

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.09.046

初期雨水调蓄池进水方式比较及设计案例

叶宁

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市200092]

摘要:为进一步应对初期雨水引发的地面水体面源污染问题,必须采用科学的措施对初期雨水加以控制。采用雨水泵站、初期雨水调蓄池相结合的建设方式,可有效降低初期雨水污染的影响,提升水环境的质量。目前调蓄池进水一般采用重力进水的形式,根据调研结果,采用重力进水的调蓄池存在土建造价费用高、进水时高差较大导致池体压力较大、臭味较易溢出等问题。采用重力与泵提升协同进水的形式可显著节省投资,并不降低原泵站防汛能力。按10 000 m³规模测算,调蓄池重力与泵提升协同进水相较全重力进水可节省建设投资工程费用约2 500万元。同时为落实“双碳战略”,在调蓄池顶部设置光伏发电系统,作为放空泵和照明等的供电来源,从而达到节约能耗、降低运行成本的目的,经济效益良好。

关键词:初期雨水;调蓄池;进水方式;设计案例

中图分类号:TU992.1

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)09-0193-05

0 引言

近些年来,国内多地频发极端降雨天气,对于人员安全以及农业发展等产生了严重不利的影响,特别是径流污染等问题的发生直接影响到了城市企业的生产和居民的生活,并成为一个普遍关注的环境问题^[1]。径流污染的形成与城市化进程加速密切相关,致使初期雨水中存在较多的污染物,进一步加剧了污染。在一些研究中指出,初期雨水是受纳水体面源污染的主要来源,对于水体水质会产生显著的影响^[2]。研究发现,影响主要与存在于初期径流雨水内的残留污染物有关,如果此类物质排入到河道中,必然会导致较大程度的污染问题,影响到水中生物的生存,继而引发恶性循环。综合考虑到上述问题,有必要针对初期雨水进行深入研究,结合存在的问题制定针对性的防范策略,最大限度降低初期雨水对于周边环境的不利影响。

在一些管网系统建设过程中采用了增大截留倍数的方式,由此将初期雨水量进行截留。但是受到瞬时流量大等因素的影响,此类措施并不能保证达到较好的效果^[3]。

一些国家针对上述问题进行了大量的研究,提出了不同类型的解决对策,并且在实际应用中取得了一定的效果,其中一种常用的技术是建设初期雨

水调蓄池,可用于对初期雨水污染进行控制,减少污染,该技术也成为控制城市内涝和径流污染最常用的工程措施之一。初期雨水调蓄池的建设具有重要的作用,能够有效减少进入到地块周边城市河道的初期雨水,降低对周边水环境的负面影响,有助于改善水质,并为城市居民提供优质的水环境。

很多城市已经开始建设初期雨水调蓄池,上海作为国内最早建设初雨调蓄池的城市之一,也在谋划新一轮的初雨调蓄池建设。为贯彻上海和区域新一轮城市总规(2035版规划)对城镇雨水排水的要求,全面落实《上海市水污染防治行动计划实施方案》、《上海市城镇雨水排水规划(2020—2035年)》、《上海市污水处理系统及污泥处理处置规划(2017—2035)》和市局相关文件(水务局533号文等)等相关工作要求,提升上海的排水安全和水环境质量,目前各区均在加快深化完善区级雨水排水规划编制,落实全市雨水规划指标,明确初雨调蓄设施建设要求和计划安排。十四五期间全市规划建设的初雨调蓄池均需开工,同时其中的30%需建设完成并运行。这对初期雨水调蓄池的设计和施工提出了更高的要求。

1 初期雨水调蓄池简介

雨水调蓄池按照主要功能不同可以分为控制城镇雨水径流和溢流污染的调蓄池、内涝防治和应急削峰调蓄池、雨水管渠提标调蓄池以及雨水综合利用调蓄池。初期雨水调蓄池是以控制雨水径流和溢流污染为主要功能的一种构筑物,能够储存在降雨初期形成

