

基于海绵城市理念的城市内涝防治设计 ——以兴平市城区某内涝治理项目为例

李青青, 郭平侠, 宋鹏飞

[悉地(苏州)勘察设计顾问有限公司西安分公司, 陕西 西安 710065]

摘要: 为解决陕西省兴平市城区某雨水泵站超负荷运行及站前道路积水问题,在既有泵站规模不变的条件下,探索一种可持续的排水防涝设施更新模式,以提升城市韧性。为此,基于海绵城市理念,构建了“调蓄+水质净化+景观提升+水资源利用”模式的调蓄湿地,利用既有排水系统与新建调蓄设施之间的动态联动,有效削减雨水峰值流量,缓解泵站运行压力;同时将污水处理厂尾水纳入循环利用体系,同步实现水质净化、景观提升和水资源利用。实践证明,该模式能有效提升城市排水防涝能力,改善区域水环境状况,提高水资源利用效率,为同类城市在有限条件下更新排水防涝设施、提升城市韧性提供参考和借鉴。

关键词: 海绵城市;城市内涝;调蓄;湿地;水资源利用

中图分类号: X43

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0301-05

Design for Urban Waterlogging Prevention and Control Based on the Sponge City Concept

LI Qingqing, GUO Pingxia, SONG Pengfei

[CCDI(Suzhou) Exploration & Design Consultant Co., Ltd., Xi'an Branch, Xi'an 710065, China]

Abstract: To address the overloading operation of a rainwater pumping station and road waterlogging in the urban area of Xingping City, Shaanxi Province, a sustainable renewal model for drainage and waterlogging prevention facilities was explored under the condition of maintaining the existing scale of the pumping station, aiming to enhance urban resilience. A regulation and storage wetland with the model of “regulation and storage+water quality purification+landscape enhancement +water resource utilization” was constructed based on the sponge city concept. By leveraging the dynamic interaction between the existing drainage system and the newly constructed storage facilities, the peak rainwater flow was effectively reduced, alleviating the operational pressure on the pumping station. Additionally, the treated tailwater from the sewage treatment plant was incorporated into the recycling system, simultaneously achieving water quality purification, landscape enhancement, and water resource utilization. The results demonstrate that this model effectively improves urban drainage and waterlogging prevention capacity, enhances regional water environment conditions, and increases water resource utilization efficiency, providing a reference for similar cities to update drainage and waterlogging prevention facilities and enhance urban resilience under limited conditions.

Keywords: sponge city; urban waterlogging; regulation and storage; wetland; water resource utilization

0 引言

随着我国城市化进程的推进,城市水安全问题已成为制约城市可持续发展、影响居民幸福感的核心议题之一^[1]。以快速排放为导向的传统雨水管理模式,主要依赖大规模的地下管网与末端泵站等灰色基础设施,在极端天气事件频发^[2]、城市不透水下垫面持续扩张的背景^[3]下,其弊端日益显现。若仅

依赖灰色基础设施实现快速排放,往往容易引发内涝问题^[4-5],由此提出了“绿色基础设施”和“蓝色基础设施”概念。海绵城市则是利用“灰绿结合”、“蓝绿融合”的理念来解决城市内涝问题^[5-7],这是新一代城市雨洪管理概念,主要是指通过“渗、滞、蓄、净、用、排”等多种技术途径,实现城市良性水文循环,提高对径流雨水的渗透、调蓄、净化、利用和排放能力,维持或恢复城市的海绵功能^[8]。生态湿地作为城市中宝贵的蓝绿空间,具有强大的滞蓄雨水、调节径流、净化水质和提供生物栖息地等多重功能^[9-10],将其纳入城市排水防涝体系,是对传统灰色基础设施

收稿日期: 2026-01-02

作者简介: 李青青(1993—),女,硕士,工程师,从事给排水工程设计与咨询工作。

的有效补充和优化,已成为当前研究与实践的热点方向。目前,国内外有关海绵城市理念和绿色基础设施的研究已积累了丰富成果,尤其在雨洪模型模拟、单项技术效能评估及规划体系构建等方面进展显著^[11-14]。然而,在既有排水设施约束下,如何实现“灰色”管网泵站系统与“蓝绿”调蓄净化设施之间的精细化协同设计及动态联动运行,相关实证研究和系统性解决方案仍显不足。多数案例未能充分考虑设施间的功能耦合与水资源的多目标综合利用,使得整体系统的韧性提升效益未能最大化。

