

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.017

# 初雨调蓄池在武汉市某湖泊综合整治工程中的应用

曾木海<sup>1</sup>, 谢小龙<sup>2</sup>

(1. 昆明市规划设计研究院, 云南 昆明 650041; 2. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430023)

**摘要:** 武汉市某湖泊综合整治工程采用“截流—调蓄—处理”方案,通过智能分流井将初雨截流至组合式初雨调蓄池,雨后再抽排至污水处理厂处理,以削减入湖污染负荷。组合式初雨调蓄池由格栅渠、隔油沉砂池、旱流污水泵站、调蓄池及附属通风除臭系统组成,所有组成部分与调蓄池合建。格栅渠、隔油沉砂池可对初雨进行一级处理,减轻污水厂处理负荷。结合该工程的实施,介绍了智能分流井的工作原理、组合式调蓄池的设计、自冲洗系统的设计,以及调蓄容积、通风换气量和除臭风量的计算,可为初雨调蓄池的设计提供参考。

**关键词:** 初期雨水; 径流污染控制; 智能分流井; 组合式调蓄池

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0093-05

## Application of Initial Rainwater Storage Tank in a Lake Comprehensive Treatment Project in Wuhan

ZENG Mu-hai<sup>1</sup>, XIE Xiao-long<sup>2</sup>

(1. Kunming Urban Planning & Design Institute, Kunming 650041, China; 2. Wuhan Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430023, China)

**Abstract:** The scheme of “interception – storage – treatment” was adopted in a comprehensive treatment project of a lake in Wuhan. Initial rainwater was intercepted to the combined initial rainwater storage tank through intelligent diversion wells, and then pumped to the sewage treatment plant for treatment after the rain, so as to reduce the pollution load flowing into the lake. The combined initial rainwater storage tank consisted of grid channel, oil separation grit chamber, dry weather flow pumping station, storage tank, adjunctive ventilation and odor control system, and all the components were constructed in conjunction with the storage tank. Grid channel and oil separation grit chamber could be used for pretreatment of initial rain to reduce the load of sewage treatment plant. Based on the implementation of the project, working principle of intelligent diversion well, design of combined storage tank and self-washing system and calculation of storage capacity, ventilation flow rate and deodorization air volume were introduced, which can provide reference for the design of the initial rainwater storage tank.

**Key words:** initial rainwater; runoff pollution control; intelligent diversion well; combined storage tank

为避免初期雨水直接排放对受纳水体造成污染,在雨水管网末端建设截流设施和调蓄设施对初期雨水进行“截流—调蓄—处理”正逐渐得到重视

和推广。目前,该方法在上海市苏州河环境综合整治工程(二期)、广州市合流制地区溢流污染防治工作中都已有使用先例,运行结果表明初雨调蓄工程

可有效降低入河(湖)污染物负荷和溢流污染风险<sup>[1-3]</sup>。鉴于此,武汉市经济技术开发区部分重点湖泊综合整治工程对入湖初期雨水实施调蓄处理,通过在雨水管网末端实施初期雨水截流工程和调蓄工程,将初期雨水截流、调蓄并输送至污水处理厂处理。

### 1 工程概况

武汉市经济技术开发区部分重点湖泊综合整治工程通过对河湖水系进行综合整治,逐步构建水生态网络,以使部分重点流域及重点湖泊水环境达到水功能区划水质要求,恢复水生态系统平衡。某湖泊是该工程整治对象之一,为改善湖泊水生态,经济技术开发区政府率先对其实施综合整治工程,通过“分散截流、集中调蓄”,将污染较重的初期雨水纳入市政污水处理系统,以控制入湖径流污染负荷,工程总体布置如图1所示。根据现状管网普查情况,初雨调蓄池服务区可分为四个子汇水区,其中①号子汇水区面积为5.26 hm<sup>2</sup>,②号子汇水区面积为19.63 hm<sup>2</sup>,③号子汇水区面积为6.28 hm<sup>2</sup>,④号子汇水区面积为58.08 hm<sup>2</sup>,总服务面积为89.25 hm<sup>2</sup>。本工程岸上汇水区总面积取90 hm<sup>2</sup>,综合径流系数 $\Psi=0.65$ ,截流干管管径为 $d1\ 000\sim d1\ 200$  mm。

