



白洋淀污染鱼塘水体异位水质提升 工艺试验研究

栾桂荣，董先锋，黄佳音，李鑫斐，王占军，史浩良

(中交(天津)生态环保设计研究院有限公司, 天津 300202)

摘要: 以白洋淀污染鱼塘水体为研究对象, 开展了磁混凝-磁分离+生态塘、磁混凝-磁分离+芦苇湿地、生物超深净化处理系统、磁混凝-磁分离+生物超深净化处理系统+芦苇湿地 4 种异位水质提升工艺的工程化试验研究。结果表明, 磁混凝-磁分离工艺对污染塘水的 COD、TP 去除率分别为 42.7%、88.66%; 生物超深净化处理系统对污染塘水的 COD、TP 去除率分别为 60.50%、95.59%, 处理后水质主要指标均可达到地表水环境质量 III 类水质标准; 磁混凝-磁分离+生物超深净化处理系统对污染塘水的 COD、TP 去除率分别为 62.96%、94.07%, 与生物超深净化系统单独运行相比, 生物深度净化系统可进一步降解磁混凝-磁分离出水中污染物, 但最终出水与生物系统单独运行相比不具优势; 芦苇湿地对设备出水水质具有一定改善作用, 对整套处理系统出水的 COD、TP 的去除率分别约为 16.08% 和 33.1%。

关键词: 白洋淀; 污染鱼塘; 异位处理; 水质提升

中图分类号: X 55; U 61

文献标识码: A

文章编号: 1002-4972(2022)S2-0015-07

Experimental study on ex-situ water quality improvement processes of polluted fish ponds in Lake Baiyangdian

LUAN Gui-rong, DONG Xian-feng, HUANG Jia-yin, LI Xin-fei, WANG Zhan-jun, SHI Hao-liang

(CCCC Tianjin Eco-Environmental Protection Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300202, China)

Abstract: Taking polluted fish ponds in Lake Baiyangdian as the research object, this paper carries out engineering tests for four different ex-situ water quality improvement processes, namely, magnetic coagulation-magnetic separation + ecological pond, magnetic coagulation-magnetic separation + reed wetland, biological ultra-deep purification treatment system, magnetic coagulation-magnetic separation + biological ultra-deep purification system + reed wetland. The results reveal that the chemical oxygen demand(COD) and total phosphorus(TP) removal rates of polluted pond water by the magnetic coagulation-magnetic separation process are 42.7% and 88.66%, respectively. Those by the biological ultra-deep purification treatment system are 60.50% and 95.59%, respectively, and after treatment, the main water quality indexes can reach the standards of Class III in GB3838-2002. If the magnetic coagulation-magnetic separation and the biological ultra-deep purification treatment system are combined to treat the polluted fish pond water, the COD and TP removal rates are 62.96% and 94.07%, respectively. Compared with the biological ultra-deep purification system, the combination can further degrade the pollutants in the effluent produced by the magnetic coagulation-magnetic separation process, but the final effluent is not superior to that by the biological system alone. Reed wetlands can improve the effluent quality to a certain extent, and the COD and TP removal rates of the effluent of the whole treatment system are about 16.08% and 33.1%, respectively.

Keywords: Lake Baiyangdian; polluted fish pond; ex-situ treatment; water quality improvement

收稿日期: 2022-02-10

作者简介: 栾桂荣(1993—), 男, 硕士, 助理工程师, 研究方向为污水处理技术及膜污染控制。

白洋淀作为华北平原最大的淡水湖泊，素有“华北明珠”之称^[1]，具有调节气候、补充地下水及维持生物多样性等生态功能。近年来，随着白洋淀流域工农业的发展及人口的增长，大量的生活污水、家禽畜牧业的废弃物、粪便直接或间接被排入淀内，造成水体氮、磷含量超标，富营养化严重，使水生态环境遭受了严重的破坏^[2-3]，对白洋淀水环境的治理已成为当务之急。

