

沸石强化活性污泥系统的除污效能研究

谢冰¹, 徐亚同¹, 戴兴春¹, 吴平², 仓一华²

(1. 上海华东师范大学 环境科学系, 上海 200062; 2. 上海石化股份有限公司 环保中心, 上海 200540)

摘要: 为了筛选出一种既能提高常规活性污泥系统的除污效能, 又能加强其抗冲击负荷能力的方法, 考察了投加沸石粉的活性污泥系统对石化废水 COD 和氨氮的强化去除效果, 研究了污泥絮体的性状和结构以及微生物 DNA 的多样性, 探讨了沸石强化活性污泥系统对污染物去除的机理。模拟高氨氮浓度的进水对沸石强化活性污泥系统进行冲击的试验表明, 沸石强化系统对氨氮的冲击比对照组有较强的耐受性; 冲击后采取投加沸石粉的补救措施表明, 它对于冲击造成的损伤有较好的修复效果。

关键词: 沸石; 活性污泥; 石化废水; 强化处理

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2004)07-0016-05

Study on Pollutants Removal Efficiency of Zeolite Enhanced Activated Sludge System

XIE Bing¹, XU Ya-tong¹, DAI Xing-chun¹, WU Ping², CANG Yi-hua²

(1. Dept of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Sinopec Shanghai Petrochemical Co. Ltd., Shanghai 200540, China)

Abstract: In order to select a method by which the pollutants removal efficiency of conventional activated sludge system can be improved and its shock resistance capacity can be upgraded, investigation was conducted on the effect of zeolite enhanced activated sludge system on removal of COD and ammonia nitrogen from petrochemical wastewater; and study was made on character and structure of sludge floc and diversity of microbial DNA, as well as its mechanism of pollutants removal. Also, simulation was carried out to the shock loading of influent with high ammonia content on the zeolite enhanced activated sludge system. Test results show that the zeolite enhanced system has much stronger resistance to shock loading than that of the control system. The remediation measures taken by addition of zeolite indicate that the zeolite enhanced activated sludge system has good effect on repairing the damage rising from shock loading.

Key words: zeolite; activated sludge; petrochemical wastewater; enhanced treatment

上海石化股份有限公司污水处理厂处理量为 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 其废水成分复杂, 含氨的有毒物质较多, 水质的变化使得污水处理厂运行受到冲击, 处理

效果不稳定, 因此寻求一种有效的修复技术是稳定运行的保障。

天然沸石比表面积大, 孔径均匀, 会产生超孔效

应并具有优良的选择吸附和分子筛功能。斜发沸石是一种高硅沸石,具有典型的铝硅笼式结构,超孔效应更强。此沸石对 Cs^+ 、 NH_4^+ 和 K^+ 均具有较高的选择交换性,因而可用于城市生活污水或一般工业废水的处理^[1]。

基于以上考虑,采用斜发沸石粉强化活性污泥系统,在上海石化有限公司现场模拟其生产性的活性污泥处理设施,采用实际废水进行了小试。

1 试验材料与方法

1.1 原水水质

原水取自该废水处理厂的初沉池出水,其主要水质指标见表 1。

表 1 原水水质

Tab. 1 The water quality of influent mg/L

水质指标	COD	BOD ₅	NH ₄ -N	TN
数值	400~550	120~150	30~50	40~60

1.2 试验装置与运行参数

小试装置共 2 套,平行运行,均采用推流式曝气池运行模式(见图 1)。曝气池长×宽×高为 100 cm×18 cm×14 cm。模拟实际处理系统曝气池的运行参数,进水流量为 4.5 L/h,停留时间为 5.5 h,回流比为 50%,污泥龄控制在 15 d,沉淀时间为 2.6 h。

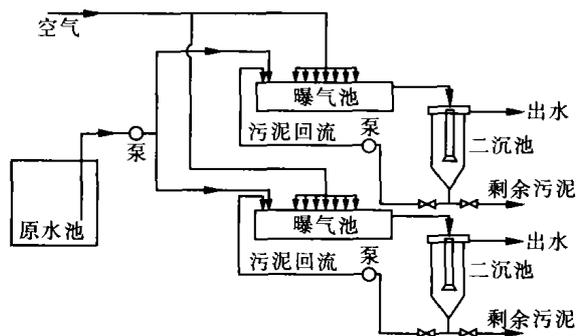


图 1 小试装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of small-scale test

两套平行活性污泥系统,第一阶段沸石强化试验中沸石粉投量分别为 25 mg/L 和 50 mg/L,与实际运行的活性污泥处理系统进行对照,分别测定其出水指标,分析活性污泥性状和微生物 DNA 多样性的变化,系统运行稳定后分别采用含氨氮 55 mg/L 的进水和含碱性有机物(COD 为 2 116 mg/L、pH 为 11.2)的进水对投加 50 mg/L 沸石的活性污泥系统进行冲击,时间分别为 4 h 和 1.5 h,测定出水水质

