

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.11.021

武汉市蔡甸东湖水系调度方案优化研究

陈翠珍¹, 杨森², 李敏¹, 章卫军²

(1. 武汉市水务科学研究院, 湖北 武汉 430014; 2. 宜水环境科技<上海>有限公司, 上海 200040)

摘要: 蔡甸东湖水系是由调蓄湖泊、排水港渠、泵站和闸门等众多工程有机结合的复杂系统。现状水系内部联合调度较弱,且区域排水调度与水环境保护的矛盾较为突出。为此,结合区域排水的实际需求,在充分利用湖泊调蓄能力的基础上,制定了合理的调度方案;并利用水力模型,进行了典型降雨期间调度前后效果的对比分析。研究表明,推荐的优化调度方案可以有效降低需要优先保障地区的排涝压力与风险,充分发挥后官湖的调蓄能力,使后官湖调蓄最高水位上升0.52 m,持续时间增加了769.3 h;同时也尽可能降低了由于排涝导致的湖泊水质污染的影响。

关键词: 蔡甸东湖水系; 水力模型; 排水能力评估; 联合调度

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)11-0121-05

Optimization of Caidian East Lake Water System Dispatching Scheme in Wuhan

CHEN Cui-zhen¹, YANG Sen², LI Min¹, ZHANG Wei-jun²

(1. Wuhan Water Research Institute, Wuhan 430014, China; 2. Ewaters Environmental Science & Technology <Shanghai> Co. Ltd., Shanghai 200040, China)

Abstract: Caidian East Lake water system is a complex system composed of storing lakes, drainage channels, pumping stations and gates. At present, there is lack of combined dispatching in the water system, and the contradiction between regional drainage dispatching and water environmental protection is prominent. Therefore, a reasonable dispatching scheme was proposed to make full use of the lake regulation and storage capacity according to the actual demand of regional drainage, and the dispatching performances before and after typical rainfall were compared and analyzed by using the hydraulic model. The recommended optimized dispatching scheme effectively reduced the drainage pressure and risk in the areas requiring priority protection, gave full play to the regulation and storage capacity of Houguan Lake, and increased the maximum water level of Houguan Lake by 0.52 m and the duration by 769.3 h. In addition, the influence of water pollution caused by drainage was also reduced as far as possible.

Key words: Caidian East Lake water system; hydraulic model; drainage capacity assessment; combined dispatching

1 概述

蔡甸东湖水系位于武汉市西南区域,长江以西、汉江以南,总汇水面积约为348.17 km²,是由调蓄湖

泊、排水港渠、泵站和闸门等众多工程有机结合的复杂系统,如图1所示。区域内墨水湖、龙阳湖、三角湖、南太子湖、北太子湖及后官湖六个湖泊通过连通

港、四新总港、朱家老港、打鼓渡河等港渠相互连通,在龙阳湖、墨水湖、后官湖、三角湖和南太子湖的出口分别有闸门控制。整个水系北面在琴断口小河建有琴断口闸与汉江连接,南面通过东风闸和东湖泵站、四新泵站与长江连接,西面则与后官湖连接。在非汛期,雨水由琴断口闸和东风闸自排入江;在汛期,由于蔡甸东湖水系出口水位低于长江和汉江水位,雨水入湖调蓄,并由东湖泵站、四新泵站抽排入江。

水系内各湖泊的汇水面积、最高控制水位、调蓄库容和现状水质情况如表 1 所示。区域现状后官湖、三角湖、墨水湖和南太子湖都拥有较强的调蓄能力,而龙阳湖和北太子湖(含四新地区)的可调蓄库容折算雨量均不足 100 mm,其中北太子湖仅为 31.2 mm。同时,现状水系内各湖泊水质差异较大,北太子湖和后官湖水水质较好,而三角湖、南太子湖、龙阳湖水水质较差。因此,如何在保证区域排涝安全

