

嵊州市某区块雨水泵站防洪效能提升设计

朱 岩

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要: 针对嵊州市某区块防洪排涝需求,提出了基于50 a一遇防洪标准的雨水泵站系统设计方案。工程采用“分区治理、雨污分流”的原则,分别建设设计流量为16.3、11.5 m³/s的雨水泵站,配套10 000、7 770 m³初雨调蓄池。通过建立“初雨调蓄+分级排放”的运行模式,结合“离子氧化-活性炭吸附”梯级除臭系统,实现了防洪排涝与水环境保护的双重目标。工程建成后将显著提升区域防洪能力,同时有效控制初期雨水污染,为类似城市新区的防洪工程建设提供了可借鉴的技术方案。

关键词: 雨水泵站;防洪提升;雨污分流;初雨调蓄;生态安全

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0166-05

Design for Enhancing Flood Control Efficiency of Rainwater Pumping Station in a Block of Shengzhou City

ZHU Yan

[Tongji University Architectural Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Aiming at the demand for flood control and waterlogging prevention in a block of Shengzhou City, a design scheme of rainwater pumping station system based on the 50 a flood control standard is proposed. The principle of "zoned governance and separation of rainwater and sewage" is adopted in the project. Two pumping stations with the design flows of 16.3 m³/s and 11.5 m³/s are constructed, respectively, which are supported with 10 000 m³ and 7 770 m³ initial rainwater storage tanks. By building an "initial rainwater storage + staged discharge" operational mode, combined with the "ion oxidation-activated carbon adsorption" stepped deodorization system, the dual objectives of flood control and waterlogging drainage and environmental protection are realized. After the project completion, the flood control capability of the area will be obviously enhanced. At the same time, the pollution of initial rainwater is effectively controlled, which provides the referenceable technical schemes for the construction of flooding control engineering in the similar new urban areas.

Keywords: rainwater pumping station; flood control enhancement; separation of rainwater and sewage; initial rainwater storage; ecological safety

0 引 言

嵊州市地处浙江省东部曹娥江上游,地理上呈现“四面环山、五江汇聚”的典型山水城市特征。作为连接杭州、宁波、上海的重要交通枢纽,该市在区域经济发展中具有重要战略地位。随着城市开发进程加快,不透水下垫面面积的增加导致区域产汇流特性发生显著变化,内涝风险相应提升。根据《曹娥江流域防洪规划(2021—2035年)》要求,城区防洪标准需达到50 a一遇,而某区块现状排水系统仅能满足20 a一遇标准,存在明显的标准缺口。这一矛盾

在快速城市化地区具有典型性。为实现该区块的防洪能力全面达标,同时改善沿线水生态环境,该区块防洪能力提升工程已列入《浙江省水安全保障“十四五”规划》。

近年来,国内多个城市在雨水系统建设中积极探索泵站与调蓄池的合建模式,以应对土地资源紧张和生态保护的双重挑战。例如:上海市中心城区的桃浦科技智慧城采用全地下式雨水泵站与调蓄池一体化设计,通过集约化布局解决了用地受限问题^[1];北京下凹桥区项目利用分级调蓄技术,实现了雨水资源化利用与防洪排涝的协同^[2]。然而,现有案例在初期雨水污染控制和系统运行智能化方面仍存在不足。本文针对嵊州市该区块的地理条件,结合雨水泵站设计,采用“初雨调蓄+分级排放”策略,

收稿日期: 2025-04-26

作者简介: 朱岩(1988—),男,硕士,工程师,从事市政基础设施规划设计工作。

集合梯级除臭技术和差异化调蓄设计,实现防洪排涝、污染控制和土地集约利用的协同优化,同时兼顾功能性与景观性。成果可为类似地区的城市防洪工程提供参考。

1 工程概况

1.1 工程背景

该区块整体地势较为平坦,高程介于 12~38 m 之间,地面坡度 0°~15°,工程地质条件良好。为保护水环境,规划采用雨污分流的排水体制。本设计主要内容包括 2 座雨水泵站(泵站 A 和泵站 B)。根据地势,该区块可划分为 3 个雨水分区,如图 1 所示。排水分区 I 汇水面积约 45.7 hm²,雨水汇集后排入附近内河。排水分区 II 汇水面积约 82.6 hm²,雨水汇集后排入泵站 B。排水分区 III 汇水面积约 110.2 hm²,雨水汇集后排入泵站 A。

