

基于海绵城市的高架路雨水调蓄利用设计研究

张奚源

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 随着城镇化进程的加快,城市内涝和雨洪管理的问题越来越严重,海绵城市建设理念也应运而生,成为城市水资源可持续利用的重要战略。市政高架快速路属于城市重要基础设施,路面雨水径流量大,汇集集中,具有较高的调蓄和利用潜力,但是也存在结构布置复杂、初期雨水污染和空间受限等诸多问题。以海绵城市理念为指导,从市政高架快速路雨水调蓄和利用系统的设计意义及现实问题入手,提出多级雨水收集传输、模块化调蓄净化、智能监控管理的综合设计策略,为市政高架快速路雨水资源化利用提供理论依据和工程参考,推动城市水生态系统良性循环和绿色可持续发展。

关键词: 海绵城市;市政高架快速路;雨水调蓄;利用系统;可持续发展

中图分类号: U442.28;TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)07-0333-05

Design and Research on Storage and Utilization of Elevated Road Rainwater Based on Sponge City

ZHANG Xiyuan

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: With the acceleration of urbanization, the issues of urban waterlogging and rainwater/flood management are getting more and more serious. The concept of sponge city construction has also emerged as a crucial strategy for the sustainable utilization of urban water resources. The municipal elevated expressways belong to the vital urban infrastructures where the amount of rainwater runoff on the pavement is large, converges and concentrates, presenting the significant potential for storage and utilization. However, there are also problems such as complex structural layouts, initial rainwater pollution and spatial constraints. Guided by the concept of sponge city, the integrated design strategy of multi-stage rainwater collection and conveyance, modular storage and purification, and intelligent monitoring management is proposed from the design significance and practical problems in the rainwater storage and utilization system of municipal elevated expressways. The theoretical basis and engineering reference are provided for the utilization of rainwater resources on municipal elevated expressways to promote a virtuous cycle in the urban water ecosystem and its green sustainable development.

Keywords: sponge city; municipal elevated expressway; rainwater storage; utilization system; sustainable development

0 引言

伴随着城镇化进程的不断推进,城市不透水面积迅速增加,极端降雨事件频频出现,城市内涝问题越来越严重。传统的以快排为主的灰色基础设施已经不能满足现代城市雨洪管理的要求,海绵城市建设理念随之产生,是目前城市水资源可持续管理的主要战略方向。市政高架快速路属于城市交通网络的关键部分,路面硬化情况良好,汇水面积较大,强降雨条件下易形成集中径流,给城市排水系统带来

较大影响,而且具备可观的雨水调蓄和资源化利用潜力。

早在21世纪初,国内学者就对城市道路雨水径流的控制问题进行了研究。王晨^[1]对城市轨道交通市政高架快速路雨水排放做了系统分析,王荣和等^[2]对上海内环线高架道路雨水排水设施做了详细的分析,费宇婷等^[3]根据工程实例研究了市政高架快速路雨水收集利用的可能性。近期有关研究又有了新的发展,黄伟祥等^[4]对市政高架快速路雨水径流近零排放控制目标做了系统的研究;王冬等^[5]以天津试点区道路为例,研究市政道路海绵设计的实践路径;聂发辉等^[6]从城市高架公路雨水径流污染特征入手,为初期雨水处理提供重要依据;邢强

收稿日期: 2026-03-16

作者简介: 张奚源(1993—),男,本科,工程师,从事排水设计工作。

等^[7]以上海为例,研究市政高架快速路下新自然生境的 rebuilt 模式;李亮^[8]就海绵城市理念下道路排水系统的应用做了专项研究;王艺淳等^[9]结合北京大兴国际机场高速绿色通道项目,探索市政高架快速路绿色廊道的近自然景观设计路径。

综上所述,国内学者已经对城市道路雨水径流控制、市政高架快速路雨水收集、海绵城市道路设计等进行了大量研究,但是市政高架快速路为全硬化架空结构,径流系数接近 1.0,常规透水铺装等 LID 措施不适用,且桥下空间受限,路面污染负荷更高,因此雨水调蓄系统需要专门的设计方法。但是,将多级收集传输、模块化调蓄净化、智能监控管理有机结合的综合设计体系的研究还很少。