的前提下,通过科学调度,充分发挥现有排水设施功能,尽可能保护湖泊水环境,是区域亟待解决的问题。

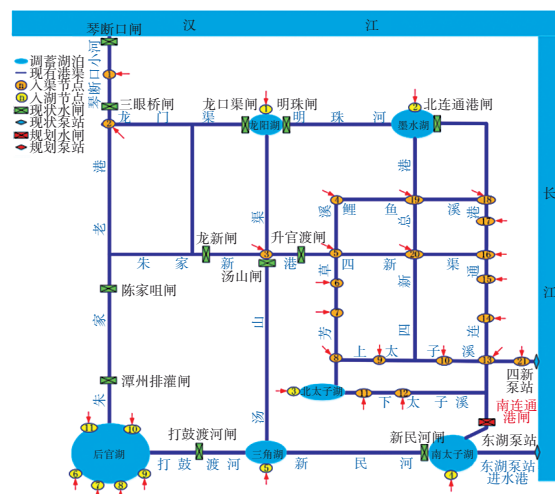


图 1 蔡甸东湖水系概化示意

Fig.1 General map of Caidian East Lake water system

表 1 水系各湖泊控制水位及库容能力

Tab.1 Controlling water level and storage capacity of lakes in the water system

项 目	汇水面积/km ²	汛前控制水位/m	最高控制水位/m	可调蓄库容/10 ⁴ m ³	现状水质
后官湖	221.54	18.65	19.65	4 838.65	Ⅳ类
三角湖	7.94	18.65	19.15	311.30	劣Ⅴ类
龙阳湖	14.72	19.15	20.15	142.86	劣Ⅴ类
墨水湖	19.03	18.65	19.65	144.82	Ⅴ类
北太子湖	23.45	18.65	19.30	73.16	Ⅳ类
南太子湖	17.71	18.15	18.65	206.88	劣Ⅴ类

2 研究方法

2.1 数据收集与模型构建

在收集区域调蓄湖泊资料、雨水管网资料、主要闸站设计资料、日常调度资料、地形地貌资料的基础上,利用InfoWorks ICM水力模型软件构建了整个水系的水力模型,如图 2 所示。

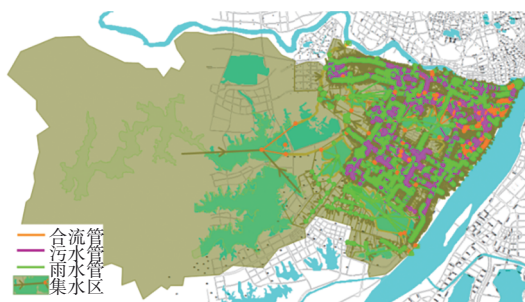


图 2 蔡甸东湖水系水力模型

Fig.2 Hydraulic model of Caidian East Lake water system

2.2 模型校核与验证

为保证模型模拟的精度,本方案选取 2016 年 6 月 30 日 12:00—7 月 14 日 12:00 大暴雨期间水系内实测资料及设施运行工况数据进行模型校核。该场降雨 7 d 最大降雨量为 582.5 mm(数据源于武汉国家气象站),为武汉市有气象记录以来周降雨量最高值,超过了 1998 年(1998 年周最大降雨量为 538.5 mm)。

校核后,对各监测站点的模拟水位和监测水位采用 Nash-Sutcliffe 系数(E_{ns})进行评价,结果如表 2 所示。 E_{ns} 越接近于 1,说明模拟值与实测值的偏离程度越小,模拟效果越好。 $E_{ns} < 0$,表示模拟可信度低; $0.5 < E_{ns} < 0.65$,表示模拟效果较好; $E_{ns} \geq 0.65$,表示模拟结果非常好^[1]。

根据检验结果分析,校核后模型模拟值与实测值的整体吻合度较好,模型的模拟结果相比原模型

有了较大提升。后官湖作为最大调蓄水体位于蔡甸流域的最上游,受到其他外界因素影响较小,模拟结果与实测数据的拟合度较好,最高水位模拟误差控制在10 cm以内, E_{ns} 超过0.9,整体水位模拟过程吻合度最好。其他大部分湖泊节点鉴于部分水工构筑物、断面及泵闸调度资料质量的限制,最高水位误差在10~25 cm之间, E_{ns} 在0.5以上,整体水位模拟过程基本与实测值吻合;北太子湖的模拟吻合度略低于其他节点,主要是由于其汇水范围内的四新地区处于快速开发建设阶段,导致下垫面、水情、工情等发生动态变化。

表2 各主要湖泊节点的 E_{ns} 值Tab.2 E_{ns} values of main lake nodes

项 目	校核前模型	一维校核后模型	二维校核后模型
后官湖	-0.31	0.93	0.91
三角湖	0.37	0.71	0.61
北太子湖	-5.95	0.24	0.31
龙阳湖	-5.51	0.43	0.59
万家湖	-14.24	0.81	0.79
月湖	-1.07	0.52	0.52
莲花湖	-13.35	0.88	0.88

