

基于在线监测与模拟优化雨水截流设施运行 应对内涝风险的应用

朱五星

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 基于在线监测和排水模型对平原河网地区雨水管网及截流设施开展系统评估分析。研究区域的雨水管网受末端闸门井的控制,旱天均存在一定的水深,部分闸门井降雨后开启不及时,开启水位与旱天水位相差较大,可能导致上游排水不畅和内涝风险,也会影响下游污水系统运行。通过模拟分析得到积水风险分布图,并与闸门井及其上游管网分布图进行叠加,识别了对上游内涝积水及下游污水泵站抽排负荷冲击影响较大的闸门井,提出了以应对内涝风险为主要目标的闸门井运行调度建议。结合在线监测与模型模拟评估可有效支撑排水管网运行诊断评估、规划改造和管理维护决策等。

关键词: 雨水管网;在线监测;调度;模型评估;内涝风险

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)03-0103-04

0 引言

城市排水管网问题是影响排水防涝及水环境的重要因素。雨水管网具有的复杂性、不确定性,以及存在的设计不合理、排水标准低、雨污混接、渗漏等因素,使得排水系统功能存在诸多缺陷^[1-2]。管网普查存在难度大、数据杂乱、耗费资金高等因素,且会较大程度影响现状排水系统运行,在一定程度上制约了对排水系统认识水平的提高。传统排水管理决策主要依据经验判断,难以系统评估排水管网运行性能^[3]。雨水管网在线监测通过在线监测设备采集信息数据,识别诊断排水运行工况。同时建立模型评估区域现状雨水管网排水能力,针对内涝严重区域提出合理改善措施,有助于智能掌握排水设施运行状况,支撑完善排水系统,对排水信息化建设管理具有重要意义^[4-6]。

平原河网地区雨水管网由于存在雨污混接等因素,可能会在河道沿线雨水排放口设有闸门井和截流设施。由于雨水管网和闸门井运行状态无法及时掌握,运行调度缺乏科学支撑,可能导致上游排水不畅和内涝风险,也会影响下游污水系统运行。本文以我国某滨海平原河网地区为研究区域,基于在线监

测数据和雨水管网模型,对雨水管网排水能力和运行状态进行评估,在识别重点闸门井的基础上,提出以应对内涝风险为主要目标的闸门井运行调度建议。本研究可为平原河网地区雨水系统评估分析、运行调度、运维养护和规划建设等提供方法参考和决策依据^[7-8]。

1 研究方法

1.1 研究区域概述

本文研究区域位于华东沿海地区,面积为 64.6 km²。该地区现状排水体制以分流制为主,老旧城区少数地块为合流制。研究区域雨水管网总长 339.5 km,雨水管网总的蓄水容积约为 15.5 万 m³。雨水排放的主要方式为自排,雨水依靠自身重力从各排水系统自流排入周边水系。部分节点设置排涝泵站,应对超标雨水排放。此外,受到建设之初的排水体制、城市空间条件的急剧变化等因素的综合影响,部分区域存在雨污混接现象。因此,在河道沿线雨水排放口设有闸门井,其中部分雨污混接较严重的重点闸门井建有截流设施。旱天时,闸门处于闭合状态,管道内污水通过截流设施进入污水管网。雨季当雨水量较大时,部分闸门井开启,雨水排入水体。

1.2 监测布点情况

遵循针对性、科学性和经济性的原则^[9],本研究在典型住宅小区排放口、市政雨水管道关键节点、部分

收稿日期: 2023-12-08

作者简介: 朱五星(1978—),男,硕士,高级工程师,从事工程设计工作。

雨水泵站、闸门井、河道及道路易积水点等位置布置了超声波流量计 14 台、超声波液位计 58 台、道路积水尺 8 台等监测设备,并接入了天气预报和部分雨量站降雨监测数据等,初步构建了研究区域雨水系统物联感知体系。

