

洞庭湖地形变化对洪水过程的影响研究

刘易庄^{1,2,3}, 蒋昌波^{1,2}, 向朝晖⁴, 隆院男^{1,2}, 邓斌^{1,2}, 汤小俊⁴

(1. 长沙理工大学 水利与环境工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 洞庭湖水环境治理与生态修复湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114; 3. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 4. 湖南省洞庭湖水利事务中心, 湖南 长沙 410007)

摘要:为了更好地理解地形变化对湖泊洪水过程的影响,采用已构建的长江-洞庭湖二维水动力模型,在洞庭湖2003及2011年实测地形的基础上,以2003年型洪水为例,定量分析了湖泊地形变化对洞庭湖洪水过程的影响。结果表明:2003—2011年洞庭湖超过40%的区域地形下降值大于0.10 m,特别是湘江洪道,其深泓线地形高程平均下降了5.72 m。通过对2003年洪水过程模拟发现,相比于2003年,在2011年地形情况下,以“四水”来流为主导的洪水过程中,南洞庭湖内洪峰水位下降超过0.40 m,西洞庭湖内洪峰水位下降约0.20 m,东洞庭湖内仅在南部地形变化较大区域的水位变化明显;斗米咀-城陵矶河段水面坡降变缓,南洞庭湖内洪道水面坡降变陡。而对于以长江来流为主导的洪水过程,由于长江洪水位的顶托作用,洞庭湖内洪峰水位下降了0.15 m,斗米咀-城陵矶河段及南洞庭湖内水面坡降下降不明显。因此,2003—2011年洞庭湖地形变化对“四水”来流型洪水影响较大,湖盆下切导致湖容增大,可有效缓解洞庭湖内防洪形势,但对长江来流主导的洪水影响较小。研究结果可为洞庭湖内疏浚扩容等防洪工程的开展提供参考。

关键词: 地形变化; 洪水过程; 洪峰水位; 湖泊容积; 洞庭湖

中图分类号:TV122; TV882.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2023)02-0099-08

Influence of topographic changes of Dongting Lake on flood process

LIU Yizhuang^{1,2,3}, JIANG Changbo^{1,2}, XIANG Zhaohui⁴, LONG Yuannan^{1,2}, DENG Bin^{1,2}, TANG Xiaojun⁴

(1. School of Hydraulic and Environmental Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Key Laboratory of Dongting Lake Aquatic Eco-environmental Control and Restoration of Hunan Province, Changsha 410114, China; 3. State Key Laboratory of Hydrology – Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210098, China; 4. Dongting Lake Water Conservancy Affairs Center of Hunan Province, Changsha 410007, China)

Abstract: Based on the measured topography data of Dongting Lake in 2003 and 2011, a previous calibrated 2D hydrodynamic model was adopted to simulate the impact of lake topographic change on the flood process of Dongting Lake using the 2003 flood as an example. The results show that over 40% topography of the lake subsided more than 0.10 m, especially the Xiangjiang spillway, the topography of its talweg subsided by 5.72 m. According to the simulation of the 2003 flood process, when the flood process was dominated by the Four Rivers, the flood peak water level decreased by more than 0.40 and 0.20 m in the South and West Dongting Lake under the topographic condition of 2011 compared with that of 2003; but for the East Dongting Lake, the water level only decreased significantly in the southern area with large topographic changes. The water surface gradient decreased in the Doumizui – Chenglingji section, but increased in the spillway of the South Dongting Lake. For the flood process dominated by the inflow of the Yangtze River, the flood peak water level in Dongting Lake decreased by 0.15 m, and the water surface gradient changed little in the Doumizui – Chenglingji section and the South Dongting Lake,

收稿日期:2022-06-01; 修回日期:2022-11-12

基金项目:湖南省自然科学基金项目(2021JJ40589);长沙市自然科学基金项目(kq2014103);湖南省重大水利科技项目(XSKJ2021000-07);南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放基金项目(2020nkms04)

作者简介:刘易庄(1990—),男,湖南隆回人,博士,讲师,主要从事湖泊、河流水动力过程及其模拟技术研究。

通讯作者:隆院男(1985—),男,湖南宁乡人,博士,副教授,主要从事流域生态水文过程、水环境模型及水文遥感等研究。

due to the jacking effect of the Yangtze River. Therefore, the topographic change in Dongting Lake from 2003 to 2011 has a great impact on the flood dominated by the inflow of the Four Rivers, which can effectively alleviate the flood control pressure in Dongting Lake because the entrenchment of the lake basin increased the storage capacity of the lake; however, it has little impact on the flood dominated by the inflow of the Yangtze River. The research results can provide a reference for the implementation of flood control measures such as dredging and capacity expansion in Dongting Lake.

Key words: topographic change; flood process; flood peak water level; lake storage; Dongting Lake

1 研究背景

近年来,在自然演化及人类活动的共同影响下,长江中下游地区主要河流湖泊的地形均发生了较大变化。比如三峡工程运行后(2003—2011年),长江中下游荆江河段深泓线平均下降了 1.72 m,最大下切深度为 18.20 m^[1];湘江下游长沙枢纽到濠河口河段的河床整体呈现冲刷状态(2008—2015年),最大下切深度为 7.50 m^[2];受人类采砂活动的影响,鄱阳湖北部入江通道大范围区域湖底高程下降超过 10 m^[3-4];对于洞庭湖,由于荆江南岸“三口”分沙量急剧减少,洞庭湖已从 2008 年开始从淤积状态转变为略微冲刷状态^[5-6],同时受采砂活动的影响,湖内局部地形发生了较大变化^[7]。河床地形是影响江河湖泊水文及水动力条件的重要因素,地形的改变将直接导致湖容、水位、流速等因素的变化,进而影响江河湖泊防洪、供水、水生态环境等方面的功能。因此,探讨地形变化对江河湖泊水文水动力的影响对防洪管理、水生态安全、水资源管理等方面有着重要意义。

