

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.04.010

复杂地质条件下集约式全地下控污调蓄池设计

周好磊

(黄河勘测规划设计研究院有限公司 上海分公司, 上海 200333)

摘要: 为有效控制降雨初期面源污染对长江水环境的影响,在上海市宝山区海滨排水系统内新建1座控污调蓄池。工程选址于现状雨水泵站西侧公园内,设计规模 $16\,800\text{ m}^3$,采用集约式全地下布局,将调蓄设施与公园景观深度融合,助力大吴淞区域打造“三江交汇、上海之门”的标志性形象。采用独特的下部布置方案,可提高冲洗效果;针对场地内约9 m厚钢渣层的地质难题,提出基坑清障施工方案,填补国内钢渣地层深基坑工程实践空白,为类似项目提供技术参考。调蓄池建成后削减COD约 $18.9\sim 202.6\text{ t/a}$,SS约 $11.5\sim 65.1\text{ t/a}$,能有效控制排入长江的污染物。

关键词: 控污调蓄池; 集约式; 全地下; 钢渣层

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2026)04-0069-06

Design of an Intensive Fully-underground Pollution-control Storage Tank under Complex Geological Conditions

ZHOU Haolei

(Shanghai Branch, Yellow River Engineering Consulting Co. Ltd., Shanghai 200333, China)

Abstract: In order to mitigate the impact of non-point source pollution on the Yangtze River during initial rainfall, a pollution-control storage tank was designed within the Haibin drainage system of Baoshan district, Shanghai. The project is located in the park west of the existing stormwater pumping station, with a designed capacity of $16\,800\text{ m}^3$. The project adopts an intensive fully-underground layout, seamlessly integrating infrastructure with the park landscape to support the landmark image of “the confluence of three rivers, the gateway to Shanghai” in the Greater Wusong area. A special lower-level layout scheme is employed to enhance flushing performance. Notably, in response to the geological challenge posed by a steel-slag layer approximately 9 m thick on site, an innovative construction plan for foundation-pit obstacle removal is proposed, filling the gap in the practice of deep foundation-pit projects in steel-slag strata in China and providing a technical reference for similar projects. After completion, the storage tank can reduce COD by approximately 18.9 t/a to 202.6 t/a , and SS by approximately 11.5 t/a to 65.1 t/a , effectively controlling the pollutants discharged into the Yangtze River.

Keywords: pollution-control storage tank; intensive layout; fully-underground layout; steel-slag layer

1 项目概况

海滨排水系统位于上海市宝山区主城区东北部,服务面积 4.66 km^2 ,属于分流制强排水系统。规划综合径流系数0.60,现状已建海滨雨水泵站排水

能力为 $19.80\text{ m}^3/\text{s}$,系统设2路雨水主干管,管径分别为DN1 600~DN2 400和DN1 800~DN2 400,最终通过塘后支路DN3 000进水总管进入海滨雨水泵站,经提升后直接排入长江。该泵站于2020年完成

