

廖华丰, 赵红兵, 张碧波, 等. 市政管网溢流污水及微污染水高标准处理探索与实践[J]. 净水技术, 2023, 42(6):176–182, 191.

LIAO H F, ZHAO H B, ZHANG B B, et al. Exploration and practice of higher standard for overflow wastewater treatment in municipal pipelines network and micro-polluted water treatment[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(6):176–182, 191.

## 市政管网溢流污水及微污染水高标准处理探索与实践

廖华丰, 赵红兵\*, 张碧波, 刘向荣, 简德武, 张卫东

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北武汉 430010)

**摘 要** 随着城市发展对水环境要求的提高, 部分水环境敏感地区的污水处理排放标准要求已达到一级 A 标准的基础上, 进一步提高至《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类甚至 III 类水标准, 湖北某核心水源地也在污水高标准处理方面进行了积极探索和实践。该水源地的某入库河流水质不达标, 在推进源头减排措施的同时, 结合该河来水量平衡分析, 启动了该河水质净化工程, 处理溢流污水和微污染河水, 旨在进一步削减入河污染物, 为入库控制断面水质达标提供最后一道屏障。工程设计规模为 8 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 其中 5 万  $\text{m}^3/\text{d}$  为微污染河水, 采用“高密度沉淀+人工快渗”作为主体处理工艺, 3 万  $\text{m}^3/\text{d}$  为市政管网溢流污水, 采用“改良厌氧-缺氧-好氧+膜生物反应器 (AAO+MBR)”作为主体处理工艺, 出水水质  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、氨氮、TP 浓度达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) III 类和 IV 类水标准。该文系统介绍了工程项目的总体方案, 项目投产以来, MBR 区持续稳定处理市政管网溢流污水, 人工快渗区由处理微污染河水调整用于应急处理上游某污水处理厂尾水, 运行效果稳定, 管理方便, 为高标准处理溢流污水、微污染水及水环境提升项目提供技术参考。

**关键词** 微污染水 溢流污水 AAO 生物池 膜生物反应器 (MBR) 人工快渗

中图分类号: TU992.3 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2023)06-0176-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.06.021

## Exploration and Practice of Higher Standard for Overflow Wastewater Treatment in Municipal Pipelines Network and Micro-Polluted Water Treatment

LIAO Huafeng, ZHAO Hongbing\*, ZHANG Bibo, LIU Xiangrong, JIAN Dewu, ZHANG Weidong

(Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430010, China)

**Abstract** With the improvement of the water environment requirements for urban development, the wastewater treatment and discharge standards in some water environmentally sensitive areas have been further improved to the *Environmental Quality Standard for Surface Water* (GB 3838—2002) class IV or even III water standards on the basis of reaching the first class A criteria. A core water source in Hubei Province has also carried out active exploration and practice in high standard wastewater treatment. In this water source, the water quality of an inflow river is not up to standard. While promoting emission reduction measures at the source, combined with the analysis of the water balance of the river, the water purification project of this river is started to treat overflow wastewater and slightly polluted river water, which aims to further reduce the pollutants into the river and provide the last barrier for the water quality standard of the inlet control section. The design scale of the project is 80 000  $\text{m}^3/\text{d}$ , among which 50 000  $\text{m}^3/\text{d}$  is slightly polluted river water, and "high-density sedimentation + constructed rapid infiltration" is adopted as the main treatment process. The remaining 30 000  $\text{m}^3/\text{d}$  is overflow wastewater of municipal pipe network, and "improved anaerobic-anoxic-oxic+ membrane bioreactor (AAO+MBR)" is used as the main treatment process. The concentrations of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{BOD}_5$ , ammonia nitrogen and TP in the effluent meet the standards of class III and class IV water stipulate in the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002). This paper systematically introduces the overall scheme and operation effect of the project. Since the project is put into operation, the MBR area has continuously and stably treated the overflow wastewater of the municipal pipe network. The constructed rapid infiltration area is

[收稿日期] 2022-07-11

[作者简介] 廖华丰(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事市政给排水工程设计与污水处理新技术研究工作, E-mail: liaohuafeng105@163.com。

[通信作者] 赵红兵(1967—), 男, 正高级工程师, 主要从事给排水设计工作, E-mail: 13706955668@163.com。

adjusted by treating the slightly polluted river water for emergency treatment of the tail water of a wastewater treatment plant (WWTP) upstream. It runs stably and manages easily. This provides technical reference for high standard treatment of overflow wastewater, micro-polluted water and water environment improvement projects.

