

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.12.011

上海市某雨水泵站初雨调蓄箱涵工艺设计与优化

李宗强

(上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海 200063)

摘要: 为进一步提升水环境质量,近年来越来越多的城市逐步重视对初期雨水的收集和治理,初雨调蓄设施则成为初雨径流污染控制的主要工程措施,其建设形式根据现场选址情况较为多样。以上海市某雨水泵站初雨调蓄箱涵工程为例,设计规模 $16\,600\text{ m}^3$,巧妙利用224 m长的出水箱涵下方空间布置调蓄箱涵,并结合池型合理布置双向冲洗方式,通过调蓄箱涵凸出出水箱涵空间布置检修孔及放空设施等,除臭采用三段式组合工艺,能够灵活应对不同浓度的臭气。通过优化设计进一步节省了占地面积、降低了工程造价及建成后的运维成本,从而促进初雨调蓄设施更加高效低碳地发挥其环境效益、社会效益和经济效益。

关键词: 初雨调蓄箱涵; 雨水泵站; 径流污染; 冲洗方式

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)12-0072-04

Process Design and Optimization of Initial Rainwater Storage Box Culvert for a Rainwater Pumping Station in Shanghai

LI Zong-qiang

(Shanghai Water Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: In recent years, an increasing number of cities have begun to place greater emphasis on the collection and treatment of initial rainwater to further enhance the quality of the water environment. Initial rainwater storage and regulation facilities have emerged as the primary engineering measures for controlling initial rainwater runoff pollution, and their construction forms vary significantly based on the specific site conditions. The design capacity of the initial rainwater storage box culvert project of a rainwater pumping station in Shanghai is $16\,600\text{ m}^3$. The storage box culvert was ingeniously integrated into the space beneath the 224-meter-long outlet box culvert. A bidirectional flushing mode was strategically arranged in conjunction with the tank configuration to enhance operational efficiency. Maintenance access holes and venting facilities were arranged through the space created by the storage box culvert protruding from the outlet box culvert. Deodorization employed a three-stage combined process, enabling flexible adaptation to varying odor concentrations. Through optimized design, the footprint area was further reduced, effectively lowering both the project cost and the operation and maintenance expenses after completion. This enhancement enables initial rainwater storage and regulation facilities to achieve their environmental, social, and economic benefits in a more efficient and low-carbon manner.

Key words: initial rainwater storage box culvert; rainwater pumping station; runoff pollution; flushing mode

随着我国城镇化进程的加快,不透水的硬化地面面积占比越来越高,城市路面通行车流量也越来越大,由雨水径流产生的城市面源污染已成为城市水环境恶化的重要原因之一。为进一步提升水环境质量、巩固水环境治理成果,必须重视对初期雨水径流污染的控制,《上海市城镇雨水排水规划》(2020—2035年)提出了强排系统初期雨水的截流标准,其中分流制为5 mm,合流制为11 mm。近年来,上海市在中心城区大力推进初雨调蓄设施建设,并已取得阶段性成果。以上海市某雨水泵站初雨调蓄箱涵工程为例,阐述在初雨调蓄设施设计中多方位优化设计方案的重要性,尽量以最低的投入获得最高的环境效益、社会效益和经济效益。

1 工程概况

上海市某雨水泵站服务面积为460 hm²,采用雨污分流排水体制,暴雨设计重现期 $P=5 a$,综合径流系数取0.6。该泵站设计规模37.1 m³/s,旱季污水截流量3 990 m³/d。雨水泵房集水井内设置6套钢丝绳牵引格栅除污机,每组宽2 500 mm,格栅槽宽2 600 mm,栅条间距80 mm;进水箱涵长约120 m,宽5.0 m,高3.6 m,设计管内底标高-6.60~-6.30 m,埋深9.90~10.20 m;出水箱涵断面尺寸为双孔6.5 m×3.0 m~8孔6.5 m×3.0 m,长224 m,排放口截面积156 m²,出口流速0.25 m/s,雨水经提升后排入黄浦江。初雨调蓄池服务面积与雨水泵站一致,调蓄规模为16 600 m³,主体结构布置于出水箱涵下方,采用重力流进水方式,进水时间约0.5 h,考虑下游污水管道的排水能力,放空时间近期为48 h,远期为24 h。

