

水环境与排涝系统协同提升典型案例分析

聂俊英

[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:为满足“十四五”期间水环境提升与排涝能力达标的系统性要求,以湖北某市水环境与水系防洪排涝系统提升为例,从水环境提升、防洪排涝能力升级、水体生态基流等方面入手,根据流域的本底特征与规划目标,以水系治理为需求的目标导向,利用地形与地被现状就势采用湿塘、人工湿地对点源污染与面源污染进行治理,对现状排涝体系进行系统化梳理并扩容,提出了系统性实施方案,项目落地实现水环境与水安全同步提升,为再生水、雨水利用提供了充分条件。

关键词: 水环境;排涝;湿塘;人工湿地;海绵城市;再生水

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0297-04

Analysis on Typical Cases of Synergistic Improvement of Water Environment and Waterlogging Drainage System

NIE Junying

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

Abstract: In order to satisfy the systematic requirements for improving water environment and meeting waterlogging drainage capacity standards during the 14th Five-Year Plan period, taking the improvement of water environment and waterlogging drainage system in a city in Hubei Province as an example, starting from the aspects of water environment improvement, waterlogging drainage capacity upgrading, and water ecological basic flow, based on the background characteristics and planning goals of the basin, and taking the water system governance as the goal orientation, the wet ponds and constructed wetlands are used to control the point source pollution and non-point source pollution by taking advantage of the current terrain and ground cover conditions. The current waterlogging drainage system is systematically sorted out and expanded, and a systematic implementation scheme is proposed. The implementation of the project can realize the synchronous improvement of water environment and water safety, which provides the sufficient conditions for the utilization of recycled water and rainwater.

Keywords: water environment; waterlogging drainage; wet pond; constructed wetland; sponge city; recycled water

0 引言

某市建成区污水处理厂排放水质为劣V类,排放水体处于黑臭状态。“十四五”规划末期要求水体水质优于地表水Ⅳ类水要求。基于污水处理厂排放相对于水体为污染物输入型,对河道水质影响大,同时雨天径流污染未有效控制,加剧了河道水质的污染程度。研究区域排涝能力未能满足住房城乡建设部公布的排涝要求,亟需提升标准保障周边农田在20 a一遇降雨时不发生水浸。研究范围水环境提升与排涝能力提标需求迫切。

1 水质与水情分析

研究范围12.40 km²,该范围涉及河道长度11.8 km,平均宽度15 m,平均深度1.75 m。项目范围内水体具有排涝蓄水、农业灌溉双重功能。研究水体处于劣V类状态,富营养化较为严重。水质污染主要来自于点源污染、面源污染。随着污水收集率的提升,污水系统提质增效的持续推进,污水收集率已经提升到95%以上,污水直排的影响可控。点源污染主要是污水处理厂尾水,排放水体的污染物含量超出水体水质考核指标是目前主要矛盾。采样断面为污水处理厂出水口下游100 m。通过对关键点、距离污水处理厂最近且口径最大的雨水排口、非汛期与汛期雨天典型水质进行采样分析,采样水质为7次均值。水质如下表1所示,化学需氧量COD_{Cr}、

收稿日期: 2025-08-19

基金项目: 上海市科委科技攻关项目(23DZ1202805)

作者简介: 聂俊英(1980—),女,博士,高级工程师,从事水环境治理研发、咨询与设计工作。

氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、总磷 TP 为主要常规污染物,分析发现汛期与非汛期采样断面考核指标全部超标,雨水排口超标严重。

表1 水质指标分析		单位:mg/L		
序号	位置与目标	COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	TP
1	污水处理厂尾水	50	5	0.5
2	雨水排口	84.5	9.2	1.10
3	断面非汛期	38	1.9	0.32
4	断面汛期	45	3.6	0.40
5	考核目标	30	1.5	0.30

研究范围内部分区域地形偏低,超过 10 a 一遇的降雨容易内涝,部分农田受淹成为本排涝系统的蓄水空间。随着极端气候的频繁出现,排涝系统不断受到挑战。调研水情发现,2010—2017 年间研究范围内出现 1 次建成区积水超过 30 cm,4 次农田水浸面积均超过 21%。水环境与水安全需要统筹提升。

2 问题分析

2.1 水质问题

如图 1 所示,研究范围排涝区域包含城市建成区 564 hm^2 ,建成区综合径流系数为 0.65。其他区域面积 676 hm^2 ,含防护绿地 87 hm^2 ,农村宅基地与农用设施建筑占地 41 hm^2 ,市政设施、河道蓝线与水利设施用地 98 hm^2 ,农用地面积 449 hm^2 ,该部分综合径流系数为 0.53。