陕西省兴平市位于关中平原中部,属渭河流域城市。本文以兴平市城区某内涝治理项目为例,在分析现状问题的基础上,提出基于海绵城市理念的城市内涝防治设计思路,强调在既有排水系统格局下,通过新建调蓄设施与之形成动态联动。该模式旨在探索如何通过海绵技术体系,实现城市排雨需求与生态功能提升的协同。

1 项目背景

兴平市城区排水管道正在逐步改造为雨污分流制,雨水管道设计重现期为2年(降雨强度20.4 mm/h)。城区内建有2条雨水干管,其中1条雨水干管管径为d2400 mm,负责将流域范围内的雨水排至现状雨水泵站,经提升后排入下游现状东环渠,最终排入渭河。由于该雨水泵站建设年代较早,其规模已无法满足当前的城市发展强度和最新的排水规划要求,加之雨水泵站选址位于区域地势低点(泵站西侧现状道路路面比泵站场坪高1.5~2.0 m),暴雨期间雨水向站区汇集,积水严重;同时泵站为单回路供电,可靠性不足,无法保证泵站稳定运行。亟需采取措施解决涝期泵站被淹问题,同时提升城市排水防涝能力。

雨后泵站积水照片见图1。



图1 雨后泵站积水照片

2 现状问题研究

(1)水安全。兴平市有7处易涝积水点,严重影

响居民的日常出行,积水原因主要包括地势低洼、排水管道管径偏小及下游出路受限等。其中3处易涝点位于该项目雨水泵站服务范围内,暴雨期间泵站因被淹而停止运行,进一步加剧了上述3处易涝点的积水程度。

(2)水环境。暴雨期间,大量雨水沿地表漫流至泵站及四周低洼区域,该处水体流动性差、无自净能力,易引发黑臭水体问题。

(3)水资源。雨水泵站旁有一地势低洼处,规划在此修建调蓄设施,流域范围内雨水未能排入;雨水泵站东侧为现状污水处理厂,其尾水及雨水均排入下游渠道,未能实现资源化利用,造成水资源浪费。

3 设计目标与技术路线

3.1 设计目标

针对现状水安全、水环境及水资源问题,提出以下设计目标:

(1)消除泵站积水。实现内涝防治设计重现期20年,对应24 h降雨量130 mm。保证道路中1条车道的积水深度不超过15 cm,泵站前积水2 h内可消除。

(2)提高水资源利用率。污水处理厂再生水利用率达10%,进行雨水资源化利用。

由于兴平市尚未编制海绵城市专项规划,该项目参照《咸阳市海绵城市专项规划》(2019—2030)来确定相关指标,即:年径流总量控制率80%,对应设计降雨量15.9 mm;年径流污染物总量(以固体悬浮物浓度SS计)削减率60%。目前,兴平市尚未系统化开展海绵城市建设,受此影响,该项目在设计中未能完全落实上述2项指标要求。

