

城市排水系统智能控制与调度技术应用研究

王 鹏

(秦皇岛环保产业集团有限公司, 河北 秦皇岛 066000)

摘 要 在全球气候变化的背景下, 极端强降雨事件频发, 城市内涝问题日益加剧。城市排水系统作为城市雨水管理的核心载体, 在雨水收集、输送和排放等方面起到至关重要的作用。基于此, 本文结合具体案例, 分析城市排水系统智能控制与调度技术在排水全链条的应用逻辑与实践路径, 旨在以数据为驱动, 构建专门的智能控制与智慧调度体系, 推动城市排水系统从“被动应对”向“主动防控”转型, 进而实现全生命周期的精细化、智能化目标。

关键词 城市水务管理; 排水系统; 智能控制与调度技术

中图分类号: TU992; TP273

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.18.008

0 引言

随着物联网、大数据和人工智能等先进技术的迅速发展, 城市水务管理模式发生改变。传统的排水管理模式以人工管理为主, 依赖工作人员主观判断与实操经验开展调度决策, 已无法满足现代城市水务管理要求。在智慧水务体系中, 智慧排水是其重要的组成部分。当前, 各大城市对智慧排水建设逐步重视, 但建设水平参差不齐, 为了改变现状, 在投入和资源有限的情况下, 需充分发挥数据的价值, 对排水系统进行精细化运维与智能化控制, 确保调度协同开展。本文以具体案例为研究对象, 分析城市排水系统智能控制与调度技术的应用, 并通过实践验证研究成果, 进一步证明在本文构建的技术体系可以提高排水效率, 有效防治城市内涝。

1 案例概况

本文案例位于某中等规模城区的典型排水片区。该区域内分布多条城市河道, 存在若干条排水支流, 雨水收集系统规模庞大, 覆盖范围达到数百平方公里, 排水管网总长度超上千公里, 同时, 建设多座泵站和闸门等排水设施。为保证管理和调度更加便捷, 将该区域划分为若干子区域, 每个子区域包含泵站、主干管网、闸门、薄弱积水点。虽然这些泵站和闸门已完成自动化改造, 也可将数据随时上传, 但在实际运行时, 仍然无法做到协同联动, 更多依靠人工经验, 一旦发生强降雨等极端天气, 可能出现响应不及时、排水效率低等问题。同时, 设备运行能耗较高, 调度管理存在一定的滞后性, 效率有待提升。

2 城市排水系统现状与问题

虽然案例区域的部分水泵和阀门的自动化控制改造工作已经完成, 基本可以实现远程控制, 但整个排水系统仍存在以下问题: 一是每个设备的运行各自独立, 设备数据分散, 无法及时共享; 二是降雨时, 系统的反应速度比较慢; 三是调度比较滞后, 智能化控制程度较低。当前的调度工作主要以人工操作为主, 工作人员会凭借主观经验执行, 缺乏数据支持。一旦降雨量较大, 或突降暴雨, 就可能出现调度不及时, 管道无法承载更多排水调度, 从而出现积水现象。由于不同片区的水泵和阀门各自单独运行, 无法实现彼此协同与配合, 一旦雨量发生变化, 就无法对其进行共同调节, 或者出现调节滞后的情况。以上海和深圳等城市为例, 这些城市拥有先进的智慧排水平台, 通过该平台对所有设备进行统一管理。应用平台对泵站、闸门和河道进行统一调度与控制, 系统就可以自动安排水的流向与流速, 保证雨水在最短时间内得到排出。除了可以避免出现积水现象, 还可以根据需求打开水泵, 对水泵的运行速度进行合理控制。引入先进的智慧排水调度系统, 无需依靠工作人员操作, 系统即可迅速反应, 并作出准确安排, 所有调度操作有严格的数据依据, 并不是凭借工作人员的主观经验, 保证决策更加合理^[1]。

3 城市排水系统智能控制与调度流程

为提升排水系统的精细化管理水平, 在本文案例中, 通过构建智能调度体系, 融入先进的技术手段, 优化城市排水系统功能。整体建设严格遵循相应流程, 具体操作如下。

作者简介: 王鹏(1983-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 机电一体化。

3.1 基础数据库建设

将排水系统相关信息全面采集、梳理,将其纳入数据库之中。例如:管网、泵站、闸门、河道断面等排水设施的空间分布与属性信息,建立覆盖整个区域的排水设施资产台账。在此基础上,需构建专门的管网拓扑结构,对每一条管道的连接方式、雨水流入源头、雨水汇集与排出方式予以明确,满足后续建模、调度等工作需求^[2]。

3.2 实时监测与数据分析

在排水系统中布设监测设备,如雨量站、流量计、水位计等,持续收集系统运行关键数据。设备主要收集的数据类型有雨量、管道流量、节点水位、河道水位等,从而了解排水系统在不同情况下的运行状态。根据旱季和雨季的运行特点,对系统在不同气候条件下的表现进行分析,以及需要明确的关键控制点,为后续模型建立和策略调整工作提供更多数据支持^[3]。