1 市政高架快速路雨水调蓄与利用的意义分析

1.1 缓解城市内涝与雨洪管理压力

市政高架快速路由于路面硬化程度高、汇水面积大,在强降雨时容易产生集中径流,严重加重了城市地面排水系统的压力,造成区域性内涝^[1]。在市政高架快速路沿线设置雨水调蓄设施,在降雨高峰时可以拦蓄大量径流,减小市政管网的压力。该措施可以把市政高架快速路变成城市防洪排涝的调节器,从空间与时间维度优化城市雨洪分配,有效削减内涝风险,保证城市交通和居民生活安全稳定。

1.2 推动海绵城市理念落地与水资源循环利用

海绵城市建设的主要目的是尽可能使雨水得到本地化消纳和循环利用。市政高架快速路横跨城市各个功能区,路面径流量大,如果进行系统的收集和处理,可以成为道路绿化浇灌、市政冲洗、景观补水等非饮用水的来源,有效地减少对自来水的消耗,提高城市水资源的综合利用率。将市政高架快速路雨水调蓄利用纳入海绵城市整体规划,可以从根本上落实海绵城市中“自然积存、自然渗透、自然净化”的理念,在城市交通基础设施层面实现对海绵城市的真正践行^[2]。

1.3 提升城市基础设施的生态韧性与可持续发展水平

传统的市政高架快速路建设模式是以通行效率为中心,没有考虑到基础设施同城市生态环境之间的协调。采用海绵城市理念对市政高架快速路雨水系统实施生态化改造,一方面可以改善路段自身的雨水管理水平,另一方面也可以同周边的绿地、湿地、调蓄湖等生态要素相互联系起来,从而塑造起多

层次的城市生态韧性网络。这种设计思想有利于改善城市热岛效应、净化空气、修复局部水文循环,把市政高架快速路由单一的交通功能载体变成兼具生态服务功能的复合型城市基础设施,给城市可持续发展赋予关键支持^[3]。

2 市政高架快速路雨水调蓄与利用系统中存在的问题

2.1 高架结构复杂,导致雨水收集系统布设难度大

市政高架快速路结构层次多,桥墩、梁体、防撞护栏等构件纵横交错,路面坡向变化大,给雨水收集系统规划布置造成很大困难。现有的市政高架快速路设计大多没有把雨水收集纳入初始方案,缺少预留管槽、集水节点等配套条件,造成后期改造时管线走向受到严重影响。雨水汇集口受桥面排水坡度和结构荷载的双重影响,集水槽、导流管的安装位置受到很大限制,不能达到全路段均匀高效径流收集的目的。市政高架快速路跨越城市道路、轨道交通等设施,管线下穿或者侧引都需要协调各方关系,施工作业空间狭小,技术难度大、施工风险高。先天性的结构限制,造成雨水收集系统整体性和连续性不能得到保证,部分路段存在收集盲区,影响调蓄效能的充分发挥。在保证市政高架快速路正常使用功能和结构安全的前提下,因地制宜地完善收集系统,是目前设计工作面临的主要问题,也是影响市政高架快速路雨水资源化利用推广的主要障碍^[4]。

2.2 初期雨水污染处理与水质保障机制不健全

市政高架快速路常年受车流量大、污染严重的影响,路面积累的油污、重金属颗粒、轮胎磨损物、大气沉降物等污染物大量富集。降雨初期,污染物随径流大量溶出,产生污染浓度很高的初期雨水,直接排放或者进入调蓄设施,都会造成受纳水体污染,并且会对后续雨水利用的水质安全造成严重影响。但是目前大部分城市市政高架快速路雨水系统没有专门的初期雨水弃流和处理装置,初雨和后期相对清洁的雨水混合到一起进入同一个管网,给净化处理增大净化处理负荷。即使项目中装有沉淀、过滤等净化装置,由于没有良好的保养管理,处理效果大大降低^[5]。缺少系统性的在线监测手段和水质预警系统,不能对调蓄水体的污染情况做出及时反应。水质保障体系不健全,直接制约了市政高架快速路收集雨水的资源化利用途径,使大量雨水因为水质风险而被弃排,造成资源浪费,也制约了海绵城市建设

