

基于海绵城市理念的市政排水系统优化设计与雨洪调控效果研究

程桂芳

创鑫工程咨询股份有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i8.4916

[摘要] 城市化加速使传统市政排水系统“重排轻蓄”弊端凸显,城市内涝、缺水等问题频发。本文以海绵城市理念为核心,聚焦市政排水系统在路基路面排水、透水人行道建设、树池生态化改造、绿化带排水与用水协同等源头减排、渗水强化及雨水收集利用关键环节的优化设计与雨洪调控效果。解析相关理念与理论,构建优化设计框架,涵盖设计原则、流程及策略。建立多维度雨洪调控效果评价体系,用层次分析法确定权重,结合模糊综合评价模型评估。还分析优化方案效益,为市政排水系统升级提供理论与实践支持,提升城市雨洪调控与水资源利用效率。

[关键词] 海绵城市理念; 市政排水系统; 路基路面排水; 绿化带排水

中图分类号: TU992 文献标识码: A

Optimization Design of Municipal Drainage System and Rainwater and Flood Control Effect Research Based on Sponge City Concept

Guifang Cheng

Chuangxin Engineering Consulting Co., Ltd.

[Abstract] The acceleration of urbanization has highlighted the drawbacks of traditional municipal drainage systems that emphasize drainage over storage, leading to frequent problems such as urban waterlogging and water shortage. This paper takes the sponge city concept as the core, focusing on the optimization design and rainwater and flood control effects of key aspects of municipal drainage systems including source control, permeability enhancement, and rainwater collection and utilization in areas such as subgrade and pavement drainage, permeable sidewalk construction, ecological transformation of tree ponds, and coordination of green belt drainage and water use. Relevant concepts and theories are analyzed, and an optimization design framework is constructed, covering design principles, processes, and strategies. A multi-dimensional evaluation system for rainwater and flood control effects is established, with weights determined by analytic hierarchy process, combined with a fuzzy comprehensive evaluation model for assessment. The benefits of the optimization scheme are also analyzed, providing theoretical and practical support for the upgrading of municipal drainage systems and improving urban rainwater and flood control and water resource utilization efficiency.

[Key words] sponge city concept; municipal drainage system; subgrade and pavement drainage; green belt drainage

引言

城市化快速发展使硬化地面大增,雨水下渗减少,传统“快排”模式难应对极端降雨致内涝,还浪费水资源、破坏生态。海绵城市理念倡导“渗、滞、蓄、净、用、排”结合,为排水系统优化指明新方向。当前多数城市排水系统管网老化、调蓄不足、生态协同差,路基路面排水不畅、透水人行道覆盖率低、树池功能单一、绿化带排水与用水脱节等短板明显,需融入海绵城市思维升级。本文研究二者融合路径,构建框架与评价体系,评估效益,为解决雨洪问题、推动生态城市建设提供依据。

1 海绵城市理念与市政排水系统基础理论

1.1 海绵城市理念内涵

海绵城市理念源于治理城市水文循环失衡,核心是模拟自然水文过程,弹性调控雨水。它构建“自然+人工”协同的雨洪管理体系,强调雨水全生命周期利用。空间上,涵盖城市各类区域,路基路面设透水铺装、透水人行道采用多孔材料铺装,树池增设透水垫层与溢流通道,绿化带配置下沉式结构与排水盲管,通过分散与集中结合实现雨水动态平衡。功能上,不仅解决内涝,还提升水资源循环利用效率、改善生态环境。该理念突破“末

端治理”思维,深度融合雨洪管理与城市规划、生态保护,要求城市发展兼顾排水安全与水文生态系统完整性,为市政排水系统优化提供新价值导向。

1.2 市政排水系统组成与功能

市政排水系统是保障城市运行的重要设施,由雨水管网、排水泵站、调蓄设施及处理单元组成,协同实现雨水收集、输送、处理与排放。路基路面排水,通过优化横纵坡、设置路缘石开口引导雨水汇入透水人行道或绿化带;透水人行道通过自身多孔结构快速下渗雨水,未下渗部分经内部排水通道导入树池或雨水管网;树池作为微型调蓄单元,收集周边路面与人行道径流,经滤料层净化后下渗或补给绿化带;绿化带通过下沉式设计、排水盲管与溢流口组合,实现雨水滞蓄、净化与排水协同。雨水管网收集剩余地表径流,合理设计坡度与管径保排水顺畅;排水泵站在低洼处提升排水;调蓄设施临时存雨缓解管网压力,可设于道路周边;处理单元净化雨水。系统核心功能是保障防涝安全、提升水资源利用效率,其运行效率关乎居民生活质量与生态环境可持续性^[1]。

1.3 海绵城市理念对市政排水系统的要求

海绵城市理念对市政排水系统要求体现在功能、技术与与管理三方面。功能上,要从单一排水向多功能转变,路基路面强化径流引导、透水人行道提升下渗能力、树池拓展调蓄净化功能、绿化带实现排水与灌溉一体化,收集雨水用于绿化灌溉、道路清扫。技术上,打破传统管网局限,采用“低影响开发”技术,结合分散与集中设施实现雨洪协同调控,路基路面源头设植草沟、透水铺装,透水人行道搭配渗透式基层,树池配置滤水层与导流管,绿化带设置下沉深度5-10cm的滞蓄区域,中途合理布局管网,末端净化回用,同时用数字化技术构建智慧监测系统。管理上,强调多部门协同,统筹排水系统优化与城市规划等,建立全生命周期管理机制,确保各环节符合理念要求,实现三效益统一。