管理人员不再凭借感觉做出判断,而是将物联网、大数据和人工智能等技术手段与之结合,做出科学合理的决策。将历史降雨数据、容易积水的数据、地下管网内水流速度和流量等数据进行整理与分析,通过人工智能算法对这些数据进行计算与精准识别,从而自动判断城里容易积水的区域,提前对降雨量、管网进水量和排水量进行预测,并构建与之相对应的数字孪生虚拟模型。首先利用模型对其进行模拟,确定开泵的时间、开泵数量、闸门打开幅度和调节方式。在虚拟系统中尝试,确定无误后再操作。通过系统对管网内的水流大小和水位高低情况进行实时化监测,结合模型分析,系统可对水泵的开启和关闭状态进行自动化控制。

3.3 模型构建与仿真

对城市地形和管网分布等空间地理数据和雨量、水位等实时化监测数据相结合,搭建综合水利模型,对运动情况进行模拟。该模型可对地下管网内的水流情况、地面雨水情况进行全面模拟,可根据不同的降雨情况,分别进行模拟和计算,利用模型清晰呈现雨水在地面形成径流、进入管网、输送过程、排放过程等环节^[4]。

3.4 调度策略制定与动态优化

模型构建完毕后,需提前制定标准化调度方案,并将其统一存储到数据库之中。在这些方案中,需纳入大雨、中雨和小雨等不同的下雨场景;考虑到高低不同的潮水位;明确城市内最容易出现积水或溢出的区域。针对不同的场景,制定针对性操作方法。除此之外,还要结合天气预报和监测数据,对泵站的运行情况进行调整,精准调节水位,确定阀门打开幅度。

3.5 智能调度平台集成化与自动化操作

确定调度方案后,需将其纳入智能调度平台之中。平台负责向水泵站和阀门等设备发出控制指令,各个设备需随时将自身运行状态传回到平台,确保指令和信息的传递更加顺畅。无需人工操作,平台可自动下发指令,设备接收到指令后会自动执行,并将执行结果上传至平台,使平台能够随时掌握设备运行情况^[5]。

3.6 智能调度平台测试与跨区域协同

需确保该套平台和策略具有实战能力,因此,需在真实环境下测试,根据运行结果,及时对相关参数进行调整,同时进一步扩大其调度范围,使不同位置的泵站和阀门得到统一调度,彼此互相配合,提高雨水排出的速度和顺畅度,减少城市出现积水和内涝的可能性^[6]。

4 城市排水系统智能控制与调度技术实施要点

4.1 数据监测分析

对片区的降雨量、管道流量和水位等数据进行长期收集与整理,开展统计分析,将一天内降雨量作为标准,将降雨划分为小雨、中雨、大雨和暴雨四个等级,对关键节点的水位和积水程度规律进行总结。易涝点对降雨量很敏感,虽然雨量不大,但这一区域也容易积水;地道桥等结构节点具有较强的排水能力,除非出现降雨量骤升,才可能会积水。在旱季和雨季,管网的基础水位有所不同,为避免误判,需将旱季水位基线排除在外,避免泵站或阀门在水位过低的时候出现误启动。参考历史降雨和积水情况,设定闸门与泵站的推荐开关阈值,将雨量和液位相结合,保证决策更加科学合理^[7]。

4.2 水力模型设置与率定

使用软件对地表降雨汇流与排水管网内水流进行建模与仿真处理,在模型中输入管网拓扑、闸门泵站、地表用地和高程数据,建立数学模型。选择两次具有代表性的不同类型降雨事件,其中一组数据用于模型测试,调整模型参数,另一组数据对模型预测的准确性进行检验,仔细观察模型预测的水位是否与现场监测的实际水位接近。利用纳什效率系数(NSE)对模型结果和观测数据的吻合度进行衡量,NSE=1说明完全吻合,NSE>0.7说明模拟效果良好。率定结果显示,关键点NSE均超过0.7,说明模拟结果与观测数据有较高的吻合度,模型可以对片区排水过程真实模拟,可将其用于测试不同的调度方案,对排水策略进行优化。

4.3 片区调蓄能力分析

工作人员首先要对城市内的不同管道进行统计,了解其粗细长度和长短,计算整个管网理论上能够存

住的雨水量。同时,将管道中的泥沙和垃圾部分扣除,计算真正可用的蓄水容量,并将其转化为管网内的水位高度,从而更加直观的判断管网的蓄水能力,以此制定相应的调度方案和防漏策略。实际上,管网的真正排水能力和蓄水能力远远低于图纸的理论计算数值。因此,在制定调度方案时,必须要考虑到实际情况,利用模型对雨水从地面流入管网的全过程进行模拟,提前判断管网水位的变化。制定调度策略时,建议采用更加保守的水位警戒线,提前打开泵站进行排水,预留出一定空间,减少出现内涝的可能性^[8]。

