

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.04.006

基于海绵城市理念的城市水系规划方法及实践

王连接, 王开春, 吴连丰, 黄黛诗, 王宁, 谢鹏贵, 王泽阳
(厦门市城市规划设计研究院有限公司, 福建 厦门 361012)

摘要: 城市建设开发过程中水系空间经常被侵占,导致城市内涝、水体污染、水生态破坏、水资源短缺等问题凸显。而海绵城市建设理念的提出带来系统化治理的思路,可有效解决城市水系建设中存在的问题。以厦门市苏厝河流域为例,通过分析现状水系规划建设面临的问题,结合海绵城市建设理念的要求,统筹城市空间与水系的关系,提出了水系全生命周期建设的策略及系统治理水系的措施,以解决城市开发过程中的水安全、水生态、水环境及水资源问题。基于海绵城市理念的城市水系规划编制方法,将海绵城市理念融入前期的规划管控、实施中的水系建设及后期的景观营造,取得了较好效果。

关键词: 海绵城市; 蓝绿空间; 生态修复; 水系规划

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)04-0032-05

Urban Water System Planning Method and Practice Based on Sponge City Concept

WANG Lian-jie, WANG Kai-chun, WU Lian-feng, HUANG Dai-shi, WANG Ning,
XIE Peng-gui, WANG Ze-yang

(Xiamen Urban Plannign & Design Institute Co. Ltd., Xiamen 361012, China)

Abstract: During urban construction and development, the water system space is frequently being invaded, resulting in issues like urban waterlogging, water pollution, water ecological destruction, water resources shortage and other problems. The concept of sponge city construction introduces systematic governance, which can effectively address these challenges and improve the current state of urban water system construction. Taking Sucuo River basin of Xiamen as an example, this paper analyzes challenges encountered in current water system planning and construction. Combining the requirements of sponge city construction concept, this paper proposes strategies for the whole life cycle construction of water system and systematic management measures to address issues related to water security, water ecology, water environment, and water resources during urban development by coordinating the relationship between urban space and water systems. In the urban water system planning method based on the sponge city concept, the sponge city concept is integrated into the planning control during the early stage, the water system construction in the implementation and the landscape construction in the later stage. The method has a good practice effect.

Key words: sponge city; blue-green space; ecological restoration; water system planning

通信作者: 王开春 E-mail: xmwkc@163.com

在快速城镇化进程中城市水系空间被随意侵占,由此带来了一系列的安全、生态与环境问题,如城市下垫面快速硬化导致的内涝安全问题频发,城市水污染排放造成城市水生态及水环境的恶化,城市水系空间被侵占造成水资源滞蓄空间缺失。水系作为城市基础设施建设中不可分割的一部分,是实现海绵城市的重要途径之一。而海绵城市建设能够保障水安全、改善水环境、保护水生态、涵养水资源,使城市的发展更好地顺应自然。因此,迫切需要将海绵城市建设理念融入城市水系规划开发过程中,解决城市建设过程中面临的水系统问题。

在城市水系规划理念上,国内已有相关的研究,例如王宁等^[1]以厦门作为研究对象,通过解析“韧性水系”的概念和科学内涵,提出了沿海城市“韧性水系”的构建方法与实施路径。王文瀚^[2]围绕水量和水质两方面,重点论述了海绵城市规划指标融入到各规划的主要内容,旨在实现城市水安全、水生态、水环境和水资源的目标。宋悦^[3]结合海绵城市建设要求,提出了水系生态修复治理的具体策略及措施。李婧^[4]从生态优先、多功能统筹、空间协调等方面,探索了将海绵城市理念落实到水系规划编制中的方法。张俊等^[5]对海绵城市建设试点城市厦门翔安新城试点区的水系空间问题进行研究,提出了在恢复水系格局的基础上合理确定适宜水面率的水系空间问题的治理对策。