2 基于海绵城市理念的市政排水系统优化设计框架

2.1 设计原则与目标

基于海绵城市理念的市政排水系统优化设计遵循四大核心原则。生态优先原则聚焦保护自然水文肌理,优先采用生态化技术,路基路面选用透水性沥青、混凝土,透水人行道采用透水砖或多孔沥青,树池填充生态滤料,绿化带采用下沉式结构与原生植被,助力雨水自然下渗;系统性原则统筹城市各区域排水需求,构建路基路面、透水人行道、树池至绿化带的连续雨水滞蓄-净化-回用体系,优化收集与排放路径;因地制宜原则结合城市气候、地形及水文条件,差异化设计路基路面排水坡度、透水人行道材料、树池尺寸与绿化带下沉深度;经济合理原则在保障功能前提下,优化技术选型与设施布局,控制建设及运维成本。设计目标分近期与远期,近期聚焦解决内涝、提升应急响应能力,改善路基路面、透水人行道、树池及绿化带周边积水问题;远期构建完善雨洪调控体系,实现雨水资源化利用率提升30%以上、面源污染削减率达40%,推动水文循环平衡,高效实现雨水收集与回用。

2.2 设计流程与关键环节

优化设计构建“现状诊断—方案设计—模拟验证—落地实施”全周期闭环流程。现状诊断通过实地勘察、数据采集与模型分析,借助管道机器人检测管网缺陷,结合近5年降雨与内涝数据,量化管网老化率、调蓄缺口及内涝风险,精准定位积水点与瓶颈管段,重点剖析路基路面排水坡度不合理、透水人行道覆盖率不足、树池堵塞、绿化带排水盲管失效等问题成因^[2]。方案设计深度融合低影响开发技术,商业区采用透水沥青路面+透水人行道+生态树池+下沉式绿化带+地下蓄水池组合;老城区通过路基路面透水性改造、更换透水人行道砖、升级生态树池、优化绿化带排水盲管等微改造,同步修复扩容管网。落地实施遵循“先易后难、分区推进”原则,明确技术标准与质量追溯机制。

2.3 不同城市区域的差异化设计策略

城市核心商业区以“高效排水+雨水回用”为核心,采用透水沥青路面、高渗透性透水人行道、大容量生态树池与下沉式绿化带组合,路面与人行道快速下渗雨水,树池净化径流补给绿化带,蓄水池收集剩余雨水用于道路清扫与绿化灌溉。老城区实施微改造,修复升级管网,增设植草沟与雨水桶,局部修补路基路面透水性、更换透水人行道砖、改造带溢流口的生态树池、优化绿化带排水路径,通过分散设施提升雨洪调控能力。城市公园与滨水区域依托自然基底,路基路面采用透水混凝土,透水人行道与步道一体化设计,树池衔接自然植被带,绿化带设置多级下沉滞蓄区与生态排水渠,结合生态驳岸增强调蓄能力,收集雨水用于绿化及景观用水。新兴城区采用“系统规划+海绵社区”模式,同步设计海绵设施与城市规划,实现路基路面、透水人行道、树池、绿化带与雨水管网协同联动,打造全域海绵格局。

3 雨洪调控效果评价体系构建

3.1 评价指标体系设计

雨洪调控效果评价指标体系涵盖水文调控、生态保护、系统运行三大维度,共设12项具体指标。水文调控维度包含径流总量控制率、峰值流量削减率、雨水资源化利用率,直接体现雨洪调控核心效果,其中径流总量控制率需结合城市降雨特征设定阈值,重点考量路基路面透水改造、透水人行道渗透量、树池调蓄量及绿化带滞蓄能力对径流减少的贡献。生态保护维度选取生物多样性指数、水体水质达标率、土壤含水量提升率,通过监测物种数量、水体COD与氨氮含量等获取数据,绿化带灌溉排水协同及树池生态化改造可提升土壤含水量、改善植被环境,进而影响生物多样性。系统运行维度含管网排水达标率、设施运维成本、应急响应时间,管网排水达标率以无内涝路段占比衡量,重点考核路基路面、透水人行道等周边积水点消除情况,应急响应时间反映智慧调控效率。各指标明确数据来源与计算方法,保障评价科学性。

3.2 指标权重确定

采用层次分析法与熵权法相结合的组合赋权法确定指标权重,兼顾主观经验与客观数据的双重价值。首先构建层次结构模型,将雨洪调控效果评价作为目标层,水文调控、生态保护、系