3 水系调度方案及效果评估

3.1 调度方案原则

根据区域现状建设强度,蔡甸东湖水系内的调度以优先保障墨水湖及北太子湖(含四新地区)区域排涝安全,同时兼顾湖泊水质保障为目标,制定水系排涝优化调度基本原则。

3.1.1 雨前调度阶段

① 非汛期,建议结合雨前预报,至少提前7 d对各主要调蓄湖泊进行水位预降,如外江水位低于内河水位,可考虑水闸自排。

② 汛期,确保各湖泊水位保持在汛前控制水位(即预降水位),当外江持续高水位时,调度主要依靠外排泵站,暂不考虑水闸排水。

3.1.2 雨中调度阶段

① 尽可能以控制各主要湖泊最高水位为目标进行优化调度,在最高水位控制不住的情况下,尽可能缩短其高水位持续时间。

② 优先保证城市建设强度较大的墨水湖水系及四新地区的排涝安全。

③ 后官湖作为流域内最大的调蓄水体,在汛期暴雨期间以调蓄为主,可在不增加下游水系排涝

压力的情况下进行排水,以降低湖泊水位。

④ 当内涝风险水平较低时,可考虑在保障湖泊水质的基础上,有控制地进行排涝调度,例如:不允许龙阳湖水进入后官湖调蓄,龙阳湖区域汇水主要经由三角湖、南太子湖后从东湖泵站排出。

⑤ 在内涝风险水平较高的情况下,则应将湖泊最高水位及其持续时间作为优先控制目标进行调度,例如:允许龙阳湖水进入后官湖调蓄,三角湖与南太子湖按统一的水位进行排涝调度。

3.1.3 雨后调度阶段

① 非汛期,确保雨后各湖泊水位降至常水位;汛期,尽快腾空库容,确保各湖泊在雨后尽快降至汛前控制水位以迎接下一场降雨。

② 加强水系中连通港渠各节点的维护,对各关键节点进行雨后疏浚。

③ 保障设备维护,对泵站、水闸等设备进行雨后检查。

3.2 排涝线路安排

根据以上调度原则,制定各湖泊汇水区排涝线路如下:

墨水湖:该区域的涝水主要通过总港闸与北连通港闸,经四新地区后由四新泵站排入长江。

北太子湖及四新地区:该区域承接上游墨水湖区域涝水,涝水经由火焰沟从四新泵站排出。

龙阳湖:涝水主要经汤山渠由三角湖、南太子湖排出。由于其现状水质较差,故涝水不能直接排入东侧的墨水湖。当内涝风险较低时,其涝水不允许进入后官湖调蓄;当内涝风险较高时,可允许其进入后官湖调蓄,以缓解排涝压力。

后官湖:该区域在汛期暴雨期间的排涝功能定位为以蓄为主,蓄以待排,在不影响下游排涝安全的情况下进行有控制地将涝水外排,排涝路线主要经由三角湖、南太子湖,最后通过东风泵站排入长江。在北部琴断口小河地区水位较低时,少部分调蓄雨水也可经由什湖泵站排入汉江。

三角湖:该区域在整个流域排涝过程中承担着调蓄中枢的作用,除了自身的涝水外,还要接纳来自上游后官湖(以及远期龙阳湖)的涝水,通过南太子湖最终由东湖泵站排入长江。

南太子湖:该区域在流域排涝过程中主要承接来自上游后官湖、龙阳湖和三角湖的涝水,在四新地区水位较高时,也可帮其分担少部分的排涝压

力,通过东湖泵站将涝水排入长江。

陈家咀闸的关闸条件:龙阳湖水位 $<19.15\text{ m}$;明珠闸和升官渡闸:始终关闭;汤山闸:始终开启;总港闸和北连通港闸的关闸条件:墨水湖水位 $<18.65\text{ m}$;打鼓渡河闸的关闸条件:后官湖水位 $<$

18.65 m 或三角湖水位 $>19.15\text{ m}$;新民河闸的关闸条件:南太子湖水水位 $>18.65\text{ m}$;南连通港闸的关闸条件:北太子湖水水位 $<18.65\text{ m}$ 且南太子湖水水位 $<$

