

张道义, 邹康兵, 尹文选, 等. 珠江西航道水源水质特性及其处理效能试验[J]. 净水技术, 2025, 44(7): 67-77, 158.

ZHANG D Y, ZOU K B, YIN W X, et al. Raw water quality characteristics and treatment efficiency test in West Channel of Pearl River[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(7): 67-77, 158.

珠江西航道水源水质特性及其处理效能试验

张道义¹, 邹康兵², 尹文选¹, 谭俊杰³, 赫俊国^{3,*}

(1. 广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东广州 510095; 2. 广州市自来水有限公司, 广东广州 510600; 3. 广州大学土木与交通工程学院, 广东广州 510000)

摘要 【目的】珠江西航道水源作为广州市重要的备用水源, 经过近年来的水环境治理, 水质得到了明显改善, 现已具有作为饮用水正式水源的可能性。明确珠江西航道水源水质特性及其处理效能可为广州市未来启动珠江西航道水源提供工艺、技术与参数支持。【方法】该研究以珠江西航道水源为试验原水, 开展原水水质特性及全流程工艺去除效能研究, 明确原水水质特性及其处理效能。【结果】珠江西航道水源属于浑浊度、色度、有机物以及无机盐等污染物浓度偏高的微污染源; 生物接触氧化预处理可有效去除水中的无机盐, 去除率最高为 60.60%; 絮凝沉淀过滤常规处理对水中各污染物去除效果均较好, 浑浊度和色度的去除率超 80%, 有机物以及无机盐的最高去除率则分别为 41.21% 和 89.72%; 增加深度处理可进一步去除水中污染物, 提升饮用水水质。其中, 超滤-纳滤去除效果最好, 对浑浊度和色度的去除率超 80%, 有机物以及无机盐的最高去除率则分别约为 84.12% 和 71.95%; 其次是紫外高级氧化, 对有机物以及无机盐去除率最高分别为 42.65% 和 37.43%; 臭氧活性炭则相对而言效果较差, 对浑浊度和色度的去除率为 20%~50%, 有机物和无机盐的最高去除率则分别为 25.46% 和 35.99%。【结论】珠江西航道水源属于微污染源, 预处理+常规处理可去除原水中的大部分污染物, 增加深度处理可进一步去除水中污染物, 提升饮用水水质。综合来看, 不同深度处理工艺的去除效果及运行成本大致呈现超滤-纳滤>紫外高级氧化>臭氧活性炭的趋势。

关键词 给水处理 全流程工艺 预处理 常规处理 深度处理 去除效能

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2025)07-0067-12

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.07.008

Raw Water Quality Characteristics and Treatment Efficiency Test in West Channel of Pearl River

ZHANG Daoyi¹, ZOU Kangbing², YIN Wenxuan¹, TAN Junjie³, HE Junguo^{3,*}

(1. Guangzhou Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510095, China;

2. Guangzhou Municipal Water Supply Co., Ltd., Guangzhou 510600, China;

3. School of Civil and Transportation Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510000, China)

Abstract [Objective] The water source of the Pearl River West Channel, as an important backup water source in Guangzhou, has been significantly improved through water environment treatment in recent years, and now has the possibility of being used as a formal source of drinking water. Clarifying the water quality characteristics and treatment efficiency of the water source of the Pearl River West Channel can provide process, technology and parameter support for Guangzhou to launch the water source of the Pearl River West Channel in the future. [Methods] In this study, the raw water quality characteristics and the removal efficiency of the whole process were studied by taking the water source of the Pearl River West Channel as the test raw water, and the water quality characteristics and treatment efficiency of the raw water source were clarified. [Results] The water source of the the Pearl River West Channel was a slightly polluted water source with high turbidity, chromaticity, organic matter, inorganic salt and other pollutants; Biological contact

[收稿日期] 2024-12-23

[作者简介] 张道义(1984—), 男, 高级工程师, 研究方向为水处理技术, E-mail: 24793841@qq.com。

[通信作者] 赫俊国(1970—), 男, 教授, 研究方向为饮用水水质安全保障与应急、污水处理及资源化、污泥减量化资源化, E-mail: junguohe@263.net。

oxidation pretreatment could effectively remove inorganic salts from water, with a maximum removal rate of 60.60%; The conventional treatment of flocculation sedimentation filtration had a good removal effect on various pollutants in water, with removal rates of turbidity and chromaticity exceeding 80%, and organic matter and inorganic salts maximum removal rate of 41.21% and 89.72%, respectively; Adding advanced treatment could further remove pollutants from water and improve the quality of drinking water. Among them, ultrafiltration nanofiltration had the best removal effect, with a removal rate of over 80% for turbidity and chromaticity, while maximum removal rate of organic matter and inorganic salts were about 84.12% and 71.95%, respectively; Next was ultraviolet advanced oxidation, which had a maximum removal rate of organic matter and inorganic salts 42.65% and 37.45% respectively; Ozone activated carbon had relatively poor performance, with removal rates ranging from 25.46% to 35.99% for maximum removal rate of turbidity and chromaticity, and about 20% and 30% for organic matter and inorganic salts, respectively. [Conclusion] The water source of the the Pearl River West Channel is a slightly polluted water source. Pretreatment + conventional treatment can remove most of the pollutants in the raw water. Increasing advanced treatment can further remove the pollutants in the water and improve the quality of drinking water. Overall, the removal effect and operating cost of different advanced treatment processes generally show a trend of ultrafiltration nanofiltration>ultraviolet advanced oxidation>ozone activated carbon.

Keywords water treatment full process technology pretreatment conventional treatment advanced treatment removal efficiency

水是生命的基础资源,确保饮用水的安全不仅关乎公共健康,还与社会的稳定与可持续发展紧密相关^[1-2]。水质污染问题日益严峻,其所带来的负面影响已不容忽视,涵盖了疾病传播、生态环境退化及社会经济成本的增加等多个方面^[3-4]。因此,为了有效保护人民健康并推动社会的长远发展,必须加强水资源管理,特别是采取有效措施防止水源污染,确保饮用水的质量符合安全标准^[5-6]。近年来,国家在提升饮用水安全方面实施了一系列政策和措施,取得了显著成效。例如,实施《水污染防治行动计划》以来,全国范围内的水环境质量得到了明显改善,为确保公众饮用水安全奠定了基础^[7-8];同时,《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)的不断完善和技术更新,也为解决水质问题提供了更为精确的指导原则和技术支持^[9-10]。

广州市位于珠江三角洲,水资源丰富,但其供水系统主要依赖长距离引水工程,这不仅造成了巨大的能源消耗,还增加了经济负担并对环境带来一定压力^[11-13]。此外,珠江西航道水源作为重要的备用水源,在2010年西江引水工程竣工后虽未继续投入使用,但在北部水厂、石门水厂和西村水厂等超大规模水厂的水源配置中仍发挥着重要作用^[14-16]。随着国家政策的推动,水环境得到了改善,珠江西航道水源的水质也逐渐提升,水质已基本达到地表水Ⅲ类,具备转换为正式饮用水源的潜力^[17-18]。