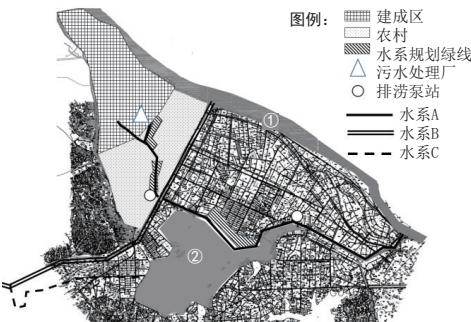


图1 项目设施分布图

图 1 中的水系 A 为本文研究的主要对象。上游污水处理厂尾水为稳定的补水水源,也是水系 A 的主要点源污染,指标满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,但水质距离该水系的考核标准较远。按照水量分析,每年污水处理厂排向河道的 COD_{Cr} 730 t, $\text{NH}_3\text{-N}$ 73 t, TP 7.3 t。从生态冲击方面,氮磷输入增加了水体富营养化的风险。调研发现尾水中 0.5 mg/L 的余氯对进入水体的出水下游生态系统冲击大,出水口到下游约 200 m

的水体中几乎无水生植物与鱼类。

除污水处理厂尾水外,雨水作为水系 A 汛期水量主要来源。老城区建设年代主要在 20 世纪 90 年代,面源污染较为严重,雨天河道水质感官差。经调研现场采样调研,按照 50 m 一个断面进行水质分析,出现黑臭的概率占到 72%。

调研发现污水系统提质增效推进成效明显,污水混接雨水的情况占到污水总量约 5%,旱天通过雨水系统末端截污进入污水处理厂,雨天会有少量污水溢流进入水体。基于雨水系统建设期间无径流污染控制相关设施,雨天少量污水溢流与径流污染是汛期污染的主要来源^[2-3]。通过对水系 A 雨天水质变化测算,平均一场降雨需要控制城市建成区降雨初期来水 2.3 万 t,可控制约 50% 的径流污染物,对应 8 mm 的降雨量,实现污染物削减与径流总量控制实现的双重目标^[5-6]。水系 A 汇入水体①,该水体设国考断面,水系 A 的水质直接关系水体考核。

2.2 内涝问题

图 1 中水系 B 北侧紧邻水系 A 上游排涝泵站,该处泵站排涝能力 10 a 一遇水平。计算水系 A 汇水面积、上游排涝泵站能力、下游水体水位控制与下游泵站能力,上游系统排涝能力约为 10 a 一遇水平。下游系统排涝能力达到 20 a 一遇,排涝问题主要集中在上游泵站规模未达标与河道整体过水断面偏小。

根据排涝规划与水系规划,在既定河道蓝线、水面线坡降格局下,过水断面平均偏小 22%,超过 10 a 一遇降雨量时,研究范围内约 33% 农田有浸水风险。对标市级水利规划分析计算,需要对 90% 排涝河道进行清淤,实现蓄排平衡。同步挖掘本次治理范围内的调蓄空间,进一步提升调蓄能力,进一步提升排涝系统的弹性空间^[4]。为保证上游排涝泵站达到 20 a 一遇、24 h 降雨 216 mm,泵站需扩容到现状 2 倍的排水能力。

3 治理目标

水系 A 需达到清洁、无异味,感观良好;可考核的指标为 $\text{COD}_{\text{Cr}} < 30 \text{ mg/L}$, $\text{NH}_3\text{-N} < 1.5 \text{ mg/L}$, TP $< 0.3 \text{ mg/L}$,水质基本满足观赏性景观河道用水要求。

通过提升研究范围排涝能力,满足 20 a 一遇,在 24 h 降雨达到 216 mm 的状态下不发生内涝。通过水环境提升与水体库容扩容后,雨水有条件作为非常规水源进行利用,为农田灌溉水源提供更多选择,实现节水与低碳的目标^[7]。

4 水环境与水安全提升方案

4.1 水质提升与保障方式

研究范围内水体治理基于低影响、适用性强、经济性好、节地型、运维成本低的原则开展^[8-11]。主要采用生态型低成本运维方式削减污染物。

通过挖掘水系C,由图1中水系B高水位时适当补给下游水体②,满足生态流量,实现畅水流通,是水质长效保持的次要手段^[12]。综合策略实现水质稳定,感观好,助力水系A作为城市边缘景观观赏性水系的基础条件。

4.2 污染控制方案

充分利用河道蓝线与绿线之间空间削减污染物,减少入河污染物。主要通过湿塘、人工湿地建设,削减污染物,本质上减少污染物总量。

设计水量按照晴天4万t,雨天6.3万t,通过管道、节流闸将初期雨水引入处理端。处理工艺经过多次比选论证,采用湿塘—水平潜流人工湿地—表面流人工湿地的串联工艺。晴天全部水量进入串联工艺,雨天全水量进入前两个工序,第三个工序根据表面流人工湿地出水端水位与河道水位情况控制进入量或全部超越从潜流湿地出水端入河。