上述研究从韧性城市、海绵城市、宜居城市等多个角度对城市水系规划进行探讨,但在水系全生命周期建设角度响应海绵城市建设方面仍有欠缺,即将海绵城市建设理念融入前期的水系空间管控、实施过程的水系建设及后期的滨水空间景观营造,并进行详细的规划及设计。基于此,以厦门市苏厝河流域为例,分析城市水系特点与水系规划的难点,在此基础上提出水系全生命周期规划建设的策略和具体措施,以探索融入海绵城市理念的城市水系规划编制方法。

1 苏厝河流域概况

苏厝溪发源于洪塘镇龙泉村,流域面积约9.57 km²,河长8.77 km,坡降为2.53%,流向为东北向西南,其东支流与西支流在洪塘镇政府处合流后经苏厝、石浔和龙西村在南镇宫处汇入龙东溪主流,最终汇入同安湾。苏厝河流域地势北高南低,最高

点位于东北角山体,高程超50 m;最低点位于西南角,高程小于0 m。现状地势较平坦,整体坡度在10%以内,部分区域坡度较大,达30%,地面排水条件较好。现状建设用地面积约2.82 km²,主要包括城中村建设用地、工业用地、物流仓储用地和空闲地;其他非建设用地面积约6.75 km²,主要包括水域、农林用地及其他非建设用地,见图1。

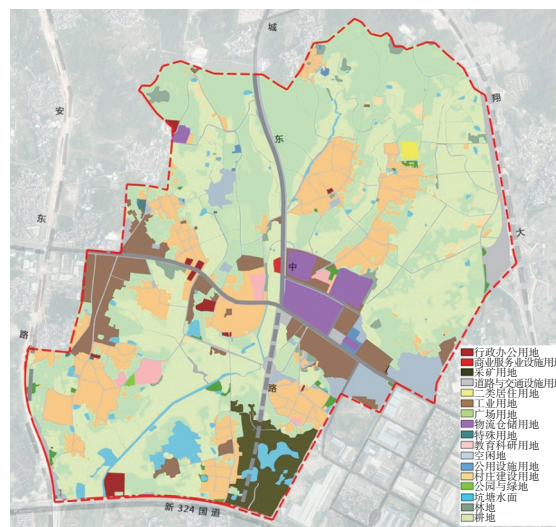


图1 苏厝河流域土地利用现状

Fig.1 Land use status of Sucuo River basin

2 城市水系建设面临的问题

2018年苏厝溪完成安全生态水系整治工程,然而工程只是修复了现状堤防岸线,现状河道仍存在过路段不通畅、水量少且水质差、水生态系统破碎等问题,亟需在城市开发建设过程中给予解决,以满足片区高品质开发建设的要求。

2.1 防洪排涝能力不足

苏厝溪现状河道狭窄,过路段水流不畅,经评估现状防洪能力仅为10年一遇。下游地势低洼平坦,出口处受下游龙东溪洪水顶托影响,大雨时河道水位偏高,对周围地块排水造成影响,导致流域内洪涝频发。

2.2 水环境形势恶劣

苏厝河流域内污水处理设施及配套管网亟待建设完善,污水未能得到有效的收集和处理,对河道水质造成较大影响。此外,河道周边存在大量的农田、村落等,农业面源、农村生活污水、城镇径流污染等多种污染源进入河道,导致河道环境污染负荷大。根据检测数据,现状水质仅为地表劣V类水,主要超标污染物为总氮、氨氮、总磷、化学需氧量。

2.3 水生态功能单一

苏厝溪已完成整治的河道使用混凝土、浆砌石等硬化材料,现状硬质驳岸总长度约3.20 km,占总驳岸长度的49%。河道沿线多为直立护岸,不仅破坏了河岸植被赖以生存的基础,而且阻碍了河流自身的自净功能,影响生物群落的多样性。

2.4 水资源开发不足

苏厝溪流域降雨年际、年内变化大,雨季旱季分明。冬季河道内水位较低,局部断流,河床裸露。上游汇水流域面积小,能汇集的雨水资源量少,如需维持河道水面需充分开发利用片区内的非常规水资源。