收稿日期:2022-11-05

作者简介:叶宁(1989—),男,硕士,工程师,从事市政排水设计工作。

的污染物浓度比较高的地表径流,是缓解受纳水体面源污染的有效措施。

根据《城镇径流污染控制调蓄池技术规程》(CECS416:2015),城镇径流污染主要包括两种形式,一是通过降雨和地表径流冲刷,将城镇大气和地表中的污染物带入受纳水体;二是在合流制排水系统中,超过截流倍数的雨污水溢流进入受纳水体,使受纳水体遭受污染。初期雨水调蓄池能够较好地解决上述两种情况造成的径流和溢流污染。

一些发达国家很早开始对城市径流污染问题进行了研究,从20世纪70年代开始,美、日等国逐步采用了初期雨水调蓄池,以应对频发的径流污染问题。国内在此领域研究晚一些,在理论研究以及技术应用等方面相对于上述国家均存在一定的差距。随着国内径流污染等问题的出现,一些城市纷纷采用了建立初期雨水调蓄池的应对方式,并取得了积极的作用,代表性的城市包括上海、深圳等。

在20世纪末期,为了解决在旱季污水排入苏州河的问题,上海提出一系列针对合流制排水系统的污染控制管理措施和工程措施。在苏州河二期治理过程中,上海分别建立了江苏路、梦清园、昌平、成都路和芙蓉江调蓄池,服务面积为306 hm²,总体积达到7.26万 m³。其中,成都路雨水调蓄池容积为7 400 m³;梦清园调蓄池总容积30 000 m³,有效调节容积为25 000 m³。昌平调蓄池有效容积为15 000 m³,调蓄时间为1 h,能够容纳服务片区内6 mm的雨量。这些措施的实施产生了积极的影响,显著降低了苏州河的污染负荷,降幅基本达到了50%^[4]。作为国内第一个投入工作的雨水调蓄池,苏州河成都路雨水调蓄池已经在运行过程中发挥了重要的作用,同样为国内其他地区治理此类问题提供了典范。后续包括上海市桃浦污水处理厂等也改为调蓄池,对于初期雨水污染控制产生了显著的效果^[5]。

在初期雨水调蓄池规划设计过程中需要综合考虑多方面的因素,通常情况下需要结合排水系统的雨水泵站进行布置,一般可以与其进行分开建设或者是合建,前者指的是独立对泵房和调蓄池进行设置,基坑开挖的深度相对较小;后者一般用于用地受限的情况,指的是在泵房下部位位置叠放调蓄池的设计方式,在叠放之后增大了基坑开挖深度,提高了工作量,同时也增大了施工的成本。所以在选择布置方式时必须综合考虑多方面的因素,包括工期、工程难度以及成本等,在此基础上选择最优的方案,科

学设置调蓄设施,由此满足可靠性、实用性以及经济性的要求。一般是根据先浅层后深层、先地上后地下的原则,按照需求有序建设初期雨水调蓄设施。

初期雨水调蓄池的出水,一般是在雨停之后12~24 h内,由下游污水管道输送至末端污水处理厂处理达标后排入受纳水体。

2 初期雨水调蓄池进水方式比较

2.1 初期雨水调蓄池进水方式分类

调蓄池进水可采用重力进水、水泵进水或两者相结合的形式。

(1)重力进水

初期雨水通过重力自流进入调蓄池,该进水方式保障性较高,可避免因水泵等设备故障导致的无法进水问题,但要注意调蓄池最高设计水位应低于泵站的设计最低水位。

(2)水泵进水

初期雨水通过水泵提升进入调蓄池,一般是在调蓄池埋深受限、无法满足重力进水的要求或者用地较为宽裕需要节省建设投资时采用。该形式有两种类型,一种是用雨水泵房的放江泵提升,另一种是新建独立泵房提升。雨水泵房的放江泵一般流量较大、扬程较低,与调蓄池所需的水泵流量和扬程不一致,且运行时模式切换较为复杂,一般推荐采用新建独立泵房提升的方式。