**Keywords** micro-polluted water overflow wastewater AAO biological tank membrane bioreactor (MBR) constructed rapid infiltration

据《“十四五”重点流域水环境综合治理规划》(发改地区〔2021〕1933号)，“十三五”以来全国重点流域水环境质量稳中向好，但环境改善成效尚不稳固，重点流域干流和国控断面水质大幅提升，但支流、次级支流和中小河流水质状况改善不明显，省控、市控断面水环境形势不容乐观，部分河段仍存在劣Ⅴ类水体。溢流污染是城市水体环境质量下降的重要原因，一般是进入污水系统的污水及客水(雨水、地下水、山洪水、河道水等)量超过了污水系统的容纳能力所造成的<sup>[1-2]</sup>。自2015年《水污染防治行动计划》实施以来，全国各地积极响应，采取工程措施和非工程措施相结合的“源头-过程-末端”全过程管控手段来控制溢流污染，并取得显著成效。湖北某水库是核心水源地，库区水质持续保持或优于地表水Ⅱ类标准。该水库水污染防治相关规划对入库支流水污染防治提出更高要求，其入库支流溢流污水和受污染水体主要污染物指标 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、氨氮、TP等处理要求达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类甚至Ⅲ类水标准。

间歇式排放的雨季溢流污水，因进水流量、水质剧烈变化，国内外通常采用“调蓄+一级强化处理”工艺；而旱季溢流污水，因进水流量和水质通常较为稳定，国内外通常截流后送往污水处理厂或就地新建污水处理厂，采用“一级处理+二级生物处理”工艺，并根据当地污水排放限值适当增加深度处理工艺进行处理。如美国金县，建有4座雨天合流制溢流(CSO)处理厂，均采用了“调蓄+一级沉淀(格栅+沉砂+沉淀)+消毒”工艺；旱天运行时，CSO处理厂仅作为泵站运行，污水送往西点污水处理厂采用“格栅+沉砂+沉淀+好氧池+二沉池+消毒”处理流程<sup>[3-4]</sup>；武汉市黄孝河治理中，雨季溢流污水采用“调蓄+格栅+沉砂+高效沉淀+精密过滤+消毒”工艺，旱季溢流污水进入附近污水处理厂通过“预处理+改良厌氧-缺氧-好氧+膜生物反应器(AAO+MBR)+消毒”等工艺处理<sup>[5]</sup>。对于微污染水体的治理，目前国内外主要采用人工湿地、人工浮岛等生态

修复技术，有条件的在前端增加生物接触氧化、生物转盘、沉淀等预处理设施<sup>[6-9]</sup>。对于高排放标准的污水处理，采用单一的传统污水处理工艺可能存在处理效果较差、可持续性不强等缺点，为确保水质稳定达标，容易倾向于采用长流程组合工艺。例如武汉某污水处理厂进水以市政生活污水为主，在改良氧化沟工艺后增加“反硝化深床滤池工艺+臭氧接触氧化工艺”，使出水水质达到准地表Ⅲ类水水质标准<sup>[10]</sup>；深圳市某设计规模为20万 $\text{m}^3/\text{d}$ 的污水处理厂，在现状UCT工艺的基础上，选用“移动床生物膜反应器(MBBR)改造+新增磁混凝沉淀+超滤膜”的组合提标改造工艺，使出水水质由一级B标准提升至准地表Ⅳ类水水质标准<sup>[11]</sup>。这些工艺流程往往投资较高，运维成本也较高。因此，实现污水高标准处理的要义是精心设计，流程设置应充分考虑水质的变化特征，对症下药，操作灵活，防止过度处理<sup>[12]</sup>。

本文以湖北某核心水源地入库河流水质净化工程为例，从工程总体方案和运行效果等方面，介绍了该项目高排放标准处理管网溢流污水及微污染水的探索与实践，为溢流污水、微污染水处理及河道水环境提升项目提供借鉴和参考。

## 1 工程概况

湖北某水库作为核心水源保护区，其水质的好坏直接影响到受水地区3800万人口的饮水安全保障。A河是直接汇入其中的、需重点治理的5条不达标河流之一。A河流域面积为227 $\text{km}^2$ ，河流两岸人口密集，居住人口超60万人。作为城区最大的水体，A河曾接纳大量沿岸生产和生活废水，一直是该水库水污染防治工作的重点和难点。根据国家有关要求，A河入库考核断面水质要求为达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准。2005年—2013年，A河入库口断面水质为劣Ⅴ类，呈“重度污染”，主要污染指标为 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、氨氮、TP。2013年以后，随着上游一系列整治措施的开展，河水污染情况开始好转，在2015年10月，A河入库口断面水