截污改造,截污能力为 $0.12\text{ m}^3/\text{s}$,截流污水输送至污水处理厂处理。海滨雨水系统见图1。

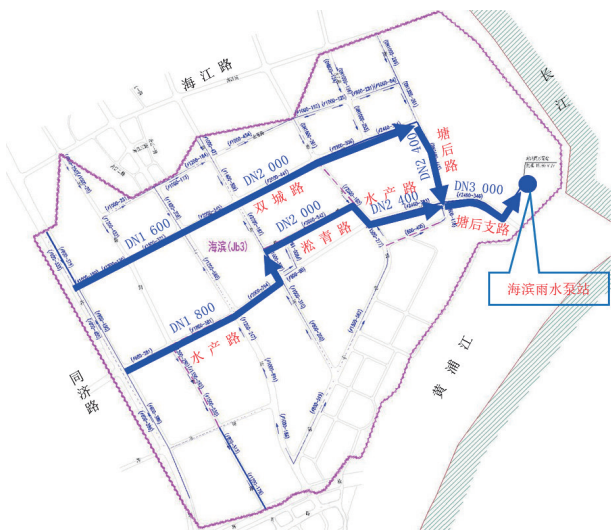


图1 海滨雨水系统示意

Fig.1 Schematic of Haibin rainwater system

2024年6月批复的《大吴淞地区专项规划》提出,将大吴淞区域打造为“三江交汇、上海之门”标志形象,以及“蓝绿交织、清新明亮、城水共融、低碳睿智”整体意向的示范区,形成“一核三带五组团、绿色开放韧性融合型”的总体布局。海滨排水系统紧邻长江和黄浦江,是大吴淞地区的重要组成部分,需遵循“先蓝绿,再造城”的规划理念进行建设。同时,为进一步推进水污染防治与水环境治理^[1],削减入江面源污染,深入贯彻“长江大保护”国家战略,海滨控污调蓄池的建设十分必要且迫切。

2 总体方案

2.1 设计规模及内容

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)和《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017),当用于系统径流污染控制时,调蓄池的有效容积可按下式计算^[2]:

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

式中: V 为调蓄池有效容积, m^3 ; D 为调蓄量,根据市、区雨水规划,分流制地区按照 5 mm 标准执行; F 为汇水面积,取 466 hm^2 ; Ψ 为地面综合径流系数,取 0.6 ; β 为安全系数,可取 $1.1\sim 1.5$,该项目取 1.2 。

经计算,海滨排水系统新建控污调蓄池的设计规模取 $16\,800\text{ m}^3$ 。

2.2 工程选址

为收集整个排水系统的初期雨水,充分发挥控

污调蓄功能,降低后续进水管建设投资及施工难度,并便于调蓄池的运行管理,新建控污调蓄池的选址应优先紧邻现状雨水泵站;若现状雨水泵站周边不具备建设条件,则应尽可能靠近泵站选址。

经调研,海滨雨水泵站周边用地情况见图2。泵站北侧为长江及海塘线,根据《上海市河道管理范围内建设项目防洪评价技术规定》(DB31SW/Z 011—2021)等相关规范,无随塘河的长江河道管理范围为长江大堤内坡脚线之间的区域以及长江大堤内坡脚外侧 20 m 的护堤地,调蓄池需尽量远离海塘线。泵站其余3侧主要为特殊用地及吴淞炮台湾湿地森林公园绿化用地。由于特殊用地不具备建设条件,经多部门协调及经济技术比选,推荐在公园内选择距离现状泵站较近、邻近公园主干道且绿化较为稀疏的区域建设调蓄池。该选址现状地面标高较高,为 $10.8\sim 12.0\text{ m}$,有利于设置全地下调蓄池;但根据调研及地勘报告,整个公园自20世纪60年代起,陆续以建筑垃圾、碎石、矿砂、钢渣回填形成,下部存在一定厚度的钢渣层,在此类地层上开展调蓄池基坑工程是该项目的设计难点。



图2 推荐选址及周边用地情况

Fig.2 Recommended site selection and surrounding conditions

2.3 进水方式及建设形式

2.3.1 进水方式

根据《雨水调蓄设施技术标准》(DG/TJ 08—2432—2023),调蓄池进水可采用重力进水、水泵提升进水或二者相结合的形式。用于污染控制的调蓄池宜优先采用重力进水,且最高设计水位应低于雨水(合流)泵站的最低水位;若调蓄池埋深无法满足重力进水要求,则需采用水泵提升进水,进水时间宜控制在 $0.5\sim 1.0\text{ h}$ 。其进水方式分析如下:

① 重力进水方式

由于调蓄池推荐选址现状地面标高为10.8~12.0 m,相对于海滨雨水泵站进水总管底标高(-5.43 m)高差显著。若采用重力进水,调蓄池最高设计水位需低于海滨雨水泵站的最低水位(-4.50 m),此时池顶板顶标高约为-3.2 m,上方覆土厚度将超过15 m。这不仅导致调蓄池埋深过大、工程投资显著增加,还会造成地下空间浪费,因此,重力进水方式不合理。