自 20 世纪以来,洞庭湖湖区泥沙淤积严重,从 1949 到 2010 年,七里湖平均淤高了 4.12 m,西洞庭湖平均淤高了 2.00 m,南洞庭湖平均淤高了 1.27 m,东洞庭湖平均淤高了 1.63 m,洞庭湖容积从 $293 \times 10^8 \text{ m}^3$ 减少至 $167 \times 10^8 \text{ m}^3$,大大减弱了洞庭湖的调蓄能力^[8]。随着荆江裁弯取直、三峡水库等一系列工程的建设运行,“三口”分沙量急剧减少,已从 20 世纪 50 年代的年均输沙量 $1.08 \times 10^8 \text{ t}$ 减少至 21 世纪 10 年代的 $0.11 \times 10^8 \text{ t}$ ^[9],从而减缓了洞庭湖的淤积进程,2010—2019 年期间洞庭湖总体冲淤量已无明显变化,但部分湖区出现了明显的冲刷^[5-6]。同时由于人类采砂活动的影响,洞庭湖内的湘江洪道河床地形在 2003—2017 年下切明显^[10]。洞庭湖地形变化将进入新时期,湖区洪水过程也随之发生了一系列的变化。

目前对洞庭湖区洪水过程的研究主要集中在洞

庭湖内洪水遭遇分析^[11-13]、湖泊萎缩对洪水过程的影响^[14]、洞庭湖调蓄能力^[15-16]以及防洪减灾措施^[17-18]等方面,而关于地形变化对湖区洪水过程的影响研究鲜有报道。因此,本研究以洞庭湖 2003 年及 2011 年实测地形作为研究基础,以 2003 年型洪水为例,分析在不同地形情况下,洞庭湖湖区洪水的变化过程,可为洞庭湖生态疏浚扩容提供参考。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

洞庭湖位于三峡大坝下游约 400 km 处,是一个季节性、吞吐型的浅水湖泊,其天然湖泊面积为 $2\,625 \text{ km}^2$,丰水期湖泊面积可达约 $2\,670 \text{ km}^2$,枯水期湖泊面积萎缩至约 710 km^2 ^[17]。洞庭湖主要接纳来自荆江南岸“三口”(松滋口、太平口、藕池口)、“四水”(湘江、资江、沅江、澧水)、汨罗江和新墙河的来流,经过洞庭湖调蓄后在城陵矶站点汇入长江(如图 1 所示)。洞庭湖年均(1956—2016 年)径流量为 $2\,761 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中“三口”和“四水”的来流量分别占 29% 和 60%,其余为区间来水。在 20 世纪 50 年代,洞庭湖年平均沉积量约为 $1.66 \times 10^8 \text{ t}$,随着下荆江裁弯取直及上游水利工程的建设(特别是三峡工程的建设运行),洞庭湖入湖沙量急剧减少,由 20 世纪 50 年代的年均 $2.25 \times 10^8 \text{ t}$ 减少为 2009—2017 年的年均 $0.16 \times 10^8 \text{ t}$ ^[19],从而导致湖内冲淤形势发生较大变化。此外,由于人类采砂活动的影响,近些年来洞庭湖湖盆地形发生了较大变化^[10],对湖内洪水过程产生了较大影响,因此有必要深入开展相关研究,为洞庭湖整治工程提供参考。

2.2 数据来源

三峡水库蓄水运行后洞庭湖入湖泥沙急剧减少,湖内冲淤形势发生了改变。因此本文采用的地形数据为洞庭湖水利事务中心提供的 2003 年(三峡蓄水运行)及 2011 年的实测数据;湖区水文数据(2003 及 2011 年)通过湖南水文网站(<http://yzt.hnswkcj.com:9090/#/>)下载获得;高程统一采用 1985 国家高程基准面。

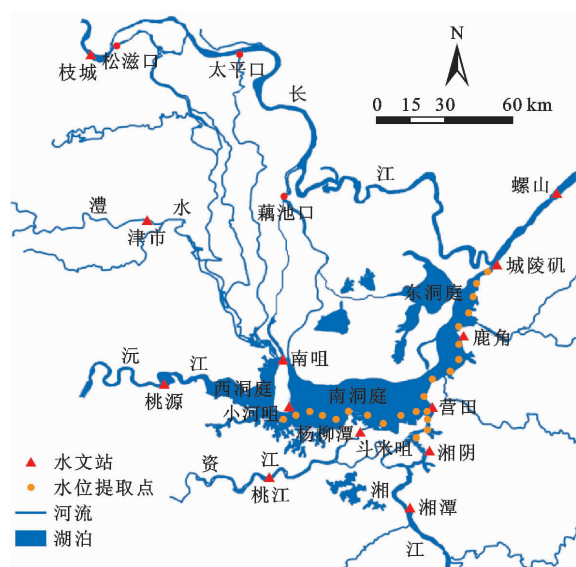


图1 洞庭湖区水系、特征水文站及采样点分布

2.3 研究方法

2.3.1 水动力模型 模型采用 ANUGA 开源代码^[20]构建,其控制方程如下:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} = S \quad (1)$$

$$U = \begin{bmatrix} h \\ uh \\ vh \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$E = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + gh^2/2 \\ uvh \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$G = \begin{bmatrix} vh \\ uvh \\ v^2h + gh^2/2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 \\ -gh(z_x + S_{fx}) \\ -gh(z_y + S_{fy}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: h 为水深, m ; g 为重力加速度, m/s^2 ; uh 为 x 方向上的动量, $kg \cdot m/s$; vh 为 y 方向上动量, $kg \cdot m/s$; z 为床面高程, m ; S 为源项; S_f 为床面阻力, N 。