尽管珠江西航道水源具备转换为备用水源的潜力,但由于其并非正式饮用水源,相关研究仍较为匮乏。实际应用中,这一水源可能面临季节性浑浊度

波动、高锰酸盐指数升高以及氨氮浓度偏高等水质问题,这些因素对水质安全构成一定威胁^[19]。为了有效应对这些挑战,文章采用全流程处理工艺对该水源进行处理研究。全流程工艺包括预处理、常规处理和深度处理3个主要阶段,其中深度处理环节涉及臭氧-活性炭工艺、膜分离技术以及高级氧化法等,这些方法各自发挥独特作用,通过层层过滤和净化形成多重保障体系,有效提高水质,确保处理后的水达到饮用水标准。近年来,国内外的研究^[20]表明,采用全流程工艺能够显著提高水质处理的效率与效果,是应对复杂水质问题的先进技术手段。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验时间为2023年1月—2023年12月,试验装置为中试试验装置,除处理规模外其余条件与实际大规模应用相同,试验开始前已确定试验装置的最佳运行参数,且已在最佳运行参数下稳定运行3个月,所有装置的运行状态均稳定且良好,试验装置工艺流程如图1所示,原水首先经过生物接触氧化预处理以及絮凝沉淀过滤常规处理,然后再分别进入臭氧活性炭、超滤-纳滤以及紫外高级氧化3种不同深度处理阶段。

预处理和常规处理的设计规模均为 $5\text{ m}^3/\text{h}$ 。生物接触氧化池采用半软性填料,气水比设置为 $1:2$,水力停留时间为 2 h ;混凝剂为聚合氯化铝(PAC),投加量为 15 mg/L ;絮凝池采用四段机械搅拌絮凝,总絮凝时间约为 23 min ;沉淀池采用侧向流泥水分流倒V型斜板沉淀池,水平流速为 12 mm/s ,

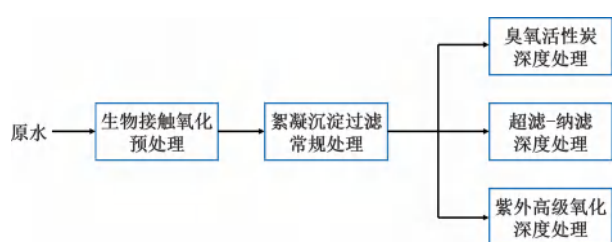


图 1 工艺流程

Fig. 1 Process Flow

沉淀时间为 12 min;砂滤池滤速为 6 m/h,滤层厚为 1.5 m,滤料粒径为 0.9 ~ 1.2 mm。

臭氧活性炭的设计规模为 $2 \text{ m}^3/\text{h}$,臭氧采用水射器投加,投加量为 2.0 mg/L ,臭氧接触时间为 12 min;活性炭池滤速为 8 m/h,炭层厚为 2 m,活性炭为 1.5 mm 柱状颗粒炭,炭床停留时间为 20 min。

超滤膜的设计规模为 $2 \text{ m}^3/\text{h}$,运行方式为死端过滤,有效膜面积为 50 m^2 ,膜孔径为 50 nm,膜通量为 $80 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,过滤周期为 60 min;纳滤膜的设计规模为 $1 \text{ m}^3/\text{h}$,一级两段式设计,运行方式为错流过滤,有效膜面积为 22 m^2 ,膜孔径为 1 nm,工作压力为 0.60 MPa,产水流量约为 $0.9 \text{ m}^3/\text{h}$,回收率约为 90%,膜通量约为 $40 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

紫外高级氧化的设计规模为 $1 \text{ m}^3/\text{h}$,其具体组成主要包括预处理(膜过滤)、紫外(UV)/ H_2O_2 高级氧化以及后处理(活性炭),其中 H_2O_2 投加质量浓度为 3~20 mg/L,单灯管 UV 剂量为 250~400 mJ/cm^2 。

1.2 分析方法

浑浊度使用台式浊度仪(WGZ-1S,上海精密)检测;色度使用铂钴色度仪(SD9012A,上海精密)检测;高锰酸盐指数通过酸性高锰酸钾滴定法分析; UV_{254} 使用紫外可见分光光度计(TU-1810plus,上海精密)检测;氨氮通过纳氏试剂光度法分析;铁离子通过邻菲罗啉分光光度法分析;锰离子通过高碘酸钾氧化光度法分析;荧光物质使用荧光分光光度计(RF-6000,岛津)检测。

2 结果与讨论

2.1 原水水质特性研究

试验原水为珠江西航道水源水,其水质特征如图 2 所示。由图 2(a)可知,原水浑浊度和色度受雨季影响,在 6 月份后明显升高,浑浊度最高值达 49.2 NTU,色度最高值达 103.6 度;由图 2(b)可知,原水有机物浓度较高且变化较为稳定,高锰酸盐指

数和 UV_{254} 的质量浓度平均质量浓度分别为 5.58 mg/L 和 0.085 mg/L;由图 2(c)~图 2(d)可知,原水无机盐浓度相对而言较高且变化范围大,铁离子、锰离子以及氨氮的平均值分别为 0.95、0.53 mg/L 以及 0.70 mg/L;由图 2(e)可知,原水在各区域均存在一定的荧光峰强度,其中 II、III、V 3 个区域尤为强烈,分别对应色氨酸类蛋白质、类富里酸物质、类腐植酸物质;此外,由图 2(f)可知,原水浑浊度与色度、色度与氨氮、铁离子与锰离子有一定的正相关性,相关系数分别为 0.74、0.53、0.52,而浑浊度与高锰酸盐指数、色度与高锰酸盐指数呈现一定的负相关关系,相关系数分别为 -0.59、-0.53。由此可见,试验原水属于浑浊度、色度、有机物以及无机盐等污染物浓度偏高的微污染水源水。

2.2 全流程工艺去除效能研究

2.2.1 生物接触氧化预处理去除效能

生物接触氧化预处理对珠江西航道水源水的去除效能如图 3 所示。由图 3(a)可知,预处理对浑浊度和色度的去除效能均较差,平均去除率分别为 15.46% 和 20.26%;由图 3(b)可知,预处理对有机物的去除效能同样较差,对高锰酸盐指数的去除率为 21.23%,而对 UV_{254} 的去除率仅有 7.89%;由图 3(c)~图 3(d)可知,预处理对无机盐的去除效果均较好,对铁离子、锰离子以及氨氮的平均去除率分别为 51.95%、39.97% 以及 60.60%,且此时氨氮质量浓度已满足饮用水要求的 0.5 mg/L;由图 3(e)可知,预处理对荧光物质的去除效果同样不佳;此外,由图 3(f)可知,预处理对高锰酸盐指数和 UV_{254} 的去除呈现一定的正相关性,相关系数为 0.51。由此可见,生物接触氧化预处理通过附着生长在生物填料上的微生物对水中污染物进行吸附,然后通过微生物一系列的生长代谢反应实现对水中微生物的降解,从而实现高效的污染物去除效果,且对水中无机盐去除效果更佳。

