

Study on the Synergistic Control Effect of Sponge City Construction on Urban Flooding and Non-point Source Pollution under the Background of Climate Change

Shuli Sun

Hangzhou Binjiang Water Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

Abstract

In recent years, the global climate change situation has become increasingly severe, with frequent extreme rainfall events and imbalanced spatial and temporal distribution of precipitation. Urban waterlogging and non-point source pollution are intertwined and escalating, becoming serious obstacles to urban sustainable development. This article mainly studies the issues of urban waterlogging and non-point source pollution under the background of climate change. The research results indicate that the impact of climate change on urban water environment is of great significance. Taking the construction of “sponge cities” as the research object, a method combining monitoring data and model simulation is adopted to quantitatively evaluate the collaborative governance effect of “waterlogging” and “non-point source pollution” in the process of “sponge city” construction, in order to provide practical reference for the construction of “sponge cities” and the collaborative governance of “waterlogging” and “non-point source pollution”.

Keywords

climate change; sponge city; urban waterlogging; non-point source pollution; coordinated control

气候变化背景下海绵城市建设对城市内涝及面源污染协同控制效果研究

孙淑丽

杭州滨江水务有限公司, 中国·浙江 杭州 310051

摘 要

近年来, 全球气候变化形势愈发严峻, 极端降雨事件频发、降水时空分布失衡等问题加剧, 城市内涝与面源污染问题相互交织、愈演愈烈, 成为城市可持续发展的严重阻碍。本文主要研究气候变化背景下城市内涝和非点源污染问题。研究结果表明, 气候变化对城市水环境的影响具有重要意义。以“海绵城市”建设为研究对象, 以“海绵城市”为研究对象, 采用监测数据和模型模拟相结合的方法, 定量评价“海绵城市”建设过程中“内涝”与“面源污染”的协同治理效果, 以期为“海绵城市”建设、“内涝”与“面源污染”的协同治理提供实践借鉴。

关键词

气候变化; 海绵城市; 城市内涝; 面源污染; 协同控制

1 引言

随着城市化进程的加快, 不透水层面积增大, 降雨径流系数增加, 排水压力增大。传统的城市建设模式侧重于快速排水, 而忽略雨水的自然渗透、贮存和净化, 导致城市内涝问题日趋严重。雨水冲刷城市下垫面(如路面、屋面等), 将石油、重金属、垃圾等污染物带入水体, 对河流湖泊等水环境造成污染, 对城市生态安全和居民身体健康构成威胁。

“海绵城市”是一种全新的城市建设理念与模式, 其目的是通过“渗、滞、蓄、净、用、排”等技术手段, 实现城市对

雨洪的弹性自适应, 缓解内涝, 净化非点源污染。开展“海绵城市”建设对城市内涝和非点源污染的协同调控效应研究, 对于提升城市生态弹性和实现可持续发展意义重大。

2 气候变化对城市水文环境的影响

2.1 极端降雨事件变化特征

在气候变化背景下, 极端降水的强度、频次和持续时间都发生明显的变化。全球变暖背景下, 极端降水的强度和频次不断增加。我国不同区域的极端降水变化特征存在一定的差异。极端降水强度在北部增加较多, 南部则增加较多。例如, 在过去 50 年中, 东北部的极端降水强度平均上升 15%~20%; 与过去 30 年相比, 长江中下游极端降水年频次增加 1~2 倍。极端降水事件频繁发生, 导致短期降雨强度急

【作者简介】孙淑丽(1999-), 女, 中国浙江杭州人, 本科, 助理工程师, 从事环境工程、环境技术类研究。

剧增加,超过城市排水管网的承载量,容易引发城市内涝^[1]。

2.2 城市水文循环改变

随着城市化进程的推进,大量不透水性路面(如沥青、水泥路面等)被广泛应用,改变城市原有的下垫面特性。不透水层面积的增大,使降雨入渗减少,地表产流系数增加;研究表明,与天然绿地相比,不透水层的产流系数只有0.1~0.2,而不透水层的产流系数达到0.8~0.9。降雨的下渗量减少,导致地下水补给不足,地下水位降低;地表径流的快速汇集增加城市排水系统压力,增加城市内涝风险。与此同时,快速的地表径流将大量污染物带入水体,加剧城市非点源污染^[2]。