2 初期雨水调蓄规模

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)和上海市《雨水调蓄设施技术标准》(DG/TJ 08—2432—2023),对用于污染控制的雨水调蓄设施,其调蓄量 V 可以按照下式进行计算:

$$V = 10DF\Psi\beta \quad (1)$$

式中: D 为单位面积调蓄雨量,mm; F 为汇水面积,km²; Ψ 为径流系数; β 为安全系数。

根据《雨水调蓄设施技术标准》(DG/TJ 08—2432—2023),当上海市省际边界上游来水水质均达到水功能区划要求时,结合雨污混接改造、源头海绵设施建设、分流制调蓄5 mm降雨、合流制调蓄

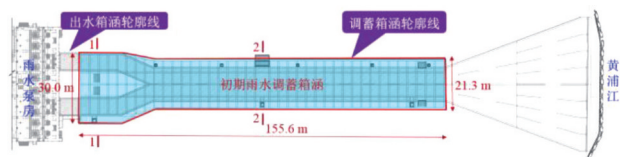
11 mm降雨等措施,全市河网水系水质可以达到水功能区划的规划要求,满足溢流污染负荷控制率达到80%(以SS计)的目标。考虑到该项目为分流制调蓄,故 D 取值5 mm; Ψ 依据区级雨水规划以及加权平均复核计算,取值0.6; β 取值1.2,经计算,初期雨水调蓄规模取值16 600 m³。

3 调蓄设施选址及建设形式比选

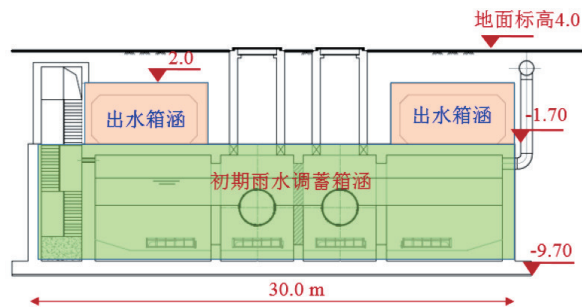
雨水泵站占地面积约8 510.4 m²,地块南北向长125 m,东西向宽约68.3 m,其中雨水泵房主体占地面积约580.8 m²,同时需建设进水闸门井、开关站、配电间和检修间及其附属设施,用地较为紧张,泵站场区内已无法平行布置初雨调蓄池;泵站东侧为规划绿地,但其内嵌有几块基本农田,无法充分利用规划绿地地下空间建设地下形式的调蓄池;泵站南侧为黄浦江涵养林,如在此区域建设调蓄池需对地上涵养林进行搬迁,费用较高,审批手续繁琐。综合上述雨水泵站周边用地及规划情况,初雨调蓄设施选址及建设形式初步确定两种方案。

方案一为与出水箱涵叠建,采用调蓄箱涵形式(见图1)。考虑到泵站出水箱涵尺寸,拟在其下方布置条形初雨调蓄箱涵。

调蓄箱涵总长155.6 m,宽21.3~30 m,高8.0 m,有效水深5.1 m,调蓄箱涵顶板同出水箱涵底板共用,采用重力进水模式,初期雨水经雨水泵房格栅、初雨格栅及初雨DN200进水闸门汇入进水总管至初雨调蓄箱涵。初雨格栅栅条间距20 mm,与雨水泵房格栅、截污设施等共用格栅间。



a. 平面布置



b. 剖面1-1

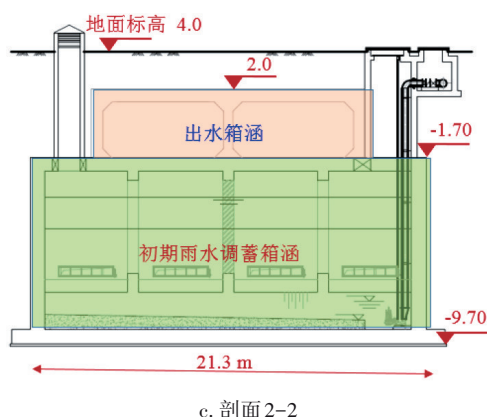


图1 初雨调蓄箱涵平面及剖面

Fig.1 Plan and section of initial rainwater storage box culvert

方案二为与雨水泵房叠建,采用矩形调蓄池形式(见图2)。调蓄池设置在雨水泵房正下方,长48 m,宽44.6 m,高10.8 m,有效水深8 m,采用重力进水模式。调蓄池单独设置2套格栅,栅条间距20 mm,与雨水泵房格栅、截污设施等共用格栅间。

