

工程实例

DOI: 10.19965/j.cnki.iwt.2021-1341

开放科学(资源服务)
标识码(OSID):



MABR+微纳米曝气技术在马厂减河治理中的应用

梁静波^{1,2}, 岳会发^{1,2}, 杨振奇¹, 杜儒林¹, 孙长江¹

(1. 中建六局水利水电建设集团有限公司, 天津 300202;

2. 中国建筑第六工程局有限公司, 天津 300090)

[摘要] 河道水体是地球水资源的重要组成部分。对河道进行治理可以满足工农业生产的发展需求, 以及人们基本生活的需要。以天津市马厂减河治理示范项目为例, 采用膜曝气生物反应器(MABR)+微纳米曝气组合技术对河道进行治理, 既可提升河道水的溶解氧含量, 又能实现水体的净化。该河道共设置 MABR 组件 160 组、曝气管 12 套、鼓风机 24 台(12 用 12 备)、微纳米曝气设备 7 台, 具有一定的抗冲击能力。结果表明: 系统稳定运行 6~8 周后, 水质达到稳定。其中, DO、COD、NH₃-N、TP 分别为 2.21、33.92、1.88、0.37 mg/L, COD、NH₃-N、TP 的去除率分别达到 47.00%、44.38%、13.95%, DO 增加 31.55%。对该河道实施治理后, 水质可达到地表水环境质量 V 类标准。该组合技术具有工程、成本及运行管理方面的优势, 特别适于河道、湖泊等流域的治理, 其应用可为类似中小河道水质净化的工程项目提供技术模式和实践经验。

[关键词] 膜曝气生物反应器; 微纳米曝气; 河道治理

[中图分类号] TV85 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2022)12-0160-05

Application of MABR and micro-nano aeration technology in Machangjian river regulation

LIANG Jingbo^{1,2}, YUE Huifa^{1,2}, YANG Zhenqi¹, DU Rulin¹, SUN Changjiang¹

(1. China Construction Sixth Engineering Bureau Hydropower Construction Co., Ltd., Tianjin 300202, China;

2. China Construction Sixth Engineering Bureau Co., Ltd., Tianjin 300090, China)

Abstract: As an important part of the earth's water resources, the treated river can meet the needs of industrial and agricultural production, as well as the basic needs of people's lives. Take the Tianjin Machangjian River treatment demonstration project as an example, the use of combined membrane aeration bioreactor(MABR) and micro-nano aeration technology for river treatment was presented. It can both improve the dissolved oxygen content of river and purify the water body. A total of 160 sets of MABR components, 12 sets of aeration pipes, 24 sets of blowers (12 for use and 12 for standby) and 7 sets of micro-nano aeration equipment were installed in the river with certain impact resistance. The results showed that the water quality was stable after 6-8 weeks of stable operation of the system. DO, COD, NH₃-N and TP were 2.21 mg/L, 33.92 mg/L, 1.88 mg/L and 0.37 mg/L, respectively. The removal rates of COD, NH₃-N and TP reached 47.00%, 44.38% and 13.95%, respectively, and DO increased by 31.55%. After the river was treated, the water quality could reach Class V of surface water environmental quality category. The combined technology has the advantages of engineering, cost and operation management, especially suitable for the treatment of river, lake and other watersheds. The application can provide a valuable technical model and practical experience for similar small and medium-sized river purification projects.

