DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2025.20250368

闸泵调度对洛塘河圩区河道水位和流量的影响

孟湛博[1],陶 园[1],管孝艳[1],虞斐杰[2],刘笑吟[3]

(1. 中国水利水电科学研究院,北京 100038;2. 海宁市水利建设管理有限责任公司,浙江 嘉兴 314499;
3. 河海大学农业科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要: 合理进行闸泵调度对于提升圩区水体流动性具有重要指导意义。以洛塘河圩区为研究区域,构建了平原河网MIKE水动力模型,模拟和分析了圩区建设前后6种调度方案下的河道水位和流量情况。结果表明,与圩区建设前相比,防洪除涝调度方案可使圩区最高水位降低约0.6 m,可有效提升圩区防洪除涝能力;圩区建设后,通过合理的闸泵调度使65%的模拟河道实现流量提升,其中生态引水调度贡献了39%的河道流量改善,效果显著。丰水季,圩区管理可采用防洪除涝调度,而在枯水季时,可采用生态引水调度,研究成果可为洛塘河圩区的水动力和水环境质量提升提供参考依据。

关键词: 平原河网;水位;流量;MIKE;闸泵调度

中图分类号: [TV124];P332 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2025)07-0036-05

1 概况

洛塘河圩区位于浙江省海宁市,是典型的平原河网地区,为提升区域防洪除涝能力,2020年洛塘河圩区开展建设,但是圩区修建后局部区域水质出现不稳定现象[1]。洛塘河圩区范围见图1,由于研究期内鹊湖、都家楼港形成的南北通道以东区域尚未建设完善,因此不考虑圩区东侧徐家港以东汇入长山河和洛溪河的水系,研究区总面积约62.3 km^2,地势西北高、东南低,东西坡降约为0.02‰~0.05‰,南北坡降约为0.03‰~0.08‰。研究区范围内设有硖石(内)、硖石(洛)、庆云下河、麻泾港4座水文站,已建水闸20座、闸站6座(表1),共26座控制建筑物。提升圩区河网的水动力条件是圩区管理的关键[2]。通过不同水工建筑调度加快平原河网水体流动速度,提升平原河网水体流量可有效解决平原河网圩区水动力不足的问题[3],通过构建水动力模型模拟分析河网水动力过程,分析了不同调度方案对河网水动力条件的影响。XU C D等[4]利用MIKE21模拟了不同调度方案下7天内平原区排水量、流量及水环境质量的变化,发现这些调度措施可有效改善河道水动力条件;梁云等[5]利用MIKE21建立水动力模型,模拟了洪泽湖水位变化,最终完成了率定验证;LIU J Y等[6]建立了青松地区河网

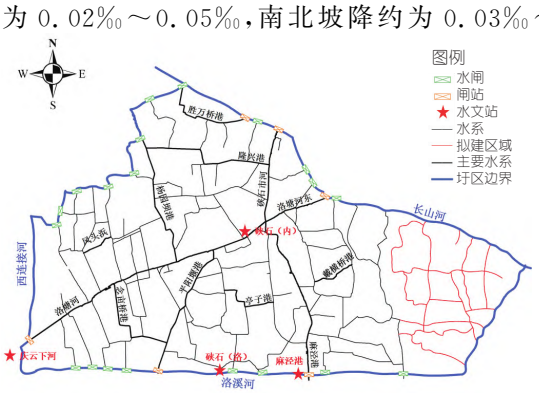

图1 洛塘河圩区范围示意图

Fig. 1 Schematic map of the area of the Luotang River polder area

表1 闸站基本情况

Tab. 1 Basic situation of sluice station

名称	水闸/(孔数×净宽)	水泵/台	排涝流量	引水流量	功能
硖石市河闸站	2×8	3	15	15	防洪除涝和生态引水
洛塘河东闸站	2×8	3	60		防洪除涝
平阳堰港闸站	2×8	3	30		防洪除涝
麻泾港闸站	2×6	4	40		防洪除涝
胜万桥港东闸站	1×6	2	10	10	防洪除涝和生态引水
洛塘河西闸站	3×6	3	15	15	防洪除涝和生态引水

注:排涝流量、引水流量单位均为m^3/s。

收稿日期: 2025-03-01,**修回日期:** 2025-03-30

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1508300);北京市科协青年人才托举工程项目(BYESS2023198)

