

极端降雨条件下城市内涝防治与给排水系统优化

罗怡

江西金时飞建设工程有限公司

摘要：极端降雨事件频发对城市内涝防治体系构成严峻挑战，传统给排水系统在设计标准、系统韧性、应急响应等方面存在短板。本文基于城市内涝成因机理，分析极端降雨条件下给排水系统的脆弱性特征，探讨雨水管网系统优化、排涝泵站能力提升、雨水调蓄设施建设、排水系统与海绵城市融合等优化路径。

关键词：极端降雨；城市内涝；给排水系统；雨水管理；系统优化

全球气候变化背景下，极端降雨事件呈现频发、强度增大趋势，城市内涝灾害日益突出。传统给排水系统多基于历史降雨资料设计，难以应对超出设计标准的极端降雨事件，导致城市低洼地区积水严重、交通瘫痪、基础设施受损。内涝防治不仅涉及雨水管网排水能力，还与城市竖向规划、水系连通、应急管理等多因素相关。

1 极端降雨条件下城市内涝成因与给排水系统脆弱性

1.1 极端降雨特征与城市内涝形成机理

极端降雨具有降雨强度大、历时集中、总量超常的特征，其降雨强度往往超过城市雨水管网的设计重现期标准。城市下垫面硬化改变了自然水文循环过程，硬化地面使雨水下渗量锐减、地表径流系数增大、汇流时间缩短，雨水在短时间内大量汇集至管网系统。当降雨强度超过管网设计标准时，雨水在管网内形成壅水，检查井冒溢、路面漫流现象发生。地形条件对内涝形成具有控制作用，低洼区域、下穿通道、立交桥区等地势低点成为积水易发区，雨水汇流积聚形成局部内涝。河道水位顶托加剧内涝风险，当外河水位高于雨水管网出口水位时，管网排水受阻，上游区域积水难以排出。

1.2 给排水系统在极端降雨下的脆弱性表现

给排水系统在极端降雨下的脆弱性体现在设计标准不足、系统韧性欠缺、应急能力有限三个方面。设计标准不足表现为雨水管网重现期取值偏低，传统设计多采用一年一遇或三年一遇标准，难以应对五年一遇以上的强降雨事件。管网老化与淤积进一步削弱排水能力，管道腐蚀、接口错位、沉积物堵塞降低过流能力，实际排水效率远低于设计值。系统韧性欠缺表现为管网缺乏冗余度与备用通道，单一管段失效可能导致整个排水片区瘫痪，缺乏雨水调蓄设施无法平抑径流峰值。泵站排涝能力不足是内涝频发的重要原因，排涝泵站规模偏小、设备老化、电力保障不足，暴雨

期间无法满负荷运行。

1.3 内涝防治与排水系统的内在关联

内涝防治与排水系统之间存在紧密的关联关系，排水系统的承载能力直接决定城市抵御暴雨的能力。雨水管网是内涝防治的第一道防线，管网布局合理性、管径匹配度、坡度设置影响雨水收集与输送效率，管网末端出口条件决定上游积水风险。排涝泵站是内涝防治的关键设施，其抽排能力决定低洼区域积水消退速度，泵站启停控制与水位联动机制影响系统运行效能。雨水调蓄设施是调节径流峰值的重要措施，调蓄池、调蓄湖在暴雨期间吸纳超额雨水，削减峰值流量，减轻下游管网压力。

2 给排水系统优化提升的核心路径

2.1 雨水管网系统改造与能力提升

雨水管网系统改造是提升排水能力的基础路径，优化方向包括管网布局优化、管径扩容与系统连通。管网布局优化针对现状管网进行系统评估，识别瓶颈管段与薄弱区域，通过增设支管、调整流向、优化汇水区划分改善管网水力条件。管径扩容针对重现期标准偏低区域，依据规划降雨强度重新计算管网过流能力，对不达标管段实施扩容改造，采用预制装配式管涵缩短施工周期。系统连通是提升管网冗余度的关键措施，通过建设连通管、打通断头管网、增设溢流通道，形成多路径排水格局，降低单点故障影响范围。老旧管网更新改造应结合城市更新同步实施，采用非开挖修复技术减少对交通影响。

2.2 排涝泵站设施升级与智能调控

排涝泵站是应对极端降雨的核心设施，设施升级与智能调控是提升排涝能力的关键。泵站规模升级需依据规划排涝标准与汇水区径流特征，重新核算泵站排涝规模，对规模不足的泵站实施扩容改造，增设机组、扩大泵池容量、提升扬程。设备更新采用高效节能水泵，提高运行效率与可靠性，增设备用机组保障应急工况。

