

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.08.013

初小雨调蓄池的设计优化和梯级利用

何磊

(上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 随着治水进程的推进以及《深圳市水务发展“十四五”规划》的实施,对污染雨水控制体系提出了新要求,初小雨调蓄池在该体系发挥了重要作用。新陂头河干流调蓄池是光明区“源头收集、过程调蓄、末端处理”初期雨水污染控制路线的重要组成部分,以该调蓄池为例,对初小雨调蓄池的进水控制、内部分格、智慧运维和就地处理等方面提出优化思路 and 对策。同时,结合未来水务发展和雨洪管理需求,提出调蓄池梯级利用方案,可为类似工程提供指导和借鉴。

关键词: 初小雨调蓄池; 设计优化; 梯级利用; 径流污染

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)08-0077-06

Design Optimization and Cascade Utilization for Initial Light Rainwater Storage Tank

HE Lei

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: With the advancement of water management initiatives and the implementation of Shenzhen's "14th Five-Year" Plan for Water Development, new requirements have emerged for the urban stormwater pollution control system. The initial light rainwater storage tank serves as an important component for this system. The trunk stream storage tank of Xinpitou River plays a crucial role in the initial rainwater management route of Guangming District, which follows the approach of "source collection, process storage, and end treatment". Using this facility as a case study, this paper proposed optimization strategies and countermeasures for initial light rainwater storage tanks focusing on influent regulation, internal division, intelligent operation and maintenance, and on-site treatment. Furthermore, a cascade utilization scheme for storage tanks to serve as a guideline and reference for similar projects was proposed in conjunction with future requirements for water development and stormwater management.

Key words: initial light rainwater storage tank; design optimization; cascade utilization; runoff pollution

“十三五”期间,深圳市全力以赴打赢水污染防治攻坚战,在全国率先实现全市域消除黑臭水体,水环境实现历史性、根本性、整体性好转,成为全国黑臭水体治理示范城市。《深圳市水务发展“十四五”规划》(以下简称《规划》)明确提出:构建高效完善的污水收集处理系统;结合城市更新与道路建设,推动城市雨水管网提标,完善分流制雨水管渠

系统;逐步建立源头、过程与末端相结合的污染雨水控制体系,启动污染雨水快速处理设施试点建设。

深圳市光明区率先谋划布局,在2019年全面消黑工程中坚持“分散调蓄、三水(污水、雨水、初期污染雨水)分离”的治水理念和“源头收集、过程调蓄、末端处理”的初期雨水污染控制路线,已构建了较

为完善的初小雨分散调蓄系统,对消黑目标的实现发挥了重要作用。以光明区初小雨系统中的新陂头河干流调蓄池为例,通过对进水控制、内部分格、智慧运维和就地处理等方面提出优化方案以及梯级利用的方法,以期类似工程提供借鉴。

1 光明区初期污染雨水系统

初小雨是指强度和总量小于一定范围的降雨,初小雨截流标准基于降雨强度通过控制入河污染物的统计研究来确定。光明区按照流域总体规划要求,拟定茅洲河支流水系截流标准为 7 mm/1.5 h;光明区已建成初小雨截流管道约 163.5 km,共 10 座调蓄池(总设计规模 $51.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,已建成规模 $49.7 \times 10^4 \text{ m}^3$)。研究表明,分散式调蓄池较集中式调蓄池的污染控制效果更好^[1]。在“源头分散、截流调蓄”的治水思路指导下,依据干支流的树状逻辑结构和流域地形情况,光明区初小雨系统初步划分为 9 个初小雨子系统(楼村湿地公园调蓄池承担上下村调蓄池范围内楼村水支流的初小雨),每个子系统末端对应设置 1 座调蓄池。光明区初小雨系统布局见图 1,其中污水处理站为临时污水处理设施。

