

Fe³⁺浓度对 Carrousel 氧化沟生物脱氮的影响

高剑平

(漳州职业技术学院 建筑工程学院, 福建 漳州 363000)

摘要: 以 Carrousel 氧化沟为研究对象, 分析不同进水条件(高、中、低碳源)下 Fe³⁺ 浓度对 NH₄⁺ - N 去除效果的影响。试验结果表明, 随着进水 Fe³⁺ 浓度持续增加, 系统对 NH₄⁺ - N 的去除率从 80% 以上不断下降; 当 Fe³⁺ 浓度超过阈值时, 系统对 NH₄⁺ - N 的去除率急剧下降(低于 60%); 进水 COD 浓度越高, 达到阈值所需的 Fe³⁺ 浓度也越高。Fe³⁺ 争夺电子使 HCO₃⁻ 的数量下降是系统去除 NH₄⁺ - N 能力减弱的主要原因。

关键词: Fe³⁺ 浓度; Carrousel 氧化沟; 脱氮; 碳源

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)15-0106-04

Effect of Fe³⁺ Concentration on Biological Denitrification in a Carrousel Oxidation Ditch

GAO Jian-ping

(Department of Architural Engineering, Zhangzhou Institute of Technology, Zhangzhou 363000, China)

Abstract: The influence of Fe³⁺ concentration on NH₄⁺ - N removal under conditions of high, medium and low influent carbon sources was analyzed in a Carrousel oxidation ditch system. The results showed that the removal rate of NH₄⁺ - N gradually decreased with the continuous increase of Fe³⁺ concentration in influent, and it decreased sharply from more than 80% to less than 60% when Fe³⁺ concentration exceeded the threshold. The higher COD concentration in influent, the higher Fe³⁺ concentration was required to reach the threshold. The decrease of HCO₃⁻ in the system due to Fe³⁺ competition for electrons was the main reason for the decrease of NH₄⁺ - N removal ability.

Key words: Fe³⁺ concentration; Carrousel oxidation ditch; denitrification; carbon source

在实际运行中,某城镇污水厂曾出现某段时期在进水各污染物浓度变化不大的情况下出水氨氮浓度经常性超标现象。通过对该污水厂日常运行监测数据分析发现,出水 NH₄⁺ - N 浓度超标与进水 Fe³⁺ 浓度具有一定的关联性。相关行政部门制止工业区内某企业违规排放含高浓度 Fe³⁺ 废水后,污水厂很快就实现了出水 NH₄⁺ - N 浓度的稳定达标。可见,在污水生物处理脱氮过程中,若进水中 Fe³⁺ 浓度较

高会显著削弱污水处理系统将 NH₄⁺ - N 转化为 NO_x⁻ - N 的能力。

笔者以 Carrousel 氧化沟为研究对象,分析污水中 Fe³⁺ 浓度对氧化沟工艺脱氮能力的影响规律,旨在为污水厂强化脱氮、优化调控奠定基础。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置与进水水质

试验用 Carrousel 氧化沟由有机玻璃制成,分为

缺氧区和好氧区,有效容积为 162 L,沟内设 2 台倒伞形曝气机,其平面布置如图 1 所示。

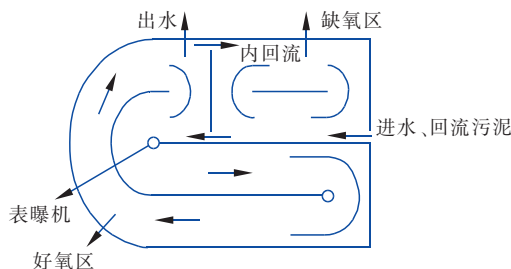


图 1 Carrousel 氧化沟平面布置示意

Fig. 1 Layout plan of Carrousel oxidation ditch

试验用水取自漳州西区污水处理厂的日常生活污水,通过外加葡萄糖或清水调节进水 COD 浓度,通过外加 NH_4Cl 调节进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度,通过外加 FeCl_3 调节进水 Fe^{3+} 浓度。试验用污泥取自漳州西区污水处理厂的回流污泥。

1.2 试验方法

当氧化沟成功启动且稳定运行后,保持进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度相对稳定,分别在高碳源进水(COD > 400 mg/L)、中碳源进水(COD 为 200 ~ 400 mg/L)和低碳源进水(COD < 200 mg/L)条件下,人为调节进水中 Fe^{3+} 浓度,使 Fe^{3+} 浓度以日均约为 10 mg/L 的速度递增,测定 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的浓度。