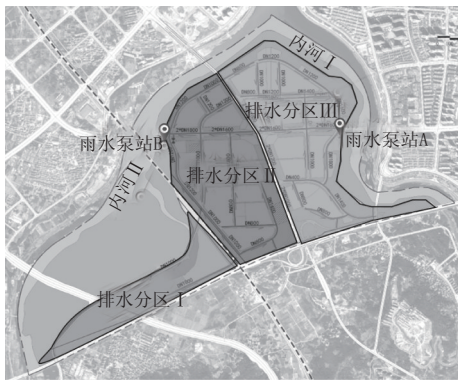


图 1 嵊州市某区块排水分区及雨水泵站位置图

1.2 场地现状与水文地质条件

拟建场地四周以绿化、林地为主,北侧地势较低,南侧地势较平坦。本区地貌属浙东低山丘陵区,场地地貌属冲积扇地貌。区内多年平均降水量 1 446.8 mm,日最大降水量 345.2 mm,年蒸发量为 800~1 000 mm。

地下水类型主要为第四系孔隙潜水和基岩裂隙水,勘察期间场地周围未发现影响地表水及地下水的污染源,水位年变幅约 1.5 m,主要受大气降水和河流水位影响。根据勘察结果,拟建场地常年水位建议值为 14.9 m,结合设计室外地坪标高及周边道路综合考虑,施工期间及使用期间抗浮水位建议室外地坪标高以下 0.5 m。

2 泵站设计方案

2.1 设计原则

基于该区块的实际情况,提出以下泵站设计原则^[1-3]。

(1)分区治理原则:根据地形特征将区块划分为两个独立排水片区,分别由泵站 A 和泵站 B 承担强排任务,实现分区治理。

(2)雨污分流原则:采用雨污分流排水体制,确保雨水和污水独立排放。

(3)系统协调原则:充分考虑与现有排水设施的衔接,统筹协调,实现系统最优。

(4)标准达标原则:按照规范要求重现期标准进行设计,确保泵站排水能力满足区域排水系统的整体要求。

(5)生态保护原则:设置初雨调蓄设施,有效控制初期雨水污染。

2.2 设计标准与参数

(1)嵊州市暴雨强度计算公式:

$$q=4\,993.271\times(1+0.989\lg P)/(t+19.759)^{0.912}$$

式中: P 为设计暴雨重现期,区域道路排水设计重现期取 $P=3$ a; t 为降雨历时,min, $t=t_1+t_2$, t_1 为地面集水时间,取 10 min; t_2 为管内流行时间,min。

(2)雨水设计流量计算公式^[4]:

$$Q=q\times\varphi\times F$$

式中: Q 为雨水设计流量,L/s; φ 为径流系数,区域地块综合径流系数取 0.65; q 为设计暴雨强度,L/(s·hm²); F 为汇水面积,hm²。

(3)初雨调蓄池容积计算公式^[5-6]:

$$V=10\times D\times F\times\varphi\times\beta$$

式中: V 为调蓄池有效容积,m³; D 为调蓄量,mm,按降雨量计,取 8 mm; F 为汇水面积,hm²; φ 为径流系数,取 0.65; β 为安全系数,取 1.5。

(4)水力计算公式:

$$V=1/n\times R^{2/3}\times I^{1/2}$$

式中: V 为流速,m/s,雨水满流设计,最小设计流速为 0.75 m/s; R 为水力半径,m; I 为水力坡降; n 为管道粗糙系数,钢筋混凝土雨水管 0.013,污水钢筋混凝土管取 $n=0.014$ 。

