

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.05.034

# 基于水力模型的城市大型调蓄湖泊退水时间测算方法

肖君健

(武汉设计咨询集团有限公司,湖北 武汉 430014)

**摘要:**调蓄湖泊在城市内涝防治中发挥着重要作用。当城市遭遇多场长历时强降雨时,若调蓄湖泊未及时腾空库容而漫溢,易引发系统性内涝灾害。为评估调蓄湖泊应对多场长历时强降雨时的防灾韧性水平,结合武汉市实际,提出了湖泊退水时间评价指标。以武汉市最大的3个湖泊水系为例,基于构建的湖泊水系水力模型,模拟了100 a一遇不同超长历时设计降雨下的重点湖泊水位变化。结果表明:遭遇1 d设计降雨时,汤逊湖、东湖模拟最高洪水均未超过控制最高水位,但退水时间较长,分别达到9 d、3 d+6 h;退水期间,再次遭遇强降雨时,存在较大内涝风险。该研究可为平原河网地区排涝标准的制定及排涝设施规模的设计提供参考。

**关键词:**调蓄湖泊;退水时间;内涝风险;水力模型

中图分类号: TU992

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)05-0141-03

## 0 引言

随着城市化进程加快,极端天气事件增加,城市涝灾风险加剧。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中提出,“增强城市防洪排涝能力,建设韧性城市”。2016年6月30日至7月6日,武汉市遭遇连续强降雨,周降雨量达到565~719 mm,为历史记录最大值,汤逊湖最高洪水位超过控制水位约1.8 m,湖泊周边地区渍涝严重,退水时间长达15 d,引起了社会公众及住建部的高度关注<sup>[1-2]</sup>。2020年,武汉市遭遇43 d“超长版”的梅雨季,东湖洪水位超过控制水位,虽未形成渍涝灾害,但湖泊退水时间长达5 d,引起了市委市政府的高度重视和担忧。因此,湖泊调蓄区的防涝安全是武汉市韧性城市建设的重要内容,而湖泊退水时间反映了湖泊调蓄区的雨洪韧性水平。

湖泊调蓄区排涝泵站规划设计时,一般采用3~24 h设计降雨,通过水量平衡法或水力模型法来计算排涝泵站规模<sup>[3-4]</sup>,通常以湖泊计算洪水位不超过设计控制水位为约束条件,未考虑雨后湖泊退水时间。调蓄湖泊雨后退水时间越长,再次遭遇强降雨时,因无法及时腾空库容而漫溢的风险越大;调蓄湖泊雨后退水时间越短,则湖泊调蓄区防灾能力越强。

收稿日期: 2023-05-25

作者简介: 肖君健(1989—),男,硕士,高级工程师,从事城市水系统规划设计工作。

因此,湖泊退水时间的长短在一定程度上反映了湖泊调蓄区的防灾韧性水平。本文基于武汉市“十三五”期间遭遇的洪涝险情和湖泊调蓄区的防涝特点,对武汉市当前城市调蓄湖泊的退水时间进行测算,以期对湖泊调蓄区排涝标准的制定及设施规模的选取提供参考。

## 1 研究区概况

以大武昌地区的三大水系为研究对象,包括汤逊湖水系、东沙湖水系和北湖水系。三大水系均位于长江南岸,处于大武昌防洪保护圈内,汛期汇区内涝水均由泵站抽排入长江,主汛期洪涝并存,泵站均沿长江干堤布局。三大水系内大部分用地为已建成区,单位面积经济承载量较大,一旦发生渍涝,经济损失较大。大武昌地区三大水系排水格局简图见图1。

