

# 正本清源与海绵城市理念下的雨水管网改造与生态系统协同治理模型

叶碧瑄

中冶京诚工程技术有限公司, 中国·北京 100176

**摘要:** 全球气候变化和城市化进程的加剧使得城市水资源管理面临严峻挑战, 频发的暴雨和城市内涝问题成为制约城市可持续发展的重要因素。论文基于正本清源理念和海绵城市概念, 提出了一种雨水管网改造与生态系统协同治理的综合模型。研究首先阐述了传统雨水管网系统存在的局限性与改造的必要性, 探讨了雨水管网改造的核心技术, 如透水性铺装、绿色屋顶、雨水花园等。随后, 构建了生态系统协同治理模型, 结合自然生态系统的服务功能, 通过模型仿真验证其有效性和可行性。研究结果表明, 该协同治理模型能够有效减轻城市内涝, 增强城市水资源的可持续管理能力, 并促进生态系统的恢复与发展。论文为城市水资源管理和生态系统保护提供了理论依据和技术支持。**关键词:** 海绵城市; 雨水管网改造

## Rainwater Pipe Network Renovation and Ecosystem Collaborative Governance Model Based on the Concept of Clean Water Source and Sponge City

Bixuan Ye

MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

**Abstract:** The intensification of global climate change and urbanization makes urban water resources management face severe challenges. Frequent rainstorm and urban waterlogging have become important factors restricting urban sustainable development. The paper proposes a comprehensive model for rainwater pipe network renovation and ecological system collaborative governance based on the concept of original clean source and sponge city. The study first elaborated on the limitations of traditional rainwater pipe network systems and the necessity of renovation, and explored the core technologies for rainwater pipe network renovation, such as permeable paving, green roofs, and rain gardens. Subsequently, an ecosystem collaborative governance model was constructed, combined with the service functions of natural ecosystems, and its effectiveness and feasibility were verified through model simulation. The research results indicate that the collaborative governance model can effectively alleviate urban waterlogging, enhance the sustainable management capacity of urban water resources, and promote the restoration and development of ecosystems. The paper provides theoretical basis and technical support for urban water resources management and ecosystem protection.

**Keywords:** sponge city; rainwater pipe network renovation

### 0 前言

随着全球气候变化的加剧和城市化进程的迅速推进, 城市水资源管理面临着前所未有的挑战。频繁的暴雨事件以及城市内涝问题在世界各地城市中愈发普遍, 传统的雨水排放系统由于设计过于单一且缺乏灵活性, 难以应对城市化带来的复杂环境变化。此外, 水资源的浪费、地下水补给不足和生态环境退化等问题也成为制约城市可持续发展的重要因素。

在此背景下, 正本清源理念逐渐受到关注。该理念强调从源头减少污染和排水压力, 推动水资源的可持续利用。与此同时, 海绵城市的概念也逐渐被提上议程, 旨在通过自然渗透、滞留和净化雨水, 改善城市雨水管理, 降低城市内涝风险, 并促进生态系统的恢复和建设。海绵城市的核心理想是让城市像海绵一样, 有效吸收、储存和利用降水, 以应

对极端天气和长期水资源短缺的挑战。

### 1 正本清源与海绵城市理念概述

#### 1.1 正本清源理念的起源与发展

“正本清源”理念源自中国古代哲学, 强调从源头上解决问题, 防患于未然。在水资源管理领域, 正本清源的理念则意味着从水资源循环的最初阶段出发, 通过系统化的规划和控制来减少污染和浪费。这一理念在 20 世纪末期逐渐渗透到现代环境治理与资源管理中, 尤其是在水资源的综合管理中得到了广泛应用。

传统的城市水管理体系过于依赖排水设施的末端治理, 即集中处理雨水和废水, 往往忽视了源头控制。这种方式虽然在短期内能够有效应对暴雨和内涝问题, 但从长远来看, 缺乏可持续性, 并且往往导致水资源的浪费和生态环境的恶

