

混凝—吸附法深度处理城市生活污水再生利用的中试研究

尚海涛¹ 杨琦¹ 康家伟¹ 郑兴² 甘一萍³

(1 中国地质大学(北京)水资源与环境学院,北京 100083; 2 柏林工业大学环境技术研究所,柏林 10623;

3 北京城市排水集团有限责任公司,北京 100022)

摘要 以北京市城市排水集团某污水处理厂 MBR 出水为处理对象,研究在城市生活污水深度处理中水回用中,絮凝-吸附法对 TP、PO₄-P、COD、TN、NO₃⁻-N、NH₃-N 和浊度等的处理效果。该试验装置连续运行约 105 d,试验结果表明,该方法对 TP、PO₄³⁻-P 具有很好的处理效果,除 TN、NO₃⁻-N 外,其他监测指标均达到了景观环境用水的再生水水质指标(GB/T 18921—2002)。

关键词 混凝 吸附 再生水回用 MBR

Pilot study of the reuse of municipal wastewater treated by coagulation-adsorption

Shang Haitao¹, Yang Qi¹, Kang Jiawei¹, Zheng Xing², Gan Yiping³

(1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. University Technology Berlin. Institute of Environment Technology, Berlin 10623, China;

3. Beijing Drainage Group Co., Ltd., Beijing 100022, China)

Abstract: In this research, the tertiary treatment of the wastewater from the effluent of MBR in Beijing Drainage Group wastewater treatment plant by coagulation-adsorption method was studied. The main parameters used to assess treatment performance are TP, PO₄³⁻-P, COD_C, TN, NO₃⁻-N, NH₃-N and turbidity removal efficiency. The experiment was operated for 105 days consecutively. As indicated in this research, the technique has very high removal efficiency for TP, PO₄-P. The reclaimed water could be reused either directly or indirectly for municipal or industrial purposes.

Keywords: Coagulation; Adsorption; Reclaimed water reuse; MBR

我国是严重缺水的国家之一,水资源短缺已经成为制约我国经济发展的重要因素。污水回用已成为大家的共识,是解决水资源短缺的有效途径之一。经生化处理后的城市污水,一些指标不能达到排放的标准。混凝沉淀可以去除水中的小颗粒悬浮物、胶体物质、部分有机物、SS 等。吸附法是利用某些多孔或大比表面积的固体物质对水

中磷酸根离子、硝酸根离子、氨根离子等的吸附亲和力,来实现对废水中一些污染物的去除。本试验采用混凝-吸附法深度处理城市生活污水回用,目的是考察混凝-吸附法对 TP、PO₄³⁻-P、COD_C、TN、NO₃⁻-N、NH₃-N 和浊度等指标的去除效果。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本试验使用的混凝剂为聚合氯化铝(PAC),纯度为 10%,密度为 1.15 mg/L。吸附剂为某铁矿物,颗粒状,粒径为 0.32~2 mm。

1.2 试验方法

本试验以北京市某污水处理厂 MBR 出水为处理对象,进水流量为 450 L/h,连续运行了约 105 d。

中德合作项目(10025286);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07207-008-4-02,2009ZX07419-002-4,2008ZX07007-008-4-2);国家自然科学基金(50578151);北京市自然科学基金(8102030,8092025);北京市产学研项目(51900265005)。

1.2.1 混凝沉淀试验

反应池高约 1 m, 直径约 0.8 m; 沉淀池高约 1.1 m, 直径约 1 m, 沉淀时间 1 h, 沉淀池的出水经过一个砂滤柱, 直径约 1 m, 砂层厚约 1 m, 砂子粒径约 2 mm, 目的是截留混凝形成的絮凝体, 去除水中大部分的悬浮固体, 每隔三天对其进行一次反冲洗。通过烧杯试验确定混凝剂的投加量为 40~60 mg PAC(纯)/L。

1.2.2 吸附试验

吸附装置为 2 个相同的吸附柱串联连接, 吸附柱直径 25 cm, 高 2 m, 内装吸附剂厚度 80 cm, 吸附剂下面垫有直径约 0.3 cm 的砂子, 厚度为 20 cm。试验工艺流程见图 1。

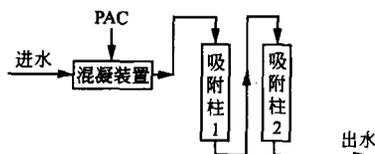


图1 试验工艺流程

1.3 分析项目及方法

TP、 PO_4-P : 孔雀绿 磷钼杂多酸分光光度法; COD: 重铬酸钾法; UV254、UV436: 1 cm 石英比色皿在紫外线分光光度计上测定; TN: 过硫酸钾氧化 紫外线分光光度法; NO_3-N : 酚二磺酸光度法; NH_3-N : 纳氏试剂比色法; 浊度: HACH2100N 浊度仪。