河湖污染水治理措施主要有原位修复^[4]和异位修复技术^[5]。原位修复技术主要包括生态浮岛^[6]、环保清淤^[7]等技术，治理周期长，效果不显著；异位修复技术具有周期短、效果明显等特点，已成为治理河湖污染水体的趋势。

异位修复技术主要是利用水处理设备处理污水，可对水体中污染物进行快速降解，以往的水处理设备较为笨重、拆卸复杂、移动不便，而且往往随着悬浮物(SS)浓度的下降，对化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)与总磷(TP)等指标的去除效果也逐渐减弱。因此，亟需寻求一种结构简单、操作方便、可移动、便于组装、净化效果稳定，出水水质可达到地表水Ⅲ类水质标准的异位处理设备，来应对我国日益严峻的河、湖、坑塘等地表水污染问题。

本文以白洋淀污染鱼塘水体为研究对象，以处理后水质主要指标达到地表水Ⅲ类水质标准为研究目标，开展了磁混凝-磁分离+生态塘、磁混凝-磁分离+芦苇湿地、生物超深净化处理系统、磁混凝-磁分离+生物超深净化处理系统+芦苇湿地4种异位处理白洋淀污染鱼塘水体水质提升工艺的工程化试验研究，旨在为白洋淀污染鱼塘水体异位处理提供一套可行的整体性解决方案。

1 研究背景

1.1 研究区域概况

白洋淀污染鱼塘治理区域位于雄县七间房乡大树刘村大树刘泵站东北侧，鱼塘面积约2.2万m²，

周长约596 m，水深3~4 m，总水量约为7万m³。目标塘北侧紧邻生态塘，东侧为芦苇湿地，面积约1.5万m²。塘水治理区位置见图1。



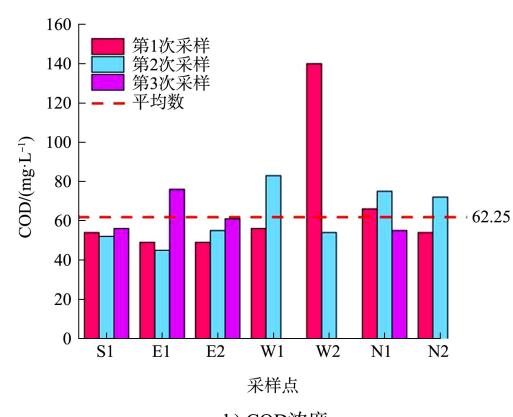
图1 塘水治理区位置

1.2 塘水水质

通过现场踏勘调研，分别于2020年3月8日、3月20日和4月3日对目标鱼塘进行了水样采集及检测，共采集水样54个，采样点及水质检测结果见图2。图2a)为采样点位置，图2b)~2d)分别为塘水COD、TP、NH₃-N浓度检测结果。



a) 采样点位置



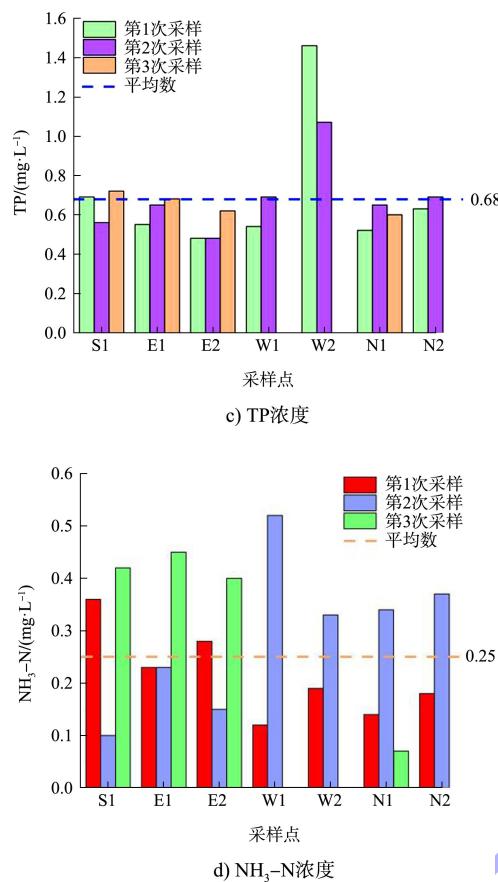


图 2 采样点位置及目标塘水水质检测结果

由图 2 可以看出, 目标鱼塘 COD 浓度范围为 49~140 mg/L, 平均值为 62.25 mg/L, 超标Ⅲ类水质指标(20 mg/L)3.11 倍; TP 浓度范围为 0.48~1.46 mg/L, 平均值为 0.68 mg/L, 中值为 0.64 mg/L,