Key words: membrane aeration bioreactor; micro-nano aeration; regulation of river

目前主流的河道治理修复技术包括物理法、化学法和生物法。其中物理法包括人工曝气、污染底

泥疏浚等。化学法主要是添加化学物质和吸附剂。生物法通过特定的生物(包括微生物、植物等)吸收、

[基金项目] 中建六局科技研发计划资助项目(CSCEC6B-2021-Z-10)

转化、降解或清除环境污染物,以实现环境净化及生态恢复,包括微生物修复技术、植物修复法、生态浮床及人工湿地等^[1-2]。

膜曝气生物反应器(MABR)是一种融合气体分离膜技术和生物膜处理技术的新型水处理技术^[3]。微生物膜附着生长在透氧中空纤维膜表面,水体在透氧膜周围流动时,污染物在浓差驱动和微生物吸附等作用下进入生物膜内,经过生物代谢和增殖被微生物利用,同化为微生物菌体固定在生物膜上或分解成无机代谢产物,从而实现对水体的净化。MABR是一种人工强化的生态水处理技术,能使河道水体形成循环的具备自我修复功能的自净化水生态系统^[4-7]。曝气供氧时氧气利用率高,通过控制供氧可使生物膜产生明显分层,从而达到去除污染物的效果^[8-11]。

微纳米曝气技术通过水泵加压,使曝气头内部的曝气石高速旋转,在离心力作用下内部形成负压区;空气通过进气口进入负压区,在容器内分为周边液体带和中心气体带,高速旋转均匀分割成直径为5~30 μm 的微纳米气泡。由于气泡细小,不受空气在水中溶解度的影响,且不受温度、压力等外部条件限制,可在水体中长时间停留,具有良好的气浮效果。

天津市马厂减河的水环境治理中应用了以上组合技术,即MABR作为主要处理工艺,微纳米曝气为辅助处理工艺。与常规水处理技术相比,该组合技术具有技术、工程、成本方面的优势,以及运行管理优势,特别适于河道、湖泊等流域治理。

1 材料与方法

1.1 河道概况

该河道上口宽约42~50 m,底宽约12 m,河底高程-2.7 m,由于河坡度很缓,河道上、下游设有节制闸,水体平时流动速度小,污染物及营养物质发生沉积,水体基本丧失自净能力,水质恶化。水中的溶解氧、COD、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、总磷分别为1.68(1.42)、64(78)、3.38(4.41)、0.43(0.52) mg/L (括号内数字为最大允许超标值)。该河道水质劣于地表水V类,主要超标项目为COD,主要超标月份为每年的3月—9月。

1.2 试验材料

MABR包括曝气膜组件和生物膜,去除污染物的主要功能层是附着生长在曝气膜表面的生物膜。

将膜组件安装于河道内,布设供气管道并安装配套风机设备,以保证膜系统氧的供应。膜组件为中空纤维帘式膜组件,尺寸为2 140 mm $\times$ 210 mm,膜丝有效长度为2 000 mm,有效膜表面积 $\geq 3.5 \text{ m}^2$,单件干膜气体通量 $\geq 0.5 \text{ m}^3/\text{h}$,膜壳材质为UPVC,膜壳接口尺寸(内接)25 mm,膜材质为复合高分子材料,膜结构为均质复合膜(非涂层),膜丝内径300~450 μm ,膜丝外径700~850 μm ,膜丝平均断裂拉伸强度 $\geq 25 \text{ N}$,工作气压0.005~0.085 MPa,适应温度-15~45 $^\circ\text{C}$ 、pH在3~13。

微纳米气泡发生装置主要由发生装置、微纳米曝气头及连接管件组成。每台设备气水流量为6 m^3/h ,服务面积为1 500 m^2 。微纳米曝气设备规格:服务面积 $\geq 1 500 \text{ m}^2$ 、尺寸 $D 1 000 \text{ mm} \times 1 400 \text{ mm}$ 、功率0.8 kW、气水流量 $\geq 6 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

1.3 系统布置

在该河道泵站及闸门、支流支渠汇入口、排污口、雨洪排口等共12处设置强化耦合生物膜组件,同时在7处重点污染河段各布设微纳米曝气设备。其中,河道治理段总长度1 800 m,MABR膜组件160组。根据河道宽度选择顺水流或垂直水流放置。膜组件供气采用沉水风机(3.3 m^3/min ,50 kPa,5.5 kW)。工程使用的水质净化设备包括:MABR组件160组、曝气管12套、鼓风机24台(12用12备)、微纳米曝气设备7台、电控系统12套。

