖径流量的比值在 7—10 月明显减小。

三峡工程对鄱阳湖水位的影 响日益引起学者的关注。郭华等^[7]通过 2004—2008 年的数据分析,认为三峡水库的运行并没有改变长江与鄱阳湖作用的基本特征,但 10 月份的大量蓄水使长江对鄱阳湖的作用频率明显减弱;Zhang 等^[4]认为三峡工程对鄱阳湖水位的主要影响是秋季的蓄水发电导致长江下泄流量减少,降低了湖泊水位;汪迎春等^[8]运用长江中游江湖耦合水动力模型模拟表明三峡水库汛末蓄水可使大湖面(都昌站)水位降低 0.09~1.11 m;方春明等^[9]预测三峡水库运用 30 年后,在河道冲刷、可补水减少和蓄水的共同作用下,鄱阳湖的枯水季节将提前 1 个月左右。

鄱阳湖枯水期水位的变化会对湿地植物、候鸟栖息地等生态系统造成重要影响^[10-11]。湿地水位在 11~12 m(吴淞高程)时候鸟栖息地面积最大,但水位超过 14 m 后,候鸟栖息地面积将缩小乃至消失^[12-13];湿地植被对水分梯度的敏感性导致湿地生态系统的脆弱性,近年来鄱阳湖枯水期水位过低且持续时间长,使生态系统遭受一定损害^[14]。

针对近年来鄱阳湖枯水期干旱的现实,为防止湿地退化,充分发挥鄱阳湖的经济效益和生态环境效益,由江西省政府提出并获得国务院批复的《鄱阳湖生态经济区规划》中提出近期将“重点研究、适时推进鄱阳湖水利枢纽工程建设”。规划中的鄱阳湖水利枢纽工程基于“调枯不调洪”运行方式,在汛期保持江湖相通,在枯水期则放闸蓄水,以实现保护和改善生态环境,维持鄱阳湖一湖清水的规划目标^[15-16]。

生态系统对任何外来干扰都会产生相应的反馈,鄱阳湖水利枢纽工程的实施将影响湿地景观和生态结构,其中水利枢纽工程对鄱阳湖水位的控制是最关键的问题^[16-17]。水位过低难以有效发挥工程效益,水位过高将影响候鸟栖息地环境。合理的水位调控方案是实现鄱阳湖水利枢纽工程的生态效益和经济效益,减小环境负效应的关键。本研究基于环境流体动力学(Environmental Fluid Dynamics Code, EFDC)模型^[18]模拟目前的鄱阳湖水利枢纽工程调控方案对湖泊水位变化的影响。本研究的模拟结果可以揭示在预期调度方案下,水利枢纽工程对湖泊水位变化节律的影响规律,特别是对鄱阳湖湿地自然保护区水位的影响,为工程建设提供一定的理论参考。

1 模型建立

1.1 模型构建与验证

环境流体动力学(EFDC)模型采用垂向静压假定,在水平方向上采用正交曲线坐标系,采用有限差分法对方程组进行数值离散求解,具有灵活的变边界处理技术和通用的文件输入格式。其水动力基本方程为:

$$\begin{aligned} \partial_t(mHu) + \partial_x(m_yHuu) + \partial_y(m_xHvu) + \partial_z(mwu) - (mf + v\partial_xm_y - u\partial_y m_x)Hv \\ = -m_yH\partial_x(g\zeta + p) - m_y(\partial_xh - z\partial_xH)\partial_zp + \partial_z(mH^{-1}A_v\partial_zu) + Q_u \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \partial_t(mHv) + \partial_x(m_yHuv) + \partial_y(m_xHvv) + \partial_z(mwv) - (mf + v\partial_xm_y - u\partial_y m_x)Hu \\ = -m_xH\partial_y(g\zeta + p) - m_x(\partial_yh - z\partial_yH)\partial_zp + \partial_z(mH^{-1}A_v\partial_zu) + Q_v \end{aligned} \quad (2)$$

$$\partial_zp = -gH(\rho - \rho_0)\rho_0^{-1} = -gHb \quad (3)$$

$$\partial_t(m\zeta) + \partial_x(m_yHu) + \partial_y(m_xHv) + \partial_z(mw) = 0 \quad (4)$$

$$\partial_t(m\zeta) + \partial_x(m_yH \int_0^1 u dz) + \partial_y(m_xH \int_0^1 v dz) = 0 \quad (5)$$

