

洪泽湖洪水调蓄能力研究

邓恒, 徐国宾, 樊贤璐, 段宇, 陈春锦

(天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300354)

摘要: 洪泽湖在淮河流域防洪中发挥着巨大的作用, 当前针对洪泽湖调蓄能力的研究较少, 且不够全面。梳理了洪泽湖对洪水的调蓄过程, 将洪泽湖对洪水的调蓄作用分为蓄滞作用和调节作用进行综合分析。结合 1991、2003 和 2007 年的暴雨洪水资料, 对洪泽湖的调蓄能力进行了分析。洪泽湖对洪水的一次调蓄量变化不大, 均为 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右, 表现出增长趋势。基于调蓄量无法充分表示洪泽湖的蓄滞作用, 提出了能更准确表示湖泊对洪水蓄滞作用的参数——调节系数。洪泽湖对洪水的调节系数由 0.19 提高至 0.21 增长到 0.38, 表明洪泽湖对洪水的蓄滞作用逐步增强。洪泽湖对“高瘦型”和“矮胖型”洪水的调节作用明显不同, 对“矮胖型”洪水的调节作用更强。提出了出湖河道的泄流能力也是洪泽湖调蓄能力的一部分, 人工河道的投入使用在防洪中发挥了重要作用。泥沙淤积和人工围垦是洪泽湖调蓄能力变化的决定性影响因素。研究结果为洪泽湖调蓄能力的分析提供了理论指导和技术支持。

关键词: 调节系数; 防洪; 洪水调节; 调蓄能力; 洪泽湖

中图分类号: TV873

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)02-0149-05

Study on the flood regulation and storage capacity of Hongze Lake

DENG Heng, XU Guobin, FAN Xianlu, DUAN Yu, CHEN Chunjin

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300354, China)

Abstract: Hongze Lake plays an important role in flood control in the Huaihe River Basin. At present, there are only a few incomprehensive studies researched on the regulation and storage capacity of Hongze Lake. The process of flood regulating and storing of Hongze Lake was combed, and the flood regulation and storage function of Hongze Lake was divided into storage and detention function and regulation function in this study. The flood regulation and storage capacity was analyzed based on the data of rainstorm and flood in 1991, 2003 and 2007. Hongze Lake has little change in the amount of flood storage, which is about $30 \times 10^8 \text{ m}^3$, showing a increasing trend. The reservoir volume can not fully represent the storage and detention function of Hongze Lake. The adjustment coefficient, which can represent the effect of the lake on flood storage more accurately, is proposed. The adjustment coefficient of Hongze Lake increased from 0.19 to 0.21 to 0.38, indicating that the effect of Hongze Lake on flood storage and detention is gradually strengthened. The regulation effect of Hongze Lake on the high-lean flood and the short-fat flood is obviously different, and the regulation effect on the short-fat flood is stronger. It is pointed out that the discharge capacity of the outlet channel is also a part of the regulation and storage capacity of Hongze Lake, and the application of artificial river plays an important role in flood control. Sediment deposition and artificial reclamation are the decisive factors affecting the flood regulation and storage capacity of Hongze Lake. The research results provided theoretical guidance and technical support for the analysis on flood regulation and storage capacity of Hongze Lake.

Key words: adjustment coefficient; flood control; flood regulation; regulation and storage capacity; Hongze Lake

收稿日期: 2018-08-28; 修回日期: 2018-11-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0405602)

作者简介: 邓恒(1993-), 男, 湖北仙桃人, 在读硕士研究生, 研究方向为河流动力学及河床演变。

通讯作者: 徐国宾(1956-), 男, 河北石家庄人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为河流动力学及河床演变。

1 研究背景

湖泊是抵御洪水灾害的天然屏障,在减少洪水灾害、保障区域防洪安全等方面发挥着极为重要的作用^[1]。在流域防洪中,湖泊通过蓄滞入湖洪水,实现消减和滞后洪峰的作用,达到调节洪水的目的^[2]。湖泊的调蓄能力是湖泊对洪水调节作用的表征。湖泊的调蓄能力越强,其对入出湖洪水过程的影响就越大,在流域和湖区防洪中发挥的作用也就越大。