本研究采用文献[17]构建的长江-洞庭湖二维水动力模型模拟洞庭湖内水动力过程。该模型涵盖了长江枝城-螺山河段、“三口”河系、洞庭湖及“四水”尾间,采用三角网格对模拟区域进行划分。对于“三口”河系及湖内洪道进行局部网格加密,对于湖内平缓区域采用较大网格划分,既能较好地描述其地形变化,又能减少计算量,该模型网格总数为 238 956 个(如图2所示)。由于洞庭湖内水域面积

随时间变化较大,因此通过设置干湿边界判断网格是否参与计算,从而准确模拟洞庭湖内洲滩淹没及露出情况。长江-洞庭湖二维水动力模型上游边界条件采用枝城站(长江)、湘潭站(湘江)、桃江站(资江)、桃源站(沅江)及津市站(澧水)的日平均流量,下游边界条件采用螺山站的水位-流量关系。采用洞庭湖 2003 年实测地形数据(1:5000)对模型网格进行插值,模型糙率根据文献[17]取值,其范围为 0.014~0.083,最小时间步长取 2.0 s。

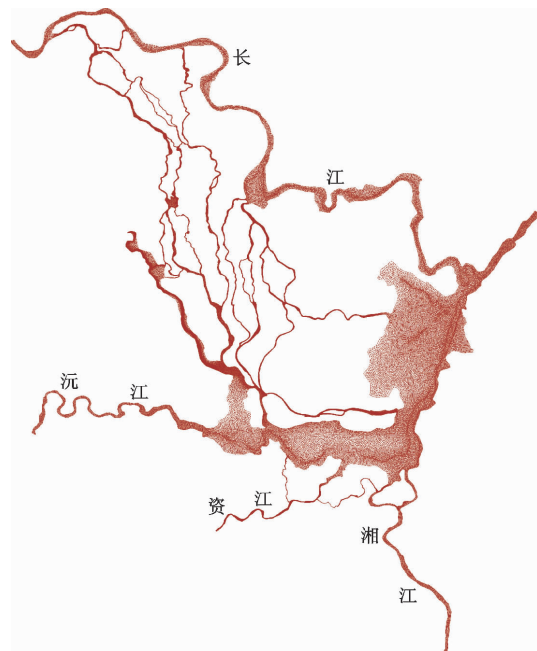


图2 长江-洞庭湖二维水动力模型网格划分

2.3.2 模型验证 由于本模型采用洞庭湖 2003 年实测地形数据,为了更准确地模拟洞庭湖内洪水过程,选取 2003 年实际洪水过程(5 月 1 日—10 月 16 日)、下游边界条件采用 2003 年螺山站的水位-流量关系对文献[17]中的水动力模型进行验证。图3为西洞庭湖(南咀站、小河咀站)、南洞庭湖(杨柳潭站、营田站)及东洞庭湖(鹿角站、城陵矶站点)特征水文站洪水过程验证结果。由图3可以看出,洞庭湖内各特征站点模拟的洪水水位涨落过程与实测值基本一致,除局部低水位时段的模拟水位误差较大外,整个模拟周期内各特征站点的水位模拟值与实测值吻合较好。

通过计算洞庭湖湖内各特征水文站点洪水模拟值的纳什系数(Nash-Sutcliffe efficiency coefficient, NSE)、洪峰水位绝对误差、平均相对误差及决定系数(R^2)对模型模拟结果进行误差分析,结果如表1所示。从表1可以看出,湖内各特征水文站点洪水

