

臭氧投加量对二级出水中污染物去除效果的影响

李思敏¹, 李 贝¹, 刘雪梅²

(1 河北工程大学 城市建设学院, 河北 邯郸 056038, 2 河北工程大学 科信学院, 河北 邯郸 056038)

摘要:采用“混凝沉淀-臭氧(O_3)-生物砂滤-活性炭(GAC)”组合工艺处理污水厂二级出水,考察了臭氧投加量对组合工艺处理效果的影响。结果表明,当臭氧投加量在1~5 mg/L时,组合工艺对 NH_4^+-N 、 $NO_2^- - N$ 、 UV_{254} 和色度的平均去除率分别在70.61%、54.92%、20.63%和42%,其中当臭氧投加量为3 mg/L时,组合工艺对上述各项指标的去除效果最好,其 NH_4^+-N 、 $NO_2^- - N$ 、 UV_{254} 和色度的去除率分别为99.41%、80.13%、28.06%和58.33%。“混凝沉淀- O_3 -生物砂滤-GAC”组合工艺深度二级出水能够有效去除水中的污染物质,提高深度处理出水水质,具有很好的应用前景。

关键词:二级出水;臭氧投加量;去除率

中图分类号:X52

文献标识码:A

Impact of ozone dosage on pollutants removal from secondary effluent

LI Si-min¹, LI Bei¹, LIU Xue-mei²

(1. College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2 College of Kexin, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: The combined process of “coagulant sedimentation + O_3 + bio-sand filter + GAC” was adopted to treat secondary effluent of wastewater treatment plant, and the impacts of ozone dosage on pollutants removal were investigated. The experiment results showed that the average removal rates of NH_4^+-N , $NO_2^- - N$, UV_{254} and chroma were 70.61%, 54.92%, 20.63% and 42%, respectively when the ozone dosage varied in a range of 1 to 5 mg/L. When the ozone dosage was 3 mg/L, the process reached the highest removal rate of NH_4^+-N , $NO_2^- - N$, UV_{254} and chroma, which were 99.41%, 80.13%, 28.06% and 58.33%, respectively. It can be seen that combined process of “coagulant sedimentation + O_3 + bio-sand filter + GAC” has a effectively pollutants removal rate in secondary effluent treatment, and it can improve the water quality comprehensively. The process has a bright prospect application in secondary effluent treatment.

Key words: secondary effluent; ozone dosage; removal rate

臭氧作为一种强氧化剂,在国内外水厂的深度处理中应用十分广泛;臭氧氧化-活性炭、炭砂滤等深度处理联用工艺目前在发达国家已成为水处理净化技术的主导工艺。有资料显示,常规处理后的水经臭氧-活性炭工艺深度处理,可继续去除水中有机物,很好地改善了污水回用中所出现的水质不达标现象^[1-3]。

在臭氧氧化-活性炭工艺去除废水污染物的基础上,本研究采用“混凝沉淀-臭氧(O_3)-生物砂滤-活性炭(GAC)”工艺处理污水处理厂二级出水,对比考察了该工艺中不同臭氧投加量下整个工艺对氨氮、有机物以及感官性指标等去除效果,以确定工艺最佳臭氧投加量。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置与工艺参数

工艺流程如图 1 所示。二级出水依次经过原水箱、混凝沉淀池、臭氧接触池和臭氧释放池、生物砂滤柱、活性炭柱,臭氧柱尺寸 0.14 m×0.14 m×2.1 m,生物砂滤柱尺寸为 0.14 m×0.14 m×2.1 m,运行水力负荷分为 6 m³/(m²·h),砂滤柱采用石英砂单层滤料,有效粒径为 0.8~1.2 mm;活性炭柱尺寸为 0.14 m×0.14 m×2.1 m,运行水力负荷为 5 m³/(m²·h),活性炭填料采用果壳活性炭,有效粒径为 1.0~1.5 mm。生物砂滤和活性炭承托层高度均为 0.3 m,滤料有效高度分别为 1 m 和 0.96 m。生物砂滤气水反冲洗的最佳运行参数:单独气冲强度为 10 L/(s·m²)、单独气冲时间为 2min,联合冲洗水冲强度为 4 L/(s·m²)、联合冲洗气冲强度为 10 L/(s·m²)、联合冲洗时间为 5 min,水冲强度为 8 L/(s·m²)水冲时间为 4 min,反冲洗周期为 24 h。