3 雨水泵站工程设计

3.1 雨水泵站场地现状及规划

3.1.1 场地现状

拟建泵站场地位于内河 I 和内河 II 的堤岸内侧,现状主要为待开发的农田和荒地。根据规划要求,该区域将作为市政基础设施用地使用。

3.1.2 主要设备和技术选型

基于场地条件和功能需求,采用地下式调蓄池

与泵站一体化设计。采用门式自冲洗系统解决调蓄池动态淤积控制难题。

根据雨水泵站大流量、中低扬程的特点,结合滨江区域环境敏感要求,选用潜水轴流泵,其具有运行噪声低、无机械振动和维护便捷的优势。

雨水格栅池采用窄深式结构,设计宽度为4.3 m、深度为11 m,配套40 mm间隙移动式格栅除污机,通过“机械拦截+水力扰动”双模协同,确保高效拦截漂浮物。

3.1.2 水泵扬程计算

依据《泵站设计标准》(GB 50265—2022)要求,分别计算最低、平均和最高3种工况下的水泵扬程,具体计算结果见表1。出水管最高点低于受纳水体水位可实现虹吸效应,大幅降低能耗,有效防止停泵时水锤和倒流,并能便于管道排气,保证运行顺畅。选泵时以平均扬程作为高效运行工况,并通过最高和最低扬程进行安全性校核。

表1 雨水泵站的设计扬程						单位:m
雨水 泵站	集水池设计 水位①	受纳水体 水位②	出水管最 高点③	设计 扬程		
泵站A	最高	16.70	10 a 20.10	18.50	4.40	
	平均	15.70	20 a 21.50	18.50	6.80	
	最低	15.16	50 a 22.85	18.50	8.69	
泵站B	最高	17.40	10 a 21.07	19.20	4.67	
	平均	16.40	20 a 22.38	19.20	6.98	
	最低	16.00	50 a 23.57	19.20	8.57	

注:1. 泵站以平均扬程作为选泵高效区工作扬程,水头损失取1 m,出水条件为③<②,设计扬程=②-①+1。
2. 泵站A和泵站B的水泵按平均计算扬程取7 m,确保最高扬程在高效段区内。

3.2 雨水泵站工艺设计

泵站A和泵站B设计流量分别为16.3、11.5 m³/s,配套初雨调蓄池容积为10 000、7 600 m³。系统采用“初雨调蓄+分级排放”的运行模式:初期雨水优先进入调蓄池处理,截留COD负荷,避免直接排入河道造成污染;后期基于外江水位实时监测数据,智能实现自排或强排模式的动态切换,显著降低系统能耗^[7]。

3.2.1 总平面布置

针对滨江地块狭窄的难题,泵站采用垂直叠合布局,调蓄池顶板兼作泵站设备基础。这种集约化设计极大提升地下空间利用率,解决了多设施协同布局的困难^[8-9]。通过调蓄池顶板密闭结构,提高除臭效果,降低周边环境影

响,实现地上空间与城市景观融合。雨水泵站厂区上部建筑主要包括:综合管理用房、垃圾箱房、变配电所及泵房人员出入口等,

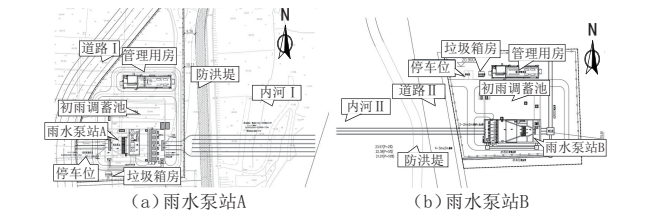


图2 雨水泵站A和雨水泵站B的平面布置图

3.2.2 泵站高程设计

拟建泵站外河堤内沿江绿地内。泵站场地标高严格依据周边道路规划及防洪要求设定,确保高于周边市政道路标高0.3 m。关键构筑物(如泵房起吊间、出水高位井顶)标高设定满足防洪排涝安全要求。

3.2.3 泵房设计

雨水泵站的进水池采用正向进水方式,通过渐扩式进水口消除涡流,提升流速均匀性;出水池采用箱涵出水,设渐变段连接,降低水头损失,保证水流顺畅、稳定。

3.2.3.1 泵站A设计

雨水总管引入分流为2孔2.5 m×2.0 m管道接入进水闸门室(25.8 m×5.0 m),配置2套2 500 mm×2 000 mm手电两用双向受压铸铁镶铜闸门。经闸门室分流后,雨水通过2个2.5 m×2.0 m孔洞进入格栅间。格栅间配置4套40 mm间隙钢丝绳牵引格栅除污机及4台螺旋压榨机。

