

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.06.021

# 初小雨分散调蓄系统在水环境整治工程中的应用

何磊

(上海市工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 初小雨径流污染控制已成为茅洲河流域由旱季水质达标转向雨季水质达标的关键因素之一。深圳市光明区坚持“分散调蓄、三水分离”的治水理念和“源头收集、过程调蓄、末端处理”的初小雨污染控制思路,基本建成污水、雨水和初小雨三套排水系统,初步实现了初小雨污染的源头削减与控制,切实为茅洲河流域的水环境质量提升和雨水资源综合利用提供有力支撑,在水环境整治中发挥关键作用。总结该工程的初小雨截流标准、截流系统、处理系统和调度运行等经验,可为类似工程提供参考。

**关键词:** 初小雨系统; 分散调蓄; 源头收集; 过程调蓄; 就地回用

**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)06-0118-08

## Application of Dispersed Storage System for Initial Rainwater in Water Environment Improvement Project

HE Lei

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

**Abstract:** The pollution control of initial polluted rainwater has become one of the key factors for Maozhou River basin to meet the assessment requirements stably from dry season to rainy season. Shenzhen Guangming District adhered to the water management concept of “dispersed storage and separation of three drainage systems” as well as implemented the idea of “source collection, process storage, and end treatment” to control pollution of the initial rainwater. Three drainage systems for sewage, rainwater and initial rainwater have been basically built. The source reduction and pollution control of initial rainwater have been initially realized, which effectively provided strong support for the improvement of water quality and comprehensive utilization of rainwater resources in the Maozhou River basin. Therefore, this system played a key role in the comprehensive improvement project of Maozhou River water environment. The experience of interception standard, interception system, treatment system and dispatching operation of initial rainwater is summarized to provide reference for similar projects.

**Key words:** initial rainwater system; dispersed storage; source collection; process storage; on-site reuse

深圳市作为中国经济特区和中国特色社会主义先行示范区,治水工作持续推进,人居环境不断改善,2019年茅洲河流域19条支流稳定消除黑臭,其中共和村国考断面水质连续达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的V类标准,2022年更是稳

定达到地表水IV类水质标准,实现了1992年以来最好水平。然而,随着城市化进程的快速推进,城市建成区面积和不透水下垫面面积逐年攀升,加剧了径流对下垫面污染物的冲刷,形成的径流污染负荷相当于同期区域污染总排放量的30%左右<sup>[1]</sup>。深圳市

某流域典型降雨监测,初期地表径流中 COD、TN 和 TP 平均浓度分别是地表水 IV 类标准的 8.3、2.4 和 5.0 倍<sup>[2]</sup>。

在大力开展雨污分流工作后,初小雨面源径流污染控制已成为光明区水环境提升的关键。《深圳市水务发展“十四五”规划》明确提出: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。

基于茅洲河水质稳中有升的目标,深圳市光明区坚持“分散调蓄、三水(污水、雨水、初小雨)分离”的治水理念和“源头收集、过程调蓄、末端处理”的初小雨污染控制路线,已经构建了较为完善的初小雨分散调蓄系统,初步实现了初小雨污染的源头削减与控制,切实为茅洲河流域的水环境质量提升和雨水资源综合利用提供了有力支撑,提升了区域水环境的韧性,具有较好的工程示范意义。

## 1 光明区初小雨系统技术分析

### 1.1 初小雨截流标准

茅洲河流域总体规划截流标准为 7 mm/1.5 h,光明区按照流域总体规划要求,初步拟定茅洲河支流水系截流标准为 7 mm/1.5 h。结合深圳市降雨情况,对茅洲河截流 5、7、9 mm 初小雨的标准进行效益比较。

茅洲河流域内降雨量年际、年内分布不均。根据 1962 年—2005 年石岩雨量站 44 年的实测雨量资料统计,多年平均降雨量为 1 594 mm,年最大降雨量为 2 382 mm(1975 年),年最小降雨量为 777 mm(1963 年),最大降雨量是最小降雨量的 3.1 倍。年内降雨量主要集中在 4 月—9 月,降雨量约占全年降雨量的 73%。在相同的截流标准下,枯水年的水质保证天数最多,丰水年保证天数最少,但是无论是平水年、丰水年,还是枯水年对应不同截流标准,保证率的变化规律趋于一致,而且差别较小。因此,按照具有代表性的平水年(2006 年)石岩水库降雨资料,对其进行截流分析,结果见图 1。从图 1 可知,在相同降雨历时(1.0 h 或 1.5 h)下,截流规模与降雨强度成正比。降雨强度从 9 mm/h 降到 5 mm/h 时,溢流污染控制保证率从 86.8% 降至 79.8%,从 9 mm/场至 7 mm/场的溢流污染控制保证率下降 1.9%,从 7 mm/场至 5 mm/场的溢流污染控制保证率下降 5.1%,可见,7 mm/场为转折点。对于同一

