

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.12.006

调蓄池在排水系统中的应用及发展方向探讨

谢磊¹, 解铭¹, 薛江儒²

(1. 中国城市规划设计研究院, 北京 100037; 2. 临沂市住房和城乡建设局, 山东 临沂 276000)

摘要: 目前调蓄池在我国排水系统中应用广泛,若调蓄池建设不合理,将造成巨大的工程浪费。对调蓄池在排水系统中的应用开展讨论,分析了以控制标准、地区降雨特征及管道水质特征等为依据计算调蓄池容积的方式,探讨了调蓄池在排水系统中的位置、服务范围及排水系统状况对调蓄池运行效果的影响,并提出了调蓄池效果评价标准,以及调蓄池应向精细化、集成化及智能化方向发展的建议,以期为行业内调蓄池建设提供参考。

关键词: 调蓄池; 降雨特征; 服务范围; 效果评价

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)12-0037-07

Discussion on Application and Development Direction of Storage Tank in Drainage System

XIE Lei¹, XIE Ming¹, XUE Jiang-ru²

(1. China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China; 2. Linyi Housing and Urban Rural Development Bureau, Linyi 276000, China)

Abstract: At present, storage tanks are widely used in China's drainage system. If the construction of storage tanks is unreasonable, huge waste will be generated. This paper discusses the application of the storage tank in the drainage system. The measurements to calculate the volume of the storage tank are analyzed based on the control standard, regional rainfall characteristics and pipeline water quality characteristics. The influence of the location, service scope and drainage system status of the storage tank in the drainage system on the operation effect of the storage tank is discussed. This work also puts forward the evaluation standard for the effect of the storage tank. It is pointed out that the storage tank should develop in the direction of refinement, integration and intelligence. This paper can provide reference for the construction of storage tank in the industry.

Key words: storage tank; rainfall characteristics; scope of services; effectiveness evaluation

调蓄池是当前排水系统建设中常用的一种单体设施,主要功能有削峰、截污及调蓄等。德国、美国及日本从20世纪60年代开始在排水系统中建设大量调蓄池,截至2018年,德国已建调蓄池总容积

约 $4\ 000\times 10^4\text{ m}^3$,日本埼玉县已建成调蓄池总容积约 $70\times 10^4\text{ m}^3$ ^[1]。近几年,随着我国海绵城市建设、黑臭水体治理、排水系统提质增效及污水处理设施补短板等政策的推出,调蓄池在我国也得到了广泛应

基金项目: 城镇排水管网提质增效技术指南资助项目(BZ-2023005)

通信作者: 薛江儒 E-mail: szfzghk@163.com

用。降雨期间,调蓄池利用其巨大的池体容积,对排水系统中的雨水或污水进行存储,降雨结束后再进行排放。根据相关研究,调蓄池可明显提高截污系统的污染物截留率^[2-3],削减暴雨流量峰值^[4]。

在实际应用过程中,根据功能需求及现场条件,调蓄池也在逐步升级及完善。工程建设中也出现了泵站—调蓄池、调蓄池—处理设施合建的案例^[5-6]。调蓄池在我国排水系统中发挥着重要作用,若调蓄池建设不合理,将造成巨大的工程浪费,因此有必要对调蓄池在排水系统中的应用及发展方向进行探讨。

1 调蓄池分类

根据主要功能的不同,调蓄池可分为截污型调蓄池和削峰型调蓄池。截污型调蓄池是对排水管网中的污水(溢流污水、初期雨水)进行截流存储,雨后再进行缓慢排放。削峰型调蓄池是在降雨期间,为减小峰值雨量对合流管网或雨水管网的冲击,缓解城市内涝,调蓄部分雨水量。在特殊情况下,污水管网可能也具有削峰功能,进行削峰调蓄。

根据应用场景不同,截污型调蓄池可分为合流制溢流污染控制调蓄池及初雨调蓄池。合流制溢流污染控制调蓄池是对合流污水进行调蓄,降低合流系统溢流风险,减少合流污水及管道沉积物溢流量。初雨调蓄池是对雨水系统中降雨初期地表径流污染物及管道沉积物进行截流调蓄,减少初期降雨冲刷污染物排入水体。