作者简介: 孟湛博(2002-),男,硕士研究生,研究方向为农田排水与环境,E-mail:19503875744@163.com

通讯作者: 管孝艳(1979-),男,博士、正高级工程师,研究方向为农业水土资源与环境,E-mail:guanxy@iwhr.com

中国知网 https://www.cnki.net

水动力模型,评价了该地区的水资源调控效果,提出并分析了两种优化方案,为类似河网地区的水动力强化提供了有效参考。本文以洛塘河圩区作为研究区域,建立 MIKE 一维水动力—降雨径流耦合模型,模拟分析圩区建设前、后不同调度方案下的河道水位和流量特征,探究不同调度方案下河道的防洪除涝情况及流量提升效果。

2　模型构建

2.1　模型构建

MIKE 模型构建主要包括水动力模型和降雨径流模型构建[7]。水位数据和降雨数据由圩区水文站提供,见图 2。蒸发数据在率定验证期采用实测数据,在模拟期则采用多年日平均蒸发量。闸泵运行数据主要基于洛塘河圩区规划设计中的调度规则及实操情况。

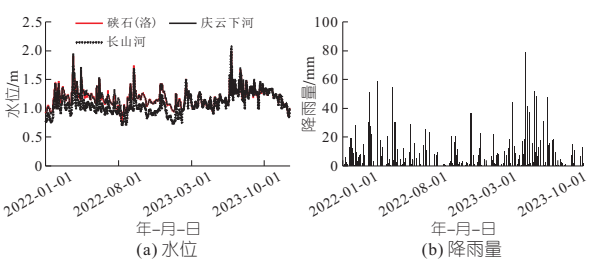

图 2　水位和降雨数据

Fig. 2　Water level and rainfall datas

(1)水动力模型构建。河网文件基于河道原有水力特性,保持原有河道实际连接及流向共计概化 98 条河道,设置 32 处可控建筑物,其中 26 处水闸,6 处水泵(闸站的水闸和水泵分开考虑)。断面文件根据实测断面插值概化 298 个断面数据,边界文件共设置 34 个边界,其中 21 个开边界,位于圩区边缘河道上游或下游与长山河、西连接河和洛溪河进行水体交换处;13 个闭合边界,位于圩区内部河道的上游或下游且断流处,根据实际情况,以北边界为主要入流边界,南边界为主要出流边界,河网概化及河道长度信息见图 3,圩区 78%的河道长度小于 2 km,仅有洛塘河长度大于 7 km。此外,模型以 2022 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 12 日作为模拟对象,时间步长 1 d,初始水位根据水文站数据取 0.9 m,河道糙率从 0.03 开始率定。

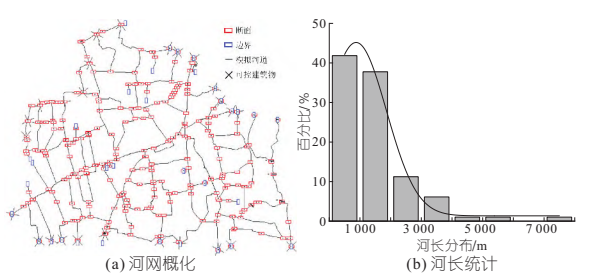

图 3　河网概化和河长统计

Fig. 3　River network schematization and river length calculation

(2)降雨径流模型构建。降雨径流模型采用 NAM 模型,产流以点源或线源进入水动力模块处理复杂的河网或集水区等。NAM 模型主要考虑地表—根区参数、地下水参数和初始条件参数,由于不涉及灌溉和融雪内容,因此相关参数不予设置。模型参数主要参数取值范围[8]见表 2。

表 2　NAM 模型主要参数取值范围及初始取值

Tab. 2　The range and initial values of the main parameters of the NAM model

区域	参数	一般取值范围	初始值	本次模拟取值
地表—根区	储水层最大含水量 U_{max}/mm	10～25	10	10
	土壤层/根区储水层最大含水量 L_{max}/mm	50～250	150	200
储水层	坡面流系数 C_{QOF}	0～1	0.5	0.9
	壤中流排水常数 C_{KIF}/hr	500～1 000	500	800
	坡面流临界值 T_1	0～1	0	0.15
	壤中流临界值 T_2	0～1	0	0.1
	坡面流壤中流时间常量 C_1/h	3～50	25	20
地下水	地下水补给临界值 T_3	0～1	0	0.1
储水层	基流时间常量 C_2/h	500～5 000	2 500	2 000