水系调度流程逻辑图如图3所示。

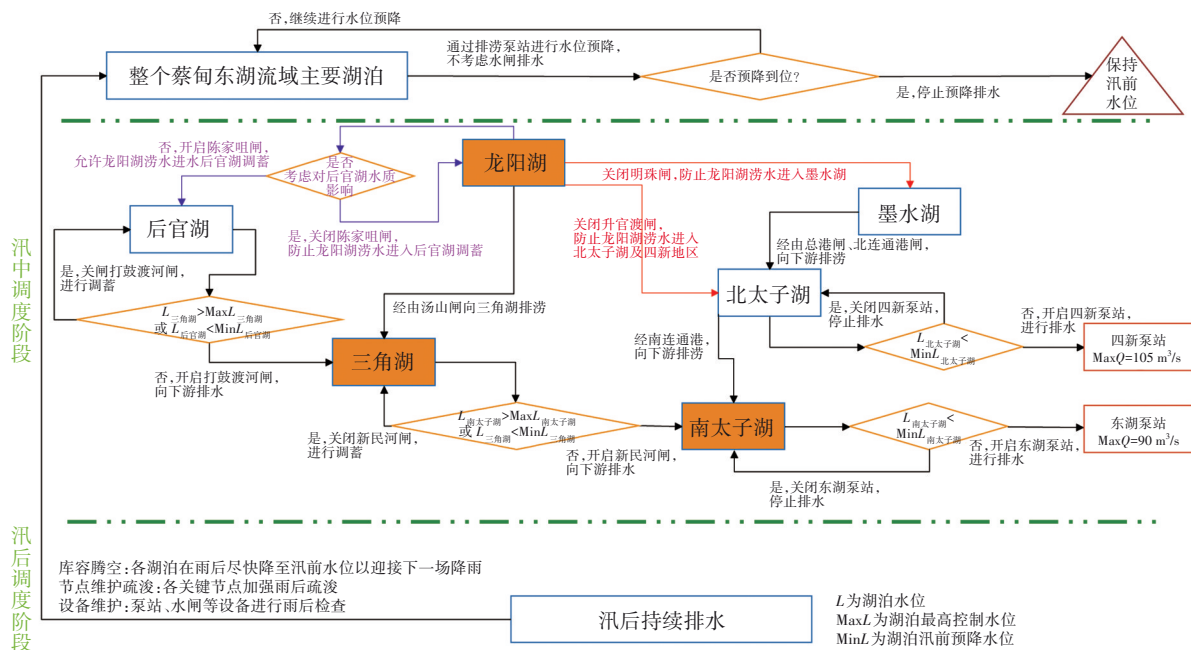


图3 水系调度流程逻辑图

Fig.3 Logic diagram of water system dispatching

3.3 典型降雨调度效果

选取2016年6月30日12:00—7月14日12:00大暴雨期间的实测数据作为典型降雨数据,进行优化调度模拟,同时以没有优化调度的模拟结果作为参照,具体分析优化调度对流域排涝的影响及效果。模拟时间:2016年6月30日12:00—7月28日12:00(共计4周),初始水位:汛前控制水位。调度方案一(无优化调度):暴雨期间,各内部水闸全部开启,能排则排;调度方案二(有优化调度):根据优化调度方案进行调度操作,汤山闸和升官渡闸按照

远期工况进行调度控制。根据调度模拟结果,对不同方案各主要湖泊的最高水位、高水位持续时间和水质影响情况进行统计,结果见表3。可以看出,通过优化调度后,在最高水位控制方面,墨水湖、北太子湖、三角湖和南太子湖的最高水位均有不同程度的下降,其中南太子湖的最高水位下降幅度最大,达到 0.81 m ,北太子湖和三角湖分别下降了 0.14 m 和 0.17 m ,墨水湖则略微下降了 0.06 m ;龙阳湖和后官湖则分别上升了 0.08 m 和 0.52 m 。龙阳湖、后官湖、南太子湖的模拟水位过程如图4所示。

表3 典型降雨调度模拟结果

Tab.3 Scheduling simulation results during typical rainfall

项 目	最高水位/m			高水位持续时间/h			水质影响	
	方案一	方案二	水位变化	方案一	方案二	时间变化	方案一	方案二
墨水湖	20.24	20.18	-0.06	46.1	36.5	-9.7	有影响	无影响
北太子湖	19.82	19.67	-0.14	15.3	7.9	-7.4	有影响	无影响
龙阳湖	20.73	20.80	0.08	34.1	19.8	-14.4	无影响	无影响
后官湖	20.46	20.98	0.52	182.8	952.1	769.3	有影响	有影响
三角湖	20.26	20.09	-0.17	304.4	100.4	-204.0	无影响	无影响
南太子湖	19.95	19.13	-0.81	497.8	29.1	-468.7	无影响	无影响

