

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.12.020

分流制排水系统中组合式初雨调蓄池的设计与优化

吴海涛¹, 闫爱萍¹, 曾祥国¹, 王正雄², 杨涛²

(1. 武汉市规划设计有限公司, 湖北 武汉 430014; 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: 分流制排水系统雨水径流排湖对水体生态环境的破坏日益严重,建设调蓄池截流污染较重的初期雨水逐渐受到重视和应用。结合武汉某初期雨水调蓄池设计实例,介绍了分流制系统中调蓄池有效容积计算方法、组合式初雨调蓄池布置形式。通过优化冲洗系统、巡视通道及采光井的设计改善了调蓄池后期运维中的节能效果及便捷性,可为分流制排水系统中初雨调蓄池的设计提供参考。

关键词: 分流制排水系统; 组合式初雨调蓄池; 调蓄容量; 设计与优化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)12-0106-05

Design and Optimization of Combined Initial Rainwater Storage Tank in Separate Drainage System

WU Hai-tao¹, YAN Ai-ping¹, ZENG Xiang-guo¹, WANG Zheng-xiong², YANG Tao²

(1. Wuhan Planning & Design Co. Ltd., Wuhan 430014, China; 2. Wuhan Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430023, China)

Abstract: Because rainwater runoff discharging into the lake in the separate drainage system has caused more and more serious damage to the ecological environment of water body, the construction of storage tank to intercept the initial rainwater with heavy pollution has been paid more and more attention and applied. Combined with an example of the design of an initial rainwater storage tank in Wuhan, the effective volume calculation method of the storage tank and the arrangement form of the combined initial rainwater storage tank in the separate system was introduced. Furthermore, the energy-saving effect and operating convenience got improved by the optimization of design of flushing system, patrol channel and light well, which could provide reference for application of initial rainwater storage tank in separate drainage system.

Key words: separate drainage system; combined initial rainwater storage tank; storage volume; design and optimization

直排污水、旱季混流、雨季溢流和雨水径流等污染已成为湖泊的主要污染源,导致湖泊富营养化加重、水体水质恶化、生态环境退化、生物多样性下降。研究表明,随着雨污分流改造工作的推进、居民环保意识的提高,由污水排湖导致的水体污染正逐步得到控制,但由分流制系统雨水径流排湖导致的径流

污染却逐步突显。对于混接污水较少、管道淤积较轻的雨水系统,雨天出流的初期效应明显,即初期雨水携带了雨天出流的大部分污染负荷^[1-2]。因此,建设初期雨水截流和调蓄设施,把污染严重的初期雨水截流并输送至污水处理厂处理,正逐渐成为城镇面源污染控制的新兴主要工程措施,并且已经在

上海苏州河综合整治二期工程和世博园配套保障工程中得到成功应用。

1 工程概况

某湖泊位于武汉市经济技术开发区,天然调蓄水体,水质现状多为地表水Ⅳ类,处于轻度富营养化状态,其规划功能为备用饮用水源、调蓄、景观和生态调节。该湖泊规划水质管理目标为地表水Ⅲ类,现状水质尚未达到规划水质目标,为控制入湖污染负荷、改善湖泊水质,政府相关部门经分析研究决定对该湖泊实施水环境综合整治工程,初雨调蓄池为其重要组成部分。该调蓄池总服务面积为90 hm²,主要为城市建成区,综合径流系数为0.65,区内排水管网较为完整、雨污分流改造较为彻底,面源污染削减率要求不小于70%。

2 调蓄池容积计算

2.1 径流深度法

根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006, 2016年版)和《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017),用于分流制径流污染控制时,雨水调

蓄池的有效容积 V 可按式(1)计算:

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

式中 D ——调蓄量,按降雨量计,可取4~8 mm

F ——汇水面积, hm²

Ψ ——径流系数

β ——安全系数,可取1.1~1.5,本设计取1.25

调蓄量的确定与水体环境要求、降雨特性、服务区面源污染物沉积等情况紧密相关,根据《广州市中心城区排水系统控制性详细规划》,对于建成区面积占70%以上的区域,溢流污染物削减率不低于70%时,其调蓄量不小于8 mm^[3]。同济大学对上海芙蓉江、水城路等地区的雨水地面径流研究表明,在降雨量达到10~15 mm时,径流水质已基本稳定^[4];王倩等^[2]的研究表明,对于平原城市(以北京为例),截流初期5.2 mm的径流可控制50%的污染物负荷。综合考虑上海市部分调蓄池案例^[4-5](见表1)、国内相关研究以及本工程特点,初雨调蓄池调蓄量取12.0 mm。

表1 上海市部分调蓄池案例统计

Tab.1 Case statistics of some storage tank in Shanghai

调蓄池名称	排水体制	服务面积/hm ²	不透水比/%	面积负荷/(m ³ ·hm ⁻²)	径流深度/mm ^①	调蓄容积/m ³
梦清园	合流制	296	80	104.68 ^②	10.5~14.3	25 000 ^③
成都路	合流制	306	80	20	2.0~2.7	7 400
江苏路	合流制	377	80	28.27 ^②	3.4~4.6	15 300 ^④
新昌平	合流制	345	65	44.21 ^②	4.5~6.1	15 000
芙蓉江	混流制	693	60	20	2.0~2.7	12 500
世博浦明	分流制	250	70	30	3.0~4.2	8 000
世博后滩	分流制	87	70	30	3.1~4.2	2 800
世博南码头	分流制	103	70	30	3.2~4.4	3 500
世博蒙自	分流制	185	65	30	3.0~4.2	5 500

注: ①根据式(1)反算; ②根据式(2)反算; ③不含12 182 m³管道调蓄容积; ④后因场地限制,经专题论证核减为10 800 m³。

2.2 面积负荷法

该方法参考德国废水协会制定的《ATV128 合流污水系统暴雨削减装置设置指南》,其目标是控制合流制系统排入水体的污染物负荷不大于分流制系统,调蓄池容积 V 按下式计算^[6-7]:

$$V = 1.5 \times V_{SR} \times A_U \quad (2)$$

式中 V_{SR} ——单位面积需调蓄水量, m³/hm²

A_U ——非渗透面积, hm², A_U = 系统服务面积 × 径流系数

可见该方法主要适用于合流制排水系统,但国内也有分流制案例参照该方法执行(见表1)^[8-9]。

V_{SR} 与城市暴雨径流污染特点密切相关,德国城市一般取12~40 m³/hm²,降雨越均匀、卫生条件越好则 V_{SR} 取值越低,反之越高。根据对调蓄池实际运行过程中污染物减排效益的分析研究,上海市提出以排水系统暴雨溢流污染物削减率目标的雨水调蓄池容积设计理念和方法:溢流污染物削减率为70%时, V_{SR} 取值应约为80 m³/hm²;溢流污染物削减

率为80%时, V_{SR} 取值应约为 $100 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ^[6]。因此,结合国内相关研究及本工程特点,初雨调蓄池容积建设标准取 $100 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

2.3 调蓄池容积计算

结合前述分析,根据式(1)和式(2)计算所得调蓄容积均为 $8\,775 \text{ m}^3$,取 $V=9\,000 \text{ m}^3$ 。

3 组合式初雨调蓄池工艺设计

调蓄池的主要功能是在降雨期间贮存初期雨水及混接污水,从而起到削减入湖污染物负荷和保护水体的作用。降雨时,初期雨水自流至前端截流井,并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1);调蓄池截流水量达到设计水位时截流管停止进水,管网收集的雨水通过溢流管进入湖泊。降雨结束后,先前截流的雨水通过水泵抽排就近接入现状污水干管,并最终被送至污水处理厂处理。