4.4 静态调度方案制定

制定静态调度策略时,应充分考虑到管道的调蓄能力,融入分时排放思路,并结合不同季节和降雨条件,保证策略更加科学合理。在雨量较少的季节,需放缓排水速度,利用地表土壤充分吸收雨水,并通过管道暂时存储水量。在降雨集中或比较频繁的时段,要提前降低河道水位,提前开启闸门或启动泵站,保证管网与河道有充足的调蓄空间。需考虑极端情况,制定应急方案,尤其在短时强降雨的情况下,需采用移动泵和抽水机等排水设备,保证雨水得到迅速排出。可将静态方案存储到数据库中,利用水力模型测试不同策略下的应用效果,将不同策略进行对比,确定最佳方案^[9]。

4.5 动态调度与模型预演

进行动态调度时,要结合实时数据与短时水位预测等信息,利用水力模型对不同静态策略进行模拟,结合仿真结果,对开闸和启泵的阈值进行调整,使参数能够随着降雨预报实时更新。该流程主要包含以下四个步骤:一是在模型中接入数值预报,或输入雷达监测的降雨信息,结合不同的降雨强度、持续时间等元素,创建与之相对应的预测场景。二是将生成的降雨预测数据输入模型之中,对不同静态策略效果分别进行模拟,并评估不同策略在预测降雨中的排水效果,以及对内涝点的保护效果。三是结合仿真结果,选择最优策略,或对阈值进行微调,将参数进行优化后,利用智能调度平台自动将参数下发至泵站和闸门。四是随着监测数据不断更新,可实现对策略参数的动态调整,保证系统操作与实际情况相符^[10]。

4.6 平台功能

对智能调度平台进行设计时,要明确平台的功能。一是将地图作为基础,将各种监测信息实时化呈现,同时系统可随时调用现场视频和图片,使调度人员能够了解现场情况。二是系统可结合监控信息与模型预测信息,设定多级报警阈值,一旦超出阈值,平台会在第一时间预警,并将信息推送给相关人员,平台还

可以对预警信息的详细内容进行记录。三是将水力模型与平台相结合,对未来降雨进行预测和模拟,并输出不同的调度方案,为决策提供参考依据。四是平台将各泵站和阀门控制系统进行有效连接,自动下发模型优化策略,使设备严格按照指令执行,执行后的状态可在第一时间传回平台。五是对每一次调度过程中的信息进行完整记录,帮助工作人员对事件进行复盘,不断优化策略。

5 结束语

本文结合城市排水系统现状,提出一套智能控制与调度体系,通过建设数据库,搭建水利模型,对不同情景的调度进行仿真与模拟,制定调度方案,融入动态预报策略,确保指令得到自动化执行,可有效提高城市排水系统的管理效率。未来,在构建市政管网模型时,需将其与河道模型进行有效融合,站在整个流域角度对水的产生、排放和流动全过程进行分析,保证相关设施运行彼此联动。同时,要引入雷达一体化短临预报系统,为模拟仿真提供更加准确的信息,提高模拟的准确性。制定调度策略时,需考虑到经济和碳排放指标,既要保证安全,又要达到理想的环保效果。同时,构建完善的跨部门数据共享机制,使其能够共同参与到城市防洪排涝治理之中。采用先进的信息技术构建完善的智能调度体系,可推动城市排水调控向精细化和科学化方向发展。

参考文献:

- [1] 陈帅,舒启瑞,陈小龙.城市排水系统智能控制与调度研究[J].给水排水,2024,60(07):155-161.
- [2] 唐文杰.城市排水系统智能化设计与优化研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(28):171-173.
- [3] 杨梅先.物联网技术在城市智慧排水系统中的应用研究[J].中国宽带,2025,21(09):136-138.
- [4] 蔡万强.厦门市智慧排水系统建设实践与成效分析[J].给水排水,2025,61(11):181-186.
- [5] 毛毅,陈永祥,杨涛,等.城市排水系统大数据可持续价值实现路径分析[J].给水排水,2025,61(09):159-163.
- [6] 梁晓宇.智能化背景下建筑排水技术革新路径研究[J].城市开发,2025(03):124-125.
- [7] 郭俊.矿井排水智能监控系统的设计及应用分析[J].矿业装备,2025(06):131-133.
- [8] 闫浩.智能无人值守系统在中央水泵房的应用研究[J].西部探矿工程,2024,36(12):108-110.
- [9] 刘玲.低碳经济下城市排水节能问题探析[J].经济师,2024(05):20-21.
- [10] 朱丹恒.排水泵站能耗分析与节能措施研究[J].中国高新科技,2024(12):29-31.