模拟结果的纳什系数均大于 0.86,洪峰水位绝对误差在 0.02 ~0.22 m 之间,决定系数 R^2 均大于 0.93。

因此,本模型的模拟精度较高,可用于洞庭湖内洪水过程的模拟研究。

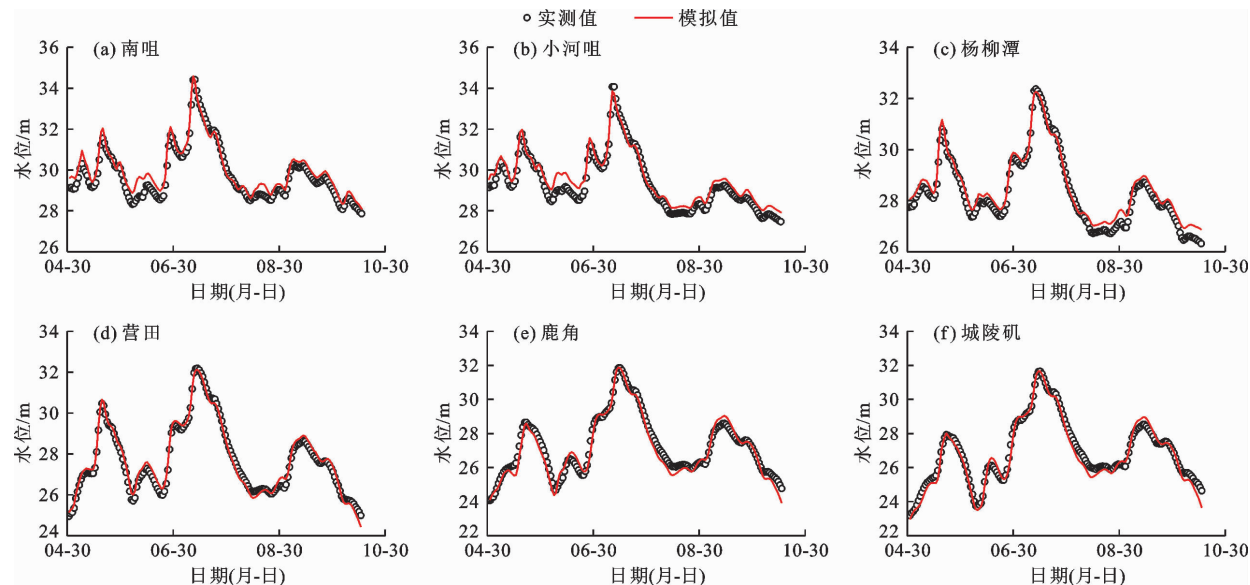


图3 洞庭湖区特征水文站点 2003 年洪水过程验证结果

表1 洞庭湖湖内各特征水文站点洪水模拟结果误差分析

水文 站点	纳什系数 NSE	洪峰水位/m		绝对误差/ m	R^2
		实测值	模拟值		
南咀	0.863	34.42	34.58	0.16	0.9406
小河咀	0.897	34.07	33.85	-0.22	0.9633
杨柳潭	0.922	32.37	32.27	-0.10	0.9730
营田	0.908	32.19	32.11	-0.08	0.9340
鹿角	0.964	31.84	31.87	0.03	0.9680
城陵矶	0.887	31.65	31.67	0.02	0.9628

2.3.3 洞庭湖地形变化 基于洞庭湖 2003 及 2011 年实测地形数据,对洞庭湖进行网格化处理(网格大小为 10 m × 10 m),通过计算各网格的地形差值得出 2011 年湖泊地形相比 2003 年湖泊地形的变化,如图 4 所示,湘江洪道斗米咀—鹿角站段深泓线地形变化如图 5 所示。图 4、5 表明,2011 年与 2003 年相比,洞庭湖内地形出现不同程度的冲刷和淤积,其中湖内冲刷主要集中在东洞庭湖北部及南洞庭湖东部区域,湖内淤积主要集中在东洞庭湖西南部、南洞庭湖西部及西洞庭湖东南部(图 4)。通过统计湖盆底高程变化值发现,东洞庭湖内约有 59% 的面积的下切深度超过 0.10 m,最大下切深度超过 15 m;南洞庭湖内约有 45% 的面积的下切深度超过 0.10 m,湘江洪道(斗米咀—鹿角站段)深泓线地形高程平均冲刷深度为 5.72 m,最大下切深度超过 20 m(图 5);西洞庭湖内

约有 40% 的面积的下切深度超过 0.10 m,最大深度约为 2.00 m。综上可知,2003—2011 年期间洞庭湖地形发生了较大变化,特别是南洞庭湖东部更为明显,因此洞庭湖内水文水动力过程必然随之发生较大改变。本研究采用 2011 年实测地形数据对文献[17]构建的水动力模型网格进行插值,并模拟 2003 年型洪水过程,探讨 2003—2011 年地形变化对洞庭湖内洪水过程的影响。

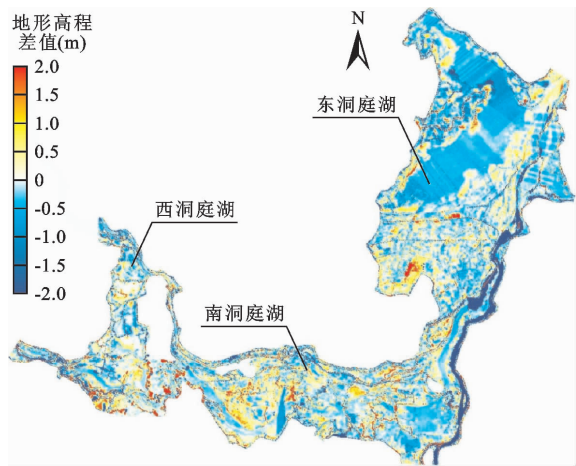


图4 2003—2011 年洞庭湖地形冲淤变化

2.3.4 典型洪水年选择 洞庭湖内洪水类型主要有“四水”来流型洪水、长江来流型洪水以及长江与“四水”遭遇型洪水,2003 年洞庭湖来流量过程线如图 6 所示。根据图 6 中长江及“四水”的来流量情况,

可将2003年来流分为3个典型洪水过程:(1)第1个洪水过程主要由湘江及沅水来流洪水主导(5月7日—6月7日),可近似代表“四水”来流型洪水;(2)第2个洪水过程主要由长江来流洪水主导(6月20日—8月15日),同时遭遇沅水及澧水来流洪水,可近似代表长江与“四水”遭遇型洪水;(3)第3个洪水过程主要由长江来流洪水主导(8月20日—10

月3日),可近似代表长江来流型洪水。由于2003年洪水过程基本涵盖了洞庭湖内主要洪水类型,因此选用2003年型洪水作为典型洪水过程,分析地形变化对洞庭湖内洪水过程的影响及地形引起的水位变化对不同洪水类型的响应。由于本文只考虑地形变化对洪水过程的影响,因此模型其他参数设置与2003年验证模型完全一致。