目标的实现^[6]。

2.3 调蓄设施空间受限与利用效率偏低

市政高架快速路沿线地上、地下空间都很小,调蓄设施的选址和规模受到诸多限制。市政高架快速路下空间虽然有一定的利用价值,但是经常被用作停车、绿化或者市政配套的场所,可以设置大型调蓄池的场地非常少^[7]。地下空间的开发利用会遇到与已有管线、地铁线路和建筑基础相互影响的情况,施工难度大,造价高。部分项目的调蓄容积设计没有根据当地的降雨规律和设计重现期进行科学计算,调蓄规模小,不能应对较大的降雨事件,造成超量径流仍需溢排。同时调蓄设施的运行管理水平差异显著,部分设施长期处于满蓄状态而不能及时腾出库容,在降雨来临的时候不能发挥调蓄作用,运行效率大大降低^[8]。另外,收集雨水的后续利用途径单一,消纳量小,造成调蓄设施经常出现满溢的情况,陷入“存不下、用不完”的困境之中,从而限制了整个系统的效能提升^[9]。

3 基于海绵城市理念的雨水调蓄与利用系统设计策略

3.1 多级雨水收集与传输系统的优化设计

创建起高效的雨水收集和传输系统,是达成市政高架快速路雨水资源化利用的关键根基。对于市政高架快速路结构复杂、收集困难的状况来说,应该采用“因地制宜、分级收集、有序传输”的设计理念,在充分调研路段结构特点和降雨规律的基础上,形成一套科学合理的多级收集传输体系^[10]。在路面收集方面,在桥面上外侧设置连续式导流槽,利用路面横坡把径流导向专门的集水口,根据桥墩位置合理布置竖向落水管,形成面收集、线汇集、点排引的第一级收集网络。在传输方面,在桥下设置专用雨水干管,以重力流为主、压力流为辅的方式将收集的径流导入沿线的调蓄节点。同时应该把市政高架快速路收集系统同周边市政雨水管网有机连接起来,建立多路径分流体系,在出现超载降雨的时候保留应急排放途径,保证系统的正常运转^[11]。

某城市一段市政高架快速路在雨水系统改造时,设计人员先对全路段桥面纵横坡和桥墩分布情况做了详细测量,按照坡向把路段分成若干汇水分区,在每个汇水分区末端桥墩处设竖向引流管,将桥面雨水引到桥下专门的横向收集干管上。桥面径流系数取0.95,设计降雨重现期为5年一遇,设计降雨

强度按照当地暴雨强度公式计算。竖向落水管的管径根据汇水面积不大于800 m²/根来控制,横向收集干管坡度不小于3‰,保证重力自流。干管沿桥下检修通道敷设,依靠地势坡降自流到路侧调蓄池。对于坡度不够的路段,设置小型提升泵站辅助输送。整套收集传输系统和市政管网之间设有一个溢流接口,在大雨超量的时候自动切换排放,既可以保证雨水的最大化收集,又可以保证系统的安全稳定运行。

3.2 模块化调蓄设施与净化处理技术的集成应用

调蓄设施建设要考虑到市政高架快速路沿线空间受限制的实际情况,选用模块化、装配式调蓄单元,灵活地利用桥下空间和路侧绿带分散式布置,就近调蓄。模块化调蓄单元可以按照场地情况自由组合,很好地克服了空间上的限制,并且后期的维护和扩容也比较方便。调蓄规模的确定要根据当地设计暴雨重现期、汇水面积和径流系数做水文计算,合理确定调蓄容积并留有安全裕量^[12]。在净化处理上,要根据初期雨水污染浓度高的特点,在调蓄设施前设置弃流装置将前期高污染径流分离出去,使进入调蓄设施的雨水依次经过沉淀、过滤、消毒等工序处理。在桥下绿化带植物配置中融入生态理念,搭建起植草沟、雨水花园等生态净化设施,使雨水在传输期间实现天然净化,削减后面处理的工作量。净化处理设施和调蓄单元要统一规划、整体布置,创建紧凑高效的集成系统^[13]。

