

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.02.020

# 茅洲河流域宝安片区污水系统互联互通研究实践

任珂君, 楼少华, 唐颖栋, 方刚, 王俊然, 周梅芳  
(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

**摘要:** 针对城市污水系统“厂”“网”及“厂网”安全性薄弱、保障程度低的问题,以流域整体为单元,从污水总量平衡角度着手核算水量,利用枢纽泵站改造契机,结合重力流、压力流单向、压力流双向调配等模式,顺利实现流域内污水系统“上游、中游、下游”互联互通、统一调度,提升污水系统应急保障能力,减少污染溢流入河,建设安全可靠、韧性高效、环境友好和灰绿融合的城市污水系统,为超大城市可持续污水系统建设提供深圳范式。

**关键词:** 茅洲河流域; 污水系统; 互联互通; 统一调度; 枢纽泵站; 应急保障; 溢流污染控制

**中图分类号:** TU992      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1000-4602(2025)02-0120-07

## Research and Practice on Interconnection of Sewage System in Bao'an Area of Maozhou River Basin

REN Ke-jun, LOU Shao-hua, TANG Ying-dong, FANG Gang, WANG Jun-ran,  
ZHOU Mei-fang

(PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of weak security and low security degree of the “sewage treatment plant (STP)”, “sewage network (SN)” and “STP-SN” of the urban sewage system, the water quantity is calculated from the perspective of total sewage balance by taking the whole basin as a unit. Taking advantage of the hub pumping station transformation, and combining the modes of gravity flow, one-way pressure flow, two-way pressure flow, and etc., the “upstream, midstream, downstream” interconnection and unified scheduling of the sewage system in the basin is successfully realized, thus to improve the emergency support capability of the sewage system, reduce pollutant overflow, and build a safe, reliable, resilient, efficient, environmentally friendly, and gray-green urban sewage system, which provides the Shenzhen paradigm for the construction of a sustainable sewage system in megacities.

**Key words:** Maozhou River basin; sewage system; interconnection; unified scheduling; hub pumping station; emergency support; overflow pollution control

城市污水系统的安全可靠运行关系着水治理工作的成败。从“厂”的角度,城市污水处理厂安全性较弱,发生临时减产、故障检修、停电等突发事件时

停运,容易造成区域污水系统瘫痪;从“网”的角度,城市污水管网可靠性不足,单向运行,事故时无法进行应急调配;从“厂网”的角度,厂网系统韧性不足,

基金项目: 广东省重点领域研发计划资助项目(2019B110205005)

通信作者: 任珂君      E-mail: 496542581@qq.com

雨季受雨水冲击效能降低,缺乏污水应急调配的弹性空间,安全保障程度较低。

面对此种困境,区域污水系统之间的灵活调度显得尤为重要。结合国家及深圳市关于生态安全建设的要求,以茅洲河流域(宝安片区)为例,对污水系统的“上游、中游、下游”实行互联互通、统一科学调度,实现冗余水量在城市污水系统间协同处理,提升污水系统应急保障能力,建设安全可靠、韧性高效、环境友好和灰绿融合的城市污水系统,为水环境的长制久清奠定牢固基础。