3 海绵城市建设对水系规划的要求

为保障片区的开发质量,结合海绵城市建设理念,落实“先梳山理水,再造地营城”的新城建设理念,以提高流域水质标准、优化水生态系统格局、创造良好生境为核心,提出基于源头-过程-末端的系统化水系规划方案,构建完整的水系生态体系,确保流域水系统的健康持续发展。

海绵城市理念与城市水系专项规划的融合示意如图2所示。

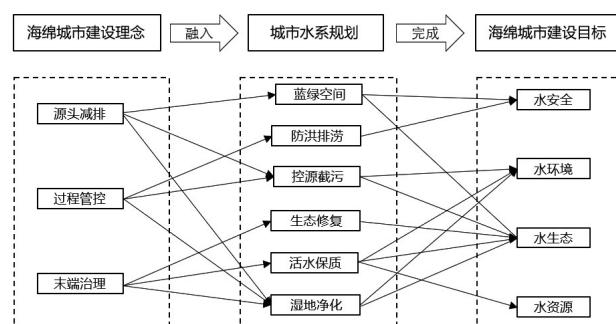


图2 海绵城市理念与城市水系专项规划的融合

Fig.2 Integration of sponge city concept and urban water system planning

3.1 源头减排

在海绵城市建设中,源头减排是城市雨水径流控制最重要的防线。通过合理规划建筑与小区、绿地与广场、城市道路等各类型地块中的低影响开发设施,发挥其对雨水径流的存蓄、下渗及净化等功能,吸收和净化雨水径流中的污染物,有效控制城市雨水径流污染,降低城市水系内污染负荷。而海绵城市的源头减排与控源截污系统中的污染控制相呼应,其削减后的雨水径流污染物又需通过蓝绿

空间系统中的绿地及湿地净化系统进行进一步的净化。

3.2 过程控制

相对于源头控制,过程控制更强调管网系统的完善和可持续管理。新城区开发建设应按规范标准建设雨污分流管网,周边农村区域应做好控源截污,确保将城市及农村生活污水输送至污水厂处理。在城市郊区段,应进一步加大面源污染治理力度,减少农业和畜禽养殖业的污染物,积极推进河道周边环境的综合整治。海绵城市的过程控制与防洪排涝系统的雨水管网建设、控源截污系统的污水管道建设相呼应,末端湿地净化系统需根据雨水管网排口进行布置以净化雨水径流污染。

3.3 末端治理

海绵城市建设最后的防线集中在末端水体治理上,主要通过设置生态湿地、改造河道护岸等措施,提升水体的调蓄及净化能力。根据河道两侧用地的性质和空间大小,结合初期雨水径流污染控制、面源污染控制及景观打造等因素,合理布局人工湿地,对入河水体进行净化。同时,建造适宜的生态护岸,营造良好的生态景观效果。海绵城市的末端治理主要针对城市水体整治,在入河污染物控制中需采用湿地净化系统,同步做好生态修复系统。为保障河道水量,考虑采用活水保质系统对河道进行生态补水。

4 基于海绵城市理念的城市水系规划

城市水系规划以问题为导向,重点围绕水安全、水环境、水生态、水资源四大目标,系统提出水系规划具体实施的子系统,通过划定城市蓝绿管控空间,形成“蓝绿交织、清新明亮、水城共融”的新城格局,通过各子系统打造,确保河道行洪安全及生态基流,保障水安全、改善水环境、保护水生态、涵养水资源,为下一步景观营造提供集结水安全、水环境、水生态、水资源四大体系的功能性要求。

4.1 蓝绿空间,构建通畅的水系生态廊道

遵循自然生态优先原则,与城市规划专业配合,结合片区开发建设要求,划定水系蓝线,实现水系在空间上的强制性管制和保护,构建苏厝溪流域整体水系网络,将苏厝溪建设成连接生态绿地的水系生态廊道。同时将河道两侧50~200 m范围的城市绿地作为缓冲绿带,确保河道绿线不被侵占,充