1.3 检测项目与方法

COD 采用重铬酸钾快速测定法测定, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度采用纳氏试剂分光光度法测定, Fe^{3+} 浓度采用 H-BD5W 多参数水质分析仪测定。

2 结果与讨论

2.1 Fe^{3+} 浓度对 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响

2.1.1 高碳源进水

图 2 为高碳源进水条件下 Fe^{3+} 浓度对 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响。可以看出,当 Fe^{3+} 浓度在 20 d 内从 10.60 mg/L 增加到 201.10 mg/L 过程中,系统对 COD 的去除率一直稳定在 90% 左右,表明系统对 COD 的去除能力与进水中的 Fe^{3+} 浓度没有关联性。而随着 Fe^{3+} 浓度的增大,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率则波动较大,其去除率最高为 83.87%、最低为 52.51%。当进水中 Fe^{3+} 浓度增加至 90.50 mg/L 时,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率下降至 79.81%;当 Fe^{3+} 浓度增加至 162.60 mg/L 时,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率下降至 68.41%;当 Fe^{3+} 浓度由 191.30

mg/L 增加到 201.10 mg/L 时,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率由 60.05% 迅速下降至 52.51%。

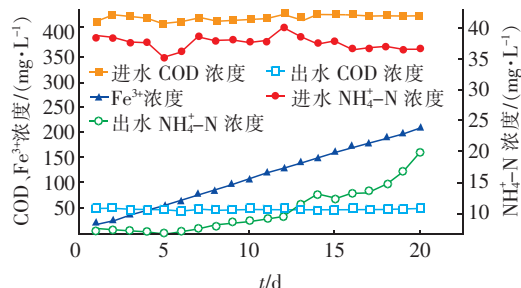


图 2 高碳源进水条件下 Fe^{3+} 浓度对 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响

Fig. 2 Effect of Fe^{3+} concentration on COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal under high carbon source influent

综上所述,在高碳源进水条件下, Fe^{3+} 浓度对氧化沟去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的影响具有以下规律:

① 当进水中 Fe^{3+} 浓度低于 100 mg/L 时,随着 Fe^{3+} 浓度的增大,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力仅略微下降,表明 Fe^{3+} 浓度在较低范围内变化时对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果影响不大。

② 当 Fe^{3+} 浓度超过 100 mg/L 时,随着 Fe^{3+} 浓度的增大,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力显著下降,表明 Fe^{3+} 浓度在一定范围内变化时对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 能力的影响显著增加。

③ 当 Fe^{3+} 浓度超过 190 mg/L 时,随着 Fe^{3+} 浓度的增大,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力急剧下降,表明 Fe^{3+} 浓度对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 能力的影响有一个阈值,当超过这个阈值后,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力会急剧下降。

2.1.2 中碳源进水

图 3 为中碳源进水条件下 Fe^{3+} 浓度对 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响。可以看出,随着反应器中 Fe^{3+} 浓度的增加,系统对 COD 的去除率一直稳定在 90% 左右,表明系统对 COD 的去除能力与进水中 Fe^{3+} 浓度的变化没有关联性。而对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果影响较大,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的最高去除率为 82.78%、最低为 42.16%。当进水 Fe^{3+} 浓度增加至 79.80 mg/L 时,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率降至 79.85%;当进水 Fe^{3+} 浓度增加至 140.60 mg/L 时,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率降至 69.16%;当进水 Fe^{3+} 浓度由 140.60 mg/L 增加至 151.90 mg/L 时,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率由 69.16% 迅速降至

56.12%。

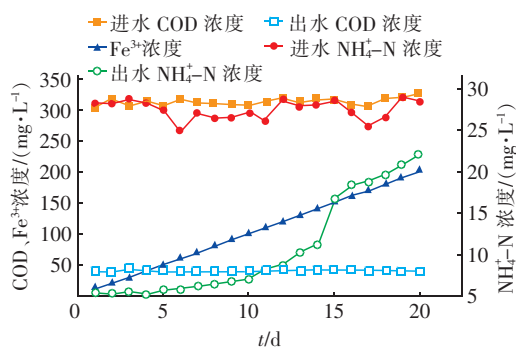


图3 中碳源进水条件下 Fe^{3+} 浓度对 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响

Fig.3 Effect of Fe^{3+} concentration on COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal under medium carbon source influent