1.3 模型构建情况

针对研究区域建立雨水管网模型,综合区域水系特征、排水格局、工程闸站、地形等因素,以地形分水岭、边界闸站、主要排水通道等为边界,划定影响研究区域排水计算的汇水范围为 427.5 km²。本研究在汇水范围内建立一维河道模型,为研究区域雨水管网模型提供准确的水位边界;研究区域内建立雨水管网模型,具体范围如图 1 所示。雨水模型中包含市政雨水管网、河道、泵、闸等设施,并与河道、二维地形耦合。整个市政雨水模型包含 1.56 万个节点、1.53 万根管段、58 条河道、地面网格 15.9 万个。

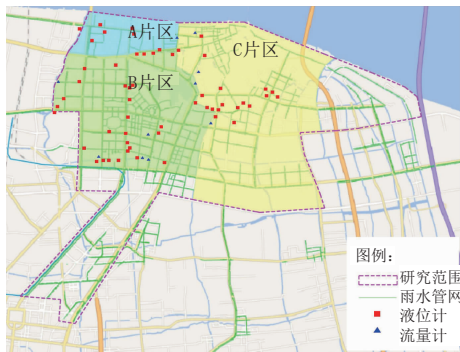


图 1 研究范围示意

2 雨水管网监测分析

以主干河道为界,雨水管网监测区域划分为 A、B、C 三个片区,具体分布见图 1。结合项目 2022 年 3 月—7 月监测采集的雨水管网液位计数据,对管网的监测情况进行分析,具体如图 2 所示。

由图 2 可知,各片区在无雨情况下,管网均维持着一定的水深。如在 6 月底至 7 月初无雨条件下,A 片区管网维持着 0.2~1.0 m 的水深,B 片区管网维持着 0.75~1.75 m 的水深,C 片区管网维持 0.2 m 以上的水深。由此可知,研究地区的雨水管网受末端闸门井的控制,即使在旱天无雨状况下也会维持一定水深,从而减少了雨水管网的调蓄容积,限制管网排涝能力。

3 闸门井运行评估分析

3.1 雨水管道排口闸门井监测分析

为分析各闸门井在旱天的运行状态,以推测闸门井堰高,分析统计了部分有监测的重要闸门井分别

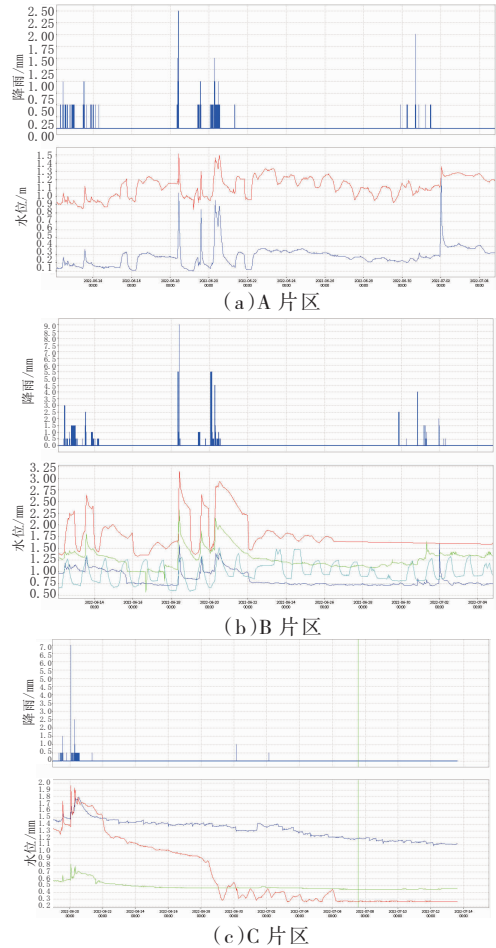


图 2 雨水管网典型监测点位液位变化
在旱天状态、小雨(10 mm 以内)、中雨(10~25 mm)和大雨(25~50 mm)下水深监测数据情况,具体如图 3 所示。

