

供排水企业运行及管理成果专栏

喻青, 潘清, 徐维发, 等. 城市防洪排涝智能调度系统的应用[J]. 净水技术, 2024, 43(2): 184-189.

YU Q, PAN Q, XU W F, et al. Application of intelligent controlling system in urban flood control and drainage[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(2): 184-189.

城市防洪排涝智能调度系统的应用

喻青^{1,*}, 潘清¹, 徐维发², 戴雄奇²

(1. 深圳市宝安排水有限公司, 广东深圳 518102; 2. 深圳市深水宝安水务集团有限公司, 广东深圳 518133)

摘要 我国防洪排涝信息化尚处于初级阶段, 在数字化、互联网、物联网等技术高速发展的背景下, 如何将最新信息化技术成果应用到城市防洪排涝行业, 是城市排涝行业科技工作者面临的一个迫切需要解决的问题。文中通过南方某城市防洪排涝信息化建设案例, 介绍了该城市排涝信息化系统的总体结构、建设内容、主要创新点及实际应用情况。该系统通过可视化调度、“一点一方案”气象精准预测、管网液位与雨量关联分析等信息化平台的建设, 实现了对区域内涝风险的精准预测和快速应急调度, 提高防洪排涝工作效率, 减少积水内涝发生, 推动了防洪排涝工作的信息化与智能化, 确保了城市安全及高效、可持续发展。

关键词 城市防洪排涝 信息化 可视化调度 精准预测 关联分析 预警预案

中图分类号: TU992 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)02-0184-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.02.023

Application of Intelligent Controlling System in Urban Flood Control and Drainage

YU Qing^{1,*}, PAN Qing¹, XU Weifa², DAI Xiongqi²

(1. Shenzhen Baoan Drainage Co., Ltd., Shenzhen 518102, China;

2. Shenzhen Shenshui Baoan Water Group Co., Ltd., Shenzhen 518133, China)

Abstract The informatization of flood control and drainage is still in its initial stages at home. In the context of rapid developments in digitalization, the internet, and the internet of things, a pressing issue faced by those in the urban flood control and drainage industry is how to apply the latest technological achievements in informatization to this industry. This article introduced a case study of the construction of a flood control and drainage informatization system in a southern city, covered the overall structure, construction content, characteristics, and practical applications of this city's drainage information system. Through the establishment of an informatization system, including a visual dispatch platform, precise meteorological predictions, and correlation analysis between pipeline water levels and rainfall, the system achieved precise predictions of localized flood risks and quick emergency response scheduling, improved the efficiency of flood control and drainage efforts, and reduced the occurrence of water accumulation and drainage. It promotes the informatization and intelligence of flood control and drainage work, ensuring the safety and high efficiency, sustainable development of the city.

Keywords urban flood control and drainage informatization visual controlling accurate prediction correlation analysis early warning and preparedness plan

近年来, 极端天气成为全球性气候问题。在我

国, 极端强降雨频发, 一些城市的降雨量纪录屡屡刷新, 且来势猛、速度快、历时短, 造成了严重的城市内涝, 给城市的防洪排涝工作带来了很大压力。在信息化建设快速发展的背景下, 为确保城市防汛安全, 提高对暴雨洪水、防汛突发公共事件的快速反应和

[收稿日期] 2023-07-31

[通信作者] 喻青(1982—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事水处理、智慧水务、环境卫生工程设计与管理工作, E-mail: 32447470@qq.com.

应急处置能力,如何将信息化技术最新科技成果应用到城市防洪排涝行业,是信息化及城市排涝行业科技工作者面临的一个迫切需要解决的问题。本文通过对南方某城市防洪排涝信息化建设案例的介绍,对城市防洪排涝信息化系统的总体结构、建设内容、主要创新点及实际应用情况作了分析总结,以供参考。