式中, ζ 为零点水面高程, h 为零点河床高程, H 为水深, u 、 v 和 w 分别为曲线坐标系中 x 、 y 和 z 方向上的速度

分量, m_x 和 m_y 分别为度量张量对角元素的平方根, $m = m_x m_y$ 为度量张量行列式的平方根, Q_x 和 Q_y 为动量在 x 和 y 方向的源汇项, f 为科里奥利力, p 为压力, ρ 为混合密度, ρ_0 为参考密度。

本次研究以 1998 年鄱阳湖洪水期间的遥感影像为参照, 结合鄱阳湖圩堤 GIS 数据, 确定鄱阳湖的最大水面范围。湖底地形通过 1:25000 地形图(2000 年资料)进行数字化得到。在此基础上, 采用正交曲线格网对鄱阳湖进行了格网化, 共划分 83657 个格网, 格网分辨率为 117 ~ 304 m。模型的输入流量边界为外洲(赣江)、万家埠、虬津(修水)、李家渡(抚河)、梅巷(饶河)、虎山(东安河)和渡峰坑(昌江)水文站的日径流数据, 输出流量边界为湖口水文站的日径流数据。基于 EFDC 建立鄱阳湖水位模拟模型, 模拟时间步长为 15 s。选取 2000 年 7 月 1 日—2001 年 3 月 31 日时段对模型进行参数率定(表 1), 模拟结果(图 1)表明, 模型具有较高的精度, 可以有效地模拟鄱阳湖水位的变化。

表 1 日水位模拟的误差分析

Tab. 1 Error analysis of daily water level simulation

站名	率定期(2000 年 7 月 1 日—12 月 31 日)				验证期(2001 年 1 月 1 日—12 月 31 日)			
	平均绝对 误差/m	平均相对 误差/%	RMS 误差/m	Nash-Sutcliffe 效率系数	平均绝对 误差/m	平均相对 误差/%	RMS 误差/m	Nash-Sutcliffe 效率系数
湖口	0.232	1.967	0.259	0.983	0.208	2.075	0.250	0.991
星子	0.202	1.655	0.214	0.986	0.232	2.189	0.318	0.979
棠荫	0.199	1.440	0.219	0.967	0.196	1.590	0.238	0.968
康山	0.169	1.240	0.202	0.954	0.218	1.683	0.299	0.905

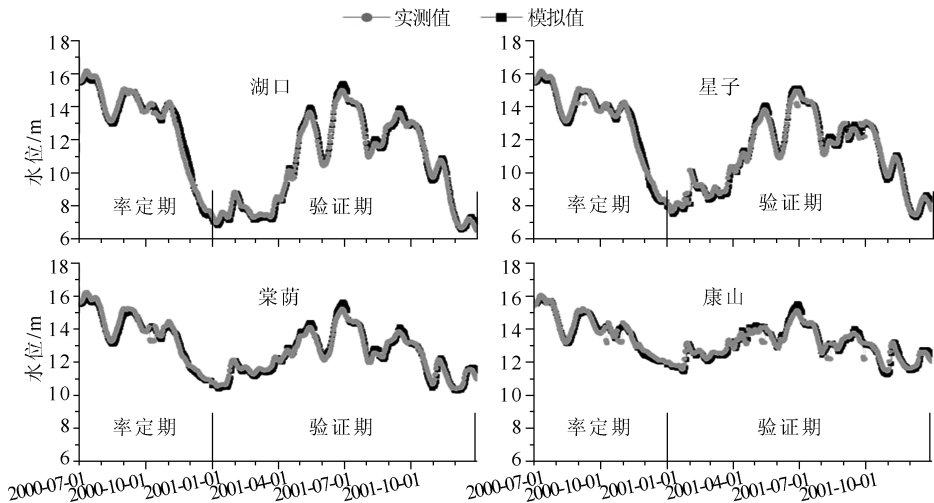


图 1 参数率定和模型验证的日水位实测值与模拟值

Fig. 1 Observed and simulated daily water level for parameter calibration and model validation

