

城镇给排水工程设计案例专栏

杨宁, 陈嫣, 席振乾. 交通枢纽集疏运道路的排水系统韧性设计[J]. 净水技术, 2026, 45(8): 185-191.

Yang N, Chen Y, Xi Z Q. Resilience design of drainage system for collection-distribution roads of transportation hubs[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(8): 185-191.

交通枢纽集疏运道路的排水系统韧性设计

杨 宁, 陈 嫣*, 席振乾

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘 要 【目的】 城市交通枢纽区域开发强度大、下垫面硬化比例高、雨水径流汇集速度快,在强降雨条件下雨水系统冲击负荷大、内涝风险突出。为落实韧性城市和海绵城市建设理念,探索适用于交通枢纽集疏运道路的排水韧性提升技术路径,开展本研究。【方法】 以某交通枢纽集疏运道路系统为研究对象,针对高架道路与地面道路构建了差异化的排水韧性提升技术体系。高架道路雨水利用重力,经雨水花箱预处理、滞蓄型植草沟转输、生物滞留设施净化后进入调蓄回用系统;地面道路创新采用 V 型断面设计,车行道横坡坡向中央分隔带,将雨水收集至结合绿化带建设的海绵设施。按照“指标计算-径流路径设计-海绵设施设计”的技术路径,完成了排水韧性提升设计。【结果】 采用 InfoWorks ICM 模型进行排水效果模拟,设计方案在 10 年一遇短历时降雨条件下排水系统无积水产生,在 100 年一遇长历时降雨条件下可实现至少一条车道无积水。绿灰结合的调蓄体系通过滞蓄替代部分管渠转输功能,管渠投资较传统纯灰色方案有所降低,运行费用可控。【结论】 在开发强度高、硬化面积大的交通枢纽区域,通过绿灰结合的排水韧性设计,可实现雨水的有效滞蓄、净化与资源化利用,该技术体系可为类似复杂环境下的排水系统韧性提升提供参考。项目目前处于施工阶段,建成后将通过实际降雨监测数据对设计效果进行进一步验证。

关键词 集疏运道路; 排水韧性; 海绵城市; V 型道路; 生物滞留设施; 雨水资源化利用

中图分类号: TU992 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2026)-08-0185-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.08.019

Resilience Design of Drainage System for Collection-Distribution Roads of Transportation Hubs

Yang Ning, Chen Yan*, Xi Zhenqian

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract [Objective] Urban transportation hub areas are characterized by high development intensity, extensive impervious surfaces, and rapid stormwater runoff convergence. Under heavy rainfall events, drainage systems bear high impact loads, posing severe waterlogging risk to the surrounding area. To implement the concepts of resilient cities and sponge cities, this paper explores technical pathways for enhancing drainage resilience in the collection-distribution road network of urban transportation hubs. [Methods] Taking the collection-distribution road system of a transportation hub as a case study, a differentiated drainage resilience system is proposed, treating elevated roads and ground roads separately. Runoff from elevated roads flows by gravity through planter boxes for pretreatment, vegetated swales for conveyance, and bioretention facilities for purification, before entering the storage and reuse units. For ground roads, a V-shaped cross-section is adopted, where the carriageway slopes toward the central reserve, channeling stormwater into sponge facilities located within the green belt. The design framework consists of three steps: indicator

[收稿日期] 2025-10-22

[基金项目] 枢纽市政设施智慧管控与海绵韧性装备研发(23DZ1202805);大型交通枢纽安全韧性提升关键技术(沪建科 2024-Z02-001-4)

[作者简介] 杨宁(1990—),男,工程师,主要从事水环境治理、海绵城市、市政给排水设计等工作,E-mail: yangning@smedi.com。

[通信作者] 陈嫣(1979—),女,正高级工程师,主要从事流域综合治理等工作,E-mail: chenyan@smedi.com。

calculation, runoff path design, and sponge facility layout. [Results] An InfoWorks ICM model was established to simulate the drainage performance. Under a short-duration rainfall event with a 10-year return period, no ponding occurs in the drainage system; under a long-duration rainfall event with a 100-year return period, at least one traffic lane remains free of ponding. The green-gray combined storage approach replaces part of the pipeline conveyance function with source retention and storage, reducing pipeline construction investment compared with a purely gray solution while maintaining manageable operation and maintenance costs. [Conclusion] The green-gray combined drainage resilience design can achieve effective stormwater retention, purification, and resource utilization in transportation hub areas with high-intensity development and highly impervious surfaces. This technical system provides a reference for drainage resilience enhancement in similar complex environments. The project is currently under construction, and field monitoring data from actual rainfall events will be used to validate the design performance upon completion.