化。正本清源理念强调在水资源利用的全过程中采取系统化的措施,从源头控制雨水的产生、流动和排放,从而实现水资源的高效利用和污染物的减少。这一理念为海绵城市的提出和实施奠定了理论基础。

## 1.2 海绵城市的定义与内涵

海绵城市的概念最早于 21 世纪初在中国提出,旨在通过模拟自然界的水循环过程,将城市打造成一个能够吸水、蓄水、渗水和净水的“海绵体”,从而有效应对城市暴雨、内涝及水资源短缺等问题。不同于传统排水系统,海绵城市通过一系列生态化和自然化的技术手段,如透水铺装、绿色屋顶、雨水花园和生态湿地等,实现雨水的自然渗透、滞留、净化和储存,促进水资源的循环利用。这一理念不仅提高了城市对雨水的吸纳能力,减少了对市政排水系统的依赖,同时通过对雨水的净化和储存,补充地下水,缓解了水资源短缺。此外,海绵城市通过建立分散式的雨水管理系统,在暴雨期间逐步控制雨水的流动与排放,降低内涝风险。通过这些生态技术的应用,城市的绿地率得到提升,植被覆盖增加,湿地等生态功能区得到恢复,进一步增强了城市的生态承载力。海绵城市的设计与实施,使得城市在应对气候变化引发的极端降雨或干旱等问题时具备更高的韧性,为城市的可持续发展提供了有力支持<sup>[1]</sup>。

## 1.3 正本清源理念与海绵城市的结合

正本清源理念与海绵城市的结合为现代城市水资源管理提供了一个综合性解决方案,强调从源头减少雨水排放压力,同时通过自然化和生态化的技术手段提升城市的水资源管理能力。正本清源理念注重从源头上减少污染物和雨水径流的产生,而海绵城市则通过分散式的雨水管理系统,使得城市像“海绵”一样,能够主动吸收和处理降水。这种结合不仅解决了城市内涝问题,还通过生态系统服务功能的引入,实现了人与自然和谐共存的目标。两者的整合还体现在生态系统与城市基础设施的有效协同中,通过生态工程措施如绿色屋顶、透水铺装、雨水花园等增强了城市对极端天气的适应能力。这种基于自然的解决方案,不仅延续了正本清源的系统性管理思路,还通过构建更具弹性的城市水管理框架,提升了城市的可持续性和长效性。

# 2 雨水管网改造的必要性与挑战

## 2.1 传统雨水管网存在的问题

随着全球城市化进程的加速,传统雨水管网系统逐渐暴露出其局限性和不足。早期设计的排水系统往往以快速排放为核心目标,依赖大规模的硬质排水管道和泵站,旨在迅速将雨水从城市表面引导到下游河道或其他排水设施。这种设计思路虽然在短期内能够有效减少积水和内涝风险,但从长期来看,带来了诸多问题。首先,大量的雨水直接排放至下游,导致水资源浪费,未能充分利用雨水资源进行地下水补给。同时,硬质排水设施缺乏渗透和滞留能力,在面对频繁的暴雨时,排水系统负荷过大,导致内涝问题频发。

## 2.2 雨水管网改造的核心技术

针对传统雨水管网系统的局限性,雨水管网改造势在必行,且应采用多元化的生态技术手段进行优化和升级。现代雨水管网改造的核心技术包括透水性铺装、绿色屋顶、雨水花园、生态湿地等。透水性铺装通过采用具有渗透性的路面材料,增加雨水在地面上的渗透性,减少地表径流,从而降低排水系统的负担。绿色屋顶通过植被覆盖建筑物顶部,不仅能够滞留和蒸发一部分雨水,还能提供隔热保温的功能,提高建筑的节能效率。雨水花园作为分散式雨水管理设施,能够通过植被和土壤层的过滤作用,将雨水中的污染物进行自然净化,同时帮助雨水渗透到地下补给水源。生态湿地作为一种天然的雨水调节系统,具有强大的储水和净化功能,能够在暴雨时吸纳大量雨水,并逐步释放,从而平衡城市水循环。