(3)重力与水泵进水相结合

该方式将上述两种方式结合起来,在降雨初期水位较低调蓄池内水位还未达到泵站的设计最低水位时通过重力进水,当水位继续上升后通过闸门切换启动水泵采用水泵提升进水。该模式可取得上述两种进水方式的平衡,既节约了重力进水部分的运行费用,又降低了调蓄池的整体埋深节省了工程费用。

2.2 重力进水与水泵提升进水的比较

当前在调蓄池运行中广泛采用了重力进水方式,具备了较高的可靠性与稳定性,可显著降低初期雨水面源污染。在此模式下为了减小占地面积,在一定计算容积条件下调蓄池一般较深,土建造价费用高,经济性不佳,尤其是围护形式从灌注桩升级到地连墙之后造价增幅比较明显。目前上海的调蓄池基本都采用重力进水的方式,由于调蓄池的深度较高,压力大而容易对设备运行产生不利的影响,引发一定的隐患;防汛过程中必须考虑到进水水位的影响,如果其超过防汛水位,则防汛将受到负面影响^[6]。

在无法达到重力进水要求的情况下,选择水泵提升进水方式是比较合适的,进水时间一般为 0.5 ~ 1.0 h,但调蓄池进水泵不应影响防汛泵站本身的防汛配泵和电气配置能力。该方式会增加水泵等设备投资和部分泵房空间的土建投资,运行费用也会增加,但因调蓄池埋深可降低 3 ~ 5 m,土建费用节省较多,尤其是围护可从地连墙形式可改为灌注桩形式后,节省投资的优势更为明显。调蓄池深度降低后,可降低施工难度,也可以应对不良地质条件。调蓄池的进水方式对于调蓄池雨量调控、截留效果以及操作安全都有较大影响。重力流进水难以保证良好的水位控制效果;而选择水泵进水方式有助于解决上述问题。

因此在选择进水方式时应该充分考虑到多方面的因素,包括调蓄池位置等^[7],其中在池体位置较高、较低的两种情况下,应该分别选择水泵进水、重力进水方式。另外,还应该考虑到进水水位,如果其相对于防汛水位更高,则应该选择水泵进水方式。

除了上述因素之外,在设计过程中还必须考虑到暴雨等极端天气导致的安全问题,需要尽可能减少长距离输水的情况。

3 重力与泵提升协同进水设计案例

3.1 概况

本调蓄池规模取 10 700 m³,位于现状雨水泵站西侧,目前是荒地。平面布置见图 1。本工程在现状雨水泵站西侧有较大范围的空地,如能将调蓄池尽量做浅,并通过水泵提升进水以利用浅层空间,可将结构围护形式限制在用不到地连墙的程度,以节约工程投资。调蓄池主体工程为地下式,除臭设备设置于地下夹层内,通风设备设置于地上暖通机房内。

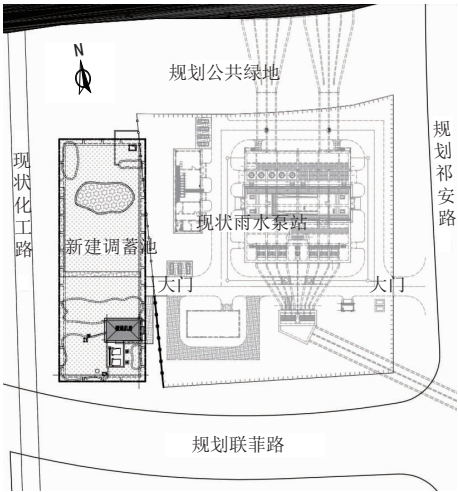


图 1 工程选址位置及平面布置图

调蓄池在原泵站用地基础上新增西侧用地约 2 052 m³。规划用地性质为防护绿地,调蓄池室外设计地坪标高 4.80 m(吴淞高程)。

调蓄池地上部分暖通机房、格栅除臭罩与检修孔及检修平台、通风井合计面积约 130 m³。其中,暖通机房为上部建筑,建筑面积 68.94 m³。格栅除臭罩与检修孔及检修平台等合计约 50 m²,通风井 8m³。