Keywords collection-distribution roads; drainage resilience; sponge city; V-shaped cross-section; bioretention facility; stormwater resource utilization

在城市快速发展和气候变化的影响下,城市洪涝灾害日益增多,洪水风险管理更具挑战性。近年来,我国城镇排水防涝技术标准体系不断完善,基于韧性安全的规划理念逐步深入^[1],海绵城市建设从试点示范走向系统化全域推进^[2],排水防涝和流域防洪体系的衔接日益受到重视^[3],海绵城市理念在全球范围内的研究持续增长,其发展趋势与面临的挑战已有系统的文献梳理^[4-5]。大型交通枢纽在规划建设阶段通常充分利用立体空间建设集疏运道路系统,具有开发强度高、硬化比例大、雨水径流汇集迅速的特点。传统排水设计采用快排的方式,将高架道路和地面道路的雨水迅速排入雨水排水系统,一方面在连续强降雨下造成排水系统超负荷运行、产生内涝风险,另一方面也造成水资源的浪费^[6-7]。

该项目在深入分析区域水文地质条件和受纳水体特征的基础上,针对地面道路创新采用V型断面设计、优化径流路径,利用道路中央分隔带的绿色海绵设施消纳雨水;针对高架道路系统设计绿灰结合的排水方式,延缓汇流时间并实现了雨水资源化利用。项目全面落实了“渗、滞、蓄、净、用、排”的海绵理念,提升了排水韧性,为韧性城市建设构建了排水基础。

1 工程概况

1.1 道路工程概况

该项目集疏运系统主要由高架道路和地面道路组成。高架道路服务枢纽交通快速进出,提供机动车送客的落客服务功能。地面道路是高架送客系统的地面辅道,服务区域近距车流由地面进出枢纽,实现枢纽交通地面集散功能,兼顾服务区域过铁路的地面交通联系功能^[8]。

1.2 受纳水体概况

项目位于平原感潮河网地区,末端受纳水体设

计常水位为2.5~2.8 m,设计除涝水位为3.8 m。区域内地势低平,地面高程一般为3.5~4.5 m。地面与河道常水位落差仅为1.0~2.0 m,潮汐带动河道水位反复波动,重力排水条件较差。暴雨遇到高潮位,排口容易倒灌,因此在自排出口设拍门、泵站出口设闸门。浅层地下水埋深仅为0.3~1.5 m,海绵设施下渗能力有限,底部须敷设防渗膜并埋排水盲管,控制排空时间。

1.3 雨水工程概况

根据上位规划要求,自排区最不利点排水距离不超过500 m,项目排水系统充分考虑场地高程和受纳水体水文条件,采用“自排+强排”分区排放的总体格局。强排区内形成两条主干收集通道:一条沿东侧道路敷设,串联北部与东部汇水片区后向南进入末端雨水泵站;另一条沿西侧道路敷设,汇集西部汇水片区后接入同一泵站,经泵站提升后统一排入南侧受纳水体。自排区分为南北两个独立分区,北侧自排区重力排放至北侧受纳水体,南侧自排区重力排放至南侧受纳水体。项目雨水系统如图1所示。

本工程在承担道路红线内的雨水收集与排放的同时,接纳沿线开发地块经源头减排后排放的雨水,整体构成“源头减排-雨水管渠-分区排放”的排水体系,上下游管渠在设计标准和过流能力上逐级衔接。