2 结果与讨论

该试验装置从 2005 年 7 月开始, 连续运行了约 105 d。运行期间进水水温为 15~32.2 °C。

2.1 混凝装置对各指标的处理效果

2.1.1 对 TP、 $PO_4^{3-}-P$ 的去除效果

对 TP、 $PO_4^{3-}-P$ 的去除效果见图 2、图 3。进水 TP 为 2.19~9.04 mg/L, 出水 TP 为 0.12~1.62 mg/L, TP 去除率为 50.2~97.5%; 进水 $PO_4^{3-}-P$ 为 1.24~8.53 mg/L, 出水 $PO_4^{3-}-P$ 为 0.06~1.51 mg/L, 对 $PO_4^{3-}-P$ 去除率为 44.9~96.9%。总体上看, 混凝出水水质较稳定, 只是在试验运行至第 13 天时, 由于 MBR 装置出现了故障, 导致进水 TP、 $PO_4^{3-}-P$ 的浓度有所升高, 第 17 天时升到最高值, 之后开始下降, 第 19 天时恢复正常。在第 23 天时, 由于加药泵堵塞, 导致出水 TP、 $PO_4^{3-}-P$ 的浓度较高。

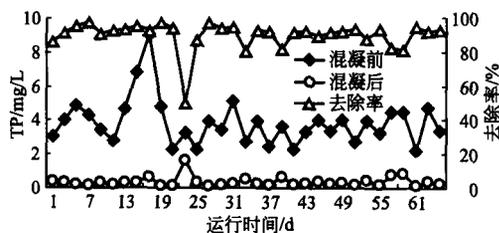


图2 进出水中 TP 的浓度及去除率

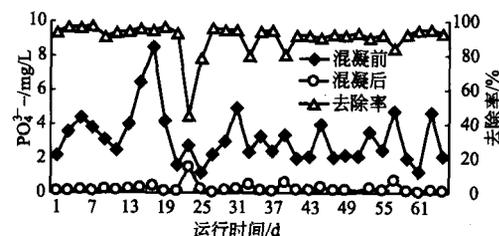


图3 进出水中 $PO_4^{3-}-P$ 的浓度及去除率

2.1.2 对 COD_{Cr} 的去除效果

进水 COD_{Cr} 为 13~34 mg/L, 出水 COD_{Cr} 为 9~21 mg/L, 去除率为 20~52.9%。处理效果如图 4 所示。在试验过程中发现混凝出水 COD_{Cr} 表现得不稳定, 其值与进水 COD_{Cr} 有明显的相关性, 反映了该混凝装置对 MBR 处理后的水中的有机物进一步去除的抗冲击负荷的能力不太突出。

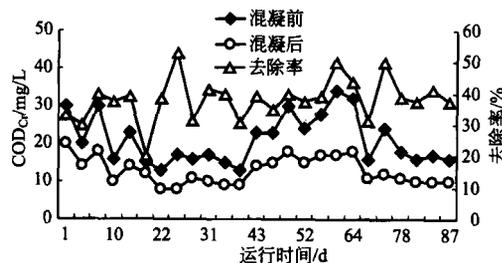


图4 进出水中 COD_{Cr} 的浓度及去除率

2.1.3 对 TN、 NO_3-N 、 NH_3-N 的去除效果

进水 TN 为 12.93~58.95 mg/L, 出水 TN 为 11.63~53.03 mg/L, TN 的去除率为 4.2%~17.3%; 进水 NO_3-N 为 11.62~28.36 mg/L, 出水 NO_3-N 为 10.32~25.13 mg/L, NO_3-N 去除率为 6.9%~20.2%; 进水 NH_3-N 为 0.08~7.85 mg/L, 出水 NH_3-N 为 0.05~7.19 mg/L, NH_3-N 去除率为 8%~36.4%。可见混凝装置的去除效果变化范围较大。分析原因: 一是与含 N 的颗粒粒径的大小有关; 二是进水浓度不稳定; 三是与取样时间和温度有关。处理效果见图 5~图 7。