截流标准,降雨历时 1.5 h 的收集规模较降雨历时 1.0 h 的收集规模小很多,但水质保证率降幅很小,适当延长降雨历时并减少收集管道系统规模是经济的。因此,截流标准选择 7 mm/1.5 h 是合适的,也满足雨季溢流污染保证率不低于 80% 的工程目标要求。

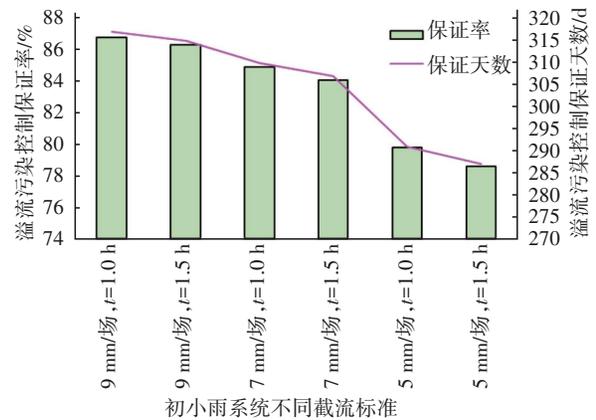


图 1 不同截流标准与溢流污染控制效果的关系

Fig.1 Relationship between different interception standards and overflow pollution control

### 1.2 截流系统的发展及选择

深圳市截流系统发展示意图 2。

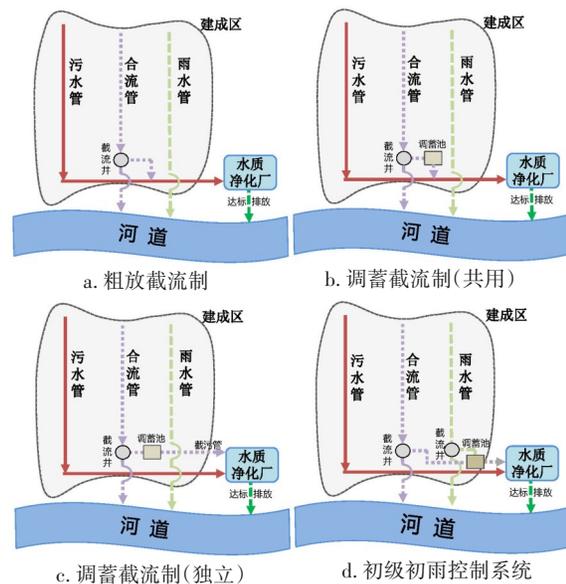


图 2 深圳市截流系统发展示意

Fig.2 Development of interception system in Shenzhen

在深圳市水环境整治初期,通过新建截污管,将直排河道的污水管、合流管进行截流,输送至水质净化厂进行处理,极大地削减了入河污染物质,实现了粗放式的截流制,见图 2(a)。由于截流系统

的截流标准较低,对下游管网和厂站的运行带来巨大冲击,后来逐步建设合流污水调蓄池,旱季污水超越调蓄池直接进入截流系统,雨季合流污水进入调蓄池进行削峰(部分调蓄池带格栅、沉砂池等预处理设施),雨后错峰提升进入截流管转输至下游厂站进行处理,见图 2(b)。为了建设高效、完善的封闭污水系统,逐步实现污水系统和截流系统的剥离,调蓄池调蓄的合流污水通过专用截污管转输至下游厂站进行处理,见图 2(c)。随着城市正本清源、雨污分流工作的逐步完善,合流区域比例越来越小,合流管内水量越来越少,结合深圳市污水规划要求,考虑进行初小雨污染控制,逐步将初小雨污染截流至调蓄池,共用截污系统,发挥已建成截污系统的功效,见图 2(d)。

初小雨截流系统是在分流制排水系统基础上,在雨水管道上设置截流井,将一定标准的初期污染雨水截流并输送至调蓄池,超过截流标准的雨水将通过溢流口就近排放至水体。初小雨截流系统可分为末端集中截流初小雨系统和源头分散截流初小雨系统。末端截流初小雨系统用初小雨截流管道或箱涵收集沿河一定服务范围内多个雨水排放口排水,在截流管道或箱涵排入下游水体前的服务范围末端设置截流井(堰槽式或智能截流井),被截流的初小雨进入调蓄池,超过截流标准的雨水溢流入河,见图 3(a)。由于初小雨截流系统服务范围较大,降雨的空间分布和地面汇流时间不同,同一流域范围内不同点位的同时刻径流汇集到截流井的时间存在差异。由于距离截流井较远区域的初期污染较严重的初小雨经过长距离管道汇集到截流井,与距离较近区域后期污染物浓度较低的雨水混合,在调蓄池系统容量一定的情况下,大量距离较远区域的污染物混合后溢流入河,使得末端截污效率大大降低。此种截流方式适用于地面污染不严重,同时对河流水质要求不高的区域<sup>[3]</sup>。源头分散截流初小雨系统,是在各支流水系沿河的所有雨水排放口前设置截流井,截流服务范围内初期污染雨水,超过标准的后期雨水溢流入河,见图 3(b)。该截流系统有效地降低了空间分布和汇流时间不同导致的污染负荷差异,截污效率明显提升。治水初期,多采用末端截流控制入河污染物总量。随着茅洲河水质的稳步提升和考核要求日益严格,初小雨截流系统逐步从末端集中截流调蓄向源头分散截