集水井设6套潜水轴流泵($Q=3.26\text{ m}^3/\text{s}$, $H=6\text{ m}$, $N=400\text{ kW}$),采用混凝土预制井筒安装。泵站雨水出水排入新昌江,泵房高位水池出口处设3 000 mm×2 500 mm手电二用双吊点双向受压铸铁镶铜闸门2套。出水箱涵及渐扩段出水箱涵总长度约120 m,由2孔3 000 mm×2 500 mm箱涵渐变为5孔3 000 mm×2 500 mm箱涵组成,排放口处的流速为0.42 m/s。泵房设置DN2000回笼水管,由出水池排至进水闸门室。

3.2.3.2 泵站B设计

雨水经DN2600和DN1400管道汇入进水闸门井(5.8 m×5.8 m)后进入闸门室(13.15 m×5.4 m),进水闸门井和进水闸门室内均设2套2 000 mm×2 000 mm的手电二用双吊点双向受压铸铁镶铜闸门。分流后通过3条2.2 m宽渠道进入格栅间。格栅间配置3套40 mm间隙格栅除污机及1台螺旋压榨机。

集水井设 6 套潜水轴流泵 ($Q=2.2\text{ m}^3/\text{s}$, $H=8.2\text{ m}$, $N=280\text{ kW}$), 采用混凝土预制井筒安装。泵站雨水出水排入澄潭江, 泵房高位水池出口处设 $2\,000\text{ mm}\times 2\,000\text{ mm}$ 手电二用双吊点双向受压铸铁镶铜闸门 1 套。出水箱涵及渐扩段出水箱涵总长度约 180 m , 前段由 2 孔 $2\,000\text{ mm}\times 2\,000\text{ mm}$ 箱涵组成, 在出口处渐变为 4 孔 $3\,000\text{ mm}\times 2\,000\text{ mm}$ 箱涵, 排放口处流速为 0.5 m/s 。雨水泵房设置 DN1800 回笼水管, 由出水池排至进水闸门井。

3.2.4 初雨调蓄池

泵站 A 和泵站 B 的初雨调蓄池有效容积约 $10\,000\text{ m}^3$ 和 $7\,770\text{ m}^3$, 采用差异化排空策略: 泵站 A 调蓄池 24 h 缓慢排空以匹配下游管网容量, 泵站 B 调蓄池 12 h 快速排空, 充分发挥新建泵站处理能力。为克服池底积泥难题, 各设 4 套门式冲洗系统, 实现池底零积泥和 COD 高效拦截。人员检修通道布置于楼梯间雨水泵房侧墙^[10-11]。

3.2.5 泵房闸门系统控制

泵房闸门系统作为“初雨调蓄+分级排放”模式的核心执行单元, 需统筹防洪安全、污染控制、能耗优化。泵站系统剖面布置如图 3 所示, 闸门分布和技术路线分别如图 4 和图 5 所示。雨水经管道收集后排入系统总管接入泵站, 经进水闸门室分配, 初期雨水自排进入初雨调蓄池进行调蓄^[12-13]。待初雨调蓄池满后, 调节进水闸门启闭状态, 后续雨水进入集水池, 经轴流泵提升后排入高位出水池, 最后通过出水箱涵强排入内河 I (泵站 A) 或内河 II (泵站 B)。初雨调蓄池内的初期雨水经放空泵排至污水管网。