② 水泵提升进水方式

若完全依靠水泵提升进水,将导致进水势能的浪费,且水泵长期运行能耗较高,不符合低碳节能原则,因此不予推荐。

③ 重力和水泵提升相结合的进水方式,

采用重力和水泵提升相结合的进水方式,既可降低水泵运行能耗,又能减少调蓄池埋深及土建投资,避免空间浪费,从而提高工程的经济可行性。

经分析,推荐采用重力和水泵提升相结合的进水方式:第一阶段初期雨水通过重力流入控污调蓄池;待池内水位升至设定液位后进入第二阶段,启动初雨提升泵,逐步将初雨泵入调蓄池,直至充满。

2.3.2 建设形式

根据《上海市中心城雨水调蓄池选址专项规划》,规划调蓄池应采用全地下或半地下形式,结合道路广场、绿化、公共服务设施、河道、商务办公等用地建设,保持原用地性质不变。

若采用半地下的建设形式,由于推荐选址位于公园内,规划用地属性为公共绿地,地上设置的格栅间、设备间、变配电间等不仅严重影响公园的整体景观效果,而且需进行规划用地属性调整,而该区域不具备调规条件,故半地下形式不可行。对于全地下的建设形式,因推荐选址现状地面标高较高,与海滨雨水泵站进水总管底标高存在较大高差,故具备建设全地下调蓄池的天然条件。提升泵房、格栅间、除臭设备间和变配电间等均可布置于地下操作层内,地面仅保留人员出入口、检修孔及风井等。通过土地分层划拨方式,无需调整地面用地属性,并能最大限度降低对公园景观与环境的影响。因此,该工程推荐采用全地下的建设形式。

3 控污调蓄池设计

3.1 调蓄池总体布置

新建控污调蓄池主体平面尺寸55.6 m×35.0

m,占地面积2 285.12 m²,主体结构位于现状公园景观绿地下方。为最大限度降低对公园的影响,采用集约化全地下双层叠加的布置形式,调蓄池及配套设备间均设于地下,地面仅保留消防疏散及设备检修所需的出入口、风井及检修孔等。其中,使用频率较高的风井和出入口需高出地面0.5~2.0 m,以满足通风功能与防淹要求;使用频率较低的检修孔则采用隐蔽式设计,减少对公园景观的干扰。调蓄池建成后,其上方除上述必要构筑物外,其余区域覆土厚度均不低于1.5 m,并恢复景观绿化。整个调蓄池上部采用以草本植物、灌木、乔木和垂直绿化等多种形式相结合的景观设计,营造美观的室外空间,与周边公园风貌协调一致。新建控污调蓄池总平面布置见图3。

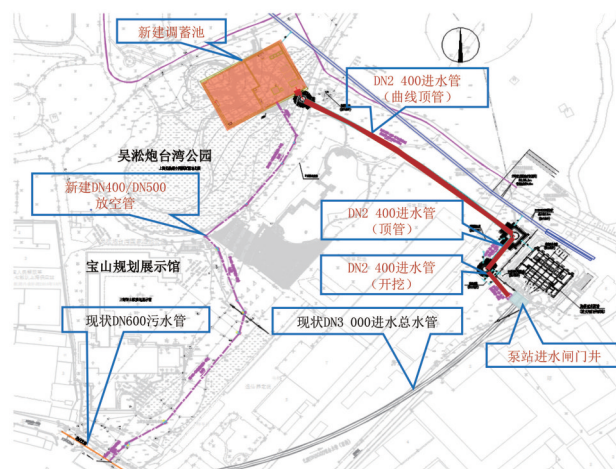


图3 新建控污调蓄池总平面布置示意

Fig.3 General layout schematic of the new pollution-control storage tank

3.2 调蓄池平面布置

新建调蓄池地下二层东侧主要为初雨提升泵站,内净尺寸为35.0 m×8.9 m。系统初雨由南侧进水管和进水阀门流入,经格栅预处理后,先通过西侧闸门处的连通孔以重力流方式进入调蓄池;待池内水位达到设定液位后,再通过初雨提升泵将雨水泵入调蓄池。进水阀门设于独立的阀门井内,选用具有切割功能且启闭迅速的DN2 400电动偏心半球阀,以满足DG/TJ 08—2432—2023中启闭时间<2 min的要求。格栅设置2道,每道各2套,第1道格栅间隙为60 mm,第2道为20 mm。通过两级格栅拦截,既能保证冲洗效果,又可降低后续运行管理难度。鉴于该工程调蓄池格栅井采用全地下的布置