1 概述

目前,我国城市防洪排涝面临的主要问题如下。

(1)部分城市地势低洼,下泄洪水遇到河道高水位时,受高水位顶托,水位抬升,区域排水不畅,低洼地带容易形成内涝。

(2)城市现状排水系统标准低,多数已建成的城市雨水管网系统的设计暴雨重现期仅为 1 年,部分老旧城区甚至只有 0.3~0.5 年,一旦暴雨强度超过城市雨水管网系统的设计标准,就会出现低洼地区严重积水的现象。

(3)由于高速的城镇化,城区硬化地面的占比大幅度提高,地表的蓄水能力不断下降。同时,一些天然蓄水池的消失,在一定程度上降低了城市的排涝功能,增加了地表径流量。因此,每逢强降雨,低洼地区积水严重。

城市洪涝灾害严重影响了居民的生产生活及城市运转,为科学、合理地对防洪排涝进行管控,迫切需要开展防洪排涝信息化建设工作。目的就是利用

数字化、互联网、物联网等技术手段,充分开发和利用相关信息资源,提高城市防洪排涝体系,为城市经济和社会发展提供服务的水平与能力。

2 系统总体结构

城市排涝体系主要由排涝泵站、管网、水系(池塘湖泊、内河明渠等)以及管理机构 4 部分组成。城市排涝信息化应是涵盖城市排涝体系全部内容的综合信息化,包含静态属性数据和动态运行数据的全面信息化。通过信息化技术手段,构建事前预测、事中调度、事后总结“三段式”防洪排涝调度体系,系统整合各种感知设备,实现实时智能化感知预警,如河道水库水位超限、易涝点积水等动态报警,预警报警信息自动推送至相关责任人、调度员和一线抢险人员关注处理。同时,结合监测设备的现场感知、排涝设施的实时视频、气象站的精准降雨监测、泵闸站的实时开泵开闸监控,辅助调度中心实时掌握抢险现场的实况,进行高效精准的应急指挥等。系统全过程采集防洪排涝过程中的物联监测信息,为后续内涝点整治、问题分析提供支撑数据,也结合在预警过程中采集的降雨、管网水位、水库和河道水位、一线上报和调度员指挥调度等信息,以时间为序列进行涝情回顾,复盘整体抢险过程中的调度情况、人员响应情况及内涝点处置情况等,进行分析总结以提升防涝应急调度水平。总体框架如图 1 所示。

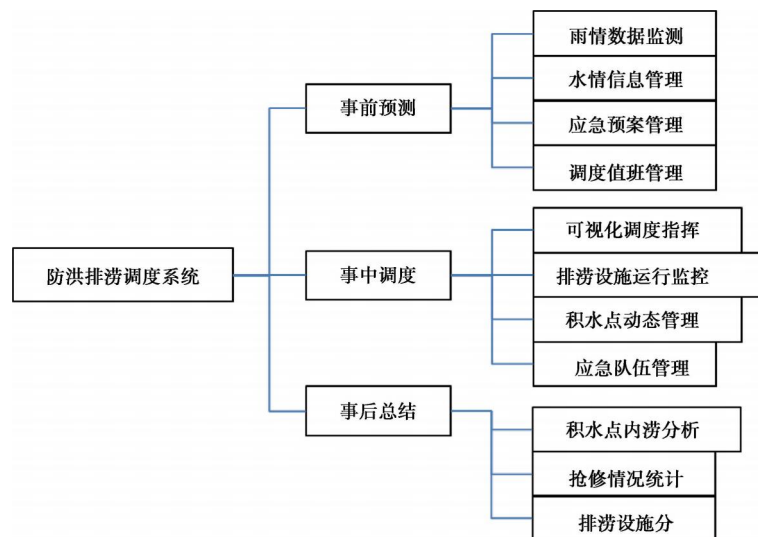


图 1 总体框架

Fig. 1 Overall Framework

3 系统建设内容

根据总体框架,系统建立了全程在线可视化的防洪排涝调度平台,可实时掌握抢险队伍现场最新情况,随时查看现场实况,及时优化布防力量和路径。系统建设实现了信息采集、指挥、调度、决策一体化,达到了城市防汛“快速响应、科学调度、精准处置”的目标。主要建设内容如下。