除臭设备置于地下夹层中。

除建筑物、检修平台及检修孔外,用地范围内包括调蓄池顶部均设绿化。绿化尽量体现海绵城市的建设理念,拟采用植草沟、下凹式绿地、屋面雨水断接等海绵城市措施。

3.2 调蓄池进水方式比选

本工程调蓄池位于地下,根据设计水位及市政管网标高情况,设计进水可采用重力进水和水泵提升协同进水(地下浅池)与重力进水(地下深池)二种方式,放空方式可采用水泵强排放空。

对上述二种方式进行比选,结果见表 1。

表 1 调蓄池进水方式比选

比较内容	重力进水和水泵提升协同进水 (地下浅池)	重力进水 (地下深池)
泵房埋深	12.1 m	16.8 m
进水难度	适中	自流容易
运行难度	较易	最易
维护形式	灌注桩加三轴搅拌桩	地连墙
设备投资	适中	低
土建投资	较少	较大
节能情况	部分二次提升,能耗适中	较节能
日常维护	运行较复杂	运行简单
运营成本	适中	较低
安全性	适中	高
地上建筑	70 m ²	30 m ²
检修平台	55 m ²	20 m ²
工程投资	10 377.74 万元	13 108.46 万元
总投资	12 378.49 万元	16 509.23 万元

方案一重力进水和水泵提升协同进水(地下浅池):方案整体平衡性最佳,运行相对安全,投资相对节省,地面建筑物少;

方案二重力进水(地下深池):进水模式较为简单,运行简易安全,地面建筑少,但埋深较大投资较高,影响到了经济效益;

综合考虑投资、运行安全性和难易程度,如采用方案二重力进水(地下深池)投资增加较大,推荐选用方案一重力进水和水泵提升协同进水(地下浅池)

方案,水泵强排放空的模式。

3.3 调蓄池主要构筑物设计

(1)进水管

为满足调蓄池进水需求,同时保证调蓄池有效进水,调蓄池进水管为 $\phi 2\ 700$ 钢混凝土管55 m,自现状泵站进水井接入调蓄池进水格栅间。进水管采用开槽施工,埋深约9.6 m。主要设计参数如下:

设计流量: $7.20\text{ m}^3/\text{s}$ (4台雨水泵流量)。

管径: $\phi 2\ 700\text{ mm}$ 。

流速: 1.26 m/s 。

中心标高: -2.95 m 。

管材:钢混凝土管。

(2)进水闸门

进水闸门采用液控不锈钢闸门,规格为 $\phi 2\ 700$,闸门启闭速度 0.5 m/min 。闸门的泄漏量不大于 $1.0\text{ L}/(\text{min}\cdot\text{m})$ (密封长度)。

(3)格栅间

调蓄池进水前需经过格栅除污机进行预处理,格栅渠道宽 $2\ 000\text{ mm}$,栅条间隙 20 mm ,共2台。

(4)新建调蓄池进水泵房

泵房剖面见图2。

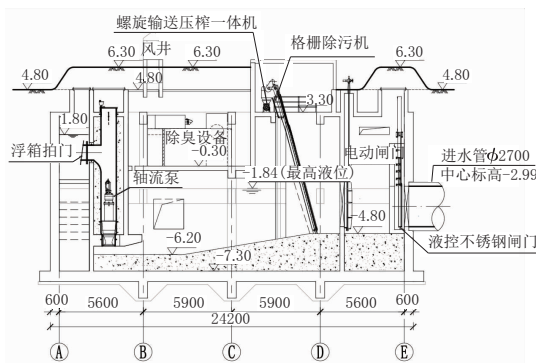


图2 进水泵房剖面设计图(单位:mm)