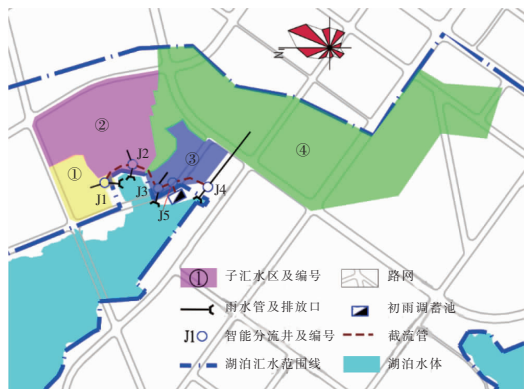


图1 工程总体布置

Fig.1 Project general layout

### 2 调蓄池容积计算

根据《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017),调蓄容积的计算采用单位面积调蓄深度法<sup>[4]</sup>。李立青等<sup>[5]</sup>根据武汉市汉阳某地雨水径流的监测数据,提出:控制初期5、10和15 mm径流可分别控制48%、68%和78%的TSS。此外,“武汉市汉阳地区水环境质量改善技术与综合示范”课

题研究结果表明,重污染暴雨径流(COD > 600 mg/L)对应的径流深度约为7 mm,径流系数为0.65时对应的降雨量约为11 mm<sup>[6]</sup>。因此,综合考虑国内相关研究及本工程特点,初雨调蓄池设计调蓄量取12 mm,而非规范推荐的4~8 mm,经计算调蓄池设计有效容积取9 000 m<sup>3</sup>。

### 3 前端截流系统

初雨调蓄的关键在于初雨的截流,核心环节是智能分流井。智能分流井主要由雨量计、液位计、下开式堰门、流量控制闸及其控制系统组成,基本运行模式包括晴天模式、雨天模式和防倒灌模式,防倒灌模式优先级在正常模式之前。其工作原理见图2。雨量计测定无降雨时,智能分流井进入晴天模式,下开式堰门处于全闭状态、流量控制闸处于全开状态,混接污水全部进入截流管[见图2(a)]。当雨量计测定有降雨(如15 min累计降雨量超过0.2 mm)时,智能分流井进入降雨模式,当调蓄池液位低于设计液位时,下开式堰门全关、流量控制闸全开,混接污水及雨水全部进入截流管[见图2(b)];当雨量持续增加、调蓄池液位达到设计液位时,下开式堰门开始打开、流量控制闸开始关闭,智能分流井部分行洪,混接污水及雨水部分进入截流管、部分进入水体[见图2(c)]。此外,为防止上游管网壅水,当门前液位高出警戒水位一定值(可取上游紧邻检查井至分流井管道降落值)时,下开式堰门全开、控制闸全闭,智能分流井完全行洪。当容纳水体液位高出门前液位时,智能分流井进入防倒灌模式,控制闸无条件关闭[见图2(d)];当门前液位降至门前液位以下时,智能分流井退出防倒灌模式,恢复正常模式。

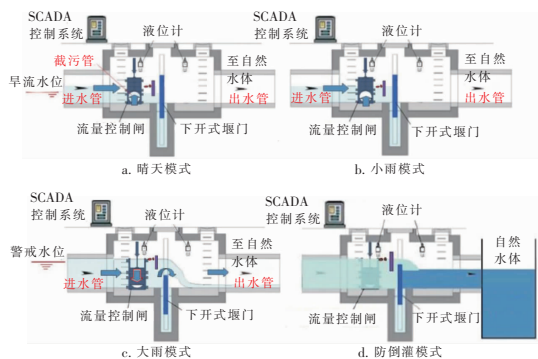


图2 智能分流井工作原理

Fig.2 Working principle of intelligent diversion well

### 4 初雨调蓄池系统组成及设计

本工程设计全地下式矩形调蓄池一座,平面尺

寸为 34.4 m×70.0 m,池底坡度取 1.5%,设计水深 4.0~5.0 m。由于前端进水为重力自流,调蓄池埋深较大,为满足结构抗浮设计,池内超高取 3 m,池顶覆土厚度为 2 m。另外,为去除进水中的漂浮物、无机砂粒和浮油,在调蓄池前增设预处理单元,预处理单元由格栅渠及隔油沉砂池组成,并与调蓄池合建。初期雨水通过截流管进入配水井,然后顺次进入格栅渠、隔油沉砂池和调蓄池,见图 3。