## 1 茅洲河流域(宝安片区)污水系统概况

茅洲河流域(宝安片区)污水系统概况见图1。

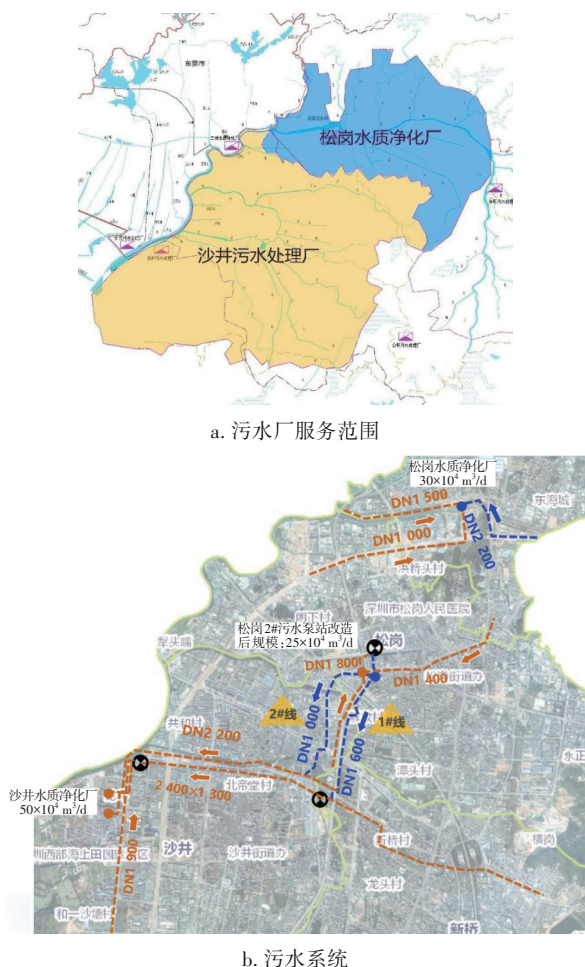


图1 茅洲河流域(宝安片区)污水系统概况

Fig.1 General situation of sewage system in Maozhou River basin (Bao'an area)

茅洲河流域属珠江口水系,发源于阳台山北麓,自东南向西北而流,在沙井民主村处入珠江口伶仃洋,多年平均径流量为 $1.67 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。流域(宝安片区)面积为 $112.65 \text{ km}^2$ ,河涌19条,干支流河道

总长 $96.56 \text{ km}$ ,涵盖燕罗、松岗、沙井、新桥4个街道,服务人口约112万人。地处沿海冲积平原区,地质结构为地槽构造层,地势东北高、西南低,东部主要为低丘陵残丘坡地,西部为海滩涂地,平均海拔为 $80 \text{ m}$ 。主要产业为第二产业和第三产业,其中工业经济占据主要地位。

流域内包含两座水质净化厂(沙井厂、松岗厂),松岗2#泵站、中途泵站、台封泵站3座污水泵站,已实施雨污分流改造、沿河截流系统建设及排水小区正本清源改造等截污工程,两座净化厂服务范围内已分别形成相对完善的污水系统拓扑结构网,独立运行,主要干支管长约 $1800 \text{ km}$ ,沿河截流管长约 $91 \text{ km}$ 。

沙井厂位于沙井街道锦绣路西侧、帝堂路南侧,设计规模为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,服务面积约 $69 \text{ km}^2$ ;松岗厂位于宝安区松岗街道松罗路,设计规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,服务面积 $50 \text{ km}^2$ 。松岗2#泵站位于松河北路与宝安大道交叉口东侧,处于两厂之间的中心位置,改造后设计规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,同时收集两厂服务范围内的污水,并转输至沙井厂。泵站出水压力管为双回路出水,1#线是出水主管路,管径DN1 600;2#线为1#线的备用压力管,管径DN1 000,均接入沙井厂进水主干管(北环路DN2 200干管系统)。

## 2 污水系统间互联互通实施的必要性

互联互通是在各污水处理厂之间新增连接线,当线上的任一污水厂需部分退出运行时,可将污水调度至其余厂进行协同处理后达标排放,此种做法对城市“厂、网、厂网”间的安全可靠、韧性高效运行具有重要意义。

### 2.1 互联互通是“厂”安全运行的必要条件

茅洲河流域(宝安片区)沙井厂和松岗厂系统相对独立,安全性较弱,在发生突发事件时,停运容易造成区域污水系统瘫痪。

2018年4月—9月,沙井厂处理水量为 $(35 \sim 54) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (设计值为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ),松岗厂处理水量为 $(26 \sim 40) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (设计值为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )。