2.2.2 絮凝沉淀过滤常规处理去除效能

絮凝沉淀过滤常规处理对珠江西航道水源水的去除效能如图 4 所示。由图 4(a)可知,常规处理对浑浊度和色度的去除效能均较好,平均去除率分别为 99.39% 和 87.30%,且此时浑浊度和色度已满足饮用水要求的 1 NTU 和 15 度;由图 4(b)可知,常规处理能够去除部分有机物,对高锰酸盐指数和 UV_{254} 的平均去除率分别为 41.21% 和 38.76%,且此时高

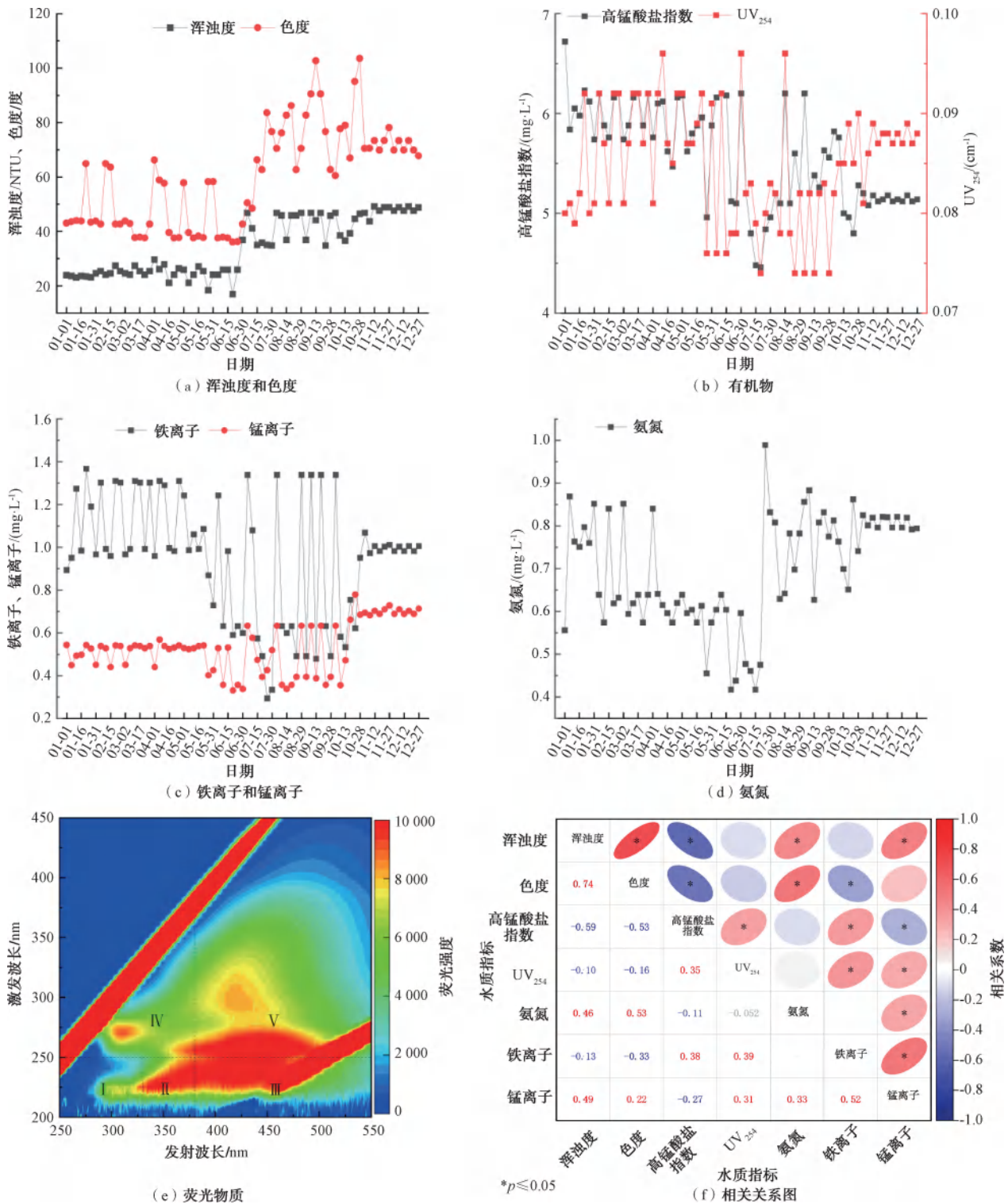


图2 原水水质特性

Fig. 2 Characteristics of Raw Water Quality

锰酸盐指数质量浓度已满足饮用水要求的 3 mg/L; 由图 4(c) ~ 图 4(d) 可知, 常规处理对无机盐的去除效果均较好, 对铁离子、锰离子以及氨氮的平均去

除率分别为 72.18%、89.72% 以及 79.19%, 且此时铁离子和锰离子质量浓度已满足饮用水要求的 0.3 mg/L 和 0.1 mg/L; 由图 4(e) 可知, 常规处理同