流调蓄转变,不断提高截污效率和污染物控制效果。现状调蓄池出水大多仍错峰排至下游水质净化厂,但是随着初小雨系统的逐步完善和水质净化厂提质增效的需求,初小雨的就地处理设施建设就显得尤为重要、紧迫,见图 3(c)、(d)。

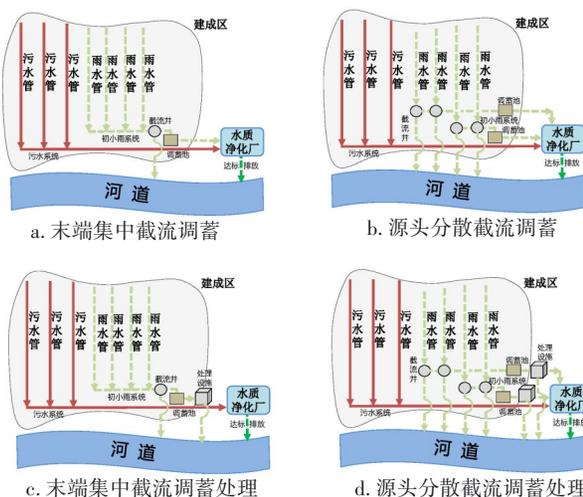


图 3 初小雨分散与集中调蓄、处理示意

Fig.3 Dispersion, centralized storage and treatment of initial rainwater

深圳市已明确坚持雨污分流制排水系统,结合城市更新等逐步消除合流区,建立完善的污水系统、雨水系统、初小雨系统,实现“三水分离”,见图 4(a)。随着初小雨系统覆盖面积不断增大,对下游管网的转输能力、厂站的处理能力提出了更高的要求;伴随着水质净化厂提质增效工作的要求,需要建立一套绿色低碳、稳定可靠的初小雨处理设施,最终建成独立完善的初小雨收集、调蓄和处理系统,见图 4(b)。

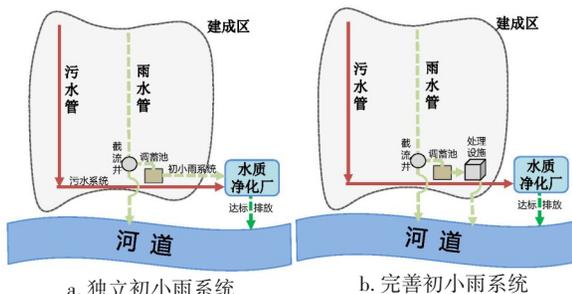


图 4 完善初小雨系统的建设

Fig.4 Construction of complete initial rainwater

## 2 光明区初小雨系统建设

### 2.1 系统架构及功能定位

初小雨系统架构见图 5。

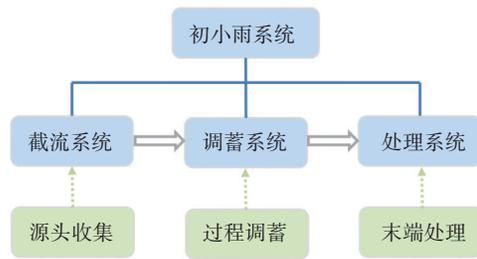


图5 初小雨系统架构

Fig.5 Structure diagram of initial rainwater system

构建污水、雨水、初小雨三套排水系统是茅洲河由旱季水质达标向雨季达标转变的重要保障。光明区截流调蓄控制系统的功能定位:①近期为溢流污染控制,实现雨季合流污水截流调蓄、减少入河污染物的目标;②中期为面源污染控制,有效收集微污染初期雨水,高效处理后合理回用;③远期

为雨水资源利用,作为清洁雨水调蓄设施,实现雨洪利用功能。光明区按照依托现状、因地制宜、分散调蓄等原则,构建较为完善的初小雨截流、调蓄和处理系统。

## 2.2 初小雨收集和调蓄系统

在源头分散截流调蓄的治水思路指导下,依据干流、支流的树状逻辑结构和支流流域范围内地形情况,光明区初小雨系统初步划分为9个初小雨子系统,每个子系统末端对应设置1座调蓄池。