排水设计核心指标根据上位规划确定:(1)雨水管渠设计重现期为10年一遇(67 mm/h);(2)内涝防治设计重现期为100年一遇(275 mm/24 h);(3)年径流总量控制率为75%(22.4 mm);(4)年径流污染控制率为55%;(5)高架道路10年一遇重现期内雨水基本得到滞蓄控制;(6)调蓄设施实现雨水资源化利用。

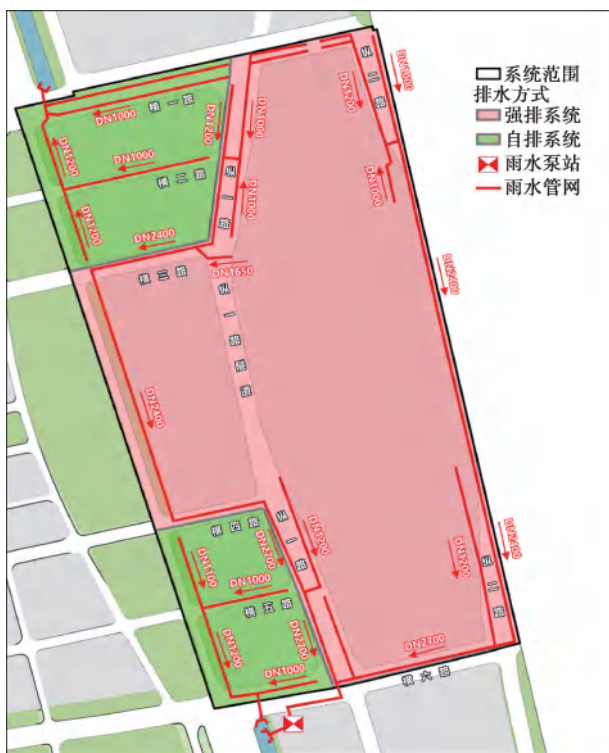


Fig. 1 Diagram of Project Stormwater System

生物滞留设施,形成地表径流雨水收集系统,可以对雨水起到调蓄、缓排、下渗的作用。滞蓄型植草沟与生物滞留设施地下设置了排水盲管,当降雨 ≤ 22.4 mm时,雨水将进入排水盲管,由排水盲管转输至溢流井,这种情况下雨水将得到更好的缓排和净化;当降雨 > 22.4 mm时,雨水将直接溢流进入溢流井。

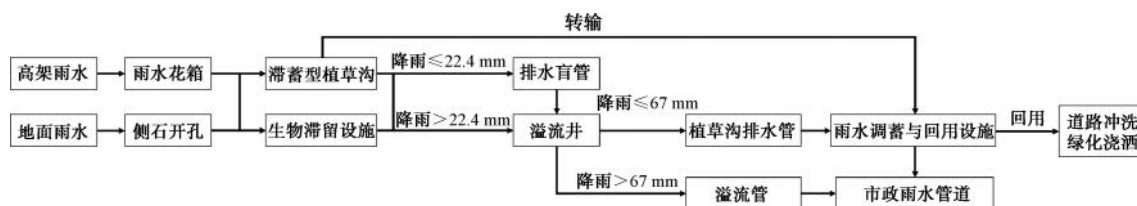


图2 高架道路与地面道路雨水进入中央分隔带径流路径图

Fig. 2 Pathway of Stormwater Runoff into the Central Reserve from Elevated and At-Grade Roads

2.3 海绵设施设计

(1)雨水花箱。高架道路雨水通过落水管接入设置于地面的雨水花箱,花箱内分层填充过滤填料,作为高架道路径流污染的预处理控制措施。雨水经雨水花箱预处理后流入滞蓄型植草沟/生物滞留设施,路径上须铺设砾石缓冲带,净化和缓冲雨水,防止雨水直接冲刷植被。

(2)滞蓄型植草沟(中央分隔绿化带)。深度为300 mm,设计有效水深为200 mm,植草沟砾石排水层沿纵坡方向敷设DN150穿孔排水盲管,接入溢流井。部分植草沟最外层防渗膜下方敷设管径为DN400~DN600的排水管,在植草沟内设置溢流井串联后,接入雨水调蓄与回用装置。

