

城市雨水管理

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.13.015

武汉汤逊湖水系遭遇超长历时暴雨的内涝风险分析

肖君健¹, 高艳¹, 万帆¹, 罗强², 罗文兵³

(1. 武汉市规划设计有限公司, 湖北 武汉 430014; 2. 武汉大学 水资源与水电工程科学
国家重点实验室, 湖北 武汉 430072; 3. 长江水利委员会 长江科学院, 湖北 武汉 430010)

摘要: 设计城市内涝防治设施时,根据设施的服务面积,一般采用3~24 h长历时设计降雨。武汉市地处平原湖区,雨水系统汇水面积大,遭遇超长历时(1~7 d)连续暴雨时,由于湖泊调蓄容量难以及时腾空,易发生系统性内涝灾害,3~24 h长历时降雨已无法满足排水设施的设计需求。为此,以武汉市汤逊湖水系为例,研究了武汉市超长历时暴雨的特征及其发生频率,并通过构建的汤逊湖水系水力模型,系统分析了汤逊湖水系遭遇超长历时暴雨的内涝风险。结果表明,汤逊湖水系的排涝安全应校核超长历时暴雨的内涝风险;在50年一遇设计重现期下,汤逊湖水系采用2 d设计降雨更为安全。

关键词: 超长历时暴雨; 内涝风险; 排涝标准; 水力模型; 汤逊湖水系

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)13-0089-07

Analysis on Waterlogging Risk of Tangxun Lake Water System under Super-long Duration Rainstorm in Wuhan City

XIAO Jun-jian¹, GAO Yan¹, WAN Fan¹, LUO Qiang², LUO Wen-bing³

(1. Wuhan Planning and Design Co. Ltd., Wuhan 430014, China; 2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 3. Changjiang River Scientific Research Institute, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: When designing urban waterlogging prevention and control facilities, the rainfall duration is determined according to the service area of the facility, and 3-24 h long duration rainfall is usually adopted. Wuhan is located in a plain lake area, and its rainwater system has a large catchment area. When encountering a continuous heavy rain (1-7 d), the lake which hasn't enough time to vacate the storage capacity may suffer systematic waterlogging disaster. Therefore, 3-24 h long duration rainfall is unable to meet the design needs of drainage facilities. Taking the Tangxun Lake water system as an example, the characteristics and frequency of the heavy rain (1-7 d) in Wuhan were explored and the waterlogging risk caused by long-term torrential rain was systematically analyzed through constructing hydrodynamic model of Tangxun Lake water system. The waterlogging risk during the long-term torrential rain should be checked to insure the drainage safety of the Tangxun Lake water system, and it was safer to use 2-day design rainfall to design the Tangxun Lake water system with return period of 50 years.

Key words: super-long duration rainstorm; waterlogging risk; drainage standard; hydraulic model; Tangxun Lake water system

武汉市被长江和汉江分割为汉口、汉阳和武昌三镇,素有“百湖之市”的美誉,特别是汉阳地区和武昌地区,内部湖泊密布,承担着城市雨洪调蓄功能,为典型的湖泊调蓄区^[1]。湖泊调蓄区采取的是“蓄排结合”的排涝策略,典型特点是汇水区内雨水先通过湖泊调蓄后,再由大型排涝泵站集中抽排出江。据统计,武汉市蓄排结合地区的面积占主城区面积的58.4%。科学制定蓄排结合地区大型排涝出江泵站的排涝标准及其适宜规模,对武汉市整体防涝安全具有重要意义。

目前,排水设施的设计降雨历时,一般采用短历时(3 h以内)和长历时(3~24 h)两类。《城镇内涝防治技术规范》(GB 51222—2017)规定:城市内涝防治设施设计时,降雨历时应根据设施的服务面积确定,可采用3~24 h。武汉三镇有四大水系,包括武昌地区北湖水系、东沙湖水系、汤逊湖水系和汉阳地区蔡甸东湖水系,均采用“蓄排结合”的排涝策略,受长江堤防安全因素影响,外排出江排涝泵站布局较少,排涝泵站的汇水面积较大,3~24 h的长历时设计降雨已无法适用这类排涝泵站规模的规划设计。2016年6月30日—7月6日,武汉市遭遇连续强降雨,周降雨量均突破历史极值,达到565.7~719.1 mm,汤逊湖、南湖周边地区出现严重的长时间内涝,引起了社会公众及住建部的高度关注^[2]。因此,亟待加强防范超长历时暴雨引发的系统性内涝风险。