1.2 鄱阳湖水利枢纽工程调度方案及模拟

鄱阳湖水利枢纽工程坝址(29°32'N, 116°07'E)位于鄱阳湖入江水道, 上距星子县城约 12 km, 下至长江汇合口约 27 km, 规划设计中的枢纽轴线总长 2986 m; 拟设置 108 孔泄水闸, 其中孔口净宽 16 m 的常规泄水闸 105 孔, 孔口净宽 60 m 的大孔泄水闸 3 孔。鄱阳湖水利枢纽工程为开放式全闸工程, 汛期工程闸门全开, 不发挥作用, 只是在汛末对湖区水位进行节制, 汛期 4—8 月闸门全开, 江湖连通, 枯水期 9 月至次年 3 月采取动态管理、适应性调度的调控方式, 控制相对稳定的鄱阳湖枯水位。目前的调度方案见表 2(2012 年 6 月由江西省水利厅提供, 水位为黄海高程基准, 下同)。

在 EFDC 模型中, 将工程位址的控制水位作为边界条件(表 2)输入, 结合五河七口的输入流量边界, 模

拟目前调度方案下,鄱阳湖水利枢纽工程对湖泊水位变化节律的影响.重点分析水利枢纽工程对枯水期大湖水位及湿地自然保护区核心区水位的影响.其中大湖水位的分析选取星子、都昌、棠荫和南矶附近主河道上的4个点,湿地保护区选择吴城自然保护区和南矶自然保护区核心区的2个点(图2).

表2 鄱阳湖水利枢纽工程调度方案
Tab.2 Scheduling scheme of Lake Poyang Project

时间	调度方案
4月1日—8月31日	闸门全开,江湖连通,江湖水流、能量自由交换,不改变鄱阳湖作为长江洪水天然蓄滞器的功能.
9月1日—9月15日	水位高于15.5 m时,泄水闸门全部敞开;当闸上水位降到15.5 m时,按五河和区间来水下泄,水位维持15.5 m;若闸上水位低于15.5 m,在泄放满足航运、水生态与水环境用水流量的前提下,最高蓄水至15.5 m.
9月16日—10月31日	至9月30日,闸上水位消落至14.5 m;至10月10日,闸上水位消落至14.0 m;至10月20日,闸上水位消落至13.0 m;至10月31日,闸上水位消落至11.50 m左右;在消落过程中若外江水位达到闸上水位,则闸门全开.
11月1日—3月31日	至11月底,闸上水位消落至11.0 m;12月1日至3月底、4月初,根据最小通航流量、水生态与水环境用水等需求,保证至少有1孔闸门全开,控制枢纽下泄流量,使闸上水位基本维持在11.00 m左右;当湖区生态需要时,水位可在10.00~11.00 m之间波动.在此期间,若外江水位达到11.0 m,则闸门全开.