和活性污泥指标;第二阶段模拟实际正常处理系统受到高浓度氨氮进水的冲击,用氨氮浓度为 145 mg/L 的进水冲击 2 h 后,采取投加沸石粉(曝气池中的终浓度为 50 mg/L)的补救措施,考察沸石对生化处理系统的恢复效果。

1.3 分析项目及方法

定期采集进、出水水样,测定 COD、BOD₅、NH₄⁺-N、TN、SS 等指标;对污泥样品测定 SV₃₀、SVI、AUR(硝化耗氧速率)等,具体测定方法见文献[2、3]。对生物处理系统中的微生物多样性采用结合随机扩增多态性的方法进行分析,采样时间分别为开始和投加沸石后一周,具体分析见文献[4],采用 13 条随机引物。

2 结果与分析

2.1 沸石对系统处理能力的强化

① 对 COD 去除效果的强化

投加沸石粉对 COD 去除效果的强化见图 2。

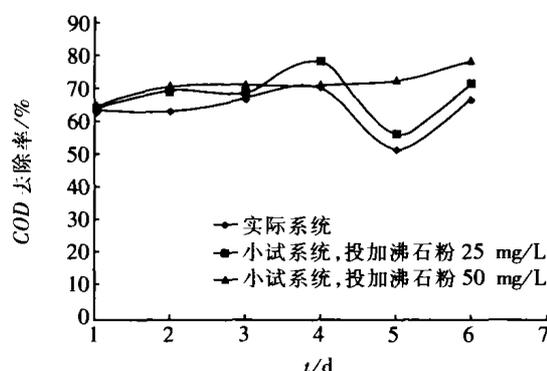


图 2 投加沸石粉对 COD 去除效果的影响

Fig. 2 Effect of zeolite addition on COD removal

从图 2 可见,投加沸石粉对于小试活性污泥曝气池的 COD 去除率有明显的提高,投加 50 mg/L 的沸石不仅 COD 平均去除率比实际运行系统高 10%,而且可使 COD 去除率变得稳定。

② 对氮去除效果的强化

在试验初期由于沸石对氨氮具有较强的吸附能力,表现在第二天氨氮的去除率有较大的提高(见图 3),以后逐渐趋于平缓,一周的平均去除率比实际工况高 15%。同时,研究发现投加沸石可以促进氨氮向硝酸盐氮的转化(见图 4)和提高对 TN 的去除率(见图 5)。分析原因,一方面可能是由于沸石对氨氮的吸附,另一方面可能是投加沸石为硝化和反硝化细菌的生长提供了理想的载体,使其作用和