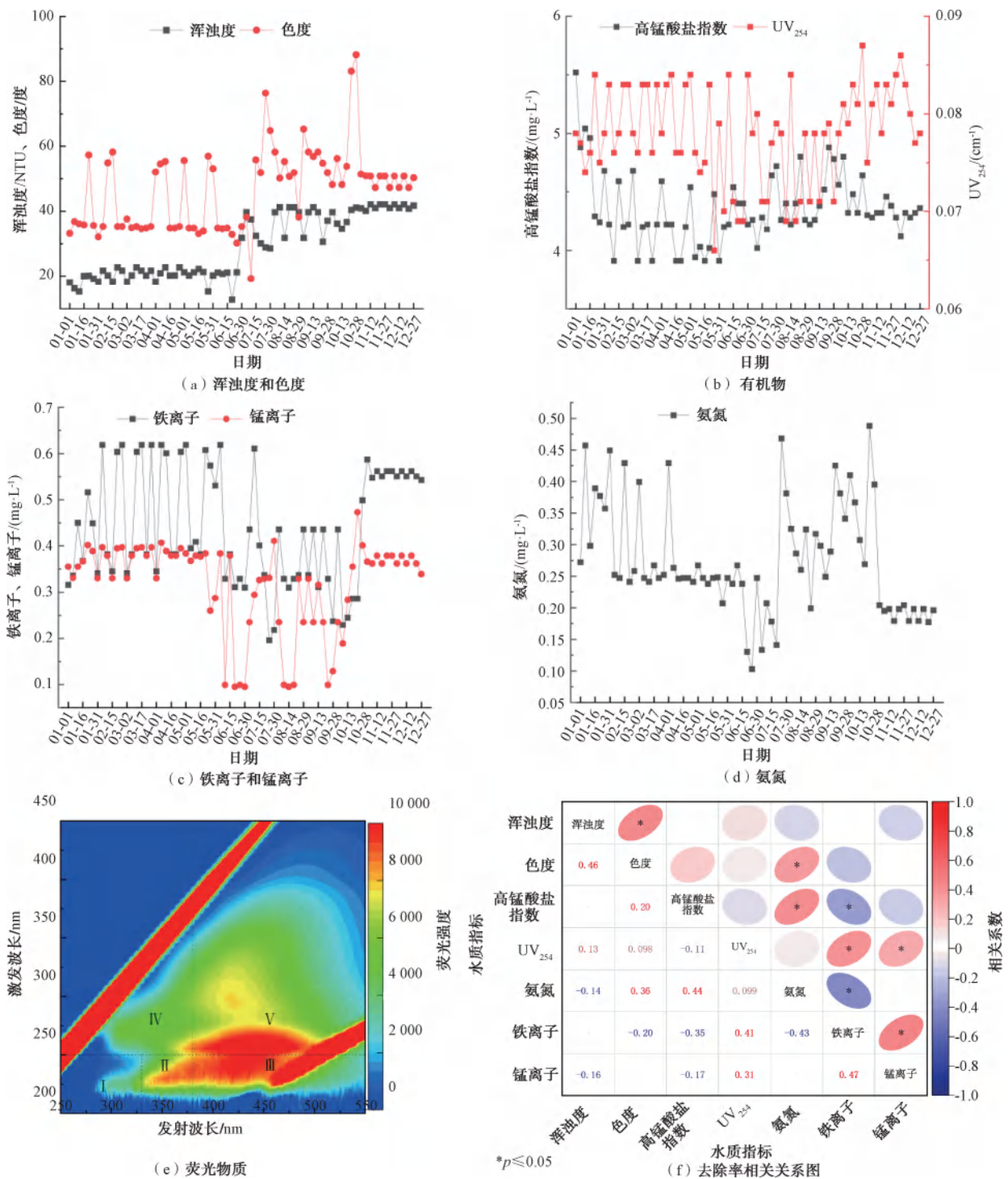


图3 生物接触氧化预处理去除效能

Fig. 3 Removal Efficiency of Biological Contact Oxidation Pretreatment

样可以去除部分荧光物质;此外,由图 4(f)可知,常规处理对铁离子和锰离子的去除呈现一定的正相关性,相关系数为 0.63,而对高锰酸盐指数和铁离子的去除呈现一定的负相关性,相关系数为-0.56。由此可见,絮凝沉淀过滤常规处理首先通过絮凝沉

淀作用产生的压缩双电层、电中和、吸附架桥和沉淀网捕等作用机制在去除水中悬浮物质以及胶体物质的同时协同去除一部分溶解性有机物以及无机盐,随后通过过滤作用产生的筛分、吸附以及微生物降解等作用机制对水中污染物进行进一步去除。

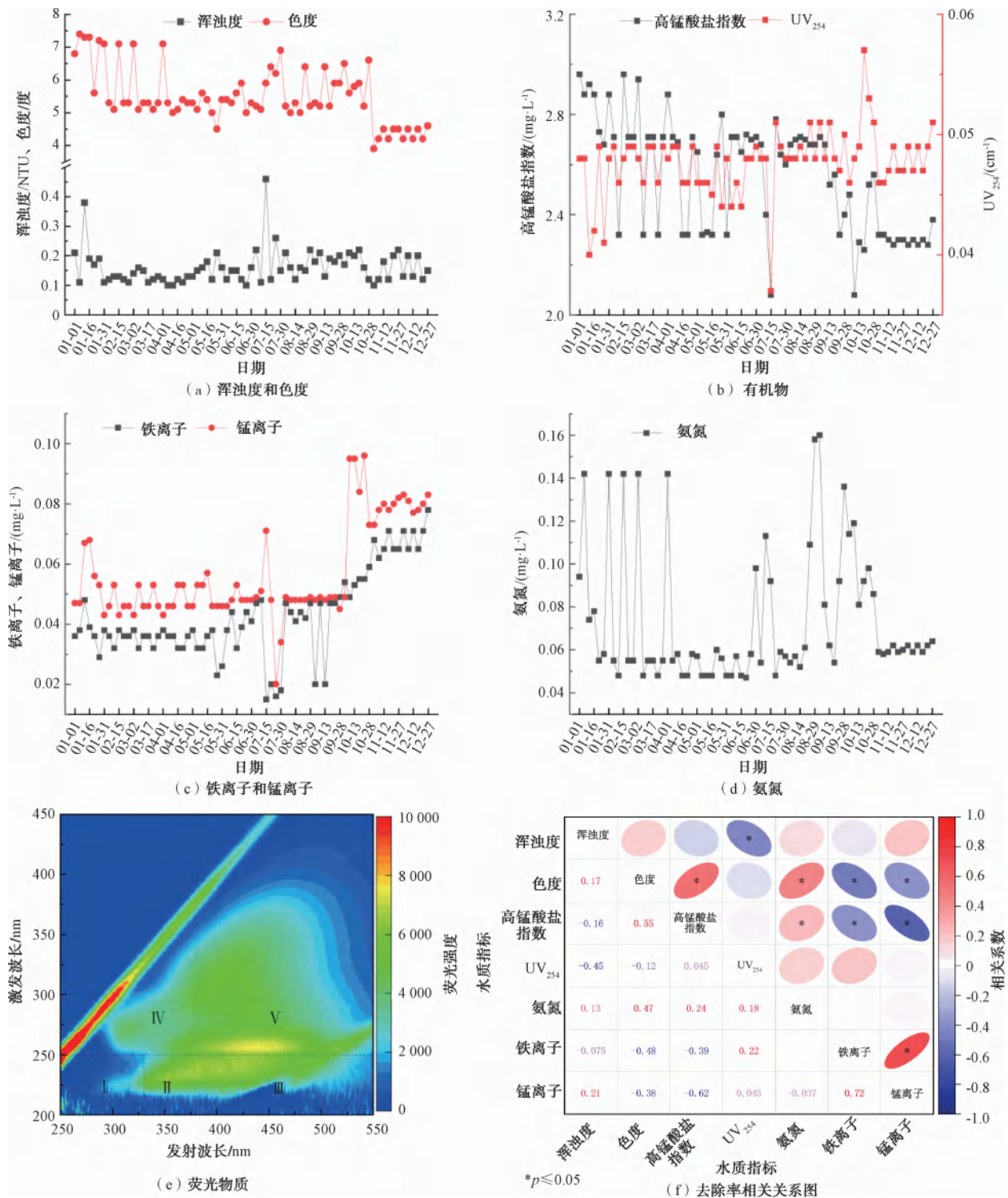


图4 絮凝沉淀过滤常规处理去除效能

Fig. 4 Removal Efficiency of Conventional Treatment of Flocculation, Sedimentation and Filtration

2.2.3 臭氧活性炭深度处理去除效能

臭氧活性炭深度处理对珠江西航道水源水的去除效能如图5所示。由图5(a)可知,臭氧活性炭对浑浊度和色度的去除效能均一般,平均去除率分别

为44.99%和20.18%;由图5(b)可知,臭氧活性炭仅能够去除小部分有机物,对高锰酸盐指数和UV₂₅₄的平均去除率分别为25.46%和19.40%;由图5(c)~图5(d)可知,臭氧活性炭对无机盐的去除效果也一

