

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.18.012

北京市龙潭西湖流域合流制溢流污染调蓄系统设计

陈梅娟^{1,2}, 李伟英¹, 朱晓媛³, 李张飞⁴, 张春风⁵, 温 朵¹

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 南水北调东线智能水务<北京>有限公司, 北京 100073; 3. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100045; 4. 仁创生态环保科技有限公司, 北京 101113; 5. 北京城市排水集团有限责任公司基建工程管理分公司, 北京 100044)

摘 要: 龙潭西湖位于北京市中心城区, 承接上游地区雨污合流暗沟排水。大雨时, 暗沟中的合流制溢流排入龙潭西湖, 造成湖水环境恶化。为了有效缓解龙潭西湖合流制溢流污染, 综合考虑水环境和水安全的治理目标, 在龙潭西湖湖底设置有效容积为62 000 m³的调蓄系统截流合流制溢流, 采用硅砂蜂巢过滤净化创新技术实现对合流制溢流过滤、净化后再排放。项目实施后, 汛期年均溢流次数不大于4次, 缓解了龙潭西湖合流制溢流污染, 非汛期实现了湖水循环净化。

关键词: 合流制溢流; 硅砂蜂巢过滤净化技术; 调蓄池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)18-0071-04

Design of Regulation and Storage System for Combined Overflow Pollution Control in the Longtanxi Lake Area of Beijing

CHEN Mei-juan^{1,2}, LI Wei-ying¹, ZHU Xiao-yuan³, LI Zhang-fei⁴,
ZHANG Chun-feng⁵, WEN Duo¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Intelligent Water Management < Beijing > Co. Ltd. for the Eastern Route of the South-to-North Water Diversion Project, Beijing 100073, China; 3. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co. Limited, Beijing 100045, China; 4. Renchuang Eco-Environmental Protection Technology Co. Ltd., Beijing 101113, China; 5. Infrastructure Engineering Management Branch, Beijing Drainage Group Co. Ltd., Beijing 100044, China)

Abstract: Longtanxi Lake, located in the downtown area of Beijing, undertakes the drainage of rainwater and sewage in the upper reaches through underground ditches. During heavy rain, the combined overflow water in the underground ditches is discharged into Longtanxi Lake, resulting in a deterioration of the lake's aquatic environment. In order to effectively alleviate the pollution caused by the combined sewer overflow in Longtanxi Lake and comprehensively consider the governance goals of water environment and water safety, the project addresses this issue by installing an innovative regulation and storage system at the bottom of the lake with an effective volume of 62 000 m³ to capture and detain the combined overflow. The regulation and storage tank system adopts silica sand honeycomb structure, which

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(2021YFC3201304-04)

通信作者: 李伟英 E-mail: 123lwyktz@tongji.edu.cn

is convenient for the combined overflow to be filtered and purified before being discharged. After the project is implemented, the average annual overflow frequency shall not exceed 4 times in flood season, which can effectively alleviate the pollution caused by the combined overflow. During non-flood season, the system enables the lake water to be circulated and purified.

Key words: combined sewer overflow; silicon sand honeycomb filtration and purification technology; regulation and storage tank

1 项目背景

北京中心城区的排水管网始建于明、清时期,排水系统多为雨污合流制。近年来,随着中心城区道路系统和市政设施的改造推进,中心城区合流制排水旧沟和管道系统改造工作也取得了一定成果,对部分具备条件的合流制管道进行了分流改造,在合流排水管道的下游修建了溢流井和旱季污水截流设施,并将截流污水输送至下游的污水厂^[1]。由于受空间条件和历史文化文物保护的限制,老城区很多次干、支干和胡同的合改分工作存在现实困难^[2],仍存在数百公里的合流制排水管道。合流制排水系统主要存在以下问题:①汛期排水能力偏低,部分地区易发生内涝积水;②大雨时,部分雨污合流水被截流至污水厂,其余直接溢流排入河道或下游受纳水体,严重影响水体景观效果和生态功能。

龙潭西湖位于北京中心城区东南方向,其所承接的排水暗沟历史上称为“龙须沟”,断面为4 400 mm×2 400 mm,流域面积约322.5 hm²,排水方式为雨污合流制。通过截流改造,流域范围内非汛期的污水全部截流排入下游污水处理厂。由于截流设施能力有限,大雨时该排水暗沟经常出现溢流,对龙潭西湖及南护城河的水体造成严重污染^[3]。