(3)生物滞留设施(中央分隔绿化带)。项目生物滞留设施分为两种,一种由侧石开孔与道路连接,这种生物滞留设施下部结构层外包防渗膜;另一种建设在雨水调蓄与回用设施上方,这种生物滞留设施不需要外包防渗膜,雨水可以通过下渗和溢流竖管直接进入雨水调蓄与回用设施。项目生物滞留设施深度统一为300 mm,设计有效水深为200 mm。

(4)雨水调蓄与回用设施。雨水调蓄设施设在绿化带内,生物滞留设施内雨水通过下渗及溢流竖管进入雨水收集池,或经植草沟下部排水管收集后直接接入雨水收集池。雨水经一体化雨水处理器处理后存储于清水池,回用于绿化浇洒与道路冲洗。根据同类项目实测数据,雨水经花箱、植草沟及生物滞留设施预处理后,一体化雨水处理器进水化学需

(3)溢流井位于植草沟内部,由DN400~DN600的排水管道连接,组成雨水收集系统,当降雨 ≤ 67 mm时,雨水将通过植草沟下方的排水管汇集至雨水调蓄与回用装置。

(4)当降雨 > 67 mm时,雨水调蓄与回用装置完成雨水收集,不再进水,雨水直接由溢流井外排至市政雨水管道。

氧量质量浓度为70~100 mg/L、悬浮物质量浓度为20~200 mg/L。处理器采用沉砂-沉淀-过滤-消毒工艺,出水水质满足《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》(GB 50400—2016)和《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920—2020)中道路冲洗及绿化浇洒的回用要求。为保证高架道路雨水径流的收集效果,按照平面布置采用适度分散、相对集中的布置原则,结合高架桥墩布局以及高架下方空间灵活集约布置22处雨水调蓄与回用设施,总调蓄容积约为2 600 m³,单个调蓄池容积为100~200 m³。项目海绵设施分布如图3所示。

3 地面道路径流管控

3.1 指标计算

本工程红线内总面积为15 hm²,年径流总量控制率目标为75%。其中,高架道路面积为5.2 hm²,地面道路面积为9.8 hm²,项目整体年径流总量控制率根据高架道路、地面道路两部分加权平均计算。高架道路通过67 mm的海绵调蓄容积,已经实现年径流总量控制率达到95%,因此,地面道路9.8 hm²范围内年径流总量控制率需要达到65%以上。

对地面道路范围内下垫面进行解析,得到地面道路径流系数为0.67,具体计算过程如表2所示。

地面道路按照年径流总量控制率65%设计,控制标准为13.7 mm,设计调蓄容积按照式(1)计算,所需调蓄容积约为900 m³。

3.2 径流路径设计

(1)地面道路雨水由侧石开孔进入侧分带绿化



图 3 项目海绵设施分布图

Fig. 3 Distribution Diagram of Project Sponge City Facilities

表 2 地面径流系数核算表

Tab. 2 Surface Runoff Coefficient Summary Table

项目	面积/hm ²	径流系数
人行道(透水铺装)	4.7	0.45
未被高架遮挡的绿地	0.2	0.15
未被高架遮挡的其他硬质路面	2.4	0.90
其余高架道路	2.5	0.90
总计	9.8	0.67

带或中央分隔绿化带。

(2)在道路侧分绿化带内,设置了滞蓄型植草沟、生物滞留设施,形成地表径流雨水收集系统,可以对雨水起到调蓄、缓排、下渗的作用^[10],当降雨 ≤ 22.4 mm时,雨水将进入排水盲管,由排水盲管转输至溢流井,这种情况下雨水将得到更好的缓排和净化;当降雨 >22.4 mm时,雨水将通过溢流井外排至市政雨水管道。地面道路雨水进入侧分绿化带的径流路径设计如图4所示。