光明区总土地面积 156.1 km<sup>2</sup>,绿地覆盖率约 53%。初小雨系统主要用于控制建成区的面源径流污染,按照初小雨截流系统控制 7 mm 初期污染雨水的标准,粗略估算所需调蓄容积约为 51.4×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,与现状调蓄池容积基本吻合。光明区初小雨子系统分布如表 1 所示。

表 1 光明区初小雨子系统情况

Tab.1 Information of initial rainwater subsystem in Guangming District

10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>

所在流域	子系统名称	调蓄池名称	服务范围	调蓄规模	转输途径	末端处理
茅洲河流域	东坑水	东坑水调节池	石岩片区及东坑上游	13.5	茅洲河箱涵转输	光明水质净化厂
	玉田河	玉田河调蓄池	玉田河流域中上游	1	玉田河截流管+茅洲河箱涵转输	光明水质净化厂
	大鹵水	大鹵水调蓄池	大鹵水流域中上游	0.8	大鹵水截流管+茅洲河箱涵转输	光明水质净化厂
	楼村水	楼村湿地公园调蓄池	楼村社区排洪渠	0.3	楼村社区排洪渠截流管	就地处理回用
	新陂头河北支	新陂头北支调蓄池	新陂头河北支中上游	1.7	新陂头河截流管+茅洲河箱涵转输	松岗水质净化厂
	新陂头河干流	新陂头干流调蓄池	新陂头河干流中上游	0.8	新陂头河截流管+茅洲河箱涵转输	松岗水质净化厂
	白沙坑	白沙坑调蓄池	白沙坑流域	2	白沙坑截流管+茅洲河箱涵转输	松岗水质净化厂
	马田河	马田调蓄池	马田河流域	1.6	马田河截流管+茅洲河箱涵转输	松岗水质净化厂
	上下村	上下村调蓄池	公明核心区及茅洲河中下游	26	茅洲河箱涵+部分支流截流管涵转输	松岗水质净化厂
观澜河流域	白花河	白花河调蓄池	白花河流域	2	白花河流域管涵转输	白花河 BO 处理站

由于建设年份不同,简单测算整个初小雨系统工程总投资约 36 亿元。

① 截流系统。构建了覆盖“1 干 13 支 50 小微”的初小雨截流系统。1 条干流是茅洲河干流,13 条支流分别是茅洲河一级支流——新陂头河、楼村水、木墩河、东坑水、鹅颈水、大鹵水、玉田河、上下村排洪渠、马田排洪渠、公明排洪渠、合水口排洪渠、西田水、白沙坑,已建成初小雨截流管道约 163.5 km,以及 50 个小微水体(分布在城市乡村的沟、渠、溪、塘等,特点是流动性差、自净能力弱、规模小、数量多)。

② 调蓄系统。建成 10 座调蓄池,其中:茅洲

河流域 9 座,总调蓄规模为 47.7×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>;观澜河流域 1 座,即白花河调蓄池,调蓄规模为 2×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。茅洲河流域原计划在楼村水流域中上游建设楼村水调蓄池,设计规模为 1.8×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,但由于用地问题暂缓实施,此范围内初小雨被楼村湿地公园内调蓄池和下游上下村调蓄池收集。

③ 处理系统。现阶段初小雨处理系统主要包括光明水质净化厂(处理规模为 30×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d)和松岗水质净化厂(处理规模为 30×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d)。另外,茅洲河流域下游还有 3 座 BO 处理站,分别是:燕罗应急处理站,处理规模为 11×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d;上下村处理站,处理规模为 3×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d;合水口处理站,处理规

模为  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。观澜河流域光明片区范围内有 1 座 BO 处理站,即白花河 BO 处理站,处理规模为  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

