

分流制排水系统中初雨调蓄池的方案研究

邱超

(上海城投水务工程项目管理有限公司, 上海市 201103)

摘要: 初雨调蓄池的设置已逐渐成为解决初期雨水污染的最经济高效手段之一。结合天山污水处理厂初雨调蓄池的实际工程案例, 详细阐述初雨调蓄池在城市排水系统中的功能和设计要点, 旨在为后期初雨调蓄池的优化设计提供重要的理论支撑和经验借鉴。

关键词: 初雨调蓄池; 初期雨水污染; 城市排水系统

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)08-0099-03

0 引言

随着老城区合流制系统改造和新城区分流制系统推行工作的开展, 传统污水排入河道导致的水体污染得到有效的控制, 城市水环境质量得到明显改善。初期雨水污染负荷较高, 夹杂着地面的残留污染物和管道内的存积黑泥, 其污染物指标远高于典型城市生活污水的浓度值, 已成为城市河道的主要污染源。虽然城市排水泵站具有截污功能, 能够通过提高截流倍数截流部分初期雨水, 但由于初期雨水历时短、瞬时流量大, 旱流污水截流设施的能力难以实现初期雨水的完全截留^[1]。因此, 如何有效解决初期雨水的污染问题成为控制城市面源污染的重点。

雨水调蓄池是一种收集存蓄洪峰流量, 在峰值过后将储存的雨水放出的一种雨水调节设施。在城市排水系统中合理设置雨水调蓄池收集并暂存携带大量污染物质的初期雨水, 可减轻下游排水管网的输送压力, 同时达到对初期雨水污染的控制。此外, 雨水调蓄池具有一定的水质净化作用, 可通过沉淀方式有效去除初期雨水的污染物质, 实现污水处理厂污染负荷的初期削减, 具有显著的经济效益和实用价值。实践表明, 雨水调蓄池是当前解决初期雨水污染的最有效手段之一, 推广应用意义大。

本文结合天山污水处理厂初雨调蓄池的设计案例, 阐述城市排水系统末端设置初雨调蓄池的设计思路, 明确设计要点, 旨在为今后初雨调蓄池的优化设计提供理论基础和技术支撑。

收稿日期: 2022-01-03

作者简介: 邱超(1981—), 男, 硕士, 工程师, 从事水务建设管理工作。

1 工程概况

天山污水处理厂初雨调蓄工程以尽快改善新泾港水环境质量为总目标, 利用既有污水厂用地建设调蓄设施调蓄初期雨水, 将调蓄后的初期雨水输送至虹桥污水处理厂处理; 远期增设提标支管, 并在厂内新建一座提标雨水泵站, 使虹延、花园广场、北新泾南和北虹南四个分流制雨水排水系统防汛能力满足5a一遇的设计标准。

工程服务范围为虹延、花园广场、北新泾南和北虹南四个排水系统, 总服务面积约4.49 km², 见图1。工程内容包括厂外初雨截流管道和厂内初雨调蓄设施两部分。

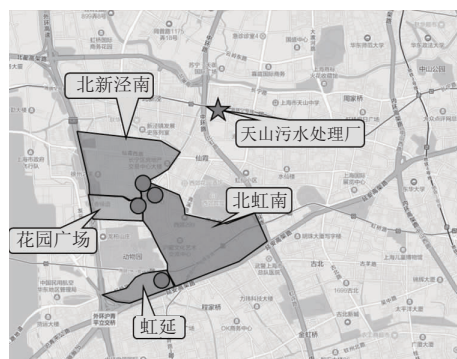


图1 工程服务范围图

2 雨水调蓄池

2.1 概述

在城市排水系统中, 雨水调蓄池在水量和水质两方面发挥功能: (1) 水量方面, 雨水调蓄池可调蓄洪峰流量, 缩小下游排水管网的管径; (2) 水质方面, 雨水调蓄池通过沉淀作用去除初雨中的污染物质, 达到对初雨污染的控制和缓解。按其作用功能分类, 雨水调

蓄池分为调节洪峰流量调蓄池、控制面源污染调蓄池和雨水利用调蓄池三类^[2]。

2.2 调蓄容积计算方法

调蓄容积的合理确定对于雨水调蓄池正常发挥其功能是至关重要的。雨水调蓄池虽然在城市排水系统的应用案例很多,但是如何确定调蓄容积缺乏统一的可操作性的标准规范。设计时大都是参考以往工程经验,投入运行后部分雨水调蓄池暴露出一些问题,难以充分发挥调蓄功能。结合当前研究成果,雨水调蓄池的调蓄容积计算方法主要有以下三种。

(1)德国调蓄池计算方法

根据德国废水协会的 AVT 128 标准,调蓄池容积按式(1)计算^[3]:

$$V = 1.5 \times V_s \times A_i \quad (1)$$

式中: V 为调蓄池容积, m^3 ; V_s 为每公顷汇水区需调蓄雨水量, m^3/hm^2 , $12 \leq V_s \leq 40$,一般取 $15 \sim 20$; A_i 为汇水区不渗透性面积, hm^2 , $A_i = \text{汇水区面积}(hm^2) \times \text{径流系数}$ 。