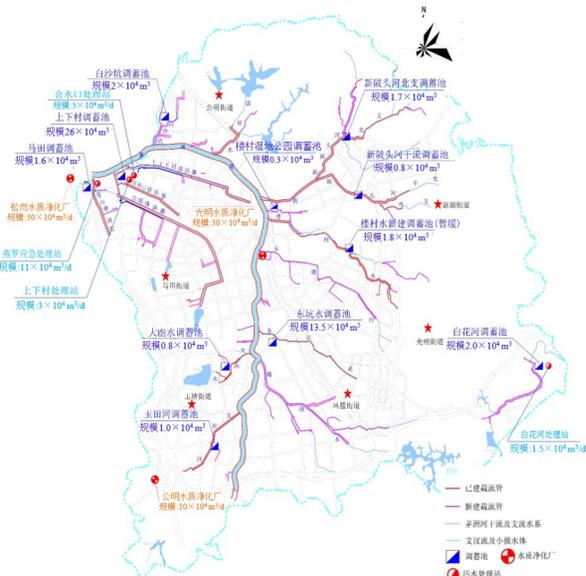


图 1 光明区初小雨系统布局
Fig.1 Layout of initial light rainwater system in Guangming District

2 新陂头河干流调蓄池

新陂头河干流调蓄池位于新陂头南湿地公园北侧(见图 2),西临公常路,东靠广深港铁路,调蓄规模 $0.8 \times 10^4 \text{ m}^3$,占地面积 1 940 m^2 ,服务范围为新陂头河干流中上游流域,总服务面积约 148.6 hm^2 ,

是光明区分散式初小雨调蓄系统不可或缺的组成部分。



图 2 新陂头河干流调蓄池区位
Fig.2 Location of the trunk stream storage tank of Xinpitou River

新陂头河属于茅洲河的一级支流,调蓄池工艺流程为:进水→粗格栅→沉砂池→调蓄池→提升泵房→出水(见图 3)。调蓄池内污染雨水错峰提升就近排入新陂头河干流南岸 DN800 初雨截流管,经茅洲河初雨截流箱涵,最终进入松岗水质净化厂,减少入河污染物总量。调蓄池采用地下式,主体调蓄部分位于地下,格栅间、沉砂池等位于半地下层,配电间、操作间等布置于地上。

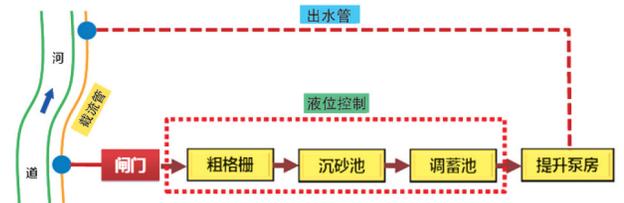


图 3 新陂头河干流调蓄池工艺流程
Fig.3 Process flow of the trunk stream storage tank of Xinpitou River

3 设计要点

3.1 进水控制系统

调蓄池进水方式包括重力自流进水和压力提升进水,新陂头河干流调蓄池的进水来自新陂头河两侧上游 DN800 初小雨截流管,通过截流井的调度控制实现重力自流进水。

调蓄池运行初期,主要通过截流井内液位来控制调蓄池进水。当区域降雨形成地面径流,初期污染雨水进入初小雨截流管,截流井内液位计出现反馈,随即控制系统打开调蓄池进水闸门 A,关闭截流井下游通道闸门 B[见图 4(a)],截流雨水进入调蓄

池。调蓄池运行过程中,应及时对截流初小雨进行水质检测,以便于后期运行优化评估。研究表明,采用时间、径流污染物浓度两种调蓄进水调度规则均优于传统遇雨则开的方式^[2]。本着最大限度削减入河污染物的初衷,按照“收浓弃淡”的思路优化调蓄池的调度运行。结合调蓄池大量运行数据,进行“液位+水质”双重要求控制调蓄池进水,当截流井内液位上升且在线监测水质指标(氨氮或总磷)达到设定浓度时,下游通道闸门B关闭,调蓄池进水闸门A打开,调蓄池开始进水[见图4(b)]。调蓄池内水位不断升高,当液位达到设计值时,进水闸门A关闭,下游通道闸门B打开,超过调蓄容量、后期污染较轻的雨水直接入河。