质已由劣 V 类转为 V 类,但效果仍不够稳定。城区现有排水设施因投入使用时间长、城区雨污水合流等原因,已处于超负荷运行状态,经常发生溢流入 A 河现象,导致水体污染。

在推进“源头-过程-末端”综合治理措施的同时,因源头减排和过程管控涉及面广、难度大、时间长,为进一步提升 A 河水质,从市政管网溢流污染治理和微污染河水治理两方面入手,启动了 A 河水质净化工程,旨在进一步削减入河污染物,为入库控制断面水质达标提供最后一道屏障。

A 河流域的水资源构成主要是自然径流量和沿线居民生产生活用水产生的退水,流量相对稳定。工程立项时通过水量平衡分析结合实测数据计算,A 河平均入库排水总量约为 31 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,其中溢流污水部分约为 3.14 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。考虑沿线已建成现有污水处理设施 18  $\text{m}^3/\text{d}$ 、微污染河水处理设施 5  $\text{m}^3/\text{d}$ ,仍有约 8 万  $\text{m}^3/\text{d}$  的处理缺口。该工程设计规模为 8 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,其中 3 万  $\text{m}^3/\text{d}$  处理市政管网溢流污水,5 万  $\text{m}^3/\text{d}$  处理微污染河水,2014 年启动前期方案研究,2018 年 7 月竣工投产。

## 2 工程总体方案

### 2.1 进厂管线

A 河水质净化工程进厂管线由两部分组成,分别为市政管网溢流污水截流管和微污染河水截流管。

(1)市政管网溢流污水截流管:管径为 800~1 000 mm,总长约为 4.19 km,由现状污水处理厂(处理规模为 18 万  $\text{m}^3/\text{d}$ )进厂前溢流井接出,下穿 A 河后沿河南侧河底敷设至本工程厂址处。

(2)微污染河水截流管:管径为 1 000 mm,总长约为 1.04 km,截流管由现状污水处理厂(总规模为 18 万  $\text{m}^3/\text{d}$ )尾水排放口上游约 10 m 新建河道拦水坝坝前(设有工格栅)接出,沿河南侧河底敷设至本工程厂址处。

### 2.2 设计进出水水质

结合 A 河现状污水处理厂实际进水、溢流污水等水质实测资料,考虑 90%覆盖范围和未来变化趋势,确定了市政管网溢流污水设计进水水质;考虑 A 河河水近期水质实测资料及变化趋势等实际情况,确定微污染河水设计进水水质按污水处理厂一级 A 出水,并结合地表水 V 类水标准考虑。根据环评要

求,微污染河水处理部分出水水质主要指标( $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、氨氮、TP)达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水标准,TN、SS 出水执行一级 A 标准;市政管网溢流污水处理部分出水水质主要指标( $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、氨氮、TP)达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准,TN、SS 出水执行一级 A 标准;尾水最终均排入 A 河下游。设计进出水主要水质指标如表 1~表 2 所示。

表 1 微污染河水处理部分设计进出水水质

Tab. 1 Designed Water Quality of Influent and Effluent for Micro-Polluted River Water

| 水质指标                     | 进水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 出水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $\text{BOD}_5$           | 10                                   | $\leq 4$                             |
| $\text{COD}_{\text{Cr}}$ | 40                                   | $\leq 20$                            |
| SS                       | 10                                   | $\leq 10$                            |
| 氨氮                       | 5.0                                  | $\leq 1.0$                           |
| TP                       | 0.5                                  | $\leq 0.2$                           |

表 2 市政管网溢流污水处理部分设计进出水水质

Tab. 2 Designed Water Quality of Influent and Effluent for Overflow Wastewater from Municipal Pipelines Network

| 水质指标                     | 进水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 出水/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $\text{BOD}_5$           | 150                                  | $\leq 6$                             |
| $\text{COD}_{\text{Cr}}$ | 250                                  | $\leq 30$                            |
| SS                       | 250                                  | $\leq 10$                            |
| 氨氮                       | 27                                   | $\leq 1.5$                           |
| TN                       | 35                                   | $\leq 15$                            |
| TP                       | 3.0                                  | $\leq 0.3$                           |