(3)进入中央分隔绿化带的径流路径在本文2.2节已有表述,这里对地面道路雨水进入道路中央分隔带的创新V型断面作补充说明。常规道路



图 4 地面道路雨水进入道路侧分带径流路径图

Fig. 4 Pathway of Stormwater Runoff into Roadside Green Belt from At-Grade Roads

项目中,道路设计通常以道路中心线为高点,坡向道路边线,因此地面道路雨水径流难以汇入道路中央分隔带^[11]。

本项目在不影响车行安全的前提下,因地制宜、

创新地采用了V型断面设计,即车行道横坡坡向中央分隔带,雨水采用侧石开孔方式收集至结合中央分隔带建设的植草沟,经过滤层过滤、植草沟净化后通过溢流井排放至市政雨水管道(图5)。

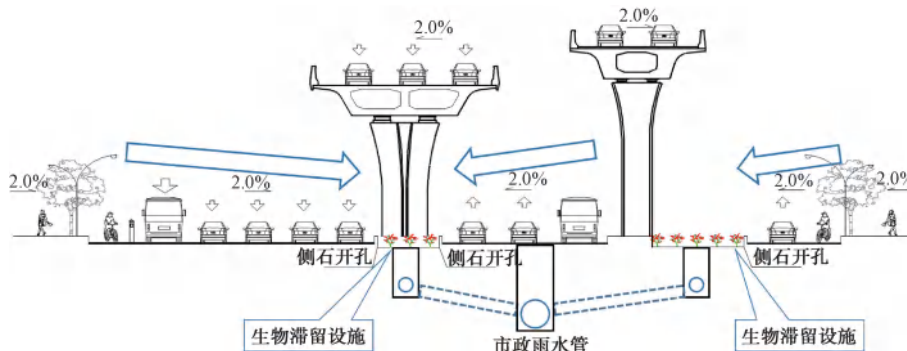


图 5 道路 V 型断面设计示意图

Fig. 5 Pathway of Stormwater Runoff into Roadside Green Belt from At-Grade Roads

3.3 海绵设施设计

(1)透水铺装。地面道路的人行步道部分,采用透水铺装,在源头处降低径流系数,减少对排水系统的冲击^[12]。

(2)侧石开孔。侧石开孔规格以双孔为主,孔口嵌装成品雨水算子,地面道路雨水流经算子拦截杂物后进入道路侧分绿化带中的植草沟和生物滞留设施。

(3)滞蓄型植草沟(侧分绿化带)。车行道或非机动车道雨水优先经侧石开孔进入分隔带,分隔带内建设兼具转输与调蓄功能的植草沟,雨水首先经植草沟净化、蓄存,超量雨水通过溢流雨水口排入市政雨水管网。项目侧石开孔结合植草沟的地表径流组织方式,有效减少了相应车行道雨水口及雨水管道使用。

(4)生物滞留设施(侧分绿化带)。部分分隔带宽度有限,且被高架道路桥墩占据一定空间,无法建设连续植草沟,因此采用生物滞留设施净化和蓄存道路雨水,雨水收集和超量雨水排放方式同植草沟。

此外,具备条件的路段融入V型道路断面设计理念,此类道路的地面雨水可以进入中央分隔带中的滞蓄型植草沟和生物滞留设施,在本文2.3节和3.2节均已有介绍。

4 效果分析

4.1 排水韧性提升

为验证项目排水韧性提升效果,采用InfoWorks ICM模型^[13],对区域排水系统(面积为88 hm²)建立了1D&2D耦合模型,模拟了短历时降雨与长历时降雨两种工况下的积水情况。

(1)短历时降雨。雨型采用芝加哥雨型,重现期为10年一遇,降雨历时为2 h。经模拟验证,该降雨条件下,排水系统内没有积水产生。

(2)长历时降雨。雨型采用该城市典型长历时降雨雨型,重现期为100年一遇,降雨历时为24 h。经模拟验证,该降雨条件下,排水系统上游区域最大积水深度为0.27 m,积水深度超过0.15 m的时长约为1 h,积水位置为局部道路的横坡低点位置,降雨过程中可满足1条以上车道无积水(图6),符合《城镇内涝防治技术规范》(GB 51222—2017)对内涝防治设计重现期地面积水设计标准的要求。