V_s 是这种方法的一个重要参数,其取值影响到结果的准确度。不同的汇水区不渗透性面积对应不同的 V_s 值,需结合实际情况进行调整优化。

(2)瑞士调蓄池计算方法

该方法通过计算出单位汇水区域所需的调蓄容积,然后乘以整个汇水面积,得出调蓄池的容积,计算公式为:

$$i = u/5 + 20/(1+m) \quad (2)$$

式中: u 为溢流容纳水体的承载能力; m 为截流倍数。 u 和 m 的取值需结合实际情况和参考类似案例经验。

(3)规范推荐计算方法

《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB 51174—2017)提出利用调蓄量参数并考虑一定安全容积来计算调蓄容积,见式(3)^[4]。

$$V = 10DF\Psi\beta \quad (3)$$

式中: V 为调蓄池有效容积, m^3 ; D 为调蓄量, mm ; F 为汇水面积, hm^2 ; Ψ 为径流系数; β 为安全系数($1.1 \sim 1.5$)。

这种计算方法简单实用,广泛应用于实际工程中。但是该方法的缺陷在于调蓄量参数的取值。调蓄量参数的取值存在很大的主观性,往往依赖于经验。

2.3 放空方式

在调蓄池的运行过程中,放空是关系到调蓄池恢复调蓄功能的重要环节。放空方式的选择和放空

时间的确定不仅受初雨量的影响,还受下游管网输水能力和末端处理设施的接纳能力的影响。调蓄池可以采用重力自排放空、水泵强排放空或者两者相结合的方式。不同放空方式的计算如下。

重力自排放空的调蓄池,出口流量计算公式:

$$Q_1 = C_d A \sqrt{2g(\Delta H)} \quad (4)$$

式中: Q_1 为调蓄池出口流量, m^3/s ; C_d 为出口管道流量系数,取 0.62 ; A 为调蓄池出口截面积, m^2 ; g 为重力加速度, m^2/s ; ΔH 为调蓄池上下游的水力高差, m 。

放空时间计算公式:

$$t_0 = \frac{1}{2600} \int_{h_2}^{h_1} \frac{A_i}{C_d A \sqrt{2gh}} dh \quad (5)$$

式中: t_0 为放空时间, h ; h_1 为放空前调蓄池水深, m ; h_2 为放空后调蓄池水深, m ; A_i 为 t 时刻调蓄池表面积, m^2 ; h 为调蓄池水深, m 。

水泵强排放空的调蓄池,放空时间计算公式:

$$t_0 = \frac{V}{2600 Q' \eta} \quad (6)$$

式中: Q' 为下游排水管渠或设施的受纳能力, m^3/s ; η 为排放效率,一般取 $0.3 \sim 0.9$ 。

3 工程案例

本文将结合天山污水处理厂初雨调蓄池的实际工程案例,对分流制系统下初雨调蓄池的设计思路和设计方法进行详细地阐述,旨在为后续初雨调蓄池的新建设计提供技术参考。

3.1 总体设计

该新建初雨调蓄池服务于虹延、花园广场、北新泾南和北虹南四个分流制排水系统,总服务面积为 $4.49 km^2$ 。四个分流制排水系统现状暴雨重现期 $P=1 a$,具体参数见表 2。初雨截流方式采用系统末端和泵站前截流。截流的初雨经截流管网输送至新建初雨调蓄池,直至末端污水处理厂。建成后,四个分流制排水系统的初雨得到妥善处理,同时其防汛能力实现 $5 a$ 一遇的设计标准。图 2 为分流制排水系统初雨调蓄截流流程图。

表 2 四个排水系统的现状情况

排水系统	排水体制	服务面积/ km^2	重现期 P
虹延	分流制	0.42	1 a
花园广场		0.48	
北新泾南		1.32	
北虹南		2.27	
合计		4.49	

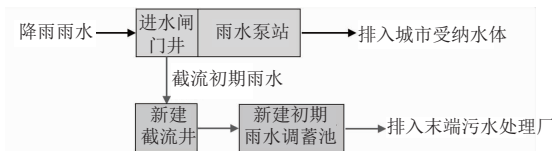


图2 分流制排水系统初雨调蓄截流流程图

根据项目特点和规划需求,为节约地上土地利用、充分发挥地下空间优势,新建初雨调蓄池采用地下结构形式,池顶覆土厚度保证地上空间满足公园绿地的开发需求。

3.2 工艺设计

3.2.1 调蓄池有效容积计算

该新建初雨调蓄池的有效容积计算采用式(3)。相关参数确定如下:(1)根据当地相关规划及初雨污染治理要求,初雨截流标准为合流制 11 mm、分流制 5 mm,本工程项目排水系统均为分流制,故式(3)中的调蓄量 $D=5\text{ mm}$;(2)汇水面积为总服务面积,即 $F=4.49\text{ km}^2$;(3)根据四个排水系统用地性质测算出,整个服务范围内用地综合径流系数 Ψ 为 0.69;(4)安全系数 $\beta=1.5$ 。计算结果如下:

$$V = 10DF\Psi\beta = 10 \times 5 \times 4.49 \times 100 \times 0.69 \times 1.5 = 23\,235.75\text{ m}^3, \text{取调蓄池有效容积为 } 23\,000\text{ m}^3。$$