沙井厂4月及9月上旬、松岗厂8月—9月均出现实际处理水量超过设计值的情况,主要原因是暴雨天气受雨水截排、管网入流入渗、松岗厂大截排水量进入过多等因素影响,但沙井厂、松岗厂在设计过程中均考虑了居民用水高峰低谷的时间差、污

水排放在长距离管道流行的时间差等因素,利用污水量总变化系数( $K_z$ )调节最大处理水量,因此,高峰时段污水处理不受影响。

8月下旬,沙井厂处理水量降至最低 $(35\sim 38)\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,主要原因是受进水COD、SS指标影响,生物池污泥浓度飙升(见表1),造成微生物中毒,厂内污泥处理不足以及减产改造,导致进厂污水干管高水位运行甚至部分点位溢流入河,严重影响该服务区域内的污水收集。

表1 沙井水质净化厂水质及污泥浓度指标

Tab.1 Water quality and MLSS indexes of Shajing purification plant  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

日期	COD	SS	生物池污泥浓度
	设计进/出水 (280/50)	设计进/出水 (220/10)	
8月19日	657/14	750/7.8	11 688
8月20日	500/10	896/8.8	11 732
8月21日	631/14	842/8.6	11 679
8月22日	651/26	850/7.5	11 687
8月23日	502/20	380/7.3	11 703
8月24日	227/17	362/7.2	11 681
8月25日	118/14	258/7.6	11 606
8月26日	168/10	308/2	11 348
8月27日	135/10	262/8.8	11 603
8月28日	196/11	450/7.2	11 869
8月29日	238/12	390/6.87	11 570
8月30日	235/19	528/9.2	12 048
8月31日	187/21	460/6.4	12 701
9月1日	330/20	490/4.0	11 194

沙井厂在减产改造过程中,因无厂间互联互通系统,无法实现污水量转输和稳定的末端污水处理能力,对区域污水收集造成较大影响。设置“厂”间系统互联互通,可提升保障污水处理能效,提升污水处理应急保障能力,是“厂”安全灵活运行的必要条件。

## 2.2 互联互通是“网”可靠运行的必要条件

茅洲河流域(宝安片区)污水厂站进水主干管系统常年高水位运行,管网可靠性不足,且两厂管网系统间均为单向运行,工程事故时无法进行应急调配,可能对河道水质造成严重影响。

通过对沙井厂、松岗厂进水干管关键节点水位进行长期监测,在旱天工况下,部分进水主干管常年高水位运行,污水溢流风险极大。由茅洲河流域

(宝安片区)厂网河站全要素监控(同监测时段)情况可以看出,沙井厂主要进水管道的北环路、石岩排污渠、锦城路干管,松岗厂主要进水管道的松福大道、洋涌路干管,松岗2#泵站出水DN1 600压力干管均处于高水位运行状态。

沙井厂进水主干管高水位运行情况见图2。

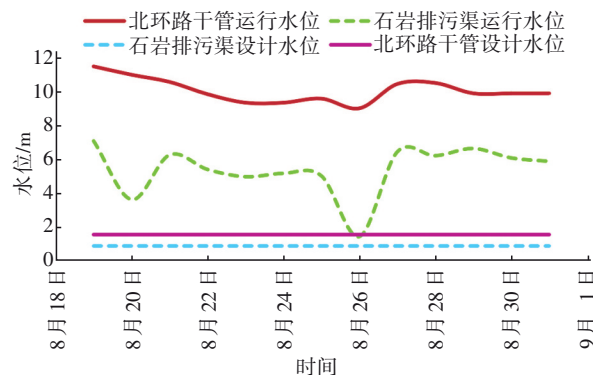


图2 沙井水质净化厂进水主干管水位

Fig.2 Water level of main water inlet pipe of Shajing purification plant

2020年10月,松岗2#泵站DN1 600出水主压力管因锈蚀出现严重漏水,造成泵站停运无法正常抽排,在采取临时倒排措施维修期间,部分污水溢流入松岗河影响河道水质,造成较大负面影响。基于此,设置污水管网系统间互联互通,可增强污水输送系统功能韧性,是“网”可靠运行的必要条件。