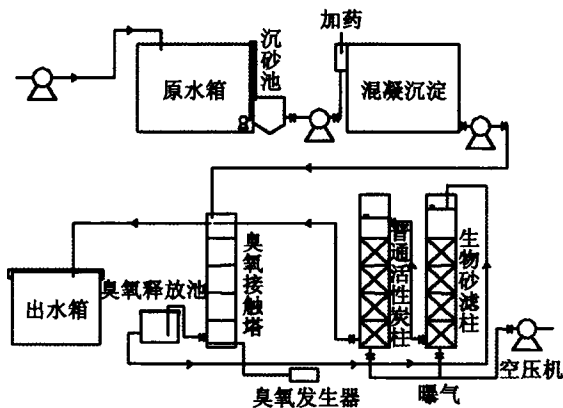


图1 试验工艺流程图
Fig.1 The process of treatment

1.2 分析方法

试验为连续运行,固定时间采集水样,当天测定各个水质指标。其中 NH₄⁺-N 采用纳氏试剂分光光度法;NO₂⁻-N 采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法;pH 采用 pH 快速测定仪;水温采用普通水银温度计;色度和 UV₂₅₄ 采用紫外分光光度法;溶解氧采用 profilab 溶氧仪;臭氧浓度采用碘量法测定。

试验中采用臭氧预氧化作用初步分解水中有机物及其他还原性物质,以降低生物砂滤、活性炭的运行负荷,同时臭氧可以使水中难降解的有机

物断链、开环,使之能被生物降解;臭氧氧化工艺还起到充氧的作用,使生物砂滤能够有充足的溶解氧用于生物氧化。试验过程中调节臭氧不同投加量,采用快速溶解氧测定仪检测在不同臭氧投加量下砂滤柱中的最佳溶解氧,并根据所测数据分析所得最佳臭氧投加量。

2 结果与讨论

2.1 温度、pH 对臭氧投加量的影响

温度和 pH 值能够影响水中臭氧的分解反应,如表 1 所示。

表 1 不同臭氧投加量的溶解氧值
Tab. 1 Dissolved oxygen value under different ozone dosing

臭氧投加量 /(mg·L ⁻¹)	pH	水温/℃	溶解氧 /(mg·L ⁻¹)
0	7.87	25.2	3.02
1	7.81	23	3.62
2	7.82	22	3.63
3	7.98	27.9	4.07
4	7.87	29.5	3.94
5	7.75	23	3.43

从表 1 可以看出,投加臭氧后可以增加水中的溶解氧含量,说明臭氧投加对生物砂滤有一定的充氧作用,为生物砂滤中的微生物提供了良好的生长环境。在 pH 为 7.98、水温为 27.9℃ 的条件下,当臭氧投加量为 3 mg/L 时,溶解氧达到最大值 4.07 mg/L。

有关研究表明,当温度从 22℃ 增加到 35℃ 时,有利于臭氧分子运动加快、反应活化能的降低和臭氧化效率的提高。温度升高对分子运动速度的加快致使溶于水中的臭氧分子和水中的有机物分子能够以较快的传质速率被生物砂滤表面所吸附,加速降解过程;水中 pH 值与臭氧的分解反应有着密切的关系,pH 值的大小会影响臭氧氧化还原电位的高低或者羟基自由基产生的过程,因此 pH 值的增加可以导致废水某些有机物去除率的增加^[4]。

另外,水温是影响生物砂滤硝化性能的重要因素。这是因为硝化菌有其自身最适宜的生长温度,温度改变,硝化菌的活性随之改变。当水温高于 20℃ 时,温度对硝化菌的抑制作用会降低,硝化性能得以提高,但温度不易高于 35℃;好氧微生物 pH 值在 6.5~8.5 之间较为适宜,pH 值中性或微碱性有利于硝化反应的进行,控制合理的 pH

值范围是保证后续生物砂滤正常运行的关键。本试验研究阶段,水温在 22~29.5℃,进水 pH 值在 7.53~7.98 之间,可以达到稳定的处理效果。

2.2 臭氧投加量对氮的去除影响

2.2.1 NH₄⁺-N 的去除影响

臭氧投加量对 NH₄⁺-N 去除效果的影响如图 2 所示。可以看出,NH₄⁺-N 的去除主要由后续的生物砂滤处理单元完成,这因为滤池的生物粘附作用及滤床内存在的硝酸菌和亚硝酸菌对 NH₄⁺-N 进行了生物降解。在不同的臭氧投加量下,工艺中混凝沉淀、臭氧、生物砂滤、GAC 的平均去除率分别为 0.09%、7.3%、53.50%、15.78%。整个工艺总平均去除率为 70.17%,平均出水浓度为 4.37 mg/L。