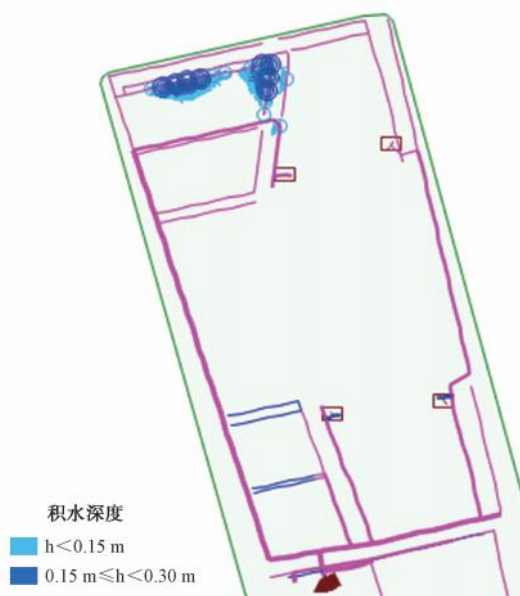


图6 典型长历时降雨(100年一遇)情况下片区积水情况

Fig. 6 Ponding Situation in the Project Area under Typical Long-Duration Rainfall (100-Year Return Period)

总体而言,由于径流路径的科学组织、绿色和灰色调蓄空间的合理设置,集疏运道路的产流较少,对整个系统起到了良好的滞蓄作用,达到了韧性设计的目标^[14-15]。

4.2 雨水资源化利用

项目范围内,雨水收集与回用设施容积约为2 600 m³,雨水回用用途为绿化浇灌与道路冲洗,两种用途的雨水回用指标均按照2 L/(m²·d)设计。

按照调蓄池单次蓄水后可利用2 d计算,单日可用调蓄容积约为1 300 m³,可为周边65 hm²面积的绿化和道路提供雨水回用资源。如按照全年雨水可利用的时间为180 d考虑,项目每年可提供的雨水资源化利用量达23万m³。

4.3 经济合理性

从占地、运行和投资三个层面看,本设计方案的经济性合理。投资方面,绿灰结合的调蓄体系通过滞蓄替代了部分管渠转输功能,雨水主管长度减少12%,管径也得到优化;V型断面减少了雨水口和支管数量,整体管渠投资较传统纯灰色方案有所降低。占地方面,22处雨水调蓄与回用设施利用高架下方绿化带,在同一空间内叠合建设灰色调蓄模块和绿色生物滞留设施,不另征建设用地,避免了集中式调蓄池的用地成本。运行方面,22处调蓄设施单座容

积为 100~200 m³, 规模适中, 日常仅需维持提升泵、消毒装置及反冲洗的基本运行, 用电负荷小, 运行费用可控。同时, 回用雨水替代市政自来水用于绿化浇洒和道路冲洗, 减少了外购水量和水费支出。

5 结语

研究围绕交通枢纽集疏运道路的排水韧性提升需求, 在具体工程项目中进行了系统的设计探索和实践。针对性地对高架道路与地面道路提出径流管控方案, 并集成应用了雨水花箱、滞蓄型植草沟、生物滞留设施及雨水调蓄回用系统等海绵城市设施显著提升了项目应对强降雨的韧性。

本工程设计将韧性城市与海绵城市理念转化为具体的工程措施。其创新性主要体现在针对高架道路雨水径流的海绵化处理, 针对地面道路创新采用“V 型断面”结合中央分隔带收集雨水的技术路径, 不仅优化了径流组织, 也节约了传统雨水管道系统的投资。

结果表明, 在开发强度高、硬化面积大的交通枢纽区域, 通过绿灰结合的排水韧性设计, 可以实现雨水的有效蓄滞、净化与资源化利用, 为类似复杂环境下的排水系统韧性提升提供有价值的参考。