功能增强。若单纯强化氨氮的去除和转化,以投加沸石粉 50 mg/L 为宜,而对 TN 的去除则投加 25 mg/L 和 50 mg/L 沸石粉的效果相近。

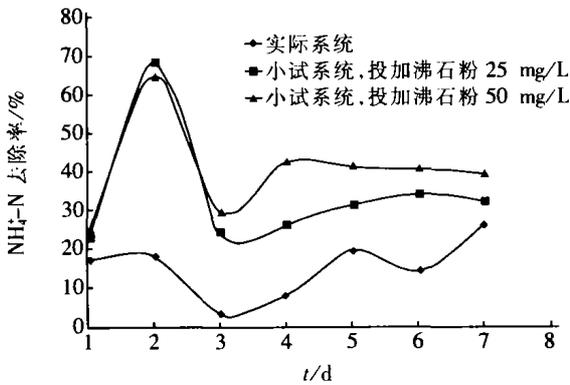


图3 投加沸石对 NH₄⁺-N 去除效果的影响

Fig. 3 Effect of zeolite addition on NH₄⁺-N removal

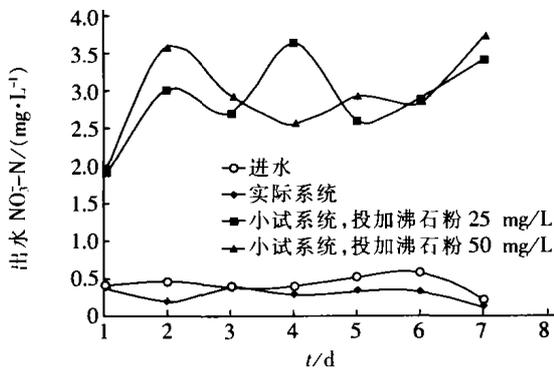


图4 投加沸石对出水 NO₃⁻-N 的影响

Fig. 4 Effect of zeolite addition on effluent NO₃⁻-N

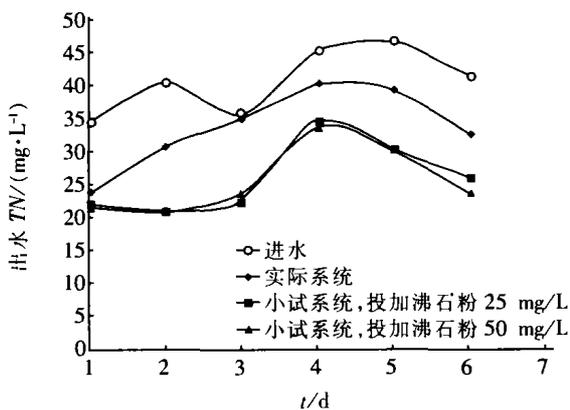


图5 投加沸石对出水 TN 的影响

Fig. 5 Effect of zeolite addition on effluent TN

③ 对污泥性状和结构的影响

沸石的投加改善了污泥的性状,使得曝气池内污泥的沉降性能提高,这可以从图 6、7 得到证实:小试装置污泥的 SV₃₀ 和 SVI 有明显下降趋势,而实际

系统的曝气池中污泥的 SVI 无明显变化。此外,镜检观察到污泥絮体的结构有较大改善,边缘变得饱满,结构密实,原生动物的种类和丰富度有一定的提高。

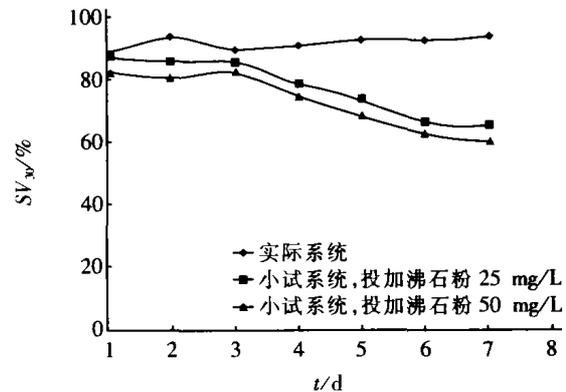


图6 投加沸石后污泥 SV₃₀ 的变化

Fig. 6 Changes of SV₃₀ with zeolite addition

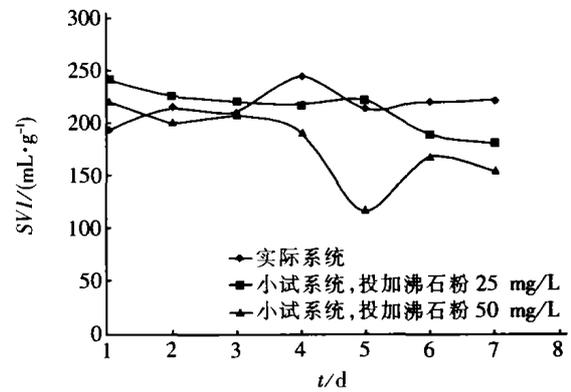


图7 投加沸石后污泥 SVI 的变化

Fig. 7 Changes of SVI with zeolite addition

在两种沸石投量下,活性污泥的 AUR 都随时间逐渐增加(见图 8),说明沸石对硝化细菌有吸附作用,吸附的硝化细菌数量随时间延长而增加。硝化细菌在沸石表面的大量生长,是曝气池中氨氮转化效率提高的重要原因。

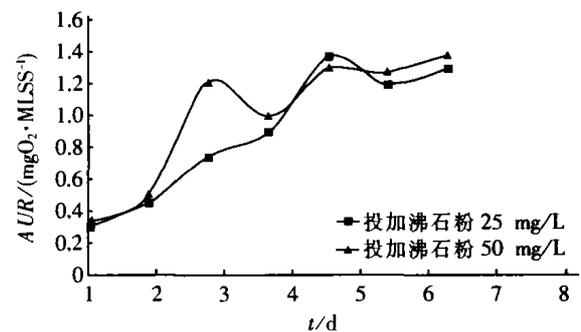


图8 投加沸石后污泥 AUR 的变化

Fig. 8 Changes of AUR with zeolite addition

④ 对微生物 DNA 多样性的影响

沸石加入到曝气池后,活性污泥中微生物 DNA

多样性的变化情况见表2。

表2 污泥样品的分子生态学分析结果

Tab.2 The molecular ecological analysis of sludge samples

项目	香农威纳多样性指数	均匀度	丰富度
起始样品	0.74	0.63	1.02
投加 25 mg/L 沸石的污泥	0.88	0.86	1.17
投加 50 mg/L 沸石的污泥	0.98	0.84	1.17