光明区初小雨系统布局见图 6。

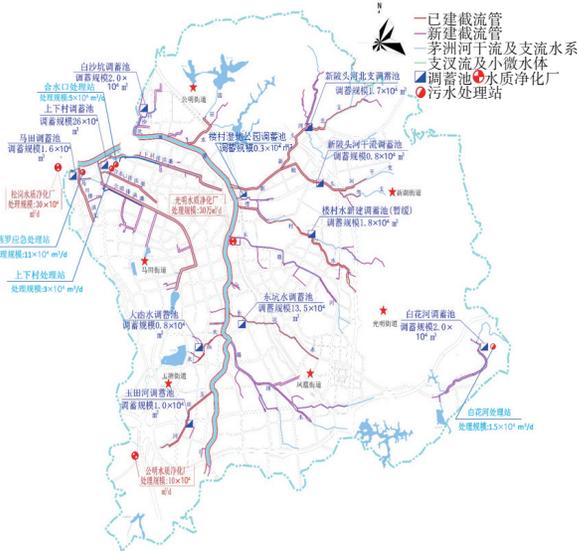


图 6 光明区初小雨系统布局

Fig.6 Layout of initial rainwater system in Guangming District

目前,光明区 10 座调蓄池进水方式有重力自流进水和压力抽排进水。其中,东坑水调蓄池、新陂头北支调蓄池、新陂头干流调蓄池、玉田河调蓄池、大鹫水调蓄池、上下村调蓄池通过截流闸门重力自流进水,见图 7(a)、(b);楼村湿地公园调蓄池、白沙坑调蓄池、马田调蓄池和白花河调蓄池为压力抽排进水,见图 7(c)、(d)。在重力流进水模式下,初小雨降雨期间通过关闭截流井下游闸门 M,可一定程度抬升截流管道内水位;同时,打开调蓄池进水闸门 N,截流的初小雨进入调蓄池,调蓄池内水位不断升高,见图 7(a)。当调蓄池达到设计水位时,调蓄池进水闸门 N 关闭,截流井下游闸门 M 打开,后期污染较轻的超量雨水直接入河,见图 7(b)。在压力流进水模式下,初小雨降雨期间关闭截流井下游闸门 M,可一定程度抬升截流管道内水位;同时,打开调蓄池进水闸门 N 和启动调蓄池进水泵,截流的初小雨提升进入调蓄池,调蓄池内水位不断升高,见图 7(c)。当调蓄池达到设计水位时,调蓄池进水闸门 N 关闭、进水泵停运,截流井下游闸门 M 打开,后期污染较轻的超量雨水直接入河,见图 7(d)。

在实际设计过程中,优先选用重力自流进水。

在确实不具备重力自流进水条件下再选用压力抽排进水,此方式会增加一定的运行能耗。

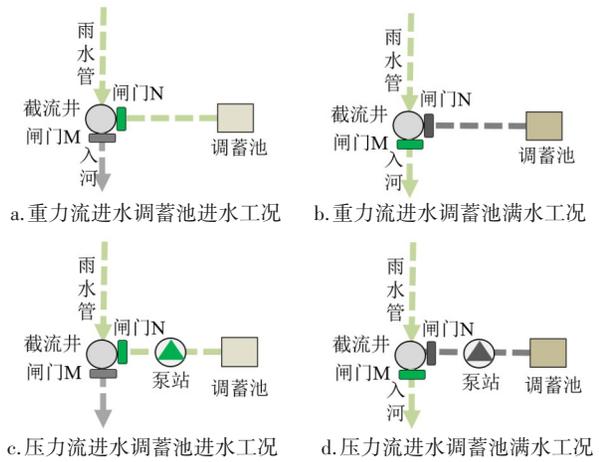


图 7 调蓄池进水方式及运行工况

Fig.7 Influent modes and operating condition of storage tank

### 2.3 初小雨处理和调度系统

现阶段,初小雨调蓄系统的微污染雨水主要通过污水处理(厂)站进行错峰处理。茅洲河上游 3 座调蓄池(东坑水调蓄池、大鹫水调蓄池和玉田河调蓄池)调蓄容积为  $15.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,按照 48 h 排空,需要初小雨处理能力为  $7.65 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,现状依靠光明水质净化厂的富余能力和冲击负荷进行错峰处理。光明水质净化厂设计规模为  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,其中处理生活污水  $25.75 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,按照总变化系数 1.3,利用冲击负荷错峰可承接初小雨量为  $7.725 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,满足茅洲河上游初小雨处理需求。楼村湿地公园调蓄池利用配套建设的初小雨处理系统实现初小雨的收集、处理、回用。茅洲河下游 5 座调蓄池(新陂头河北支调蓄池、新陂头河干流调蓄池、白沙坑调蓄池、上下村调蓄池和马田调蓄池)调蓄容积为  $32.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,按照 48 h 排空,需要初小雨处理能力为  $16.05 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,现状依靠松岗水质净化厂和 3 座 BO 处理站的富余能力和冲击负荷进行错峰处理。上下村 BO 处理站,初小雨接纳量为  $1.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;合水口 BO 处理站,初小雨接纳量为  $3.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;燕罗应急处理站,初小雨接纳量为  $3.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;松岗水质净化厂设计规模  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,按照总变化系数 1.3,可承接初小雨量为  $9.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,可满足茅洲河下游初小雨处理需求。观澜河流域光明片区内为 1 座调蓄池(白花河调蓄池),调蓄容积为  $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,配套建设白花河 BO 处理站,处理能力为  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,