2.2　模型率定和验证

以 2022 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日作为率定期,以 2023 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 12 日作为验证期,对比分析碶石(内)水位情况确定河道糙率为 0.03,NAM 模型参数取值见表 2。通过计算,得到率定期水位最大差值为 0.212 m,绝对误差为 0.029,相对误差为 2.62%,均方根误差为 0.015,纳什系数为 0.934;验证期水位最大差值为 0.09 m,绝对误差为 0.023,相对误差为 2%,均方根误差为 0.021,纳什系数为 0.972,因此可以认为模型能够很好地反映洛塘河圩区的水动力条件变化情况。

2.3　模拟方案

根据洛塘河圩区规划设计设置了方案 1～4 共 4 种闸泵调度方案,对模拟期的圩区河道水位和流量情况进行分析,此外,为更详细分析不同河道月平均流量变化特点,增加了方案 5、6,因此本文共设置 6 种调度方案。方案 1 主要模拟圩区建设前的河道情况,方案 2 为 1.4～1.3 m 防洪除涝调度,方案 3 为仅通过闸站调度,方案 4 为生态引水调度,方案 5 为 1.40～1.35 m 高停排水位防洪除涝调度,方案 6 为开启北边界水闸调度,方案详情见表 3。

中国知网　https://www.cnki.net

表 3 调度方案详情

Tab. 3 Details of regulation scheme

方案	对应时间	水闸	水泵
1	圩区建设前		
2	圩区建设后	圩区内河水位低于 1.4 m 且高于外围河道水位，开启；其他情况，关闭	圩区内河水位高于 1.4 m，开启；圩区内河水位低于 1.3 m，关闭
3	圩区建设后	仅开启闸站，按照方案 2 调度；其他水闸，关闭	按照方案 2 调度
4	圩区建设后	圩区内河水位低于 1.4 m 且高于外围河道水位，开启；其他情况，关闭	圩区内河水位低于 1.2 m，开启；圩区内河水位高于 1.25 m，关闭
5	圩区建设后	圩区内河水位低于 1.4 m 且高于外围河道水位，开启；其他情况，关闭	圩区内河水位高于 1.4 m，开启；圩区内河水位低于 1.35 m，关闭
6	圩区建设后	北边界水闸，开启；其他水闸，按照方案 2 调度	按照方案 2 调度

3 模拟结果分析

3.1 河道模拟期水位分析

表 4 为给出了不同调度方案下模拟期硖石(内)水文站水位情况。方案 1 平均水位为 1.19 m，最高水位可达 2.02 m。除方案 4 以外，其余方案均起到不同程度防洪除涝效果，方案 2、3、5 平均水位均比方案 1 低了 0.2 m，而最高水位相比方案 1 均降低了约 0.6 m。可见，圩区建设后通过合理的闸泵调度可以明显降低河网水位，对于提升圩区内的防洪除涝能力具有重要作用。

表 4 六种调度方案下硖石(内)水文站水位情况

Tab. 4 The water level of the Xiashi(inside)hydrological station for the six regulation schemes

方案	模拟期平均水位/m	模拟期内最低水位/m	模拟期内最高水位/m
1	1.19	0.76	2.02
2	1.17	0.75	1.43
3	1.17	0.76	1.40
4	1.17	0.71	2.04
5	1.17	0.75	1.41
6	1.19	0.75	1.93

3.2 河道模拟期平均流量分析

各调度方案的流量分布见图 4。从流量分布来看，不同方案的作用效果存在明显的区域差异。在方案 1 中，洛塘河以南区域多条河道流量大于 1 m^3/s，南部区域整体流量大于北部区域。整体来看，流量大于 0.5 m^3/s 的河道占模拟河道总数量的比例为 58%，小于 0.1 m^3/s 的河道占模拟河道总数量的比例为 12%。相较方案 1，方案 2 调度下的硖石市河和麻泾港以西区域河道的流量有所下降，风头浜附近低流量区域扩大到平阳堰港和隆兴港附近，例如亭子港流量由 0.5 m^3/s 大约降低至 0.1 m^3/s，降幅 80%，隆兴港流量由 0.9 m^3/s 大约降低至 0.3 m^3/s，降幅 66.7%，而麻泾港以东区域河道的流量明显增大，该区域多条河道流量大于 1 m^3/s。方案 3 模拟得到圩区流量较小，特别是硖石市河和麻泾港以西的区域，多条河道流量小于 0.2 m^3/s。相较于其他方案，在方案 4 调度下，圩区北侧河道流量的提升效果显著，例如隆兴港附近大于 1 m^3/s 的河道占模拟河道总数量的比例为 33.7%，而流量小于 0.2 m^3/s 的河道集中在风头浜附近以及平阳堰港和麻泾港之间，占模拟河道总数量的比例为 23.4%。