国外学者对调蓄能力的研究多集中于水库^[3-4],对湖泊防洪的研究多侧重于生态系统影响和防洪价值^[5-6],针对湖泊调蓄能力的研究较少,并且已有的研究多集中于洞庭湖^[7-9],有关洪泽湖调蓄能力的研究较少,一般侧重于对湖泊调蓄量变化的因素研究^[10]。

洪泽湖位于淮河中下游的结合部,是淮河流域防洪工程体系的组成部分^[11]。洪泽湖在淮河流域中的位置及其调蓄功能决定了它在淮河中下游防洪中举足轻重的地位。洪泽湖的调蓄能力不仅与洪泽湖地区的安全相关,而且对淮河流域的防洪也具有极其重要的意义,研究其调蓄能力对洪泽湖湖区以及淮河流域的防洪具有极其重要的意义。

本文通过分析洪泽湖的调蓄量、洪泽湖对洪水的削峰及滞后作用,并引入调节系数综合研究湖泊的调蓄能力。根据洪泽湖对洪水调蓄的特点综合考虑出湖河道的泄流能力,进一步研究洪泽湖的调蓄能力,以期为淮河流域和洪泽湖湖区的防洪提供指导思路。

2 研究区概况

洪泽湖位于淮河中下游结合部,是我国五大淡水湖之一,是淮河流域的湖泊型水库,也是南水北调东线工程重要的调蓄湖泊。洪泽湖在保障人民生命安全、财产安全和发展工农业生产等方面发挥了巨大作用。

洪泽湖主要入湖河道有7条,包括淮河、怀洪新河、新汴河、濉河、泗洪老濉河、徐洪河和池河。洪泽湖承接淮河中游所有来水,经由下游出湖河道分泄入江入海。主要的出湖河道有淮河入江水道、苏北灌溉总渠、淮河入海水道和分淮入沂工程。其中苏北灌溉总渠、淮河入海水道和分淮入沂工程是自1949年以来先后修建而成。洪泽湖现状水系图如图1所示。

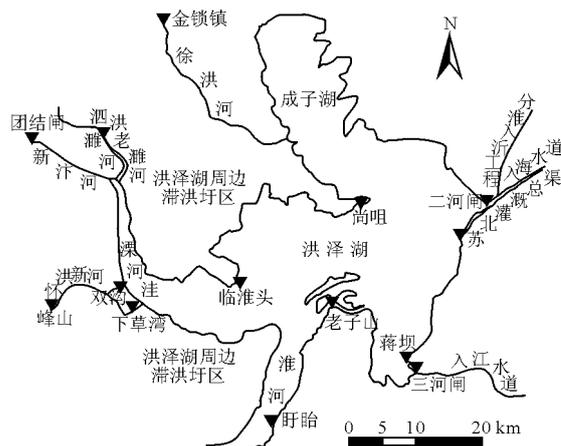


图1 洪泽湖水系示意图

3 洪泽湖的调蓄过程

洪泽湖对洪水的调控是可以人为控制的。当预报淮河上中游发生较大洪水时,通过调节洪泽湖出湖河道的下泄流量,降低洪泽湖水位到汛限水位(12.5 m)以下。当洪水来临时,进入湖泊的流量大于出湖流量,洪水不断在湖泊中积累,湖泊内水位开始增加。湖水位随之上涨。当洪泽湖水位上涨到13.5 m时,开始相继启用入江水道、苏北灌溉总渠和废黄河分泄洪水。若洪泽湖水位持续上涨至14.5 m,此时全开三河闸进行泄洪,并开启入海水道进行泄洪。如果湖泊内水位继续上涨,则需要对滨湖圩区破坏滞洪。当洪泽湖水位超过15.0 m时,控制三河闸的流量到12 000 m³/s。当洪泽湖水位超过16.0 m时,利用各出湖通道进行堤防超高强迫行洪,从而控制洪泽湖蒋坝水位不超过17.0 m。当洪泽湖水位达到甚至超过17.0 m时,通过入海水道和废黄河之间的夹道地区进行泄洪,以确保洪泽湖大堤的安全。之后,入湖流量开始减少,湖泊的蓄洪量和湖水位在出入湖流量相等时达到峰值。随着入湖流量的进一步减小,湖泊内水位开始降低,蓄水量也随之减小。