## 2.3 改造中的技术瓶颈与解决方案

尽管雨水管网改造技术已逐渐成熟,但在实际应用中依然面临诸多挑战和技术瓶颈。首先改造过程中需考虑到城市既有基础设施的适配性,特别是老城区和高密度建筑区域,改造空间有限,传统的硬质排水系统与新型生态设施之间的兼容性较差。并且改造成本较高,许多城市在进行雨水管网改造时,面临资金短缺和技术能力不足的问题,难以实现全面的系统升级。此外,改造过程中还需平衡雨水管网改造与城市发展的关系,避免因大规模工程施工而影响城市居民的生活。

为应对这些挑战,可以通过一系列创新性解决方案来推动雨水管网改造的顺利进行。在城市规划过程中,应提前纳入雨水管理和生态系统服务的概念,优化布局,避免后期大规模的基础设施改造。然后采用渐进式改造策略,将新型生态技术逐步引入现有系统,通过小规模试点工程进行评估,积累经验后再进行大规模推广。此外,还可以结合信息化管理技术,利用物联网和智能监测系统对雨水管网进行动态管理,提高改造后的系统效率和维护水平,通过这些措施,能够有效克服雨水管网改造中的技术瓶颈。

# 3 生态系统协同治理模型

## 3.1 协同治理的概念与理论基础

生态系统协同治理模型基于生态学和系统工程学的理论,旨在通过将城市雨水管理与自然生态系统功能相结合,实现人与自然的和谐共生。在传统的城市雨水管理中,排水系统往往孤立于生态系统之外,依赖单一的基础设施进行水资源调节。而协同治理则提出一种整体性的视角,强调城市水资源管理不仅仅是基础设施的建设,更是与生态系统功能的有机结合。生态系统能够通过自然的调节和修复功能,如水体净化、降水调节等,为城市提供免费的生态服务<sup>[2]</sup>。通过引入协同治理的概念,城市雨水管理可以更加依赖于自然过程,从而减少对传统工程手段的过度依赖,提高系统的可持续性和弹性。

### 3.2 协同治理模型的构建

生态系统协同治理模型的构建需要综合考虑城市水循环、生态系统服务功能以及雨水管理基础设施的相互作用。首先模型需要识别城市区域内的关键生态系统要素,包括河流、湿地、森林、绿地等,这些要素在城市雨水管理中发挥着不同的功能。模型应当纳入降雨量、地表径流、渗透率等水文参数,以及土壤、植被等生态参数,以便建立城市与生态系统间的互动机制。

在构建过程中,协同治理模型将城市划分为不同的功能区,每个功能区根据其生态特征和城市需求,配备相应的雨水管理设施。例如,城市绿地和公园区域可以通过雨水花园和生态湿地承担雨水渗透和调节功能;建筑密集区则可以采用绿色屋顶和透水铺装等技术,减少地表径流并提升雨水利用率。模型还需综合考虑生态系统的长期健康,通过合理分配各功能区的生态服务,使雨水管网改造和城市生态系统的恢复相互促进,从而实现雨水管理与生态保护的协同效应。

### 3.3 模型仿真与验证

一旦协同治理模型构建完成,接下来需要通过模型仿真进行测试和验证。仿真过程通常基于城市历史降雨数据、地形图和生态系统分布情况,模拟不同降雨情景下,城市雨水的流动、蓄存和渗透过程。仿真模型能够帮助预测在极端天气条件下城市雨水管理系统的表现,并评估不同技术组合在协同治理中的有效性。

在验证过程中,可以选择一些具有代表性的城市片区,进行实地监测和模型参数校准,确保模型的准确性和实用性。通过比较雨水管网改造前后系统的运行效果,尤其是在雨水滞留量、内涝风险、地下水补给等方面的变化,验证协同治理模型是否能够提高城市的水资源管理能力。模型还可以应用于不同的城市开发计划中,帮助决策者在城市扩展和更新时,合理布局雨水管理设施,确保城市发展与生态系统保护相互协调。