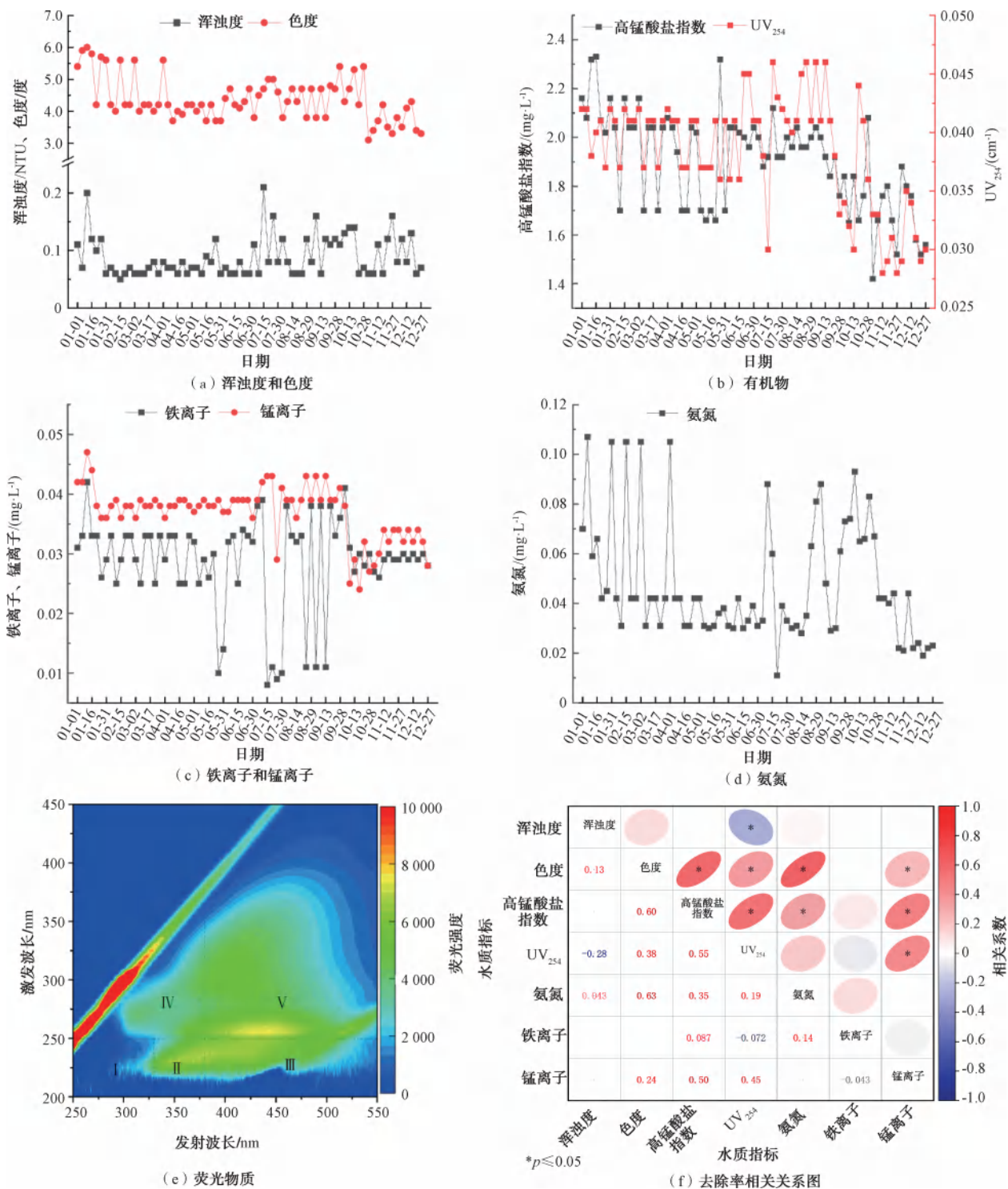


图5 臭氧活性炭深度处理去除效能

Fig. 5 Removal Efficiency of Advanced Treatment of Ozone-Activated Carbon

般,对铁离子、锰离子以及氨氮的平均去除率分别为30.19%、28.79%以及35.99%;由图5(e)可知,臭氧活性炭对荧光物质基本再无去除效果;此外,由图5(f)可知,臭氧活性炭对UV₂₅₄和铁离子、UV₂₅₄和

锰离子以及铁离子和锰离子的去除呈现一定的正相关性,相关系数分别为0.59、0.73以及0.50。由此可见,臭氧活性炭深度处理首先通过臭氧氧化作用初步分解水中的有机物和其他还原性物质,然后通

过活性炭的物理化学吸附作用迅速吸附水中的污染物,最后通过附着生长在活性炭上的微生物的新陈代谢作用实现对水中微生物的去除。

2.2.4 超滤-纳滤深度处理去除效能

超滤-纳滤深度处理对珠江西航道水源水的去

除效能如图 6 所示。由图 6(a) 可知,超滤-纳滤对浑浊度和色度的去除效能均很好,平均去除率分别高达 94.79% 和 86.70%;由图 6(b) 可知,超滤-纳滤能够去除大部分有机物,对高锰酸盐指数和 UV_{254} 的平均去除率分别高达 61.77% 和 84.12%;由图 6