参考文献

- [1] 鲁佳慧, 刘家宏, 刘创, 等. 考虑结构因素影响的排水系统韧性评估方法[J]. 水利水电技术(中英文), 2025, 56(6): 1-12.
Lu J H, Liu J H, Liu C, et al. A resilience assessment methodology for urban drainage systems considering the influence of structural factors [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2025, 56(6): 1-12.
- [2] 张辰. 基于韧性安全的城镇内涝防治技术标准与规划研究[J]. 上海建设科技, 2022(6): 1-5.
Zhang C. Research on technical standards and planning for urban waterlogging prevention and control based on resilience safety [J]. Shanghai Construction Science and Technology, 2022(6): 1-5.
- [3] 张辰, 吕永鹏, 邓婧, 等. 某市系统化全域推进海绵城市建设体系与技术研究[J]. 环境工程, 2020, 38(4): 1-9, 107.
Zhang C, Lü Y P, Deng J, et al. Study on system and technologies for systematic and full-field promotion of sponge city construction in Shanghai[J]. Environmental Engineering, 2020, 38(4): 1-9, 107.
- [4] 张辰, 章林伟, 莫祖澜, 等. 新时代我国城镇排水防涝与流域防洪体系衔接研究[J]. 给水排水, 2020, 46(10): 9-14.
Zhang C, Zhang L W, Mo Z L, et al. Discussion on coordination of control systems between urban flooding and river basin flooding

- in new era [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(10): 9-14.
- [5] Monachese A P, Gómez-Villarino M T, López-Santiago J, et al. Challenges and innovations in urban drainage systems: Sustainable drainage systems focus[J]. Water, 2025, 17(1): 76.
- [6] Kazancı G, Gülümser A A, Costa J P. Sponge city concepts in contemporary literature: Trends, thematic clusters and challenges for sustainable urban water management [J]. Urban Water Journal, 2026, 23(2): 261-280.
- [7] 刘文俊. 高架道路海绵城市排水系统优化设计[J]. 山西建筑, 2021, 47(13): 93-94, 149.
Liu W J. On optimal design for drainage system of sponge cities with elevated roads [J]. Shanxi Architecture, 2021, 47(13): 93-94, 149.
- [8] 施景予. 东方枢纽上海东站集疏运系统方案研究[J]. 交通与港航, 2024, 11(s1): 62-66.
Shi J Y. Research on the collection and distribution system scheme of Shanghai East Railway Station of Oriental Hub [J]. Traffic & Port Engineering, 2024, 11(s1): 62-66.
- [9] 张辰, 陈嫣, 吕永鹏. 《城镇雨水调蓄工程技术规范》解读[J]. 给水排水, 2017, 53(6): 9-13.
Zhang C, Chen Y, Lü Y P. Interpretation of technical code for urban rainwater regulation and storage engineering [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 53(6): 9-13.
- [10] 左园园. 海绵城市视角下的城市道路设计优化研究[J]. 智能城市, 2024(12): 27-30.
Zuo Y Y. Research on urban road design optimization from the perspective of sponge city [J]. Intelligent City, 2024(12): 27-30.
- [11] 赵宇, 胡庆峰. 海绵城市建设理念下市政道路设计要点分析[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(4): 29-31.
Zhao Y, Hu Q F. Analysis of key points of municipal road design under the concept of sponge city construction [J]. Transportation Science and Technology Management, 2023, 4(4): 29-31.
- [12] 王永雄. 基于海绵城市理念的市政道路排水设计方案[J]. 江西建材, 2024(5): 253-254, 257.
Wang Y X. Design scheme of municipal road drainage based on sponge city concept [J]. Jiangxi Building Materials, 2024(5): 253-254, 257.
- [13] Cheng S W, Yang M X, Li C L, et al. An improved coupled hydrologic-hydrodynamic model for urban flood simulations under varied scenarios [J]. Water Resources Management, 2024, 38(14): 5523-5539.
- [14] Chen P, Yu H H, Sun Y Y. Mitigating urban rainstorm waterlogging disasters in China through enhanced vegetation coverage and sponge city construction [J]. Scientific Reports, 2025, 15: 36251. DOI:10.1038/s41598-025-20274-5.
- [15] van de Ven F H M, Zevenbergen C, Avellar Montezuma M, et al. The Three-Points Sponge Policy approach: toward an enhanced multi-level resilience strategy [J]. Frontiers in Water, 2024, 6: 1361058. DOI:10.3389/frwa.2024.1361058.