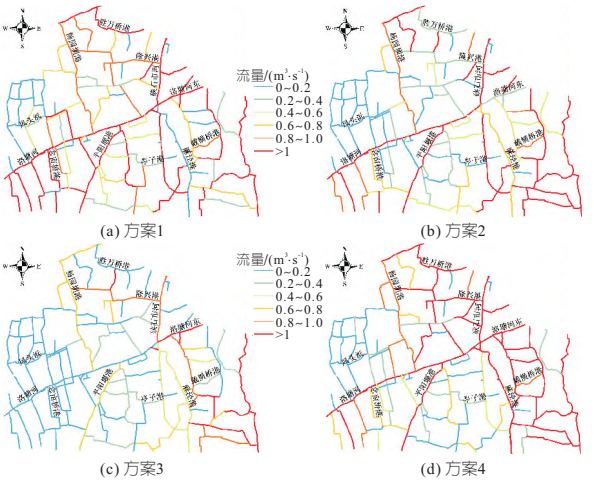

图 4 四种调度方案的流量分布

Fig. 4 Discharge under four regulation schemes

3.3 河道月平均流量分析

选取圩区各区域具有一定代表性的洛塘河、硖石市河、麻泾港、杨园坝港、隆兴港、戴横桥港、念亩桥港、亭子港、风头浜 9 条河道分析不同调度方案下各河道的流量特征，其中洛塘河、硖石市河和麻泾港属于圩区中的大型河道，杨园坝港北接圩区北边界，南接洛塘河，隆兴港连接洛塘河以北最长的两条河道，西接杨园坝港，东接硖石市河，戴横桥港位于圩区的西南侧，念亩桥港、亭子港位于洛塘河以南，分别连接平阳堰港和麻泾港，风头浜位于圩区西北区域的田字型河网。6 种模拟方案下典型河道流量变化见图 5。

与方案 1 相比，洛塘河、念亩桥港通过其他方案调度流量会有所减少，而其他河道在个别时间段通过其他方案调度会增加流量，例如硖石市河 2023 年 8～11 月通过方案 3 调度的流量相比方案 1 增加 3～4 m^3/s；对于麻泾港来说，因为受地势影响，方案 1 圩区建设前河流的流量较小，而其他方案均可在个别月份增加麻泾港的流量，特别是在方案 4 调度下，模拟期大部分月份的流量明