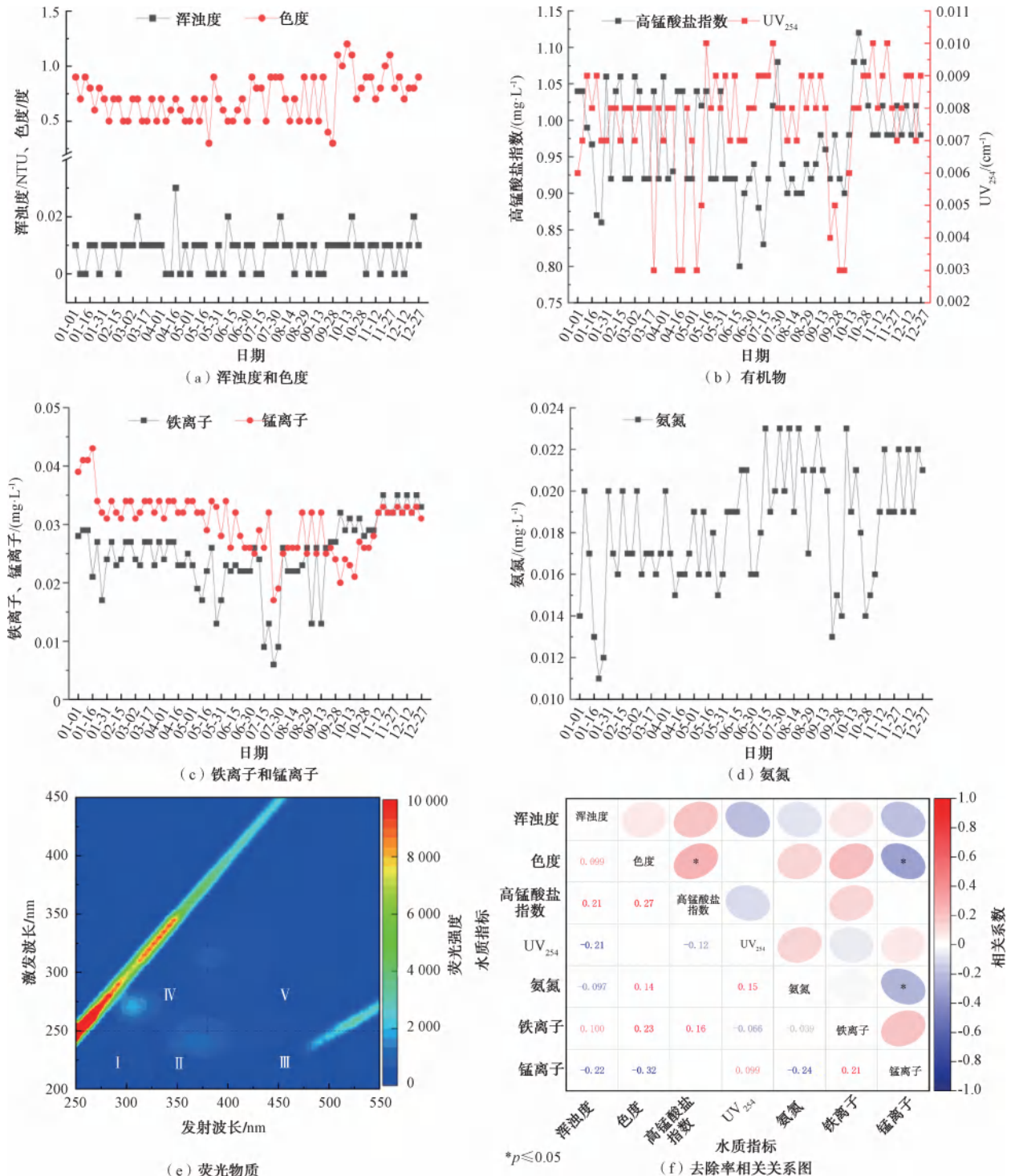


图 6 超滤-纳滤深度处理去除效能

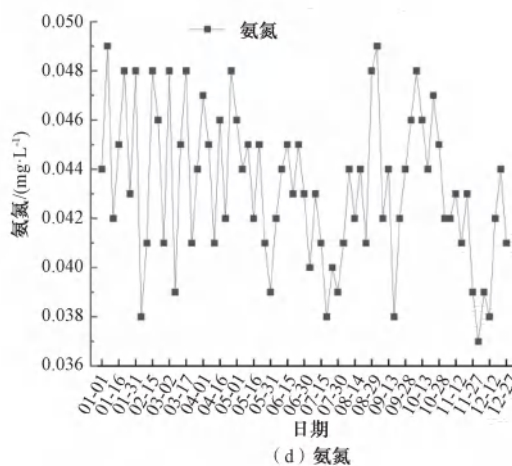
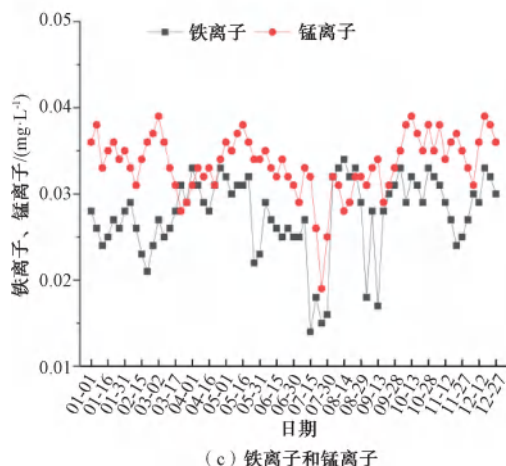
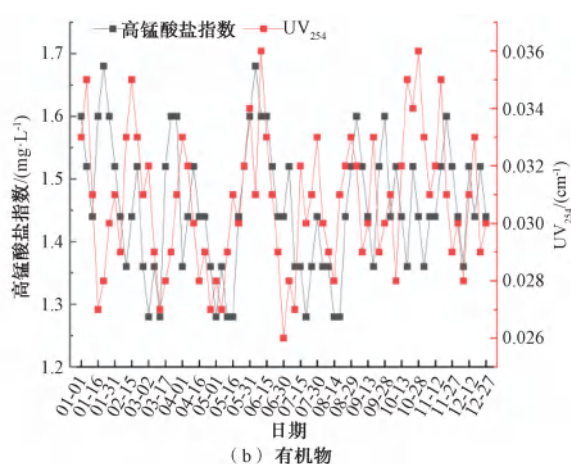
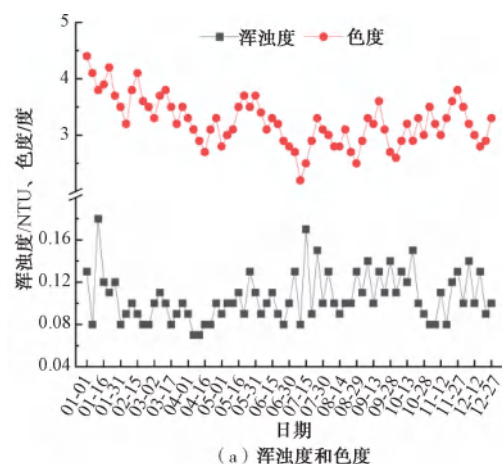
Fig. 6 Removal Efficiency of Advanced Treatment of UF-NF

(c)~图 6(d)可知,超滤-纳滤对无机盐的去除效果也不错,对铁离子、锰离子以及氨氮的平均去除率分别为 40.42%、43.05%以及 71.95%;由图 6(e)可知,超滤-纳滤几乎可以完全去除水中的所有荧光物质;此外,由图 6(f)可知,超滤-纳滤对铁离子和锰离子的去除呈现一定的正相关性,相关系数为 0.61,而对色度和铁离子、色度和锰离子以及高锰酸盐指数和锰离子的去除呈现一定的负相关性,相关系数分别为-0.55、-0.67 以及-0.59。由此可见,超滤-纳滤深度处理首先通过超滤对水中大分子有机物、颗粒数、浑浊度、细菌和病毒等进行截留,然后再通过纳滤对剩余的溶解性小分子有机物以及无机盐等进行去除,从而实现对水中污染物的高效去除,有效地提升了饮用水的水质。

2.2.5 UV 高级氧化深度处理去除效能

UV 高级氧化深度处理对珠江西航道水源水的去除效能如图 7 所示。由图 7(a)可知,UV 高级氧

化能够去除部分浑浊度和色度,平均去除率分别为 32.29%和 39.84%;由图 7(b)可知,UV 高级氧化同样能够去除部分有机物,对高锰酸盐指数和 UV_{254} 的平均去除率分别为 42.65%和 35.35%;由图 7(c)可知,UV 高级氧化也能够去除部分无机盐,对铁离子、锰离子以及氨氮的平均去除率分别为 30.41%、37.43%以及 33.69%;由图 7(d)可知,UV 高级氧化也能够去除水中的部分荧光物质;此外,由图 7(e)可知,UV 高级氧化对铁离子和锰离子的去除呈现一定的正相关性,相关系数为 0.56,而对高锰酸盐指数和锰离子的去除呈现一定的负相关性,相关系数为-0.56。由此可见,UV 高级氧化深度处理首先通过预处理(膜过滤)截留水中的颗粒物和浑浊度等,然后通过 UV 激发 H_2O_2 产生强氧化性的羟基自由基($\cdot OH$)对水中溶解性污染物进行氧化去除,最后通过后处理(活性炭)对剩余的污染物进行吸附去除,从而实现对水中污染物的有效去除。