对于蓄排结合的排水系统,湖泊调蓄容量被前期降雨填满,后期连续强降雨往往会导致湖水满溢^[3]。鉴于此,针对这类雨水系统汇水面积较大的蓄排结合地区,有必要研究1~7 d超长历时暴雨特征及发生频率,并分析遭遇超长历时暴雨的内涝风险,以期为蓄排结合地区排涝标准的选择及排涝设施适宜规模的确定提供借鉴和参考。

1 汤逊湖水系概况

汤逊湖水系是武汉市四大水系中最大的调蓄型水系,流域内大部分用地为已建成区,单位面积经济承载力较大,一旦发生渍涝,经济损失较大。汤逊湖水系位于武汉市主城区南部,总汇水面积为458 km²,由西侧的长江大堤和北、东、南三方的自然高

地围合而成,水系内包含南湖、野芷湖、汤逊湖、黄家湖、青菱湖、野湖、神山湖等7个大型调蓄湖泊和5个小型湖泊,具有较强的蓄水功能。

汤逊湖水系遭遇2016年超大暴雨灾害后,武汉市积极实施了灾后排涝系统能力提升工程。目前,汤逊湖水系已形成“四闸三泵”的外排系统格局,包括解放闸、江南闸、陈家山闸、海口闸4座出江自排闸,以及江南泵站、汤逊湖泵站、海口泵站3座出江排涝泵站,系统整体抽排能力提升至295 m³/s。

汤逊湖水系按照汇水特征及调度运行关系进行划分,有8个子汇水区。汤逊湖水系排水格局如图1所示。

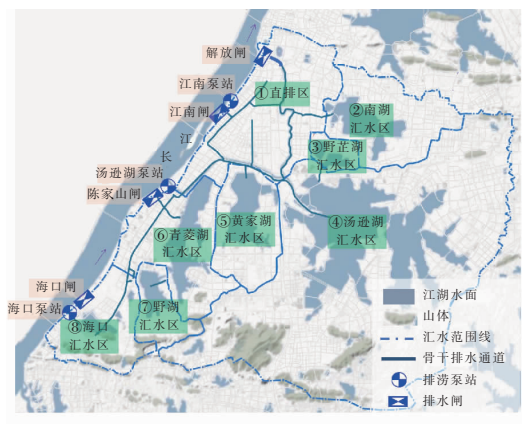


图1 汤逊湖水系排水格局示意

Fig. 1 Schematic diagram of Tangxun Lake drainage system

南湖、野芷湖、汤逊湖、黄家湖、青菱湖、野湖等6个子汇水区的径流先入湖调蓄,然后通过港渠进入直排区,汛期由江南泵站和汤逊湖泵站抽排出江;海口子系统的大部分区域降雨经港渠汇集,汛期由海口泵站抽排出江,超过出江能力的来水再进入沿线湖泊调蓄。汤逊湖水系分区汇水特征如下:直排区、南湖汇水区、野芷湖汇水区、汤逊湖汇水区、黄家湖汇水区、青菱湖汇水区、野湖汇水区、海口汇水区的汇水面积分别为57.68、40.16、6.37、240.32、30.06、39.37、15.68、28.71 km²,湖泊蓝线面积分别为0.26、7.67、1.65、47.64、8.12、8.84、3.00、2.22 km²,水面率(不含坑塘)分别为0.45%、19.11%、25.86%、19.83%、27.01%、22.46%、19.11%、7.75%。