形式,因此选用占地面积小、去除率高、运行维护简便的回转式格栅。

地下二层西侧主要为控污调蓄池,内净尺寸为 $35.0\text{ m}\times 45.7\text{ m}$,从左至右依次为调蓄区和放空区。调蓄区由储水池及东西走向的冲洗廊道组成,储水池与冲洗廊道一一对应,中间设有节能、无外动力、无需外供水源的门式自冲洗系统。单条廊道尺寸为 $(4.3\sim 4.6)\text{ m}\times 40.9\text{ m}$,每个储水池的容积约 49 m^3 ,可满足单条廊道最大冲洗水量需求。冲洗廊道右侧为放空区,调蓄池储存的初雨及冲洗水最终通过南北向的放空廊道汇集至放空泵井,经提升后输送至污水系统处理。

考虑到调蓄池位于公园内部且为全地下建设形式,水泵选型应尽量降低对周边环境的影响,并便于检修维护。因此,该工程选用噪声低、振动小、占地省、安装快捷、维护简便的潜水泵。初雨提升泵流量大、扬程较小,选用4套潜水轴流泵,单泵流量 $1.56\text{ m}^3/\text{s}$;而放空泵流量小、扬程大,选用潜水离心泵。由于调蓄池埋深较大,放空泵扬程跨度较宽(13.20 m),为确保放空泵高效节能、运行可靠,采用高、低扬程泵搭配方案:高、低扬程泵各设2套,均为1用1备。放空初期,池内液位较高,使用低扬程泵放空,单泵参数 $Q=350\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=11.40\text{ m}$ ($8.10\sim 14.70\text{ m}$)、 $N=18.5\text{ kW}$;当液位降至 $1/2$ 后,切换至高扬程泵,直至冲洗和放空结束,单泵参数 $Q=350\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=18.00\text{ m}$ ($14.70\sim 21.30\text{ m}$)、 $N=30.0\text{ kW}$ 。调蓄池地下二层平面布置见图4。

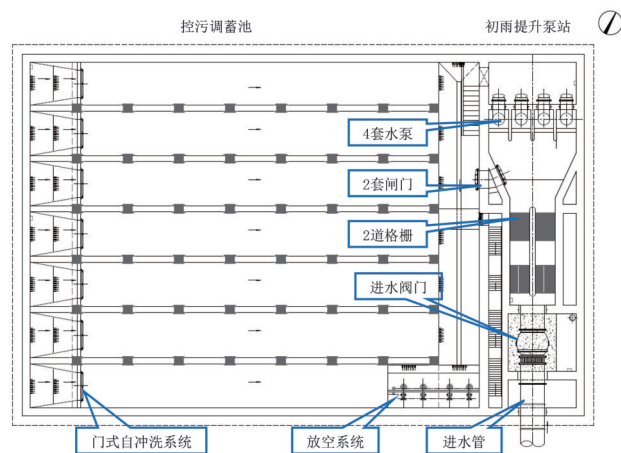


图4 地下二层平面布置示意

Fig.4 Layout plan schematic of second floor underground

新建调蓄池地下一层主要为地下设备操作层,位于调蓄池东侧和初雨提升泵井上方,设有水泵格

栅检修间、除臭设备间、高低压配电间及控制室。该层划分为1个防火分区,设置2处疏散楼梯,满足消防要求。格栅井、提升泵井和调蓄池内臭气经收集后输送至除臭设备间,经处理后排放。通过技术经济比选,采用“洗涤法+离子法+化学吸附”串联的高效除臭工艺,设计除臭风量为 $4\text{ 万 m}^3/\text{h}$ 。水泵格栅检修间顶部布置多台电动起吊装置,可满足水泵、格栅等设备的日常检修与维护需求。调蓄池地下一层平面布置见图5。