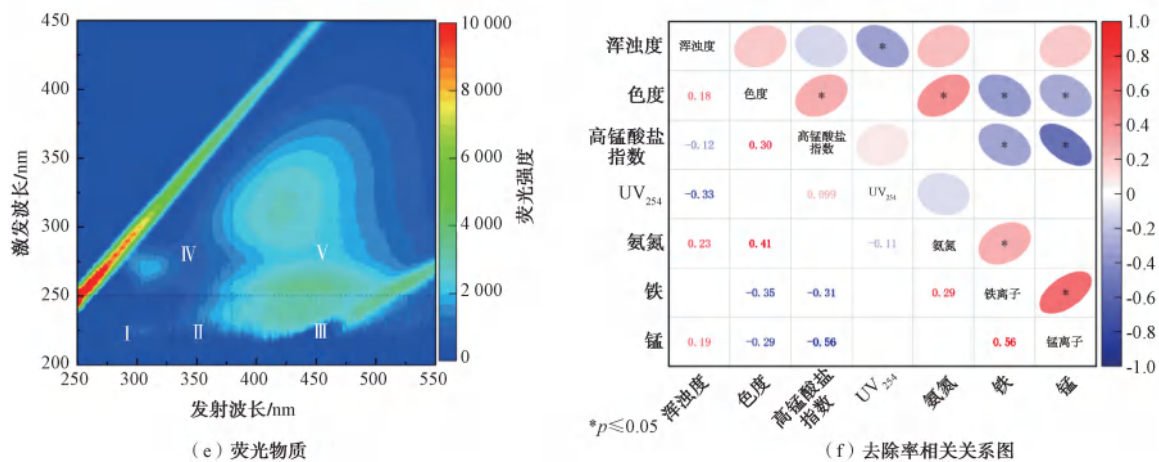


图7 紫外高级氧化深度处理去除效能

Fig. 7 Removal Efficiency of Advanced Treatment of UV-AOP

2.3 全流程工艺运行成本研究

基于全流程工艺运行状况,对全流程工艺运行

成本中的电耗以及药耗进行分析研究,计算结果如表1所示。

表1 全流程工艺运行成本计算

Tab. 1 Calculation of Operation Cost for the Full-Process Treatment

费用类别	预处理	常规处理	臭氧活性炭	超滤-纳滤	紫外高级氧化
电耗/[$(\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot \text{m}^{-3}$]	0.40	0.22	0.26	0.92	0.42
药耗/[$(\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$]	无	15 g PAC	无	1 g 阻垢剂 1 g 还原剂 1 g 杀菌剂	10 g H_2O_2

由表1可知,试验工艺电耗中超滤-纳滤、UV高级氧化以及预处理较高,分别为 0.92 、 0.42 $(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$ 以及 0.40 $(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$,其次是臭氧活性炭以及常规处理,电耗分别为 0.26 $(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$ 以及 0.22 $(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^3$,其中超滤-纳滤中电耗主要来源于增压泵工作所产生的电耗,UV高级氧化则主要来源于提升泵以及UV灯工作所产生的电耗,预处理则主要来源于鼓风机曝气机工作产生电耗,常规处理则主要来源于机械搅拌机以及提升泵工作产生电耗,臭氧活性炭则主要来源于提升泵和臭氧发生器工作产生电耗。而全流程工艺的药耗主要包括常规处理中混凝剂的投加、超滤-纳滤中膜前运行药剂投加以及UV高级氧化中氧化剂的投加。

3 结论

(1)珠江西航道水源属于浑浊度、色度、有机物以及无机盐等污染物浓度偏高的微污染水源,且原水浑浊度与色度、色度与氨氮、铁离子与锰离子有一定的正相关性,而浑浊度与高锰酸盐指数、色度与高锰酸盐指数呈现一定的负相关关系。

(2)生物接触氧化预处理+絮凝沉淀过滤常规

处理可去除试验原水中的大部分污染物,常规出水中浑浊度、色度、高锰酸盐指数、氨氮、铁离子和锰离子等水质指标基本可以满足饮用水国标要求。其中,预处理可有效去除水中的无机盐,对铁离子、锰离子以及氨氮的平均去除率分别为 51.95% 、 39.97% 以及 60.60% ;常规处理则对水中各污染物去除效果均较好,对浑浊度和色度的平均去除率分别为 99.39% 和 87.30% ,对有机物以及无机盐的最高去除率分别约为 41.21% 和 89.72% 。

(3)在常规处理之后增加深度处理可进一步去除水中污染物,提升饮用水水质。其中,超滤-纳滤去除效果最好,对浑浊度和色度平均去除率分别高达 94.79% 和 86.70% ,且对有机物以及无机盐的最高去除率分别约为 84.12% 和 71.95% ;其次是UV高级氧化,对有机物以及无机盐去除率最高分别为 42.65% 和 37.43% ;而臭氧活性炭的去除效果相对而言较差,对浑浊度和色度的平均去除率分别为 44.99% 和 20.18% ,对有机物以及无机盐的最高去除率分别约为 25.46% 和 35.99% 。

(4)总体而言,珠江西航道水源经全流程工艺

处理后浑浊度、色度、高锰酸盐指数、氨氮、铁离子和锰离子等水质指标均可稳定达到饮用水国标要求,且出水水质良好。不同深度处理工艺的去除效果及运行成本均呈现超滤-纳滤>UV 高级氧化>臭氧活性炭的趋势。