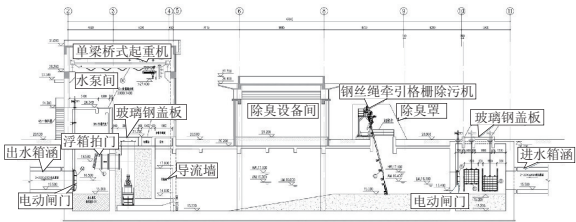


图 3 雨水泵站剖面布置示意图

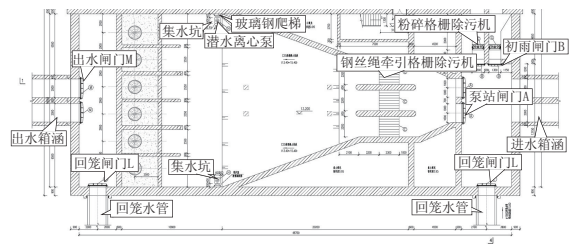


图 4 雨水泵站下层平面图

如图 5 所示, 系统基于降雨过程和水位监测, 智能识别五级工况 (S1~S5), 并智能调整闸门 (初雨闸

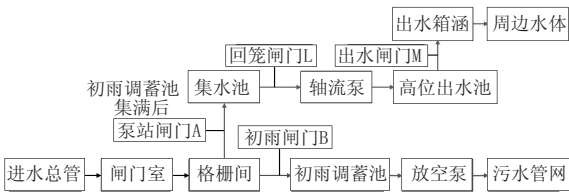


图 5 雨水泵站技术路线

门 B、回笼闸门 L、泵站闸门 A、出水闸门 M) 启闭状态。晴天 (S1) 时, 关闭回笼闸门 (L), 启动调蓄池冲洗作业; 降雨开始 (S2) 时, 回笼闸门 (L) 保持关闭, 将初期雨水截流至调蓄池; 降雨进行 (S3) 时, 开启回笼闸门 (L) 至自排模式; 降雨后期 (S4) 时, 进水池水位上升, 关闭回笼闸门 (L), 开启泵站闸门 (A), 启动强排模式; 降雨结束 (S5) 时, 集水池水位下降, 关闭泵站闸门 (A), 待调蓄池排空后, 开启初雨闸门 (B), 回到 S1 工况。

系统采用机械联锁和水力自锁的双重机制防止河水倒灌。机械联锁即在非强排模式时出水闸门 (M) 与回笼闸门 (L) 设置互锁逻辑, 确保仅单路径开启; 水力自锁是通过出水管设置浮箱拍门装置, 阻断倒灌风险。

3.2.6 除臭设计

该工程雨水泵房格栅间为半地下结构, 存在气流组织死区, 且格栅运行时段与非运行时段臭气释放强度差异较大, 难以实现臭气净化效能平衡。针对上述难题, 本工程在雨水格栅处设置密闭式除臭罩, 调蓄池通风口设置可调式百叶。鉴于雨水泵房运行频次较低, 在格栅渠道上口增设液压盖板, 非运行时段封闭渠道, 有效抑制臭气外溢, 降低设备腐蚀及环境污染风险。配套排风系统抽吸池体散发的臭气, 使池体下部形成微负压环境, 防止臭气外泄^[14]。

为改善操作人员作业环境, 在格栅间四周布设可调百叶送风口, 通过持续输送高浓度离子风, 与逸散污染物快速反应, 显著提升室内空气质量。收集的气体经离子废气处理设备预处理后, 由排风管输送至活性炭吸附除臭系统进行深度处理, 形成“离子氧化-活性炭吸附”的梯级净化保障机制。

本工程臭气收集空间主要包括泵站及调蓄池水面至盖板及格栅间的封闭区域。系统处理风量按换气次数 $2\sim 3$ 次/h 设计, 满足大空间除臭需求。该系统通过机械排风与梯度净化的方式, 确保废气达到《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993) 厂界一级标准要求。

3.2.7 设备检修

泵房顶板上设有设备检修起吊孔,除雨水泵采用固定式起重机起吊外,其余设备均通过汽车吊装方式完成检修作业。沿泵房周边设置环形检修通道,宽度及转弯半径满足规范要求。道路与周边道路顺畅衔接,确保车辆通行便利。

3.3 雨水泵站结构方案

为满足 50 a 使用年限及滨江环境下的结构安全,泵站结构设计着重解决抗震设防(按 6 度设防,乙类设防标准)和水土压力挑战。在结构计算中严格动态控制柱轴压比,确保其远低于规范限值,显著提升结构在地震工况下的整体性和延性,保障震后功能可快速恢复。对关键的进出水箱涵节点采用柔性连接技术,允许结构在地震或差异沉降条件下产生可控的轻微变形位移,有效释放应力,避免刚性连接导致的破坏风险。针对泵站深埋地下(泵站 A 最大埋深约 15.5 m,泵站 B 约 14.1 m)承受的显著水土侧压力,地下外墙厚度采用梯度增加设计(底部加厚),形成合理抗力分布,有效抵消侧向荷载,确保结构稳定。