超标Ⅲ类水质指标(0.2 mg/L)3.4 倍; NH₃-N 浓度范围为 0.07~0.45 mg/L, 平均值为 0.25 mg/L, 与Ⅲ类水质指标(1.0 mg/L)相比不超标。

通过分析可知, 目标塘 NH₃-N 浓度达标, COD、TP 浓度均超标, 后续水处理将这 2 项指标作为主要参考指标。

2 试验方案

2.1 技术路线

通过前期水样检测分析知, 目标塘的主控水质指标 COD 和 TP 均不达标, 仅仅依靠单一水处理技术难以实现水质目标。基于沉淀技术、过滤技术、磁分离技术、生物处理技术及深度保障技术等水处理技术应用现状及技术特点, 提出以下 3 套处理方案:

1) 采用处理量不小于 1 万 m³/d 的磁混凝-磁分离净化工艺进行处理, 出水进芦苇湿地进行深度处理。

2) 先利用磁混凝-磁分离设备进行混凝沉淀处理后, 泵送至生物超深净化处理系统, 最后排至芦苇湿地深度净化。

3) 采用生物超深净化处理系统处理, 出水进芦苇湿地深度净化。

试验技术路线见图 3。

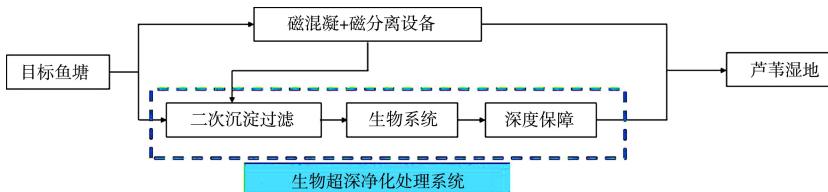


图 3 塘水治理试验技术路线

2.2 工艺原理

2.2.1 磁混凝-磁分离工艺

磁混凝-磁分离技术^[8]在投加混凝剂的同时加载磁种, 使污染物、磁种、混凝剂结合为磁性絮凝体, 之后絮体进入磁分离装置, 在高强度磁场作用下实现微磁絮团与水体的分离, 从而将污染物去除。微磁絮团经磁回收系统实现磁种和污泥的分离, 所得磁性物质回收再利用(回收率>99%),

污泥进入污泥处理系统。

2.2.2 生物超深净化处理系统

生物超深净化处理系统由混凝沉淀设备、生物深度净化设备与深度保障设备组成, 见图 4, 污染塘水首先进入混凝沉淀设备, 去除水体中的悬浮物、藻类和微生物; 随后进入生物深度净化系统, 对 COD、NH₃-N 和 TP 等污染物进行深度处理; 处理出水最后进入保障设备中, 利用活性炭吸附保证出水达标。

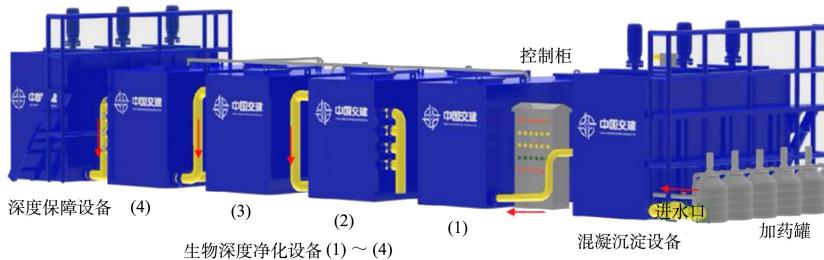


图 4 生物超深净化处理系统

2.2.3 芦苇湿地

芦苇湿地是以水生植物芦苇为主的高、低等生物和处于水饱和状态的基质组成的自然生态系统^[9-10]，利用自然生态系统的物理、化学和生物的三重协同作用来完成对污水的净化。