当河道宽度 $< 10 \text{ m}$ 时,MABR膜组件采用对齐排列模式;当河道宽度 $> 10 \text{ m}$ 时,MABR膜组件采用错位排列模式,见图1。膜组件固定在河道底部,间距10 m一组,每组膜组件单元由15个单组件构成。施工布置可根据河道具体情况调整膜支架结构和膜组件单元内单组件个数。其安装轴侧图见图2。

1.4 采样及检测方法

运行期间从河道下游断面采集水样,每周采样1次,持续24周,共采集24个样品。溶解氧采用电化学探头法(GB 11913—1989)现场测定,COD采用重铬酸盐法(GB 11914—1989)测定,氨氮采用纳氏试剂比色法(GB 7479—1987)测定,总磷采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—1989)测定。检测结果与河道治理前上年度同期水样的检测结果进行比较。

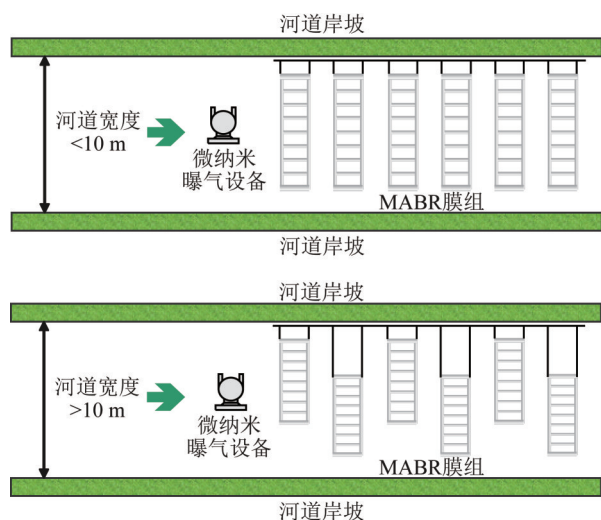


图1 MABR+微纳米曝气技术平面示意

Fig. 1 Plan view of MABR+micro-nano aeration technology

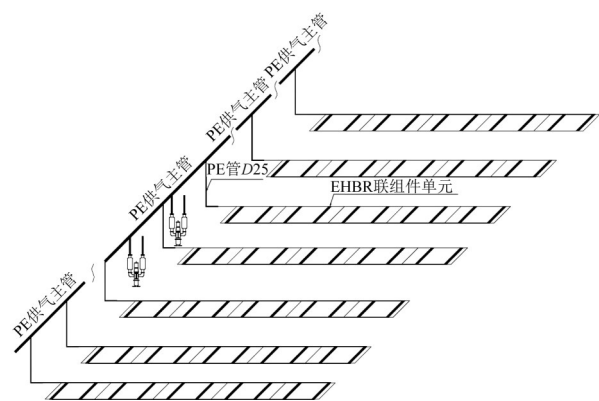


图2 MABR安装轴侧图

Fig. 2 Axonometric view of MABR installation

2 结果与讨论

2.1 对COD的净化效果

工程正式运行后, COD 随时间的变化曲线见图3。

如图3所示, 随着运行时间的延长, COD 逐渐下降, 其中第1周至第6周 COD 下降速率较快, 约2周内 MABR 膜组件已形成生物膜, 吸收效果逐渐增加, 6周内 COD 降解率为 27.5%; 第7周开始 COD 达到地表水 V 类标准, 且由于 MABR 膜组件上的生物量趋于稳定, 随着运行时间的延长, 河道水中的 COD 也基本稳定, 平均值为 33.92 mg/L。以上结果表明, 应用 MABR+微纳米曝气组合技术运行 7 周后, 可使河道内 COD 达到地表水 V 类标准, 并能稳定达标。