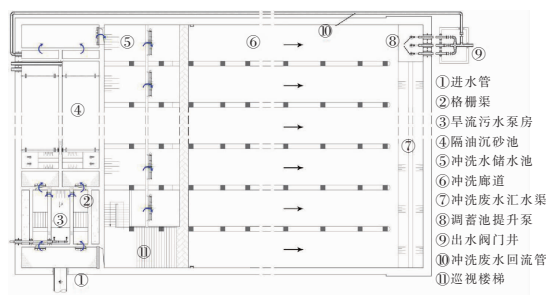


图1 初雨调蓄池底层平面图

Fig.1 Ground floor plan of initial rainwater storage tank

3.1 粗格栅间及早流污水泵房

粗格栅的主要功能是去除进水中较大漂浮物,并拦截直径大于20 mm的杂物,以保护后续水泵及冲洗门的正常运行,同时减少调蓄池沉积物。早流污水泵主要用于抽排旱季混接污水。

粗格栅间与调蓄池合建,内有2组格栅渠和1组早流污水泵房,二者通过闸门连通。格栅渠总设计规模为 $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$,工艺尺寸为 $1.8 \text{ m} \times 6.5 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,栅前设计水深为2.95 m,栅条间距为20 mm,过栅流速 $v_{\max}=0.65 \text{ m/s}$ 。早流污水泵房设计规模为 $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$,工艺尺寸为 $2.3 \text{ m} \times 6.5 \text{ m} \times 5.5 \text{ m}$,有效水深为0.8~1.8 m,采用2套潜污泵(1用1备),设计最佳工况点: $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=130 \text{ kPa}$,变频控制。

3.2 隔油沉砂池

隔油沉砂池的主要功能是去除进水中粒径 \geq

0.2 mm的无机砂粒和浮油,保护后续管道及设备,并减少进入市政污水处理系统的砂粒。

隔油沉砂池与调蓄池合建,总设计规模为 $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$,工艺尺寸为 $4.5 \text{ m} \times 21.5 \text{ m} \times 7.0 \text{ m}$,有效水深为4.4 m,停留时间为2 min,水平流速为0.15 m/s。每组沉砂池安装一套链条式刮油刮泥机,链条移动速度为1 m/min;2套排砂泵(1用1备),设计最佳工况点: $Q=60 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=100 \text{ kPa}$,正常工作范围:流量45~75 m^3/h ,扬程为80~120 kPa,变频控制。无机砂通过排砂泵提升至砂水分离器,砂水分离器处理规模为20 L/s,安装于沉砂池上方的格栅间内,出水自流至调蓄池。此外,排砂泵还兼作沉砂池排空泵,降雨结束后将水提升至砂水分离器。浮油经集油管收集后排放至厂区隔油池。

3.3 调蓄池

本工程设计全地下式矩形调蓄池1座,平面尺寸为 $34.4 \text{ m} \times 70.0 \text{ m}$,净空为7.0~8.0 m,池底坡度 $i=1.5\%$ 。在贮存期间,雨水中的污染物会在池内提前沉降并在池底淤积,为了清除这些淤积物,设计采用门式冲洗系统对调蓄池进行水力清洗。结合门式冲洗系统的特点和池内结构柱网布置,沿长度方向利用矮墙将调蓄池分成7条并排的冲洗廊道,单廊道平面尺寸为 $4.4 \text{ m} \times 60.0 \text{ m}$,坡度同池底坡度。廊道两端分别是冲洗水储水池和冲洗废水汇集渠,储水池位于廊道坡顶、有效容积为 30 m^3 ,在储水池的端墙上安装冲洗门,洞口尺寸 $B \times H=2.8 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$ 。

调蓄池埋深较大,且下游市政污水干管接驳点高程较高,因此调蓄池出水需采用水泵抽排。降雨结束后,3套潜污泵(2用1备)将雨水及冲洗废水抽排至附近污水干管。潜污泵设计最佳工况点: $Q=125 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=100 \text{ kPa}$,正常工作范围:流量100~150 m^3/h ,扬程80~130 kPa,变频控制。

4 优化及节能设计

4.1 出水阀门井

在调蓄池末端新建1座阀门井,工艺尺寸为 $3.0 \text{ m} \times 3.8 \text{ m} \times 2.2 \text{ m}$ 。

调蓄池的冲洗废水中杂质较多,直接排至市政污水管不仅会导致管道淤积加重,也会增加污水处理厂工作负荷。为解决这一问题,设计在出水干管上利用分水三通将悬浮物浓度较大的冲洗废水回流至前端隔油沉砂池,并通过阀门加以控制。降雨结