在桥梁下留出大约4 m净高的空间,将桥墩之间分段设置组合式模块化蓄水箱,每个模块用法兰连接成连续的调蓄单元,调蓄容积根据汇水面积计算得出。调蓄容积按照 $v = 10 \cdot h \cdot \varphi \cdot F$ 计算,弃流厚度 h 取2 mm,径流系数 φ 取0.95,单个模块标准容积为5 m³,根据场地情况可自由组合。本路段调蓄单元总容积按汇水面积计算后加上15%的安全裕量。在进水端设自动弃流井,降雨初期高污染径流直接排入市政污水管,雨后径流经弃流后进入调蓄模块。调蓄单元前端安装有沉砂过滤一体化装置,对悬浮物、颗粒污染物做初步去除,出水再经过紫外消毒后存储备用。整套设施紧贴桥下结构布置,不占用地面空间,维护检修通道利用原有桥下步道来完成。

3.3 雨水资源化利用与智能监控管理平台的构建实践

雨水资源化利用是市政高架快速路雨水系统设计的最终目的,也是评价系统实际效果的主要指标。应根据周边用水量情况,采取因地制宜的方式拓展雨水利用途径,把处理过的雨水用到沿线绿化灌溉、

桥面冲洗、景观水体补给等地方,形成从收集、净化、储存到利用的完整循环系统。在设施配置上,要设置专用的雨水供水泵站和配水管网,与自来水系统严格分开供水^[14]。为了提高系统的运行精细化程度,应该同时建立智能监控管理系统,在重要的节点处安装雨量传感器、水位计、水质在线监测仪和流量计等设备来获取系统运行数据。平台具有降雨预报联动功能,在强降雨到来之前自动执行预腾空操作,提前释放调蓄库容;降雨结束后自动切换到供水模式,按照需求调配储存的雨水,达到动态调度的目的。另外,还要创建起设备故障预警和运维工单的管理机制,保证系统可以长期稳定地运转^[15]。

市政高架快速路雨水利用项目建成之后,管理部门在调蓄池出水端设置雨水回用泵站,铺设专用供水管线到沿线绿化带灌溉系统,同时将桥面清洁车供水接口与之连通。项目同步上线智能管控平台,以气象预报数据为触发依据,在预测降雨量大于

设定阈值的时候,平台就会自动打开排空阀门提前腾库,给来水留出足够的调蓄空间。预腾空触发阈值设定为预报降雨量不小于 15 mm,提前腾库时间不少于 2 h,确保有效调蓄库容不低于总容积的 80%。降雨结束之后,平台按照水质检测的结果来判定是否开启回用供水。运维人员可通过手机端对各个节点的水位、水质、设备状态实施实时监测,一旦检测到异常,系统自动推送预警信息。经过一个完整的雨季运行统计可知,该路段雨水回用量可以有效替代沿线绿化用水总量的 50% 以上,节水效果明显,系统运行稳定可靠。为了更直观地呈现上述三项核心设计策略的逻辑关系与系统运作流程,更直观地呈现上述三项核心设计策略的逻辑关系与系统运作流程,基于海绵城市理念的市政高架快速路雨水调蓄与利用综合设计流程如图 1 所示,便于系统理解从雨水收集、传输、净化调蓄到资源化利用和智能管控的全过程。