3.2 技术路线

以“泵站提升+调蓄+水质净化+景观提升+水资源利用”为总体技术路线,利用既有排水系统与新建调蓄设施之间的动态联动来实现该项目的设计目标。技术路线图见图2。

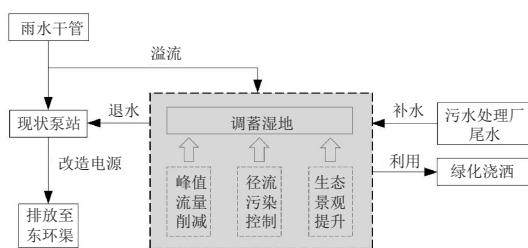


图2 技术路线图

(1)泵站提升。提升现状泵站,依据泵站性质、规模和重要性,将其用电负荷等级改造成二级,以确

保排水安全^[15-16]。

(2)调蓄。受现场用地条件限制,现状雨水泵站不具备扩容空间,因此在泵站旁修建调蓄设施,以降低泵站负荷,在削减峰值流量的同时控制径流污染。

(3)水质净化及景观提升。调蓄设施采用生态湿地形式,配套景观设计,增加亲水平台,实现多功能水体的作用。

(4)水资源利用。污水处理厂尾水可用于湿地旱季补水,调蓄湿地内净化后出水可用于城市绿化浇洒。

4 工程设计

4.1 雨水调蓄

泵站西侧道路紧邻现状学校,东侧为现状污水处理厂。泵站前 d2400 mm 雨水干管服务面积约 329.85 hm²,设计流量为 17.2 m³/s,现状泵站规模为 11.07 m³/s。在泵站西南侧现状低洼地设置地上敞开式离线调蓄设施^[17]。

暴雨强度公式为:

$$q = \frac{167A_1(1 + C \lg P)}{(t + b)^n} = \frac{2210.87 \times (1 + 2.915 \lg P)}{(t + 21.933)^{0.974}} \quad (1)$$

调蓄池容积 V 为^[18]:

$$V = \left[- \left(\frac{0.65}{n^{1.2}} + \frac{b}{t} \frac{0.5}{n + 0.2} + 1.10 \right) \cdot \lg(\alpha + 0.3) + \frac{0.215}{n^{0.15}} \right] \cdot Q_i t \quad (2)$$

式中: q 为设计暴雨强度, L/(hm²·s); P 为设计重现期,本次设计取 2 年; b 、 n 按照设计暴雨强度公式分别取值为 21.933、0.974; t 为降雨历时,本次设计为 52.90 min; α 为脱过系数,本次设计为 0.64; Q_i 为调蓄设施上游设计流量,本次设计为 17.2 m³/s。

由式(2)可算得调蓄池有效容积 $V=1.46$ 万 m³。综合考虑选址区域的现状地形、用地范围及调蓄池的景观功能,调蓄池总容积确定为 3 万 m³。

调蓄池采用生态湿地形式,湿地布局充分顺应原有地势,工程总占地面积约 38 亩(2.533 hm²),其中湿地水面面积 23 亩(1.533 hm²),约占总面积的 60%;有效水深 2 m,最大水深 4 m;植被覆盖率约 38%,由挺水型植物和陆上低矮乔灌木组成。调蓄湿地平面布置图见图 3。

该项目调蓄湿地以削减峰值流量为核心功能,同时兼具径流污染控制作用。

(1)进水。在泵站进水干管设置 d1200 mm 溢流

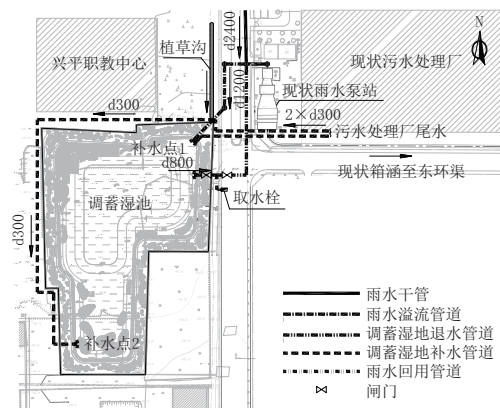


图3 调蓄湿地平面布置图

管道,与 d2400 mm 干管管顶平接。暴雨期间,超量雨水可经溢流管道排至调蓄湿地内临时储存,从而实现峰值削减。

(2)退水。在调蓄湿地深水区设计 d800 mm 退水管道,管道进口两侧 3 m 范围内采用浆砌块石护砌,管口处增设过滤网;退水管道配套电动闸门,闸门井平面布置见图 4。暴雨期间关闭 1#、2#闸门截留雨水,暴雨过后开启 1#、2#闸门,将湿地内雨水通过退水管道平稳排入现状雨水泵站提升排放。该功能一般在雨季为下一场降雨预留调蓄空间和调蓄设施维护时使用。此方案通过新建调蓄设施与既有雨水干管及泵站之间的动态联动,增强了整个排水系统的韧性和运行效能。