(1)建立综合数据库,接入气象格点数据。调度平台通过数据接口将气象部门在本辖区的357个降雨格点数据(包含历史降雨量、未来3 h雨强预测值)全部接入系统,格点精度范围为 1.0 km^2 ,数据更新频率为 6.0 min 。系统还实现了与卫星云图、气象雷达图的对接。

(2)采用时间序列数据分析、相关因子关联分析等技术搭建内涝风险预判经验模型。为了更精准地获取易涝点、敏感点附近的降雨情况,该系统基于网格化的气象数据,将管辖区域均分为长、宽均为 1.0 km 的网格,基于城市内涝调度经验与实时排水设施监测数据,结合未来短期高精度降雨预报数据,以网格为单位对管辖区域进行积水情况预测。通过对历史数据的分析和建模,提供准确的积水内涝风险预测,辅助防洪应急人员判断掌握雨情涝情,以便及时采取相应措施,支撑汛前精准运营管理与精准布防,降低水滞内涝灾害风险^[1]。

(3)选取辖区内核心区域有代表性的40个内涝点进行气象精准预测。通过整合历史降雨量、管网液位、河道湖库水位等数据,以网格为单位将历史积水数据与实测、预测降雨数据进行对比,计算出降雨强度与积水内涝关联关系的降雨量报警阈值。通过气象精准服务提供的预测数据,预测未来30~60 min的降雨情况,并与点位设置的累计降雨报警阈值相匹配。若预测的累计降雨情况超过设置的阈值,平台通过短信方式通知到该布防点的防汛责任人。防汛责任人收到提醒后,将根据气象情况、交通状况、附近感知设备监测情况和视频、现场人员反馈信息等,快速进行防洪抢险调度。

(4)设置应急预案与人员、设施、布防点管理模块。系统可根据该城市度汛方案要求设置不同等级的响应预案,并根据预案要求,配置好应急抢险队伍和相应的抢险车辆、设施、物资等防汛力量。防汛关注的重要点位可提前在系统布置,并配置好相应的

责任队伍。系统还提供了自动排班功能,实现了预警启动时一键通知全体防汛人员,提高了防汛响应速度^[2]。

(5)设置事中可视化调度管理模块。通过事中调度功能,各抢险队伍位置及现场抢险情况一目了然,结合排涝设施的实时运行数据,调度人员可快速精准地开展调度工作,实现了调度人员在防汛期间的实时可视化精细调度管理,大大提高了防汛物资的利用率和防洪排涝的工作效率。

(6)设置事后总结模块。通过事后总结功能,系统根据防汛情况自动生成统计报告,极大地减少了每次抢险工作后花费大量时间进行资料汇总的工作量。系统还自动统计分析辖区积水内涝情况与队伍抢险情况,为制定排水设施的日常维护管养工作方案提供数据支撑,可进一步指导应急队伍的优化管理。

4 案例应用情况

南方某城市地处东南沿海,濒临珠江口,总面积为 397 km^2 ,境内海岸线长度为 45 km ,常住人口约为500万人。该城市属低山丘陵滨海区,背山面海,岗峦起伏,地势东北高、西南低,地貌类型丰富。该城市有雨水泵站130余座,排水管网长度超 $1.6\times 10^4\text{ km}$,河道60余条,水闸60余座。

2023年9月上旬,受台风、季风和弱冷空气共同影响,该城市出现突发极端特大暴雨,具有“强度超强、持续时间超长、强降雨范围超大”的特点。利用本防洪排涝信息化系统,事前对辖区内排水设施进行可视化隐患排查,依据气象预测信息及外江潮位等实测数据,利用预判经验模型,对可能出现险情的点位有针对性地进行排涝应急布控。同时,采取了疏散交通、设置隔离区、撤离区域相关人员等措施。雨中按照预案提级至防汛Ⅰ级响应,在线调度指挥作战,及时启闭泵闸及处置涝区积水,抢修、恢复排水设施。雨后进行善后总结和数据分析。得益于对本次特大降雨周密成功的应对,辖区内未造成较大交通影响、未发生人员伤亡事故、未造成财产损失。相比以往同强度暴雨下该辖区的积水内涝数据分析可知,总积水点数由之前的60余处降至20余处,积水点的消退时长由之前的5~6 h降低为2~3 h,极大地提高了该城市防洪排涝的应急能力。

