

城市防洪排涝系统优化设计与实施研究

王旭¹, 徐冉², 于坚³, 殷海平⁴, 王蓓¹, 蒋芳¹

1. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223001

2. 淮安市淮泗涵闸管理所, 江苏 淮安 223001

3. 淮安市淮涟灌区管理所, 江苏 淮安 223001

4. 淮安市高良涧水利工程管理站, 江苏 淮安 223001

DOI:10.61369/WCEST.2025030022

摘 要 : 近年来, 极端降雨事件频发, 城市内涝问题日益突出, 对公共安全和社会经济发展造成严重威胁。为提升防灾减灾能力, 亟需在系统分析的基础上探索防洪排涝体系的优化路径。通过对防洪设施现状、运行效率与管理机制进行梳理, 并结合典型案例数据进行归纳, 总结出源头减排、调蓄扩容、末端治理与智慧化管控的协同思路。研究成果对推动城市防洪排涝体系的科学设计与高效实施具有重要的参考价值。

关 键 词 : 城市防洪; 排涝系统; 优化设计; 海绵城市; 智慧管理

Research on the Optimization Design and Implementation of Urban Flood Control and Drainage Systems

Wang Xu¹, Xu Ran², Yu Jian³, Yin Haiping⁴, Wang Bei¹, Jiang Fang¹

1. Huai'an Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

2. Huai'an Huai-Si Sluice Gate Management Office, Jiangsu 223001

3. Huailian Irrigation District Management Office, Huai'an, Jiangsu 223001

4. Huai'an Gaoliangjian Water Conservancy Project Management Station, Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract : In recent years, the frequent occurrence of extreme rainfall events has made urban waterlogging an increasingly prominent issue, posing a severe threat to public safety and socioeconomic development. To enhance disaster prevention and mitigation capabilities, there is an urgent need to explore optimized pathways for flood control and drainage systems based on systematic analysis. By reviewing the current status, operational efficiency, and management mechanisms of flood control facilities, and summarizing data from typical case studies, a coordinated approach integrating source reduction, storage and capacity expansion, end-of-pipe treatment, and intelligent management has been proposed. The research findings hold significant reference value for promoting the scientific design and efficient implementation of urban flood control and drainage systems.

Keywords : urban flood control; drainage system; optimization design; sponge city; intelligent management

引言

随着城市化进程加快和极端天气频发, 暴雨内涝对基础设施与居民生活构成严峻挑战, 防洪排涝体系的不足日益显现。国际上较早开展了海绵城市、雨洪管理和综合调蓄等实践, 积累了丰富经验, 国内也逐步探索绿色基础设施与智慧化平台的融合路径。在此背景下, 优化设计与实施不仅要兼顾安全与生态, 还需注重系统协同与信息化管理, 以期在城市排涝体系的建设和升级提供切实可行的方案。

一、城市防洪排涝系统的现状分析

(一) 城市洪涝风险的成因

近年来, 中国城市平均年降水量约为 630 毫米, 但暴雨日数增加明显, 2021 年郑州“7·20”特大暴雨单日降水量达到 624 毫米, 相当于当地年均降水量的一半, 造成严重内涝。快速城市化使得地表不透水面积占比由上世纪 90 年代的 35% 提升至目前的

60% 以上, 雨水径流系数显著增加。同时, 排水系统设计标准普遍偏低, 多数城市管网仍按 1 年一遇至 3 年一遇暴雨标准建设, 远低于极端天气频率, 导致风险明显加剧。

(二) 现有防洪排涝系统的结构与功能

目前大部分城市防洪排涝系统以管网、泵站和河道为主体, 全国城市排水管道总长度已超过 90 万公里, 但仍存在结构性不足。以一线城市为例, 管网密度平均约 8.5 公里/平方公里, 而中

小城市不足 3 公里 / 平方公里，区域差异明显。泵站数量和规模有限，部分设施运行效率低下，设计流量仅能满足一般降雨，而在短时强降雨时往往超负荷运转。调蓄设施方面，全国大中城市建成蓄洪调蓄池约 2000 座，有效库容超过 12 亿立方米，但整体调蓄能力仍不足以抵御极端洪涝。近年来推广的海绵城市建设已在 30 多个试点城市开展，但绿色设施面积占比普遍低于 15%，尚未形成完整体系^[1]。