4 湖泊的调蓄能力研究

湖泊对洪水的调蓄是多方位的作用,不仅将洪水蓄滞于湖泊中,还有削峰作用,表现为对洪水的蓄滞作用和调节作用。湖泊对洪水的蓄滞作用一般以调蓄量表示^[5]。但湖泊的调蓄量受洪水特性、洪水起涨前湖泊水位等诸多因素的影响,无法完全表示湖泊对洪水的蓄滞作用。因此在湖泊调蓄量研究的基础上提出了调节系数,表示一次调蓄过程中湖泊

对洪水的蓄滞作用的大小。

4.1 蓄滞作用分析

洪水来临时,洪泽湖水位上涨,因入湖流量大于出湖流量,部分洪水滞蓄于湖泊中,湖水位上涨。出湖流量在不断地增加,入湖流量开始减小,当入湖流量减小至与出湖流量相等时,洪泽湖具有最大的蓄洪量和最高的湖水位。随着出湖流量进一步增加,入湖流量小于出湖流量,湖水位降低,洪水消退,洪水过程如图 2 所示。将图 2 中出入湖洪水过程线峰前的交点作为调蓄起点,峰后的交点作为调蓄终点,两过程线之间包围的面积为调蓄量。对于在汛期发生过多次洪水的调蓄,在第一个调蓄起点和最后一个调蓄终点之间的任意两个起点和终点之间的最大滞蓄水量为此次洪水过程的调蓄量,其计算公式可以表示为:

$$W = \sum_{t=1}^n [(I(t) - Q(t)) \cdot \Delta t] \quad (1)$$

式中: $I(t)$ 为入湖流量, m^3/s ; $Q(t)$ 为出湖流量, m^3/s ; W 为调蓄量, m^3 ; Δt 为采样间隔时间, s 。

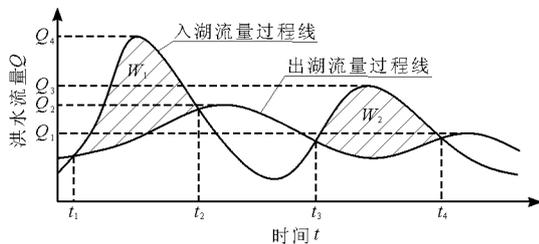


图 2 调蓄过程曲线

调蓄量的大小受各种因素的影响,包括湖泊的初始水位,洪水形态以及出湖河道的泄流能力等。出湖河道的泄流能力越小,滞蓄在湖泊中的洪水越多,调蓄量越大。但出湖河道的泄流能力越强,滞蓄在湖泊中的洪水越少,调蓄量越小。仅用调蓄量无法充分反映洪泽湖对不同等级洪水的蓄滞作用。因此在分析洪泽湖对洪水的蓄滞作用时引入调节系数,即一次调蓄过程中调蓄量与其对应时间段的入湖洪水总量之比。调节系数越大,表明湖泊在调蓄过程中滞蓄的水量比越大,对于洪水的蓄滞能力越强,其计算公式可以表示为:

$$K_{\text{调节系数}} = \frac{W}{\sum_{t=1}^n [I(t) \cdot \Delta t]} \quad (2)$$

式中: $I(t)$ 为入湖流量, m^3/s ; W 为调蓄量, m^3 ; Δt 为采样间隔时间, s 。

1991 年,国务院颁发《关于进一步治理淮河和

太湖的决定》,确定实施治淮 19 项骨干工程。近 10 年来,淮河流域淮河水系尚未爆发 10 年一遇以上洪水。1991 和 2003 年在淮河水系发生洪水的同时沂沭泗水系也发生了洪水,2003 年的洪水量级稍大于 1991 年,2007 年淮河流域发生了与 2003 年洪水量级相当的流域性大洪水。这 3 年的洪水重现期均为 10 ~ 20 年一遇。