设置4台轴流泵,流量满足0.5 h内装满调蓄池有效容积的要求,不设置备用,考虑20%的安全系数,单台流量 $1.8\text{ m}^3/\text{s}$,扬程5.8 m,电机功率200 kW。轴流泵的主要设计参数如下:

水泵台数:4台。

水泵流量: $1.8\text{ m}^3/\text{s}$ 。

水泵扬程:5.8 m。

开泵水位: $-4.5\text{ m}/-4.0\text{ m}/-3.5\text{ m}/-3.0\text{ m}$ (开泵台数:1/2/3/4)。

停泵水位: $0.3\text{ m}/0.8\text{ m}/1.3\text{ m}/1.8\text{ m}$ (停泵台数:1/2/3/4)。

(5)调蓄池

调蓄池采用地下式,内净尺寸约为 $72\text{ m}\times 23\text{ m}$,

内设4舱,单舱净宽5.3 m。设置4套门式水力冲洗系统。调蓄池设计有效水深为8.4 m。设计最高水位取1.80 m。调蓄池顶部部分为绿化。

调蓄池平面见图3。

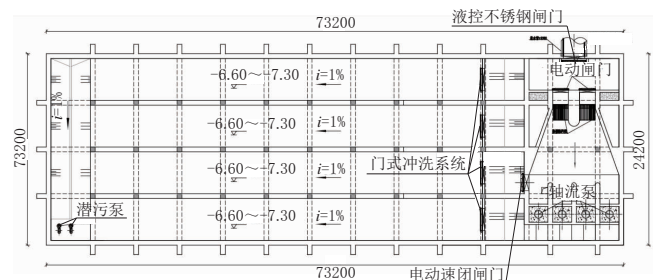


图3 调蓄池平面设计图(单位:mm)

(6)新建调蓄池放空泵房

调蓄池设计放空时间为24 h,通过水泵放空,放空泵集水池内共布置2台潜污泵,1用1备,外部条件允许时可2用12 h内放空,单泵流量 $450\text{ m}^3/\text{h}$,扬程12.7 m,电机功率22 kW。

水泵台数:2台(1用1备)。

水泵流量: $450\text{ m}^3/\text{h}$ 。

水泵扬程:9.1 m。

开泵水位:1.8 m(调蓄池水位)。

停泵水位: -8.3 m (调蓄池水位)。

(7)放空管道

调蓄池放空管道管径DN400,长度约20 m,接入化工路西侧绿化带内新敷设的 $\phi 600$ 污水管道。调蓄池放空管道主要设计参数如下:

放空水深:9.1 m。

放空体积: $10\ 700\text{ m}^3$ 。

放空管直径:DN400一根。

管材:钢管。

放空流量: $0.125\text{ m}^3/\text{s}$ 。

放空管运行时间:24 h。

(8)配套建筑

暖通机房 68.94 m^3 ,位于调蓄池顶东南角;除臭设备设于地下夹层顶部设排放口,格栅除臭罩、检修平台包括吊装孔等面积总计约 50 m^2 ,通风井 8 m^3 ;配电间并入现状南大北泵站变配电间合并设置。

3.4 调蓄池双碳战略应用

为实现“碳达峰,碳中和”目标,可充分结合雨水调蓄设施的场地空间布局,设置分布式光伏发电系统与储能消纳一体化应用装置,在充分发挥雨水调蓄设施功能的基础之上,提高可再生能源用装置,在充分发挥雨水调蓄设施功能的基础之上,提高可再