## 2.3 互联互通是“厂网”韧性高效运行的必要条件

2015年前深圳市采用截污箱涵收集系统,设置了较多河道总口,水量通过总口进入截流箱涵后处理排放。2015年后,对大截排系统进行系统改造,将沿河截流管、合流暗渠与截流箱涵末端衔接时,设置了截流井<sup>[1]</sup>。在雨天工况下,因截流井的截流倍数设置过大导致进入污水管网系统的水量增大、河水通过沿河截流管截流井倒灌入污水系统等,进入污水处理厂的水量急剧增加,雨后沿河截流管溢流污染入河问题频发<sup>[2]</sup>。

茅洲河流域(宝安片区)沙井厂和松岗厂服务范围内设置了较多截流井,存在不同程度雨后溢流污染入河的情况,雨季雨水冲击后污水系统效能降低,缺乏灵活调配的弹性空间,“厂网”间安全保障程度较低。

2017年,茅洲河流域(宝安片区)管网总口共214个,沿河截污管总口798个。以松岗厂服务范围内河道1~4为例,其沿河截流管截流井共计163个,



截流井截流污水进入松岗2#泵站提升输送至松岗厂,均存在不同程度雨后溢流污染入河的情况,雨后河道水质显著变差(见图3)。

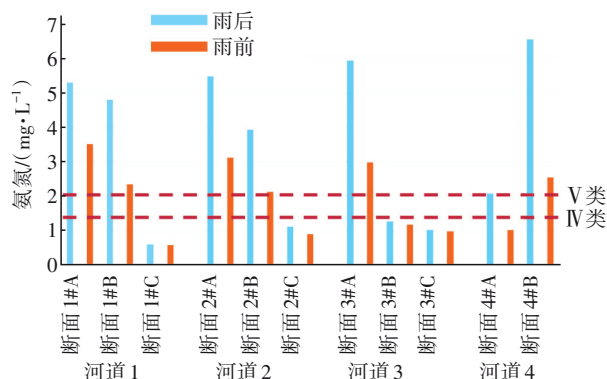


图3 2017年茅洲河流域部分河道雨前、雨后氨氮对比

Fig.3 Comparison of ammonia nitrogen in some rivers of Maozhou River basin before and after rain in 2017

污水“厂网”缺乏灵活调度,雨季管网系统抗冲击能力差。设置污水系统间互联互通,是“厂网”韧性高效运行的必要条件,也是建设安全可靠、韧性高效城市污水系统的必要条件。

### 3 宝安片区污水系统互联互通研究及实践

#### 3.1 互联互通实施模式

污水处理系统互联互通调配的实施,是为在“厂、网、厂网”间打造灵活调度的安全系统,结合目前国内外已实施的互联互通工程,可分为重力流调配、压力流双向调配、压力流单向调配三种模式,可单独或两两结合实施。

重力流调配是指通过重力流管道实现甲厂至乙厂间的水量输送,主要利用现状地势高差,中途可不设置中转泵站。

压力流单向调配是指甲乙厂间新建或利用原中转泵站,甲厂服务范围内水量通过重力流进水至泵站,泵站单向提升后压力管输出至乙厂。

压力流双向调配是指甲乙厂间新建、改造或利用原中转泵站,泵站需能实现双向压力流传输,进水可通过重力流或压力流入泵站,泵站提升后压力管输出。

#### 3.2 互联互通研究及实践

##### 3.2.1 互联互通系统构建

根据以上分析,茅洲河流域(宝安片区)污水系统间亟待新建互联互通网络,优化原管网系统拓扑结构,在发生污水处理厂减产、管网高水位运行、雨

后溢流入河等问题时,及时将水量进行厂间调配。

结合茅洲河流域(宝安片区)污水系统的现状,可重点利用松岗2#泵站、1#线和2#线,设置分别通往沙井厂和松岗厂的厂际连通通道,将这两座厂及周边管网构成一个有机整体(见图4),采用上述3种调配模式结合实施,使污水系统“上游、中游、下游”互联互通,实现削峰缓冲,提升沙井、松岗两大片区的抗风险能力和安全保障度。