2 设计目标

为了有效缓解龙潭西湖合流制溢流污染,参照城市规划,综合考虑水环境和水安全的治理目标,近期溢流频次控制在4次/a,溢流标准为33 mm降雨量;远期溢流频次控制在2次/a,溢流标准为48.7 mm降雨量^[4]。通过在末端设计雨水调蓄池进行削峰调蓄,减少合流制溢流污染。同时,综合考虑水资源和水生态的协同治理,采用创新技术对调蓄池的合流制溢流水就地净化处理。汛期,溢流水经净化处理后回补龙潭西湖,提高雨水资源利用率。非汛期则进行湖水循环净化,恢复湖水生态。

根据专业监测单位对首都核心区老城合流

制排水系统、雨污水系统的水质监测数据,并参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),确定调蓄系统设计进、出水水质,具体如表1所示。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality mg·L⁻¹

指标	COD	NH ₃ -N	TP(湖、库标准)
设计进水	≤ 500	≤ 45	≤ 7.5
设计出水	≤ 30	≤ 1.5	≤ 0.1

3 系统设计

为了降低合流制溢流污染,实现雨水资源化利用,利用龙潭西湖湖底空间,采用硅砂蜂巢过滤净化技术,开展龙潭西湖流域合流制溢流污染调蓄系统设计。调蓄系统分为汛期和非汛期两种工况:汛期处理合流制溢流污水,净化后退水排入龙潭西湖或龙潭湖方沟;非汛期处理湖水,净化后退水排入龙潭西湖。调蓄系统运行工况如图1所示。

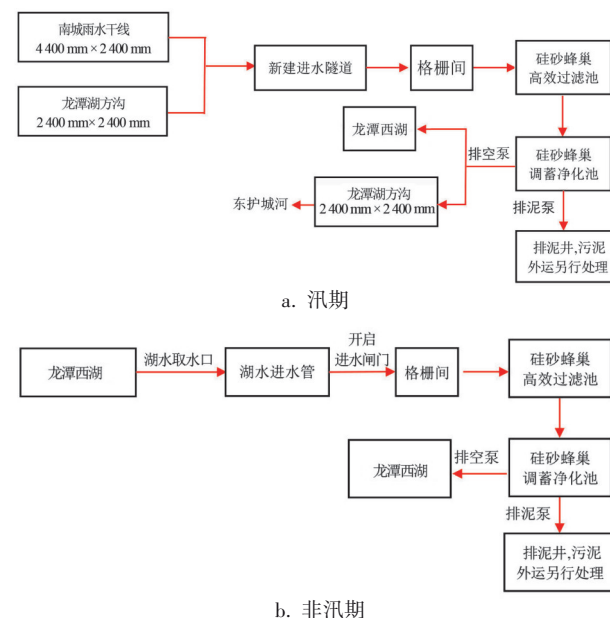


图1 调蓄系统运行工况

Fig.1 Operating conditions of regulation and storage system

3.1 工程选址及建设规模

3.1.1 工程选址

项目位于中心城区密集区,可供选择的用地非常有限,综合考虑建成后调蓄池功能的有效发挥,调蓄池与循环泵、排空泵的有机衔接,以及运维调度的便利性等因素,结合现状用地、可实施性等情况,将调蓄池系统设置在汇水区域末端的龙潭西湖湖底。同时,根据配电、通风、除臭系统需要,兼顾检修、运维的便利性,利用岸上空间建设附属设施和管理用房。

3.1.2 建设规模

项目规划近期目标为控制合流制管道溢流污染,年均溢流次数不大于4次,合流制系统控制溢流标准为33 mm降雨量,上游汇水面积为322.5 hm²,流域范围内综合径流系数为0.55。根据南护城河流域水环境容量、污染物减排量和水质标准,采用InfoWork ICM软件构建排水系统水力模型,在水力模型排水流量基础上,结合首都核心区老城合流制排水系统、雨污水系统水质监测数据和相关规范要求,对近期目标进行模拟,计算修正后调蓄池有效容积为62 000 m³^[5],水力停留时间24 h,进水流量为17.2 m³/s,出水流量为1 m³/s。