生能源的渗透比例与消纳能力,实现雨水调蓄设施的绿色低碳运行。

针对本调蓄池的应用场景及运行工况,本工程设置一套光储直柔一体化智能系统,该系统集成市电、光伏、储能、能量转换装置、直流配电、柔性控制器于一体,通过 750 V 直流母线为调蓄池放空泵以及直流负荷供电,同时根据天气情况及系统调度指令对调蓄池不同运行工况下的能量消耗进行调节控制,优先高效利用光伏可再生能源,实现系统性的节能降碳,可进一步减少污染,降低成本,改善综合效益。

3.5 调蓄池运行调度^[8,9]

(1)晴天模式:不使用调蓄池,将进水闸门关闭。

(2)进水模式:雨天时开启调蓄池进水闸门,先是重力进水,待调蓄池水位分别升高至 -4.50 m、-4.00 m、-3.50 m、-3.00 m 后,依次启动 4 台调蓄池雨水泵进水。

(3)满水模式:当调蓄池内液位分别到达 0.30 m、0.80 m、1.30 m、1.80 m 时,依次关停调蓄池雨水泵,当水位到达 1.80 m 时,关闭调蓄池进水闸门,雨水进入雨水泵房排放河道。

(4)调蓄池排空模式:在液位为 1.80 m 的情况下执行对应的控制操作,使得进水闸门、放空泵分别处于关闭、开启状态,将调蓄池调蓄的初期雨水用泵放空至化工路新敷设的 DN600 污水管中。当液位达到 -8.30 m 时,调蓄池排空结束,关停放空泵。

(5)冲洗模式:调蓄池放空后,关闭进水闸门,开启门式自冲洗设施,对调蓄池进行冲洗。

(6)存水放空模式:开启放空泵,对冲洗水进行

放空。

4 结 论

(1)为控制区域性面源污染,在雨水排水系统末端建设初雨调蓄池是十分必要的;

(2)为贯彻落实“双碳战略”,可在调蓄池顶部设置光伏发电系统,实现节能降碳;

(3)调蓄池进水可采用重力进水、水泵进水或两者相结合的形式,从经济效益的角度建议采用重力与泵提升协同进水的方式。

参考文献:

- [1] WILKINSON M E, QUINN P F, BARBER N J, et al. A framework for managing runoff and pollution in the rural landscape using a Catchment Systems Engineering approach[J]. The Science of the total environment, 2014(468/469):1245-1254.
- [2] QIN H P, HE K M, FU G. Modeling middle and final flush effects of urban runoff pollution in an urbanizing catchment [J]. Journal of Hydrology, 2016, 534:638-647.
- [3] 金敦.城市排水系统中初期雨水调蓄池的设计探讨[J].城市道桥与防洪, 2013(7):130-132.
- [4] 刘阳.初期雨水调蓄池调蓄能力研究[D].重庆:重庆大学, 2014.
- [5] 黄鸣, 陈华, 程江, 等.上海市成都路雨水调蓄池的设计和运行效能分析[J].中国给水排水, 2008(18):33-36.
- [6] 刘洪波, 高赛赛, 朱梦玲, 等.初期雨水调蓄池的运行问题及解决方案[J].中国给水排水, 2014, 30(17):3.
- [7] 俞士静, 彭弘, 羊寿生.浅谈粉碎型格栅在排水泵站中的应用[J].给水排水杂志, 2007, 33(1):85-88.
- [8] 刘洪波, 潘定, 高赛赛, 等.典型初期雨水调蓄池的运行控制模式[J].净水技术, 2015, 34(5):96-99.
- [9] 陶贤成.雨水调蓄池设计的关键问题探讨[J].净水技术, 2019, 38(5):41-44.

(上接第 192 页)

[5] 曹业始, Abegglen Christian, 刘智晓, 等.改造当前国内污水管网需要综合考虑的四个因素[J].给水排水, 2021, 57(8):125-137.

[6] 莫群青.受限空间内排水泵站与调蓄池合建的布置及配泵优化设计

[J].给水排水, 2021, 57(9):32-36.

[7] 沈云.排水管道非开挖修复技术的造价分析[J].城市道桥与防洪, 2020(1):221-223.