双电源配置与应急供电保障是泵站可靠运行的基础,配置柴油发电机组或双路电源,避免电力中断导致泵站停运。智能调控系统集成水位监测、雨量监测、视频监控等感知设备,建立泵站运行调度模型,依据降雨预报与实时水位自动启停机组,实现无人值守与精准控制。

2.3 雨水调蓄设施建设与径流调控

雨水调蓄设施通过削峰错峰作用,有效缓解管网排水压力,是提升系统韧性的重要措施。调蓄设施类型包括地下调蓄池、调蓄湖、调蓄隧道、深层隧道等,依据城市用地条件与投资规模综合选型。地下调蓄池适用于用地紧张区域,利用公共绿地、广场、运动场地下空间建设,暴雨期间蓄纳超额雨水,雨后通过泵站抽排至管网。调蓄湖利用城市水体调蓄容量,通过控制闸门调节湖体水位,暴雨前预降水位腾出调蓄库容。调蓄隧道适用于大型排水系统,通过深埋隧道串联多个排水片区,实现区域统筹调蓄。调蓄设施规模依据设计降雨标准、汇水区面积、管网调蓄能力综合确定,规模过小难以发挥削峰作用,规模过大增加投资与运维成本。

3 排水系统优化与内涝防治的协同机制

3.1 系统规划与标准衔接

排水系统优化与内涝防治的协同需要规划层面的统筹与标准体系的衔接。城市排水专项规划应与国土空间规划、竖向规划、水系规划、道路交通规划等协同编制,明确雨水排放分区、管网布局、调蓄设施布局、泵站选址等核心内容,确保排水设施与城市发展同步建设。竖向规划是内涝防治的基础,通过优化道路高程与地块高程,引导雨水按规划路径排放,避免低洼区域积水。排水标准体系需衔接雨水管网设计重现期与内涝防治设计重现期,雨水管网按较小重现期设计保障常规降雨排水安全,内涝防治按较大重现期设计应对极端降雨。标准衔接还需明确不同重现期降雨下的积水控制要求,规定积水深度、积水时间、积水范围等指标,实现设计标准与内涝防治目标的统一。

3.2 智慧监测与预警联动

智慧监测与预警联动是提升内涝防治能力的技术支撑,通过感知网络、预警平台与应急响应的协同联动,实现内涝风险的实时监控与快速处置。感知网络在易积水点、关键管网节点、泵站、河道布设水位计、雨量计、视频监控等设备,实时采集降雨强度、管网水位、积水深度、泵站运行等数据,构建内涝监测数据库。预警平台集成气象预报、雷达反演、数值模拟等技术,建立城市内涝预报模型,提前预测暴雨影响范围与积

水深度,发布分级预警信息。预警信息通过政务平台、手机客户端、交通诱导屏等渠道精准推送至管理部门与社会公众。应急响应机制依据预警等级启动相应级别响应措施,包括泵站预降水位、应急队伍前置、交通管制、人员疏散等。

3.3 应急管理 with 多部门协同

应急管理是多部门协同应对极端降雨的关键环节,需要建立统一指挥、分工负责、快速响应的应急管理体系。组织架构层面,城市应成立防汛抗旱指挥部,统筹水务、住建、交通、气象、应急、公安、消防等部门力量,明确各部门职责分工与联动机制。水务部门负责排水设施运行与泵站调度,住建部门负责建筑工地与地下空间防汛,交通部门负责道路积水处置与交通疏导,气象部门负责降雨预报与预警发布,公安部门负责治安维护与交通管制。应急响应流程包括预警发布、应急启动、现场处置、信息报送、响应终止等环节,各环节明确责任主体与响应时限。物资储备方面,建立应急物资储备库,配备移动泵车、发电机组、应急照明、沙袋等抢险物资,定期维护更新。

4 极端降雨条件下内涝防治的系统集成

4.1 源头减排—管网排放—蓄排并举的复合体系

极端降雨条件下的内涝防治需要构建源头减排、管网排放、蓄排并举的复合型技术体系。源头减排层面,通过海绵城市建设改造地块下垫面,增加雨水下渗与滞留,从源头削减径流总量与峰值流量。新建区域严格落实海绵城市管控指标,既有区域结合旧城改造分步实施。管网排放层面,优化雨水管网布局与管径配置,提升管网系统排水能力,形成通畅的雨水收集与输送通道。管网改造应结合水力模型模拟,针对瓶颈管段与薄弱环节精准施策。蓄排并举层面,建设雨水调蓄设施与排涝泵站,通过调蓄削峰、泵站强排,解决管网排水能力不足与接纳水体水位顶托问题。调蓄设施与泵站联合运行,暴雨初期利用调蓄空间吸纳雨水,暴雨中后期利用泵站强排腾空调蓄空间。