2.3 处理水量

本试验共运行 12 d(2020 年 4 月 19 日—4 月 30 日)，总处理塘水量约 6.92 万 m³(不含磁混凝-磁分离串联生物系统的处理水量 1 000 m³)。其中磁混凝-磁分离设备共运行 12 d，塘水处理总量为

5.65 万 m³，平均日处理量为 4 710.83 m³/d。生物深度净化处理系统共计运行 9 d，总处理塘水量为 1.37 万 m³(含磁混凝-磁分离串联生物系统的处理水量 1 000 m³，串联运行时间为 4 月 23 日)，平均日处理量为 1 522.22 m³/d。磁混凝-磁分离净化工艺与生物超深净化处理工艺出水均进入芦苇湿地进行进一步处理。

2.4 水质检测

水质检测方法见表 1。

表 1 水质检测方法

检测项目	检测方法	设备名称及型号	检出限/(mg·L ⁻¹)
COD	HJ 828—2017 水质化学需氧量的测定 重铬酸盐法	-	4
TP	GB 11893—1989 水质总磷的测定 钼酸铵分光光度法	紫外可见分光光度计 P1	0.01
NH ₃ -N	HJ 535—2009 水质氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法	紫外可见分光光度计 UV-1800	0.025

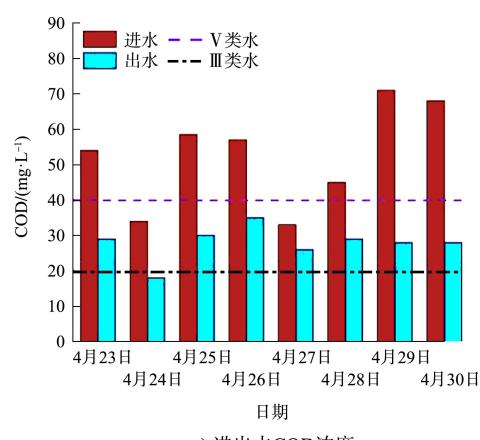
3 处理效果分析

3.1 磁混凝-磁分离工艺

磁混凝-磁分离工艺对污染塘水中 COD、TP 的去除效果见图 5。由图 5a) 可知，进水 COD 浓度为 33~71 mg/L，平均值为 51 mg/L。出水 COD 浓度为 18~35 mg/L，平均值为 28 mg/L。由图 5b) 可知，磁混凝-磁分离设备对塘水 COD 去除率为 21.21%~60.56%，平均值为 42.47%。通过出水指标可以看出，磁混凝-磁分离设备出水水质不稳定，不能稳定达到地表水Ⅲ类水质标准。

由图 5c) 可知，进水 TP 浓度为 1.00~1.34 mg/L，平均为 1.22 mg/L。出水 TP 浓度为 0.11~0.18 mg/L，平均为 0.14 mg/L。由图 5d) 可知，磁混凝-磁分