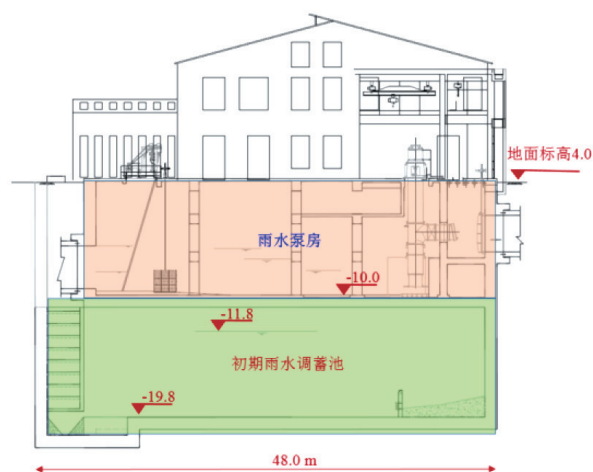


图2 泵房下叠初雨调蓄池剖面

Fig.2 Section of initial rainwater storage tank in the lower stack of pump house

方案一采用调蓄箱涵形式,初雨调蓄箱涵大部分位于出水箱涵下方,其顶板与出水箱涵底板共用,该方案充分利用出水箱涵下部空间,减少了额外的涵养林或绿化搬迁,降低了绿化搬迁费用,缩短了工程建设周期;同时调蓄箱涵和出水箱涵共用一个基坑,减少了基坑围护费用,进一步降低了工程造价,综合节约工程投资约1 000万元;调蓄箱涵埋深相对方案二较浅,降低了建成后的运维成本和难度。方案二将调蓄池设置在雨水泵房下方,基坑

深度约25 m,围护方式需采用地连墙形式,基坑围护费用相对仅泵房的沉井施工方式有较大增加;该方案设施较为集中,均设置在泵站内,方便今后的日常管理,但因调蓄池埋深较大,建成后初雨的放空提升、运维成本较方案一大幅提高,且日常清淤难度较大。经综合经济和技术比较,该项目推荐采用方案一的调蓄箱涵形式,采用全地下式现浇钢筋混凝土结构,桩筏板基础,调蓄池底板顶埋深约12.9 m,顶板上叠建双孔出水箱涵,其余部分覆土。

4 调蓄箱涵冲洗方式论证

初雨调蓄池在每次完成调蓄排空后应进行水力冲洗,若不能及时进行有效冲洗,池底则会出现淤积,如此反复多次后清洗难度较大,而淤积的污泥厌氧发酵后也会释放有毒有害气体,危害人体健康,其中甲烷为易燃易爆气体,给运营带来巨大风险。目前,国内调蓄池冲洗方式主要有门式冲洗、水力翻斗、智能水射器、真空冲洗等,根据该项目调蓄箱涵的池型及上海市已建调蓄池的冲洗方式,主要对门式冲洗和智能水射器两种进行对比。

方案一为门式冲洗方案,采用两端向中间的冲洗模式(见图3)。因门式冲洗最佳冲洗长度不超过100 m,考虑到该项目调蓄箱涵长155.6 m,将调蓄箱涵分成两段,于箱涵两端设置蓄水室和冲洗门,集水区两侧各布置4条冲洗廊道,两侧冲洗廊道分别长67 m和74 m,坡度均为1%,每条廊道宽4.45 m,共设8套门式冲洗设备,在调蓄箱涵中间设置集水区和放空泵。

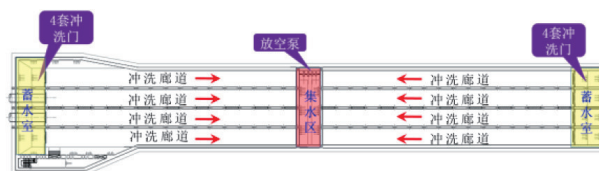


图3 门式冲洗方案平面布置

Fig.3 Layout plan of portal flushing scheme

方案二为智能旋转喷射器方案,采用调蓄箱涵两侧布置喷射器模式(见图4)。由于喷射器工作半径约20 m,为避免冲洗盲区,整个箱涵共设置9套智能旋转喷射器,在箱涵中间设置集水区和放空泵。

门式冲洗方案对土建要求相对较低,设备采用油压控制,能耗较低,设备检修频率较低,冲洗效果好。而智能旋转喷射器方案如无外部水源供水,则需设置存水坑,对土建要求较高,智能喷射器电耗

较高,冲洗泵功率约15 kW,冲洗设备投资较方案一高约300万元;冲洗水采用调蓄箱涵存水会增大喷射器的检修频率,且设备安装在地面下约13 m处,上方又设有出水箱涵,导致设备检修困难较大、运维费用较高。综上,推荐采用门式冲洗方案。