经过一年多的试运行,历经一个汛期30多场强降雨的考验,本系统目前已经形成了以综合调度平

台为核心的城市防洪排涝综合调度体系(图2),取得了良好成效。



图2 防洪排涝信息系统

Fig. 2 Flood Control and Drainage Information System

(1) 提高了防洪排涝工作效率

气象部门一旦发布暴雨预警,系统将第一时间电话通知所有值班值守人员,一线抢险人员按照事前安排好的值守点、巡查点及配置好的车辆设备等第一时间到达点位进行应急抢险工作。通过调度平台,工作人员利用视频摄像头、物联网监测设备和一线班组实时上报的信息化手段进行直接调度和指挥抢险工作^[3]。

同时,通过预案一键启动预警,迅速通知各班组的出勤并自动统计出勤情况,目前已实现“5 min 响应,30 min 到位”的防汛工作标准,相比该系统使用之前应急队伍的响应时间缩短 30 min 以上。平台自动生成应急抢险报告,既大大减轻了工作人员整理报告的工作强度,又提高了上报的及时性。上级主管单位可以第一时间掌握暴雨情况和应急抢险情况,极大程度提高了该城市防洪排涝治理水平。

(2) 规范化应急工作,提高应急人员与物资的利用率

通过内涝积水数据经验模型进行内涝积水风险预测,指导事前准备、事中调度、事后总结“三段式”应急工作,通过可靠的数据规范化应急工作,指导每一步应急指挥策略,提高应急人员以及应急物资的利用率。在有限的人员和物资下,最大程度化提高了应急成效,节省应急物资的投入。

(3) 减少积水内涝发生,提升城市形象

针对区域内试点的 40 个积水内涝风险点精准发送预警短信,应急抢险人员可以根据预警信息,提前对可能产生积水内涝的风险点进行布防,采取必要的应急措施,避免了积水内涝的产生或减轻积水内涝的程度。通过试行期间的实际案例可知,系统投入使用以来已收到 200 多条预警信息,根据预警信息提前安排应急抢险队伍到达现场布防,部分需打开雨水篦子或用龙吸水进行抽排的积水内涝风险点在提前做好抢险准备的情况下,积水内涝情况远比以往类似情况下轻微,避免了车辆泡水等重大安全事故的发生。

根据统计数据分析,试点的 40 余个内涝风险点,以往一旦发生暴雨必然产生内涝导致交通瘫痪。在根据预警信息提前布防的情况下,2023 年 26 场橙色暴雨情况下,试点的 40 余个风险点均未产生交通瘫痪情况,4 场红色暴雨仅 2 场暴雨中有 2 个风险点发生了短暂的交通瘫痪情况,均在 30 min 内恢复了正常交通。

(4) 快速定位外水入侵点,提高污水管网水质浓度

区域已进行雨污分流改造,建设有雨污水两套管网,但错接乱排情况依然较严重,导致大量外水进入污水管网,城市污水厂进水 BOD₅ 质量浓度为

80~100 mg/L。本系统投入运营后,根据对污水管网液位雨量关联分析数据,确保了工程师在复杂的管网体系中精准排查到雨污管网错接点,大大提高了雨污分流管网查漏补缺及改造的效率。在本系统的协助下,目前已完成了大量错接乱排点的整改,实现城市污水厂提质增效目标。如区域内某一污水厂40 km²服务范围内,通过实施雨污分流改造、正本清源、全面消除黑臭及提质增效等水环境治理项目,完成了300余个错接乱排点的改造,污水厂的进水量因客水入侵的减少而减少了15%~20%,BOD₅质量浓度从80~100 mg/L提升到110~130 mg/L。