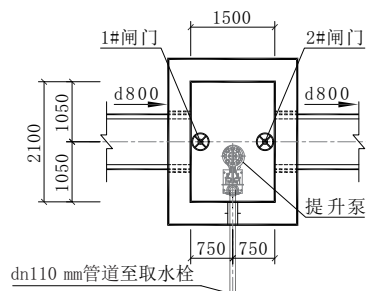


图4 闸门井平面图(单位:mm)

4.2 水质净化

湿地通过植物、微生物、基质之间的物理过滤、化学吸附和生物降解协同作用净化水质,可有效实现对城市污水处理厂尾水的深度净化^[19-21]。该项目调蓄湿地水面面积约 15 000 m²。其作用一是避免蓄水发生黑臭,二则为下一步的雨水资源化利用创造条件。湿地植物配置选择适应当地气候、土壤和水文条件的乡土植物,确保成活率和生长稳定性,同时充分适应水位变化。深水区选用耐连续水淹的物种,浅水区则选用可耐受间歇性水流冲击的物种,对水位、盐度、温度及 pH 值波动具有较强的适应能力,可耐受严寒与干旱气候。该项目在湿地内种植荷花

306 m², 菖蒲 192 m², 旱伞草 252 m², 芦苇 260 m², 千屈菜 236 m², 花叶芦竹 382 m², 茭白 296 m², 合计约 1 924 m², 构建的立体净化系统在高效去除污染物的同时维持生态平衡。

对调蓄湿地作衬底处理时,考虑到工程场地为湿陷性黄土地区,为保证地基稳定,应选择渗透系数较小的基底。综合考虑湿地部位、材料性能和施工成本^[22],选用土工布和黏土作为衬底材料。该设计亦有助于延长污染物浓度击穿时间,降低未经净化雨水对地下水土的污染^[23]。具体措施如下:在湿地沿湖岸线向池内延伸 6 m 的范围内铺设专用土工布,形成 1 道兼具导水与防渗功能的柔性过渡层,土工布铺设平整、搭接严密,面积约 3 530 m²;土工布上方再覆盖厚度为 500 mm 的素土层,以实现结构稳定与局部防渗的双重作用。湿地内其余区域采用原土基础夯实处理,以增强地基承载能力,并统一铺设厚度为 200 mm 的黏土垫层。该黏土垫层结构密实、透水稳定,有助于维持区域内雨水的自然循环。

调蓄湿地典型断面结构图见图 5。

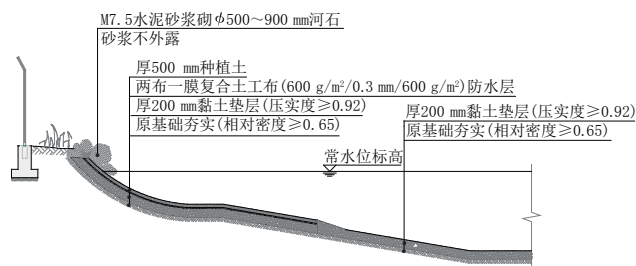


图 5 调蓄湿地典型断面结构图(单位:mm)

4.3 水资源化利用

(1) 污水处理厂尾水利用。在少雨或干旱季节,为保障湿地系统的生态需水,以东北侧现状污水处理厂尾水作为补充水源,设置 2 条 d300 mm 补水管至浅水区边界处,分别从距离最大的东北角和西南角 2 处对角位置注入。这种对角线式的布管方式有助于促进水体在湿地内部的均匀流动和交换,避免局部区域水流停滞,提高补水效率。尾水在进入湿地前达到《陕西省黄河流域污水综合排放标准》(DB 61/224—2018)中污水处理厂水污染物排放浓度限值的 A 标准,经过湿地的进一步净化,可有效维持湿地水量平衡,支持其中动植物生长和水生态环境的稳定。

(2) 蓄水利用。在调蓄湿地退水管出水闸门井内设 1 台变频潜污泵,流量 120 m³/h。将经过湿地净化后的退水加压接入取水栓,绿化洒水车自取水栓取水,用于城市绿化浇洒。取水时,2#闸门关闭、1#