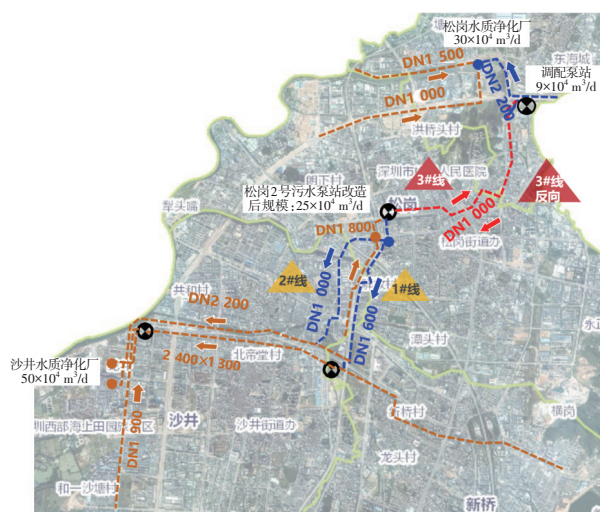


图4 茅洲河流域(宝安片区)污水系统间互联互通

Fig.4 Interconnection of Maozhou River basin (Bao'an District) sewage system

沙井厂服务范围内部分污水需顺利输送至松岗厂。松岗2#泵站收集沙井厂服务范围内部分污水,结合周边地形等,新增泵站出水至松岗厂压力管调配线路(3#线),输送水量至松岗厂,优化原厂间管网拓扑结构,新建3#线管径为DN1 000,完成沙井片区污水-松岗2#泵站-3#线-重力流输送至松岗厂的调配通道,采用重力流+压力流单向调配模式。

松岗厂服务范围内部分污水也可顺利输送至沙井厂。利用新增的3#线通道,在其末端释放井位置周边新建调配泵站,利用3#线反向输送至松岗2#泵站,结合松岗2#泵站改造工程,通过出水压力管1#线、2#线进行输送,完成松岗片区污水-调配泵站-3#线-松岗2#泵站-重力流输送至沙井厂的调配通道,采用压力流+重力流单向调配模式。

##### 3.2.2 互联互通方案

###### ① 调配水量

国内外目前已有诸多关于互联互通案例的研究,针对调配水量,多根据事故发生性质如污水处

理厂提标改造规模、事故时调配规模、初雨冲击、污水溢流污染规模等进行水量设计。立足流域整体,从污水总量平衡角度着手,而非单独针对某厂事故的发生提出解决措施,进行调配水量分析。以茅洲河流域(宝安片区)为整体,系统核算沙井厂、松岗厂、厂间泵站、管网的整体设计规模、单组设计规模、实际运行规模,利用 $K_z=1.3$ 考虑居民用水高峰低谷的时间差、污水排在长距离管道流行的时间差等因素,短时间内有效集群调控区域内污水量,合理分配污水处理任务,核算搭建有机整体需要的3#线及调配泵站设计规模,从根本上有效提升区域污水厂群的调控能力。

松岗厂设计规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,最大处理水量为 $39 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,新建3#线水量以松岗厂最大处理水量进行控制,3#线设计规模为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。经反向核算,松岗厂单组设计规模为 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,最大处理规模为 $9.75 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,即在单组设施故障或检修维护的情况下,调配水量为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,也可满足松岗厂水量顺利输送至沙井厂实际运行;同时,根据松岗厂实际运行数据,在达到 $39 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 运行水量时,可满足正常运行。故调配规模确定为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,可顺利实现互联互通,达到区域水质净化厂灵活调度、协同处理的目的。