5 主要创新点

本案例建设的主要创新点如下。

(1)建设了可视化调度平台,实现“河-站-网-户”一张图可视化管理

河与网一体化管理是继地理信息系统建设、常态化养护维修、常态化运行监测后的优化管理阶段,也是该城市排水管理信息化可达到的预期。基于地理信息系统,将河湖、泵站、管网、大型排水户等排水设施的位置信息、属性信息以及运行状态等数据整合到城区地图上,实现“河-站-网-户”一张图可视化管理,协助管理者及时地掌握排水管网、排涝泵站、河道湖库水系的运行状态。同时,支持在运行图上展示各类专题信息,如水质、水位报警提醒等,以协助管理者及时地掌握排水管网运行状态。通过数据的可视化呈现,管理者可以直观地发现管网、泵站中存在的问题,及时进行调整和处理,确保排水系统的正常运行,提升了排水系统的高效运营与管理。

在一张图可视化管理的基础上,应急抢险指挥者可通过可视化调度平台直接调看现场抢险和积水内涝实时情况,可通过平台进行直接调度和指挥抢险工作,相比平台建成前的微信和电话调度指挥工作,抢险工作效率大幅提高。

(2)以时间序列数据分析技术为手段,搭建积水内涝经验模型

本系统应用时间序列数据分析技术对历史内涝事件中的降雨数据、内涝积水等进行数据分析、统计,建立内涝经验模型,提高内涝风险预测的准确性和可靠性。首先采集历史内涝事件的时间序列数据,包括雨量、管网水位、河道水位等多种数据,然后利用时间序列分析技术,如ARIMA、SARIMA等模

型,对数据进行分析和建模,得到内涝事件的预测模型,将预测模型应用到实际的内涝预测中,通过对实时数据的分析和预测,提前预警,避免或降低内涝带来的灾害和损失。

(3)采用轻量级大数据框架实现分布式计算,提高海量数据计算效率

本系统使用轻量级大数据框架实现分布式计算,旨在提高数据处理效率和处理能力。使用轻量级大数据框架的优点在于,可以将数据分散到多个节点上,通过并行计算方式进行处理,从而大幅提高数据处理的速度和效率。采用了Hadoop、Spark等轻量级大数据框架进行分布式计算。通过使用Hadoop Map Reduce的分布式计算模型,将数据切分成多个小块,分配给不同的计算节点进行处理,最终将处理结果合并。同时,还使用了Spark的内存计算技术,将数据缓存到内存中,避免了频繁的磁盘读写操作,大大提高了数据处理速度。

由于计算量巨大且需占用大量计算机硬件资源,原本的积水内涝调度数据主要通过业务人员直接人工进行分析、统计、核算等,耗费大量时间、人力成本。通过采用轻量级大数据框架实现分布式计算,能够实现快速匹配河道和管网的监测数据,提高海量数据的计算效率;结合云原生容器,根据计算需求调用计算硬件资源,实现动态计算能力调整。经过统计,本系统完成以来,数据处理时间由原本的22.3 h减少为15 min,响应速度提升了约90倍,减少了约80%的机器成本、人工成本等。本系统成功解决了数据处理效率和处理能力的瓶颈问题,大幅提高了系统的性能和处理速度。

(4)“一点一方案”气象精准预测

根据积水内涝经验模型,结合历史水浸数据、气象部门降雨预测数据、易涝点水位监测数据等,精准发送积水内涝风险预警信息,对40个长期内涝严重点位形成“一点一方案”。当降雨达到预判降雨风险点的时候,根据应急调度预案、各应急队伍当前处置任务情况、交通情况等,自动调配最优队伍提前到达现场进行布防,实现精细化精准调度。

(5)管网液位雨量关联分析

基于区域已安装的污水管网在线监测液位计和气象格点降雨量数据,建立关联分析。通过管网液位、雨量关联分析,可自动分析降雨期间污水管网液

位相比旱季平均液位变化情况,筛选出液位涨幅大的点位,缩小外水进入污水管网侵入点排查范围,供工作人员现场排查,提升排查效率,最终达到辖区污水收集系统提质增效的目的。

