

# 城市雨水管网系统排水能力优化设计研究

赵冬琴

湖南省建筑科学研究院有限责任公司 湖南 长沙 410000

**摘要：**随着城市化快速发展及气候变化影响加剧，城市雨水管网系统排水能力面临严峻挑战。本研究针对此问题，系统分析了城市雨水管网系统的组成、功能及排水能力影响因素，构建了评估指标体系与数值模拟模型。通过案例研究，识别了管网排水瓶颈，提出了城市雨水管网系统排水能力优化设计路径。研究还强调了技术保障与政策建议的重要性，以提升管网排水能力，保障城市安全运行。

**关键词：**城市雨水管网系统；排水能力；优化设计

引言：随着城市化进程的加速，极端气候事件频发，城市内涝问题日益严峻，对居民生活及城市运行构成严重威胁。城市雨水管网系统作为城市防洪排涝的关键设施，其排水能力的优化设计显得尤为重要。当前，部分城市雨水管网存在设计标准偏低、动态适应性不足等问题，难以满足现代城市发展的需求。因此，开展城市雨水管网系统排水能力优化设计研究，对于提升城市防洪排涝能力具有重要意义。

## 1 城市雨水管网系统基础理论

### 1.1 雨水管网系统组成与功能

雨水管网系统是城市防洪排涝的核心基础设施，由多种功能单元协同构成，承担着收集、输送、调蓄和排放雨水的重要使命，保障城市正常运行与居民生命财产安全。主要由管渠、泵站、调蓄设施及附属构筑物组成。管渠是雨水输送的主体，分为雨水管和明渠，形成网状布局覆盖城市区域；泵站用于提升低洼地段雨水，确保其顺利排入接纳水体；调蓄设施（如调蓄池）可暂存峰值雨水，缓解管网排水压力，避免瞬时积水；附属构筑物包括检查井、雨水口等，用于检修和雨水收集。

### 1.2 排水能力影响因素分析

（1）降雨特性：是最直接的影响因素，包括降雨强度、历时和重现期。降雨强度越大、历时越长，管网承受的水量越大；重现期越高，设计降雨强度越大，对管网排水能力要求也越高。（2）地形地貌与下垫面条件：地形坡度影响雨水汇流速度，坡度越大汇流越快，易形成峰值流量；下垫面中硬化路面（公路、屋面）占比越高，雨水下渗量越少，地表径流量越大，加剧管网负担。（3）管网老化与维护状况：管网长期运行易出现管道腐蚀、破损、淤积等问题，降低过流能力；日常维护不到位，会导致杂物堵塞管渠，进一步削弱排水效率，甚至引发管网故障<sup>[1]</sup>。

### 1.3 现有设计标准与局限性

（1）设计重现期选择问题：现有设计重现期取值偏低，多适配常规降雨，面对全球气候变化下的极端暴雨天气，难以满足排水需求，易引发城市内涝；同时不同区域重现期分配不合理，部分核心区域与郊区标准一致，缺乏针对性。（2）传统的雨水管网设计多依赖于经验公式和静态参数，对动态降雨的适应性不足：假设降雨均匀分布，未充分考虑降雨时空分布不均、峰值瞬时突发等动态特征，导致设计方案与实际降雨情况脱节，管网在降雨峰值时段易出现溢流。

## 2 城市雨水管网系统排水能力评估方法

### 2.1 评估指标体系构建

（1）水力性能指标：核心反映管网自身的雨水输送与排泄能力，是评估管网运行状态的基础指标。其中，过流能力指管渠在设计条件下所能通过的最大雨水流量，直接决定管网的排水承载上限；充满度指管渠内实际水深与设计水深的比值，用于判断管渠是否处于超负荷运行状态，充满度过高易引发溢流；流速指标用于评估管渠内雨水流动效率，流速过低易导致泥沙淤积，过高则会加剧管渠磨损，需控制在合理区间。（2）风险评估指标：聚焦管网排水不畅引发的内涝隐患，衡量内涝灾害的发生概率与影响程度。内涝频率指单位时间内管网覆盖区域发生内涝的次数，反映内涝发生的频繁程度；积水深度指内涝时地表积水的平均深度，直接关系到对居民出行、交通运行的影响程度；影响范围指内涝积水覆盖的区域面积，涵盖居民小区、道路、市政设施等，用于评估内涝灾害的整体危害程度<sup>[2]</sup>。