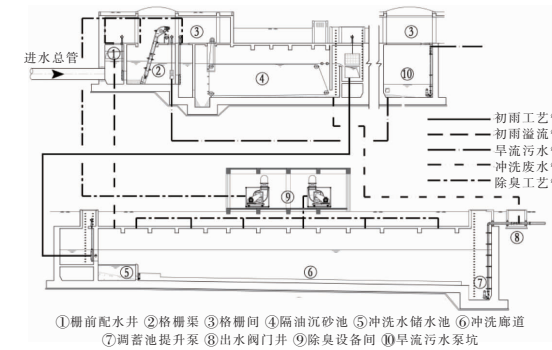


图 3 组合式初雨调蓄池工艺流程  
Fig.3 Flow chart of combined initial rainwater storage tank

4.1 预处理系统

预处理单元设计规模为 0.35 m<sup>3</sup>/s,含格栅渠和隔油沉砂池各两组。

格栅渠采用双层半地下结构,安装渠道位于地下,栅条间隙为 20 mm,单组渠宽为 1.8 m,格栅间位于地上。

沉砂池采用全地下结构,水力停留时间按 2 min 控制,单组池宽为 4.5 m,砂水分离器位于格栅间内。此外,为改善积砂效果,沉砂池在最低水位下设有缓冲区,缓冲区水深为 1.8 m,调蓄池最大水深为 4.4 m。

4.2 冲洗系统

在贮存期间,雨水中的污染物会在池内发生沉降和淤积,因此需对调蓄池进行清淤冲洗,并宜以自动冲洗为主,常用方式有水力翻斗、水力冲洗门、智能喷射器和真空冲洗等(见表 1)。结合本工程的特点,方案设计拟采用门式冲洗或真空冲洗,方案比选见表 2。

表 1 几种常用自动清洗方式对比

Tab.1 Comparison of several automatic cleaning methods

冲洗系统	智能喷射器	门式冲洗	真空冲洗	水力翻斗
廊道宽度/m	辐射半径为 20~30	一般不超过 5	一般不超过 10	一般不超过 10
冲洗水头/m	大于 5	一般不超过 2	最大 7	一般不超过 1.5
冲洗长度/m	短,但可串联布置	一般不超过 120	一般不超过 200	一般不超过 80
适用池型	各种池型	矩形	矩形或圆形	矩形
单套能耗	最大	较小	较大	一般
运行维护	设备在池底,易损坏且检修不便	设备在池底,易损坏,但其构造简单、易维护	设备在池外,检修方便	设备在池外,检修方便
其 他	冲洗时瞬时流量大,需配套冲洗水储水池	初次冲洗可利用冲水时截留的雨水	初次冲洗可利用冲水时截留的雨水	冲洗时需提供有压力的外部水源

表 2 门式冲洗和真空冲洗方案比选

Tab.2 Scheme comparison and selection of gate-type self-washing and vacuum self-washing

项 目	门式冲洗	真空冲洗
廊道宽度/(m·格 <sup>-1</sup> )	4.4	6.2
冲洗水头/m	1.5	5
冲洗长度/m	60(有效长度)	63(有效长度)
储水池或存水室密封	对储水池气密性无特殊要求	对存水室气密性要求较高
设备投资/万元	420(7套)	400(5套)
能耗/(kW·h·次 <sup>-1</sup> )	0.37	3
设备维护	每 5 年更换一次密封;每半年加注一次液压油	每 5~10 年更换设一次密封;每年补充真空泵油一次
使用寿命	定期更换密封件,15 年以上	无池下部件,无易损件,15 年以上