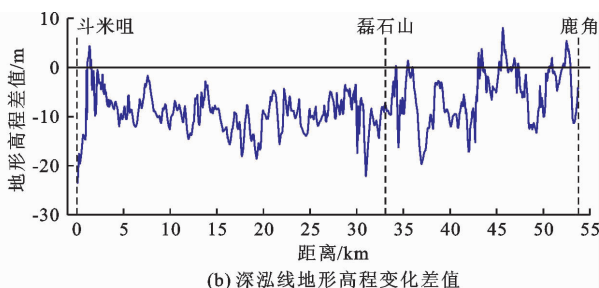
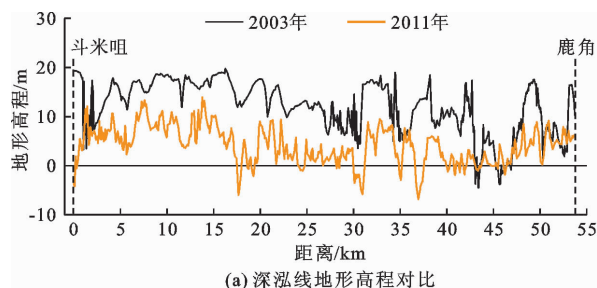


图5 2003—2011年洞庭湖湘江洪道斗米咀—鹿角站段深泓线地形变化

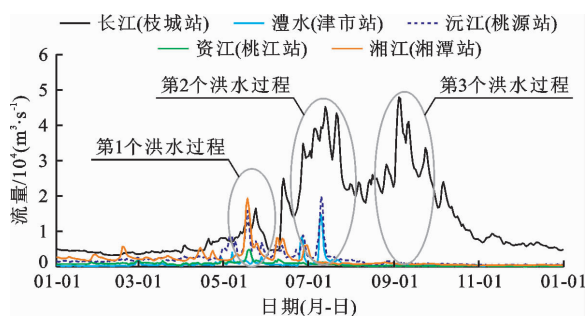


图6 2003年洞庭湖来流量过程线

3 结果与分析

3.1 地形变化对洪水过程的影响

图7显示了在不同地形情况下,洞庭湖内各特征水文站点(南咀、小河咀、杨柳潭、营田、鹿角、城陵矶)的水位变化过程。由图7可以看出,与2003年地形相比,在2011年地形条件下的第1个洪水过程中,南洞庭湖内杨柳潭站及营田站水位变化最显著,其平均水位分别下降了0.32和1.21 m;西洞庭湖内南咀站及小河咀站平均水位分别下降了0.16和0.19 m;东洞庭湖内鹿角站及城陵矶站水位变化不明显,其平均水位分别下降了0.13和0.08 m。在第2个洪水过程中,南洞庭湖内杨柳潭站及营田站平均水位分别下降了约0.20和0.30 m,东洞庭湖内与西洞庭湖内特征站点水位下降不明显。在第3个洪水过程中,西洞庭湖内小河咀站平均水位下降了0.32 m,南洞庭湖内特征站点平均水位下降了0.15 m,其他湖内站点水位变化不明显。

3.2 水位空间分布变化

为分析湖泊地形变化对湖内水位空间分布的影响,图8给出了两种地形情况下第1个洪峰时刻(5月20日12:00)、第2个洪峰时刻(7月14日18:00)及第3个洪峰时刻(9月13日06:00)洞庭湖内水位变化差值分布图。图8表明,在第1个洪峰时刻,地形变化对南洞庭湖水位的影響最为显著,其中水位下降超过0.80 m的范围占南洞庭湖总面积的48.9%,主要集中在南洞庭湖东部地形下切较大的区域;水位下降0.40~0.80 m的范围占南洞庭湖总面积的45.4%;西洞庭湖水位下降约为0.20 m;地形变化对东洞庭湖水位影响范围较小,仅在东洞庭湖南部局部区域出现水位下降,水位下降大于0.20 m的范围约为130 km²,约占东洞庭湖总面积的10%。在第2个洪峰时刻及第3个洪峰时刻,洞庭湖水位下降均在0.20 m以内。

3.3 地形变化对水面坡降的影响

为进一步分析地形变化对湖内水面坡降的影响,在两种地形条件下的第1个洪峰时刻(5月20日12:00)、第2个洪峰时刻(7月14日18:00)及第3个洪峰时刻(9月13日6:00)分别提取东洞庭湖和南洞庭湖的水位(提取点位置如图1所示),绘制两种地形条件下的水面坡降如图9所示。

由图9(a)可见,在第1个洪峰时刻东洞庭湖鹿角—城陵矶河段水位变化不明显,这主要是由于长江对该段水位影响较大^[14,21];从鹿角站开始向上游的水位下降越来越明显,这主要是由于第1个洪水过程主要由“四水”来流控制,长江对洞庭湖水位的

影响相对较小,因此同流量下水位主要受到河床高程的影响。从图 5(b)可以看出,相比于 2003 年,2011 年斗米咀 - 鹿角段河床地形下降明显,因此使得斗米咀 - 鹿角段水面降低,导致水面坡降变得更加平缓,由原来的 0.46‰ 减小为 0.14‰。在第 2 和第 3 个洪水过程的洪峰时刻,由于这两个洪水为长江来流主导的洪水过程,长江对洞庭湖水位的顶托

作用较大,因此尽管斗米咀 - 城陵矶河段水位均有所下降,但整体水面坡降变化不明显。

图 9(b)可见,对于南洞庭湖,地形变化对第 1 个洪峰的水面坡降影响较大,小河咀 - 营田段水面坡降由原来的 0.16‰ 增大至 0.26‰;而对于第 2 和第 3 个洪峰时刻,小河咀 - 营田段水位整体下降了约 0.18 m,因此水面坡降未发生明显变化。