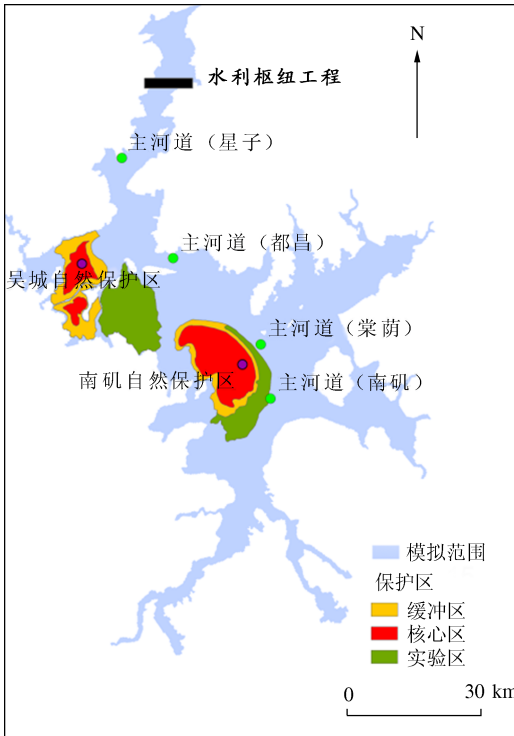


图2 模拟范围及重点研究位置

Fig.2 Simulation area and strategic locations to analysis

2 结果与分析

2.1 水利枢纽工程对大湖水位变化节律的影响

以平水年2000—2001年枯水期为例,利用EFDC分别模拟2000年9月—2001年3月有、无水利枢纽工程两种条件下鄱阳湖的水位变化.水利枢纽工程条件下星子、都昌两处的水位变化影响较大,9—11月波浪式的下降变为持续下降,12—3月的水位比无水利枢纽工程条件下明显提高,水位变化幅度变小;南矶、棠荫水位变化受水利枢纽工程影响较小(图3).

无水利枢纽工程条件下,南矶附近主河道月平均水位范围为12.7~14.7 m,棠荫为11.7~14.6 m,都昌为9.5~14.5 m,星子为8.6~14.4 m.9—10月,大湖南北水位相差小于1 m;11月后,南北水位相差增大至3~4 m.有水利枢纽工程时,9—11月水利枢纽工程使水位下降速率加快,大湖水面南北变化趋势相近;12—3月,水利枢纽工程使大湖北部水位明显升高约1~3 m,而对大湖南部水位影响不大(图4).在星子水位高于13 m时,南北水位差很小;在星子水位低于13 m时,南北水位关系产生变化,北部水位的下降速率大于南部,导致南北水位差逐渐增大(图3).水利枢纽工程的存在,阻止了北部水位的持续下降,在枯水期提升了大湖北部水位,使南北水位差减小,将对湖水的整体流速产生影响,从而影响水体的自净能力.胡春华等^[19]利用EFDC模型模拟了鄱阳湖水利枢纽工程对湖区氮、磷营养盐的影响,结果表明水利枢纽运行后,枯水期湖区

TIN、TP 浓度将分别增长了 20.42% 和 20.55% .

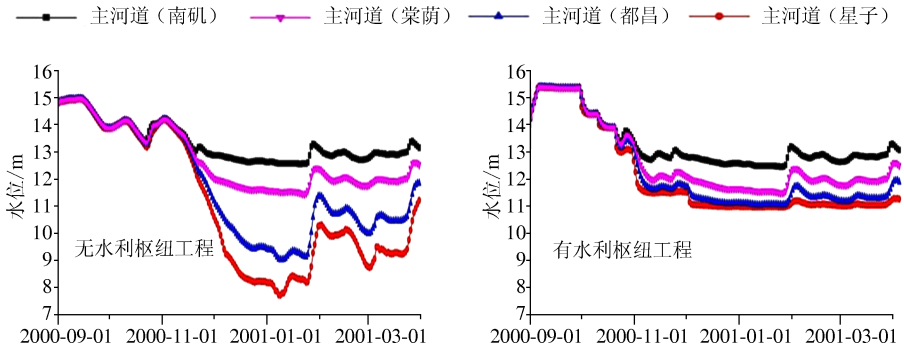


图 3 有、无鄱阳湖水利枢纽工程条件下的日平均水位变化
Fig. 3 Daily average water levels with and without Lake Poyang Project

利用每月日平均水位的标准差描述有、无水利枢纽工程条件下大湖水位的动态变化情况(图 4). 9 月, 由于水利枢纽工程对水位的限制, 标准差偏小; 10 月, 水利枢纽工程持续的水位下降调整导致水位动态变大; 11 月, 水利枢纽工程使大湖水位动态明显变小; 12 月起, 水利枢纽工程对大湖南部水位动态影响不大, 北部明显变小. 9 和 10 月, 在有、无水利枢纽工程两种条件下, 大湖水位动态在南北方向上大体一致. 11-3 月, 无水利枢纽工程条件下, 大湖水位由南向北水位动态变化逐渐增大, 如星子主河道月水位标准差范围为 0.39 ~ 1.10 m, 南矶仅为 0.09 ~ 0.46 m; 有水利枢纽工程条件下, 南北水位动态变化差别变小, 靠近水利枢纽工程的北部动态变化比无水利枢纽时明显变小.