本研究主要探讨截污型调蓄池中的合流制溢流污染控制调蓄池及削峰调蓄池,这两种调蓄池对水量、污染物的控制特点见表 1。

表 1 削峰型调蓄池和合流制溢流污染控制调蓄池对水量和污染物的控制特点总结

Tab.1 Summary of water volume and pollutant control characteristics of peak shaving storage tank and CSO pollution control storage tank

调蓄池类型	水量控制	污染物控制
削峰型调蓄池	提高排水系统排水标准,减小系统管网运行负荷	以水量控制为主要目标,污染物控制效率低
合流制溢流污染控制调蓄池	控制合流系统溢流污水,调蓄水量不大,以合流系统溢流污染物控制为主要目标	合流系统溢流污染

2 调蓄池容积确定

合流制溢流污染控制调蓄池及削峰型调蓄池的一个重要区别是调蓄池容积确定方法不同。合流制溢流污染控制调蓄池重在截流、调蓄污染物浓度较高的污水,其容积与降雨特征、水体水环境容量、降雨期间管道水质特征、排水系统服务面积及下游污水处理系统处理能力相关。

2.1 合流制溢流污染控制调蓄池

对于合流制溢流污染控制调蓄池,德国、日本及美国均给出了容积计算方法,其溢流污染控制目标为合流制溢流污染物负荷量不高于分流制系统。国内溢流污染控制目标由污染负荷目标削减率、下游排水系统运行负荷、当地截流倍数和截流量占降雨量比例之间的关系等确定。不同国家调蓄池容积计算方法见表 2。

表 2 调蓄池容积计算方法

Tab.2 Calculation method of storage tank volume

地区	调蓄池容积计算方法
德国	$V=1.5 \times VSR \times AU$ 式中: V 为调蓄池容积, m^3 ; VSR 为单位面积需调蓄量, m^3/hm^2 , 按统计数据取值; AU 为固化面积, 即面积 \times 径流系数
美国	通过对排水系统进行详细的调查, 包括雨量和管道流量、对调蓄池选址及来水进行分析以及数学建模
日本	通过模拟试验和实际应用效果评估, 调蓄容量为单位面积区域截流雨水量 2~4 mm
中国	$V=3600T(n_1-n_0)Q_{dr}\beta$ 式中: T 为调蓄设施进水时间, h ; n_1 为调蓄设施建成运行后的截流倍数; n_0 为系统原截流倍数; Q_{dr} 为截流井以前的早流污水量; β 为安全系数, 可取 1.1 ~ 1.5

不同地区的合流制排水系统各具特征,合流制溢流污染控制调蓄池容积也应根据排水系统特征而变化,不应全部采取统一标准,需根据不同排水系统的污染负荷削减率、合流管道水量水质特征、下游排水系统运行负荷进行综合考虑。

① 污染负荷削减率

合流制溢流污染控制调蓄池对污染负荷削减率的计算如下:

$$\alpha \geq 1 - \frac{\min(L_{\text{分流制}}, L_{\text{水环境}})}{L_{\text{合流制}}} \quad (1)$$

式中: α 为合流制系统污染负荷削减率; $L_{\text{分流制}}$ 为分流制系统进入水体的污染负荷量; $L_{\text{水环境}}$ 为水体所

能容纳的污染负荷量; $L_{\text{合流制}}$ 为合流制系统改造前进入水体的污染负荷量。

a. $L_{\text{分流制}}$ 主要来自于雨水系统降雨期间的地表冲刷污染,可采用下式计算:

$$L_{\text{分流制}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{分流},i} \cdot \Delta t \cdot C_{\text{分流},i} \quad (2)$$