### 2.2 数值模拟模型选择

（1）SWMM、InfoWorks ICM等模型对比：两种模型均为当前城市雨水管网评估的主流工具，各有适配场景。SWMM模型操作简便、开源免费，擅长单一区域

管网的水力模拟,可精准计算管渠流速、充满度及地表积水量,适用于中小城市或局部管网的评估;InfoWorks ICM模型功能更全面,支持大范围管网与流域的耦合模拟,可整合GIS数据、气象数据,模拟极端降雨下的管网响应,适用于大城市全域管网的综合评估,但操作难度较高、需付费使用。(2)模型参数本地化校准方法:模型默认参数与当地实际情况存在差异,需通过本地化校准提升精度。核心方法是收集当地管网实测数据、降雨监测数据,以实测值为基准,调整模型中的曼宁系数、汇流时间、下渗参数等核心指标,通过反复迭代,使模型模拟结果与实测数据的误差控制在合理范围,确保模型能够准确反映当地管网的实际排水性能。

### 2.3 案例分析:某城市现状管网评估

(1)数据收集与处理:核心收集两类基础数据,一是管网GIS数据,包括管渠走向、断面尺寸、泵站位置、检查井分布等,对破损、缺失的数据进行补充完善,构建管网空间数据库;二是降雨监测数据,收集当地近5年的常规降雨与极端降雨数据,筛选代表性降雨事件,整理降雨强度、历时等核心参数,确保数据的完整性与准确性。

(2)现状排水能力模拟与瓶颈识别:采用InfoWorks ICM模型进行模拟分析,导入校准后的本地化参数与收集的数据,模拟不同降雨场景下管网的运行状态。结果显示,该城市老城区部分老旧管渠过流能力不足、充满度超标,暴雨时易发生溢流;部分路段管网坡度不合理,流速过低导致泥沙淤积,甚至存在逆坡管段、大管接小管管段,进一步削弱排水能力;低洼区域缺乏调蓄设施,雨水汇流过快,形成内涝隐患,上述区域即为管网排水瓶颈。

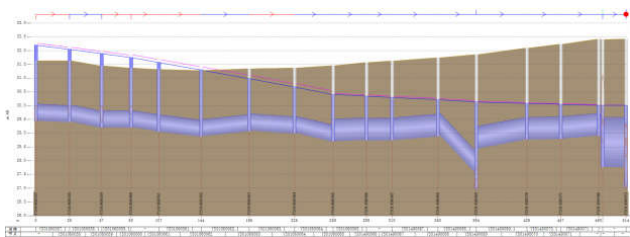


图1 严重逆坡管段

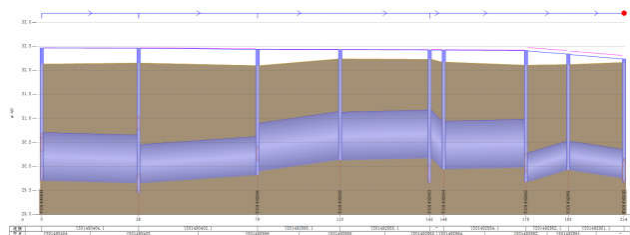


图2 大管接小管管段

## 3 城市雨水管网系统排水能力优化设计路径

### 3.1 灰色基础设施的系统性升级与改造

管网系统的更新与扩容:管网系统的实际排水能力往往受限于少数关键管段。通过水力模型模拟不同重现期设计降雨情景,可识别每一段管道对应的实际排水能力标准,从而定位系统中的瓶颈管段。这些瓶颈管段通常表现为:坡度不足导致流速过低、管径偏小造成上游壅水、下游顶托引发回水影响等。针对瓶颈管段,重点提升管渠过流能力、优化管网拓扑结构,优化措施包括扩大管径、调整坡度、增设平行管道分流、改造倒虹管等。泵站能力提升与联动:在低洼区域和重要节点新建或改扩建雨水泵站,并与管网形成联动体系,确保管网在常规降雨、极端降雨等不同场景下,均能快速、顺畅排出雨水,可以大幅缩短积水时间。雨水泵站流量要按泵站进水总管设计流量和收集范围内雨水量计算确定,确保收水和排水能力相匹配。调蓄设施的建设:调蓄池如同城市的“海绵胃”,能有效缓冲瞬时强降雨对管网的压力,在城市建设和更新中留白增绿,结合空间和竖向设计,优先利用自然洼地、坑塘沟渠、园林绿地、广场等实现雨水调蓄功能,做到一地多用。因地制宜、集散结合建设雨水调蓄设施,发挥削峰错峰作用。通过优化设计控制内涝发生频率,降低积水深度、缩小积水影响范围,重点保障城市主干道、居民密集区、市政核心设施等区域的通行与运行安全<sup>[3]</sup>。