离设备对塘水 TP 去除率在 84.75%~91.13%，平均为 88.66%。通过出水指标可以看出，磁混凝-磁分离出水 TP 指标超过地表水Ⅲ类水质标准。



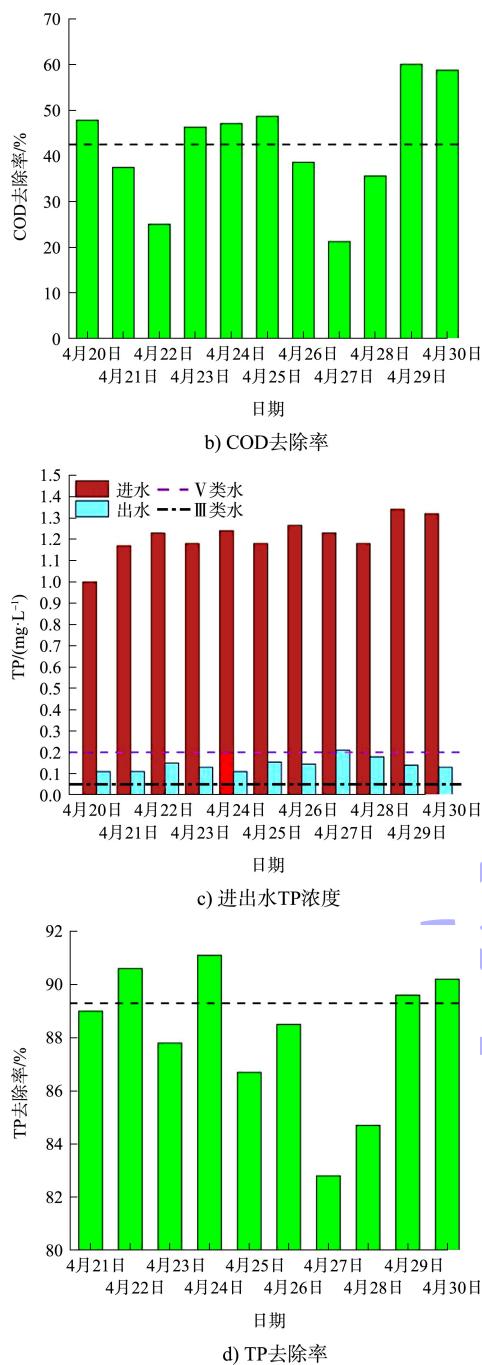


图 5 磁混凝-磁分离工艺对污染塘水的处理效果

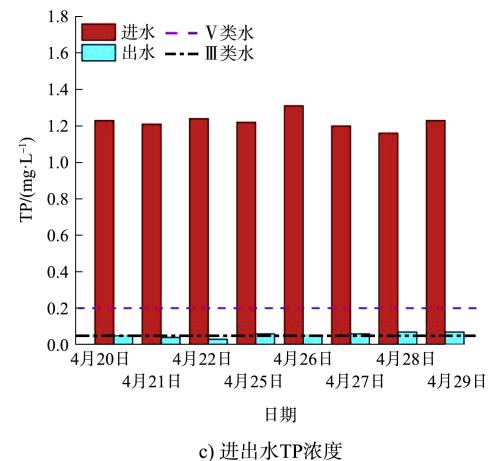
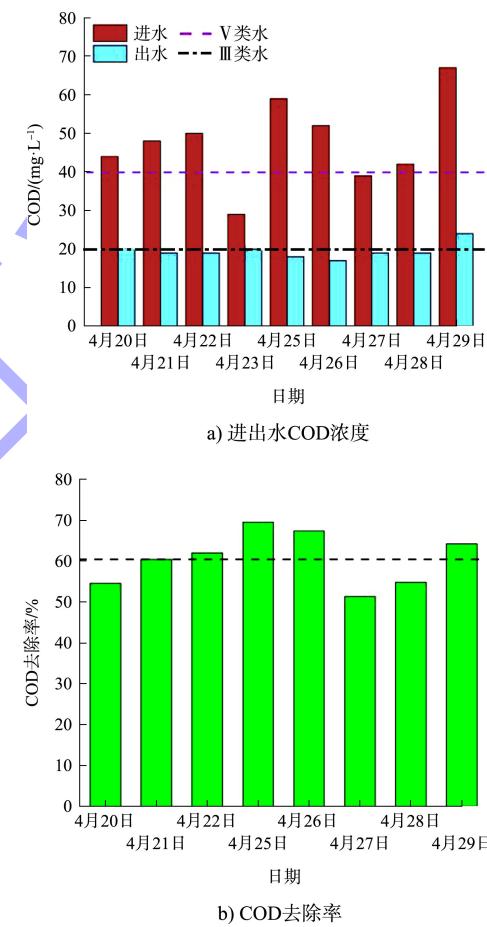
3.2 生物超深净化处理系统