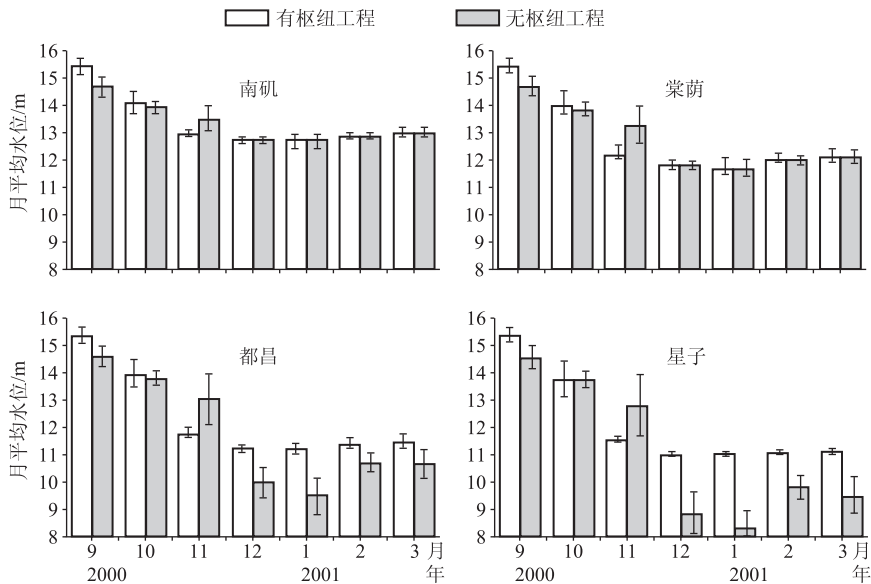


图 4 有、无鄱阳湖水利枢纽工程条件下的月平均水位
Fig. 4 Monthly average water levels with and without Lake Poyang Project

2.2 水利枢纽工程对湿地自然保护区水位变化节律的影响

选取吴城、南矶两个国家湿地自然保护区核心区(图 2)进行有、无水利枢纽工程条件的水位模拟. 从模拟结果(图 5)可以看出, 两个湿地保护区在 9-11 月的水位变化受到水利枢纽工程的一定影响: 有水利枢纽工程时, 吴城和南矶保护区 9 月的月平均水位均上升了 0.77 m; 10 月分别上升了 0.15 m 和 0.16 m; 11 月分

别下降了 0.14 m 和 0.11 m; 12-3 月几乎完全不受水利枢纽工程的影响. 吴城自然保护区核心区位于蚌湖, 丰水期与鄱阳湖连通成为一个整体, 枯水期则与大湖隔离. 通过对比吴城自然保护区与大湖主河道水位关系(图 6)可以看出, 当吴城湿地水位低于约 13.8 m 时, 蚌湖与鄱阳湖大湖分离, 与姜加虎等通过水位观测资料分析得出的结论相同^[20]. 2000 年由于水利枢纽工程的调控, 使分离时间提前了约 20 d, 对保护区的水位变化节律产生了一定影响, 在蚌湖与鄱阳湖大湖分离后, 保护区核心区水位不再受水利枢纽工程的影响.

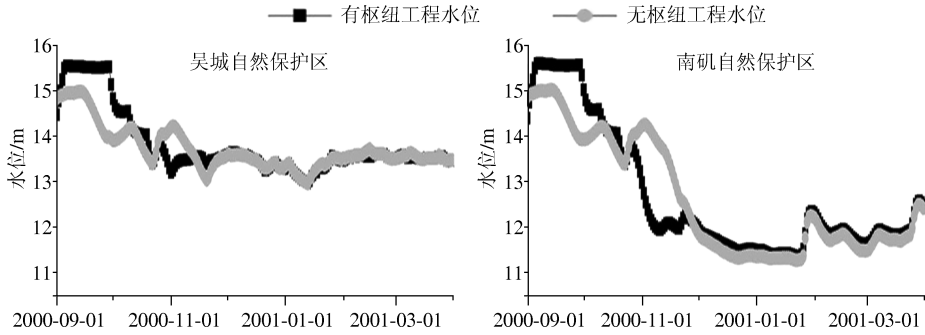


图 5 有、无鄱阳湖水利枢纽工程条件下湿地自然保护区水位变化

Fig. 5 Dynamic of water level in wetland nature reserve with and without Lake Poyang Project