### 3.2 绿色海绵设施与灰色系统的协同优化

面对高密度城市土地资源紧缺的现实,“灰绿协同”成为破解治涝困局的新思路。这一模式强调将绿色海绵设施与灰色管网系统作为一个整体进行联动优化设计。坚持新城区以目标为导向,推行“海绵+”模式,所有新建项目必须同步规划、同步设计、同步建设海绵设施。主要包括海绵型道路:使用透水铺装、建设生态树池、路缘石开口,将雨水引入两侧的绿地;海绵型建筑与小区:要求建设绿色屋顶、雨水收集系统(用于绿化灌溉、冲厕)、下沉式绿地、渗透塘等;海绵型广场与停车场:大面积使用透水铺装,并配套建设植草沟、雨水花园。老城区以问题为导向,推行“+海绵”模式:结合老旧小区改造、市政道路提升、公园绿地升级等项目,见缝插针植入海绵元素。

### 3.3 水力模型的构建与系统评估

(1)降雨-径流-管网耦合模拟:构建降雨、径流、管网水力一体化耦合模型,实现全流程协同模拟。首先通过降雨模拟模型,结合当地降雨监测数据,模拟不同重现期、不同强度降雨的时空分布特征;再通过地表径流

模型,计算不同下垫面条件下的地表径流量、汇流时间与汇流过程,明确雨水汇入管网的流量与时序特征;最后结合管网水力模拟模型,模拟雨水在管渠、泵站、调蓄设施中的输送、调控过程,精准捕捉管网运行瓶颈,为优化设计提供精准、全面的数据支撑,确保优化方案更具针对性。(2)考虑气候变化与城市化的动态优化:结合气候变化趋势,将极端降雨频次增加、降雨强度增大等气候因素融入耦合模型,优化设计重现期与管网承载能力,提升管网应对极端天气的韧性;兼顾城市化进程中,硬化下垫面面积增加、地表径流系数上升、城市用地布局调整等变化,动态调整管网优化参数与设计方

#### 4 城市雨水管网系统排水能力优化设计保障措施与政策建议

##### 4.1 技术保障措施

(1)智能监测与实时调控系统:搭建覆盖全域的管网智能监测网络,在管渠关键节点、泵站、调蓄设施及易内涝区域,安装流量、水位、积水深度等监测设备,实现管网运行数据的实时采集、传输与分析。依托大数据、物联网技术,构建智能调控平台,根据实时监测数据,动态调整泵站运行参数、调蓄设施调度方案,优化雨水输送路径,及时化解管网超负荷运行风险,提升管网运行效率。(2)管网维护与应急管理机制:建立常态化管网维护机制,定期开展管渠清淤、疏通、腐蚀检测、破损修复等工作,重点清理管内淤积杂物、修复老化破损管道,保障管渠过流能力。完善内涝应急管理体系,制定不同降雨场景下的应急处置预案,明确应急响应流程、责任分工,配备应急排水设备与物资,加强应急演练,提升极端降雨下的快速处置能力,最大限度降低内涝灾害损失。

##### 4.2 政策与管理建议

(1)跨部门协同规划机制:打破部门壁垒,建立住建、水利、气象、自然资源等多部门协同规划机制,统筹城市管网建设、流域治理、城市规划等工作,避免各自为政。在管网优化设计过程中,加强多部门沟通协

作,共享降雨、地下管线、城市用地等相关数据,协同解决规划、设计、施工中的交叉问题,提升优化设计的科学性与合理性。(2)动态设计标准更新制度:结合气候变化、城市化发展趋势及管网运行实际,建立动态的管网设计标准更新制度。定期修订设计重现期、管径选型、过流能力等相关标准,将极端降雨防控要求融入设计标准,针对不同区域的功能定位,实行差异化设计标准,提升设计标准的适应性与前瞻性,确保优化设计符合城市发展需求<sup>[5]</sup>。(3)公众参与与海绵城市建设结合:拓宽公众参与渠道,通过宣传引导、意见征集等方式,提高公众对管网优化设计、内涝防控工作的认知度与参与度,鼓励公众参与管网维护监督。推动管网优化设计与海绵城市建设深度结合,推广透水路面、绿色屋顶、雨水花园等海绵设施,减少地表径流,分担管网排水压力,形成“管网+海绵”协同排水模式,提升城市整体排水防涝能力。

##### 结束语

城市雨水管网系统排水能力优化设计研究,旨在应对城市化与气候变化带来的内涝挑战。通过系统分析管网基础理论、构建评估体系、探索优化设计方法,并辅

##### 参考文献

- [1]李锐,武昕.城市雨水管网系统弹性及关键点识别[J].中国市政工程,2024,(06):58-63.
- [2]戴勇.沿海城市中心城区内涝防治积水点改造工程实例[J].给水排水,2024,60(S2):125-129.
- [3]周鹏.基于多目标优化算法的城市雨水管网改造设计研究[J].江西建材,2025,(01):161-163.
- [4]陈思远,刘洋.城市雨水管网排涝能力评估与优化研究[J].给水排水,2023,39(2):112-118.
- [5]赵晨光,孙晓明.基于GIS的城市雨水管网规划与管理[J].水资源保护,2022,28(4):56-62.