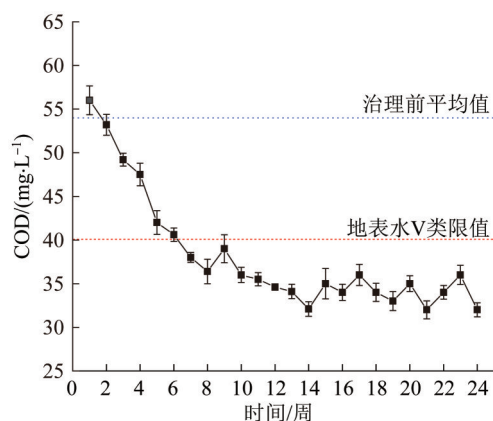


图3 COD 随时间变化情况

Fig. 3 COD variation with time

2.2 DO 变化情况

工程正式运行后 DO 随时间的变化曲线如图4所示。

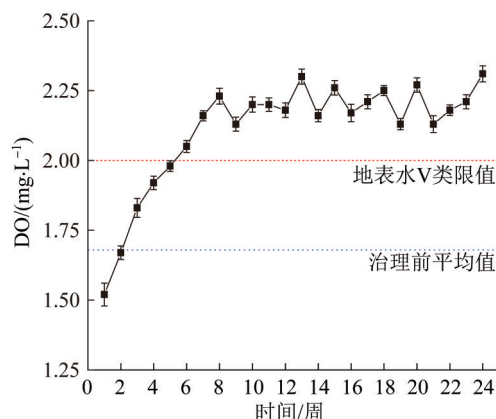


图4 DO 随时间变化曲线

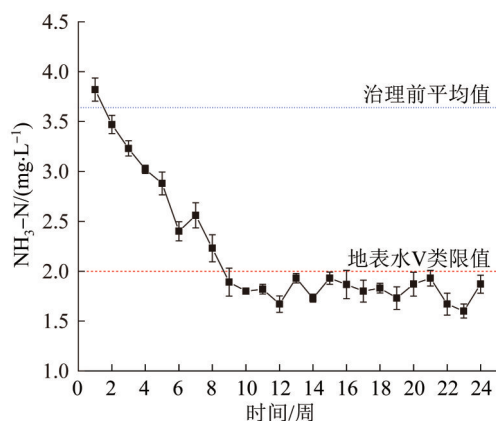
Fig. 4 DO variation with time

由图4可见, 随着运行时间的增加, DO 逐渐上升, 其中第1周至第5周 DO 增速较快, 主要原因是微纳米曝气设备的投入使用可快速增加 DO; 从第6周开始 DO 可达到地表水 V 类标准, 并随运行时间的延长而基本稳定, 平均值为 2.21 mg/L。MABR+微纳米曝气组合技术运行 6 周后可使河道内 DO 达到地表水 V 类标准, 并稳定达标。

2.3 对NH₃-N的净化效果

工程正式运行后 NH₃-N 随时间的变化曲线见图5。

如图5所示, 第1周至第8周 NH₃-N 下降速率较快, 从第9周开始 NH₃-N 达到地表水 V 类标准, 并随运行时间的增长, NH₃-N 基本稳定, 平均为 1.88 mg/L。结果表明, 该组合技术运行 9 周可使河道内 NH₃-N 达到

图5 $\text{NH}_3\text{-N}$ 随时间变化曲线Fig. 5 $\text{NH}_3\text{-N}$ variation with time