2.3 城市内涝与面源污染加剧

受气候变化与城镇化影响,城市内涝与非点源污染相互交织,日趋严重。暴雨引发的城市内涝不仅导致道路淹水、基础设施受损,而且大量污染物质被冲入排水管网和水体,加剧非点源污染。然而,非点源污染引起的水环境恶化又会影响雨水处理效果,从而影响“海绵城市”建设的成效。城市内涝与非点源污染形成恶性循环,对城市生态安全及居民生活质量构成严重威胁。

3 海绵城市建设的理论基础与技术措施

3.1 海绵城市建设理念

“海绵城市”是指通过加强城市规划建设,充分发挥建筑、道路、绿地、水系等生态系统对雨水的吸收、蓄渗与缓释功能,对雨水径流进行有效控制,达到自然蓄积、自然渗透、自然净化的城市开发模式。它的核心思想就是顺应自然,尊重自然,建立与自然和谐相处的城市水环境体系,使城市具有很好的“弹性”,能够适应环境的变化,应对自然灾害。“海绵城市”是指把城市建设和生态保护有机地结合在一起,以达到可持续发展的目的^[3]。

3.2 海绵城市建设技术措施

3.2.1 渗透技术

渗透技术以提高降雨入渗能力为核心,改变城市下垫面特性,强化土壤吸雨功能,缓解地表产流压力。透水铺装是一种最常用的透水技术,它由透水砖、透水混凝土等特殊材料铺筑而成,内部存在大量连通孔隙,可大大降低雨水的入渗阻力。以某城市主干路改建工程为例,采用透水混凝土铺装3万平方米路面后,监测发现,小雨条件下降雨时水下渗率达到90%以上,中雨条件下渗效率达到75%以上,比传统沥青路面下渗量提升近8倍;另外,渗池、渗井等设施还通过人为地构造地下渗滤空间,扩大雨水的渗滤范围。某住宅小区建设一座容积500立方米的地下渗池,池壁采用透水性材料,底部填满砾石和沙层,能有效地收集周围区域的屋顶和路面雨水,经过渗滤池处理后,地下水回灌效率大大提高,雨季时周边地下水水位回升0.8米左右。通过这些技术的协同作用,实现区域整体降雨渗透率的提高60%~80%,从而达到“源头消减”的目的(图1)^[4]。

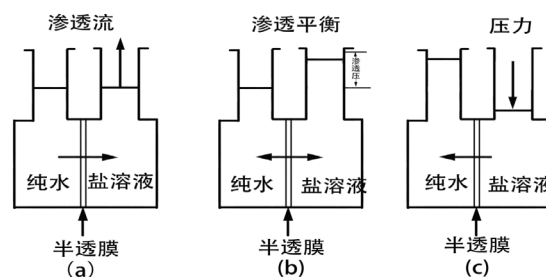


图1 渗透技术

3.2.2 滞留技术

滞留技术是一种通过延缓降雨径流速率,延长降雨滞留时间,从而降低排水系统的最大泄流压力的方法。沉陷式绿地是一种典型的滞洪设施,其设计标高比周围地面低10~30cm,形成自然蓄雨空间,同时辅以植物和植物土壤。某公园内建有2万平方米的下沉式绿地,在30mm降雨条件下,成功截留约400m³的雨水,并延时2~3小时,有效缓解下游排水管网压力。雨水花园是一种集景观和功能为一体的设施,一般由表层植被土,中层沙层,底层砾石和植被组成。在某市商业区,单个面积约100m²的雨水花园中,种植大量耐水湿植物,当下雨时,它将相当于降雨面积80%的雨水截留下来,并利用植物的蒸腾作用,将滞留雨水的蒸发损失降低30%左右。沉陷式绿地结合雨水花园等雨水滞留设施,将区域内的雨水径流截留率提高到20~30%。