束后,调蓄池及隔油沉砂池排空并对调蓄池进行水力清洗,打开冲洗废水回流管上的控制阀、关闭出水管上的控制阀,使含杂质较多的冲洗废水回流至前端隔油沉砂池,然后经砂水分离器处理后回用或排放。

4.2 冲洗水源

冲洗水可以采用湖水、中水及自来水等,但是由于蓄水期间调蓄池液面会淹没自来水补水龙头,所以以自来水作为冲洗水时应采取有效措施避免回流污染。设计采用自来水和砂水分离器出水两套补水系统。在自来水补水系统中增加原水水箱,自来水先经厂区自来水管进入原水水箱,然后经管道自流进入调蓄池冲洗水储水池。在砂水分离器出水补水系统中,水源为隔油沉砂池内的雨水,雨水经排砂泵提升进入砂水分离器,砂水分离器出水经管道自流进入调蓄池冲洗水储水池。经核算,隔油沉砂池存水量足以满足调蓄池冲洗三次的用水,大大节约了自来水用量。

4.3 巡视楼梯

为便于维护人员入池检修和观察,本工程特意设计了一架巡视楼梯,在巡视楼梯与调蓄池侧壁的衔接处设置爬梯供人下到池底。此外,为满足《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)的要求,本工程需设置一间直通室外安全地带的独立楼梯间。自楼梯间至巡视楼梯的衔接楼梯设置在栅前配水井的溢流孔一侧,在溢流工况时雨水通过溢流孔翻入调蓄池,通过楼梯层层跌水达到水力消能的目的,充当消力坎的这部分楼梯的结构设计需额外考虑峰值流量条件下水流的冲击荷载^[10]。综合考虑以上需求,本工程在格栅间外侧、溢流孔正上方设计一座楼梯间,内设巡视楼梯出入口,BIM效果图见图2。

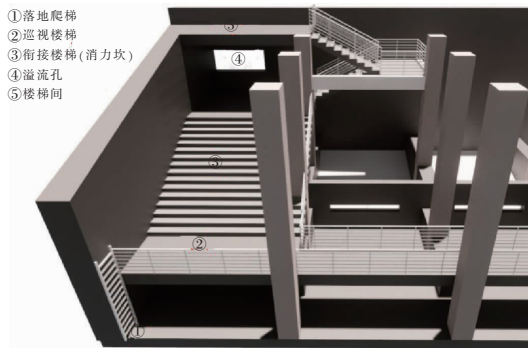


图2 巡视楼梯 BIM 效果图

Fig.2 BIM sketch of patrol stairs

该项优化设计既满足了调蓄池的功能需求和防火要求,又减少了池内构筑物的数量,进而保证了池内可利用空间的容积,节约了工程投资。

4.4 采光井

调蓄池内未设照明工程,照明问题主要通过便携式照明设备及池顶的采光井解决。根据调蓄池内部结构、柱网布置及池顶景观需求,本工程在调蓄池顶共设计5座 $B \times L = 4.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$ 的采光井,井顶采用铝合金钢化夹胶玻璃采光窗。此外,调蓄池可能散发硫化氢、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,按照《城镇雨水调蓄工程技术规程》(GB 51174—2017)的要求应设置通风除臭系统。本工程除臭和通风均采用机械抽风,采用10个 $B \times H = 4.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$ 的电动百叶窗自然进风,通风总面积共计 46 m^2 ,电动百叶窗安装在采光井井筒上(见图3)。除臭时关闭所有采光井上的百叶,通风时开启所有采光井上的百叶,该设计布排集约、绿色节能且对厂区景观设计干扰小。