参考文献

- [1] 时希杰,肖新建,杨道玲.着力提升城市饮用水品质[J].宏观经济管理,2023(3):74-82.
SHI X J, XIAO X J, YANG D L. Make efforts to improve the quality of urban drinking water [J]. Macroeconomic Management, 2023(3): 74-82.
- [2] AKTER T, JHOHURA F T, AKTER F, et al. Water quality index for measuring drinking water quality in rural bangladesh: A cross-sectional study [J]. Journal of Health, Population and Nutrition, 2016, 35: 4-4. DOI: 10.1186/s41043-016-0041-5.
- [3] 左锐,尹芝华,孟利,等.保障饮用水安全的水质监测分析[J].科技导报,2017,35(5):54-58.
ZUO R, YIN Z H, MENG L, et al. Water quality monitoring and analysis that hinders drinking water safety[J]. Science and Technology Herald, 2017, 35(5): 54-58.
- [4] KUNDU A, SMITH W A, HARVEY D, et al. Drinking water safety: Role of hand hygiene, sanitation facility, and water system in semi-urban areas of India[J]. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 2018, 99(4): 889-898.
- [5] 楚文海,杨旭,肖融,等.长三角地区饮用水安全保障策略研究[J].中国工程科学,2022,24(5):19-25.
CHU W H, YANG X, XIAO R, et al. Strategies for guaranteeing drinking water safety in the Yangtze River Delta [J]. Chinese Engineering Science, 2022, 24(5): 19-25.
- [6] SALEHI M. Global water shortage and potable water safety; today's concern and tomorrow's crisis [J]. Environment International, 2022, 158: 106936. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106936.
- [7] 麻晓宏.水污染防治机制的建设与完善——评《水污染防治行动计划》[J].人民黄河,2021,43(5):10003-10003.
MA X H. The construction and improvement of the water pollution prevention and control mechanism-Review of the *Action Plan for Water Pollution Prevention and Control* [J]. The Yellow River of the People, 2021, 43(5): 10003-10003.
- [8] 王悠,易伟斌.论“水十条”对中国水体污染防治的意义[J].环境科学与管理,2016,41(8):192-194.
WANG Y, YI W B. Significance of "action plan" for prevention and treatment of water pollution to China government water pollution control [J]. Environmental Science and Management, 2016, 41(8): 192-194.
- [9] 张岚.我国饮用水卫生标准的定位、发展与思考[J].给水排水,2023,59(1):16-21.
ZHANG L. The positioning, development and thinking of China's standards for drinking water quality [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 59(1): 16-21.
- [10] 张岚.谈对2022年版《生活饮用水卫生标准》的理解与认识[J].中国给水排水,2023,39(22):1-5.
ZHANG L. Understanding and recognition of *Standards for Drinking Water Quality*(GB 5749—2022) [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(22): 1-5.
- [11] 郭涛,余慧,罗家海,等.广州市饮用水源地安全管理策略研究[J].环境科学与管理,2010,35(10):14-16.
GUO T, YU H, LUO J H, et al. Safety problems in drinking water sources and standardized legal measures [J]. Environmental Science and Management, 2010, 35(10): 14-16.
- [12] 王建平.广州市西江引水工程全面提升中心城区供水现代化水平[J].中国给水排水,2011,27(2):1-4.
WANG J P. Xijiang River water diversion project for completely improving water supply modernization level in central urban area of Guangzhou [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(2): 1-4.
- [13] 宋刚,汤泽平,陈迪云,等.广州市供水水源面临的问题和对策[J].环境科学与技术,2010,33(3):184-188.
SONG G, TANG Z P, CHEN D Y, et al. Water supply sources in Guangzhou City: Problems and countermeasures [J]. Environment Science & Technology, 2010, 33(3): 184-188.
- [14] 逢勇,许仁义,李标.广州西航道主要水源地水质达标分析[J].河海大学学报(自然科学版),2005,33(4):375-377.
PANG Y, XU R Y, LI B. Analysis of water quality achievable of main water source places along the west channel of Guangzhou City [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2005, 33(4): 375-377.
- [15] 常颖,杨士发,魏日强,等.广州市西北部三座水厂全部置换西江水源[J].中国给水排水,2011,27(22):1-4.
CHANG Y, YANG S F, WEI R Q, et al. Introduction to Xijiang River water source replacement of water supply plants in northwest of Guangzhou [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(22): 1-4.
- [16] WU X W, HE J G, YIN W X, et al. Research on the removal efficiency and membrane fouling analysis of nanofiltration membranes under the combined pollution of emerging contaminants [J]. Journal of Water Process Engineering, 2024, 67: 106196. DOI: 10.1016/j.jwpe.2024.106196.
- [17] 罗敏,周超.第三方治理:城市环境治理的逻辑转向——以珠江—西江经济带为例[J].广西社会科学,2019(12):66-72.
LUO M, ZHOU C. Third-party governance: The logical shift in urban environmental governance [J]. Social Sciences Guangxi, 2019(12): 66-72.

(下转第158页)

- 123.
- [7] 洪林,李瑞鸿. 南方典型灌区农田地表径流氮磷流失特性[J]. 地理研究, 2011, 30(1): 115-124.
HONG L, LI R H. Characteristics of nitrogen and phosphorus losses in surface runoff from farmland in a typical irrigation district in southern China[J]. Geographical Research, 2011, 30(1): 115-124.
- [8] 严坤. 三峡库区农业生产方式改变及其对水土流失与面源污染影响——以万州区五桥河流域为例[D]. 成都: 中国科学院大学, 2020.
YAN K. Changes in agricultural production activity and its impacts on the soil erosion and non-point source pollution in the three gorges reservoir area: A case study of the Wujiaohe watershed in Wanzhou District [D]. Chengdu: University of Chinese Academy of Sciences, 2020.
- [9] 陈开放. 不同降雨和施肥条件下茶园坡地地表径流和壤中流氮磷流失通量研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.
CHEN K F. Study on the loss flux of nitrogen and phosphorus in tea garden slopes under different rainfall and fertilization conditions[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2020.
- [10] 陈乾. 菜地环保施肥及其径流氮磷减排技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
CHEN Q. Environmental friendly fertilization and runoff N/P emission reduction technology in vegetable fields [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [11] 罗楠. 滇池东岸大棚种植区农业面源污染模拟及高效截流方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
LUO N. Simulation Study on agricultural non-point source pollution and efficient closure in greenhouse region in the east coast of Dianchi Basin[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [12] 任玉芬,王效科,欧阳志云,等. 北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析[J]. 环境科学, 2013, 34(1): 373-378.
REN Y F, WANG X K, OUYANG Z Y, et al. Analysis of first flush effect of typical underlying surface runoff in Beijing urban city[J]. Environmental Science, 2013, 34(1): 373-378.
- [13] 王星海,来庆云,杜靖宇,等. 宁波市城区不同下垫面降雨径流水质特征分析[J]. 环境工程, 2016, 34(s1): 312-316.
WANG X H, LAI Q Y, DU J Y, et al. Analysis on water-runoff pollutions of different underlying surfaces in Ningbo [J]. Environmental Engineering, 2016, 34(s1): 312-316.
- [14] QICHUN Z, HAIDER I S, JINWEN W, et al. Surface runoff and nitrogen (N) loss in a bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forest under different fertilization regimes [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2013, 20(7): 4681-4688.
- [15] 田艳,马友华,胡宏祥,等. 农田土壤中氮的环境指标研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(7): 142-147.
TIAN Y, MA Y H, HU H X, et al. Environmental indicator of soil nitrogen in farmland [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(7): 142-147.

(上接第 77 页)

- [18] 尹文选,赫俊国,张道义,等. 超滤纳滤双膜工艺处理珠江西航道水源水的试验研究[J]. 给水排水, 2024, 50(7): 54-62.
YIN W X, HE J G, ZHANG D Y, et al. Experimental study on the treatment of Pearl River Western Navigation Channel raw water by ultrafiltration-nanofiltration dual membrane process[J]. Water & Wastewater Engineering, 2024, 50(7): 54-62.
- [19] 钟志聪,赫俊国,吴学伟,等. 臭氧活性炭工艺处理多种新污染物复合污染研究[J]. 给水排水, 2024, 50(3): 1-11.
ZHONG Z C, HE J G, WU X W, et al. Study on the treatment of multiple new pollutant compound pollution by ozone activated carbon process[J]. Water & Wastewater Engineering, 2024, 50(3): 1-11.
- [20] 陈燕波,潘名宾,司徒菲,等. 基于饮用水安全优质保障的全流程水厂设计思考[J]. 净水技术, 2022, 41(7): 1-6.
CHEN Y B, PAN M B, SITU F, et al. Consideration on the design of whole-process waterworks based the safety and quality guarantee of drinking water[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(7): 1-6.