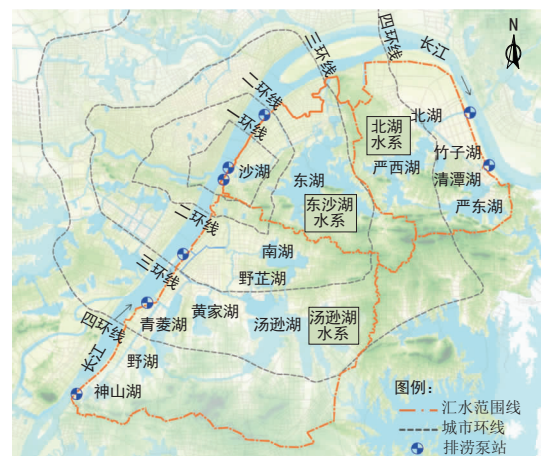


图1 大武昌地区三大水系排水格局简图

大武昌地区自南向北依次为汤逊湖水系、东沙湖水系和北湖水系。汤逊湖水系汇水面积 458 km<sup>2</sup>, 是武汉市城区最大的调蓄型水系, 内部有南湖、野芷湖、汤逊湖、黄家湖、青菱湖、野湖和神山湖 7 个调蓄湖泊, 汛期涝水由江南泵站、汤逊湖泵站、海口泵站 3 座泵站抽排出江, 系统整体抽排能力为 325 m<sup>3</sup>/s; 东沙湖水系汇水面积 175 km<sup>2</sup>, 以东湖、沙湖为核心调蓄湖泊, 汛期涝水由罗家路泵站、前进路泵站、新生路泵站 3 座泵站抽排出江, 系统整体抽排能力为 165 m<sup>3</sup>/s; 北湖水系汇水面积 189 km<sup>2</sup>, 内部有北湖、严西湖、竹子湖、清潭湖和严东湖 5 个调蓄湖泊, 汛期涝水由北湖闸泵站和北湖泵站抽排出江, 系统整体抽排能力为 240 m<sup>3</sup>/s。大武昌地区三大水系排涝特征参数见表 1。

表 1 大武昌地区三大水系排涝特征参数

系统名称	汇水面积 / km <sup>2</sup>	湖泊水面率 / %	抽排能力 / (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	排涝模数 / (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> )
汤逊湖水系	458	17	325	0.71
东沙湖水系	175	21	165	0.94
北湖水系	189	14	240	1.27

## 2 湖泊退水时间测算

### 2.1 湖泊退水时间的定义

目前, 针对湖泊退水时间, 尚无国家规范或标准定义。在 2021 年发布的《室外排水设计标准》(GB 50014—2021) 中, 首次提出了最大允许退水时间标准<sup>[5]</sup>, 对象为城区地面积水, 即雨停后地面积水最大允许排干时间, 一般取 0.5~4.0 h。在农田排水标准中, 根据作物区类别, 考虑了 1~5 d 的涝水排除时间。本次湖泊退水时间指调蓄湖泊遭遇一场设计排涝标准降雨后, 从最高洪水位恢复至汛前控制水位所需的时间。最高洪水位为遭遇设计排涝标准降雨时的湖泊峰值水位; 汛前控制水位是考虑调蓄、生态和景观等功能要求后, 汛前湖泊腾空库容需降低至该水位。

### 2.2 湖泊退水时间测算方法

湖泊调蓄区的排涝演算中, 常用计算方法包括平均排除法、水量平衡法、水力模型法等, 可用于退水时间的计算。其中, 平均排除法、水量平衡法等传统方法没有考虑汇流时间、水力坡降等因素, 存在一定的局限性。随着计算机技术的发展和产汇流理论的逐渐完善, 水力学模型如 EPA SWMM、DigitalWater、InfoWorks CS、DHI MIKE 等得到了广泛应用<sup>[6-7]</sup>。

三大水系汇水面积较大, 水系内部河湖之间存在水量交换, 水文水力情况较为复杂, 本次采用水力模型法来测算湖泊退水时间。基于 InfoWorks ICM 水力模型软件, 构建三大水系的河湖水系模型, 模拟地面产汇流、河道行洪、湖泊调蓄及退水、闸站调度等工况情景。