南矶自然保护区的水位变化与大湖棠荫附近主河道的水位变化基本一致(图 6). 通过前面分析可知, 水利枢纽工程对湖泊南部水位变化影响不大(图 3), 由于南矶自然保护区位于鄱阳湖南部, 受水利枢纽工程影

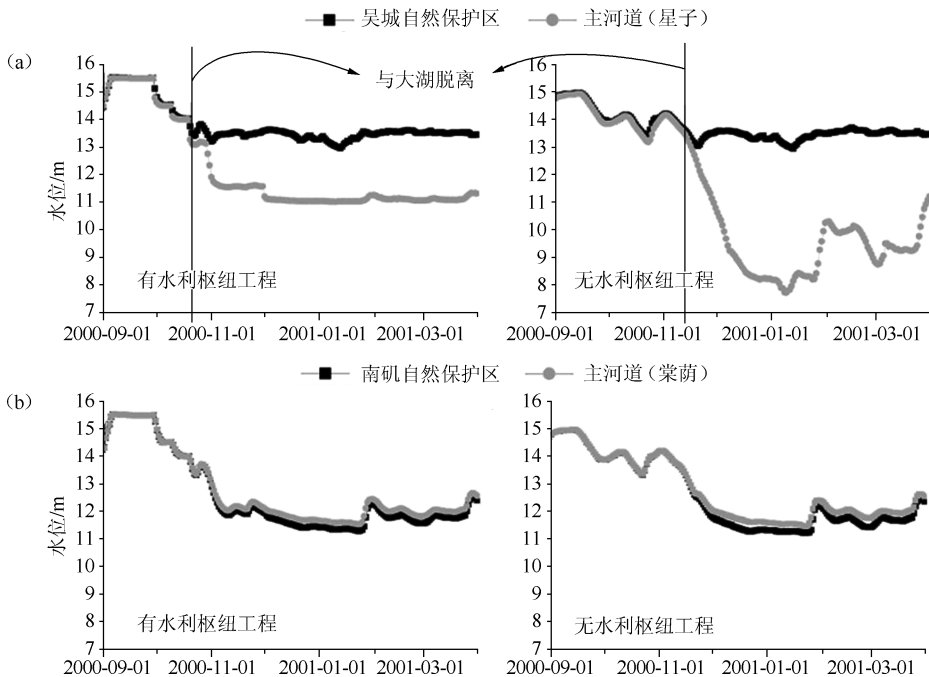


图 6 湿地自然保护区与大湖水位关系:

(a) 吴城自然保护区(蚌湖)与星子附近主河道; (b) 南矶自然保护区与棠荫附近主河道

Fig. 6 Relationships between water levels of wetland nature reserve and the main lake:

(a) Wucheng Nature Reserve and main stem near Xingzi; (b) Nanji Nature Reserve and main stem near Tangyin

响也较小. 齐述华等^[21]通过遥感影像的解译认为, 鄱阳湖在低水位下, 浅水生境面积随水位的增加而增加, 当水位至 11 m 时, 达到最大面积, 之后生境面积随水位增加而减少. 目前的水利枢纽工程调控水位在 11 月 1 日—3 月 31 日期间维持在 11 m 左右, 可以有效保证越冬候鸟的栖息地面积.

总体来说, 水利枢纽工程对两个国家湿地自然保护区核心区水位变化节律的影响较小, 但形成原因不同. 吴城自然保护区核心区在水位较低时与大湖脱离, 不再受水利枢纽工程影响; 南矶自然保护区位于鄱阳湖南部, 受水利枢纽工程影响较小.