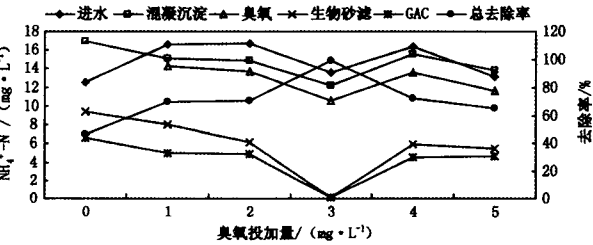


图2 不同臭氧投加量对NH₄⁺-N的去除
Fig.2 Removal of NH₄⁺-N under different ozone dosing

如图 2 所示,臭氧投加量为 0 mg/L 时,工艺对 NH₄⁺-N 去除率只有 46.38%,NH₄⁺-N 出水浓度为 6.65 mg/L。随着臭氧投加量的增加,NH₄⁺-N 的总去除率曲线呈上升趋势。当臭氧投加量增至 3 mg/L 时,对 NH₄⁺-N 去除率达到 99.41%,NH₄⁺-N 出水浓度可低至 0.08 mg/L。由此可以证明臭氧投加量大小对 NH₄⁺-N 去除有着显著的影响。因为臭氧可使水中难降解的有机物断链、开环,使之能被后续生物砂滤中的生物降解,并且随着臭氧投加量逐渐增大,水中的溶解氧浓度也随之增大,从而有利于砂滤柱内自养型的硝化菌对 NH₄⁺-N 进行生物降解和砂滤粘附作用。而随着臭氧投加量的继续增加,去除率呈下降趋势。因为当臭氧投加量超过 3 mg/L 后,水中残留臭氧浓度增加,对微生物有杀灭和抑制生长的作用,造成微生物降解作用降低^[5]。从图 2 可看出,当臭氧投加量为 0 mg/L 时,混凝沉淀中的 NH₄⁺-N 浓度要比原水中的 NH₄⁺-N 浓度要高,这可能是因为混凝沉淀中有部分的 NH₄⁺-N 的沉积造成。

2.2.2 NO₂⁻-N 的去除影响

臭氧投加量对 NO₂⁻-N 去除效果的影响如图 3 所示。当臭氧投加量从 0 mg/L 增至 3 mg/L 时,工艺对 NO₂⁻-N 的总去除率由 41.25% 提高至 80.13%,继续增大臭氧投加量到 5 mg/L 时,工艺对 NO₂⁻-N 的总去除率降至 50.26%。从图中还可以明显观察到深度处理工艺对 NO₂⁻-N 的去除主要集中在臭氧氧化阶段和砂滤生化阶段,其各自单独阶段在工艺中平均去除率分别为 40.39%、56.98%。臭氧投加与对氨氮的去除效果比较而言,单独的臭氧作用于 NO₂⁻-N 的去除效果要明显优于单独臭氧对 NH₄⁺-N 的去除。

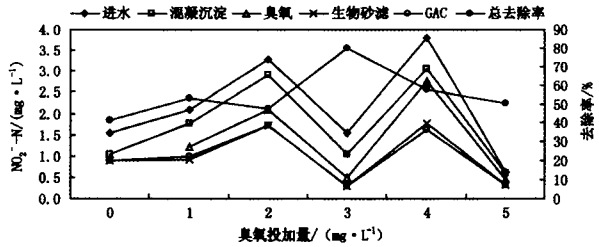


图3 不同臭氧投加量对NO₂⁻-N的去除
Fig.3 Removal of NO₂⁻-N under different ozone dosing

NO₂⁻-N 的还原性较强,极易被臭氧氧化,并且臭氧分解后所生成的氧气对生物砂滤能起到充氧作用,使生物砂滤有充足的溶解氧,为好氧菌创造有利的生长的环境,使好氧微生物活性增强,从而提高了微生物增长潜力,保证在生物砂滤中发生较大程度的硝化反应^[6]。

2.3 UV₂₅₄ 的去除影响

波长为 254 的紫外线吸光度(UV₂₅₄)是非吹脱性总有机碳(NPTOC)和三卤甲烷生成势(THM-FP)的一个良好的替代参数,与消毒副产物前体物浓度具有很好的相关性^[7]。本试验中臭氧投加量对 UV₂₅₄ 去除效果的影响如图 4 所示。臭氧投加量由 0 mg/L 增加至 3 mg/L 时,UV₂₅₄ 去除率呈上升趋势,UV₂₅₄ 最大去除率为 28.06%;继续增大臭氧投加量到 5 mg/L 时,UV₂₅₄ 的去除率反而降低至 22.98%。由图中所示,UV₂₅₄ 的去除大部分是由臭氧的氧化作用实现的。有研究表明,臭氧氧化后显示紫外吸光性的有机物,即具有非饱和构造的有机物浓度明显降低,表明臭氧氧化改变了原水中有有机物的性质和分子结构。另外,臭氧可为生物砂滤提供充足溶解氧,具有良好的微生物生