河网文件: 包括 26 个湖泊、40 条河道和骨干箱涵。模型中调蓄湖泊被概化为调蓄池, 主要参数为湖泊的水位-库容曲线, 数据来源于武汉市湖泊普查成果; 部分大型湖泊包含若干子湖, 各子湖水位不同, 本次结合实际进行细化模拟, 如东湖被概化为 11 个子湖, 子湖之间通过水闸连通。已整治的河道断面按照规划断面模拟, 尚未整治的河道断面由实地测量所得。骨干箱涵指断面尺寸大于 2 m 的排水箱涵, 断面尺寸和管底竖向根据排水防涝普查所得。汤逊湖水系、东沙湖水系和北湖水系河网概化模型见图 2。

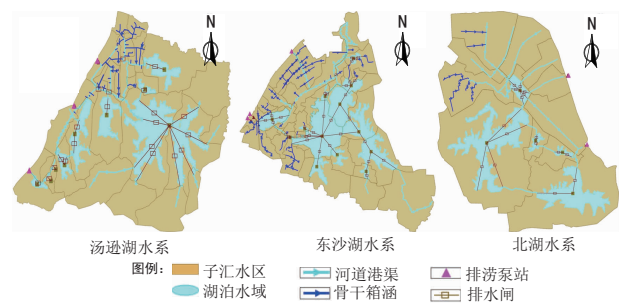


图 2 河网概化模型

降雨量及雨型设计: 设计降雨采用武汉市 2020 年发布的地方标准《武汉市暴雨强度公式及设计暴雨雨型》(DB4201/T 641—2020), 在该标准中根据 1987—2016 年共 30 a 降雨资料, 得出了不同重现期下 5~1 440 min 设计降雨量和 3、24 h 设计雨型。汤逊湖水系、东沙湖水系均处于武汉市中心城区, 按照特大城市标准, 其防涝目标为有效应对 100 a 一遇暴雨。因此, 本次采用 100 a 一遇 24 h 设计降雨量和相应雨型, 设计降雨量为 322 mm, 雨峰出现在 16 h。

闸站调度设计: 流域内各子汇水区地势条件、地区重要性、经济承载量和渍涝风险程度不同, 在排涝调度设计时, 结合实际情况, 优先保障渍水风险高的汇水区和重点防灾地区排水。汤逊湖水系优先保障汤逊湖、南湖片区排水, 东沙湖水系优先保障东湖片区排水。

模型参数率定: 包括产流参数和汇流参数。模型中产流计算采用径流系数法, 不同地面种类下的径流系数可查《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)。本次设计重现期为 100 a 一遇, 按照标准要求, 将径

流系数提高 30%~50%后作为模型参数的初始值。汇流参数包括自然河道糙率、衬砌港渠糙率、排水箱涵糙率,根据断面规则程度及衬砌情况,查 SWMM 模型手册来选取曼宁系数值。初始参数值选取后,通过模拟水位与实际监测水位的对比,进一步率定模型产汇流参数。以武汉市遭遇的 2016 年特大暴雨为例,连续 7 d 降雨总量为 582 mm,汤逊湖、东湖、北湖实测水位分别达到 21.07 m、20.50 m 和 20.24 m,模型模拟最高水位与实测洪水水位最大相差在 0.15 m 以内,从而基本验证了模型参数的可信度。分析误差来源,可能与降雨时空分布不均匀性、湖泊水位-库容曲线准确度、闸站实际调度情况的不确定性等因素有关。

### 2.3 结果与分析

基于构建的汤逊湖水系、东沙湖水系和北湖水系这 3 个河湖水系模型,输入 100 a 一遇 24 h 设计降雨过程,可输出汤逊湖、东湖和北湖这 3 个重点湖泊模拟水位过程,如图 3 所示;得到的重点湖泊退水时间如表 2 所示。