将污水处理厂尾水首先引入湿塘,通过湿塘消耗污水处理厂尾水余氯。雨天湿塘同时起到沉降径流污染雨水中悬浮物的功能。两种类型的来水分格设置水流通渠道。设计湿塘总面积为2.8 hm²,总深度2.0 m,高水位水深1.8 m,平均水深1.2 m,低位水深0.7 m。晴天污水厂尾水可通过连通管进雨水一侧,保障湿塘的生态水位与观赏性。雨天将通过预降水位,保障初期雨水进入湿塘。尾水与初期雨水停留时间均不小于4 h。湿塘采用规划河道绿线内的退渔还河区域鱼塘。运行模式为晴天平均水位运行,雨天高水位运行。调节容积可达到3万m³,对下游人工湿地的水力冲击可控。

湿塘对余氯与初雨中的悬浮物进行预处理后,通过水平潜流人工湿地削减污染物,潜流人工湿地中填料的微生物量与孔隙率受进水影响小。潜流人工湿地的晴天平均水力负荷为0.5 m³/m²·d,总面积为8 hm²,雨天水力负荷达到0.65 m³/m²·d,湿地填料厚度1 m,植被层厚0.2~0.5 m,设计进水水质按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。填料平均粒径为25~30 mm,上层地被充分考虑原状土的消纳,做到土方平衡。湿地填料

充分利用当地材料,控制成本。湿地的低负荷设计去除率COD_{Cr}为50%,NH₃-N的去除率为85%,TP的去除率为70%。污水处理厂尾水中TN含量15 mg/L,潜流湿地的设计去除率为70%,总氮TN为参考指标。根据水力负荷与污染物总量核算,潜流人工湿地出水COD含量在晴天与处理初期雨水分别为≤25 mg/L与COD_{Cr}≤35 mg/L,NH₃-N出水分别为≤1 mg/L与≤1.5 mg/L,TP出水分别为≤0.25 mg/L与≤0.3 mg/L,TN指标为≤5 mg/L与≤7 mg/L。

潜流人工湿地出水水质主要指标已经优于Ⅳ类,后续进入表面流人工湿地,本项目根据规划河道绿线内退渔还河的鱼塘建设表面流人工湿地,主要目标为提升水体生物多样性,为河道提供稳定、清澈度大于50 cm、有利于螺鱼草共生生态水。通过本项目出水补给目标河道的水量稳定每天在4~6.5万t。晴天目标水体可以实现2 d更新一次。表面流人工湿地的水深为0.8~1.5 m,平均水深为1.1 m,总面积为9.1 hm²,其中水面面积为6.7 hm²。水利清淤量通过干化改性后塑造表面流人工湿地水下水上微地形,消纳河道清淤土方。实现了考核水体绿线范围内土方平衡。

如图1所示,湿塘与人工湿地主要建设在水系规划绿线范围,就近将污水处理厂尾水与排涝沟中初期雨水导入湿塘。水系A为排涝河道,周边水质提升用地为水系规划绿线范围,均属于退渔还河区域。

通过湿塘—人工湿地治理,将污水处理厂尾水、初期雨水处理主要指标满足Ⅳ类水,湿塘与人工湿地均起到了调节水量的作用,在治理区域径流系数从0.53降到0.38,实现了系统海绵化的增量目标。通过本次生态化治理,增加一般性绿地14 hm²,实现了碳汇目标。

4.3 生态补水方案

如图1所示,水系B为另一个排涝系统的河流,该河流为高位水体,且水质稳定在Ⅱ~Ⅲ类水质,比本研究排涝水体平均水位高出3.5 m,两组水体无水量交换。水系A通过暗涵下穿水系B。

水系A下游大水体②面积8 km²,水体库容量大,置换周期长,总氮总磷用湖库标准考核更为合理,经调研水质除TN外,主要指标为湖库Ⅴ类水。水系A设有水闸可以补给该水体,本项目治理后的水质对于湖库来说,水系A的水质TN、TP指标偏高较多,对于大面积水体来水是氮磷输入点,不再进入该水体。基于仅有降雨与地下水补给,无其他补水水

源,为避免生态退化,从水系B引入生态流量,日补充总量为4万t,可以替代污水处理厂补水的全量,该流量仅为水系B的5%~8%的平均流量,生态影响可控。通过与当地市水利主管部门多次沟通核实,充分挖掘20世纪70年代的农业灌溉废弃渠道遗址,将其疏浚修复,实现图1中引水线路水系C的修复,引水能力达到8 m³/s的能力,总长度4.95 km,较大的引流能力是为了适应水系B季节性水位变化满足生态流量,运行灵活。