可满足初小雨处理需求。

调蓄池内部、下游初小雨转输通道、处理厂站均设置液位计、电(气)动闸门等自控系统设施,并能够实时通信。只有当下游初小雨转输通道、处理厂站均反馈液位可控且能力富余时,调蓄池启动排水泵向下游排放初小雨,直至调蓄池排空。一旦排水过程中下游初小雨转输通道、处理厂站均反馈液位异常等不正常信号,自控系统均需按照预定设置降低排水量,甚至关闭水泵,确保已经收集的初小雨不会再溢流入河,实现有效处理处置。

### 3 系统运行情况及流域治理成效

#### 3.1 系统运行情况

2022年调蓄池初小雨调蓄量约 $933 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,截流初期雨水中主要污染物氨氮、总磷、 $\text{BOD}_5$ 浓度分别为1.68~8.91、0.71~3.82、89~229 mg/L,大量削减了入河污染物质。通过初小雨系统的综合调度,有效保障了降雨量20 mm以内时,茅洲河干流和13条支流的河道水质雨季达标。

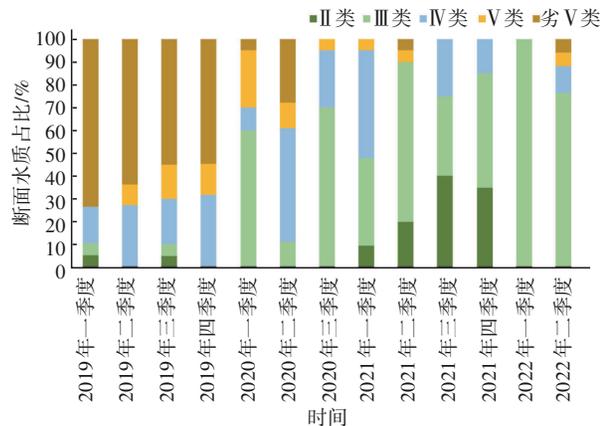
在有效收集污染物的指导思路下,结合调蓄池服务范围的下垫面情况和降雨分布等不同,调蓄池实际调度运行存在一定差异。对于服务范围内城中村较多、存在合流截流制的区域,调蓄池调度以控制污染物浓度为原则(管道内初小雨水的污染物浓度达到临界值时,调蓄池进水;低于临界值时,调蓄池停止进水)。对于服务范围内以建制小区为主、雨污分流较为彻底的区域,调蓄池调度以控制调蓄池水位为原则(降雨后,管道内初小雨水优先进入调蓄池,调蓄池进水;调蓄池达到设计液位时,调蓄池停止进水)。

初小雨系统收集微污染水拟通过污水处理厂/站的高峰处理能力错峰处理。市政污水处理厂设计考虑变化系统是为了应对来水短时冲击负荷高峰,而实际运行水量维持在设计规模附近或以下。因此,污水处理厂的高峰变化系统部分容量可以用来应对调蓄池排放初小雨水的处理。本工程片区内的调蓄池,5座基本可以在雨后48 h排空,另外5座也可在雨后48 h内排空,可实现初小雨水的错峰处理。

#### 3.2 流域治理成效

在协同推进流域系统治理的背景下,通过源头正本清源、市政管网雨污分流、初小雨系统构建以

及河道清淤、补水、生态化改造等措施,茅洲河水质实现从黑臭水体到地表水Ⅳ类的跨越(见图8),其共和村国考断面氨氮指标从2015年的23.3 mg/L降至2020年的1.15 mg/L,达到1992年以来最好水平。深圳侧的40个黑臭水体和304个小微黑臭水体全部消除黑臭,24条一级支流水质均达到地表水Ⅴ类标准。



注:数据摘自深圳市生态环境局光明管理局发布的环境质量公报(其中,2019年第二季度采用2019年上半年环境质量公报数据,2019年第四季度采用2019年全年环境质量公报数据,缺失2020年第四季度数据)。

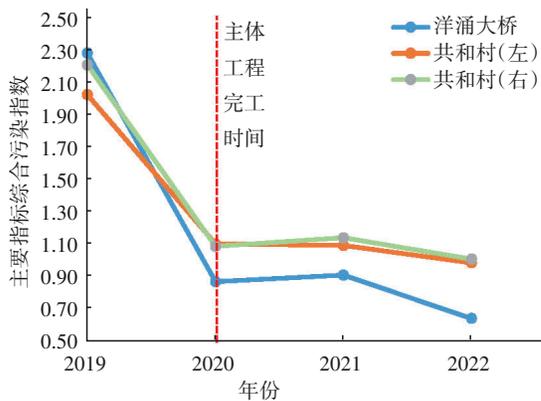
图8 光明区河道考核断面水质变化情况

Fig.8 Water quality change of river channel assessment section in Guangming District