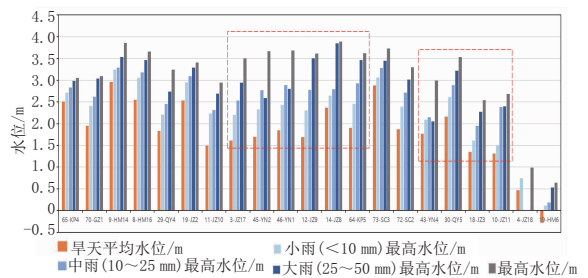


图 3 具有监测的重要闸门井水位变化情况

由图 3 可知,闸门井 3-JZ17、45-YN2、46-YN1、12-JZ9、14-JZ10、64-KP5、43-YN4、30-QY5、18-JZ3、10-JZ11 等在旱天状态的常水位与降雨条件下水深相差过大,表明雨天污水系统水量的冲击程度相对其他闸门井会更大,下游的污水泵站雨天抽排负荷也会大幅增加。

同时,如图 4 所示,降雨开启水位与旱天水位相差过大的闸门井,可能存在闸门井开启不及时的情况,导致上游存在一定程度的排水不畅和内涝风险。因此,需要重点关注、加强调度管理,尤其是大雨、暴

雨来临时,应当及时开启。

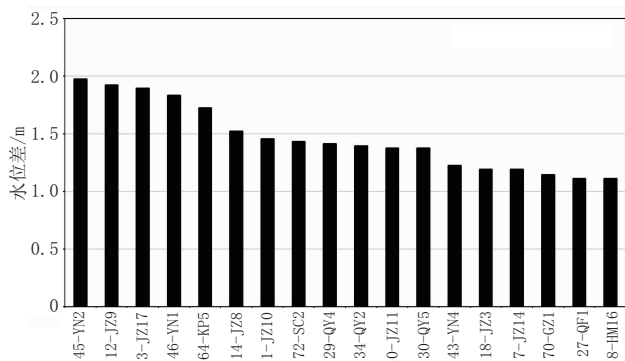


图4 可能存在延迟开启的闸门井及其水位差

3.2 闸门井运行对污水系统的影响

降雨对雨污分流不完全地区污水处理厂的稳定运行产生严重影响,造成污水处理厂进水水质和水量的较大波动。根据该区域内接纳闸门井截流污水的某污水处理厂进厂水量及水质的监测数据,统计分析降雨时水质水量变化情况,具体如图5和表1所示。

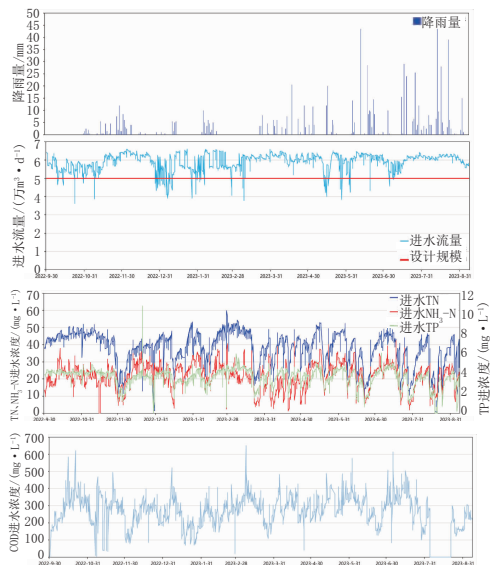


图5 污水处理厂进水水质及水量变化情况

表1 污水处理厂旱天和雨天的进水水质及水量对比

参数	旱天	雨天	雨天较旱天 变化/%
平均进水流量/(万 m ³ ·d ⁻¹)	5.78	6.11	5.7
平均进水 TP 浓度/(mg·L ⁻¹)	3.74	3.01	-19.5
平均进水 TN 浓度/(mg·L ⁻¹)	38.95	30.27	-22.3
平均进水 COD 浓度/(mg·L ⁻¹)	287.38	246.2	-14.3
平均进水 NH ₃ -N 浓度/(mg·L ⁻¹)	22.67	17.26	-23.9

该污水处理厂设计规模5万 m³/d。如图5所示,该厂常年处于满负荷运行状态,运行压力持续较大。在旱天时,平均进水量为5.78万 m³/d;在雨天时,平均进水量达到6.11万 m³/d。由于污水处理厂处理能