6 结语

防洪排涝已经成为我国各地待解决的难题,被列为国家和地方的重点工作,解决城市内涝积水问题刻不容缓。传统的防洪排涝工作缺乏对暴雨洪水、防汛突发事件的应急快速反应和处置能力。本系统通过物联网、云计算、大数据分析等技术手段建立了防洪排涝智能调度平台,并建立气象数据与易涝点的关联关系,实现了短时间内积水内涝情况精准预测,支持提前识别内涝风险,辅助调度管理人员对调度方案进行决策,内涝防汛工作由“被动响应”向“主动布防”的转变,从而提高防洪排涝工作效率,实现了内涝积水应急调度精细化管理。该系统为后续探索打造高质量立体防洪排涝体系,尝试更科学、更高效的技术手段,提升精细化管理“软件”

水平,为城市内涝调度管理提供了更高效、更精准的管理手段和技术支持,实现了保障城市排涝安全的目标,确保了城市安全及高效、可持续发展。

参考文献

- [1] 季辉, 吴坚. 信息化技术在城市内涝治理过程中的研究与应用[J]. 中国建设信息化, 2022(24): 58-59.
- JI H, WU J. Research and application of information technology in the process of urban waterlogging control[J]. Informatization of China Construction, 2022(24): 58-59.
- [2] 时珍宝, 谭琼. 基于水力模型的排水系统防涝应急调度预案制定[J]. 中国给水排水, 2020, 36(15): 93-99.
- SHI Z B, TAN Q. Formulation of emergency dispatching plan for waterlogging prevention of drainage system based on hydraulic model[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(15): 93-99.
- [3] 姚志武, 管林杰. 基于数字孪生的城市防洪排涝智能决策平台设计[J]. 水利水电快报, 2022, 43(5): 99-103.
- YAO Z W, GUAN L J. Design of intelligent decision platform for urban flood control and drainage based on digital twin[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2022, 43(5): 99-103.
- (上接第 104 页)
- [7] 蔡璐, 高定, 陈同斌, 等. 污泥好氧发酵过程中强制通风对温度与脱水的调控[J]. 中国给水排水, 2012, 28(17): 134-137.
- CAI L, GAO D, CHEN T B, et al. Effect of forced aeration on temperature and dewatering during sewage sludge composting[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(17): 134-137.
- [8] 蔡璐, 高定, 陈同斌, 等. 污泥生物好氧发酵过程中匀翻对温度与脱水的影响[J]. 中国给水排水, 2012, 28(17): 138-140.
- CAI L, GAO D, CHEN T B, et al. Effect of turning on temperature and dewatering during sewage sludge composting[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(17): 138-140.
- [9] LIAO H P, LU X M, RENSING C, et al. Hyperthermophilic composting accelerates the removal of antibiotic resistance genes and mobile genetic elements in sewage sludge[J]. Environmental Science & Technology, 2018, 52(1): 266-276.
- [10] 宋相通, 杨明超, 张俊, 等. 污泥超高温好氧发酵去除氟喹诺酮类抗生素及其降解产物[J]. 中国环境科学, 2022, 42(1): 220-226.
- SONG X T, YANG M C, ZHANG J, et al. Removal of fluoroquinolone antibiotics generated from the sludge using hyperthermophilic composting and its degraded products[J]. China Environmental Science, 2022, 42(1): 220-226.
- [11] YANG L, ZHANG S H, CHEN Z Q, et al. Maturity and security assessment of pilot-scale aerobic co-composting of penicillin fermentation dregs (PFDs) with sewage sludge[J]. Bioresource Technology, 2016, 204: 185-191. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.01.004.
- [12] YU H X, XIAO H Y, CUI Y L, et al. High nitrogen addition after the application of sewage sludge compost decreased the bioavailability of heavy metals in soil[J]. Environmental Research, 2022, 215: 114351. DOI: 10.1016/j.envres.2022.114351.
- [13] MA R N, WANG J N, LIU Y, et al. Dynamics of antibiotic resistance genes and bacterial community during pig manure, kitchen waste, and sewage sludge composting[J]. Journal of Environmental Management, 2023, 345: 118651. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118651.