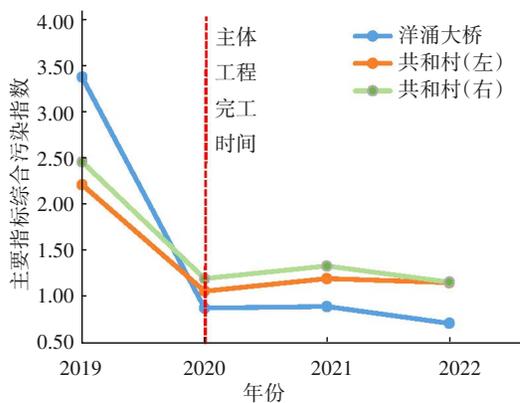
从图8可知,2019年第一季度断面水质达到地表水Ⅳ类以上的断面占比仅为26.32%,考核断面水质整体较差。通过全面消黑工程的实施和三分离系统的完善,2022年第二季度断面水质达到地表水Ⅳ类以上断面的占比基本稳定在90%,甚至2022年第一季度光明区监测断面河道水质均稳定达到Ⅲ类水质。虽然水质还存在一些波动,但是光明区河道监测断面水质整体改善明显,初小雨分散调蓄系统发挥了重要作用。

茅洲河干流共设置3个水质监测点,分别是洋涌大桥断面、共和村(左)断面和共和村(右)断面。3个监测点的主要指标综合污染指数已经分别从2019年的年均2.28、2.03和2.21断崖式降至2020年的0.87、1.10和1.09,并在此基础上持续改善,见图9(a)。初小雨系统的主要作用是避免或者减少初小雨携带污染物入河,从而确保雨季河道水质达标。2019年雨季(4月—9月),3个监测点从未出现全部达标的情况,2020年雨季基本实现雨季达标(6

月有1个监测点不达标),河道水质实现根本性改善。2020年—2022年雨季月均主要指标综合污染指数较2019年雨季分别下降75.53%、48.69%和50.08%,初小雨分散调蓄系统成效显著,见图9(b)。



a. 茅洲河干流考核断面全年均值



b. 茅洲河干流考核断面雨季月均值

图9 茅洲河干流断面综合污染指数变化情况

Fig.9 Variety of comprehensive pollution index of Maozhou River trunk section

## 4 对系统的思考与改进

### 4.1 截流系统

现状初小雨截流系统的管网,部分是原沿河截污管或截污箱涵,而合流系统截流管网的截流能力通常按旱季污水量的2~5倍计,管网的过流能力与7 mm/1.5 h截流标准存在一定差异,但考虑到不浪费投资可以在过渡阶段使用。在后续实际使用过程中,应逐步完善初小雨收集和转输系统,使其达到设计标准。

### 4.2 调蓄系统

按照源头分散调蓄的思路,应在茅洲河支流的中下游设置调蓄池,但是由于用地受限,上下村调蓄池只能设置在茅洲河流域下游,且规模较大(26×

10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>)。虽然片区总体调蓄容积满足了截流标准下初小雨的调蓄要求,但是考虑到降雨的时空分布不均匀性,末端设置大型调蓄池势必导致一部分距离调蓄池较远的7 mm初小雨不能有效收集,部分污染物溢流入河;而另一部分距离调蓄池较近的区域又会有超过7 mm初小雨标准的污染较轻的雨水被收集,降低了调蓄池的污染物收集效率。另外,楼村水调蓄池由于选址与相关规划冲突而多次变更后被暂缓实施,导致该区域的初小雨只能转输至下游上下村调蓄池,一定程度上也影响了初小雨收集的有效性。因此,调蓄池系统的选址要与相关规划充分衔接,尤其要与规划部门进行沟通,必要时进行规划修编和图则调整,确保市政水务设施用地。随着深圳市一地多用的逐步实施,调蓄池可以更多地与绿地、公园等实现上下部的分层利用,提高其落地性和时效性。

### 4.3 处理系统

调蓄设施收集的初期污染雨水需要进行有效处理,常规有两种工程解决方案。一是利用调蓄池进行错峰调蓄(为保障正常运行,调蓄池配套格栅、沉砂池等预处理设施),待雨后输送到污水厂(站)进行处理<sup>[4]</sup>;二是调蓄系统配套建设雨水处理设施,对初期污染雨水进行就地净化处理。目前,光明区初小雨主要错峰进入污水厂(站),利用污水厂(站)的富余能力和冲击负荷余量来处理。虽然初小雨水污染负荷较低,经复核现状污水厂(站)处理构筑物及运行参数基本可以满足处理需求,但是也会导致系统运行状态的改变,比如改变污泥的性质、加药量、曝气量等,对污水厂(站)造成较大的冲击,也不符合当下污水厂提质增效的政策导向。同时,在调蓄池周边新建就地处理设施用于初期污染雨水处理的工程案例也越来越多,很好地解决了初期污染雨水对污水厂(站)稳定运行和提质增效的不利影响。例如:武汉市湖溪河调蓄池初期雨水通过“粗格栅-调蓄池-平流沉砂池-加砂高速沉淀池-转鼓过滤器-紫外消毒”工艺就地处理后排入湖溪河水系<sup>[5]</sup>。天津市解放南路雨水调蓄池初期雨水通过“调蓄池-细格栅-气浮池-人工湿地”工艺就地处理后排入公园水体<sup>[6]</sup>。