3.2 工艺及构筑物设计

调蓄系统由进水隧道系统、调蓄净化系统、汛期退水系统、非汛期湖水循环净化系统四部分组成,根据系统功能设计构筑物,平面布置见图2。

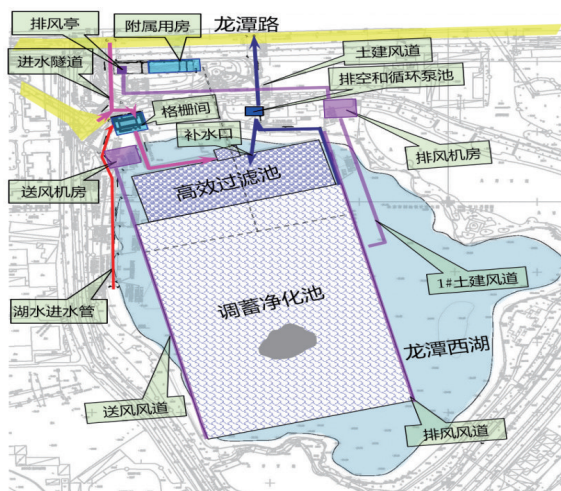


图2 龙潭西湖调蓄池平面布置

Fig.2 Plan layout of regulation and storage tank in Longtanxi Lake

3.2.1 进水隧道系统

通过新建截流槽对现状合流方沟进行截流,截流槽坡向新建进水隧道。新建进水隧道上游与新建截流槽顺接,下游接入新建格栅间。新建进水隧道尺寸2 000 mm×2 000 mm~2 600 mm×2 000 mm,坡度0.01,总长度130.6 m。

3.2.2 调蓄净化系统

① 格栅间

合流污水通过进水隧道进入格栅间。格栅间设进水口闸门1套,4组格栅,栅前、栅后分别设置4套检修闸门。进水口闸门规格2 m×2 m,材质镶铜铸铁,配套启闭机功率4 kW。采用回转式机械格栅,过栅流速1.0 m/s,栅前水深3 m,栅条间隙30 mm,每组格栅宽2 m,总宽度8 m。检修闸门规格2 m×2 m,材质镶铜铸铁,配套启闭机功率4 kW。

② 硅砂蜂巢高效过滤池

硅砂蜂巢高效过滤池由硅砂蜂巢池体、排泥井、出水井、排泥沟和高压反冲洗设施组成,在硅砂蜂巢高效过滤池体的底部设置排泥沟,用于进水和排泥,排泥沟一端设置用于反冲洗的高压冲洗喷头,另外一端延伸至排泥井处。合流制溢流水通过硅砂蜂巢高效过滤池体侧壁渗透入出水井,渗透过程中大部分不溶性悬浮物沉积在排泥沟中,定期通过潜污泵抽排进入污水管网或者外运处理。硅砂蜂巢池体采用钢筋混凝土结构,内部空间填充直径为725 mm的六边形硅砂蜂巢井筒,内部空间尺寸(长×宽×深)为104.6 m×29.7 m×2.5 m。

③ 硅砂蜂巢调蓄净化池

硅砂蜂巢高效过滤池出水通过配水槽进入硅砂蜂巢调蓄净化池,经过生物净化区汇集至排水渠,并用排水泵排出。硅砂蜂巢调蓄净化池有效容积62 000 m³,分为3组,前后串联布置,各组调蓄净化池之间通过配水槽相连,内部空间填充直径为1 200 mm的六边形硅砂蜂巢井筒,每组内部空间尺寸(长×宽×深)为112.2 m×49.3 m×4 m。每组池体由底板、池体、顶板等组成,底板由钢筋混凝土和透气防渗孔组成,池体采用特殊配方的硅砂蜂巢井筒,顶板采用现浇钢筋混凝土结构。池体与底板交替布置透气防渗孔形成多级生物净化区,在多级生物净化区中去除水中的COD、NH₃-N、TP等。