新建初雨调蓄池平面尺寸为长约 66.7 m,宽为 83.6 m,有效水深为 4.2 m。

3.2.2 放空计算

考虑到保障下游管网排水安全及调蓄池调蓄功能的正常发挥,本工程的新建初雨调蓄池采用重力自排放空和水泵强排放空相结合的模式。受下游排水管网标高的限制,重力自排放空的有效水深取为 1.33 m,相应的放空体积为 $7\,415\text{ m}^3$,放空时间为 8 h。水泵强排放空体积为 $15\,585\text{ m}^3$,设置三台潜水离心泵(两用一备),每台水泵的参数为 $Q=480\text{ m}^3/\text{h}$, $H=4.2\text{ m}$ 。经计算,水泵强排放空时间为 16 h,总放空时间为 24 h。

3.3 运行模式

初雨调蓄池的正常运行主要包括正常进水、放空、冲洗等几个阶段。这几个阶段依次循环进行,实现初雨调蓄池调蓄功能的高效发挥,见图 3。

正常进水阶段:当泵站雨量计检测到降雨时,立即通过控制系统开启安装在泵站末端的新建截流井内的闸门,初雨通过截流管道进入到初雨调蓄池内。初雨先充满初雨调蓄池内的冲洗水储水区域,再溢流进入到池主体空间,直至达到池内正常设计水位。当池内水位达到正常设计水位时,4个排水系统的初

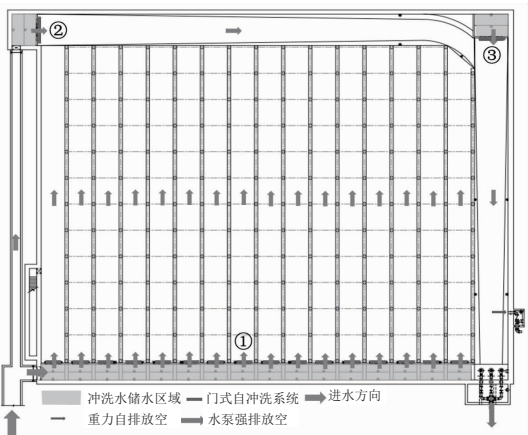


图3 初雨调蓄截流运行模式示意图

雨截流量也相应达到 5 mm,通过反馈系统关闭截流井内的闸门,停止雨水进入初雨调蓄池。

放空阶段:降雨结束后,初雨调蓄池进入放空阶段。放空前,管理中心应先确认好末端污水处理厂对初雨的接纳能力。得到确认后,先开启初雨调蓄池放空井内的电动闸门,进行重力自排放空,待水位降到一定,关闭闸阀,启动放空泵,进行水泵强排放空,直至初雨调蓄池整体排空,历时 24 h。放空后,初雨调蓄池内仍保留一定的冲洗水出水量。

冲洗阶段:放空后,初雨调蓄池进行分段冲洗阶段。首先依次开启①处 16 套门式自冲洗设备,对 16 条廊道底部的沉积物进行冲洗;冲洗水进入②处的收集廊道,再开启②处的门式自冲洗设备,对收集廊道进行冲洗;冲洗水进入到③处的收集廊道,然后开启③处的门式自冲洗设备,对收集廊道进行冲洗;最终冲洗水由放空泵进行强排放空,。

4 结 语

作为面源污染的主要来源,初雨的治理越来越得到广泛关注。初雨调蓄池的设置通过调蓄和沉淀作用可实现初雨污染的有效控制。但是,初雨调蓄池的设计缺乏统一的理论和规范支撑,大多基于以往工程案例经验。为了更好地发挥初雨调蓄池的功能,需根据当地降雨特点、城市卫生条件,合理确定调蓄容积,优化设计池型,实现更大的工程价值和经济效益。

参考文献:

- [1] 程江,吕永鹏,黄小芳,等.上海中心城区合流制排水系统调蓄池环境效应研究[J].环境科学,2009(30):2234-2240.
- [2] 王佼.控制面源污染的分流制雨水调蓄池优化研究[D].太原:太原理工大学,2015.
- [3] 刘阳.初雨调蓄池调蓄能力研究[D].重庆:重庆大学,2014.
- [4] 陈贻海.老城区排水系统溢流调蓄池容积计算方法[J].城市道桥与防洪,2021(3):100-106.