中国知网 https://www.cnki.net

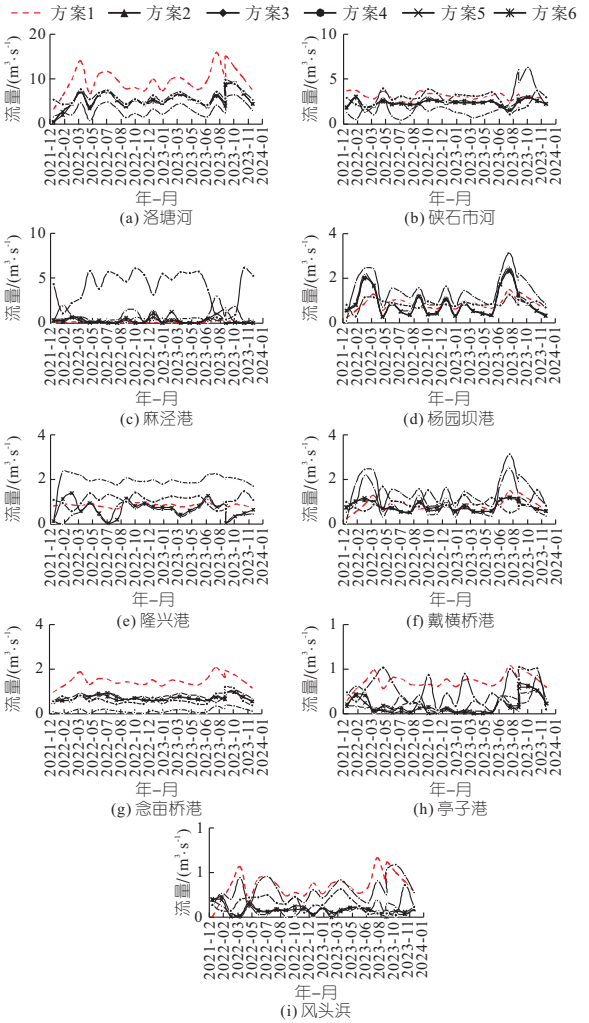

图 5　六种调度方案下典型河道流量变化

Fig. 5　Discharge changes in typical rivers for six regulation schemes

显高于其他方案数倍;杨园坝港整体受方案 3 调度流量表现较好,但是在个别月份需通过方案 4 调度提高河道流量,例如 2022 年 1、5 月及 2023 年 1、5 月等;隆兴港整体在方案 3 调度下流量最大,因其靠近胜万桥东闸站,通过开启水闸与长山河进行水体交换,相较于其他方案,流量提升至少 1 m^3/s,特别是在枯水季,方案 4 通过引水调度对流量的提升作用更大;戴横桥港不同时期方案调度差异性明显,大多时期方案 3 流量更大,但个别月份需要通过方案 4 调度;亭子港和风头浜在大多数月份方案 1 的流量更大,亭子港受引水调控影响明显,流量变化幅度较大,最大变化幅度可达 0.4 m^3/s,个别月份的河道流量相比圩区建设前增加 0.2 m^3/s,但是也有个别月份的流量不足 0.1 m^3/s,风头浜在方案 3 的调度下,个别月份的流量大于方案 1,但增幅很小,不足 0.1 m^3/s,例如 2022 年 1～2 月,2023 年 10～12 月。

综上所述,通过分析方案 1 圩区建设前和其他闸泵调控方案对于河道流量的影响可以反映出建设圩区虽然减少了部分大型河道及圩区南半区域部分河道的流量,但是通过闸泵调度对于大多数河道的流量提升是显著的,如整个模拟期杨园坝港在方案 3 的调度下,流量提升效果显著,隆兴港在整个模拟期间通过闸泵调度使得流量大约提升到了原来的 2 倍,而麻泾港的流量提升更是超过 2 倍。

图 6 为 2023 年枯水季 1、3 月和丰水季 7、9 月最佳活水调度方案。可以看出,枯水季和丰水季调度策略的差异明显。枯水季,方案 4 对圩区河网的流量提升作用最为显著,覆盖约 47.4%的圩区河道,河道主要集中在圩区北部和东部区域,通过上游引水可以有效维持枯水季的流量。相比之下,在洛塘河以南和麻泾港以西区域的河道在方案 1 调度下流量最大,大约占模拟总河道数量的 30.6%。其余方案的提升范围有限,约覆盖 22%的河道,其中方案 5 对于圩区河道流量的提升效果主要局限于南部河道,占模拟河道总数量的 6.6%。丰水季,圩区南部和中部核心区域约 44.9%的河道更适配方案 1 的调度措施,仅北边界、西边界和南边界约 21.9%的河道在方案 4 调度下流量最大,而方案 2 对于圩区东部区域河道的流量提升明显,河道占比由枯水季的 3.1%跃升至 17.3%。

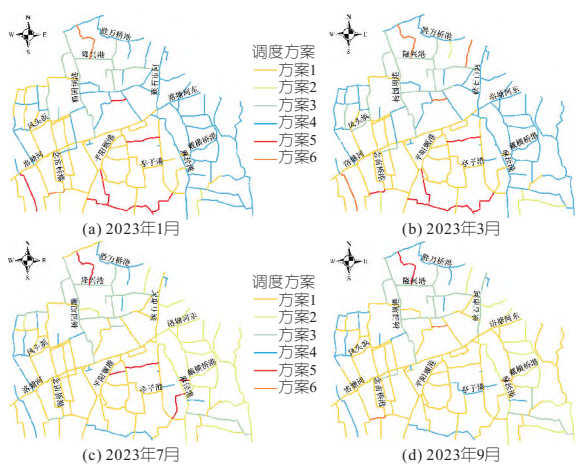

图 6　河网最佳活水方案

Fig. 6　Optimal river network discharge regulation schemes

不同调度方案下的河道流量占比见图 7。整体来看,全局最优流量表现需要依赖多方案协同调度。2023 年模拟的 98 条河道中平均有 35 条在方案 1 调度下流量最大,占比约 35%,表明圩区大约 65%的河道需通过闸泵调度提升流量。方案 4 的流量提升效果可以覆盖圩区 39%的河道,是枯水季的主要调度措施。方案 2、3 分别覆盖 7%、8%的河道,而方案 5、6 调度下的河道占