## ② 实施方案

分析现状问题,即“厂”间系统相对独立、安全性较弱;“网”单向运行、可靠性不足;“厂网”间安全保障程度较低,存在雨后溢流污染入河的情况,结合茅洲河流域(宝安片区)污水系统现状,究其本质,是流域内污水系统缺乏应急调配连通通道,致使污水处理厂系统间独立分散,无法在事故发生时及时调度、协同处理,可在提升污水收集率、减少外水入侵的基础上,通过厂间互联互通保证在事故及区域水量不均匀时实现跨区域污水转输和流量调配,最大程度缓解上述“厂、网、厂网”间面临的困境,提高污水系统安全性。

沙井厂、松岗厂间互联互通的具体实施方案如下:

a. 松岗2#泵站从截流型泵站向枢纽调配泵站的改造

沙井厂、松岗厂地理位置相距甚远,若直接用压力流管道进行输送,存在水损过大、浪费能效、管线复杂、施工困难等诸多问题,松岗2#泵站地处沙

井厂、松岗厂之间的中心位置,以茅洲河流域为整体,统筹考虑,重点利用松岗2#泵站地理位置的典型特征,将原截流泵站改造为枢纽调配泵站,实现水量在沙井、松岗厂间调配、统一调度,发挥其在上、下游互联互通中的重要作用。

松岗2#泵站原设计为截流型泵站,旱季规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,雨季规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。服务范围内经过综合整治<sup>[2]</sup>,已实现雨污分流,同时因其在流域内污水系统中地理位置的特殊性,以及在实施和运营过程中存在诸多问题,遂进行整体改造,改造后可满足沙井、松岗厂间双向调配的枢纽调配功能。

松岗2#泵站改造后规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,其中新建改造单元用于收集服务范围内旱季污水,规模为 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;原泵池改造后用于松岗、沙井厂之间污水调配输送,规模为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,两泵池之间通过连通井连通(见图5)。

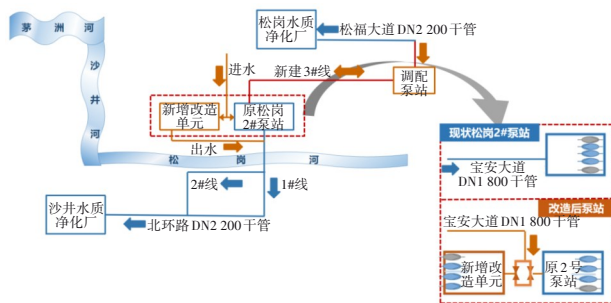


图5 松岗2#泵站改造示意

Fig.5 Reconstruction of Songgang 2# pump station

### b. 沙井厂至松岗厂水量调配

沙井厂至松岗厂的水量调配需打通松岗2#泵站至松岗厂的输送路径,结合深圳市污水系统专项规划修编、深圳市(原特区外)污水调配方案研究、重大项目管线走向、重大基础设施布局,在协调好现状、在建及规划的重要管线走向的基础上,选定管线路由及对应管段施工方法。

新建3#线管径DN1 000,管长约5 200 m,输水规模为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,顺利打通沙井片区污水-松岗2#泵站-3#线-重力流输送至松岗厂的调配通道。

### c. 松岗厂至沙井厂水量调配

松岗厂至沙井厂的水量调配需打通松岗厂至松岗2#泵站的输送路径,结合相关规划、方案研究、周边地块性质、重大基础设施布局等,在3#线末端释放井选取绿地新建调配泵站。

调配泵站设计规模为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,占地约150

m<sup>2</sup>。利用3#线反向输送至松岗2#泵站,通过1#线、2#线输送至沙井厂,顺利打通松岗片区污水-调配泵站-3#线-松岗2#泵站-重力流输送至沙井厂的调配通道。