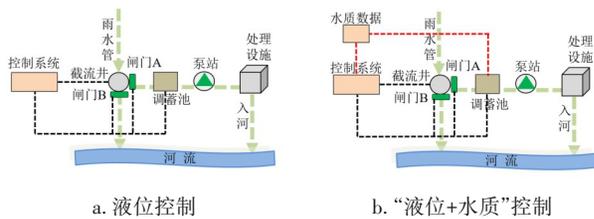


图4 进水控制模式示意

Fig.4 Schematic diagram of influent regulation mode

该工程调蓄池共汇集2处初雨径流来水(见图5),分别为新陂头河干流北岸DN800初雨管及南岸DN800初雨管。南、北两侧初雨管分别设置1座2 600 mm×2 600 mm的截流井,汇入新建交汇井(4 000 mm×2 600 mm)后通过闸门截流进入调蓄池。调蓄池进水采用2 000 mm×1 000 mm方涵。



图5 调蓄池进水系统设计

Fig.5 Design of influent system for the storage tank

3.2 预处理(格栅+沉砂)

考虑到新陂头河上游存在一定程度的雨污合流区域,新陂头河干流调蓄池近期需应对旱季污水的跑冒滴漏,因此前端有必要设置格栅,拦截进水

中直径>20 mm的垃圾,以保护后续水泵和冲洗门的正常运行。调蓄池进水前端配置2套格栅,渠道宽1.4 m,栅条间隙20 mm,采用75°回转式格栅除污机,格栅机顶部配套螺旋压榨机输送栅渣,格栅外全部加罩,避免臭气外逸。

雨水在冲刷地面过程中会携带一定量泥砂,前端预处理需设置沉砂池,去除污水中粒径>0.2 mm、密度>2.65 t/m³的砂粒,以减少后续设备和管道的磨损以及调蓄池底部的沉积。由于曝气沉砂池附属设施较多、运行维护复杂,而旋流沉砂池在水量波动情况下效果不稳定,同时考虑到截流初小雨流量的不均匀性,该工程采用传统的平流式沉砂池,从而更好地适应各种工况。格栅后设置1格7 000 mm×5 300 mm沉砂池,平均停留时间55 s,过流速度0.26 m/s,顶部设置抓砂斗,砂粒落在不锈钢小车上后由电动葫芦吊至地面层运走。

3.3 调蓄池及冲洗设备(自动+人工)

新陂头河干流调蓄池设计为全地下式矩形调蓄池,平面净尺寸78.0 m×23.0 m,有效水深4.9 m,池底坡度*i*=1%,其平面布置见图6。调蓄池内部设置自动冲洗装置,调蓄池放空后,自动冲洗装置启动,对池底进行冲洗。调蓄池共设4条冲洗廊道,分别配置1套门式水力冲洗系统,单套尺寸2 800 mm×400 mm,单格冲洗廊道宽度5.3 m,冲洗长度67.75 m,冲洗水量约31.5 m³,冲洗廊道之间由1.3~1.7 m高矮墙分隔开。

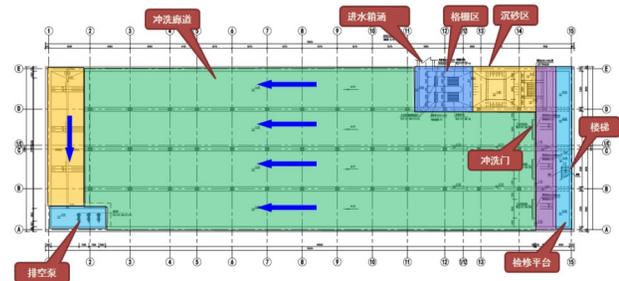


图6 调蓄池下部平面布置

Fig.6 Layout plan of lower part of the storage tank

按照预定程序,依次启动门式冲洗装置,开始冲洗5 min(时间可调),然后启动1台排空泵,将积水排出。当调蓄池内液位降低到设定保护液位时,排空泵停止工作。考虑到调蓄池底部沉积物冲洗不彻底会导致淤泥板结、散发臭气等严重不良后果,冲洗门的冲洗水优先采用调蓄池进水,其次设

计自来水/中水作为补水水源,必要时为冲洗门存水室补水,多次冲洗,确保冲洗效果。由于水力冲洗门为调蓄池系统的重要核心设备,该工程设置从地面下行至门式冲洗系统的人工巡检通道。

3.4 除臭及通风系统

由于初期雨水水质较差,且近期初雨管存在少量污水混入的情况,在调蓄池内容易造成臭气积聚,对运行人员的生命安全造成危险。同时在吊装孔、风井处的臭气也容易逸散,污染周边大气环境。