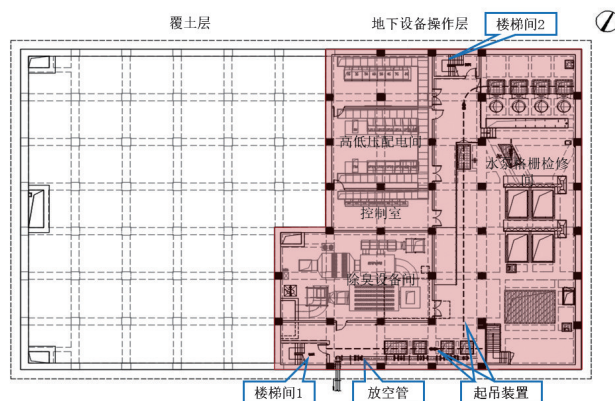
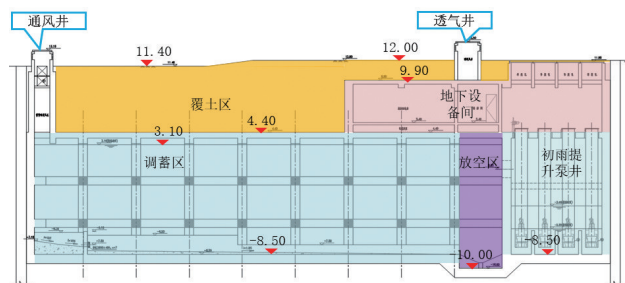


图5 地下一层平面布置示意

Fig.5 Layout plan schematic of first floor underground

3.3 调蓄池竖向布置

新建调蓄池采用集约化全地下双层叠加的布置形式,总体埋深 $19.0\sim 22.0\text{ m}$,地下二层主要设置调蓄池、初雨提升泵井、格栅井和阀门井等,底板标高为 $-10.0\sim -8.5\text{ m}$,内部净高 $12.3\sim 14.9\text{ m}$,调蓄池有效水深 11.6 m 。地下一层为地下设备操作层,顶板顶标高为 9.9 m ,整体底板标高为 4.4 m ;其中配电间及控制室局部地面抬高 1.0 m ,既可保证变压器等供电设备的安全运行,又便于其下方电缆的敷设。调蓄池上方主要为覆土区,覆土厚度 $3.0\sim 7.0\text{ m}$,可满足公园草本植物、灌木及乔木的种植要求。新建调蓄池竖向布置如图6所示。



a. 竖向布置1

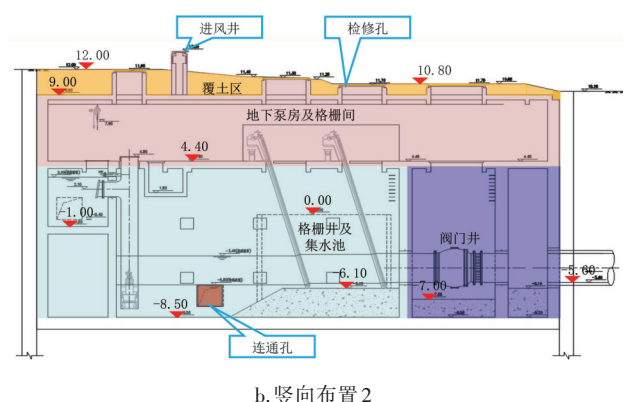


图6 新建调蓄池竖向布置示意

Fig.6 Vertical layout schematics of the new pollution-control storage tank

3.4 调蓄池进水及放空

3.4.1 进水管设计

新建海滨控污调蓄池设计规模 $16\,800\text{ m}^3$, 按 45 min 充满调蓄池计算, 进水管设计流量为 $6.22\text{ m}^3/\text{s}$ 。经水力核算, 采用 $\text{DN}2\,400$ 进水管, 在充满度 1.0 、水力坡度 0.7‰ 、粗糙系数 0.013 的条件下, 设计流量可达 $6.55\text{ m}^3/\text{s}$, 满足进水要求。新建调蓄池位于海滨泵站西侧公园, 与现状泵站净距约 250 m 。为减少对泵站运行的干扰, 设计在海滨泵站进水闸门井西侧开洞, 增设1处挂耳井, 并由此向西接出调蓄池进水管。推荐采用“开挖+非开挖”相结合的施工工艺: 起端受限于现状泵站及沿线建(构)筑物等边界条件, 采用开挖方案; 至泵站西侧空地后, 向北及向西采用顶管的施工方案穿越公园绿化区域, 以减少绿化搬迁以及对公园环境的影响。