力有限,汛期水量增加幅度不是很明显,但导致上游管网长期处于满管状态。同时,由于雨水的稀释,汛期时 TN、TP、NH₃-N、COD 进水浓度均有明显降低,但也存在降雨时污水处理厂进水浓度异常提高的现象,总体上各污染物浓度变化趋势整体较为一致。

污水系统中泵站的运行也至关重要,闸门井的运行调度将直接影响其截流下游的污水泵站的负荷。研究区域南部中线存在4个运行负荷较高的泵站,平均负荷分别为98.0%、81.0%、83.7%、156.6%(相对设计能力)。结合泵站服务片区内对应的重要闸门井进行分析,在闸门井数据量多、收水截流面积大的片区,重要闸门井延迟开启将会显著增加泵站负荷,影响雨季输送平稳性。

因此,闸门井在降雨时的调度会对其截流下游的污水系统负荷形成冲击,一方面降低污水厂进水水质浓度;另一方面下游泵站和污水处理厂规模有限,大量污水来不及输送和处理,可能导致上游溢流风险。

3.3 内涝风险模拟与闸门井调度分析

为评估闸门井运行对内涝积水的影响,基于构建的雨水模型进行模拟分析,得到不同降雨场景下的积水风险分布图。本研究将区域内30a一遇2h设计暴雨情形下的积水风险图与闸门井及其上游管网分布图进行叠加,用于识别对内涝影响程度较大的闸门井,具体如图6所示。



图6 30 a一遇内涝积水风险与闸门井分布

由图6可知,43-YN4、45-YN2、46-YN1、1-JZ25、1-JZ20、14-JZ8、16-JZ6、3-JZ17、13-HM12、73-SC3、74-SC4等11个闸门井所在位置的上游相关区域内涝风险较大,积水较为严重。这与区域本身排水系统存在问题有紧密联系,如管网设计标准低、雨污混接等。除此以外,闸门井的运行调度不合理,也将直接导致内涝积水现象。

针对上游内涝积水影响较大的11个闸门井进

行单独分析,提出了闸门井运行调度建议。以43-YN4、45-YN2、46-YN1为例,具体分析如下。

(1)43-YN4。43-YN4 闸门井的调度对上游内涝情况影响比较大。43-YN4 闸门井位于研究区域南部北侧,上游管网收水范围面积约 41.3 hm²,溢流河道属于省控河道,具体如图 7 所示。由图 7 可知,43-YN4 的调度决定了上游片区的内涝程度。根据现状监测数据可知,43-YN4 闸门井旱天平均水位 1.77 m,小雨时平均水位 2.09 m,大雨时平均水位 2.15 m(曾出现溢流水位极值是 2.99 m),与旱天水位相差超过 1.2 m。在现状的运行管理中,多次出现在大雨发生之后才开启闸门的情况,对上游内涝情况极为不利,对下游泵站的雨天负荷也形成了较大压力。同时综合考虑到溢流河道属于省控河道,对水质要求较高,因此建议 43-YN4 闸门井的开闸水位不要超过 2.2 m。