参照《城镇污水处理厂臭气处理技术规程》(CJJ/T 243—2016)第4.4章节选取除臭工艺。调蓄池为间歇运行,无法采用经济高效的生物除臭,且化学洗涤难以达到臭气去除效果。对比活性炭吸附、等离子体处理和植物液处理3种工艺,活性炭吸附的案例较多且效果稳定,综合比选后采用此工艺进行除臭。除臭系统收集调蓄池内部以及其附属运行操作间等产生的臭气,设计总风量24 000 m³/h,尾气排放执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)一级标准。旱季时,调蓄池处于空池状态;雨季时,初小雨进入调蓄池,池内臭气经活性炭吸附处理后排入大气。调蓄池顶部设置透气口,当调蓄池放空时,外部新鲜空气补入池内。当调蓄池进水闸门启动时,除臭风机开启,除臭风箱开始进气;当调蓄池进水闸门关闭后1.0 h(可调)时,除臭风机关闭。

通风换气:调蓄池平时自然通风,检修时采用上部自然进风、下部机械排风措施,强制机械通风换气次数按照不小于5次/h设计;格栅间设下部机械排风、上部开百叶自然进风措施,通风换气次数按照不小于12次/h设计;配电间采用机械通风措施,通风换气次数按照不小于10次/h设计。

3.5 调蓄池防洪设计

该工程调蓄池紧邻新陂头河干流,其防洪设计是重中之重。调蓄池所在处新陂头河干流50年一遇洪水位为11.96 m,调蓄池顶部建筑室内地坪标高13.80 m,可确保主要设备在50年一遇洪水时不被淹没;半地下层室内地坪标高11.50 m,室外地坪标高13.50 m。厂区道路设置微地形,局部高于现状道路标高(13.61 m)。

初雨截流管通过交汇井与调蓄池相连,该工程调蓄池进水口设计1套2 000 mm×1 000 mm速闭闸门,控制调蓄池进水,通过池内水位判断是否需要

关闭进水闸。速闭闸门同时具有断电速闭和正常调节的功能,可以有效保证调蓄池不受淹。

3.6 调蓄池放空及初级回用

调蓄池出水采用泵排放的形式,共设置3台潜污泵,2用1备,单台 $Q=270\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=72\text{ kPa}$ 、 $P=7.5\text{ kW}$ 。调蓄池放空由流域统筹调度,当下游初雨管过流能力及水质净化厂处理能力满足要求时,放空泵开启;当调蓄池水位降至保护液位时,放空泵关闭。

当调蓄池水质较好时,可以考虑将其作为绿化浇洒的备用水源,该工程绿化浇灌系统采用人工控制的方式,设置1台浇灌水泵($Q=10\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=200\text{ kPa}$ 、 $P=1.5\text{ kW}$)。由于调蓄池未设置固定消毒系统,绿化浇洒用水应请运营单位采用次氯酸钠移动消毒处理至满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2020)要求后方可使用。

3.7 海绵景观设计

调蓄池海绵设计采用“雨水花园+植草沟+透水铺装+调蓄池”等多种设施。工程实施后,调蓄池上部公园可实现年径流总量控制率92%(降雨量77.3 mm),超过年径流总量控制率76%(降雨量34.5 mm)的要求,污染物削减率为74%。调蓄池上部完成后实景见图7。调蓄池顶部除必要检修孔洞外均覆土绿化,总体营造低碳、海绵的滨水空间。



图7 调蓄池上部实景

Fig.7 Picture of upper part of the storage tank

4 优化提升及梯级利用

4.1 设计优化提升

4.1.1 进水控制优化,提质增效

在初小雨调蓄池运行初期,主要依靠液位对进水进行控制,即遇雨则开的粗放模式。随着水质数据监测和初小雨调蓄系统运行的不断优化,逐步过渡到根据“液位+水质”双重要求控制调蓄池进水,从而实现对污染物浓度较高污水的收集,一定程度上提升调蓄池的效能。研究表明,当基于液位控制时,单位池容污染负荷控制率呈先上升后下降的趋