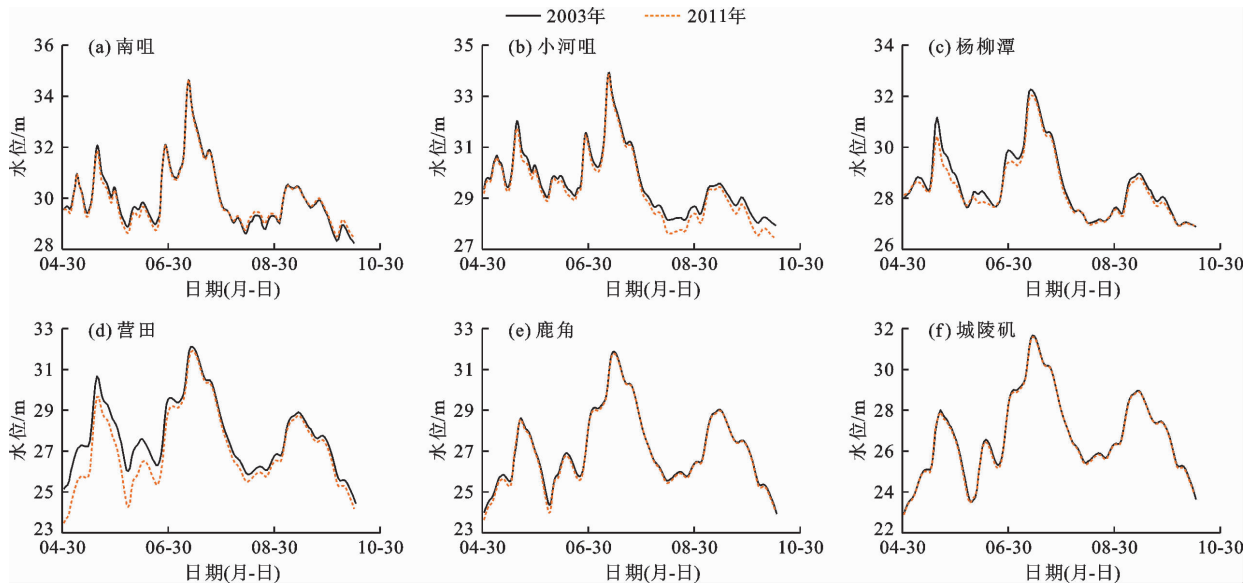


图 7 不同地形条件下洞庭湖内各特征水文站点的水位变化过程

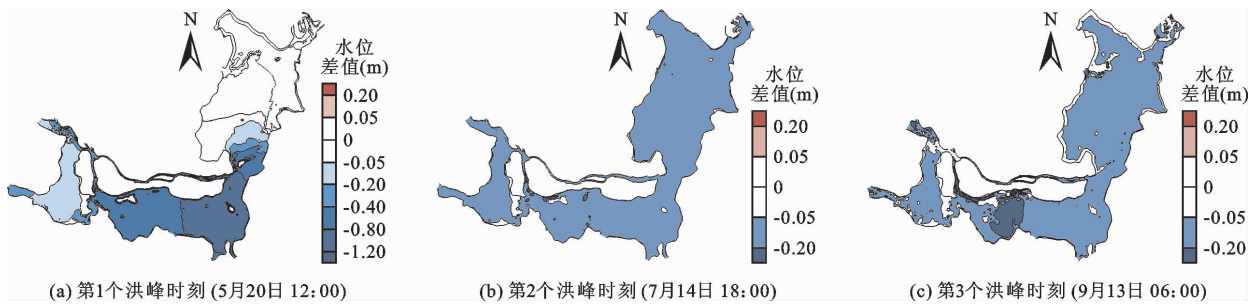


图 8 3 个洪峰时刻洞庭湖内两种地形的水位变化差值空间分布

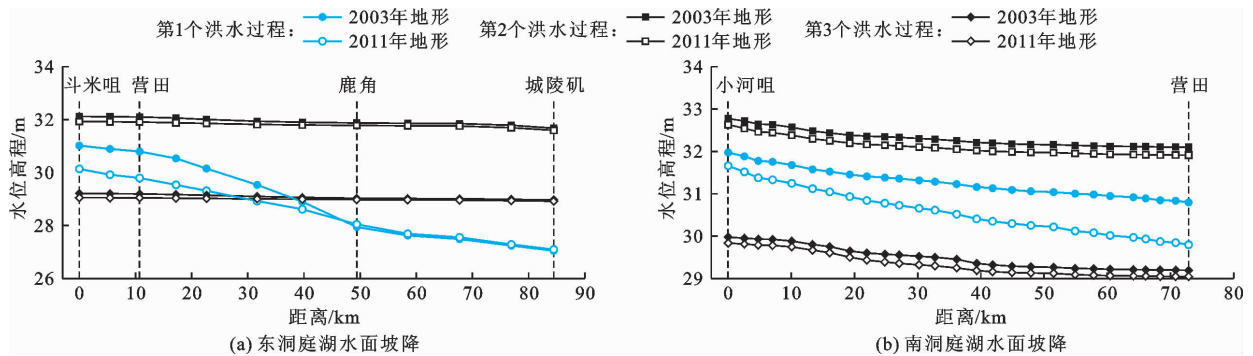


图 9 3 个洪峰时刻洞庭湖内两种地形的水面坡降变化

3.4 地形变化对湖容的影响

从 3.1 节分析中得出,2003—2011 年地形变化

对南洞庭湖水影响最为明显,因此以南洞庭湖为例分析地形变化对湖容的影响。湖容可采用以下公

式进行估算:

$$V_e = \sum_{i=1}^n (h_i \cdot S_i)$$

(6)

式中: V_e 为湖容, m^3 ; i 为模型网格编号; n 为模型网格总数($n = 238956$); h_i 为第 i 个网格上的水深, m ; S_i 为第 i 个网格的面积, m^2 。