式中: $Q_{\text{分流},i}$ 为从雨水排口排水开始,第*i*个 Δt 时间段内,排口排水平均流量; $C_{\text{分流},i}$ 为从雨水排口排水开始,第*i*个 Δt 时间段内,排口排水平均浓度; n 为从雨水排口排水开始,到雨水排口排水结束,总计*n*个 Δt 时间段; Δt 为雨水排口流量、水质监测间隔时间段,降雨初期间隔时间宜短,降雨后期间隔时间可适当加长。

b. $L_{\text{合流制}}$ 计算如下:

$$L_{\text{合流制}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{合流},i} \cdot \Delta t \cdot C_{\text{合流},i} \quad (3)$$

式中: $Q_{\text{合流},i}$ 为从合流排口溢流开始,第*i*个 Δt 时间段内,排口排水平均流量; $C_{\text{合流},i}$ 为从合流排口溢流开始,第*i*个 Δt 时间段内,排口排水平均浓度; n 为从合流排口溢流开始,到雨水排口排水结束,总计*n*个 Δt 时间段。

c. 以一维河道水环境容量为例,其 $L_{\text{水环境}}$ 为:

$$L_{\text{水环境}} = 31.54 \cdot (C \cdot e^{\frac{kx}{86.4u}} - C_{\text{河水},i}) \cdot (Q_{\text{河水},i} - Q'_{\text{河水},i}) \quad (4)$$

式中: $C_{\text{河水},i}$ 为第*i*个排口处的水质本底浓度; C 为沿程浓度; $Q_{\text{河水},i}$ 为第*i*个排口后的流量; $Q'_{\text{河水},i}$ 为第*i*个排口处排水入河量; u 为第*i*个排口河段的设计流速; x 为计算点到第*i*个排口的距离; k 为污染物综合衰减系数。

② 降雨特征

a. 降雨分布。针对不同地区的降雨特征,根据降雨全年分布情况,合理设置调蓄池控制标准,提高调蓄池建设高性价比。集中型和均匀分布型降雨特征见表3。

表3 不同类型降雨特征

Tab.3 Characteristics of different types of rainfall

降雨分布类型	特征描述	调蓄池控制策略
集中型	降雨量集中在全年几个月份,其余月份主要为小降雨	合理设置溢流控制标准,利用较小的溢流控制标准来控制全年降雨的溢流频次
均匀分布型	降雨量全年均匀分布	对降雨雨型进行分析,调蓄控制初期溢流污染,控制溢流量

b. 雨型。我国降雨主要分为前峰型、中峰型、后峰型和均匀型4类雨型(见图1),前峰型降雨峰值出现在降雨前半段,流量峰值与浓度峰值重合,此时要求调蓄池有较高标准的进水管径及配套设施。中峰型、均匀型及后峰型降雨峰值与浓度峰值不重合,调蓄池进水流量相对较小,配套设施规模可相对较小。对于合流制调蓄池,应调蓄浓度峰值附近的水量。因此,应分析前峰型降雨在地区降雨中出现的频次,若频次较高,则需采取较大的进水管道及配套设施。

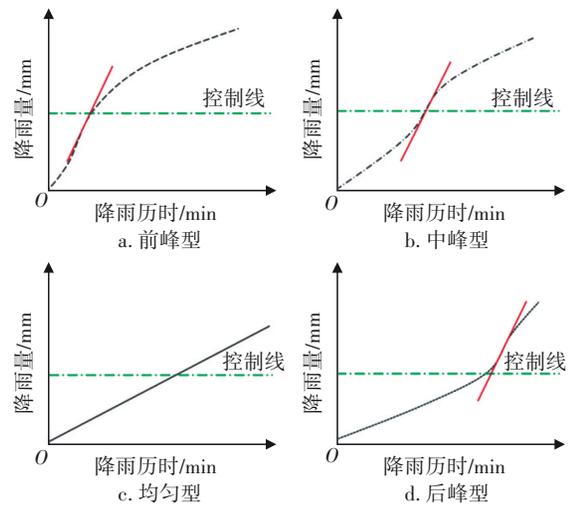


图1 不同雨型的降雨特征

Fig.1 Rainfall characteristics of different rainfall patterns

③ 合流管道水质变化特征

根据相关研究^[7],在降雨期间,合流管道中各水质指标值整体呈逐渐下降趋势,当降雨强度能够冲刷地表污染时,合流管道中会出现一段水质浓度峰值。为提高调蓄池截污效率,应截流此部分高浓度合流污水,提高调蓄池截污效率。