4.2 灰色设施与绿色基础设施融合

灰色设施与绿色基础设施的融合是内涝防治的重要方向,通过两类设施的协同互补提升系统整体效能。灰色设施包括雨水管网、泵站、调蓄池等工程设施,具有快速排水、可控可靠的优势,是应对高强度降雨的核心力量。绿色基础设施包括透水铺装、下沉式绿地、雨水花园、绿色屋顶等生态化设施,具有径流削减、水质净化、景观提升的综合效益。两类设施融合体现在空间融合、功能融合与运行融合三个层面。空间融

合将绿色基础设施布设于灰色设施上游,雨水先经绿色基础设施渗透滞留后再进入管网,减轻管网压力。功能融合使绿色基础设施承担部分调蓄功能,在超标降雨时溢流进入灰色设施,形成串联互补。运行融合将绿色设施与灰色设施纳入统一调度系统,根据降雨预报与实时水位协调运行。

4.3 工程措施与非工程措施协同

工程措施与非工程措施的协同是内涝防治系统优化的重要保障。工程措施构筑内涝防治的物质基础,包括雨水管网、排涝泵站、调蓄设施、河道治理等,通过工程建设提升排水能力与调蓄容量。非工程措施提供内涝防治的软性支撑,包括规划管控、监测预警、应急管理、政策法规、公众参与等,通过管理手段提升系统运行效能。工程措施与非工程措施的协同体现在规划建设阶段的统筹,将内涝防治要求纳入城市规划与建设管理,从源头控制内涝风险。运行管理阶段的协同,通过监测预警与应急响应联动,确保工程措施在极端降雨时发挥最大效能。政策法规层面的协同,通过完善排水许可、雨水收费、海绵城市奖励等政策,引导社会力量参与内涝防治。

5 内涝防治与给排水系统优化的发展方向

5.1 标准提升与韧性增强

极端降雨频发背景下,内涝防治标准提升是保障城市安全的重要举措。内涝防治标准应根据城市重要性等级、人口密度、经济价值等因素差异化确定,重要城市核心区采用较高标准,新建区域按高标准规划,既有区域逐步改造提升。标准提升不仅体现在设计重现期取值,还应包括积水深度、积水时间、积水范围等控制指标。韧性增强强调系统在超标准降雨下的适应与恢复能力,通过建设备用通道、备用电源、移动泵车等,保障关键设施在极端工况下基本功能。管网系统韧性通过环状布置、分区连通、溢流通道等增强,调蓄系统韧性通过多点布局、分级设置、灵活调度等保障。

5.2 智慧赋能与精细管理

智慧赋能是内涝防治与排水系统优化的重要方向,通过新一代信息技术提升系统感知、分析、决策能力。数字孪生技术构建城市排水系统数字镜像,集成管网模型、泵站模型、地表漫流模型,实现降雨过程的虚实映射与模拟推演,为规划设计、运行调度提供决策支持。人工智能应用于降雨预报、内涝预测、泵站调度,通过机器学习算法提高预测精度与决策效率。物联网技术实现排水设施全要素感知,实时监测管网水位、泵站运行、积水情况,为精细化调度提供数据基础。精细管理依托智慧平台实现排水设施全生命周期管理,建设设施台账、运行记录、维护档案,实施预防性维护与状态检修。

6 结束语

极端降雨条件下城市内涝防治与给排水系统优化是一项系统工程,需要从成因机理、脆弱性分析、优化路径、协同机制等多个维度综合施策。给排水系统优化应聚焦雨水管网改造、排涝泵站升级、调蓄设施建设、海绵城市融合四大路径,提升系统排水能力与韧性。源头减排、管网排放、蓄排并举的复合型内涝防治体系,通过灰色设施与绿色基础设施融合、工程措施与非工程措施协同,构建起立体化的内涝防控格局。

参考文献:

- [1] 冯培培. 基于城市内涝防治的海绵城市建设研究 [J]. 水上安全, 2024, (07): 89-92.
- [2] 余昭炜. 海绵城市理念在市政内涝防治方面的应用研究 [J]. 散装水泥, 2024, (01): 76-79.
- [3] 刘伟. 海绵城市内涝防治系统功能解析 [J]. 房地产世界, 2023, (18): 112-115.
- [4] 黄兴勇. 海绵城市理念在市政工程中的应用 [J]. 江西建材, 2023, (01): 134-137.
- [5] 蒋嘉慧. 大中型海绵城市内涝防治策略研究 [J]. 黑龙江科学, 2022, (14): 98-101.