2 超长历时暴雨特征及频率分析

2.1 典型场降雨极值分析

通过对武汉市气象站 1951 年—2017 年共 67 年降雨资料的分析,根据排涝标准的选择需要,按照 1、2、3、5、7 d 这 5 类时间步长进行超长历时暴雨强度的统计。其中,历史上最大 1 d 降雨量为 317.4 mm,为 1959 年 6 月的场降雨;历史上最大 2 d 降雨量为 457.4 mm、最大 3 d 降雨量为 466.2 mm、最大 5 d 降雨量为 471.1 mm,均为 1998 年 7 月的场降雨;历史上最大 7 d 降雨量为 582.3 mm,为 2016 年 7 月的场降雨。

2.2 超长历时暴雨重现期分析

本次超长历时暴雨主要指 1~7 d 历时降雨。目前,短历时(3 h 以内)设计重现期对应的降雨量可由当地暴雨强度公式计算得到;我国各省、市统计了 24 h 历时不同重现期下的降雨量,可从当地水文手册查询得到;对 2~7 d 设计暴雨缺乏研究,本研究根据历年降雨资料进行统计分析得到。

根据武汉市气象站 1951 年—2017 年共 67 年的日降雨资料,采用年最大值法进行排频分析,采用 P-Ⅲ型曲线拟合,得到不同重现期下不同历时的设计降雨量,可作为排涝规划设计的依据。武汉市超长历时暴雨重现期统计分析结果见表 1。

表 1 武汉市超长历时暴雨在不同重现期下的降雨量

Tab. 1 Rainfall of super-long duration rainstorm with different return periods in Wuhan City mm

项 目	5 年 一遇	10 年 一遇	20 年 一遇	30 年 一遇	50 年 一遇	100 年 一遇
1 d 暴雨	164	206	248	272	302	343
2 d 暴雨	203	261	320	354	396	454
3 d 暴雨	222	280	338	371	413	470
5 d 暴雨	244	305	366	401	444	503
7 d 暴雨	281	365	449	498	560	645

根据武汉市中心城区排涝规划,武汉市防涝目标为有效应对 50 年一遇暴雨,相应的 1、2、3、5、7 d 的设计暴雨量分别为 302、396、413、444、560 mm。目前,武汉市城区大型排涝泵站主要采用 50 年一遇 1 d 暴雨 1 d 排完设计,缺乏 2~7 d 设计暴雨校核。

2.3 典型场降雨过程特征及评价

① 2016 年典型场降雨

该场降雨发生在 2016 年 6 月 30 日—7 月 6 日,降雨总量为 582.3 mm。该场降雨历时 7 d,降雨主要集中在第 1~3 天和第 7 天,可分为 2 场降雨。首

场降雨历时 52 h,降雨量为 322 mm,间歇 21 h 后,发生第 2 场降雨,降雨量为 251 mm,历时 28 h,两场雨峰间隔 94 h。降雨过程见图 2。

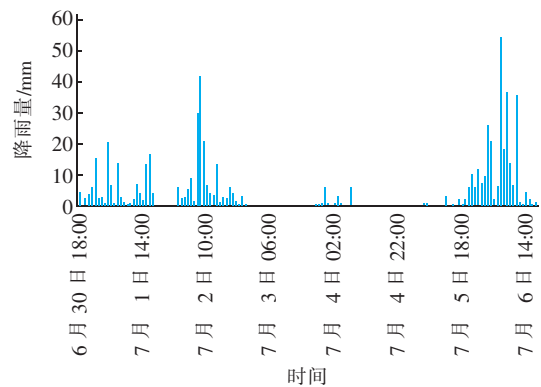


图 2 2016 年 6 月 30 日—7 月 6 日武汉站降雨过程

Fig. 2 Process of rainstorm at Wuhan weather station from

June 30 to July 6 in 2016

按照表 1 确定的设计暴雨重现期标准,该场降雨接近于武汉市 1~3 d 暴雨 20 年一遇设计标准、5 d 暴雨 30 年一遇设计标准、7 d 暴雨 50 年一遇设计标准。可以得出,2016 年典型场降雨的降雨历时越长,对应的设计暴雨重现期越高;采用 7 d 降雨历时统计时,该场降雨对应的设计标准为历史最高。