生物超深净化处理系统对污染塘水中 COD、TP 的去除效果见图 6。由图 6a) 可以看出, 生物深度净化系统进水 COD 浓度为 39~67 mg/L, 平均值为 50.13 mg/L。出水 COD 浓度为 17~24 mg/L, 平均值为 19.38 mg/L, 达到地表水Ⅲ类水质标准。由图 6b) 可以看出, COD 去除率为 51.28%~69.49%, 平均值为 60.50%。

由图 6c) 可以看出, 进水 TP 浓度为 1.16~

1.31 mg/L, 平均值为 1.23 mg/L。出水范围为 0.03~0.07 mg/L, 平均值为 0.05 mg/L, 达到Ⅲ类水质标准。由图 6d) 可以看出, TP 的去除率为 93.97%~96.69%, 平均值为 95.59%, 生物深度净化处理系统对 TP 去除率较高, 出水 COD 与 TP 基本能够稳定达到Ⅲ类水质标准。

生物深度净化处理系统日处理水量较少, 但是水质处理效果好, 出水 COD 与 TP 能够稳定达到Ⅲ类水质标准。



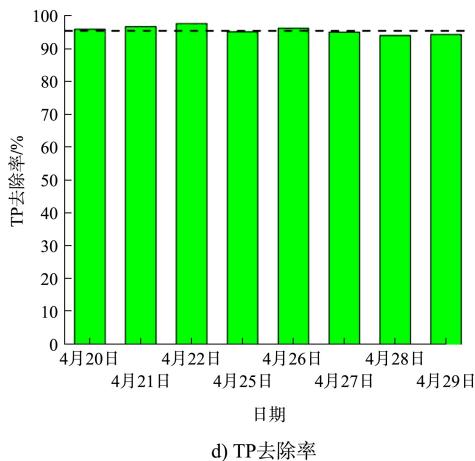
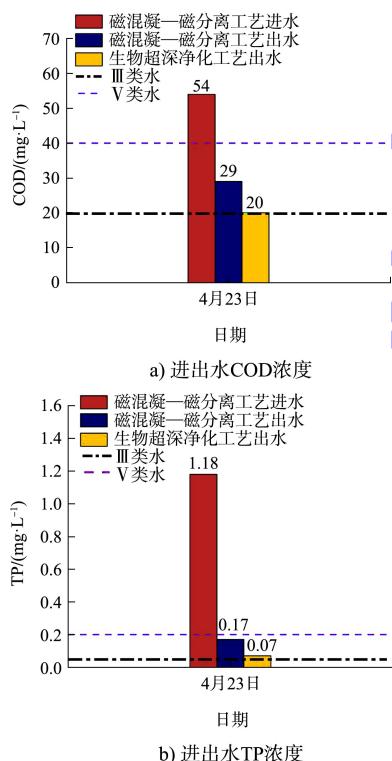


图 6 生物超深净化处理系统对污染塘水的处理效果

3.3 磁混凝-磁分离+生物超深净化处理系统

为验证磁混凝-磁分离工艺与生物超深净化处理系统串联运行效果, 将部分超磁出水泵入生物深度净化处理系统, 串联运行进出水 COD、TP 浓度及去除效果见图 7。



由图 7b) 可知, 在串联运行系统中, 磁混凝-磁分离工艺对进水 TP 去除率为 85.59%, 与其单独运行对 TP 的去除率(87.68%)相差不大, 生物系统对 TP 进一步去除率为 58.82%。

串联运行系统 COD 总去除率为 62.96%, TP 总去除率为 94.07%, 与生物深度净化系统单独运行去除率(COD 去除率 60.50%, TP 去除率 95.59%)相比, 生物深度净化系统可进一步降解超磁工艺出水中污染物, 但最终出水与生物系统单独运行相比不具优势。