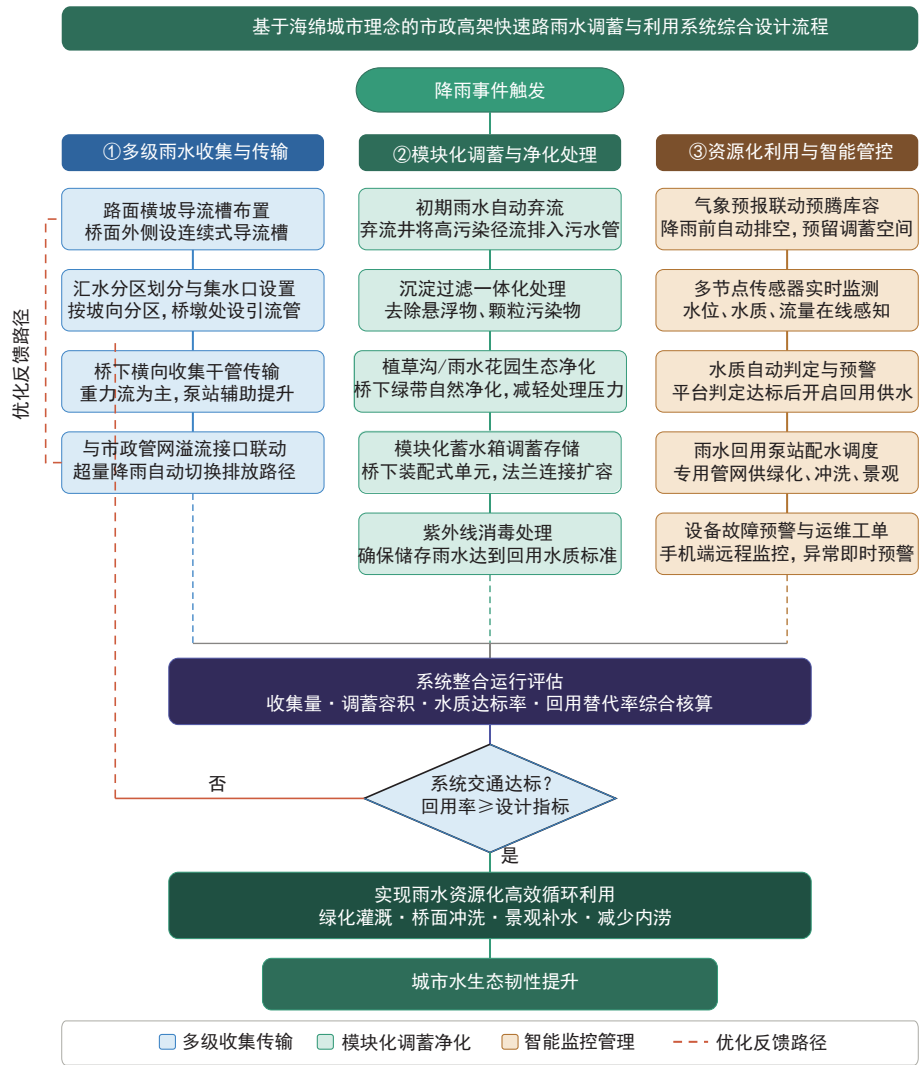


图 1 基于海绵城市理念的市政高架快速路雨水调蓄与利用系统综合设计流程

4 结 语

市政高架快速路雨水调蓄和利用系统设计及应用,是海绵城市建设理念向城市交通基础设施延伸的又一重要实践。针对高架结构复杂、初期雨水污染、沿线空间受限等实际问题,提出多级雨水收集传输、模块化调蓄净化和智能监控管理相结合的综合设计方法。经过工程实践,证明有较好的可行性和适用性,可以供类似工程参考。根据上述设计策略所建立起来的雨水调蓄和利用系统,实现了从桥面径流收集、初期雨水弃流净化、模块化分散调蓄到资源化回用的全过程控制。经过完整的雨季运行统计,雨水回用量可以替代沿线绿化用水总量的 50% 以上,节水效果明显,系统运行稳定可靠。伴随着相关技术的不断发展和政策支持力度的不断提高,市政高架快速路雨水资源化利用会在更多的城市得到应用,给建设韧性城市、促进城市水生态系统良性循环提供有力的支持。

参考文献:

[1] 黄伟祥,张倩,徐弯弯.高架快速路雨水径流近零排放控制目标研究[J].城市道桥与防洪,2025(3):154-159.
 [2] 饶传富,毛宇,熊小林,等.从城市地下综合管廊到新区地下市政综合体建设的思考[J].给水排水,2019,55(5):119-123.