有效容积及其进水配套设施是合流制调蓄池发挥高效截污作用的关键因素,与所在地区的降雨特征、水环境容量、管道水质及服务面积等密切相关。

2.2 削峰型调蓄池

削峰型调蓄池主要用于调蓄超出排水系统排放能力的超量雨水。该类型调蓄池不仅应用于调蓄管道中的雨水,也可以用于调蓄水体中的超量水量,用于缓解城市内涝。例如,日本在东京都城市群外圈修建了世界上最大的调蓄隧道,主要用于收集沿线4条中小河道和分散调蓄设施的雨天溢流

水量^[8]。

削峰调蓄池容积与需要应对的降雨量密切相关,超出现状排水系统排放能力的水量即为需要调蓄的水量,所需调蓄水量如图 2 所示。需要应对的降雨量应综合城市安全、资金投入及养护管理等多方面考虑。调蓄池能否充分发挥其调蓄效果与调蓄池进水管径密切相关,在削峰调蓄池前,应设置足够大的进水通道,以充分发挥调蓄池的削峰效果。

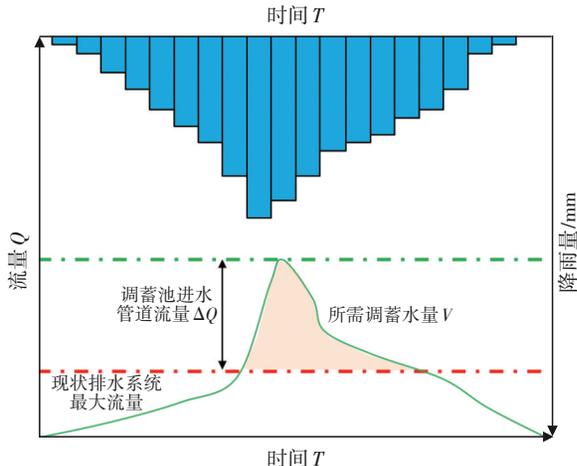


图 2 削峰调蓄池进水流量及调蓄容积示意

Fig.2 Schematic diagram of inflow flow and storage volume of peak shaving storage tank

3 调蓄池位置

根据其在排水系统中的位置,调蓄池可分为末端调蓄池和中间调蓄池(见图 3)。末端调蓄池主要用于面源污染的控制,中间调蓄池主要用于提高系统的排水标准和改善系统管网运行负荷等。

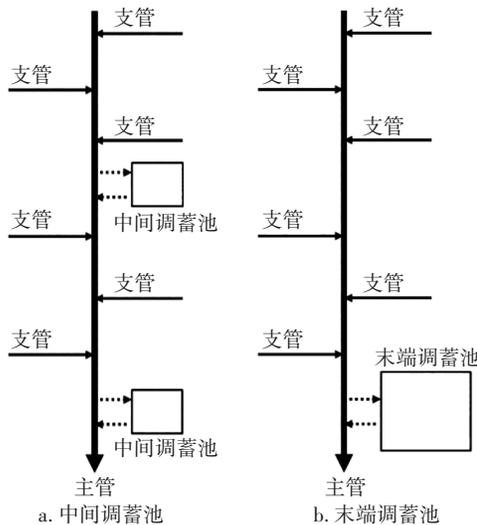


图 3 中间调蓄池及末端调蓄池

Fig.3 Intermediate storage tank and end storage tank

根据其相对于管网的位置,调蓄池可分为串联调蓄池及并联调蓄池(见图 4)。串联调蓄池建设于管道上,是管道排水的必经路径,主要功能为削峰。并联调蓄池由管道分流进水,非管道排水必经路径。