2.3 枯水年水利枢纽工程对湖泊水位变化节律的影响

无水利枢纽工程条件下, 枯水年湖泊来水量减少, 水位将比平水年降低, 特别是在鄱阳湖北部, 枯水年水位下降更明显(图 7). 如湖泊南部的南矶附近主河道, 平水年(2000 年)9—12 月的平均水位为 13.7 m, 枯水年(2004 年)为 12.8 m, 下降了 0.9 m; 北部的星子附近主河道平水年 9—12 月的平均水位为 12.5 m, 枯水年为 10.0 m, 下降了 2.5 m. 有水利枢纽工程条件下, 湖泊水位受人工控制, 平水年和枯水年湖泊水位的变化基本一致. 与平水年相比, 枯水年水利枢纽工程对湖泊水位变化的影响更大. 通过前面分析可知, 平水年 2000 年 12 月起, 水利枢纽工程开始明显提升湖泊水位; 在枯水年 2004 年 10 月起, 有水利枢纽工程条件下的水位明显高于无水利枢纽工程时. 通过对比大湖主河道上南矶、棠荫、都昌和星子 4 处的水位, 可以发现在枯水年水利枢纽工程对都昌和星子水位变化的影响明显, 对南矶和棠荫的水位变化影响较小, 即枯水年水利枢纽工程对湖泊水位的影响规律与平水年类似, 影响大小由北向南逐渐变小.

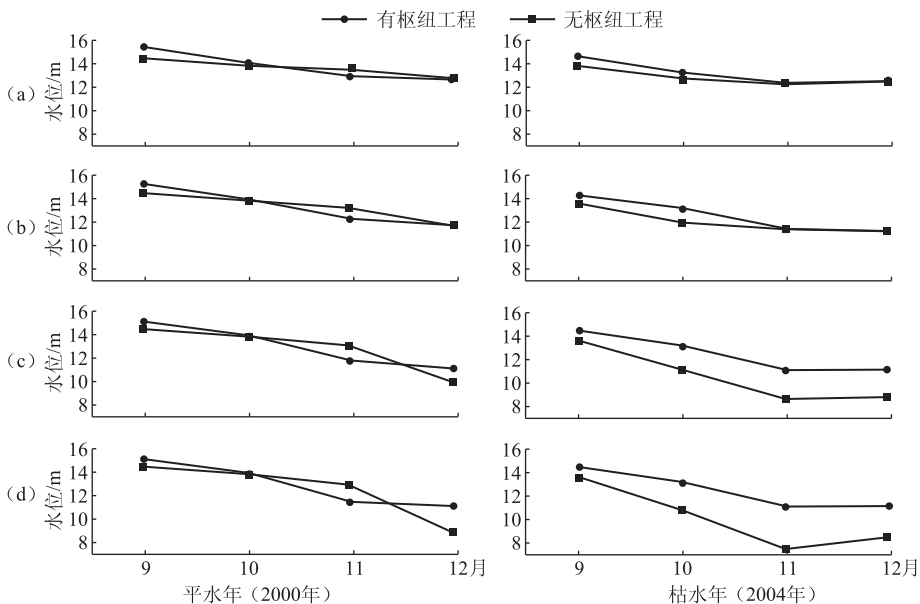


图 7 平水年(2000 年)和枯水年(2004 年)有、无鄱阳湖水利枢纽工程条件下大湖月平均水位变化:

(a) 南矶主河道; (b) 棠荫主河道; (c) 都昌主河道; (d) 星子主河道

Fig. 7 Monthly average water levels in normal year(2000) and dry year(2004)

with and without Lake Poyang Project; (a) main stem near Nanji;

(b) main stem near Tangyin; (c) main stem near Duchang; (d) main stem near Xingzi

3 结论

1) 水利枢纽工程对湖泊水位的影响由北向南逐渐减小. 2000 平水年, 9—11 月大湖水面南北变化趋势相近; 12—3 月, 水利枢纽工程使大湖北部水位升高约 1~3 m, 水位动态明显变小, 而对大湖南部水位影响不明显. 水位低于 13 m 时, 大湖南北水位关系产生拐点, 大湖北部水位下降速率加快, 水利枢纽工程提升了大

湖北部水位,使南北水位差减小,将影响鄱阳湖枯水期的流速及自净能力。

2) 吴城和南矶湿地自然保护区核心区水位变化受水利枢纽工程的影响较小,12—3月几乎不受水利枢纽工程的影响。吴城自然保护区核心区在水位低于13.8 m时与大湖脱离,不再受水利枢纽工程影响,但水利枢纽工程会影响蚌湖与大湖脱离时间,在2000年提前了约20 d;南矶自然保护区位于鄱阳湖南部,水位受水利枢纽工程影响很小。