### 2.3 工艺流程

市政溢流污水处理方面,考虑到本工程设计污染物指标较高,厂址现状多为山地,用地紧张。受用地范围限制,且现状污水处理厂采用“AAO+MBR 工艺”扩能改造后,经过连续多年运行,处理效果好。本工程采用“改良型 AAO+MBR 工艺”(图 1),具有工艺流程短、占地面积小、抗冲击负荷能力强、出水水质稳定达标、便于运行管理等特点。该方案采用了膜分离技术与生物反应器相结合的方式,膜高效的固液分离作用强化了生物处理作用,可显著提升传统活性污泥处理工艺的功能<sup>[13]</sup>。

处理微污染河水方面,开展“高密度沉淀池+曝气生物滤池(BAF)”“高密度沉淀池+人工湿地”“高密度沉淀池+人工快渗”等方案的比选(表 3)。“高

密度沉淀池+BAF”方案占地最省[滤池表面水力负荷(滤速)为 $3.0\sim 5.0\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ],抗冲击负荷能力较强,但需要气、水反冲洗,设备种类多,操作单元多,维修量大,运行操作复杂,工程投资高,运行费用高;“高密度沉淀池+人工湿地”方案具有一定抗冲击能力,运行管理较简单,投资和运行费用均较低,但占地面积最大[面积负荷 $<1\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ],需定期收割植物,如运行管理不当会引起填料板结,填料板结后恢复困难,而且水域面积大,容易滋生蚊虫;“高密度沉淀池+人工快渗”工艺占地相对适中[面积负荷为 $1.5\sim 3.0\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ],对地形无特殊要求、无剩余污泥排放、投资较低,运行相对简单,且在深圳、成都及十堰地区已有多个污染河水处理的工

程实践。以土壤沟槽渗滤系统为主体的组合工艺在宁波市邹家河的应用实例也表明,类似土壤渗滤工艺对污染河水的治理是可行的<sup>[14]</sup>。因此,经工艺方案比选后采用“高密度沉淀池+人工快渗”工艺处理微污染河水。人工快渗技术模拟并强化了传统的土地处理工艺,采用渗透性能良好的人工快渗介质作为填料,以干湿交替的运行方式,污水在自上而下流经填料过程中发生综合的物理、化学和生物反应,使污染物得以去除。此外,本项目微污染河水污染源主要为散排或混排污水,存在较多病原,且处理微污染河水部分还存在应急处理溢流污水的可能,因此,从安全角度考虑,尾水进行紫外线消毒处理。

表 3 微污染河水处理方案技术经济比选

Tab. 3 Technical and Economic Comparison of Micro-Polluted River Water Treatment Schemes

| 序号 | 项目     | 方案①<br>高密度沉淀池+BAF                                                                                                                                                   | 方案②<br>高密度沉淀池+人工湿地                                                                                                                                         | 方案③<br>高密度沉淀池+人工快渗                                                                            |
|----|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 主要设计参数 | 滤池表面水力负荷(滤速): $3.0\sim 5.0\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;<br>硝化负荷: $0.3\sim 0.6\text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ;<br>空床水力停留时间为 $35\sim 45\text{ min}$ | $\text{BOD}_5$ 负荷: $15\sim 120\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{d})$ ;<br>表面水力负荷 $<1\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ;<br>水力停留时间: $1\sim 8\text{ d}$ | 人工快渗表面水力负荷:<br>$1.5\sim 3\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$<br>水力停留时间: $1\sim 3\text{ h}$ |
| 2  | 主要设备   | 污水提升设备、絮凝沉淀设备、污泥脱水设备、鼓风机曝气设备、反冲洗设备                                                                                                                                  | 污水提升设备、絮凝沉淀设备、污泥脱水设备                                                                                                                                       | 污水提升设备、絮凝沉淀设备、污泥脱水设备                                                                          |
| 3  | 抗冲击负荷  | 抗冲击负荷能力较强                                                                                                                                                           | 具有一定抗冲击能力                                                                                                                                                  | 抗冲击负荷能力一般                                                                                     |
| 4  | 废弃物情况  | 污泥产量较小,基本稳定                                                                                                                                                         | 植物收割量大                                                                                                                                                     | 污泥产量最小,无植物收割                                                                                  |
| 5  | 运行操作   | 需要气、水反冲洗,操作单元较多,维修量较多、较复杂                                                                                                                                           | 运行管理较简单,需定期收割植物,如运行管理不当会引起填料板结,填料板结后恢复困难                                                                                                                   | 运行管理较简单,采用机械对快渗池进行简单翻晒,操作简单                                                                   |
| 6  | 对环境影响  | 噪声较大、臭味较小                                                                                                                                                           | 水域面积大,容易滋生蚊虫                                                                                                                                               | 无持续水面,不会滋生蚊虫                                                                                  |
| 7  | 占地面积   | 小                                                                                                                                                                   | 大                                                                                                                                                          | 较大                                                                                            |
| 8  | 建设周期   | $1.0\sim 1.5$ 年                                                                                                                                                     | $0.5\sim 1.0$ 年                                                                                                                                            | $0.5\sim 1.0$ 年                                                                               |
| 9  | 工程投资   | 高                                                                                                                                                                   | 低                                                                                                                                                          | 低                                                                                             |
| 10 | 经营成本   | 高                                                                                                                                                                   | 较低                                                                                                                                                         | 低                                                                                             |