3.2.3 储存技术

储存技术旨在通过对降雨过程中的雨水进行临时存储,使其在时间和空间上重新分布,从而为下一步的使用和排放创造条件。雨水桶,雨水箱是家庭或小建筑物常用的,容积一般在0.5~5m³之间,它收集屋顶的雨水,供庭院绿化和灌溉用。在一个小区推广安装500个2m³雨水箱后,一年收集2000m³左右的雨水,满足小区绿化和灌溉用水的40%;大型水库在城市层面发挥着重要作用,如某“海绵城市”示范区建设一座容积5万立方米、配有完善雨水收集管网的钢筋混凝土地下水库。当暴雨来临时,水库能有效地储存周围2平方公里的降雨,最大径流量可减少60%。通过存储技术,城市灵活地应对不同强度的雨强,提高雨水资源的利用效率,增强城市内涝应对能力。

3.2.4 净化技术

净化技术是利用物理、化学、生物等手段去除雨水中的污染物,提高雨水的质量。雨水湿地利用水生植物、微生物及基质等协同作用对雨水进行净化处理,并在浅水区、深水区及沼泽区内种植芦苇、菖蒲等水生植物,实现对雨水的净化。研究表明,在城市河道边修建10万平方米的雨水湿地,对水体中悬浮态SS、COD和氨氮的去除率分别为85%、65%和55%;生态滤池是一种利用植物、土壤及微生物对雨水进行过滤、吸收的方法。一条长500米的生态滤沟,采用砾石、火山岩等过滤材料,种植植物,对雨水悬浮物的去除率高达70%,有机污染物达40%。通过以上几项净化技术,可有效地保证雨水水质,降低非点源污染对水环境的影响。

3.2.5 回用技术

回用技术是将经净化的雨水回用于城市生活用水领域,达到水资源循环利用的目的。雨水收集与处理系统通常由雨水收集管网、初期排出装置、过滤装置及消毒装置组成。一所学校雨水回用系统,年集雨量5万立方米,经过沉淀、过滤和消毒处理后,供校园绿化灌溉、道路冲洗及景观补水使用,一年节省3万立方米的市政用水,节约水费12万元左右;在工业方面,一些工厂利用雨水回用技术,将雨水回用到对水质要求不高的地方,如冷却、洗涤等。利用中水回用技术,减少对城市供水的依赖,提高水资源利用率,减轻城市供水压力(图2)。

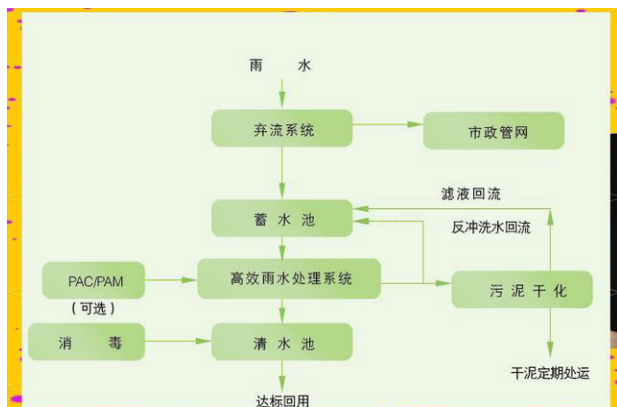


图2 回用技术

3.2.6 排放技术

排放技术是指在减少对受纳水体影响的前提下,采用生态友好的方式排出雨水。生态沟渠采用植物护坡、天然河道等措施,减缓雨水流速,促进雨水的下渗与净化。一条长3公里的生态沟渠,沟底铺满天然卵石,两侧植草植物,可减少雨水流速40%,有效地降低土壤侵蚀;植被缓冲区设置于水体周围,起到植物阻截、土壤渗透等作用,对雨水中污染物进行去除的作用。研究表明,在湖滨带建设10米宽的植被缓冲区内,种植乔、灌、草复合植被,对雨后悬浮颗粒物去除率达80%,氮磷污染物去除率达50%。排水工艺与其他技术措施相互配合,使雨水有序地排出,并达到生态处理的目的。