（三）存在的主要问题与不足

总体来看，当前城市防洪排涝系统在实际运行中仍存在较大短板。首先，设施分布不均，老城区普遍存在“管网老化、排水能力不足”的问题，部分地区管道淤堵率高达 20% 以上。其次，维护和应急机制不完善，调查显示，近五年内因管网故障造成的城市积水点仍超过 5000 处，应急抢修平均响应时间超过 2 小时，难以及时应对暴雨冲击。第三，信息化水平滞后，全国仅有不足 30% 的城市建成较为完善的智慧排水监控平台，雨情、水情监测多依赖人工观测，实时性与精确性不足，难以满足现代化城市治理需求。如表 1 所示。

表 1 城市防洪排涝系统现状与主要问题统计表

指标类别	数据情况	典型问题
年均降水量（全国）	约 630 毫米	暴雨集中，极端天气增多
排水管网总长度	>90 万公里	管径不足，老化严重
管网密度（大城市）	8.5 公里 / 平方公里	中小城市不足 3 公里 / 平方公里
城市泵站规模	多数仅满足常规降雨	极端天气超负荷运行
调蓄设施	蓄洪池约 2000 座，库容 12 亿立方米	调蓄能力不足
海绵城市覆盖率	试点 30+ 城市，绿地率 <15%	系统效应不明显
智慧排水监控平台	城市覆盖率 <30%	监测滞后，应急不足

当前城市防洪排涝系统虽在规模与功能上有所发展，但在设计标准、设施分布、信息化水平等方面仍存在明显短板。极端气候与快速城市化叠加，使防洪排涝能力面临严峻挑战，亟需通过优化设计与系统性改进提升整体韧性。

二、防洪排涝系统优化设计的原则与方法

（一）优化设计的基本原则

在开展城市防洪排涝系统优化设计时，首先应遵循安全性与可靠性优先的原则。防洪排涝工程的根本目标是保障人民生命财产安全和城市运行安全，因此必须在设计中充分考虑极端天气条件下的洪涝风险承受能力，通过提高设计标准、完善设施冗余度和增强系统韧性来确保可靠性。同时，优化设计还应注重系统性与整体性结合，即在空间上实现“源头—中途—末端”的全链条衔接，在时间上实现日常管理与应急调度的有机统一，避免片面依赖单一工程设施，造成局部改进但整体防护不足的现象。此外，生态性与可持续发展导向亦是重要原则，强调通过海绵城市建设、雨水资源利用和生态修复等手段，实现人与自然的协调共生，使防洪排涝体系不仅具备防灾功能，还能兼顾生态景观、环境改善与资源循环利用的价值^[2]。

（二）优化设计的技术路径

在技术路径上，优化设计需构建“源—汇—管—治”一体化模式，实现从雨水源头削减、汇水过程调蓄、管网输排优化到末

端治理的全链条控制，以提高整体防涝效能。具体而言，应大力推进绿色基础设施与灰色基础设施的融合：绿色基础设施如透水铺装、雨水花园、人工湿地等，可在源头分散削减径流，减轻管网负荷；灰色基础设施如排水管网、泵站、调蓄池等，则在中途和末端提供可靠的工程防护，两者相结合可实现削峰错峰、提高安全裕度。此外，智慧排水平台的应用是未来优化设计的重要方向，通过物联网、大数据与人工智能技术构建实时监测和调度系统，实现雨情、水情的动态采集与分析，并在洪涝风险出现时进行快速决策与应急调度，从而提升城市防洪排涝的智能化水平和应变能力^[3]。