长环境,有利于生物砂滤对 UV_{254} 的去除,其生物砂滤对 UV_{254} 的平均去除率为 17.89 %。这是因为生物砂滤中的生物活性较高,有利于对难降解或大分子有机物的去除,同时生物砂滤柱对臭氧产生副产物的前体物有很好的去除效果。

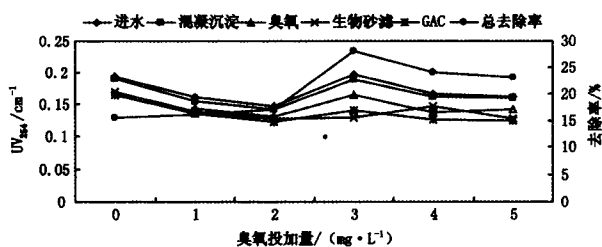


图4 不同臭氧投加量对 UV_{254} 的去除

Fig.4 Removal of UV_{254} under different ozone dosing

2.4 臭氧投加量对色度的去除影响

臭氧投加量对色度去除效果的影响如图5所示。臭氧对色度的去除效果显著。这是因为臭氧氧化能够改变甚至破坏致色物质发色基团和助色基团,大多数有机物的 $C=O$ 、 $C=C$ 双键结构以及发色基团和助色基团都已被破坏,从而达到了较好的脱色效果^[8]。从图中可以看出,臭氧投加量为 0 mg/L 时,色度去除率只有 20 %,当臭氧投加量由 1 mg/L 增加至 3 mg/L 时,臭氧氧化出水色度去除率从 24.21% 增加至 58.33 %;臭氧投加量由 3 mg/L 增至 5 mg/L,色度的去除率略有降低。整个出水色度基本保持在 18 度以下,优于 GB/T 18921-2002《城市污水再生利用_景观环境用水水质》的要求。

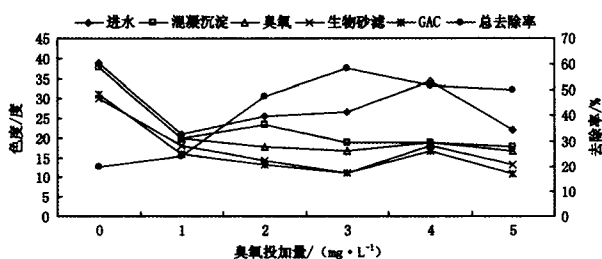


图5 不同臭氧投加量对色度的去除

Fig.5 Removal of chroma under different ozone dosing

生物砂滤对色度的平均去除率为 20.50 %,主要是由生物砂滤柱滤料上生物的降解作用所致,同时活性炭的吸附和过滤作用对色度也有一定的去除效果。

3 结论

1) 温度和 pH 值是臭氧氧化重要影响因素,适宜的 pH 值有利于臭氧氧化效率的提高,从而影响后续工艺的去色效果。

2) 组合工艺能有效的去除二级出水中 NH_4^+-N 、 $NO_2^- - N$ 、 UV_{254} 、色度,出水平均去除率为 70.61 %、54.92 %、20.63 %、42 %。

3) 混凝沉淀 - O_3 - 生物砂滤 - GAC 组合工艺深度处理二级出水过程中,最佳臭氧投加量为 3 mg/L。此时,组合工艺对二级出水中 NH_4^+-N 、 $NO_2^- - N$ 、 UV_{254} 、色度的去除率分别可达到 99.41 %、80.13 %、28.06 %、58.33 %。

参考文献:

- [1] 冯令艳,袁一星,王少波,等. 炭砂滤池去除硝基苯等微污染有机物的研究[J]. 中国给水排水, 2010, 26(15): 58-63.
- [2] 王龙,李思敏,李艳平. 臭氧组合工艺处理微污染源水的试验研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2007, 24(2): 50-54.
- [3] 李银磊,苑宏英,王少坡,等. O_3 - BAC 组合工艺深度净化 MBR 出水的中试研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5(6): 1237-1240.
- [4] 曲险峰. 活性炭纤维对水中酚类有机物的催化臭氧氧化[D]. 北京: 中国石油大学, 2007.
- [5] 申石泉,叶恒朋,陆少鸣,等. “三氮”在深度处理系统中的去除与转化[J]. 中国给水排水, 2004, 20(1): 53-54.
- [6] 王健,陆少鸣,陶光华,等. 两级臭氧氧化与活性炭组合深度处理工艺研究[J]. 环境工程, 2010, 28(增): 133-135.
- [7] 李灵芝,周云,王占生. 饮用水深度处理工艺对有机污染物的去除效果[J]. 中国环境科学, 2002, 22(6): 542-545.
- [8] 熊平,梁宏,林海波. 污水处理技术的研究进展[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2007, 20(5): 158-163.

(责任编辑 马立)