冲洗长度相同时,冲洗水头越大意味着冲洗效果越好,因此真空冲洗方案可以取得更好的冲洗效



果。但是,本工程调蓄池为全地下矩形结构,池内结构柱较多,且冲程较短,真空冲洗系统的优势难以充分发挥。此外,真空冲洗方案所需真空室必须凸出地面,与地上景观设计目标不相符,因此设计最终采用水力冲洗门自动冲洗方案。结合冲洗设备参数和调蓄池结构设计,以结构柱为界将调蓄池平行分成7组,柱子之间利用1.0~0.5 m高的隔墙连接以形成冲洗廊道,单个廊道净宽为4.4 m、有效冲洗长度为60 m。设计冲洗水头和冲洗强度分别为1.8 m和 $5 \text{ m}^3/\text{m}$ ,冲洗水储水池有效容积取 $30 \text{ m}^3$ (安全系数为1.36),冲洗门规格为 $2.8 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$ 。

#### 4.3 排水系统

本工程调蓄池采用全地下结构,埋深较大,无法重力排空,因此调蓄池出水需采用水泵抽排。综合考虑下游污水管道的输水能力,调蓄池放空时间按36 h设计,降雨结束后,3套潜污泵(2用1备)将雨水抽排至附近污水干管。单台水泵流量 $Q = 125 \text{ m}^3/\text{h}$ 且应能在8~13 m的扬程范围内高效运行。另外,为了排除旱季混接污水,两组格栅渠之间设计一座污水提升泵站,设计规模为 $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ ,采用2套潜污泵(1用1备)。

#### 4.4 通风系统

初期雨水存蓄期间易散发硫化氢、氨气、甲烷等有毒有害气体,为防止其扩散到大气中并满足人员检修需求,根据《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017)的要求,应设置通风系统。本工程采用负压换气,出风采用机械抽排,进风采用百叶窗自然进风。根据《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2015)对事故通风的要求,风量按12次/h的换气量考虑,漏风系数取1.1,总风量为 $254\,560 \text{ m}^3/\text{h}$ 。调蓄池顶均匀布置4台柜式离心风机,池内设计8个排风井道,以保证每条廊道都至少有一处排风通道。在风道两侧的上部和下部开设进风口,下部进风口底部距池底不大于300 mm,用以排除池内硫化氢等比空气重的有毒有害气体,上部进风口顶距池顶不大于500 mm,用以排除池内氨气、甲烷等比空气轻的有毒有害气体。通风换气时,电动百叶窗打开,总有效通风面积为 $40 \text{ m}^2$ 。

#### 4.5 除臭系统

根据调蓄工程技术规程的要求,当分流制排水系统中的调蓄池位于居民区时,宜设置臭气收集和除臭设施。参照《城镇污水处理厂臭气处理技术规

程》(CJJ/T 243—2016)中臭气风量的计算方法,考虑构筑物类型、封闭程度及水面交换情况对臭气扩散的影响,调蓄池(含预处理区)单位水面的臭气风量指标取 $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,并增加1~2次/h的空间换气风量,则处理量为 $32\,287.5 \sim 38\,745 \text{ m}^3/\text{h}$ 。为提高系统的可靠性和设备的使用率,设计采用两套处理能力为 $18\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 的离子除臭系统,设备进气管通过阀门连接,可互为备用。

#### 4.6 自动控制系统

调蓄池自控系统由现场仪表及PLC测控站组成,现场仪表负责采集格栅前后液位差、调蓄池各设计液位(警戒液位、启停泵液位等),PLC测控站用来采集工艺运行参数及设备工作状态等工况参数,通过网络系统送至监控站,并接受监控站指令,以对生产过程进行遥控/自动控制。此外,重点部位设置视频监控点,以便于观测各设备运行工况。

#### 4.7 节能与环保设计

① 调蓄池通风换气系统采用负压换气,既可以避免换气时池内有毒有害气体外逸,又可以通过自然进风降低能耗。

② 旱流污水泵、排砂泵和调蓄池排水泵均采用变频控制,以适应吸水水位的变化;通风设备选用低噪声、高能效比的风机,单位风量电耗功率 $\leq 0.27 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 。

③ 本工程中调蓄池冲洗用水可同时采用自来水和隔油沉砂池砂水分离器出水,需多次冲洗时优先选用隔油沉砂池砂水分离器出水,以减少自来水消耗量。

④ 来水过于迅猛时,初期雨水有可能通过栅前配水井直接溢流至调蓄池,进而导致调蓄池冲洗废水中的沉积物过多。如果这些沉积物直接排至市政污水管,不仅会导致管道淤积加重,而且会加重污水处理厂工作负荷,与调蓄池“蓄浓放清”的目标定位相悖<sup>[7]</sup>。因此,本工程增加一项冗余设计,通过调蓄池出水管上的阀门控制出水方向,必要时可将冲洗废水回流至前端隔油沉砂池,经砂水分离器再处理。