雨水泵站结构体系设计为地下一层+地上两层钢筋混凝土框架结构形式^[15],结构布置紧凑高效,满足复杂功能需求,如图 6 所示。

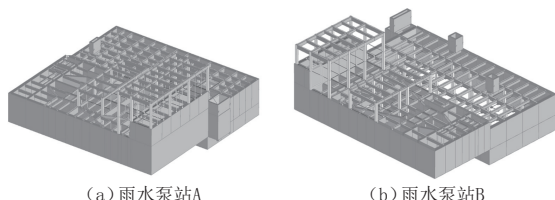


图 6 雨水泵站 A 和雨水泵站 B 的结构模型示意图

3.4 雨水泵站建筑设计方案

泵站建筑设计在满足核心工艺及附属功能(如综合管理、除臭)需求的同时,注重与滨江城市景观的协调。雨水泵站建筑工程主要包括泵站的综合管理用房(两座泵站建筑面积均为 452.4 m²)和除臭车间(单层框架结构,建筑面积分别为 190.4 m²和 187.4 m²)。综合管理用房采用功能与造型相结合的设计手法,变电所区域层高 5 m,外立面选用真石漆等材质,在满足使用功能的同时保持简洁大方的建筑风格。除臭车间层高 5.7 m,通过立面格栅和混凝土装饰条的组合形成丰富的立面效果。

场地景观设计以完善通行功能和提升环境品质为核心目标,如图 7 所示。设置透水混凝土园路(泵站 A 宽 3 m,泵站 B 宽 2 m)连接防洪堤、道路及场地

内部,并辅以休憩设施(坐凳)和绿化(种植池),形成便捷、生态的场地空间,有效提升泵站区域的环境友好性。

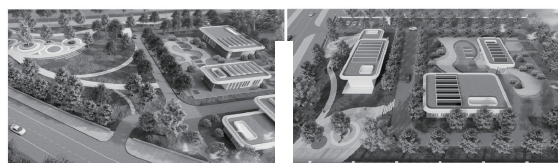


图 7 雨水泵站 A 和雨水泵站 B 的景观效果图

4 工程投资及效益

该工程总投资概算为 3.96 亿元,具体投资构成如下:泵站 A 投资 1.19 亿元(其中建筑工程投资 0.60 亿元,安装工程投资 0.59 亿元);泵站 B 投资 1.05 亿元(其中建筑工程投资 0.46 亿元,安装工程投资 0.59 亿元)。

工程实施后,将实现以下主要效益:(1)防洪排涝能力提升至 50 a 一遇标准,有效解决暴雨积水问题;(2)通过初雨调蓄池的运行,显著削减 COD、TN 等主要污染物排放量,实现对河道水环境的有效保护。

5 结 语

通过系统分析嵊州市某区块的水文地质条件和排水需求,提出了集成雨水调蓄与强排功能的泵站设计方案。工程采用分区治理策略,两个泵站分别服务不同汇水区域。关键技术包括:(1)采用地下式调蓄池与泵站一体化设计,节约用地并提高系统协调性;(2)应用“初雨调蓄+分级排放”运行模式,既满足防洪要求又兼顾水环境保护;(3)构建了基于“离子氧化-活性炭吸附”的梯级除臭系统,有效解决半地下泵房的臭气污染问题。结构设计满足 50 a 使用年限和乙类抗震设防要求。工程实施后,区域防洪标准提升至 50 a 一遇,同时通过初雨调蓄可削减 COD、TN 等污染物排放量。研究成果为快速城市化地区的防洪工程建设提供了重要参考。

参考文献:

- [1] 王坤.全地下雨水泵站及初雨调蓄池工程设计[J].中国给水排水,2024,40(2):82-86.
- [2] 葛学伟,邓卫东,于宁.新建下凹桥区雨水调蓄泵站的优化设计[J].中国给水排水,2023,39(14):91-95.
- [3] 张高娜,戴雄奇,徐维发.基于城市空间布局的内涝防治规划研究[J].中国给水排水,2023,39(20):52-58.

(下转第 195 页)