在两种地形条件下的 3 个洪水过程中,南洞庭湖湖容随杨柳潭站点水位变化如图 10 所示。分析图

10 可知,在第 1 个洪水过程中,南洞庭湖湖容平均增加了约 $3.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,从而降低了南洞庭湖的水位(图 7(c)),特别是在洪峰时刻,湖内水位下降超过 0.40 m (图 8(a)),有效缓解了南洞庭湖内的防洪形势。在第 2 和第 3 个洪水过程中,南洞庭湖湖容分别增加了约 3.4×10^8 和 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$;但在洪峰水位时刻,由于长江水位的顶托作用,湖内水位仅下降约 0.20 m (图 8(b)、8(c))。

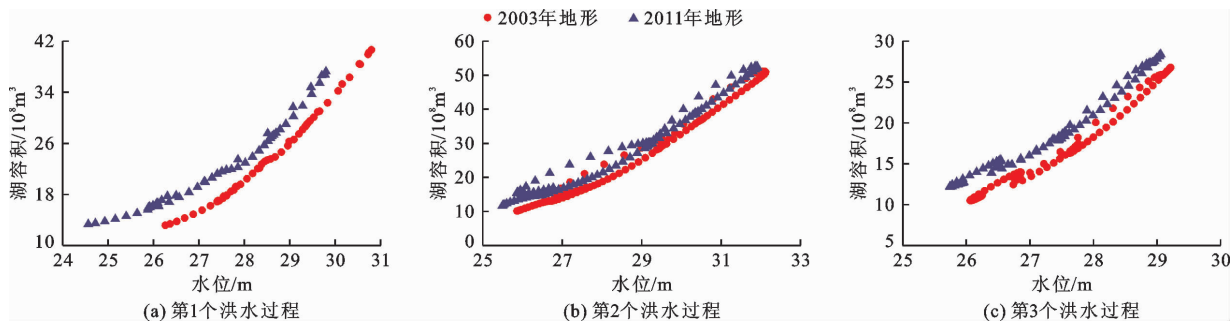


图 10 两种地形条件下 3 个洪水过程中南洞庭湖湖容随水位变化

4 讨 论

洞庭湖内地形变化主要集中在南洞庭湖东部及东洞庭湖南部的斗米咀-鹿角站段,其湖盆下切严重(图 4、5)。在“四水”和长江来流量不变的情况下,湖盆地形下切必将引起湖内水位下降,因此将对洞庭湖内防洪形势带来有利影响。通过对比洞庭湖内特征站点水位变化(图 7)可知,湖盆下切对南洞庭湖内水位影响较大,特别是在第 1 个洪水过程中(“四水”来流型洪水),南洞庭湖内特征站点水位平均下降了 1.21 m (营田站)及 0.32 m (杨柳潭站)。因此,湖盆下切对“四水”来流型洪水影响较大。对于以长江洪水为主的第 2 个及第 3 个洪水过程,尽管南洞庭湖东部地形下切明显,但由于下游长江水位的顶托作用^[22],南洞庭湖内营田站和杨柳潭站水位过程变化均不明显。

从 2011 与 2003 年相比洞庭湖内特征水文站点

洪峰水位变化值来看(表 2),位于南洞庭湖内的杨柳潭站及营田站峰值水位下降最明显,而西洞庭湖及东洞庭湖内特征水文站点洪峰水位变化基本在 0.10 m 左右。因此,以峰值水位变化最大的营田站为例开展分析。在以“四水”来流为主的洪水过程中(第 1 个洪水过程),营田站洪峰水位下降了 1.00 m ,其峰值削减明显,说明湖盆下切对洞庭湖内“四水”来流型洪水具有明显的削峰作用,有利于湖区防洪,这与文献[10]的研究结果一致。在第 2 个及第 3 个洪水过程中,由于下游长江洪水位的顶托作用,营田站洪峰水位分别下降了 0.20 和 0.15 m 。通过对比第 2 个洪水过程及第 3 个洪水过程可以发现,尽管这两个洪水过程长江来流约为 $46\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,但第 2 个洪水过程遭遇了“四水”洪水,因此营田站洪峰水位下降值仍大于第 3 个洪水过程,这一点可以说明湖盆地形下切对“四水”来流型洪水的影响较大。

表 2 2011 与 2003 年相比洞庭湖内特征水文站点洪峰水位变化值 m

水文站点	第 1 个洪峰时刻			第 2 个洪峰时刻			第 3 个洪峰时刻		
	2003 年	2011 年	差值	2003 年	2011 年	差值	2003 年	2011 年	差值
南咀	32.06	31.85	-0.21	34.62	34.60	-0.02	31.52	31.48	-0.04
小河咀	32.02	31.74	-0.28	33.91	33.83	-0.08	30.20	30.08	-0.12
杨柳潭	31.16	30.43	-0.73	32.27	32.03	-0.24	29.34	29.19	-0.15
营田	30.80	29.80	-1.00	32.12	31.92	-0.20	29.21	29.06	-0.15
鹿角	28.60	28.55	-0.05	31.88	31.78	-0.10	29.04	28.98	-0.06
城陵矶	28.01	27.91	-0.10	31.68	31.60	-0.08	28.97	28.92	-0.05

此外,通过对比第 1 个洪水及第 2 个洪水过程南洞庭湖的湖容增量发现(图 10),尽管第 1 个洪水过程湖容增量为第 2 个洪水过程湖容增量的 1.11 倍,但营田站洪峰水位下降值却为第 2 个洪水过程的约 5 倍。因此,对于“四水”来流型洪水,湖盆下切将有利于改善湖内的防洪形势,但对于长江来流型洪水而言,由于长江水位的顶托作用,湖内洪峰水位变化较小,对防洪形势影响有限。综上所述,洞庭湖通过疏浚扩容增强湖泊防洪能力仅对“四水”来流型洪水影响较大,而对长江主导的洪水影响有限,因此本研究结果可为洞庭湖内疏浚扩容等防洪工程的开展提供参考。