势^[2],最优参数需结合水质监测结果进行模拟计算;当基于污染物浓度控制时,不同污染物种类和池容都会影响污染物控制效果。因此,应结合新陂头河水质考核的敏感特征污染指标(氨氮和总磷),在液位控制和水质控制的基础上进行“成本-效益”分析,寻求最优解,从而实现进水的智能调度运行。

4.1.2 调蓄池分格,提高利用效率

当降雨量较小时,降雨结束后调蓄池容积并没有 100% 得到利用,但也需进行全部廊道的冲洗。为提高调蓄空间利用效率^[3],调蓄池可以按照现状廊道位置划分为 4 个独立的调蓄空间,分别为 V1、V2、V3、V4。改变调蓄池原有 4 个廊道同时进水的方式,截流水先进入第 1 个调蓄分格 V1,待其完全充满后再进入第 2 个调蓄分格 V2,依次类推。在小雨量降雨后,可能仅有 V1 和 V2 发挥用途,仅需对这 2 个廊道进行冲洗即可,节省冲洗成本,提高调蓄空间利用效率。

4.1.3 智慧水务加持,初小雨调蓄系统高效运行

调蓄池属于密闭空间,运行期间会富集一定量的有毒有害气体,每次巡检、维护时都需进行大量通风、检测等工作,以确保进入调蓄池操作人员的安全,造成较大的人力、物力和能源消耗。基于智慧水务系统的快速发展^[4],可通过智能机器人代替巡检人员完成冲洗门、提升泵等核心设备的巡检,必要时再进行人工巡检,极大地提高了工作效率和安全性,降低了运行成本。同时,基于智能识别、物联网和 BIM+ 技术的发展,尝试进行智能环境控制(通风、照明、消防等)、故障诊断及初步处理(自我诊断及应急处理),进一步提高智慧化水平,调蓄池运维逐步迈向无人值守阶段。

4.1.4 调蓄+处理+回用的深度融合

现状调蓄池出水只能错峰通过下游初小雨截流管转输到水质净化厂进行处理,虽然调蓄池每次排出的初小雨水量($0.8 \times 10^4 \text{ m}^3$, 48 h 排空)对处理能力 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的松岗水质净化厂的影响较小(占比 1.33%),但是随着提质增效工作的开展,松岗水质净化厂也面临进厂 $\text{BOD}_5 \geq 100 \text{ mg/L}$ 的考核要求。新陂头河干流调蓄池截流水质中氨氮、总磷、化学需氧量、悬浮物的平均浓度分别为 2.67、2.24、113.06、261.5 mg/L ,初步测算其 BOD_5 仅为水质净化厂进水考核最低要求的 30%~40%。随着片区海绵城市建设和雨污分流完善,初小雨水质浓度进

一步降低,问题更加突出。

光明区楼村湿地公园工程打造“初雨处理+海绵城市+景观亮点”的多功能人工湿地,高效完成了初期污染雨水的就地收集、调蓄、处理和回用^[5],实现了水质净化和景观展示的双重目标,可以省去下游初小雨转输管网系统建设,也避免了对下游水质净化厂运行效能的不利影响。新陂头南湿地公园紧邻该调蓄池,占地面积 4.98 hm^2 ,以生态修复、湿地景观和滞洪功能为主。因此,该工程可以借鉴以上成功案例,将初小雨调蓄池和湿地公园充分融合,达到综合工程效益最大化的目标,对下游管网和水质净化厂的影响降低为零。

4.2 调蓄池梯级利用

《规划》明确提出:打造光明科学城等三大再生水利用示范区,实现再生水全面替代自来水用于市政绿化浇洒、道路冲洗和河道生态补水;加大开展雨水利用,以重点片区建设和城市更新为抓手,以市政设施建设为基础,结合海绵城市建设,推进雨水集蓄利用和下渗。