4 海绵城市建设对城市内涝及面源污染的协同控制机制

4.1 减少地表径流,缓解城市内涝

“海绵城市”是指通过渗透、截留、贮存等多种技术手段,实现对地表径流的多重削减,从而有效缓解城市内涝压力。透水铺装以透水砖和透水混凝土为主要材料,利用其特有的孔隙结构,使雨水快速下渗,较传统硬质铺装提高60%~80%。以某实验区为例,通过铺设5万平方米的透水铺装,5年一遇降雨可使该区地表径流减少4000m³左右。沉陷式绿地和雨水花园均采用地势较低的地形设计,形成自然蓄雨空间,截留20%~30%的雨水径流,减缓径流汇集速率,

减小排水系统瞬时压力。当城市建成区20%~30%区域实施海绵化改造后,总体地表径流总量可减少30%~50%,径流峰值减少40%~60%，“错峰”调蓄功能。

4.2 净化雨水,控制面源污染

“海绵城市”非点源污染治理技术设施是“海绵城市”治理的重要防线。通过植物根系吸附阻污、土壤滤除杂质、微生物降解有机污染物,构建“植物—土壤—微生物”协同净化系统。研究表明,雨水湿地对水体中悬浮颗粒物、COD和氨氮的去除率分别达到60%~90%、40%~70%、30%~60%。透水铺装促进雨水入渗的同时,也对水体中的悬浮物和重金属有一定的阻截作用,如某城市道路改建工程采用透水性铺装,可使雨水中铅锌含量下降45%,锌含量下降38%。此外,植被缓冲带还可通过植被阻隔及土壤入渗等措施将地表径流中的污染物去除70%~80%,有效净化雨水,降低非点源污染对水体的污染。

4.3 协同控制的耦合关系

“海绵城市”对城市内涝和非点源污染的防治不是孤立的,而是一个有机的有机整体,互相联系,互相促进。一方面,减少地表径流既可直接缓解内涝,又可减少雨水携污总量,在“海绵城市”示范工程中,地表径流削减35%,非点源污染负荷减少30%左右。另一方面,有效控制非点源污染,保证排水系统及受纳水体的洁净,防止因污染物堵塞或腐蚀而失效,如雨水湿地因水质改善可延长2~3年,提升内涝防治能力。雨水调蓄回用实现水资源的再利用,减少市政用水及污水排放量,间接缓解城市供水压力。形成“内涝缓解—水质净化—设施运行优化—协同调控”的良性循环,显著提高海绵城市治理内涝和面源污染的效能,促进城市生态系统健康可持续发展。

5 结论

在全球气候变化和城镇化快速发展背景下,“海绵城市”作为一种新型治理模式,对城市内涝和面源污染具有显著的协同治理效果。研究表明,采用“渗—滞—蓄—净化—利用—排放”技术措施,可减少地表径流总量,提高污染物的去除效率,有效缓解内涝,净化水质,具有显著的经济效益、社会效益和生态效益。未来需要加强顶层设计、优化设施布局;完善质量监督和运行管理制度,促进多种技术的融合与创新,进一步提升“海绵城市”在应对城市内涝和非点源污染方面的协同治理能力,促进城市可持续发展。

参考文献

- [1] 潘育红. 城市内涝防治视角下的海绵城市建设路径分析[J]. 生态与资源,2025(1):41-43.
- [2] 何志国,王俭峰. 基于城市内涝防治的海绵城市建设研究[J]. 砖瓦世界,2025(6):136-138.
- [3] 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(7):97-99.
- [4] 樊晓燕. 系统化全域推进海绵示范城市建设的成效分析[J]. 中州建设,2025(3):16-17.