本文通过选取 1991、2003 和 2007 年 3 次暴雨洪水,对洪泽湖的调蓄能力进行研究(见表 1)。从表 1 中可以看出,洪泽湖对于 10 ~ 20 年一遇的洪水调蓄总量变化不大,均为 $30 \times 10^8 m^3$ 左右,但 1 次调蓄量从 1991 - 2007 年逐渐上升。1991 年洪泽湖对洪水的调蓄过程有两次,第一次调蓄的洪水量级较小,经过一次泄洪过程之后又迎来了第二次的洪水。第二次洪水量级较大,能够表现洪泽湖对一次大洪水过程的调蓄特征。洪泽湖对洪水的一次调节系数从 1991 年的 0.19 上涨到 2003 年的 0.21 至 2007 年的 0.38,表明洪泽湖对洪水的蓄滞能力在逐渐增强。治淮 19 项工程的完成是洪泽湖调蓄能力增强的一个重要原因。

表 1 洪泽湖调蓄量及调节系数

年份	入湖总量/ $10^8 m^3$	出湖总量/ $10^8 m^3$	调蓄总量/ $10^8 m^3$	调节 系数	备注
1991	39.07	27.17	11.90	0.30	第一次调蓄
1991	141.95	114.64	27.31	0.19	第二次调蓄
1991	239.94	208.34	31.60	0.13	总调蓄过程
2003	141.58	112.33	29.25	0.21	
2007	86.25	53.28	32.97	0.38	

4.2 调节作用分析

湖泊对洪水的调节作用表现在对洪峰的削减、滞后以及对洪水过程的延长。湖泊通过对入湖洪水的调节,使出湖洪水过程变得平缓。其中对洪峰的削减可以用削峰系数表示,对洪峰的滞后作用可以用滞后时间 Δt 表示,即 $I_{\max}(t)$ 所对应的的时间与 $Q_{\max}(t)$ 所对应的的时间之差。削峰作用可以用下面的公式计算:

$$K_{\text{削峰系数}} = \frac{I_{\max}(t) - Q_{\max}(t)}{I_{\max}(t)} \quad (3)$$

式中: $I_{\max}(t)$ 为最大入湖洪峰流量, m^3/s ; $Q_{\max}(t)$ 为最大出湖洪峰流量, m^3/s 。

1991 年淮河流域暴雨过程多且间隔时间较短,洪水起涨和消退较慢,洪水过程在湖泊内持续时间

长,洪水表现为“矮胖型”。2003年淮河流域降雨较大且降雨集中,其特点是间隔时间短、强度大,洪水表现为“高瘦型”。2007年暴雨历时长,降雨范围广,但最大30d暴雨介于1991和2003年之间,洪水表现为“高瘦型”。从表2中可以看出,洪泽湖对不同类型洪水过程影响的差别较大,1991年的削峰系数与滞后时间均较大,表明洪泽湖对“矮胖型”洪水的调节作用较强。

表2 洪泽湖削峰系数及滞峰时间

年份	日平均入湖 最大洪峰流 量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	出湖最大 洪峰流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	削峰 系数/%	滞后 时间/d
1991	12300	9840	20.0	7
2003	14500	12700	12.4	3
2007	14200	11200	21.1	4

表3 洪泽湖各出湖河道的最大泄流量

年份	入江水道/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	入海水道/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	分淮入沂工程/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	苏北灌溉总渠/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		蒋坝最 高水位/m
	三河闸	二河闸		高良涧闸	高良涧电站	
1991	8450.00		1270.00			14.08
2003	9420.00	1870.00	1440.00	565.00	177.00	14.38
2007	8920.00	2150.00		487.00		13.90