3) 水利枢纽工程条件下,湖泊水位受人工控制,枯水年和平水年湖泊水位的变化基本一致。枯水年水利枢纽工程对湖泊水位的影响大于平水年,但对湖泊南部的水位变化影响仍然较小。

4 参考文献

- [1] Coops H, Beklioglu M, Crisman TL. The role of water-level fluctuations in shallow lake ecosystems-workshop conclusions. *Hydrobiologia*, 2003, **506**(1/2/3): 23-27.
- [2] Hu Q, Feng S, Guo H *et al.* Interactions of the Yangtze river flow and hydrologic processes of the Poyang Lake, China. *Journal of Hydrology*, 2007, **347**(1/2): 90-100.
- [3] 王怀清,赵冠男,彭静等.近50年鄱阳湖五大流域降水变化特征研究.长江流域资源与环境,2009,**18**(7): 615-619.
- [4] Zhang Q, Li L, Wang YG *et al.* Has the Three-Gorges Dam made the Poyang Lake wetlands wetter and drier? *Geophysical Research Letters*, 2012, **39**(20): L20402.
- [5] 叶许春,张奇,刘健等.气候变化和人类活动对鄱阳湖流域径流变化的影响研究.冰川冻土,2009,**31**(5): 835-842.
- [6] Ye X, Zhang Q, Guo H *et al.* Long-term trend analysis of effect of the Yangtze River on water level variation of Poyang Lake(1960 to 2007). Xi'an: Water Resource and Environmental Protection (ISWREP), 2011 International Symposium, 2011:543-545.
- [7] 郭华,Hu Qi,张奇.近50年来长江与鄱阳湖水文相互作用的变化.地理学报,2011,**66**(5):609-618.
- [8] 汪迎春,赖锡军,姜加虎等.三峡水库调节典型时段对鄱阳湖湿地水情特征的影响.湖泊科学,2011,**23**(2): 191-195.
- [9] 方春明,曹文洪,毛继新等.鄱阳湖与长江关系及三峡蓄水的影响.水利学报,2012,**43**(2):175-181.
- [10] 张丽丽,殷峻暹,蒋云钟等.鄱阳湖自然保护区湿地植被群落与水文情势关系.水科学进展,2012,**23**(6):768-775.
- [11] 周文斌,万金保,姜加虎.鄱阳湖江湖水位变化对其生态系统影响.北京:科学出版社,2011:114.
- [12] 刘成林,谭胤静,林联盛等.鄱阳湖水位变化对候鸟栖息地的影响.湖泊科学,2011,**23**(1):129-135.
- [13] 夏少霞,于秀波,范娜.鄱阳湖越冬候鸟栖息地面积与水位变化的关系.资源科学,2010,**32**(11):2072-2078.
- [14] 胡振鹏,葛刚,刘成林等.鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对其影响研究.长江流域资源与环境,2010,**19**(6):597-605.
- [15] 葛刚,纪伟涛,刘成林等.鄱阳湖水利枢纽工程与湿地生态保护.长江流域资源与环境,2010,**19**(6):606-613.
- [16] 周文斌,万金保,姜加虎.鄱阳湖江湖水位变化对其生态系统影响.北京:科学出版社,2011:114.
- [17] 胡四一.对鄱阳湖水利枢纽工程的认识和思考.水利水电技术,2009,**40**(8):2-3.
- [18] Craig MP. User's manual for EFDC_explorer: A pre/post processor for the Environmental Fluid Dynamics Code. Dynamic Solutions-International, LLC, 2012.
- [19] 胡春华,施伟,胡龙飞等.鄱阳湖水利枢纽工程对湖区氮磷营养盐影响的模拟研究.长江流域资源与环境,2012,**21**(6):749-755.
- [20] 姜加虎,黄群.蚌湖与鄱阳湖水量交换关系的分析.湖泊科学,1996,**8**(3):208-214.
- [21] 齐述华,廖富强.鄱阳湖水利枢纽工程水位调控方案的探讨.地理学报,2013,**68**(1):115-123.