3.4.2 放空管设计

根据 GB 51174—2017 中第 4.5.10 条的条文解释和 DG/TJ 08—2432—2023 中第 5.2.9.4 条, 用于污染控制的调蓄池, 在下游输送能力满足要求时, 放空时间宜为 $12\sim 48\text{ h}$ 。新建控污调蓄池周边仅有 2020 年沿塘后支路—塘后路—双城路建设的 $\text{DN}600$ 污水管, 扣除泵站截污量 $0.12\text{ m}^3/\text{s}$ 和沿线收集高峰污水量 $0.05\text{ m}^3/\text{s}$, 设计富余输送能力约 $0.13\text{ m}^3/\text{s}$, 最大富余输送能力可达 $0.21\text{ m}^3/\text{s}$ 。为满足“低谷多排放”的运行模式要求, 并便于污水系统根据运行调度灵活调整放空时间, 确保工程效益, 海滨调蓄池放空时间取 $24\sim 48\text{ h}$ 。放空管主要沿公园内部道路敷设, 由于公园地面标高起伏较大, 采用“压力为主、重力为辅”的输送方案, 经消能后以重力流接入

现状 $\text{DN}600$ 污水管, 最终输送至污水处理厂, 经处理后排放。

4 设计特点及难点

4.1 集约友好的全地下布置方案

现状吴淞炮台湾湿地森林公园为 4A 级景点, 是大吴淞区域的重要组成部分。该工程调蓄池选址位于公园深处, 地势较高, 为满足其高标准环境要求, 新建控污调蓄池因地制宜采用集约化双层叠加全地下布置形式。将水泵格栅检修间、除臭设备间和高压配电间等必要设备操作间设于地下一层, 并严格控制露出地面的检修孔面积; 对使用频率较低的检修孔, 采用隐蔽式设计, 在检修盖板上方增设防水卷材和少量覆土及草皮, 最大限度减少对公园景观效果的破坏。同时, 通过风井、出入口周边的绿化景观协调设计, 使传统调蓄池设施与现状公园环境和谐相融, 营造出集约、友好的地上空间形象。

4.2 复杂地质条件下创新的基坑方案

根据工程地勘报告, 该工程场地①1-2 层杂填土性质较差且分布不均, 上部主要为建筑垃圾, 下部以碎钢渣(局部块体较大)夹少量建筑垃圾及黏性土为主, 厚度约 9 m 。碎钢渣硬度高, 钻探时采用金刚石钻头仍进度缓慢, 并伴有卡钻现象。该地层对基槽开挖及桩基施工影响显著, 因此在调蓄池围护结构施工前, 需对围护范围内的钢渣层进行清障处理。目前, 国内在钢渣地层中实施深基坑工程尚无先例。场地典型土层剖面见图 7。

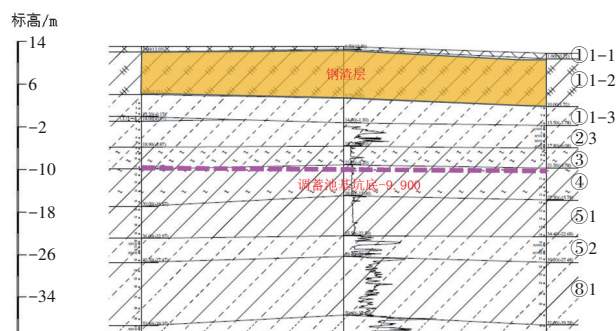


图7 典型土层剖面示意

Fig.7 Sectional layout schematic of typical soil layers

新建调蓄池围护结构采用 $1\,000\text{ mm}$ 厚地下连续墙, 两侧设 $\text{Ø}850\text{ mm}$ 三轴搅拌桩护壁。综合考虑工程安全性、经济性及对周边环境的影响, 在地下连续墙、三轴搅拌桩护壁、抗拔桩、格构柱桩及降水