### 3.2.3 调度运行

厂间互联互通应通过厂、站、网科学调度,结合区域实际运行污水量、应急突发事件、故障等灵活实施调度方案,实现跨片区智慧排水,切实保障排水安全,增强污水输送及处理系统功能韧性。

本案例重点利用松岗2#泵站的枢纽功能,在调配泵站、松岗2#泵站改造实施后,顺利实现茅洲河流域(宝安片区)两座污水厂间污水干线“上游、中游、下游”互联互通,实现削峰缓冲,保障污水系统在检修期、事故期等时段稳定安全运行,保障冗余水量在沙井、松岗厂间灵活调度,提升流域污水系统应急保障能力,避免污水直排河道。

## 4 互联互通实施效果

茅洲河流域(宝安片区)污水处理系统间互联互通实施后,“厂、网、厂网”间建立起了安全可靠、韧性高效的系统,可以灵活应对污水处理厂提标改造、故障检修、停电等突发事件,在网间建立起优化拓扑网络,补齐污水应急调配弹性空间,降低雨后溢流污染入河的现象,提升污水系统的应急保障能力。

### ① 污水收集能效显著提高

随着污水处理系统间互联互通的实施,及污水收集、传输和处理环节的完善,污水收集率得到大幅提升。根据2020年4月—9月的运行数据(见图6),3#线运行后,松岗厂可以完全接纳通过3#线输送的水量,且维持稳定运行,大大降低了污水溢流入河、雨水倒灌入污水管道的发生频次,大幅削减入河污染物BOD<sub>5</sub>、COD量等,提高了污水收集效能,保障了片区内弹性的污水处理能力。

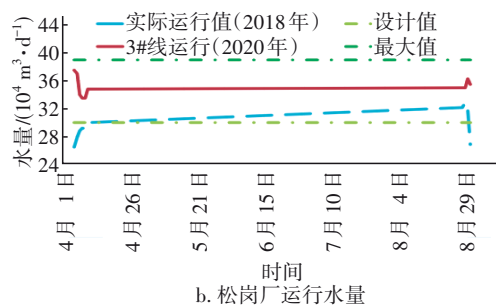
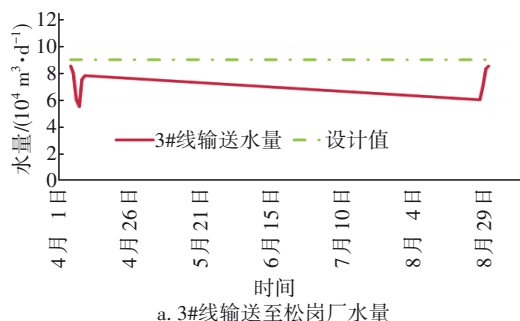


图6 实施互联互通后的运行水量

Fig.6 Operating water volume after interconnection

### ② 污水主干管高水位运行大幅缓解

随着污水处理系统间互联互通的实施,污水收集、传输和处理环节的完善,选取2020年相同干管同井位数据,沙井片区部分水量通过3#线输送至松岗水质净化厂,石岩排污渠、北环路干管水位与2018年同期数据相比显著降低(见图7),有效缓解了干管系统多年高水位运行、溢流风险较大的问题。