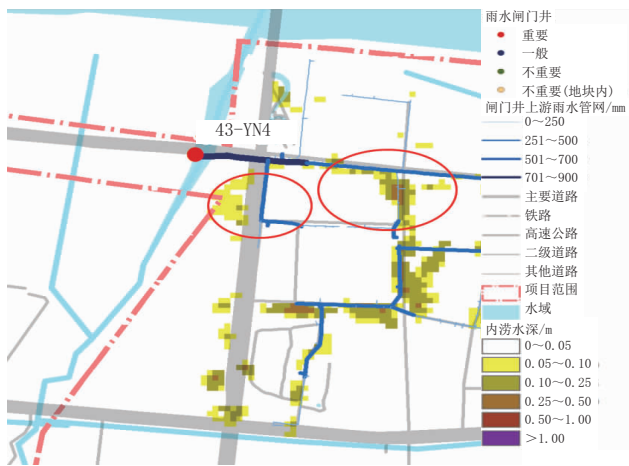


图 7 闸门井 43-YN4 上游管网及其上游积水情况

(2)45-YN2、46-YN1。45-YN2、46-YN1 闸门井位于研究区域南部西侧,上游管网收水范围面积分别是 171.7 hm² 和 75.1 hm²,溢流河道同 43-YN4 一样,具体如图 8 所示。由图 8 可知,45-YN2、46-YN1 的调度决定了上游道路的内涝程度。根据现状监测数据分析,45-YN2 闸门井旱天平均水位 1.70 m,小雨时平均水位 2.33 m,大雨时平均水位 2.8 m(曾出现溢流水位极值是 3.67 m),与旱天水位相差约 1.9 m。46-YN1 闸门井旱天平均水位 1.85 m,小雨时平均水位 2.43 m,大雨时平均水位 2.8 m(曾出现溢流水位极值是 3.68 m),与旱天水位相差约 1.8 m。结合现状的运行管理,这 2 个闸门井多次出现滞后开启闸门的情况,对上游某道路积水情况极为不利。因此,应

当重视 45-YN2、46-YN1 闸门井的及时开启,建议这两个闸门井的开闸水位不要超过 2.8 m。

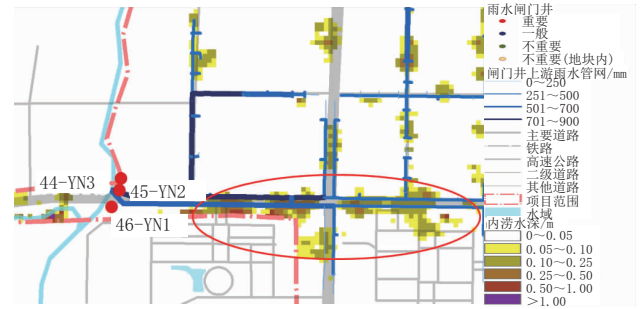


图 8 闸门井 45-YN2、46-YN1 上游管网及其上游积水情况

4 结论与建议

本文借助雨水管网在线监测和模型模拟,系统分析雨水管网、排口闸门井等运行监测数据,诊断排水系统运行状况并识别问题。研究区域的雨水管网受末端闸门井的控制,在无雨情况下均维持着一定的水深,限制了管网排涝能力。部分闸门井降雨后可能开启不及时,开启水位与旱天水位相差较大,可能导致上游排水不畅和内涝风险,也会影响下游污水系统运行。结合模型评估,识别了对上游内涝积水影响较大的 11 个闸门井,以及对下游污水泵站抽排负荷冲击影响较大的 12 个闸门井,需要重点关注、加强管理,尤其是大雨、暴雨来临时,应当及时开启,协同调度。

参考文献:

- [1] 李晓静,胡本刚,陈勇,等.城市地下排水管道隐患评价探索研究[J].城市勘测,2018(S1):290-295.
- [2] 张旭东,马振华,王海玲,等.基于排水系统提质增效的集约治理探索与实践[J].中国给水排水,2022,38(4):125-132.
- [3] 董鲁燕,赵冬泉,刘小梅,等.基于监测和模拟技术的排水管网性能评估体系[J].中国给水排水,2014,30(17):150-154.
- [4] 李萌,郭效琛,赵冬泉,等.在线监测技术在排水诊断中的应用[J].给水排水,2021,47(10):124-129.
- [5] 李志丽,姜明洁,潘冉,等.北京市延庆区排水管网监测及运行状态分析[J].中国给水排水,2021,37(20):99-106.
- [6] 刘小梅,王婷,赵美玲,等.基于在线监测的排水系统运行负荷分析与问题诊断[J].给水排水,2016,42(12):126-130.
- [7] 刘旭辉,张金松,王荣和,等.城市排水管网物联网技术研究与应用[J].中国给水排水,2015,31(3):86-89.
- [8] 高婉斐,朱记伟,杨帆,等.城市排水大数据平台构建及在城市排水管网规划中的应用[J].给水排水,2019,55(9):128-132.
- [9] 郭效琛,李萌,赵冬泉,等.城市排水管网监测点优化布置的研究与进展[J].中国给水排水,2018,34(4):26-31.