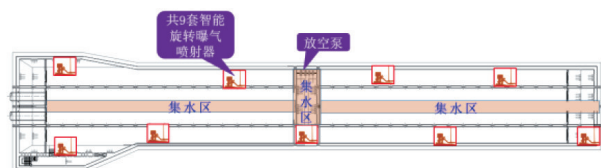


图4 智能旋转喷射器方案平面布置

Fig.4 Layout plan of intelligent rotary injector scheme

5 设备吊装孔及除臭设计

出水箱涵及调蓄箱涵上方现状为涵养林,设施建成后需按照规划恢复涵养林。根据相关部门要求,凸出地面的构筑物及检修孔应尽量少占用涵养林土地,因此凸出地面上方的设施应在满足功能需求的基础上尽量少、小,设计中结合设备检修及除臭通风需求对设备吊装孔、通风口及除臭出风口的布置进行优化(见图5)。考虑到调蓄箱涵在出水箱涵下方,为方便设置,将调蓄箱涵每侧伸出出水箱涵外壁3.3 m,在此空间设置吊装孔、通风口及除臭出风口直通地面,满足日常运维检修及除臭通风需求,同时减少了上部涵养林搬迁面积和地下占地空间,缩小了基坑开挖面积,进一步降低了工程造价,缩短了工程建设期限。方案优化后,调蓄箱涵布置设备吊装孔6处,尺寸均为2.0 m×1.1 m;调蓄箱涵两侧分别布置通风口和除臭出风口,其中通风口设置3处,尺寸均为1.8 m×1.8 m,除臭出风口设置5处,尺寸均为1.2 m×1.2 m。

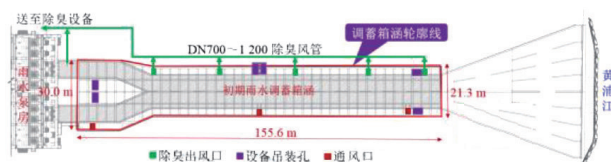


图5 设备吊装孔、除臭出风口及通风口平面布置

Fig.5 Layout plan of equipment lifting hatches, deodorization air outlets, and ventilation outlets

在调蓄池运行过程中,进水阶段 NH_3 和 H_2S 的平均浓度均超出了《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)的二级标准,而 NH_3 和 H_2S 浓度的最大值出现在存水阶段; NH_3 平均浓度依次为进水阶段>闲置阶段>存水阶段>排水阶段, H_2S 平均浓度依次

为进水阶段>存水阶段>排水阶段>闲置阶段^[1]。因此,臭气设施的处理规模应充分考虑初雨调蓄规模和进水时间,该项目调蓄箱涵进水时间为0.5 h,进水期间会排放相应体积的臭气,根据DG/TJ 08—2432—2023相关要求,该项目除臭设施处理规模按每小时处理调蓄容积的两倍臭气体积设计,故除臭设备规模确定为33 200 m^3/h 。因调蓄箱涵与村庄及市政道路的距离较近,为达到《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB 31/1025—2016)及《大气污染物综合排放标准》(DB 31/933—2015)规定的排放指标,采用“水洗+离子法+化学滤料”三段式组合除臭工艺,为进一步节能降耗,该除臭系统各工艺段设置超越功能,方便运维阶段根据臭气浓度灵活切换除臭工艺段数。为方便除臭设备的运行维护,将其设置于雨水泵站内集水池上方,臭气收集后通过DN700~1 200除臭风管送至除臭设备集中处理达标后排放。

6 结语

① 工程试运行阶段,初雨调蓄箱涵能较好地发挥初期雨水径流污染控制作用,协同雨水泵站整体运行状况良好。建议今后进一步优化水力冲洗流程,提高冲洗效果。

② 以上海市某雨水泵站初雨调蓄箱涵工程为例,在满足设施使用功能的前提下,紧紧围绕“三省”,即“省地、省钱、省时间”,创新地提出了调蓄箱涵的设计方案,重点对项目选址、平面布置、冲洗方式、吊装孔布置及除臭方案进行了论证比选,可为调蓄设施的方案设计提供借鉴。

参考文献:

- [1] 李怀正,张璐璇,黄建秀,等. 雨水调蓄池的臭气排放规律研究[J]. 中国给水排水,2012,28(17):12-16.
LI Huaizheng, ZHANG Luxuan, HUANG Jianxiu, et al. Study on odor emission from retention basin [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(17): 12-16 (in Chinese).

作者简介:李宗强(1978—),男,江苏徐州人,硕士,高级工程师,主要研究方向为市政给排水工程的设计、建设和运维。

E-mail:734699576@qq.com

收稿日期:2024-10-22

修回日期:2024-12-24

(编辑:沈靖怡)