地表水 V 类标准,并稳定达标。

2.4 对 TP 的净化效果

工程正式运行后 TP 随时间的变化曲线见图 6。

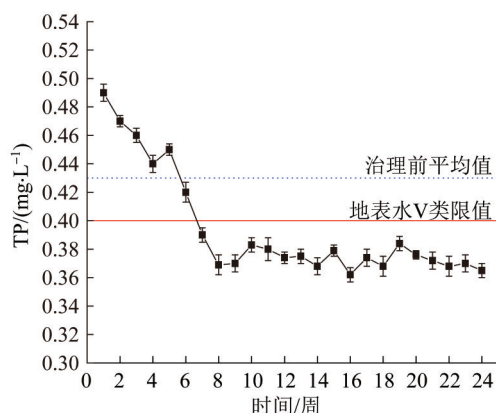


图6 TP 随时间变化曲线

Fig. 6 TP variation with time

图6中,随着运行时间的延长 TP 逐渐下降,第1周至第6周 TP 降速较快,第7周开始 TP 达到地表水 V 类标准,此后 TP 保持稳定,平均为 0.37 mg/L。该组合技术运行 7 周后可使河道内 TP 达到地表水 V 类标准,并稳定达标。

2.5 稳定运行后净化效果分析

采用 MABR+微纳米曝气组合技术对该河道进行治理后,DO、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 分别在运行 6、7、9、7 周后达到地表水 V 类标准限值,稳定运行后净化效果见表 1。

由表 1 可见,该组合技术对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的去除率为 47.00%、44.38%、13.95%,DO 可增加 31.55%。综上,该组合技术所需试运行期为 6~8 周,此阶段 MABR

表 1 稳定运行后净化效果分析

Table 1 Analysis of purification effect after stable operation

项目	治理前/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	治理稳定后/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	去除(增长)率/%
DO	1.68	2.21	31.55
COD	64	33.92	47.00
$\text{NH}_3\text{-N}$	3.38	1.88	44.38
TP	0.43	0.37	13.95

膜组件上的生物量达到一定规模,同时通过微纳米曝气设备可进一步改善河道溶解氧含量,使生物量增长速率加快,缩短试运行期。稳定运行后河道水质达到地表水环境 V 类标准要求。

3 结论与展望

为消除劣 V 类河道水体,工程应用 MABR+微纳米曝气组合技术。6~8 周后该组合技术能稳定运行较长时间,且具有一定的抗冲击能力,治理过程中可改善河道水的溶解氧含量,一定程度上削减 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP,使河道水质总体达到 V 类水体标准。该项组合技术的应用为类似中小河道水质净化的工程项目提供了技术模式和实践经验。

对于该项组合技术,可进一步研究及优化应用运行条件,可从曝气量优化、曝气时段优化、不同流速下膜组件布置优化等方面考虑,在保证水质的条件下进一步降低运行成本,提升运行的稳定性。同时,河道治理与净化技术的运用,仅仅是城市水体治理的一种手段,还需通过管理手段、智慧化手段等综合治理,方可达到水安全、水资源、水环境、水文化、水景观、水生态、水管理、水经济的治理目标。

参考文献

- [1] 陈文华,潘超群,厉雄峰,等. MABR 技术在农村生活污水治理上的应用[J]. 水处理技术, 2019, 45(5): 126-128.
CHEN Wenhua, PAN Chaoqun, LI Xiongfen, et al. The application research on rural domestic wastewater by MABR[J]. Technology of Water Treatment, 2019, 45(5): 126-128.
- [2] 陈珺. 未来污水处理工艺发展的若干方向、规律及应用[J]. 给水排水, 2018, 54(2): 129-141.
CHEN Jun. The sirections, principles and application of future wastewater treatment process development[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 54(2): 129-141.
- [3] 杨玥,钟惠舟. MABR 与微生物菌剂联用治理小型黑臭河道的效果[J]. 环境工程技术学报, 2020, 10(5): 853-859.
YANG Yue, ZHONG Huizhou. Study on the treatment effect of a small black and odorous river by MABR and microbial inoculant[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2020, 10(5): 853-859.