新陂头河干流调蓄池的梯级利用目标如下:①近期溢流污染控制,实现雨季合流污水截流调蓄、减少入河污染物的目标;近初期小雨截流管道通过截流井截流合流污水,直至达到调蓄池满负荷,这部分合流污水经调蓄池调蓄后错峰排至下游污水处理设施处理达标后排放。②中期面源污染控制,有效收集微污染初期雨水,高效处理后合理回用;随着合流污染问题逐步解决,中期截流系统功能调整为面源污染控制。微污染雨水通过“雨水管道-截流井-初小雨管道-调蓄池”进行调蓄,错峰进入下游微污染雨水处理设施或污水厂进行处理。③远期雨水资源利用,将调蓄池作为清洁雨水调蓄设施,实现雨洪管理和利用功能,可进一步与新陂头南湿地公园滞洪区功能衔接,提高其滞洪能力,提升片区防洪标准;随着海绵城市建设,远期面源污染问题逐步得到改善,经海绵设施净化后的清洁雨水通过“雨水系统-截流井-调蓄池”实现雨水资源的集蓄利用。

现有的雨水系统和初小雨截流系统已具备近期、中期、远期功能切换的基础条件,后期需结合设施建设情况,相应地进行系统的控制切换。当海绵城市等面源污染控制设施及相应的管控措施较为完善时,可通过现有管网和调蓄系统实现中期、远

期梯级利用目标。该工程调蓄池的功能定位与《规划》较为契合,应进一步对标规划要求,系统梳理并综合利用科学城片区的雨洪资源。

5 结语

全面消除黑臭水体整治工程中,初小雨调蓄池在合流污水溢流污染、微污染雨水径流污染控制方面发挥着重要作用,大幅削减了入河污染物总量,有效保障了河道水质和考核断面达标。随着水环境的持续向好,《规划》对污染雨水控制体系提出了新要求,初小雨调蓄池的优化升级和定位调整也势在必行。基于近期设计目标,系统梳理新陂头河干流调蓄池的进水控制、预处理系统、调蓄及冲洗、除臭和通风、防洪设计、调蓄池放空、海绵景观设计等设计要点,结合绿色低碳和雨洪利用的新要求,从进水控制、内部分格、智慧运维和就地处理回用等方面对调蓄池进行设计优化升级,实现低碳化、绿色化、智慧化改造,更大限度地满足提质增效、节能降耗的要求。同时,提出调蓄池梯级利用的新思路,近期溢流污染控制、中期面源污染控制、远期雨水资源利用,实现初小雨调蓄池功能的迭代升级,不断完成角色转变,避免投资浪费,从而更好地满足新形势下水务发展的要求。

参考文献:

- [1] 张青文,余健. 初雨调蓄池布置方式对管道沉积物污染控制研究[J]. 中国给水排水, 2022, 38(19): 114-119.
ZHANG Qingwen, YU Jian. Effect of initial rainwater storage tank layout on control of sewer sediment pollution [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(19): 114-119 (in Chinese).
- [2] 熊园,黄翔峰,魏忠庆,等. 基于区域特征的水质调蓄池运行规则优化[J]. 中国给水排水, 2023, 39(13): 126-132.
XIONG Yuan, HUANG Xiangfeng, WEI Zhongqing, et al. Optimization of water quality storage tank operation rules based on regional characteristics [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(13): 126-132 (in Chinese).
- [3] 张文胜,孙巍. 武汉市黄孝河合流制溢流调蓄池工艺设计[J]. 给水排水, 2020, 46(2): 45-48.
ZHANG Wensheng, SUN Wei. Design for CSOs storage tank of Huangxiahe River in Wuhan [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(2): 45-48 (in Chinese).
- [4] 王松,刘振. 智慧污水处理厂的内涵与思路[J]. 中国给水排水, 2021, 37(12): 14-18.
WANG Song, LIU Zhen. Connotation and way of smart sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(12): 14-18 (in Chinese).
- [5] 何磊,吴克祥,邹伟国. 景观人工湿地处理初期污染雨水工程案例分析[J]. 中国给水排水, 2023, 39(18): 77-83.
HE Lei, WU Kexiang, ZOU Weiguo. Case study of landscape constructed wetland for treatment of initial polluted rainwater [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(18): 77-83 (in Chinese).

作者简介:何磊(1985-),男,河南平顶山人,工学硕士,高级工程师,主要从事市政给排水和水环境综合整治咨询设计工作。

E-mail: tjuhelei@163.com

收稿日期:2024-01-05

修回日期:2024-02-27

(编辑:沈靖怡)

珍惜水,爱护水,以水促和平