考虑到超磁工艺所投加混凝剂会对生物系统运行造成影响, 因此不建议采用该串联运行系统。

3.4 芦苇湿地系统

芦苇湿地系统对污染塘水中 COD、TP 的去除效果见图 8。由图 8a) 可以看出, 湿地开始进水前, COD 为 40 mg/L, TP 为 0.15 mg/L, 为地表IV类水。4月 20 日开始进水, COD 浓度降为 20 mg/L, 出水 COD 浓度为 36 mg/L。经过一段时间进水, 湿地出口 COD 浓度稳定于 20 mg/L 左右。连续进水稳定后, 进水 COD 浓度平均值为 22.1 mg/L, 出水 COD 浓度为 19.2 mg/L。由图 8b) 可知, 芦苇湿地系统对 COD 平均去除率为 16.08%。由图 8c) 可知, 进水 TP 浓度平均值为 0.074 mg/L, 出水 TP 浓度为 0.049 mg/L。由图 8d) 可知, 芦苇湿地系统对 TP 的平均去除率为 33.1%。芦苇湿地对污染物表现出一定程度的降解, 对设备出水后的水质具有一定改善作用。

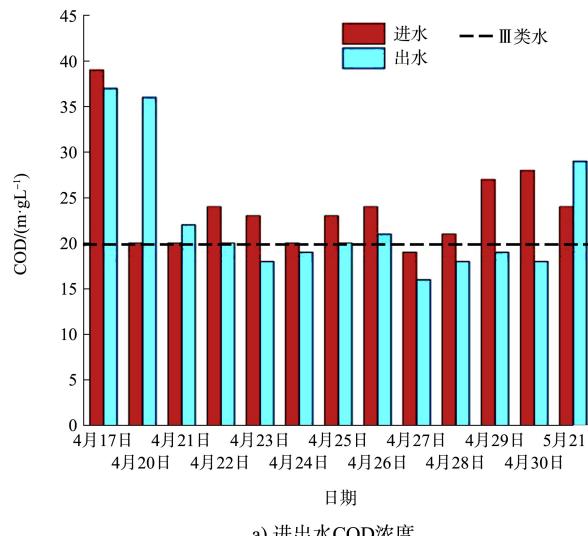


图 7 磁混凝-磁分离净化工艺与生物深度处理

串联运行对污染塘水处理效果

由图 7a) 可知, 在串联运行系统中, 磁混凝-磁分离工艺对进水 COD 去除率为 46.3%, 与磁混凝-磁分离单独运行对 COD 的去除率(41.09%)相差不大; 生物系统对 COD 进一步去除率为 31%;