可以看出,在中碳源进水条件下, Fe^{3+} 浓度对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的影响具有以下规律:

① 当进水中 Fe^{3+} 浓度低于 80 mg/L 时,随着 Fe^{3+} 浓度的增大,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力仅略微下降,表明 Fe^{3+} 浓度在较低范围内变化时对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的能力影响不大。

② 当 Fe^{3+} 浓度超过 80 mg/L 时,随着 Fe^{3+} 浓度的增大,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力显著下降,表明 Fe^{3+} 浓度在一定范围内变化时对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 能力的影响显著增加。

③ 当 Fe^{3+} 浓度超过 150 mg/L 时,随着 Fe^{3+} 浓度的增大,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力急剧下降,表明 Fe^{3+} 浓度对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的影响有一个阈值,若超过这个阈值,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力会急剧下降。

2.1.3 低碳源进水

图4为低碳源进水条件下 Fe^{3+} 浓度对 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响。可以看出,系统对 COD 的去除率一直稳定在 91% 左右,表明系统对 COD 的去除能力与进水中 Fe^{3+} 浓度没有关联性。而反应过程中,系统对氨氮的去除率波动比较大,最高值为 82.97%、最低值为 42.68%。当进水 Fe^{3+} 浓度增加至 69.70 mg/L 时,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率下降至 77.86%;当 Fe^{3+} 浓度增加至 109.90 mg/L 时,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率下降至 65.69%;在 Fe^{3+} 浓度由 109.90 mg/L 增加至 121.30 mg/L 过程中,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率由 65.69% 迅速下降至 55.82%。

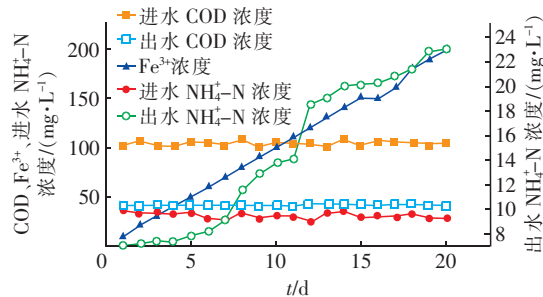


图4 低碳源进水条件下 Fe^{3+} 浓度对 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响

Fig.4 Effect of Fe^{3+} concentration on COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal under low carbon source influent

可以看出,在低碳源进水条件下 Fe^{3+} 浓度对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的影响具有以下规律:

① 当进水中 Fe^{3+} 浓度低于 70 mg/L 时,随着 Fe^{3+} 浓度的增大,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力仅略微下降,表明 Fe^{3+} 浓度在较低范围内变化时对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的影响不大。

② 当 Fe^{3+} 浓度超过 70 mg/L 时,随着 Fe^{3+} 浓度的增大,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力显著下降,表明 Fe^{3+} 浓度在一定范围内变化时对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的影响显著增加。

③ 当 Fe^{3+} 浓度超过 120 mg/L 时,随着 Fe^{3+} 浓度的增大,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力急剧下降,表明 Fe^{3+} 浓度对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 能力的影响有一个阈值,超过这个阈值后,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力会急剧下降。

2.2 Fe^{3+} 浓度对生物脱氮的影响分析

2.2.1 原因分析

从 2.1 节可以看出, Fe^{3+} 浓度对污水生物处理系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的能力有影响。究其原因,可以从得失电子角度分析^[1-7]:系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除主要是微生物通过硝化反应实现,即将氨氮氧化成 $\text{NO}_x^- - \text{N}$,每转化 1 mol 的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,需要消耗 1.86 mol 的 O_2 和 1.98 mol 的 HCO_3^- ,其中 0.02 mol 的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 转化为细胞成分,0.98 mol 的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 转化为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 。可见,要顺利完成硝化反应,需要较为充足的 O_2 和 HCO_3^- 。因为 HCO_3^- 是弱电解质的电解产物,若系统中 Fe^{3+} 的浓度较高, Fe^{3+} 会争夺电子还原成 Fe^{2+} ,从而影响 HCO_3^- 的产生数量,进而影响硝化反应过程中电子的转移,使得硝化反