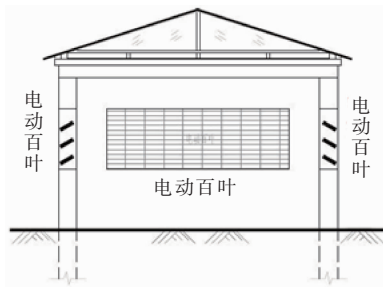


图3 采光井大样图

Fig.3 Sketch of light well

5 结语

随着雨污分流改造工作的推进、居民环保意识的提高,由污水排湖导致的水体污染正逐步得到控制,但由分流制排水系统雨水径流排湖导致的径流污染却逐步突显。结合武汉某初雨调蓄池工程,介绍了分流制系统中调蓄池有效容积的计算方法和设计思路,并结合工程特点对其进行多项优化和节能设计,以期国内初雨调蓄池的设计与优化提供参考。

参考文献:

- [1] 李田,曾彦君,高秋霞. 苏州河沿岸排水系统雨水调蓄池设计方案探讨[J]. 给水排水,2008,34(2):42 - 46.

- Li Tian, Zeng Yanjun, Gao Qiuxia. Stormwater storage plan of drainage systems along Suzhou Creek in Shanghai [J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34 (2): 42-46 (in Chinese).
- [2] 王倩, 张琼华, 王晓昌. 国内典型城市降雨径流初期累积特征分析[J]. 中国环境科学, 2015, 35 (6): 1719-1725.
- Wang Qian, Zhang Qionghua, Wang Xiaochang. Cumulative characteristics of runoff pollutants in typical domestic cities [J]. China Environmental Science, 2015, 35 (6): 1719-1725 (in Chinese).
- [3] 李文涛, 王广华, 周建华, 等. 深层隧道排水系统规划设计中溢流污染控制标准研究[J]. 中国给水排水, 2016, 32 (24): 1-6.
- Li Wentao, Wang Guanghua, Zhou Jianhua, *et al.* Study on standard of overflow pollution control in planning and design of deep tunnel drainage system [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32 (24): 1-6 (in Chinese).
- [4] GB 51174—2017, 城镇雨水调蓄工程技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- GB 51174-2017, Technical Code for Urban Stormwater Detention and Retention Engineering [S]. Beijing: China Planning Press, 2017 (in Chinese).
- [5] 程江, 潘伟, 丁敏. 上海中心城区市政排水系统雨水排水的管理与实践[J]. 中国给水排水, 2012, 28 (20): 9-13.
- Cheng Jiang, Pan Wei, Ding Min. Stormwater drainage management and practice of municipal drainage system in central Shanghai [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28 (20): 9-13 (in Chinese).
- [6] 程江, 许莉, 潘伟, 等. 雨水调蓄池容积设计标准及其污染减排效益研究[J]. 中国给水排水, 2013, 29 (23): 166-170.
- Cheng Jiang, Xu Li, Pan Wei, *et al.* Volume design standards and pollutant reduction of stormwater detention tank [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29 (23): 166-170 (in Chinese).
- [7] 张辰. 合流制排水系统溢流调蓄技术研究及应用实例分析[J]. 城市道桥与防洪, 2006 (5): 1-4.
- Zhang Chen. Study of overflow storage technology of combined sewerage system and analysis of practical example [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2006 (5): 1-4 (in Chinese).
- [8] 谭琼, 李田, 张建频, 等. 初期雨水调蓄池运行效率的计算机模型评估[J]. 中国给水排水, 2007, 23 (18): 47-51.
- Tan Qiong, Li Tian, Zhang Jianpin, *et al.* Evaluation of computer model for operation efficiency of initial rainwater detention tank [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23 (18): 47-51 (in Chinese).
- [9] 王肖军. 初期雨水调蓄池在城市排水系统中的应用[J]. 中国给水排水, 2012, 28 (10): 45-47.
- Wang Xiaojun. Application of initial rainwater storage tanks in urban drainage system [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28 (10): 45-47 (in Chinese).
- [10] 田嘉宁. 台阶式泄水建筑物水力特性试验研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2005.
- Tian Jianing. Hydraulic Characteristics of Stepped Release Structures [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2005 (in Chinese).



作者简介: 吴海涛 (1979 -), 男, 湖北武汉人, 学士, 高级工程师, 主要研究方向为水环境综合治理及城市低影响开发等。

E-mail: whplanwht@qq.com

收稿日期: 2019-09-23