- [4] 李浩, 李鹏, 李波, 等. MABR用于城市景观河道水体修复的研究[J]. 膜科学与技术, 2016, 36(6): 101-107.
LI Hao, LI Peng, LI Bo, et al. Study on MABR application in city river bioremediation[J]. Membrane Science and Technology, 2016, 36(6): 101-107.
- [5] 韩振为, 苏晓叶, 纪志永, 等. 无泡曝气膜生物反应器在废水处理中的研究及应用[J]. 水处理技术, 2007, 33(7): 6-10.
HAN Zhenwei, SU Xiaoye, JI Zhiyong, et al. Researches and application of membrane-aerated biofilm reactor in wastewater treatment[J]. Technology of Water Treatment, 2007, 33(7): 6-10.
- [6] 练继建, 孙亚楠, 马超, 等. 膜曝气生物膜-生态浮床组合装置开发及其水体净化效果研究[J]. 水利水电技术, 2019, 50(6): 142-149.
LIAN Jijian, SUN Yanan, MA Chao, et al. Study on development of membrane aeration biofilm reactor and eco-floating bed integrated assembly and its water purification effect[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2019, 50(6): 142-149.
- [7] 潘超群, 胡齐福, 牛会星, 等. 曝气生物膜反应器处理受污染河道水体实验研究[J]. 水处理技术, 2020, 46(10): 124-127.
PAN Chaoqun, HU Qifu, NIU Huixing, et al. Experimental study on the treatment of polluted river by MABR[J]. Technology of Water Treatment, 2020, 46(10): 124-127.
- [8] 盛一楠, 邓慧萍, 周好磊, 等. 2种超滤膜在膜-粉末炭生物反应器中处理沉后水的对比研究[J]. 水处理技术, 2016, 42(12): 79-83.
SHENG Yinan, DENG Huiping, ZHOU HaoLei, et al. Research between two ultrafiltration membranes for treatment of effluent from sedimentation tank in MABR process[J]. Technology of Water Treatment, 2016, 42(12): 79-83.
- [9] 宫志杰. MABR用于上海城市河道水生态修复的初步研究[J]. 科学技术创新, 2019(32): 109-111.
GONG Zhijie. Preliminary study on MABR for ecological restoration of urban river water in Shanghai[J]. Scientific and Technological Innovation, 2019(32): 109-111.
- [10] 孙治治, 李保安, 李玫, 等. 基于MABR的市政污水处理强化脱氮中试研究[J]. 化学工业与工程, 2020, 37(6): 61-71.
SUN Zhiye, LI Baoan, LI Mei, et al. Pilot study on enhanced nitrogen removal of municipal wastewater treatment based on MABR[J]. Chemical Industry and Engineering, 2020, 37(6): 61-71.
- [11] 李玫, 李保安, 兰美超, 等. 新型MABR生物脱氮过程研究进展[J]. 膜科学与技术, 2020, 40(1): 260-265.
LI Mei, LI Baoan, LAN Meichao, et al. Research progress of biological nitrogen removal in MABR[J]. Membrane Science and Technology, 2020, 40(1): 260-265.
- [作者简介] 梁静波(1983—), 博士, E-mail: ljb19831120@163.com。
[收稿日期] 2022-10-25(修改稿)

·国内外水处理技术信息·

多级介孔青铜相/锐钛矿相异相结TiO₂及其绿色制备方法与其在抗生素降解中的应用——王倩, 房欣欣, 刘媛, 等. CN 112337453A

本发明涉及多级介孔青铜相/锐钛矿相异相结TiO₂及其绿色制备方法与其在抗生素降解中的应用,属于绿色、清洁合成和光催化领域。以尿素和乳酸为氢键供体共用同一氢键受体氯化胆碱合成的低共熔溶剂为溶剂,模板剂兼晶型调控剂,以钛酸四丁酯为钛源,在反应温度为110~180℃,反应时间1~48 h的条件下制备银耳状青铜相/锐钛矿相异相结二氧化钛催化剂,该催化剂由介孔超薄纳米

片自组装而成,具有大的比表面积。此外,获得的银耳状TiO₂在水体中多重抗生素的光催化降解反应中展现出较高的活性。该方法合成过程温和绿色、比表面积大,具有青铜相/锐钛矿相异相结,易实现批量制备,可降解多种抗生素且降解效率高等优点。