## 2.4 总平面布置

污水处理厂净用地面积为 $5.7\text{ hm}^2$ ,呈极不规则状,位于A河 $180^\circ$ 转弯处,南侧有自然山体形成屏障,北、东、西侧均为A河,整个厂址封闭性好,但地形高差大,现状地面高程为 $197.00\sim 240.0\text{ m}$ (1985国家高程基准,下同)。平面布置上拟根据地形特点,依山就势,最大程度发挥自然山体和河道的屏障作用,减少污水厂对外界的影响。

总平面布置(图2)按照不同的功能分区将整个厂区分分为:生活及辅助生产区(厂前区)、MBR膜区

和人工快渗区(生产区)。MBR膜区处理市政管网溢流污水,主要有细格栅、曝气沉砂池、改良AAO生物池、膜池及膜设备间等,靠近南部山体屏障。人工快渗区处理微污染河水,主要有高密度沉淀池、人工快渗池等,靠近北部A河布置。考虑到流程的顺畅以及尾水排放方向,进水泵房、紫外线消毒池(含巴氏计量槽及中水回用池)放在厂区北侧靠近河道。考虑尽量减少挖方,鼓风机房及变配电间、污泥浓缩脱水机房、机修及仓库等建筑物设置在地势较高处。该总平面布置具有如下优点:工艺流程顺畅;功能分



区明确;充分利用地形高差减少土方量;用地紧凑,节约土地效果明显;处理区对厂前区及周边环境的影响较小。

## 2.5 高程设计

厂区现状地面高程为 197.00~240.0 m。根据水文资料,厂址处 50 年一遇防洪标准水位约为 203.35 m,综合考虑厂区防洪及土方平衡,确定厂区呈阶梯式布局:① 污水处理区及厂前区域,设计厂区地面标高为 208.0 m;② 靠近山体部分的辅助生产区和污泥处理区,设计厂区地面标高为 210 m。污水处理厂尾水按自流排出考虑,尾水巴氏计量槽出水水位标高为 204.20 m,其余构筑物水位高程根据厂区构筑物及联络管路水头损失计算并结合所处场地高程确定,设计细格栅、曝气沉砂池及膜格栅组合池的进出水高程分别为 210.00、208.40 m,改良 AAO 生物池、MBR 膜池组合池进出水高程分别为 207.95、207.80 m,高密度沉淀池进出水高程分别为 212.20、211.70 m,人工快渗池进出水高程分别为 208.00、206.40 m,紫外线消毒池进水高程为 205.27 m。

## 3 主要构筑物及参数

本工程污水处理厂生产构(建)筑物包括:粗格栅及进水泵房、细格栅、曝气沉砂池、膜格栅、改良 AAO 生物池、MBR 膜池及膜设备间、高密度沉淀池、人工快渗池、紫外消毒池(含巴氏计量槽及中水回用池)、加药间、污泥浓缩脱水车间和鼓风机房等。

### 3.1 粗格栅、进水泵房

粗格栅间与进水泵房合建 1 座,按 8.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$  规模建设,平面总尺寸为 22.25 m $\times$ 19.30 m,为地下式,分两组,一组用于提升微污染河水,设计规模为 5.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,设钢丝绳格栅除污机 2 台,栅条间隙为 10 mm;另一组用于提升市政管网溢流污水,设计规模为 3.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,设钢丝绳格栅除污机 2 台,栅条间隙为 20 mm。两组在进水前端设连通闸门,在泵后设连通阀,可应急连通两条生产线,灵活运行。