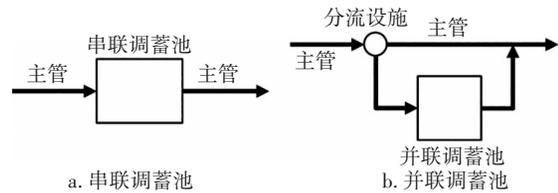


图 4 串联调蓄池及并联调蓄池

Fig.4 Series storage tank and parallel storage tank

不同位置的调蓄池对水量、污染物的控制特点如表 4 所示。

表 4 不同位置的调蓄池对水量、污染物的控制特点
Tab.4 Control characteristics of water volume and pollutant of storage tanks at different locations

类型	水量控制	污染物控制	备注
中间调蓄池	提高排水系统排水标准,减小系统管网运行负荷	污染物控制效率高,控制降雨初期效应效果好	适用于服务范围大的排水系统、分散建设成本较高
末端调蓄池	缓解管网出水压力,对提高排水系统排水标准效果改善有限	初期高浓度污水受沿程管网进水稀释,浓度降低,污染物控制效率低	适用于用地紧张区域、服务范围小的排水系统
串联调蓄池	根据其在排水系统中的位置而定	污染物控制效果不佳	管控设备、耗能少,但对地形、管道高程有要求
并联调蓄池	根据其在排水系统中的位置而定	污染物控制效果好	管控设备多,耗能大,受地形及管道高程影响较小

4 调蓄池效果评价

调蓄池投入运行后,可对其运行效果进行评价,以便进行进一步优化及后期管养等。对于调蓄池的运行效果可从运行后排水系统排水标准及污染物削减率等方面进行评价。

4.1 排水标准

对于削峰型调蓄池,在排水标准方面,可根据降雨期间调蓄池服务范围内管道水位及内涝积水情况对调蓄池运行效果进行评价。

① 管道水位

在同等降雨条件下,对比调蓄池建设前、后服务范围内排水管网关键节点的管道水位变化,调蓄

池投入使用后,服务范围内管道水位应有降低(见图5)。建设调蓄池后,在设计排水标准下,调蓄池服务范围内的上游管道水位应不高于设计充满意度。

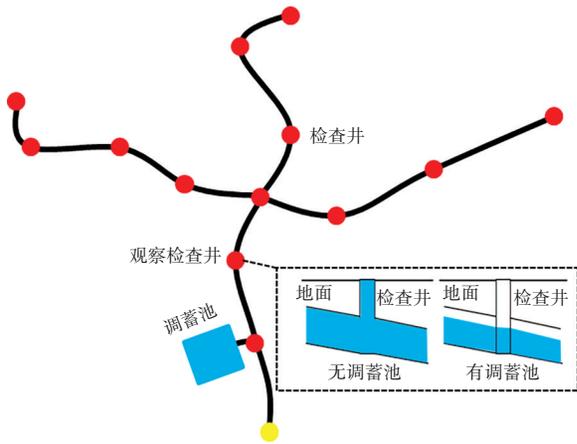


图5 排水管网关键节点水位对比

Fig.5 Comparison of water levels at key nodes of drainage network

② 内涝积水

在同等降雨条件下,调蓄池修建后,其服务范围内因排水系统能力不足造成的内涝情况应得到消除或缓解。

4.2 污染物削减率

在污染物控制率方面,应从污染物削减率及设计标准达标两方面进行评价。

① 污染物削减率

在同等降雨条件下,对调蓄池建设前后排水系统溢流进入水体的污染物负荷量进行对比,以评估调蓄池对污染物负荷的削减率。排水系统污染负荷削减率计算如下:

$$\beta = \frac{L_{前} - L_{后}}{L_{前}} \quad (5)$$

式中: β 为排水系统污染负荷削减率; $L_{前}$ 为调蓄池建设前系统进入水体的污染负荷量; $L_{后}$ 为调蓄池建设后系统进入水体的污染负荷量。

② 设计标准达标

修建调蓄池后,在设计降雨条件下,排水系统溢流进入水体的污染负荷不应超过水体的水环境容量或者分流制系统进入水体的污染物负荷量,即:

$$L_{后} \leq \min(L_{分流制}, L_{水环境}) \quad (6)$$

5 调蓄池运行效果影响

调蓄池的运行效果与调蓄池的服务范围、排水系统运行情况密切相关。

① 调蓄池服务范围

以小型合流制区域进行数学模型模拟为例,设置模拟方案A、B,其管网布置如图6所示,具体情况见表5。

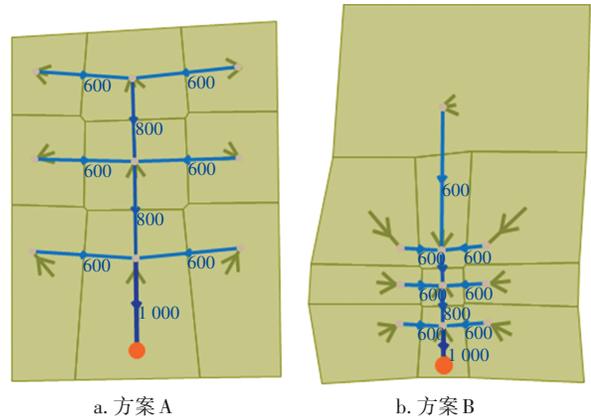


图6 方案A与方案B排水系统布置

Fig.6 Layout of drainage system in plan A and plan B

表5 方案A与方案B工况描述

Tab.5 Working condition description of plan A and plan B

方案	服务面积/hm ²	最远点与出水口距离/m	排水系统	2 h降雨量/mm
A	55.6	600	合流	19
B	324	1 400	合流	19

在方案A工况下,分别在200、400及600m处绘制降雨期间管道污染物过程线,如图7所示。

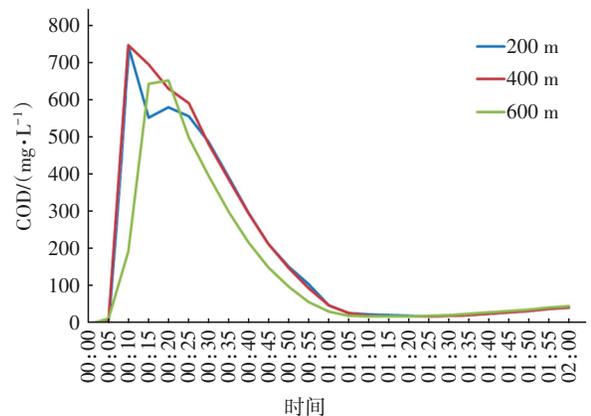


图7 方案A中不同管道终点处的COD浓度变化

Fig.7 Change of COD concentration at different pipeline end points of drainage system in plan A

由图7可知,在200、400m管道处污染物浓度

高峰出现在降雨开始5 min,在600 m管道处污染物浓度高峰出现在降雨开始10 min。降雨期间,下游主管道浓度峰值出现时间晚于上游管道,且浓度较低。

对比方案A、方案B工况下600 m处绘制降雨期间管道污染物过程线,如图8所示。降雨期间,方案A在降雨开始10 min时出现峰值,方案B在降雨开始20 min时出现峰值。降雨期间,服务面积大的排水系统末端浓度峰值出现时间晚于服务面积小的排水系统末端,且浓度较低。

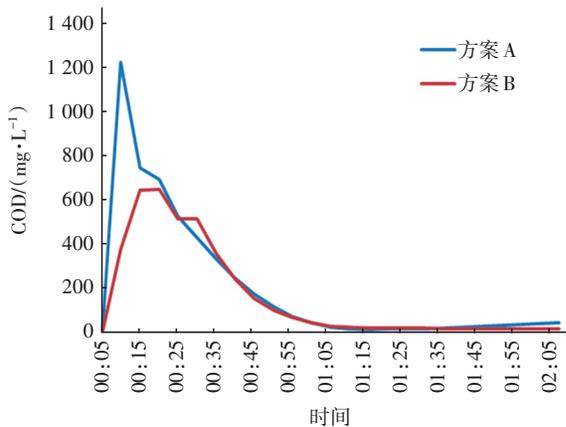


图8 方案A与方案B中相同管道终点处COD浓度变化
Fig.8 Change of COD concentration at the same end of the pipeline of the drainage system in plan A and plan B