4.4 排涝能力提升方案

该工程排涝能力提升聚焦过水断面保障、排涝泵站扩容满足规划与住房城乡建设部相关要求,按照规划排涝能力满足水面线与计算断面要求。对排涝泵站进行扩容,满足20 a一遇排涝要求,最终实现上下游联合调度。

工程研究范围内共11.8 km水系进行清淤与局部拓宽,保障过水断面达到20 a一遇排涝标准。通过清淤与拓宽,共从河道蓝线内清理10.2万t泥沙,保障了系统的过水断面。泥沙的平均含水率为64%,淤泥在非汛期清除,通过河道规划绿线内设置吹填区风干后作为人工湿地种植回填土。利用时含水率约为41%,总量约为6.3万t,在项目内部消纳。

现状排涝泵站排水能力为7.5 m³/s,本项目扩容到15.5 m³/s,达到20 a一遇,在24 h降雨达到216 mm的状态下建成区不发生内涝,基本农田不发生水浸。本次排涝设施与水利、住建两个行业主管部门智慧化平台对接,与上下游水位、下游泵站进行联动,根据气象部门、河道水位数据动态调整运行机制。

5 治理成效

正常运行3 a,研究范围内水体水质常态化达到考核指标。人工湿地植物覆盖率72%,表面流人工湿地晴天清澈见底,人工湿地区域已成为市区居民近郊徒步打卡点。

排涝泵站扩容验收后,该市发生4次超过10 a一遇的降雨,泵站服务范围内基本农田未发生水浸。污水处理厂尾水与初期雨水在湿塘与人工湿地中停留时间较长,雨天高水位运行状态,调节了部分雨水

量,达到了削峰调蓄的目标,海绵化在城市建成区下游实现。建成后下游泵站启闭的频率比验收前三年平均值降低16%。

表面流人工湿地在汛期较高水位运行,周边村水利点负责人已经跟市水利局沟通补充建设了农用灌溉取水井,实现了污水处理厂尾水的再生利用,日最大取水量达到1.5万t。通过对大面积水体补水改用高位水体,目前大面积水体水质主要指标已经从湖库V类改善到IV类水,TN不考核,无藻类聚集现象。

从经济型与功能性方面,水环境提升与排涝能力提标在同一区位,实施过程中水利清淤物料资源化利用在生态治理设施中土方平衡消纳、高程设置在蓝线与绿线内顺接、施工便道同步使用等措施,在小流域治理中是低碳、环境友好、经济的典型案例。

参考文献:

- [1] 李怀坤.城市水环境治理工程中存在问题及解决思路探讨[J].中国标准化,2019(14):92-93.
- [2] 王亮,邹东豪,李怀坤,等.广州甘涌黑臭水体综合整治案例分析[J].中国市政工程,2022(6):46-48;53.
- [3] 徐旻辉.排水系统条件对分流制排水系统调蓄池环境效益的影响研究[J].科技创新与应用,2021(4):14-17.
- [4] 葛晓光,李子阳,张建良,等.基于“蓄排平衡”的城市市政-水利综合排涝探究与实践[J].净水技术,2024,43(11):141-147.
- [5] 刘广奇,孔彦鸿,周广宇,等.城市低影响开发与水系联调系统治涝研究及应用[J].中国给水排水,2022,38(12):107-112.
- [6] 王峰,谭学军,吕永鹏.城市排水系统“碳中和”路径研究[J].城市道桥与防洪,2024(11):16-21.
- [7] 王盼,陈嫣,吕永鹏,等.雨水系统运行回归设计状态是城市雨天污染控制的关键[J].给水排水,2024,60(4):40-45.
- [8] 吕永鹏,王金兵,蒋柱武,等.高密度建成区径流污染源精确计量与系统阻控关键技术及应用[J].城市道桥与防洪,2023(1):113-117.
- [9] 张延.渠道防渗技术在农田水利工程中的应用效果探究[J].数字农业与智能农机,2024(2):56-59.
- [10] 张辰.基于海绵城市建设理念的排水工程设计[J].给水排水,2019,55(6):1-5.
- [11] Giorgio Mannina, David Butler, Lorenzo Benedetti, et al. Greenhouse gas emissions from integrated urban drainage systems: Where do we stand[J].Journal of Hydrology, 2018(559): 307-314.
- [12] 唐建国,王家卓,马洪.完善城市排水系统,巩固和提升黑臭水体整治成效[J].给水排水,2018,44(1):1-7.