分发挥城市蓝绿空间综合生态效应。苏厝河流域蓝绿空间分布见图3。



图3 苏厝河流域蓝绿空间分布
Fig.3 Distribution of blue-green space in Sucuo River basin

4.2 防洪排涝,打造安全韧性的城市格局

基于城市规划水系布局,从苏厝河流域的洪涝特性出发,确定“上蓄、中疏、下排”的防洪规划布局,并采用 MIKE11 模型进行防洪优化,从工程衔接、规划工程可达性、新建中央湖水系等角度出发,充分利用周边绿地、水域以优化洪涝滞蓄空间,制定相应的防洪方案措施,进一步优化河道防洪水位,解决下游水位顶托问题。同时规划苏厝河流域内的雨水管网,采用 ICM 排水防涝模型复核片区积涝风险,将积水深度控制在 15 cm 以下,保障道路行车安全。针对排水能力不足、改造困难的片区,选取排水系统下游的道路,通过竖向设计改造,构建多条道路行泄通道,将道路雨水引入周边水系。

4.3 控源截污,保持源清流洁的河道水质

针对城镇面源污染,采用海绵城市理念削减初期雨水污染,新建区采用“源头减量、就地处理”的治理理念,按照海绵城市理念和指标要求规划建设。针对流域内的农业面源污染,将农业灌溉和退水渠改造为生态型沟渠,通过植物的拦截、吸收作用去除部分面源污染物,在入河区域布置生态隔离带,即将农田低洼侧的一小部分改造为生态隔离带,用于拦截泥沙、去除部分可溶性氮磷养分以农药等。同时对流域内城市建设区及城中村的生活污水系统进行全面整治,将农村污水统一收集后就近接入污水管道系统,并输送至污水处理厂集中处

理,以防止污水进入苏厝溪造成二次污染。

采取上述措施后,采用 ICM 面源污染模型,以 2017 年降雨为典型年降雨,预测不同开发建设模式下各海绵管控单元全年进入河道的污染物总量(见表1),为后续湿地净化系统布置提供设计依据。

表1 2017年随降雨排入苏厝溪的污染物总量
Tab.1 Total amount of pollutants discharged into Sucuo River with rainfall in 2017 $t \cdot a^{-1}$

开发模式	传统开发模式污染负荷			海绵城市建设模式污染负荷		
	COD	氨氮	总磷	COD	氨氮	总磷
单元1	52.12	0.44	0.04	29.62	0.19	0.02
单元2	34.47	0.32	0.03	22.00	0.13	0.01
单元3	63.38	0.41	0.03	44.00	0.16	0.01
单元4	96.45	0.62	0.05	70.01	0.25	0.02
单元5	66.33	0.61	0.05	40.41	0.24	0.02
单元6	35.56	0.39	0.03	21.06	0.16	0.01
单元7	89.62	0.50	0.05	49.42	0.19	0.02
单元8	98.97	0.66	0.05	73.07	0.28	0.02
合计	536.90	3.95	0.33	349.59	1.60	0.13

4.4 湿地净化,削减入河环境污染负荷量

城市水体末端治理主要通过水系内部的清淤整治,采取水位维持措施,在河岸设置生态湿地等,提升净化入河水质,保障河道的水量及水质。对苏厝溪进行全面清淤,并结合河道竖向及景观设计,设置2座跌水堰、15座壅水设施,既可形成 1.0~1.5 m 左右的河道水深,同时通过跌水曝气提高水质。结合雨水管道及再生水补水口位置,在河道周边绿地布置 11 处人工湿地,面积约 8 hm²,以净化入河雨水径流及再生水。湿地净化系统布置见图4。