管井区域内,采用全回转式全套筒工法进行钢渣清障。相对于常规的大开挖放坡换填方案,该工法具有用地范围较小、对公园环境影响相对较轻、施工风险低、作业速度较快等优点。

全回转式全套筒工法是利用全回转钻机的夹紧系统,夹持各种直径的特种刀头及特制钢套管,通过液压驱动将钢套管旋转切入地层,对地下钢渣层进行切割破碎。随后利用专用设备将钢套管内的土体及碎钢渣取出,最终通过全回转全套筒钻机清孔工艺,可将连续墙、三轴搅拌桩护壁、抗拔桩、格构柱桩和降水管井区域内的钢渣层彻底清除。钢渣清障应分段进行,清障深度须达到钢渣层底部。清除完成后应及时回填压实,而后施工三轴搅拌桩护壁、地下连续墙、抗拔桩、格构柱桩和降水管井,最后再进行基坑开挖。

4.3 独特的调蓄池下部布置方案

传统调蓄池设计中,储水池通常靠近进水端,冲洗廊道由进水端坡向远端放空区。该方案易导致降雨初期污染物浓度最高的水优先进入储水池储存,并作为后续放空后的冲洗水使用,不仅影响冲洗效果,还会使门式冲洗系统在储水期间长期处于反向受压状态,显著增加系统运行风险、缩短其使用寿命。该工程将储水池设置于进水端的远端,使冲洗廊道坡向进水端。该方案具有以下优势:首先,降雨早期的水优先进入放空区和冲洗廊道,确保后续较为清洁的初雨上翻通过冲洗门进入储水池,作为后续冲洗水使用;其次,储水池储水过程中门式冲洗系统始终正向受压,有利于维持其良好的运行状态;最后,将检修频率较高的放空系统与其他工艺设备相邻布设,便于在地下设备操作层实现集中布置。

5 工程投资及效益

该工程总投资约2.32亿元,建筑工程费约1.97亿元,其中调蓄池主体工程费约1.24亿元,配套管道费约0.20亿元,钢渣处置费约0.15亿元,其他费用约0.38亿元。

对该雨水泵站放江数据进行分析,2023年放江

次数为64次,放江量4 366 692 m³/a,放江COD平均浓度范围为18~193 mg/L,SS平均浓度范围为11~62 mg/L。以此为基准,扣除该工程新建控污调蓄池的调蓄能力,调蓄后放江量3 316 746 m³/a,放江量削减约105万m³/a,相应COD削减量约18.9~202.6 t/a,SS削减量约11.5~65.1 t/a,可有效降低系统降雨初期面源污染对长江水环境的影响。

6 结论

① 新建控污调蓄池可有效降低降雨初期系统面源污染对长江水环境的影响,有利于改善水环境,助力大吴淞区域规划理念的实施。

② 采用集约友好的全地下布置方案,将传统调蓄设施与现状公园景观和谐相融,并创新优化调蓄池下部布置方案,提高冲洗效果,延长冲洗设备使用寿命。

③ 工程地质条件复杂,主体结构涉及约9 m厚钢渣层,而国内在钢渣土层实施深基坑尚无相关案例。采用基坑清障施工方案,可供类似工程参考。

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.
WANG S. Design of underground rainwater pumping station and initial rainwater storage tank [J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(2): 82-86 (in Chinese).
- [2] 耿晓洒. 复杂地块条件下初雨调蓄池设计[J]. 净水技术, 2024, 43(增刊2): 232-239.
GENG X S. Design of initial rainwater storage tank under complex land parcel conditions [J]. Water Purification Technology, 2024, 43 (S2): 232-239 (in Chinese).

作者简介:周好磊(1989—),男,上海人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师,注册咨询工程师,主要从事市政排水相关设计工作。

E-mail: tj14zhl@163.com

收稿日期: 2025-02-08

修回日期: 2025-02-25

(编辑: 沈靖怡)