### 3.2 细格栅、曝气沉砂池和膜格栅

细格栅间、曝气沉砂池和膜格栅间合建,设计规模为 3.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,平面总尺寸为 45.58 m $\times$ 5.50 m。细格栅采用 2 道平行的过水渠,每道放置 1 台回转式细格栅(栅隙为 5 mm,有效功率为 2.2 kW);曝气沉砂池分 2 格,水力停留时间为 4.6 min;膜格栅采

用 2 台内进流式网板格栅除污机,网板宽度为 2 000 mm,过滤精度为 1 mm 网格式方孔。

### 3.3 改良 AAO 生物池

改良 AAO 生物池与膜池及膜设备间合建,设计规模为 3.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,主要由选择区、厌氧区、缺氧区和好氧区组成,有效水深约为 6.0 m,平面总尺寸为 68.40 m $\times$ 53.60 m。

生物池水力停留时间为 16.4 h,其中选择区为 0.7 h,厌氧区为 2.6 h,缺氧区为 5.1 h,好氧区为 8.0 h。缺氧区污泥回流比为 200%,好氧区混合液回流比为 300%,好氧池平均供气量为 93.75  $\text{Nm}^3/\text{min}$ ,气水比为 4.5:1.0。

### 3.4 MBR 膜池及膜设备间

改良 AAO 生物池与膜池及膜设备间合建,设计规模为 3.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,MBR 组合池平面尺寸为 34.55 m $\times$ 53.60 m。MBR 膜池池深为 5.0 m,有效水深为 3.6 m,水力停留时间为 1.91 h,膜池污泥回流比为 500%。采用聚偏氟乙烯(PVDF)浸没式中空纤维膜,平均膜通量为 12.40  $\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,共安装 48 组膜箱,单组膜面积为 2 100  $\text{m}^2$ 。共设 8 廊道,每廊道设 8 个膜箱位,安装 6 个,预留 2 个空位,每个廊道可单独运行。膜吹扫风量为 226.56  $\text{Nm}^3/\text{min}$ 。

MBR 膜设备间主要用于放置产水系统、在线清洗(CIP)系统、抽真空系统、压缩空气系统、剩余污泥系统、加药系统以及其他辅助设备。

### 3.5 高密度沉淀池

高密度沉淀池设计规模为 5.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,分两组,每组规模为 2.5 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,总平面尺寸为 28.2 m $\times$ 23.45 m。混凝絮凝区混凝段停留时间为 1.04 min,絮凝段停留时间为 11.7 min;高密度沉淀区表面水力负荷为 8.6  $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

### 3.6 人工快渗池

人工快渗池设计规模为 5.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,采用渗透性能良好的人工快渗介质作为填料,主要去除微污染河水中的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、SS、氨氮和 TP 等污染物。设计表面水力负荷为 2.6  $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ,池深为 2.4 m,总面积为 18 865  $\text{m}^2$ ,结合地形,划分为 24 格,每格均采用高密度聚乙烯(HDPE)膜防渗处理,并设置专用布水系统和集水系统。

### 3.7 紫外线消毒渠

紫外线消毒渠设计规模为 8.0 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,与尾

水巴氏计量槽及中水池合建,共1座,总平面尺寸为29.85 m×4.2 m。紫外线消毒渠分两组,每组设紫外消毒装置1套,单套设7个模块共56支灯管,单套功率为16.5 kW,配水位传感器。中水池安装回用水泵,用于脱水机房反冲洗及绿化浇洒等。

### 3.8 鼓风机房

鼓风机房设计规模为3.0万 m<sup>3</sup>/d,为生物池好氧区充氧和膜池膜吹扫提供气源。生物池曝气鼓风机设3台多级离心鼓风机,单台风机最大供气量为50 Nm<sup>3</sup>/min,出口风压为70 kPa,配套电机功率为90 kW;膜吹扫鼓风机设3台多级离心鼓风机,单台风机最大供气量为120 Nm<sup>3</sup>/min,出口风压为45 kPa,配套电机功率为132 kW。

### 3.9 污泥浓缩脱水车间

污泥浓缩脱水车间设计规模为8.0万 m<sup>3</sup>/d,满足生物池及高密度沉淀池剩余污泥处理需求,设计最大处理干泥量为8.6 t/d,浓缩脱水后污泥含水率为80%,设离心浓缩脱水机3台。

### 3.10 加药间

加药间设计规模为5.0万 m<sup>3</sup>/d,为高密度沉淀池投加混凝剂和絮凝剂。混凝剂(碱式氯化铝)投加量为10~30 mg/L(以固态商品计,有效成分Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量≥28%),助凝剂(聚丙烯酰胺)投加量为0.2~0.4 mg/L。