② 1998 年典型场降雨

该场降雨发生在 1998 年 7 月 20 日—25 日,降雨总量为 471.1 mm。该场降雨历时 5 d,可分为 2 场降雨,降雨主要集中在 21 日和 22 日,降雨量分别为 285.7、171.7 mm,降雨过程见图 3。

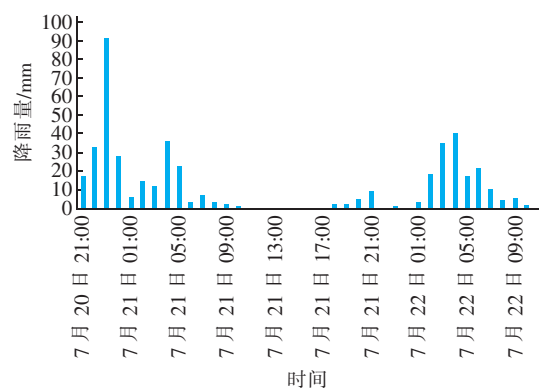


图 3 1998 年 7 月 20 日—22 日武汉站降雨过程

Fig. 3 Process of rainstorm at Wuhan weather station from

July 20 to 22 in 1998

按照表 1 确定的设计暴雨重现期标准,该场降雨接近于武汉市 1 d 暴雨 30 年一遇设计标准、2~5 d 暴雨 100 年一遇设计标准。若采用 2~5 d 降雨历

时统计,该场降雨对应的设计标准为历史最高。

③ 1959 年典型场降雨

该场降雨发生在 1959 年 6 月 8 日—9 日,降雨总量为 332.2 mm。该场降雨历时 2 d,第 1 天和第 2 天的降雨量分别为 317.4、14.8 mm,降雨主要集中在第 1 天。按照表 1 确定的设计暴雨重现期标准,该场降雨超过了 1 d 暴雨 50 年一遇设计标准。若采用 1 d 降雨历时统计,该场降雨对应的设计标准为历史最高。

通过对武汉站典型场降雨分析发现:造成重大历史灾害的降雨主要集中在 24 h 内,如 1959 年典型场降雨为 332.2 mm,全部降雨在 16 h 内发生;1962 年典型场降雨为 348.7 mm,其中 288.4 mm (约 83%) 降雨在 24 h 内发生;而对于连续的两场降雨,造成重大历史灾害的降雨中,1998 年典型场降雨间隔时间为 16 h,2016 年典型场降雨间隔时间为 21 h。

3 汤逊湖水系模型的构建

3.1 河湖水系模型的构建

汤逊湖水系中,各湖泊控制水位不尽相同,河湖之间存在水量交换;泵站联合运行,且起排水位不一致,水力情况较为复杂。本研究采用 InfoWorks ICM 软件构建了汤逊湖水系模型,主要包括地表产汇流模拟、河道水动力模拟^[4]、湖泊调蓄以及闸站调度过程模拟^[5]。

河网文件:包括河道和湖泊。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。河道断面间距控制在 200~500 m,规则断面间距可适当放宽,河道交叉口及拐弯处断面则局部加密。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。

初始条件:按照“空腹迎汛”要求,汛期湖泊提前预排,初始水位为汛前控制水位。

边界条件:汤逊湖水系整体上为闭合流域,流域内包含上边界和下边界。上边界为入湖山洪汇水区 and 城市管道汇水区的流量边界,下边界为出江排涝泵站。

闸站调度:排涝泵站根据前池水位情况分组逐步开启,当泵站前池水位达到起排水位时,泵站开始抽排;当泵站前池水位达到设计水位时,泵站全部开启。在湖泊入河处和河道交汇处分别设置节制闸,