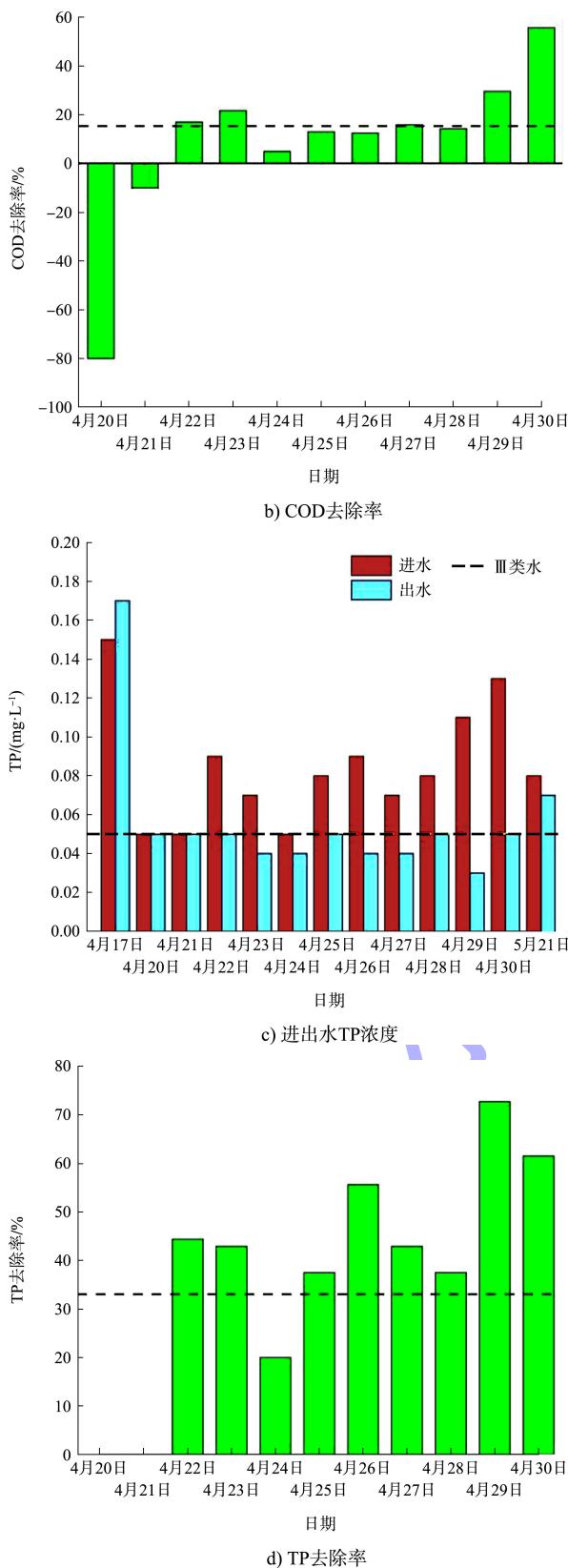


图 8 芦苇湿地系统对污染塘水的处理效果

4 结论

1) 磁混凝-磁分离净化工艺对塘水 COD、TP 的去除率分别为 42.47%、88.66%; 生物超深净

化处理系统对塘水 COD、TP 的去除率分别为 60.50%、95.59%。生物超深净化处理系统对污染物的去除率更高, 处理后水质主要指标均可达到地表水Ⅲ类水质标准。

2) 磁混凝-磁分离净化工艺与生物超深净化处理串联系统对 COD 总去除率为 62.96%, TP 总去除率为 94.07%, 与生物超深净化处理系统单独运行去除率(COD 为 60.50%, TP 为 95.59%)相比, 生物超深净化处理可进一步降解超磁工艺出水中污染物, 但最终出水与生物系统单独运行相比不具优势。

3) 芦苇湿地对设备出水后的水质具有一定的改善作用, 设备出水经过自然芦苇湿地净化后, 水质指标向好, COD 与 TP 去除率分别为 16.08% 与 33.1%。

参考文献:

- [1] 程磊. 白洋淀水环境现状分析[J]. 水科学与工程技术, 2016(5): 50-52.
- [2] 梁飞, 刘吉鑫, 杜忠文, 等. 保定市府河河流中 COD 的变化及其污染源分析[J]. 山东化工, 2020, 49(22): 245-247.
- [3] 刘冰, 温雪茹, 杨柳. 雄安新区的生态地质环境问题及治理进展[J]. 地下水, 2020, 42(6): 122-126, 154.
- [4] 吴艳霞, 杜海霞, 吴慧芳, 等. 黑臭水体原位修复技术研究进展[J]. 人民珠江, 2019, 40(7): 84-89.
- [5] 王瑞宁, 王森, 衣萌萌, 等. 富营养化水体底泥污染状况及修复技术研究进展[J]. 现代农业科技, 2020(1): 169-172.
- [6] 刘学文, 秦丽君. 生态浮岛技术分析[J]. 环境与保护, 2021(8): 280-281.
- [7] 李鑫斐, 黄佳音. 疏浚清淤脱水工艺及工程应用进展[J]. 水运工程, 2020(S1): 6-20, 56.
- [8] 徐超. 超磁分离技术在生态补水工程中的应用[J]. 环境与发展, 2020, 32(2): 67-68.
- [9] 慈维顺. 芦苇湿地对生态环境的作用[J]. 天津农林科技, 2011(1): 29-31.
- [10] 刘超, 律琳琳, 谢建治, 等. 模拟白洋淀芦苇湿地系统对鸭粪废水中磷的净化研究[J]. 草业学报, 2012, 21(3): 314-318.

(本文编辑 王传瑜)