（三）模型与方法应用

在优化设计的过程中，科学的模型与方法是制定方案和评估效果的重要工具。基于水文与水动力学的模拟能够准确再现暴雨条件下的径流过程和水流演变，帮助分析不同工况下的积水范围与水位变化，为设施布局与容量设计提供定量依据。多目标优化模型则可综合考虑安全、经济、生态等多方面因素，平衡不同目标之间的关系，从而选择最优或次优方案；同时风险评估方法能够在不确定性条件下预测可能的洪涝损失与风险水平，为防洪体系预留安全余地。情景模拟也是不可或缺的环节，通过输入不同降雨强度、土地利用类型和设施运行参数，模拟未来可能出现的多种情境，有助于提前发现系统的薄弱环节并提出改进措施。借助案例数据的支撑，可以对比不同优化设计方案的实际效果，验证模型的可靠性与可行性，从而为城市防洪排涝体系的科学设计与高效实施提供有力保障^[4]。

三、优化设计的工程措施与实施路径

（一）源头减排与海绵城市建设

源头减排是城市防洪排涝体系优化的首要环节，其核心理念在于“就地消纳、源头削减”，通过海绵城市建设实现雨水自然积存、自然渗透与自然净化。屋顶绿化与透水铺装是最常见的措施，前者不仅能增加雨水滞留时间，还能改善城市热岛效应；后者则有效提高地表渗透能力，减少地表径流总量。雨水花园与下沉式绿地在暴雨过程中可充当“小型调蓄池”，起到削峰错峰的作用，同时在平时兼具景观和生态功能。雨水收集与利用设施则能在一定程度上实现雨水资源化，通过雨水桶、雨水收集池及净化系统，为城市绿化、道路清洗及非饮用生活用水提供补充，从而减轻市政供水压力。通过多种源头削减措施的组合应用，不仅能够减轻排水系统的压力，还能提升城市整体的雨洪管理韧性^[5]。

（二）中途调蓄与排涝工程建设

在源头减排基础上，中途调蓄与排涝工程建设是保障系统安全的重要环节，主要通过设施扩容和功能升级提升城市应对暴雨洪涝的能力。蓄洪池与调蓄湖的建设是关键措施，能够在降雨集中时储存多余雨水，并在雨停后逐步排放，从而有效削减洪峰流量。城市排水管网的扩容改造同样重要，部分老旧城区管径过小或布局不合理，需要通过加密支管、扩充主干管及改善雨污分流结构来提升排水效率。同时，泵站与涵洞的智能化提升能够显著增强排涝灵活性，借助自动化控制系统、远程监控与动态调度平台，能够在暴雨来临时实现实时启停与精准调度，避免因人工延迟造成排涝不及时^[6]。通过这些中途措施的实施，排涝体系能够

在暴雨高峰期有效削峰、分流，保障城区不至于因短时降雨强度过大而陷入瘫痪。

（三）末端治理与安全保障

末端治理是防洪排涝系统中的最后一道防线，决定了城市整体的行洪能力和应急保障水平。河道整治与行洪能力提升是其中的重要内容，通过疏浚河道、拓宽断面、修复堤岸及增加亲水生态护坡，不仅提升了行洪能力，还改善了水环境质量。溢洪道与应急排水通道建设则为极端情况下提供额外的排水路径，能够在主排水系统超负荷时分流洪水，降低主城区的积水风险。防洪堤坝与防洪闸门的完善则起到屏障作用，在城市周边地区尤其是临江、临河地带构筑坚实防护，防止外来洪水倒灌入城，同时通过闸门的智能化改造实现精准调度，保障内外洪水压力的动态平衡。末端治理措施的有效实施，使整个系统形成完整的“源头削减—中途调蓄—末端保障”的综合格局，既强化了整体安全性，也增强了应急条件下的抗风险能力。如图1所示。



图1：城市防洪排涝系统优化设计的工程措施与实施路径示意图

四、实施中的管理与政策保障

（一）组织管理与多方协同

在城市防洪排涝系统的实施过程中，组织管理和多方协同是确保工程顺利推进的重要前提。政府应发挥主导作用，建立跨部门协调机制，实现水利、城建、交通、气象等部门的联动合作，避免因职责分散导致的管理空档。同时，引导社会资本参与防洪排涝工程建设与运维，通过公私合作模式（PPP）形成资金和技术支持，减轻财政压力。公众参与也不可或缺，社区和居民的防灾意识直接影响防洪措施的成效，应通过宣传教育和演练提升公众自我保护与协作能力^[7]。在极端天气来临时，应急指挥与调度