## 4 运行效果

实际运行中,MBR区持续稳定处理市政管网溢流污水,人工快渗区由处理微污染河水调整用于应急处理上游某污水处理厂尾水。对2021年7月—2022年5月实际进出水水质月平均值统计如表4~表5所示。

表4 人工快渗区实际进出水水质

Tab. 4 Actual Average Water Quality of Influent and Effluent of Constructed Rapid Infiltration Area

| 水质指标              | 进水/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 出水/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 去除率         |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|
| pH值               | 7.49~7.83                    | 6.93~7.81                    | -           |
| COD <sub>Cr</sub> | 27.75~44.66                  | 4.62~10.20                   | 70.6%~86.7% |
| SS                | 0.93~20.04                   | 1.33~4.42                    | 45.7%~92.1% |
| 氨氮                | 1.62~2.39                    | 0.05~0.47                    | 78.0%~97.4% |
| TP                | 0.57~0.67                    | 0.14~0.18                    | 68.9%~77.1% |

表5 MBR膜区实际进出水水质

Tab. 5 Actual Average Water Quality of Influent and Effluent of MBR Membrane Area

| 水质指标              | 进水/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 出水/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 去除率         |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|
| BOD <sub>5</sub>  | 53.74~101.32                 | 2.42~3.13                    | 95.5%~97.0% |
| COD <sub>Cr</sub> | 96.81~206.94                 | 6.68~12.13                   | 90.4%~94.8% |
| SS                | 85.71~351.48                 | ≤1.00                        | 98.8%~99.7% |
| 氨氮                | 11.52~18.84                  | 0.05~0.27                    | 98.0%~99.5% |
| TN                | 17.56~24.51                  | 8.49~12.13                   | 38.0%~60.0% |
| TP                | 2.24~4.15                    | 0.15~0.22                    | 90.4%~94.8% |

如表4~表5可知,人工快渗区、MBR膜区出水水质COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TP均能分别达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类、Ⅳ水标准,运行效果稳定,实现设计目标。根据环保部门监测数据,2015年—2019年A河平均水质仍为劣Ⅴ类,随着本工程的竣工投产和雨污分流等源头减排措施的持续推进,A河水质改善实现从量变到质变,2019年9月成功消除劣Ⅴ类,2020年实现历史性好转,水质平均值为Ⅳ类,2021年持续稳定于Ⅳ类水平。

## 5 结语

(1)A河水质净化工程在采用高排放标准解决A河流域市政管网溢流污染和河水微污染问题等方面进行了积极探索和实践,实现某核心水源水库上游地区污水处理厂尾水高标准排放示范工程效应,取得良好的社会和环境效应。

(2)该工程设计采用“高密度沉淀+人工快渗”作为主体工艺处理微污染河水,采用“改良型AAO+MBR”作为主体工艺处理市政管网溢流污水,出水水质COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮和TP浓度分别达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类和Ⅳ类水标准。项目采用短流程的总体方案合理,项目投产以来,MBR区持续稳定处理市政管网溢流污水,人工快渗区由处理微污染河水调整用于应急处理上游某污水处理厂尾水,运行效果稳定,管理方便,技术经济处于行业领先水平,为高标准处理溢流污水、微污染水及水环境提升项目提供技术参考。

(3)山区污水处理厂总体布局受限制因素多、难度大,平面布置上根据地形特点,依山顺水,采用阶梯式布局,结合景观处理,可最大程度发挥自然山体和河道的屏障作用,减少污水厂对外界的影响。

(下转第191页)

123.

YANG D, YUAN M Z, ZHONG Y, et al. Upgrading and expansion without shutdown of a WWTP in Chaozhou with A/O oxidation ditch process [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 119-123.

- [5] 叶心彤. 基于浙江省地标杭州某污水处理厂提标改造设计案例[J]. 净水技术, 2021, 40(s1): 155-159.

YE X T. Design case of upgrading and reconstruction of a WWTP

in Hangzhou based on Zhejiang Provincial local standard [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(s1): 155-159.

- [6] 王涛, 楼上游. 中国城市污水处理工艺现状调查与技术经济指标评价[J]. 给水排水, 2004, 30(5): 1-4.

WANG T, LOU S Y. Investigation on the present situation of urban sewage treatment process in China and evaluation of technical and economic indexes [J]. Water & Wastewater Engineering, 2004, 30(5): 1-4.