[3] 王冬,杨楠,耿适为,等.市政道路海绵设计探索与实践——以天津试点区道路为例[J].给水排水,2025,61(5):36-41;48.
 [4] 李涛,张强,裴少祖.基于海绵城市理念的市政给排水施工技术研究[J/OL].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(6)[2025-06-03].
 [5] 王泽阳.滨海地区市政道路海绵城市设计的反思与优化[J].中国给水排水,2020,36(20):133-136.
 [6] 于磊,潘兴瑶,杨默远,等.基于水影响评价的北京市海绵城市建设管控机制探讨[J].给水排水,2020,46(8):57-62.
 [7] 破解天津城区污染负荷削减和河道修复技术难题——水专项助力天津海绵城市建设和海河干支流环境持续改善[J].中国给水排水,2021,37(18):154-155.
 [8] 李亮.海绵城市道路排水系统应用研究[J].交通世界,2025(27):22-24.
 [9] 周标,杨静,徐星,等.厦门市翔安新城 LID 市政道路监测与模拟分析[J].给水排水,2020,46(增刊1):264-267.
 [10] 王艺淳,许健宇,李煜,等.高架路绿色廊道近自然景观设计探索——以北京大兴国际机场高速绿色通道景观建设为例[J].中国园林,2025,41(3):53-59.
 [11] 邢强,刘静,胡永红.城市高架桥下新自然生境重建模式及维持策略——以上海市为例[J].风景园林,2024,31(9):86-93.
 [12] 费宇婷,郭霄宇,解明媛.高架桥下雨水收集利用案例[J].中国给水排水,2016,32(14):103-106.
 [13] 聂发辉,向速林,王全金,等.城市高架公路雨水径流的污染特征[J].生态环境学报,2012,21(5):924-928.
 [14] 王晨.城市轨道交通高架桥面雨水排放设计[J].给水排水,2002,28(9):46-48.
 [15] 王荣和,唐剑晖,张力,等.上海市内环线高架道路雨水排水设施分析研究[J].给水排水,2001,27(8):5-9.

(上接第 318 页)

[3] 李俊奇,车伍,赵杨,等.海绵城市建设工程实例解析[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.
 [4] VYMAZAL J. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review[J]. Ecological Engineering, 2014, 73: 724-751.
 [5] German Association for Water, Wastewater and Waste (DWA). Wastewater technology - Stormwater management[S]. Hennef: DWA, 2006.
 [6] KADLEC R H, WALLACE S D. Treatment wetlands[M]. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.
 [7] 张毅,刘超,吴丹,等.基于 SWMM 与 GIS 耦合的 LID 设施参数优化方法[J].水利学报,2022,53(8):956-965.
 [8] 王艳艳,周军,李明,等.生态滤池在城市河道旁路净化中的应用研究[J].中国给水排水,2024,40(3):67-73.
 [9] 刘敏,陈吉宁,张天柱,等.城市面源污染控制与海绵城市协同建设技术[J].环境科学学报,2023,43(5):187-195.
 [10] 车伍,李俊奇,王思思,等.城市雨水径流污染的初期弃流控制[J].中国给水排水,2010,26(24):4-8.
 [11] 张伟,李田,侯红勋.城市雨水径流生态处理技术研究进展[J].环境工程,2022,40(4):1-10.
 [12] 住房和城乡建设部.城镇雨水调蓄工程技术规范:GB 51174—2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
 [13] 生态环境部.人工湿地水质净化技术指南[Z].北京:生态环境部环境规划院,2021.
 [14] 王鹏,赵万民,李进,等.江岛型海绵城市建设关键技术与实践——以重庆广阳岛为例[J].城市规划,2021,45(7):89-96.
 [15] 王向荣,林箐,赵越.生态敏感区海绵公园的雨洪管理与景观融合策略——以深圳光明科学城海绵公园为例[J].中国园林,2023,39(5):45-51.
 [16] 刘颖,郭凤台,赵和平.基于环境承载力的下沉式绿地污染物迁移数学解析模型[J].环境科学学报,2023,43(2):312-320.