另外,在试验过程中发现出水浓度与进水浓度有明显的相关性,反映了该混凝装置对MBR处理后的水的进一步去除的抗冲击负荷能力不太突出。

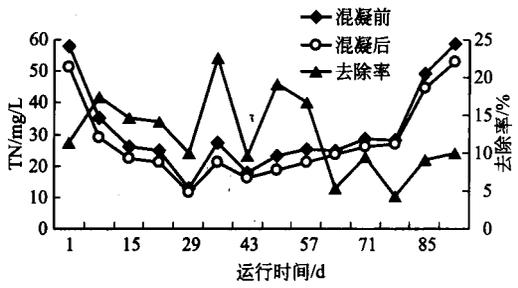


图5 进出水中 TN 的浓度及去除率

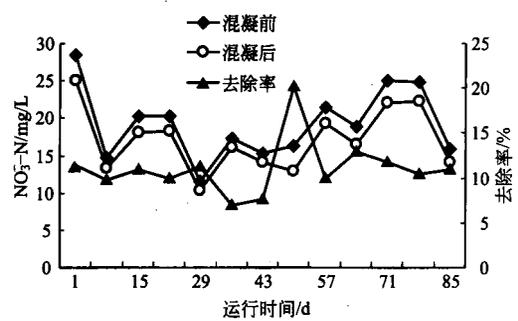


图6 进出水中 NO₃-N 的浓度及去除率

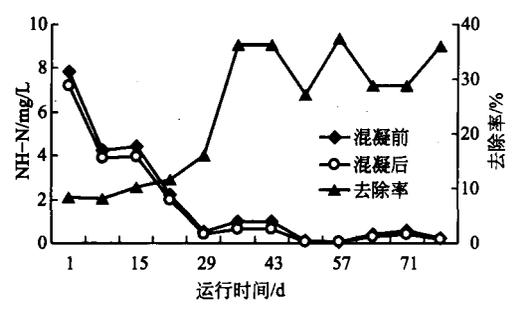


图7 进出水中 NH₃-N 的浓度及去除率

2.1.4 对浊度的去除效果

混凝装置对浊度的处理效果见图8。进水浊度为0.20~1.37 NTU,数值分布比较分散,出水浊度为0.102~0.401 NTU,基本上都稳定在0.3 NTU以下,反映了该混凝装置对浊度去除的抗冲击负荷能力较强。

2.2 吸附装置对各指标的处理效果

2.2.1 对 TP、PO₄³⁻-P 的去除效果

该吸附装置对 TP、PO₄³⁻-P 的去除效果非常好,进水 TP 为 0.12~1.62 mg/L,出水 TP 为 0~

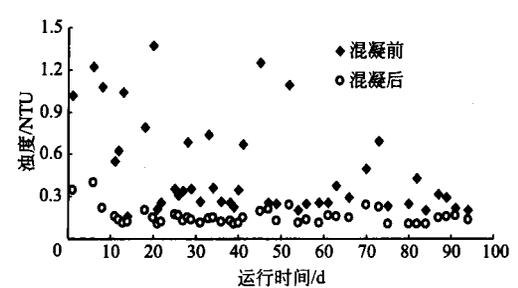


图8 进出水浊度的去除效果

0.048 mg/L, TP 去除率为 83.3%~100%; 进水 PO₄³⁻-P 为 0.06~1.51 mg/L,出水 PO₄³⁻-P 为 0~0.002 mg/L,去除率为 98.3%~100%。吸附出水中 TP、PO₄³⁻-P 的浓度很稳定,只是在运行到第23天时,由于混凝装置出现故障,导致进水 TP、PO₄³⁻-P 的浓度较高,及运行至第61天时,吸附1被穿透,进出水 TP、PO₄³⁻-P 的去除率有所下降。处理效果见图9、图10。

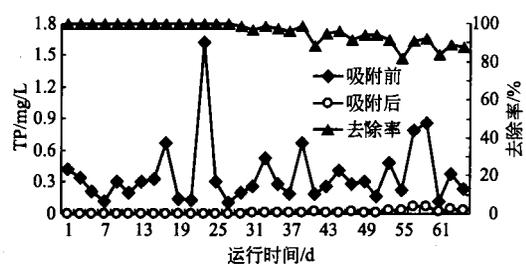


图9 进出水中 TP 的浓度及去除率

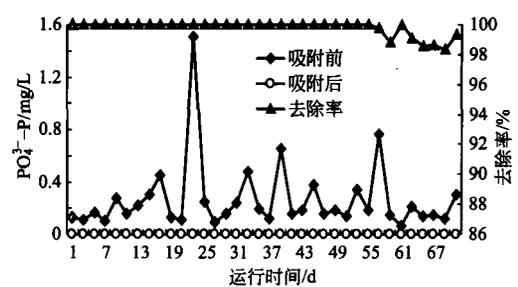


图10 进出水中 PO₄³⁻-P 的浓度及去除率

2.2.2 对 COD_{Cr} 的去除效果

进水 COD_{Cr} 为 9~21 mg/L,出水 COD_{Cr} 为 5~16 mg/L,出水 COD_{Cr} 基本都低于 15 mg/L,去除率为 10~50%。在试验过程中发现出水 COD_{Cr} 表现得不稳定,其值与进水 COD_{Cr} 有明显的相关性,反映了该吸附装置对 MBR 处理后的水中的有机物进一步去除的抗冲击负荷的能力不强。处理效果见图11。