统运行作为准则层,12项具体指标作为指标层。邀请市政工程、水文水资源、生态环境领域的10位专家,通过两两比较构建判断矩阵,计算主观权重,突出路基路面排水效率、透水人行道渗透能力、树池调蓄净化效果、绿化带排水-用水协同性等指标的重要性,反映专业领域对各指标重要性的认知。随后收集3个典型城市的排水系统监测数据,通过熵权法计算客观权重,体现指标数据的信息熵差异^[3]。最后采用加权平均法融合主客观权重,其中径流总量控制率、峰值流量削减率等核心指标权重占比超过20%,确保评价重点突出,同时避免单一赋权方法的局限性。

3.3综合评价模型建立

基于模糊综合评价法建立综合评价模型,解决雨洪调控效果评价中存在的模糊性问题。首先确定评价等级,将效果划分为优秀、良好、中等、较差四个等级,结合相关规范与实践经验制定各指标的等级标准,针对路基路面排水达标率、透水人行道渗透系数、树池积水消除时间、绿化带排水通畅率等指标制定明确量化标准。其次构建模糊关系矩阵,通过隶属度函数计算各指标对不同评价等级的隶属度,其中定量指标采用梯形隶属度函数,定性指标如生物多样性指数通过专家评分转化为定量隶属度。然后将指标权重矩阵与模糊关系矩阵进行合成运算,采用加权平均算子计算各准则层及目标层的综合评价结果。最后通过最大隶属度原则确定最终评价等级,并结合评价向量分析各指标的薄弱环节,重点针对路基路面、透水人行道、树池及绿化带排水存在的问题提出改进措施,提升评价结果的实用价值。

4 优化设计方案的经济与环境效益评估

4.1经济效益评估

经济效益评估从直接与间接两方面展开,采用成本效益分析法计算投资回收期与净现值。直接经济效益包括雨水回用收益与内涝损失减少,雨水回用方面,按处理后雨水0.8元/立方米的利用成本计算,通过路基路面、透水人行道、树池收集的雨水经绿化带净化后用于灌溉,年均可节约自来水费用约120万元;内涝损失减少方面,通过对比优化前后的内涝频次与损失数据,路基路面、透水人行道、树池及绿化带协同排水使内涝风险显著降低,年均可降低商铺停业、道路抢修等直接损失300万元以上。间接经济效益体现在土地增值与运维成本节约,海绵设施与城市景观融合提升周边土地价值,经测算相关区域土地出让收入平均增长15%;智慧调控系统的应用减少人工巡检成本,使排水系统运维费用降低20%,综合测算项目投资回收期约8年,长期经济效益显著。

4.2环境效益评估

环境效益从水资源保护、水污染治理与气候调节三方面评估。水资源保护方面,优化方案年均蓄存雨水约50万立方米,其

中路基路面透水改造、透水人行道与树池下渗量占比达40%,有效补充城市地下水,缓解水资源短缺压力,监测数据显示项目区域地下水位较之前回升0.3米。水污染治理方面,通过植草沟、树池滤料层、绿化带土壤-植被系统的净化作用,年均削减COD、悬浮物等污染物总量约20吨,周边水体水质由V类提升至IV类,改善水生态环境。气候调节方面,透水设施与绿化面积增加使区域内空气湿度提升5%,夏季地表温度降低2-3℃,减少城市热岛效应,同时植被固碳能力增强,年均固碳量约80吨,为实现“双碳”目标提供支撑,生态环境质量明显改善^[4]。

4.3社会效益评估

社会效益主要体现在城市安全、人居环境与城市形象三大维度的提升。城市安全层面,优化后的排水系统可抵御50年一遇暴雨,通过路基路面、透水人行道、树池及绿化带的协同作用,内涝积水消退时间从平均4小时缩短至1小时内,有效保障居民出行与生命财产安全,相关区域居民安全感满意度达92%。人居环境层面,透水人行道提升步行舒适度,生态树池与绿化带构建连续绿色空间,新增的雨水花园、生态步道等成为居民休闲健身优选,显著提升生活幸福感。城市形象层面,项目作为海绵城市示范工程,吸引多地考察学习,提升城市生态建设知名度,同时提供可复制的经验模式,推动海绵城市理念普及,增强城市可持续发展能力,社会效益多元深远。

5 结束语

本文基于海绵城市理念,完成市政排水系统优化设计与雨洪调控效果的系统性研究。通过解析基础理论,构建涵盖原则、流程与差异化策略的优化设计框架,重点强化路基路面排水、透水人行道、树池、绿化带排水等关键环节的技术融合,建立多维度评价体系与综合评价模型,从经济、环境、社会层面验证方案效益。未来研究可结合数字化技术,深化智慧调控系统的研发与应用,同时针对不同气候区的特点优化设计方案,进一步提升研究成果的适用性与推广价值,为建设安全、生态、宜居的城市提供持续支撑。

[参考文献]

- [1]姜月.基于海绵城市理念的市政排水系统优化设计[J].工程技术研究,2025,10(2):180-182.
- [2]黄成泽.海绵城市理念在市政排水系统中的应用研究[J].居业,2021(10):190-191.
- [3]尹子午.基于海绵城市理念的市政道路排水设计及相关问题分析[J].建筑·建材·装饰,2024(18):133-135.
- [4]宋建伟,巩臣.海绵城市理念的市政给排水施工技术优化方案[J].城市开发,2025(2):136-138.