3.2.3 汛期退水系统

硅砂蜂巢调蓄净化池出水进入排空循环泵池,

根据龙潭西湖湖水的水位情况,经排空泵站提升后,通过新建退水管线排入湖中或现状雨水方沟。

3.2.4 非汛期湖水循环净化系统

在每年10月—次年4月的非汛期,龙潭西湖水体长时间处于静止状态,水质逐渐恶化,当湖水水质处于劣V类时,采用硅砂蜂巢调蓄净化技术净化湖水。具体工艺流程:打开湖水的进水闸门,湖水经过格栅间、硅砂蜂巢过滤池和硅砂蜂巢调蓄净化池净化后,再回到湖中,形成活水循环。龙潭西湖湖面约45 000 m²,水深平均2 m,湖容约90 000 m³,每天循环净化6 000 m³,15天为一个循环周期。

3.3 通风设计

调蓄净化系统采用自然通风与机械通风相结合。为减少干扰,在公园假山上设置通风亭,通风亭风管与进水通道相连,实现自然通风。为防止调蓄净化系统内气压阻水和排除少量甲烷等有害气体,在硅砂蜂巢调蓄净化池内预留60 cm通气层,池体顶板上设置2条通风管,通气层与通风管之间通过多处通风管相连,通风管连接至通风亭,实现自然通风。当通风亭处的有害气体浓度超过规定值时,启动风机进行机械通风。变配电室、高压室等采用壁式轴流风机通风,换气次数为8次/h。

3.4 项目投资与运行情况

项目总投资为3.017亿元,于2022年6月建设完成。经过运行调试,设备运行稳定。经过汛期和非汛期运行,工况良好,运营成本较低,主要水质指标均达到设计要求。

4 结语

在龙潭西湖湖底建设的调蓄系统充分利用地下空间和现有合流制排水管道,有效缓解了合流制溢流污染,实现中心城区水环境质量的提升;同时提高了防汛标准,保障了中心城区水安全。此外,该系统协同水资源利用和水生态治理,具有节水、生态等多方面的意义。

参考文献:

- [1] 付朝臣,栾清华,刘家宏,等.截流改造控制合流制溢流污染案例研究[J].环境科学与管理,2020,45(9):109-112.
FU Chaochen, LUAN Qinghua, LIU Jiahong, et al.

Case study on control pollution of combined sewer system overflow by interception reform [J]. Environmental Science and Management, 2020, 45(9): 109-112 (in Chinese).

- [2] 杨正,车伍,赵杨.城市“合改分”与合流制溢流控制的总体策略与科学决策[J].中国给水排水,2020,36(14):46-55.

YANG Zheng, CHE Wu, ZHAO Yang. General strategy and scientific decision-making of urban “combined sewer separation” and CSO control [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(14): 46-55 (in Chinese).

- [3] 王强,全春林.基于数学模型的北京龙潭西湖流域合流制溢流污染控制规划研究[J].给水排水,2020,46(11):54-59.

WANG Qiang, QUAN Chunlin. Study on combined system overflow pollution control planning of Beijing Longtan West Lake area based on mathematical model [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(11): 54-59 (in Chinese).

- [4] 李俊奇,周金成,杨正,等.合流制溢流控制指标与标准制定研究[J].水资源保护,2021,37(1):124-131.

LI Junqi, ZHOU Jincheng, YANG Zheng, et al. Study on control indicators and standard formulation of combined sewer overflow [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1): 124-131 (in Chinese).

- [5] 李志丽,姜明洁,潘冉,等.北京中心城区管道空间调蓄技术的数学模型研究[J].中国给水排水,2021,37(11):111-116.

LI Zhili, JIANG Mingjie, PAN Ran, et al. Mathematical model of pipeline spatial storage technology in central district of Beijing [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(11): 111-116 (in Chinese).

作者简介:陈梅娟(1985—),女,山东济宁人,在职博士,高级工程师,主要研究方向为非常规水资源处理与应用,取得授权发明专利4项,参与制定CECS标准1项、企业标准1项、国家标准1项、地方标准图集3项,获得北京市科学技术奖一等奖、全国工商联科技进步奖一等奖、北京市优秀青年工程师等荣誉。

E-mail:309124721@qq.com

收稿日期:2023-12-20

修回日期:2024-02-15

(编辑:丁彩娟)