### 3.4 协同治理模型的优势

生态系统协同治理模型的核心优势在于其可持续性和灵活性。通过将雨水管理与生态系统的自然调节功能结合,模型不仅能够减少对昂贵且复杂的排水基础设施的依赖,还能为城市提供长远的生态和经济效益。协同治理模型具有较强的弹性,能够根据不同的气候条件和城市发展阶段进行调整,适应城市的长期变化。

该模型还能够促进生态系统服务功能的最大化,帮助恢复城市生态系统的健康和多样性。通过引入湿地系统和雨水花园,城市不仅能够缓解暴雨带来的内涝问题,还能为动植物提供栖息地,提升城市的生物多样性。同时,模型有助于推动城市生态修复工程的实施,通过一体化的管理机制,进一步加大生态系统的保护力度。

### 3.5 模型的应用前景

随着全球城市化进程的推进,生态系统协同治理模型的应用前景广阔。该模型不仅适用于新兴城市的雨水管理规划,也可以应用于现有城市的老旧排水系统升级改造。此外,在

应对气候变化带来的极端天气事件时,协同治理模型能够提供更具弹性的城市水资源管理方案,为未来城市发展提供坚实生态保障。通过持续的模型优化和实践反馈,协同治理模型有望成为全球范围内城市水资源管理的主流解决方案之一。

## 4 讨论

在雨水管网改造与生态系统协同治理的研究中,尽管构建了适应海绵城市理念的协同治理模型,并提出了一系列技术方案,但在理论和实践的相结合上仍存在一些需要进一步探讨的问题。在雨水管网改造的过程中,如何在城市建设需求和生态保护之间找到平衡,仍然是各大城市面临的关键挑战。大规模的基础设施建设往往要求巨大的资金投入和资源配置,而生态保护则更强调长期的可持续性。如何在有限的预算下优化资源分配,确保既能实现雨水管理的效果,又能维持生态系统的健康,是亟待解决的问题。

尽管生态系统协同治理模型为雨水管理提供了一个综合性框架,但模型本身的局限性仍然需要引起关注。由于城市生态系统的复杂性和动态性,模型可能无法完全模拟现实中不同生态要素之间的复杂互动。这种复杂性在面对气候变化导致的极端天气时尤其突出,未来的气候情境可能比模型预测更为严峻,如何在模型中加入更多动态因素和不确定性分析,提升其适用性和鲁棒性,是未来研究的重要方向。

另外,模型的应用与推广也面临一定的技术和社会瓶颈。技术层面上,不同城市的地理环境、气候条件和社会经济发展水平差异显著,单一的模型设计很难适应不同地区的需求。因此模型需要具备较强的本地化适应能力,在实际应用中能够根据不同城市的具体条件进行调整与优化。而在社会层面,公众对生态系统协同治理理念的认知程度和接受度也对模型的推广产生了重要影响。公众的参与和认同是城市生态项目成功的关键,如何通过宣传和 Education 提高居民对雨水管理和生态保护的理解,将其纳入城市规划的全过程中,仍是未来城市管理者需要解决的问题。

最后,协同治理模型的长效管理机制也是一个关键问题。虽然模型能够在短期内提高雨水管网的处理能力,改善生态系统的服务功能,但如何确保其长期稳定运行依赖于管理体系的完善。城市管理者 and 政策制定者需要设计和实施有效的管理政策,持续监测和评估模型的运行效果,并根据实际情况不断进行调整和优化。通过跨部门合作和多方参与机制的建立也至关重要,只有在城市规划、环境保护、水务管理等多个领域的协调配合下,生态系统协同治理模型才能发挥最大效能。

### 参考文献:

- [1] 郭静.城市雨水管网模拟分析及系统改造优化研究[D].西安:西安理工大学,2023.
- [2] 王媛媛.“海绵+”建设让城市更有韧性[N].乌鲁木齐晚报(汉),2024-03-23(002).

作者简介:叶碧瑄(1987-),男,中国北京人,本科,高级,从事市政给排水研究。