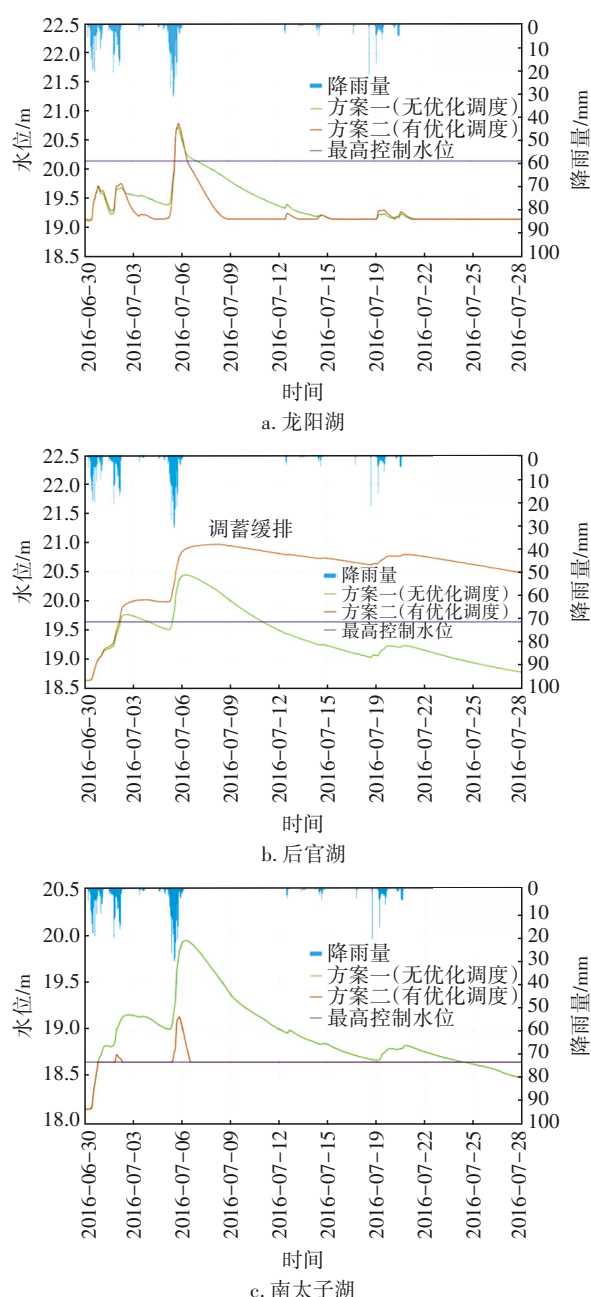


图4 典型年降雨调度的模拟水位过程

Fig.4 Simulated water level process in typical annual rainfall regulation

在高水位持续时间方面,除了后官湖之外的其他湖泊都有不同程度的减少,其中南太子湖的高水位持续时间减少了468.7 h,三角湖减少了204.0 h,墨水湖、北太子湖和龙阳湖的高水位持续时间也都略有减少但幅度不大,分别为9.7、7.4和14.4 h;后官湖的高水位持续时间增加了769.3 h。

在水质影响方面,由于防止了龙阳湖水进入到

墨水湖及北太子湖(含四新地区),故相较无优化调度的方案可以更好地控制排涝过程对湖泊水质的影响。

4 结论

① 通过调度方案对各个调蓄湖泊的水位控制效果进行分析,发现湖泊调蓄能力较大的南太子湖和三角湖的最高水位和高水位持续时间降低的效果最为明显,而调蓄能力较弱的墨水湖和北太子湖则效果略弱,反映出湖泊调蓄能力在应对极端暴雨时增加抗风险能力和调度空间的重要作用。

② 龙阳湖的最高水位略有上升,主要是因为关闭了其往墨水湖、北太子湖(含四新地区)方向排水的路线,尽管由后官湖调蓄了部分汇水,但龙阳湖的排涝压力在优化调度方案下仍有所增加,希望通过改善自身水质同时增加北部汛期抽排出汉江的排涝通道予以解决。

③ 后官湖作为最大的调蓄水体,其调蓄能力占到了全流域的85%,通过优化调度可以充分发挥其庞大的调蓄能力,但也一定程度上增加了该区域的内涝压力与风险。虽然其相对其他地区的城市化建设程度较低,但仍需对可能的内涝高风险区域进行充足的准备与应对,以确保安全。

④ 本研究推荐的优化调度方案可以有效降低需要优先保障地区的排涝压力与风险,充分发挥后官湖的调蓄能力,同时也考虑到了湖泊水质保护的要求,尽可能降低了由于排涝导致的湖泊水质污染的影响,兼具了确保排涝安全和水质保护改善的综合效益。

参考文献:

- [1] MORIASI D N, ARNOLD J G, VAN LIEW M W, *et al.* Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations [J]. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007, 50(3): 885-900.

作者简介:陈翠珍(1984—),女,湖北武汉人,硕士,高级工程师,主要从事城市排水防涝、水环境治理等规划、设计、科研工作。

E-mail:329831200@qq.com

收稿日期:2021-03-01

修回日期:2021-05-24

(编辑:刘贵春)