表4 洪泽湖出湖河道设计泄洪能力^[12]

蒋坝 水位/ m	入江 水道/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	入海 水道/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	灌溉 总渠/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	分淮 入沂/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	合计/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
12.5	4800	0	800	0	5600
13.5	7150	1380	1000	0	9530
14.5	10050	2080	1000	2070	15180
15.0	11600	2270	1000	2580	17450
15.5	12000	2270	1000	2900	18170
16.0	12000	2270	1000	3000	18270

4.3 影响因素分析

湖泊对洪水的调蓄能力受湖泊演变的影响。自然因素和人类活动是湖泊演变的两个重要影响因素。由于泥沙淤积和人工围垦,洪泽湖的调蓄库容发生了较大的变化^[13]。虞邦义等^[14]结合实测资料研究了洪泽湖的泥沙淤积,结果表明洪泽湖呈现淤

积状态,库容减小。范亚明等^[15]分析了1930年以来洪泽湖水域面积的变化,结果表明洪泽湖的水域面积日益缩小,其中人类活动对水域面积的变化起主导作用。因此,通过研究湖泊调蓄能力的影响因素以及各影响因素对调蓄能力的作用机理及影响程度,可以为湖泊治理指明正确的方向,对于湖区以及流域的防洪具有积极意义。

洪泽湖处于淮河中下游结合部,是淮河河道的组成部分。其出湖河道的泄流能力影响着洪泽湖对洪水的调节能力。出湖河道泄流能力越大,洪泽湖对淮河洪水的调节作用越强,反之,出湖河道泄流能力越小,洪泽湖对淮河洪水的调节作用越弱。表3为洪泽湖各出湖河道的最大泄流量。

洪泽湖对不同类型和不同组合方式的洪水调节方式是不同的,并且人类可以参与到调洪过程,故洪水过程受人类调控方式和自身条件共同影响。入海水道在2003年首次投入使用,从表3中可以看出入海水道在调洪过程中发挥了巨大的作用。虽然1991年蒋坝水位比2007年高,但入江水道的最大流量却小于2007年,这说明2007年入江水道的泄流能力较1991年强。综合表3和4,可以看出虽然出湖河道的泄流能力有一定的增强,但远未达到设计泄流能力。

积状态,库容减小。范亚明等^[15]分析了1930年以来洪泽湖水域面积的变化,结果表明洪泽湖的水域面积日益缩小,其中人类活动对水域面积的变化起主导作用。因此,通过研究湖泊调蓄能力的影响因素以及各影响因素对调蓄能力的作用机理及影响程度,可以为湖泊治理指明正确的方向,对于湖区以及流域的防洪具有积极意义。

5 结论与建议

本文通过梳理并分析洪泽湖调洪过程,根据洪泽湖调蓄的特点选取合适的指标,研究淮河流域典型洪水年洪泽湖的调蓄能力。研究表明:洪泽湖对10~20年一遇洪水的调蓄量基本不变,但是调蓄系数在逐步增长,洪泽湖对洪水的蓄滞作用逐渐增强。洪泽湖对不同类型和组合方式洪水的调节方式存在明显的差别,但其整体调节作用在逐渐增强。在调洪过程中,洪泽湖出湖河道的泄流能力未达到设计泄流能力,建议采取适当的措施增强出湖河道

的泄流能力,提升洪泽湖对洪水的调节能力。

由于当前公开的资料有限,本文对洪泽湖调蓄能力的研究主要为大洪水发生时期,未能深入分析洪泽湖对各级洪水的调蓄能力,较难满足实际运用中洪泽湖对各级洪水调节的需求。在后续数据资料逐步公开并且数据量充足的情况下,可以根据本文的研究思路,综合研究洪泽湖对各级别洪水的调蓄能力。

参考文献:

- [1] 饶恩明,肖 焱,欧阳志云. 中国湖库洪水调蓄功能评价[J]. 自然资源学报, 2014, 29(8):1356-1365.
- [2] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京:科学出版社, 1998.
- [3] DEMIREL M, WURBSU R A. Assessment of flood control capabilities for alternative reservoir storage allocations[J]. *Gynecologic Oncology*, 2015, 139(1):191.
- [4] TEBAKARI T, YOSHITANI J, SUVANPIMOL C, et al. Assessment of flood control and water supply abilities of large scale reservoir using numerical experiment : a case study in the Chao Phraya River Basin, Kingdom of Thailand [J]. *Journal of Japan Society of Hydrology & Water Resources*, 2007, 20(3):145-155.
- [5] KAKURU W, TURYAHABWE N, MUGISHA J. Total economic value of wetlands products and services in Uganda [J]. *The Scientific World Journal*, 2013(9):1-13.
- [6] SANTIAGO E C, RIVAS F. Polychlorinated biphenyls in selected sites in Pasig River and Laguna Lake in the Philippines before and after a big flood event investigated under the UNU East Asia regional POPs monitoring project [J]. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 2012, 89(2):407-411.
- [7] 王慧玲,梁 杏. 洞庭湖调蓄作用分析[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(3):63-66.
- [8] 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.
- [9] 吴炳方,黄进良,沈良标. 湿地的防洪功能分析评价——以东洞庭湖为例[J]. 地理研究, 2000, 19(2):189-193.
- [10] 虞邦义,倪 晋,周 贺. 洪泽湖泥沙淤积计算及调蓄量变化分析[C]//宋军,夏航. 健康湖泊与美丽中国,第三届中国湖泊论坛暨第七届湖北科技论坛论文集,武汉:湖北科学技术出版社, 2013:119-125.
- [11] 王先达. 浅析淮河流域的防洪体系[J]. 中国水利, 2003(19):29-31.
- [12] 陈茂满. 洪泽湖蓄泄关系与淮河中下游防洪[J]. 水利规划与设计, 2004(2):27-31+47.
- [13] 虞邦义,倪 晋,周 贺. 洪泽湖泥沙淤积计算及调蓄量变化分析[C]//湖北科技论坛, 2013.
- [14] 虞邦义,郁玉锁. 洪泽湖泥沙淤积分析[J]. 泥沙研究, 2010, 35(6):36-41.
- [15] 范亚民,何华春,崔云霞,等. 淮河中下游洪泽湖水域动态变化研究[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(12):1397-1403.
- [9] 雷 燕,唐洪武,周宜林,等. 遗传算法在河网糙率参数反演中的应用[J]. 水动力学研究与进展(A 辑), 2008, 23(6):612-617.
- [10] 陈一帆,程海洋,万晓丽,等. 结合糙率校正的河网水情数据同化[J]. 水科学进展, 2015, 26(5):731-738.
- [11] 董文军,姜亨余. 一维水流方程中曼宁糙率的参数辨识[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2001, 34(2):201-204.
- [12] 吴晓玲,王船海. 基于水动力学模型的实时糙率反推在洪水预报中的应用[J]. 水电能源科学, 2008, 26(5):43-45+82.
- [13] 吴光琼. 群居蜘蛛优化算法在水文频率曲线参数优化的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(6):123-126+131.
- [14] 赵 东,彭 畅. 受干支流回水影响的断面水位与流量关系研究[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(3):175-177+183.
- [15] 倪培桐. 东江干流及三角洲河段设计洪水水面线计算报告[R]. 广东省水利水电科学研究所, 2005.
- [16] 东江流域历史洪水调查[R]. 广东省水利厅, 1982.
- [17] 熊贵枢,王 兴. 水位流量关系曲线的延长方法和对若干水力因素的讨论[J], 人民黄河, 1983(5):26-29.
- [18] 邱 静. 剑潭水利枢纽水工模型试验研究报告[R]. 广东省水利水电科学研究院, 2003.

(上接第 148 页)