体系必须高效运行，确保各类人力、物资和技术力量快速响应，形成“政府主导、社会协同、公众参与”的综合治理格局。

（二）政策与法规支持

政策与法规是推动城市防洪排涝系统规范化、制度化实施的根本保障。各级政府需完善城市排水条例与防洪规范，明确建设标准、运行要求及责任划分，从制度层面为系统建设与运行提供依据。与此同时，需制定灵活的投融资政策，推广PPP模式和专项基金，为工程建设和智慧平台搭建提供稳定的资金来源。标准化与监管机制的建设同样关键，应建立覆盖设计、施工、运行与维护的全过程标准体系，并通过第三方评估和动态监督机制，确保工程质量与运行安全。政策和法规的不断完善，不仅能为工程提供制度支撑，还能激发社会资本和市场力量的积极性，推动防洪排涝体系高效实施与持续优化。

（三）信息化与智慧管理

随着新一代信息技术的快速发展，信息化与智慧管理成为提升城市防洪排涝能力的重要方向。通过大数据与物联网技术，可以实现雨情、水情和设施运行状态的实时监测，构建动态数据平台，为科学调度提供精准依据。数字孪生技术的应用则能够构建虚拟城市防洪系统，实现对不同降雨情景的模拟与推演，为防洪工程规划与应急决策提供直观参考。智慧调度平台的建设，使得管网、泵站、闸门等设施能够实现自动化与智能化运行，显著提升应急处置效率。此外，远程监控与应急演练机制的建立，可以加强跨区域的协同调度和预案演练，从而提升整体防御能力与快速恢复能力^[8]。通过信息化与智慧管理的深度融合，城市防洪排涝体系正逐步向智能化、精细化和高效化方向发展。

五、结语

城市防洪排涝体系的优化需立足安全性、系统性与可持续性原则，构建“源头减排—中途调蓄—末端保障”的完整路径，并通过绿色与灰色基础设施融合及智慧化平台提升整体效能。在组织管理、政策法规和信息化支撑下，可逐步形成“工程+生态+信息化”三位一体模式。未来应在气候变化背景下进一步强化韧性建设，推动区域一体化治理，以实现城市防洪排涝体系的高效与长远发展。

参考文献

[1] 谢濮馨, 李泽敏, 贾一夫, 等. 永兴河新机场改线工程防洪排水系统优化调度方案研究 [J]. 北京水务, 2023, (S1): 37-42. DOI: 10.19671/j.1673-4637.2023.S1.009.

[2] 李轩. 基于洪涝数值模型驱动的防洪排涝工程运行调度高效优化方法研究 [D]. 西安理工大学, 2023. DOI: 10.27398/d.cnki.gxalu.2023.002315.

[3] 李飞, 赵志文, 董嘉晨, 等. 城市防洪排涝智能调度系统应用分析 [J]. 江苏水利, 2024, (10): 40-43. DOI: 10.16310/j.cnki.jssl.2024.10.007.

[4] 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(02): 184-189. DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.02.023.

[5] 李丹, 刘思颀, 方群, 等. 基于城市水文的城区防洪排涝监控系统设计与研究 [C]// 河海大学, 山东省水利科学研究院, 山东水利学会. 2021 (第九届) 中国水利信息化技术论坛论文集. 湖北省水利水电科学研究院; 武汉大学计算机学院; 湖北省水利水电科技推广中心, 2021: 226-233. DOI: 10.26914/c.cnkihiy.2021.006825.

[6] 孟祥瑞, 叶志昊. 综合管廊与海绵城市及防洪排涝系统结合方式的研究 [J]. 建筑技术开发, 2020, 47(07): 37-38.

[7] 戴正才, 胡明. 城市下水系统中防洪排涝体系的建设分析与研究 [J]. 城市建筑, 2019, 16(32): 190-191. DOI: 10.19892/j.cnki.csjz.2019.32.068.

[8] 向祥林. 城市防洪排涝系统建设研究 [D]. 浙江大学, 2017.