节制闸的净宽、闸底高程、闸高等参数则根据实际情况进行设置,开启时间则根据湖泊水位和各港渠水位设置。

3.2 基础数据与模拟参数

① 设计暴雨及雨型

设计暴雨采取不同的情景设计,包括不同重现期下不同历时的设计暴雨,设计暴雨总量可从表 1 查得。雨型是指暴雨时间分配过程。目前,武汉市已编制了 1 d 暴雨雨型,但尚无 2~7 d 雨型。2014 年,住房和城乡建设部、中国气象局联合印发了《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》,各地开展了暴雨公式修编和设计雨型研究,主要为短历时(30~180 min)雨型,部分城市补充编制了 24 h 雨型,但均未开展 2~7 d 雨型研究。20 世纪 90 年代,我国各省水利部门在水文站历史降雨统计资料的基础上,编制了《暴雨径流查算图表》,可以查得 1 d 设计雨型^[6],但没有 2~7 d 设计雨型。由于 2~7 d 设计暴雨缺乏雨型依据,本研究中 2~7 d 暴雨雨型则采用历史典型场降雨过程同倍比放大法得到,其中 2 d 设计雨型参照 1998 年的典型场降雨过程;3 d 设计雨型参照 1962 年的典型场降雨过程;5 d 和 7 d 设计雨型则参照 2016 年的典型场降雨过程。

② 暴雨径流模拟参数

暴雨径流模拟参数包括产流参数和汇流参数。地表产流计算采用综合径流系数法,综合径流系数主要与下垫面的透水性、地面坡度、地表滞蓄能力、降雨时长及强度等有关。本研究中短历时的综合径流系数按照汇水范围内各类用地百分比及相应径流系数加权计算得到;各子汇水区 50 年一遇 1~7 d 设计暴雨的综合径流系数则在短历时综合径流系数的基础上调 20%~30%;同时,参照武汉市北湖水系等闭合流域的综合径流系数取值经验,并根据城镇化水平的不同^[7],汤逊湖水系各子汇水区 50 年一遇 1~7 d 设计暴雨的综合径流系数,陆地的取值为 0.86~0.94,水域取值为 1.0。河网水动力参数主要包括自然河道糙率、衬砌河道糙率及雨水骨干箱涵糙率,查 SWMM 模型手册分别取值为 0.03、0.02 和 0.014。模拟结果采用实际监测数据进行校正,进一步率定模型的产汇流参数。以遭遇 2016 年 6 月 30 日—7 月 6 日实测降雨为例,南湖湖泊实测水位与模拟水位的对比分析见图 4。

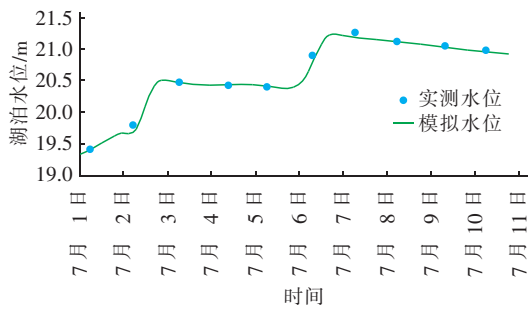


图4 2016年7月暴雨期间南湖实测水位和模拟水位的对比

Fig. 4 Comparison between observed and simulated water levels of Nan Lake during rainstorm in July 2016

南湖模拟洪水水位曲线与实测水位比较吻合,水位最大相差约0.15 m。误差可能来自以下几个方面:降雨存在时空分布的不均匀性,汤逊湖水系汇水面积较大,模型中单个雨量站代表整体雨水系统降雨量时存在一定偏差,根据武汉市水务局4个雨量站的监测结果^[2],汤逊湖水系范围内降雨自北向南递增,为565.7~719.1 mm;泵站实际抽排能力与理论抽排能力存在一定差别,外江水位较高导致泵站实际抽排能力下降,经测算,汤逊湖泵站实际抽排能力约为设计抽排能力的80%;沿线铁路、桥梁、公路等排水卡口导致渠道实际过流能力下降、闸站实际调度情况的不确定性,以及湖泊水位库容曲线的准确度等都会对结果产生一定影响。