5 结 论

(1) 相比于 2003 年,洞庭湖 2011 年地形发生了较大变化,超过 40% 的区域地形高程下降值大于 0.10 m,特别是湘江洪道(斗米咀-鹿角站)深泓线高程平均下切深度为 5.72 m,最大下切深度超过 20 m。若遇 2003 年型洪水,在“四水”来流主导洪水过程的洪峰时刻(第 1 个洪峰),南洞庭湖水位下降超过 0.40 m,最大水位降幅约为 1.20 m,西洞庭湖内洪峰水位下降约 0.20 m;在长江来流主导洪水过程的洪峰时刻(第 2 个及第 3 个洪峰),南洞庭湖水位下降约 0.20 m。

(2) 在“四水”来流主导的洪水洪峰时刻,由于斗米咀-鹿角河段下切严重,导致水位下降明显,水面坡降变得更加平缓,由原来的 0.46‰ 减小为 0.14‰;而南洞庭湖内小河咀-营田段水面坡降变大,由原来的 0.16‰ 增加至 0.26‰;在长江主导洪水的洪峰时刻,由于长江水位的顶托作用,从整体上看湖内水面坡降变化不明显。

(3) 尽管洞庭湖湖盆地形下切可明显增加湖泊容积,但其仅能改善“四水”来流主导的洪水过程的防洪形势;而对于长江来流主导的洪水,由于长江水位的顶托作用,对洞庭湖内防洪形势改善不明显。

参考文献:

- [1] 许全喜. 三峡水库蓄水以来水库淤积和坝下冲刷研究[J]. 人民长江, 2012, 43(7): 1-6.
- [2] 闫世雄, 隆院男, 蒋昌波, 等. 湘江下游水位变化趋势与河床演变关系研究[J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(6): 150-156.
- [3] 江丰, 齐述华, 廖富强, 等. 2001-2010 年鄱阳湖采砂规模及其水水泥沙效应[J]. 地理学报, 2015, 70(05): 837-845.
- [4] 姚静, 李云良, 李梦凡, 等. 地形变化对鄱阳湖枯水的影响[J]. 湖泊科学, 2017, 29(4): 955-964.
- [5] 冉雪嫣, 朱德军, 李丹勋. 三峡水库运行后洞庭湖水沙变化及影响因素[J]. 水力发电学报, 2021, 40(3): 30-38.
- [6] 张琳, 马敬旭, 张倩, 等. 近 60 多年洞庭湖水沙演变特征及其与人类活动的关系[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(9): 14-20.
- [7] 朱玲玲, 陈剑池, 袁晶, 等. 洞庭湖和鄱阳湖泥沙冲淤特征及三峡水库对其影响[J]. 水科学进展, 2014, 25(3): 348-357.
- [8] 宋平, 方春明, 黎昔春, 等. 洞庭湖泥沙输移和淤积分布特性研究[J]. 长江科学院院报, 2014, 31(6): 130-134.
- [9] 水利部长江水利委员会. 洞庭湖四口水系综合整治工程方案论证报告[R]. 武汉: 水利部长江水利委员会, 2015.
- [10] 钟艳红, 岳红艳, 姚仕明, 等. 湘江典型河段采砂活动对河道演变影响研究[J]. 人民长江, 2021, 52(8): 10-15+29.
- [11] 仇红亚, 李妍清, 陈璐, 等. 洞庭湖流域洪水遭遇规律研究[J]. 水力发电学报, 2020, 39(11): 59-70.
- [12] 张超, 彭杨, 纪昌明, 等. 长江上游与洞庭湖洪水遭遇风险分析[J]. 水力发电学报, 2020, 39(8): 55-68.
- [13] ZHANG Chao, JI Changming, WANG Yi, et al. Flood hydrograph coincidence analysis of the upper Yangtze River and Dongting Lake, China[J]. Natural Hazards, 2022, 110: 1339-1360.
- [14] 刘易庄, 杨树清, 蒋昌波, 等. 洞庭湖萎缩对湖内洪水影响[J]. 水科学进展, 2019, 30(4): 485-495.
- [15] 黄群, 孙占东, 赖锡军, 等. 1950s 以来洞庭湖调蓄特征及变化[J]. 湖泊科学, 2016, 28(3): 676-681.
- [16] 张振全, 黎昔春, 郑颖. 洞庭湖对洪水的调蓄作用及变化规律研究[J]. 泥沙研究, 2014(2): 68-74.
- [17] LIU Yizhuang, YANG Shuqing, JIANG Changbo, et al. Flood mitigation using an innovative flood control scheme in a large lake: Dongting Lake, China[J]. Applied Sciences, 2019, 9(12): 2465.
- [18] 刘易庄, 杨树清, 蒋昌波, 等. 新型防洪减灾措施在洞庭湖中的模拟应用研究[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(6): 132-137.
- [19] 湖南省洞庭湖水利事务中心. 洞庭湖水利简介[R]. 长沙: 湖南省洞庭湖水利事务中心, 2020.
- [20] ROBERTS S G, NIELSEN O M, GRAY D, et al. ANUGA user manual[M]. Canberra: Geoscience Australia, 2015.
- [21] 周慧, 毛德华, 刘培亮. 三峡运行对东洞庭湖水位影响分析[J]. 海洋湖沼通报, 2014(4): 180-186.
- [22] 陈栋, 渠庚, 郭小虎, 等. 三峡建库前后洞庭湖对下荆江的顶托与消落作用研究[J]. 工程科学与技术, 2020, 52(2): 86-94.