因此,应进一步探索绿色、节地的初期污染雨水调蓄和就地处理系统,上部下部综合利用。首先,可以将就地处理设施与全地下调蓄池集成设

计、节省用地。调蓄池内部集成物理过滤、物理沉淀功能系统,实现水质初步净化;然后,利用外部人工湿地的生态化处理系统,实现初期污染雨水中污染物的去除,避免气浮池、高效沉淀池等需要大量投加化学药剂的工艺,整套处理系统更加绿色低碳。为解决用地问题,可充分借鉴国内“地下式污水厂+上盖公园”的迅猛发展趋势,充分将人工湿地与上盖公园融合,实现净化功能和景观公园的双重功效。

#### 4.4 功能转换、绿色低碳

建设初小雨截流系统投入较大,应充分结合水环境系统的需要,适时地调整和转换目标定位。光明区初小雨截流系统原定位是旱季截流合流管道内混接污水和直排污水,雨季截流合流管道内合流污水。同时,随着源头正本清源、雨污分流工程的日益完善,初小雨系统可转变为收集微污染初期雨水,有效控制面源污染。远期,进一步结合雨洪调度,调蓄池和管网系统均可作为清洁雨水调蓄设施,实现雨水资源利用。

#### 5 结论

茅洲河在“流域统筹、系统治理”的水环境整治体系下,水质逐步向好,初小雨径流污染控制已成为其由旱季水质达标转向雨季水质达标的关键因素。深圳市光明区坚持“分散调蓄、三水分离”的治水理念和“源头收集、过程调蓄、末端处理”的初小雨污染控制思路,初步实现了初小雨污染的源头削减与控制,茅洲河及其支流考核断面水质稳步提升,工程效果显著。在绿色低碳和提质增效的现实需求下,“源头收集、过程调蓄、末端处理”的思路体系也应逐步向“源头收集、过程调蓄、就地回用”转变,积极探索更加合理高效的处理系统。

#### 参考文献:

- [1] 李俊奇,姜昱丞,李小静. 雨水径流污染削减与源头体积控制之间的响应关系[J]. 中国给水排水, 2021, 37(15): 102-109.  
LI Junqi, JIANG Yucheng, LI Xiaojing. Response relationship between stormwater runoff pollution

reduction and source volume control [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(15): 102-109 (in Chinese).

- [2] 陈卓如,胡胜,黄鹄,等. 深圳市白芒河流域地表径流污染研究[J]. 给水排水, 2011, 32(S1): 128-132.  
CHEN Zhuoru, HU Sheng, HUANG Hu, et al. Study on surface runoff pollution in Baimang River watershed of Shenzhen City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 32(S1): 128-132(in Chinese).
- [3] 高学珑,彭海琴,蔡辉艺,等. 分散式截流排水系统的形式及应用探讨[J]. 中国给水排水, 2016, 32(2): 6-10.  
GAO Xuelong, PENG Haiqin, CAI Huiyi, et al. Discussion on type and application of distributed intercepting drainage systems [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(2): 6-10 (in Chinese).
- [4] 曾木海,谢小龙. 初雨调蓄池在武汉市某湖泊综合整治工程中的应用[J]. 中国给水排水, 2021, 37(12): 93-97.  
ZENG Muhai, XIE Xiaolong. Application of initial rainwater storage tank in a lake comprehensive treatment project in Wuhan [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(12): 93-97 (in Chinese).
- [5] 周传庭,郭葵香,赵国志. 初期雨水就地调蓄处理工程方案[J]. 净水技术, 2020, 39(8): 44-48.  
ZHOU Chuanting, GUO Kuixiang, ZHAO Guozhi. Engineering proposal of on-site regulation and storage and treatment for initial rainwater [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(8): 44-48 (in Chinese).
- [6] 刘晓天. 海绵城市理念下的初期雨水调蓄处理设施案例[J]. 建设科技, 2021(Z1): 40-42, 46.  
LIU Xiaotian. Case study of initial rainwater storage and treatment facilities under the concept of sponge city [J]. Construction Science and Technology, 2021(Z1): 40-42, 46 (in Chinese).

作者简介:何磊(1985- ),男,河南平顶山人,硕士,高级工程师,主要研究方向为市政给排水和水环境综合治理。

E-mail:helei@smedi.com

收稿日期:2023-02-03

修回日期:2023-05-15

(编辑:衣春敏)