4 内涝风险分析

4.1 水系模型工况情景分析

通过构建的汤逊湖水系水动力模型,可实现泵站联合运行分析、湖泊削峰计算分析和渠道双向过流情景分析。以遭遇2016年6月30日—7月6日典型场降雨为例,汤逊湖水系雨峰(图2中7月6日06:00)与雨后(图2中7月7日06:00)河道过流情况对比分析如图5所示。可以看出,汤逊湖水系遭遇雨峰时,巡司河北段—夹套河—江南泵站的流量相对较大,主要是巡司河北段(南湖连通渠以北)沿线为直排区,峰现时间早、流量大,被江南泵站优先排除;巡司河(南湖连通渠—东港段)为自北向南流,表明巡司河北段直排区的来水一部分进入夹套河由江南泵站排除,一部分进入巡司河,经青菱河由汤逊湖泵站排除;黄家湖的排水通道新港、汤逊湖的排水通道东港流量均为负值,主要是在雨峰时巡司河的水位相比两个湖泊的水位较高,巡司河直排区的洪水进入黄家湖、汤逊湖削峰,减轻了直排区的排

涝压力。

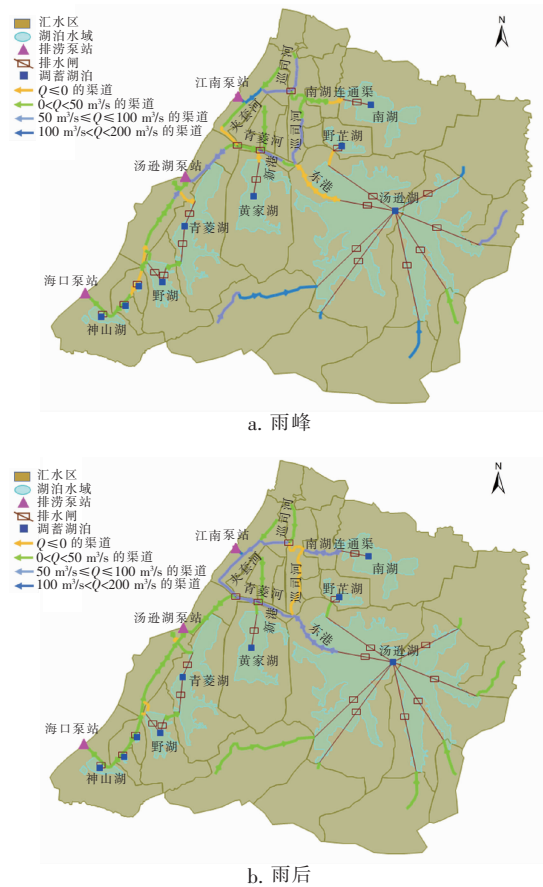


图5 汤逊湖水系雨峰与雨后的河道过流情况
Fig. 5 River discharge of Tangxun Lake during rainfall peak and after rainfall

在雨后,巡司河(南湖连通渠—东港段)流量为负值,水流方向为自南向北,南湖的排水通道南湖连通渠过流量、汤逊湖的排水通道新港过流量相对较大,说明雨后江南泵站主要在排除南湖及汤逊湖的库容;汤逊湖主要通过东港—青菱河/巡司河—夹套河由江南泵站和汤逊湖泵站排除,南湖主要经南湖连通渠—夹套河由江南泵站排除。