中国知网　https://www.cnki.net

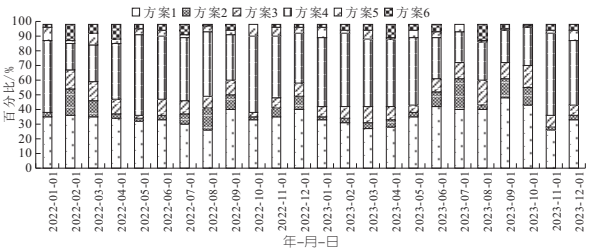

图 7 各方案下的流量占比

Fig. 7 Distribution of discharge among schemes

比最小，各为 4%。因此，通过合理闸泵调度可以实现圩区 2/3 左右的河道更好的水动力条件，对于更多河道流量的提升还需要考虑不同时期不同方案的协同调度。

4 结论

a. 以碶石(内)水文站水位为参考，与圩区建设前相比，防洪除涝、高停排水位防洪除涝和仅开闸站 3 种调度措施平均水位降低 0.2 m，最高水位降低约 0.6 m，闸泵调度对于圩区水安全意义重大。

b. 与圩区建设前相比，生态引水的流量改善效果最佳，防洪除涝调度主要提升东部区域的流量。

c. 合理的调度措施和多方案协同调度可显著改善圩区水动力条件。圩区丰水季在防洪除涝调度下流量表现更好，而枯水季在生态引水调度下流量表现更好。通过闸泵调度方案提升流量的河道占模拟河道总数量的比例为 65%，其中生态引水调度占比最高，为 39%。

参考文献：

[1] 张开鑫，吴德安，李玉明，等. 基于数值模拟的平原河网水质改善精准化引水方案研究[J]. 水电能源科学，2024，42(10)：64-68.

[2] 张开鑫，吴德安，孙健，等. 平原河网水系水质分布变化评价及其影响因素分析[J]. 水利规划与设计，2023(10)：59-65.

[3] 陈俪丹，高成，陈妍清，等. 考虑水质及水动力条件的滨江圩区最优活水方案[J]. 水电能源科学，2021，39(3)：16-19，57.

[4] XU C D，REN Z H，HUANG S，et al. Simulation study on the impact of water flow regulation based on the MIKE 21 model in a river water environment [J]. Sustainability，2023，15(13)：10313.

[5] 梁云，殷峻暹，祝雪萍，等. MIKE21 水动力学模型在洪泽湖水位模拟中的应用[J]. 水电能源科学，2013，31(1)：135-137，99.

[6] LIU J Y，DING R，CHEN Y，et al. Assessment and optimization of water resources regulation for river networks in the tidal plain—a case study of the qingsong area in Shanghai[J]. Water，2022，14(21)：3523.

[7] DANISH HYDRAULIC INSTITUTE. MIKE11：A modelling system for rivers and channels user guide[R]. 2007.

[8] MADSEN H. Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives[J]. Journal of hydrology，2000，235(3/4)：276-288.

Influence of Gate and Pump Dispatching on Water Level and Discharge in Polder Area of Luotang River

MENG Zhan-bo[1]，TAO Yuan[1]，GUAN Xiao-yan[1]，YU Fei-jie[2]，LIU Xiao-yin[3]

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research，Beijing 100038，China；
2. Haining Water Conservancy Construction Management Co.，Ltd.，Jiaxing 314499，China；
3. College of Agricultural Science and Engineering，Hohai University，Nanjing 210098，China)

Abstract：Rational sluice-pump scheduling plays a guiding role in enhancing water mobility in polder areas. This study takes the Luotang River Polder as the research area. A MIKE hydrodynamic model for plain river networks is established to simulate river water levels and discharge under six scheduling schemes before and after polder construction. The results demonstrate that compared with before the construction of polder area，the flood control and drainage scheduling scheme can reduce the maximum water level in the polder by approximately 0.6 m，effectively improving flood prevention and waterlogging mitigation capabilities. After the construction of polder area，rational sluice-pump scheduling achieved discharge enhancement in 65% of simulated river channels，with ecological water diversion scheduling contributing 39% of the discharge improvement，showing remarkable effectiveness. During wet seasons，flood control and drainage scheduling can be adopted for polder management，while ecological water diversion scheduling proves suitable for dry seasons. The research findings can provide reference for improving hydrodynamic conditions and water environment quality in the Luotang River Polder area.

Key words：plain river network；water level；discharge；MIKE；gate and pump dispatching

中国知网 https://www.cnki.net