图4 湿地净化系统布置
Fig.4 Layout of wetland purification system

4.5 活水保质,保障多源循环的生态水量

充分利用雨水及再生水资源,构建充足、多源的水资源保障体系,为河道补充水源,使河道发挥城市水系的景观娱乐、生态保育、洪涝调蓄等功能。运用分项功能法,计算得出苏厝河流域最终生态环境需水量为 $2.24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,河道换水周期约9 d。采用MIKE21构建片区水质模型,通过河道流速及叶绿素等参数,进行片区水流、富营养化情况的模拟与预测,确定最优的生态补水方案。

4.6 生态修复,营造生物多样的河道生境

对自然岸线进行生态提升,采取河道滩地修复、滨水植被带建设以及硬质化岸线生态改造等措施,对岸线进行生态改良。经过形态优化,使得河道水流自然蜿蜒曲折,整体以缓流为主,为水生动植物提供良好的自然生境。在常水位0.8 m以下种植湿生植物,高程为1.2~2.5 m的空间作为弹性湿地,湿地内、外部均以缓坡形式入水;局部营造浅滩、深潭,整体保障亲水空间安全。在水生植物生长稳定后,投放适当的水生动物,构建稳定的水生生物群落。

4.7 景观营造,打造多姿多彩的游憩空间

在景观规划设计中,与水系规划子系统紧密衔接,实现景观系统与水系统间的相互补充。在防洪排涝系统上,水面线的设计决定了滨水人行步道的通畅性及亲水性。控源截污决定河道水质,影响周边景观绿化的打造。对补水口进行生态化景观化处理,设计多样化的湿地表现形式,打造多彩的湿地景观效果,以融入自然生态。活水保质系统决定景观设计常水位、枯水位及丰水位,对雨季及早季不同景观效果起决定性作用。生态修复系统需结合驳岸类型营造出自然生态、功能丰富的岸线景观。

5 结论

城市水系规划是实现海绵城市建设的重要途径之一。从苏厝河流域的水系特征及现实问题出发,基于海绵城市建设理念,提出了水系规划全生命周期建设的策略和具体措施,将海绵城市建设中的源头减排-过程控制-末端治理的系统化治理要求融入蓝绿线空间、防洪排涝、控源截污、末端治理、活水保质、生态修复等子系统规划,通过与景观

系统互补衔接,解决了传统规划设计及实践中存在的问题,取得了较好的效益。

参考文献:

- [1] 王宁,黄黛诗,田健,等.沿海城市韧性水系规划方法与实践研究[J].给水排水,2022,48(12):76-83.
WANG Ning, HUANG Daishi, TIAN Jian, et al. Study on the planning method and practice of the resilient river system in coastal cities [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(12):76-83(in Chinese).
- [2] 王文瀚.融入海绵城市理念的城市水系统规划[J].水资源开发与管理,2021(6):38-44,72.
WANG Wenhan. Urban water system planning integrated with sponge city concept [J]. Water Resources Development & Management, 2021(6):38-44,72(in Chinese).
- [3] 宋悦.海绵城市理念下城市水系生态修复治理策略[J].工程技术研究,2020,5(12):269-270.
SONG Yue. Ecological restoration and management strategy of urban water system under the concept of sponge city [J]. Engineering and Technological Research, 2020,5(12):269-270(in Chinese).
- [4] 李婧.海绵城市视角下城市水系规划编制方法的探索[J].城市规划,2018,42(6):100-104.
LI Jing. Exploration on urban waterway planning methodology from the perspective of sponge city [J]. City Planning Review, 2018, 42(6):100-104(in Chinese).
- [5] 张俊,周璟.城市建设中水系的空間问题及对策研究——以海绵城市建设试点厦门市为例[J].城市规划,2017,41(12):109-113.
ZHANG Jun, ZHOU Jing. Spatial problems and countermeasures of water system in the urban construction: a case study of Xiamen City, a pilot sponge city [J]. City Planning Review, 2017,41(12):109-113(in Chinese).

作者简介:王连接(1988—),男,福建晋江人,硕士,高级工程师,主要研究方向为海绵城市及生态修复规划。

E-mail:530823829@qq.com

收稿日期:2023-12-06

修回日期:2023-12-19

(编辑:丁彩娟)