4.2 现状排涝能力风险分析

汤逊湖水系为典型的湖泊调蓄区,应重点防范因湖泊水位过高导致的系统性内涝灾害,因此,本研究中主要的内涝风险评价指标为湖泊洪水位。

① 典型历史降雨下的风险分析

根据构建的汤逊湖水系水动力模型,模拟汤逊湖水系遭遇50年一遇1 d设计暴雨、1998年典型降雨及2016年典型降雨的湖泊洪水位变化情况,结果如图6所示。

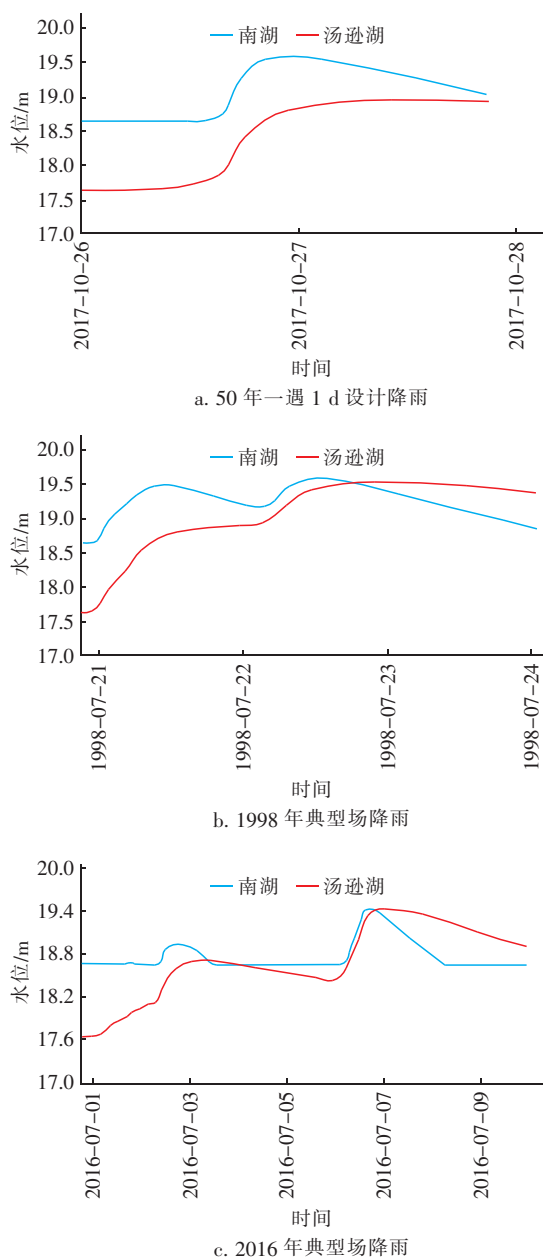


图6 典型降雨条件下南湖和汤逊湖模拟水位变化曲线
Fig. 6 Simulated water level curves of Nan Lake and Tangxun Lake during typical rainstorm

南湖规划汛前控制水位为 18.65 m, 规划最高控制水位为 19.65 m, 由图 6 可以看出, 在现状排涝能力下, 遭遇 50 年一遇设计暴雨、1998 年典型降雨及 2016 年典型降雨时, 南湖洪水水位均在 19.65 m 以下, 南湖排涝安全有保证。

汤逊湖规划汛前控制水位为 17.65 m, 规划最高控制水位为 18.65 m, 由图 6 可以看出, 在现状排涝能力下, 遭遇 50 年一遇设计暴雨时, 汤逊湖最高洪水水位达到 18.95 m, 超过规划最高控制水位 0.3

m; 遭遇 1998 年典型降雨时, 汤逊湖最高洪水水位达到 19.55 m, 超过规划最高控制水位 0.9 m; 遭遇 2016 年典型降雨时, 汤逊湖最高洪水水位达到 19.45 m, 超过规划最高控制水位 0.8 m。

综上可以得出: 汤逊湖水系在现状排涝能力下, 南湖排涝安全有保证, 而汤逊湖有一定的渍涝风险, 特别是遭遇超长历时暴雨时, 汤逊湖水位超过了规划控制最高洪水水位。分析原因, 汤逊湖相对于南湖距离江南泵站较远, 约 10 km, 且汤逊湖规划控制水位较低, 水力坡度小, 外排能力相对较弱, 当下一场雨峰来临时, 湖泊还未及时腾空至汛期控制水位 [见图 6(b) 和 (c)], 从而造成沿湖地区渍涝。