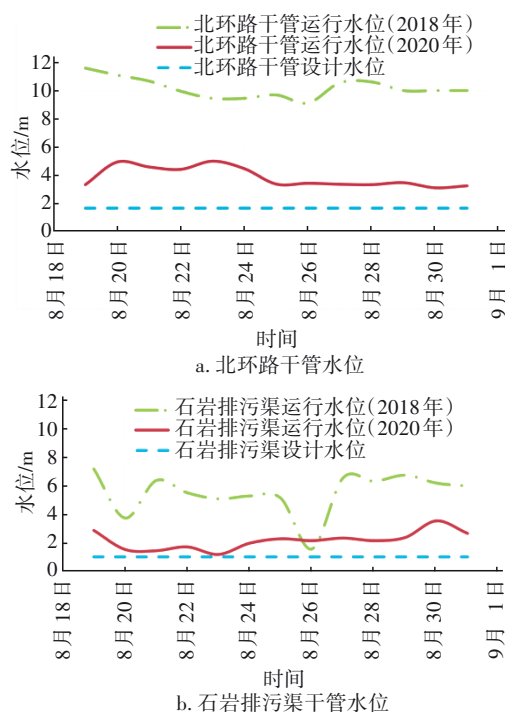


图7 沙井水质净化厂进水主干管水位对比

Fig.7 Water level comparison of main intake pipes in Shajing purification plant

③ 雨后污染溢流入河频次显著降低,河道水质情况良好

污水“厂网”实现灵活调度后,雨季河道溢流污染降低,以松岗厂服务范围内河道1~4为例,其沿河截流管截流井已全部完成改造,相同点位雨后水质



基本达到地表水Ⅳ类标准,水质状况良好(见图8)。

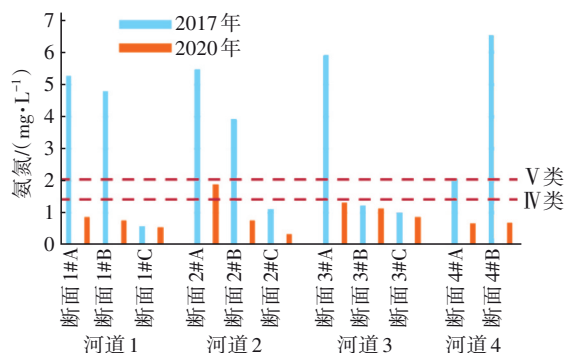


图8 改造前后茅洲河流域部分河道断面雨后氨氮对比

Fig.8 Comparison of ammonia nitrogen in some river sections of Maozhou River basin after rainfall before and after reconstruction

## 5 结语

城市污水系统的健康运行关系着水治理工作的成败,在努力完善区域污水系统体系的同时,应重点关注其安全可靠、韧性高效等。通过系统、全面地分析区域污水系统尚存的可靠性不足、安全性较弱、保障程度较低等薄弱问题,提出整体解决方案,采取重力流、压力流单向、压力流双向调配单独实施或两两结合的模式,使区域内污水系统“上游、中游、下游”互联互通,实现削峰缓冲;其次,还需对“厂、站、网”进行科学统一调度,提升污水系统应急保障及稳定处理能力,建设安全可靠、韧性高效、环

境友好和灰绿融合的城市污水系统,为超大城市可持续污水系统建设提供深圳范式。

## 参考文献:

- [1] 楼少华,吕权伟,任珂君,等.从深圳治水历程研究高密度建成区城市排水系统的选择与改造[J].中国给水排水,2018,34(18):18-21.  
LOU Shaohua, LÜ Quanwei, REN Kejun, *et al.* Study on the selection and reconstruction of urban drainage system in high density construction area from the course of water control in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(18): 18-21 (in Chinese).
- [2] 楼少华,唐颖栋,陶明,等.深圳市茅洲河流域水环境综合治理方法与实践[J].中国给水排水,2020,36(10):1-6.  
LOU Shaohua, TANG Yingdong, TAO Ming, *et al.* Methods and practice of comprehensive improvement of Maozhou River water environment in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10): 1-6 (in Chinese).

作者简介:任珂君(1993—),女,河南南阳人,硕士,工程师,主要从事流域水环境综合整治等设计工作。

E-mail:496542581@qq.com

收稿日期:2021-02-11

修回日期:2023-11-25

(编辑:衣春敏)

因地制宜发展新质生产力,  
积极稳妥推进碳达峰碳中和