(上接第 182 页)

## 参考文献

- [1] 蒲贵兵, 谢天, 邵川. 重庆市污水溢流污染控制的困惑与建议[J]. 中国给水排水, 2022, 38(18): 1-5.

PU G B, XIE T, SHAO C. Perplexity and suggestions on pollution control of the sewage overflow in Chongqing City [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(18): 1-5.

- [2] 蒲贵兵, 古霞, 向星光. 重庆市城镇排水管网监测体系构建[J]. 净水技术, 2021, 40(8): 114-119.

PU G B, GU X, XIANG X G. Construction of monitoring system of urban drainage pipelines network in Chongqing City [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(8): 114-119.

- [3] 史秀芳, 卢亚静, 潘兴瑶, 等. 合流制溢流污染控制技术、管理与政策研究进展[J]. 给水排水, 2020, 56(s1): 740-747.
- SHI X F, LU Y J, PAN X Y, et al. Research progress of technology, management and policy on combined sewer system overflow control [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 56(s1): 740-747.

- [4] 王文亮, 张昱, 蔡然, 等. 美国金县合流制溢流控制案例之技术与标准[J]. 中国给水排水, 2022, 38(8): 99-107.

WANG W L, ZHANG Y, CAI R, et al. Introduction to the combined sewer overflow control technologies and standards in King County, USA [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(8): 99-107.

- [5] 孙巍, 赵红兵. 武汉市黄孝河合流制溢流强化处理设施工艺设计[J]. 中国给水排水, 2022, 38(10): 101-105.

SUN W, ZHAO H B. Design of Wuhan Huangxiao River combined sewer overflow enhanced treatment facility [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(10): 101-105.

- [6] 周易. 通榆河微污染河水水质净化工程工艺设计[J]. 给水排水, 2016, 52(11): 24-26.

ZHOU Y. Process design of micro-polluted river water purification project in Tongyu River [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 52(11): 24-26.

- [7] 韩祥祥. 生物接触氧化工艺处理低污染河水试验研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.

HAN X X. Experimental study on the treatment of low-pollution water by biological contact oxidation process [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2020.

- [8] 张友国, 谷惠民, 张胜军, 等. 人工湿地升级改造实践探

讨——以菏泽市安兴河为例[J]. 湿地科学与管理, 2022, 18(4): 64-67.

ZHANG Y G, GU H M, ZHANG S J, et al. Discussion on the practices of upgrading constructed wetland—A case study of anxing river in heze city [J]. Wetland Science & Management, 2022, 18(4): 64-67.

- [9] 李阳阳, 王月杰, 于鲁冀, 等. 复合生态浮岛处理微污染河水[J]. 环境工程, 2018, 36(1): 1-5, 10.

LI Y Y, WANG Y J, YU L J, et al. Treatment of micro-polluted river by compound ecological floating island [J]. Environmental Engineering, 2018, 36(1): 1-5, 10.

- [10] 曾大海, 谢小龙, 杨涛. 污水处理厂提标改造工程深度处理方案[J]. 净水技术, 2021, 40(1): 129-133, 154.

ZENG M H, XIE X L, YANG T. Advanced treatment process for upgrading and reconstruction of WWTP [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(1): 129-133, 154.

- [11] 沙超. 污水处理厂优于一级 A 提标改造工程设计案例——以深圳某污水处理厂为例[J]. 净水技术, 2021, 40(4): 127-132.

SHA C. Engineering design and discussion of a WWTP better than first grade a standard upgrading and reconstruction project in Shenzhen [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4): 127-132.

- [12] 刘向荣, 简德武, 简爽. 高排放标准下城镇污水处理厂的提标改造探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(20): 19-25.

LIU X R, JIAN D W, JIAN S. Discussion on the upgrading of municipal wastewater treatment plant under high emission standard [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(20): 19-25.

- [13] 黄建元. MBR 技术的形成、应用范围与发展新趋势[J]. 净水技术, 2015, 34(2): 1-3.

HUANG J Y. Formation, application scope and development trend of MBR technology [J]. Water Purification Technology, 2015, 34(2): 1-3.

- [14] 朱一丹, 袁海平, 郑寨生, 等. 以土壤沟槽渗滤系统为主体的组合工艺技术在污染河道治理中的应用效果[J]. 净水技术, 2014, 33(5): 88-91.

ZHU Y D, YUAN H P, ZHENG Z S, et al. Application effect of combined processes with soil trench filtration technology as a main solution in river pollution control [J]. Water Purification Technology, 2014, 33(5): 88-91.