② 同一设计标准下不同历时暴雨的风险分析

根据构建的汤逊湖水系水力模型, 模拟汤逊湖遭遇 50 年一遇不同降雨历时设计暴雨时湖泊的最高洪水水位情况。结果显示, 当设计暴雨历时为 1、2、3、5、7 d 时, 汤逊湖最高洪水水位分别为 18.95、19.27、19.22、19.10、19.22 m。可以看出, 汤逊湖在 50 年一遇设计标准下, 遭遇 2 d 设计暴雨时, 湖泊渍涝风险高, 分析原因: 2 d 设计暴雨总量较大, 为 396 mm, 比 1 d 设计暴雨量 (302 mm) 增加了 94 mm; 2 d 设计雨型参照了 1998 年的典型场降雨过程, 雨峰间隔时间短, 对湖泊调蓄区危害大。因此, 汤逊湖水系如果采用 2 d 设计暴雨来校核排水设施规模则更为安全。

5 结论

针对蓄排结合的排水系统, 湖泊调蓄容量被前期降雨填满, 若系统抽排能力不足, 后期连续强降雨往往会导致湖水满溢, 引发系统性的内涝灾害。为了研究汤逊湖水系遭遇超长历时暴雨的内涝风险, 分析了武汉站近 67 年的日降雨及典型场降雨过程, 构建了河-湖-闸-泵水力模型, 实现了泵站联合运行分析、湖泊削峰计算分析和渠道双向过流情景分析。

在遭遇 50 年一遇 1 d 设计暴雨情况下, 通过提前预排湖泊水位至汛前控制水位, 各湖泊水位基本能控制在规划最高洪水水位以下, 沿湖地区不会发生内涝; 在遭遇 50 年一遇 2~7 d 设计暴雨情况下, 南湖水位能够控制在规划最高洪水水位以下, 而汤逊湖水位均突破规划最高洪水水位, 存在较大内涝风险。该结论对于优化汤逊湖水系水利调度及排涝设施规模设计具有重要意义。

参考文献:

- [1] 方正,王渲. 对武汉内涝及湖泊调蓄功能的探讨[J]. 中国农村水利水电,2017(6):101-104,110.
Fang Zheng, Wang Xuan. A probe into the waterlogging and flood storage potential of lakes in Wuhan City[J]. China Rural Water and Hydropower, 2017(6):101-104,110(in Chinese).
- [2] 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):7-10,13.
Chen Xiongzi. Analysis on the causes of systematic waterlogging of Tangxun Lake and Nan Lake region in Wuhan City[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(4):7-10,13(in Chinese).
- [3] 康丹,康宽. 武汉临湖建成区渍水成因及对策:以南湖地区为例[J]. 中国给水排水,2018,34(3):135-138.
Kang Dan, Kang Kuan. Causes and countermeasures of waterlogging in urban built-up lake area of Wuhan: a case study of Nanhu area[J]. China Water & Wastewater, 2018,34(3):135-138(in Chinese).
- [4] Ahmed F. Numerical modeling of the Rideau Valley Watershed[J]. Natural Hazards,2010,55:63-84.
- [5] Yazdi J, Salehi Neyshabouri S A A. A simulation-based optimization model for flood management on a watershed scale[J]. Water Resour Manage,2012,26:4569-4586.
- [6] 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.
Xiao Junjian, Luo Qiang, Luo Wenbing. Calculation of drainage flow rate of urban drainage channels based on hydraulic model[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(13):140-146(in Chinese).
- [7] 肖君健,罗强,王修贵,等. 感潮河网地区城镇化对排涝模数的影响分析[J]. 农业工程学报,2014,30(13):247-255.
Xiao Junjian, Luo Qiang, Wang Xiugui, et al. Impact of urbanization on drainage modulus in tidal river networks[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014,30(13):247-255(in Chinese).



作者简介:肖君健(1989-),男,湖北宜昌人,硕士,工程师,主要从事雨洪资源管理、城市水环境改善以及城市市政基础设施方面的规划研究工作。

E-mail:junjian.xiao@163.com

收稿日期:2019-12-06

节约每一滴水,

回收每一滴水,

让每一滴水多循环一次