### 5 运行效果与经济分析

目前,该工程已进入调试运行阶段,运行结果表明,该工程的建设实现了旱季全截流、雨季少溢流的治污目标,入湖污染负荷得到有效控制。此外,随着内源治理、水生态修复等配套工程的陆续实施,治理

区湖泊水体质量正逐步得到改善。

该工程前端截污系统总投资为8 517.0万元,其中建筑工程费用5 453.6万元,设备购置及安装费用3 063.4万元;调蓄池部分总投资为7 289.6万元,其中建筑工程费用6 085.7万元,设备购置及安装费用1 203.9万元。

## 6 结语

目前,国内城市排水系统雨污分流不彻底、运维管理不完善,分流制系统依然存在雨污混接、管道淤积等现象,旱季混接污水和雨季初期雨水入河(湖)易造成接纳水体污染物负荷增加、水生态恶化。随着水环境的治理越来越受重视,利用调蓄池削减污染负荷来控制水体污染的方式应用越来越广泛。武汉市经济技术开发区实施了部分重点湖泊综合整治工程,某湖泊整治工程采用“截流—调蓄—处理”的技术方案,初雨调蓄池为其重要组成部分。实际运行结果表明,该工程运行良好,完全实现了设计目标。

## 参考文献:

- [1] 张善发,李田,高廷耀.上海市地表径流污染负荷研究[J].中国给水排水,2006,22(21):57-60,63.  
ZHANG Shanfa, LI Tian, GAO Tingyao. Study on pollution load of urban surface runoff in Shanghai[J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(21): 57-60, 63 (in Chinese).
- [2] 夏宏生.广州城区河涌水环境综合整治工程的实践与认识[J].西南给排水,2007,29(3):8-11.  
XIA Hongsheng. Regulating water environment of urban rivers in Guangzhou[J]. Southwest Water & Wastewater, 2007, 29(3): 8-11 (in Chinese).
- [3] 程江.苏州河储存式雨水调蓄池水环境质量改善效应分析[J].中国给水排水,2014,30(1):104-108.  
CHENG Jiang. Analysis of water quality improvement in Suzhou Creek by stormwater detention tanks[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(1): 104-108 (in Chinese).
- [4] 吴海涛,闫爱萍,曾祥国,等.分流制排水系统中组合式初雨调蓄池的设计与优化[J].中国给水排水,2020,36(12):106-110.  
WU Haitao, YAN Aiping, ZENG Xiangguo, et al. Design and optimization of combined initial rainwater storage tank in separate drainage system[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(12): 106-110 (in Chinese).
- [5] 李立青,尹澄清,何庆慈,等.武汉汉阳地区城市集水区尺度降雨径流污染过程与排放特征[J].环境科学学报,2006,26(7):1057-1061.  
LI Liqing, YIN Chengqing, HE Qingci, et al. Catchment-scale pollution process and first flush of urban storm runoff in Hanyang, Wuhan City[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2006, 26(7): 1057-1061 (in Chinese).
- [6] 史慧婷.城市初期雨水收集与处理方法的探讨[J].城市道桥与防洪,2015(12):69-71.  
SHI Huiting. Discussion on collection and treatment methods of urban prime rainwater[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2015(12): 69-71 (in Chinese).
- [7] 张辰,陈嫣,吕永鹏.《城镇雨水调蓄工程技术规范》解读[J].给水排水,2017,43(6):9-13.  
ZHANG Chen, CHEN Yan, LÜ Yongpeng. Interpretation on Technical Code for Urban Stormwater Detention and Retention Engineering[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(6): 9-13 (in Chinese).

作者简介:曾木海(1979-),男,湖南娄底人,本科,高级工程师,主要研究方向为城市基础设施规划设计及水环境综合治理等。

E-mail:15934293@qq.com

收稿日期:2020-05-27

修回日期:2021-04-20

(编辑:孔红春)