应速度下降,最终表现为系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力下降。

2.2.2 关键技术参数

本试验中,在高、中、低碳源进水条件下, Fe^{3+} 浓度对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的能力具有显著影响,所需 Fe^{3+} 浓度的阈值分别为 190、150 和 120 mg/L,即进水 COD 浓度越高,阈值也越高。究其原因,一是进水 COD 浓度越高,系统中好氧微生物代谢速率及代谢产生 CO_2 的速率也越高,进而水中 HCO_3^- 产生速率随之增高;二是系统中 HCO_3^- 产生速率增高,若要减少 HCO_3^- 的数量,从而影响硝化反应过程中电子的转移,必然需要更多的 Fe^{3+} 来争夺电子,宏观上就表现为阈值的高低与进水 COD 浓度密切相关。因此,在生产实践中控制进水中 Fe^{3+} 浓度不超过阈值是污水厂实现较好生物脱氮效果的关键。

3 结论

① 在高、中、低碳源进水条件下, Fe^{3+} 浓度与 COD 的去除效果没有关联性。

② Fe^{3+} 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除效果的影响具体表现为:低浓度 Fe^{3+} 对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的能力仅略有影响;当 Fe^{3+} 浓度增加到一定程度时,随着 Fe^{3+} 浓度的增大,系统对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力显著下降; Fe^{3+} 浓度对系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 能力的影响有一个阈值,若超过该阈值,则对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除能力会急剧下降;该阈值与进水中 COD 的浓度有关, COD 浓度越高,阈值也越高。污水厂实际生产中,应注意控制进水中 Fe^{3+} 浓度不能超过阈值,否则会严重影响对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果。

③ Fe^{3+} 争夺电子使得系统中 HCO_3^- 的数量下降是系统去除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 能力减弱的主要原因。

参考文献:

- [1] 于静洁,邓宏,郑淑平,等. 氧化沟工艺应用研究进展[J]. 工业水处理,2013,33(6):1-5.
Yu Jingjie, Deng Hong, Zheng Shuping, *et al.* Progress in the research and application of oxidation ditch [J]. Industry Water Treatment, 2013, 33(6): 1-5 (in Chinese).
- [2] Wang S Y, Gao D W, Peng Y Z, *et al.* Nitrification-denitrification via nitrite for nitrogen removal from high nitrogen soybean wastewater with on-line fuzzy control [J]. Water Sci Technol, 2004, 49(5/6): 121-127.
- [3] 张扬,李子富,宋英豪,等. 改进 Orbal 氧化沟工艺污水处理厂脱氮效果研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(8): 1461-1466.
Zhang Yang, Li Zifu, Song Yinghao, *et al.* Improving the nitrogen removal efficiency of an Orbal oxidation ditch process [J]. China Environmental Science, 2012, 32(8): 1461-1466 (in Chinese).
- [4] 郑莹,李杰,豆宁龙,等. 不同价态铁对活性污泥性能的影响[J]. 中国给水排水, 2018, 34(9): 26-32.
Zheng Ying, Li Jie, Dou Ninglong, *et al.* Effect of different valent iron on performance of activated sludge [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(9): 26-32 (in Chinese).
- [5] Chiu Y C, Lee L L, Chang C N, *et al.* Control of carbon and ammonium ratio for simultaneous nitrification and denitrification in a sequencing batch bioreactor [J]. Int Biodeterior Biodegrad, 2007, 59(1): 1-7.
- [6] 刘艳臣. Carrousel 氧化沟单沟脱氮优化条件及其控制策略研究[D]. 北京:清华大学, 2008.
Liu Yanchen. Study on the Optimum Operation Condition and Control Strategy of the Removal of Nitrogen in the Carrousel Oxidation Ditch [D]. Beijing: Tsinghua University, 2008 (in Chinese).
- [7] 李柏林. A/A/O 氧化沟工艺强化脱氮调控技术研究[D]. 重庆:重庆大学, 2012.
Li Bolin. Study on Strengthening Nitrogen Removal in A/A/O Oxidation Ditch Process by Regulation Technology [D]. Chongqing: Chongqing University, 2012 (in Chinese).



作者简介:高剑平(1977-),男,福建漳州人,硕士,副教授,主要研究方向为微生物水污染控制工程、固体废物的处置与资源化。

E-mail: 13306065368@189.cn

收稿日期:2019-03-22