综上,排水系统末端降雨期间污染物峰值出现时间与服务面积及主管长度密切相关,服务面积越大、主管长度越长,其峰值出现时间越晚,峰值浓度越低。而实际排水系统情况更为复杂,调蓄池建设时仅通过经验参数取值可能会导致调蓄池不能发挥其应有功能,不能截流高浓度污水。合流制调蓄池应通过对排水系统水质水量监测分析确定,尤其是前峰型降雨期间。若无监测条件,也应通过数学模型模拟,确定调蓄容积及进水设施。

② 排水系统运行情况

若因河水倒灌、地下水入渗等原因造成排水管道长期处于高水位运行,调蓄池则无法充分发挥其功能。这是因为管道高水位运行时,若出现降雨,调蓄池在高浓度污水尚未到达时,已被管道中的存水充满,无法调蓄后面的高浓度污水。

6 调蓄池发展方向

随着调蓄池在我国的广泛应用,调蓄池也应向精细化、集成化、成品化、装配化及智能化的方向

发展。

6.1 分质调蓄、分质处理

根据上述分析,降雨期间排水管道水质浓度有一个变化过程,不同时段进入调蓄池的污水浓度也有差异。对于大型调蓄池,可以采用分仓调蓄,以达到分质调蓄效果(见图9)。降雨结束后,根据每个调蓄仓中的污水浓度不同进行分质回用。高浓度调蓄污水直接转输至污水厂处理,浓度较低的污水经过一级处理后或直接进行回用。分质调蓄及分质处理,可降低污水处理厂的负荷,从而达到节能减排效果。

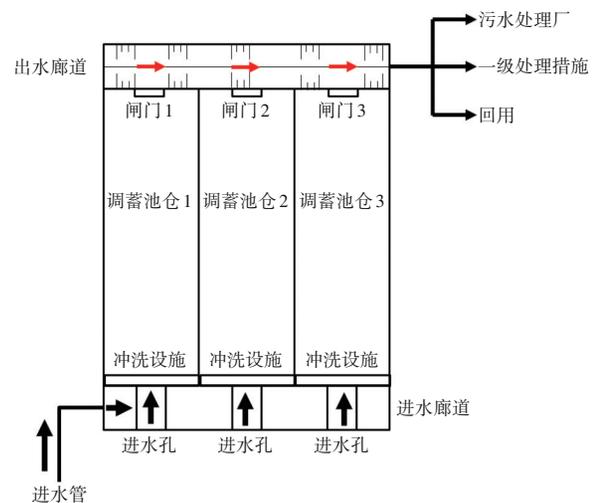


图9 调蓄池分仓调蓄、分质回用示意
Fig.9 Schematic diagram of separate storage and quality reuse of storage tank

6.2 调蓄处理池

调蓄池可与处理设施合建,处理设施可为生物处理设施、一级处理设施或快速处理设施。一方面调蓄池调蓄的污水晴天可进入处理设施处理达标后排放河道,另一方面雨天可启用快速处理设施快速处理后期低浓度雨水达标后排放河道,扩展调蓄池的调蓄能力。

6.3 集约用地

调蓄池建设应与周边环境相结合,可采用全地下形式,地面进行景观公园建设,并在水质达标情况下将处理后的出水直接回用于景观灌溉或湿地公园。

6.4 智能调度

目前,调蓄池一般与排水管道、改造排口联合调度,以达到最佳削峰及污染物控制效果。因此调

蓄池还应考虑其智能建设,将调蓄池的启闭、冲洗及处理等与智慧水务平台对接,根据降雨特征及实时工况,建立如图10所示的调度流程,实时调度调蓄池,以发挥最佳削峰及污染物控制功能。