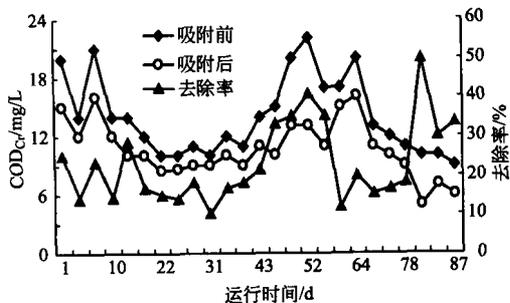


图 11 进出水中 COD_{Cr} 的浓度及去除率

2.2.3 对 TN、NO₃⁻-N、NH₃-N 的去除效果

进水 TN 为 11.63~53.03 mg/L, 出水 TN 为 10.48~45.16 mg/L, TN 的去除率为 9.9%~20.3%; 进水 NO₃⁻-N 为 10.32~25.13 mg/L, 出水 NO₃⁻-N 为 8.18~23.68 mg/L, NO₃⁻-N 去除率为 5.8%~20.7%; 进水 NH₃-N 为 0.05~7.19 mg/L, 出水 NH₃-N 为 0.02~5.79 mg/L, NH₃-N 的去除率为 11.3~62.5%。吸附装置的去除效果变化范围也较大。分析原因:一是进水浓度不稳定;二是水中其他阴离子对其的吸附干扰;三是与取样时间和温度有关。处理效果见图 12~图 14。

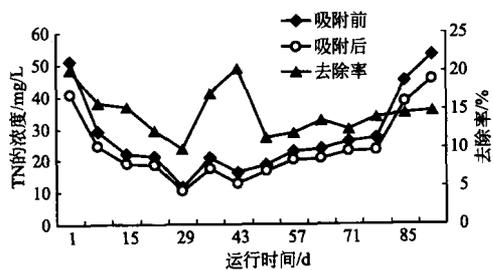


图 12 进出水中 TN 的浓度及去除率

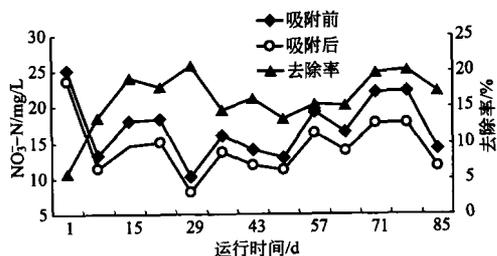


图 13 进出水中 NO₃-N 的浓度及去除率

从图 12~图 14 还可以看出,在试验过程中吸附装置出水中三氮浓度与进水三氮浓度有明显的关联性,反映了该吸附装置对 MBR 处理后的水中氮的进一步去除的抗冲击负荷能力不太突出。

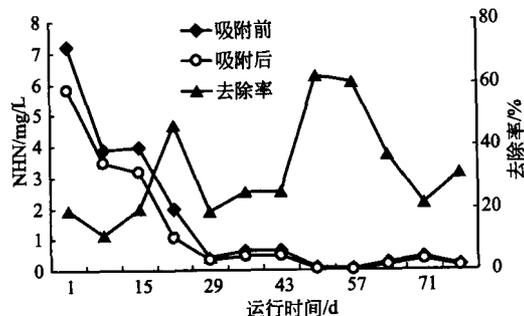


图 14 进出水中 NH₃-N 的浓度及去除率

另外,由于吸附装置是以混凝装置的出水为其进水,浊度已经很低了,所以没有监测吸附装置对浊度的处理效果。

3 结论

(1) 该工艺对 TP、PO₄³⁻-P 具有很好的处理效果,混凝对 TP、PO₄³⁻-P 的去除率达到了 90% 左右,吸附对 TP、PO₄³⁻-P 的去除率几乎是 100%。

(2) 该工艺对 COD_{Cr} 和浊度也有较好的处理效果,混凝和吸附对 COD_{Cr} 的去除率都可达 50%。

(3) 该工艺对 TN、NO₃⁻-N、NH₃-N 也有一定的去除效果,去除率在 20~30% 左右,尤其是吸附对 NH₃-N 的去除率可达 60% 以上。

(4) 出水中 TP、PO₄³⁻-P、COD_{Cr}、NH₃-N 和浊度等均达到了景观环境用水的再生水水质指标 (GB/T 18921-2002)。

参考文献

- 周勤,肖瑾. 给水原水处理中混凝技术. 工业水处理, 1999, 19(2): 3~6
- 周彤. 污水回用决策与技术. 北京: 化学工业出版社, 2001
- 刘卫国, 周军, 沈云飞. 石油化工污水回用的中试研究. 中国石油化工. 2003(下卷): 193~200
- 张自杰, 林荣忱, 金如霖. 排水工程. 第 3 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000
- 国家环保总局编. 水和废水监测分析方法第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002

E-mail: shanght@cugb.edu.cn

收稿日期: 2010-05-05