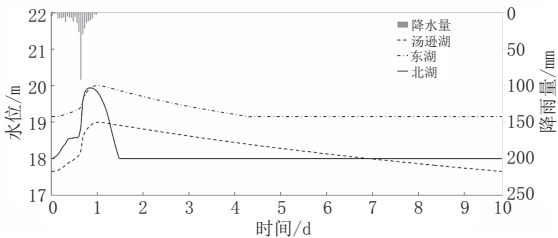


图 3 100 a 一遇 24 h 设计降雨下重点湖泊模拟水位变化曲线

表 2 100 a 一遇 24 h 设计降雨量下重点湖泊退水时间

湖泊名称	汛前控制水位 /m	最高控制水位 /m	模拟最高洪水水位 /m	模拟退水时间
北湖	18.00	19.30	19.93	11 h
东湖	19.15	20.00	20.00	3 d+6 h
汤逊湖	17.65	19.20	19.00	9 d

注:表中最高控制水位为保证湖泊周边区域不受淹的情况下,允许湖泊出现的最高水位。

由图 3 和表 2 可知:(1)遭遇 100 a 一遇 24 h 设计暴雨量下,北湖模拟最高洪水水位达到 19.93 m,已超过其最高控制水位,雨后恢复至汛前控制水位的退水时间为 11 h;东湖模拟最高洪水水位达到 20.00 m,与最高控制水位相当,雨后恢复至汛前控制水位的退水时间为 3 d+6 h;汤逊湖模拟最高洪水水位达到

19.00 m,低于最高控制水位,雨后恢复至汛前控制水位的退水时间为 9 d;(2)三大水系中,北湖退水时间最短,东湖其次,汤逊湖最长;(3)三大水系中,北湖模拟最高洪水水位超过最高控制水位,但退水时间最短,分析原因是,北湖水系中的北湖子汇水区水面率较低,仅为 2.35%,调蓄能力弱,洪水过程急涨急落。

### 3 结语

(1)湖泊众多是平原湖区城市内涝防治的有利自然条件,充分发挥湖泊调蓄调洪潜力,是武汉市内涝防治最经济有效的措施。湖泊调蓄区水面率大,湖泊退水时间较长。以武汉市最大的汤逊湖、东湖为例,采用水力模型测算,遭遇 1 d 设计降雨量时,汤逊湖、东湖模拟最高洪水水位均未超过控制最高水位,但退水时间较长,分别达到 9 d、3 d+6 h。退水期间,湖泊调蓄区若再次遭遇较强暴雨,则湖泊有满溢风险。

(2)当前,湖泊调蓄区排涝设施规模设计时,多采用 1 d 设计降雨量,设计降雨历时偏短,外排泵站规模可能偏小。建议有条件的地区,宜选取合理的长历时(大于 1 d)设计降雨来复核系统内涝风险;缺乏长历时降雨量标准时,应根据汇水区面积、系统排涝能力、水面率等情况,对湖泊退水时间提出约束性要求。武汉市在排水防涝系统规划中,提出了“湖泊出口能力应满足在 48 h 内将湖泊水位从最高设计水位下降至最低控制水位”的要求。经复核后,可适当提高湖泊调蓄区排涝泵站设计规模。

#### 参考文献:

- [1] 陈雄志.武汉市汤逊湖、南湖地区系统性内涝的成因分析[J].中国给水排水,2017,33(4):30-33,36.
- [2] 肖君健,高艳,万帆,等.武汉汤逊湖水系遭遇超长历时暴雨的内涝风险分析[J].中国给水排水,2020,36(13):89-95.
- [3] 曾台衡,谢文俊,曹国良.平原河网地区城市排涝泵站设计流量分析方法研究[J].中国农村水利水电,2021(9):44-47.
- [4] 罗文兵,王修贵,孙怀卫,等.平原湖区排涝模数计算方法的比较研究[J].中国农村水利水电,2016(12):24-28.
- [5] 张辰,章林伟,莫祖澜,等.新时代我国城镇排水防涝与流域防洪体系衔接研究[J].给水排水,2020,56(10):9-13,58.
- [6] GUO J C Y. Urban flood mitigation and stormwater management[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2017.
- [7] 肖君健,罗强,罗文兵.基于水力模型的城市排水干渠排涝流量计算方法[J].中国给水排水,2016,32(13):140-146.