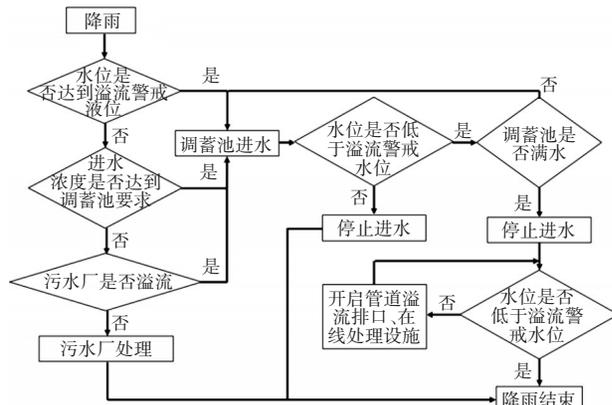


图10 合流制溢流污染控制调蓄池智慧调度流程

Fig.10 Intelligent dispatching process of CSO pollution control storage tank

7 结语

① 调蓄池的功能发挥与管网建设情况密切相关。在设计过程中应注重调蓄池服务范围、收水管道长度及进水管径设计,确定合适的进水时间,以发挥最佳削峰及调蓄效果。

② 随着调蓄池在我国排水系统中的普及应用,在建设过程中更应该提高调蓄池的效能,建设精细化、集成化及智能化的调蓄池,提高性价比,做到节能减排。

③ 调蓄池的效能与地方降雨特征、排水系统特征、服务范围密切相关,应根据实际监测数据进行建设,做到“一池一策”。

参考文献:

- [1] 刘欣. 天津市合流制系统溢流调蓄池工程可行性研究[D]. 天津:天津大学,2017.
LIU Xin. Feasibility Study on Overflow Storage Tank of Combined System in Tianjin [D]. Tianjin: Tianjin University, 2017(in Chinese).
- [2] 张怀宇, 赵磊, 王海玲, 等. 合流制排水系统雨季污染物溢流的截流与调蓄控制研究[J]. 给水排水, 2010, 36(6):42-45.
ZHANG Huaiyu, ZHAO Lei, WANG Hailing, et al. Interception and storage control of overflow pollutant of combined intercepting sewer system during rainfall [J].

Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(6):42-45 (in Chinese).

- [3] 阎轶婧. 基于水力模型的合流制溢流调蓄池运行效能评估[J]. 净水技术, 2020, 39(3):53-58.
YAN Yijing. Performance evaluation for storage tanks operation of combined sewer overflows (CSO) based on hydraulic model [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(3):53-58(in Chinese).
- [4] 李想. 城市暴雨防洪减灾系统中调蓄削峰方法的应用研究[D]. 沈阳:沈阳建筑大学, 2018.
LI Xiang. Application of Regulating Peak Method on City Rainstorm Flood Control and Disaster Reduction System [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2018(in Chinese).
- [5] 陈斌. 水力旋流分离井在调蓄池工程中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2019(8):141-143.
CHEN Bin. Application of hydrocyclone separation well in storage regulation tank [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2019(8):141-143(in Chinese).
- [6] 张显忠, 张善发. 带处理功能的调蓄池:CN 103193340A [P]. 2013-04-16.
ZHANG Xianzhong, ZHANG Shanfa. Storage Tank with Treatment Function: CN103193340A [P]. 2013-04-16 (in Chinese).
- [7] 唐磊, 车伍, 赵杨, 等. 合流制溢流初期冲刷及其控制策略研究[J]. 给水排水, 2014, 40(5):24-30.
TANG Lei, CHE Wu, ZHAO Yang, et al. Study on initial scouring and control strategy of combined overflow [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(5):24-30(in Chinese).
- [8] 陈嫣. 日本大城市雨水综合管理分析和借鉴[J]. 中国给水排水, 2016, 32(10):42-47.
CHEN Yan. Analysis and reference on stormwater integrated management in major cities of Japan [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(10):42-47 (in Chinese).

作者简介:谢磊(1981-),男,安徽亳州人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师,生态与市政所所长,主要从事城市水环境、海绵城市、排水防涝、市政基础设施等方面的规划、设计、咨询工作。

E-mail:1017064134@qq.com

收稿日期:2021-08-11

修回日期:2022-04-02

(编辑:丁彩娟)