闸门开启,潜污泵需检修时同时关闭 1#、2#闸门。

4.4 景观提升

在湿地水域范围外的陆地区域,种植了金叶女贞、大叶黄杨、红叶石楠等 10 余种植物,绿化面积约 7 600 m²。湿地西北侧设置了由陆地延伸至浅水区的木栈道、防腐木平台走廊及休闲座椅,供游客欣赏水景、休憩游览,在提升游览趣味性的同时,也增强了人与自然的互动体验。

4.5 源头海绵设施

(1) 植草沟。因雨水泵站前道路地势较低,在道路西侧边线外约 5 m 处设置了植草沟(见图 6(a)),收集地面雨水进入调蓄湿地。植草沟断面宽度为 3 m,沿道路延伸约 112 m,整体以 $i=0.001$ 的坡度坡向湿地,使雨水依靠重力自然流入。植草沟不仅能收集日常降雨时的路面径流,还可在强降雨情况下发挥转输与缓冲功能^[24-25];底部铺设土工布,以降低雨水集中入渗对地下水土环境的潜在影响^[23]。

(2) 透水路面。常用的透水铺装材料包括透水砖、透水水泥混凝土和透水沥青混凝土,这些材料内部具备连续孔隙结构,能够引导地表径流迅速下渗至路基或深层土壤^[26-27]。研究表明,这类路面可有效削减 30% 至 80% 的地面径流总量,显著缓解城市排水系统压力^[27]。该项目湿地园区内所有道路均采用生态友好的透水型砾石路面(见图 6(b)),底部铺设土工布,该路面结构在降雨过程中可使雨水迅速下渗后排至调蓄湿地内。此外,该结构有助于恢复道路周边的自然水文循环,改善局部微气候与土壤生态环境,为动植物提供更适宜的生存条件。

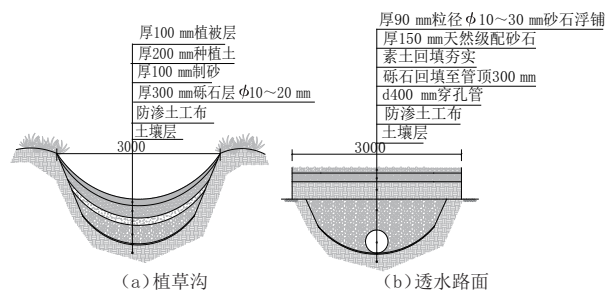


图 6 植草沟及透水路面结构图(单位:mm)

5 工程效益

(1) 经济效益。现状污水处理厂处理能力为 10 万 m³/d,该项目利用污水厂尾水补给湿地,保证湿地少雨或干旱季节生态和景观水体需量。调蓄湿地蓄水用于绿化浇洒,节省自来水用量约 28.8 万 m³/年,按单价 3.8 元/m³ 计算,每年可节省费用约 109 万元,

经济效益显著。

(2)社会效益。该湿地位于城区,尤其北侧为学校,该项目在调蓄功能的基础上,通过丰富植被配置、增设亲水平台等措施,显著提升了周边用户的生活环境品质,已成为区域内兼具美学价值和生态功能的自然斑块之一,社会效益显著。

(3)生态效益。湿地为水生动植物提供了优越的生存环境,尤其为水禽提供了栖息、迁徙和繁殖的重要场所。湿地内投放了多种鱼类,也吸引了野鸭等野生动物前来栖息,形成了良性循环的生态系统。

6 结 语

该项目针对陕西省兴平市城区某雨水泵站超负荷运行及站前道路积水问题,基于海绵城市理念设计并实施了“调蓄+水质净化+景观提升+水资源利用”多功能协同的调蓄湿地,系统性解决了水安全、水环境和水资源问题。在既有泵站规模约束下,将灰色基础设施与蓝色、绿色基础设施进行功能整合,形成了一套可复制、可推广的城市内涝治理与水资源化利用综合方案,具备良好的经济效益、社会效益和生态效益,对国内同类城市内涝治理与海绵城市建设项目具有积极的参考价值。但该项目主要基于特定案例的实践与分析,在不同气候条件与城市形态下的适应性仍需更多实践验证。后续研究可聚焦于不同地域条件下,此类协同系统的适应性优化与规模化推广策略。

参考文献:

- [1] 梅超,刘家宏,王佳,等.统筹城市防洪体系和内涝治理的难点及对策探讨[J].中国水利,2025(17):22-26.
- [2] 王蕾,张百超,石英,等.IPCC AR6报告关于气候变化影响和风险主要结论的解读[J].气候变化研究进展,2022,18(4):389-394.
- [3] 张金萍,张朝阳,左其亭.极端暴雨下城市内涝模拟与应急响应能力评估[J].郑州大学学报(工学版),2023,44(2):30-37.
- [4] 刘玥,张翔,刘洁,等.极端暴雨下绿-灰-蓝基础设施防洪排涝效果评估——以东沙湖流域为例[J].应用基础与工程科学学报,2024,32(3):740-753.
- [5] 赵丰昌,章林伟,高伟.海绵城市理念下城市内涝防治体系构建的探讨[J].给水排水,2021,57(8):37-44.
- [6] 唐磊,芮文武,张锦森,等.海绵城市规划中融合蓝绿灰设施的技术方法研究[J].中国给水排水,2024,40(16):42-47.
- [7] 张克寒,梅超,刘家宏,等.蓝绿灰基础设施协同的城市内涝调控及关键技术解析[J].水利水电技术(中英文),2025,56(6):26-37.
- [8] 建城函[2014]275号 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)[S].
- [9] 马越,邓朝显,甘旭,等.终端雨洪生态调蓄技术在海绵城市建设中的应用——洋西新城中心绿廊示范项目[J].净水技术,2016,35(3):38-44;62.
- [10] 侯宇昂.基于SWMM模型的湿地公园规划设计研究[D].南京:南京林业大学,2025.
- [11] 王艳芳,段梦.镇江市边检站多功能调蓄池的工艺设计与优化[J].中国给水排水,2023,39(6):83-87.
- [12] 吕炎,黄更.北方某城市雨水调蓄池设计案例分析[J].净水技术,2022,41(增刊1):300-304.
- [13] 曹喆,王成坤,王川涛,等.基于SWMM模型的合流制溢流污染控制调蓄池容积设计[J].净水技术,2025,44(7):139-146;191.
- [14] SONI L, IQBAL A, WAHEED F, et al. Challenges and considerations of applying nature-based solutions for future mega-cities: Implications for Karachi as a sponge city[J]. Human Settlements and Sustainability, 2025, 1(1): 50-61.
- [15] GB 50014—2021 室外排水设计标准[S].
- [16] GB 50265—2022 泵站设计标准[S].
- [17] 何强.排水工程(第2册)[M].北京:中国建筑工业出版社,2023:115-116.
- [18] GB 51174—2017 城镇雨水调蓄工程技术规范[S].
- [19] 白雪原,姜海波,阳涛,等.不同水力负荷条件下水平潜流人工湿地处理城镇污水处理厂尾水的效率及微生物特征研究[J].环境生态学,2022,4(9):108-114.
- [20] 管策,郁达伟,郑祥,等.我国人工湿地在城市污水处理厂尾水脱氮除磷中的研究与应用进展[J].农业环境科学学报,2012,31(12):2309-2320.
- [21] 纪伟,朱洛炯,张舒,等.人工湿地深度处理市政尾水研究进展[J].净水技术,2024,43(6):9-19.
- [22] 赵宏博.不同防渗材料与水生植物的相互作用效应研究[D].武汉:湖北工业大学,2020.
- [23] 王亮,吴舒畅,杨华展,等.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].净水技术,2023,42(11):149-158.
- [24] STAGGE J H, DAVIS A P, JAMIL E, et al. Performance of grass swales for improving water quality from highway runoff[J]. Water Research, 2012, 46(20): 6731-6742.
- [25] 章泽宇,骆辉,胡小波,等.植草沟控制城市径流污染研究进展[J].应用化工,2020,49(7):1776-1779;1785.
- [26] 邵文祎.基于海绵城市理念的道路设计分析——以武汉市南新街为例[J].城市道桥与防洪,2025(2):63-67.
- [27] 李一龙,包宇,薛屹娆,等.北京新机场某厂区“海绵机场”的构建措施分析[J].市政技术,2021,39(5):134-139.