由表2可知,投加沸石使得活性污泥微生物多样性增加,提高了微生物的均匀度和丰富度,这些指标的变化表明活性污泥生态系统功能的提高,该结果也进一步说明了投加沸石能改善活性污泥生态系统的功能,提高系统对污染物的去除能力。

从以上试验可知,投加 50 mg/L 沸石粉的小试系统去除 COD 和氨氮的能力比 25 mg/L 的强,故选取投加 50 mg/L 沸石粉的小试系统进行抗冲击试验。

2.2 沸石强化系统的抗冲击与恢复

① 高氨氮连续 4 h 冲击及恢复过程

高浓度氨氮冲击对系统去除 COD 的影响如图 9 所示。

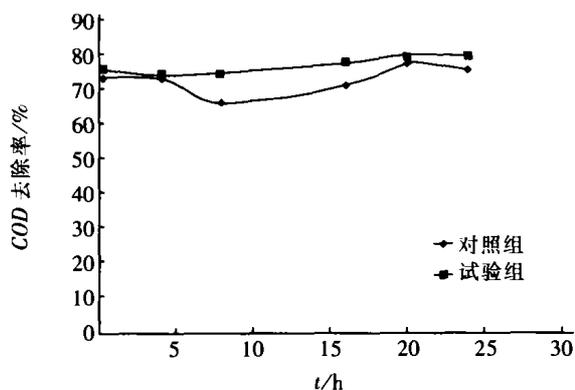


图9 高浓度氨氮冲击对 COD 去除的影响

Fig.9 Effect of shock of high $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ concentration on COD removal

由图9可知,高浓度氨氮冲击对投加 50 mg/L 沸石粉的试验组而言, COD 的去除效果几乎无影响,而对照组在 4 ~ 16 h 出现了去除率的下降。这表明投加沸石的活性污泥系统对 C/N 变化的适应范围更大。相同条件下,投加沸石的试验组对 COD 去除率比对照组高 5% ~ 8%。

高浓度氨氮冲击对系统去除氨氮的影响如图 10 所示。

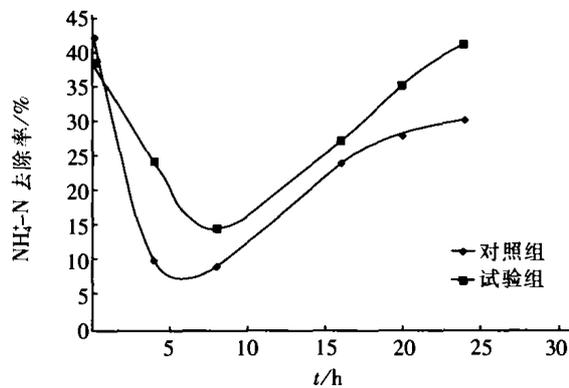


图10 高浓度氨氮冲击对氨氮去除的影响

Fig.10 Effect of shock of high $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ concentration on $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal

由图10可知,高氨氮的冲击对两个系统去除氨氮的效果都有影响,且趋势一致,即氨氮的去除率先急剧下降,后缓慢上升,但是试验组的氨氮去除能力恢复较快,20 h 后已基本恢复到冲击前的水平,而对照组受损比较严重,恢复较慢,24 h 后仍未恢复,这表明沸石强化活性污泥系统具有较强的抗氨氮冲击能力。两者相比较,试验组对氨氮去除率比对照组高 3% ~ 12%。

高浓度氨氮冲击对污泥 SVI 的影响见图 11。

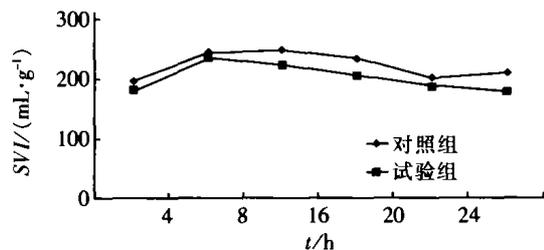


图11 高浓度氨氮冲击对 SVI 的影响

Fig.11 Effect of shock of high $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ concentration on SVI

由图11可知,高浓度氨氮冲击对两系统的污泥 SVI 都有影响,在冲击期内两者的 SVI 都有不同程度的升高。与对照组相比,投加 50 mg/L 沸石粉的试验组, SVI 数值较低且恢复较快。

② 废碱液冲击 4 h 及恢复过程

碱液的冲击使得系统的 pH 值发生了改变, NH_4^+ 转变成 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 不利于沸石对 NH_4^+ 的选择性吸附。从试验结果上看,试验组 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率明显低于对照组,同时出水 COD 和 SS 浓度瞬间升高。活性污泥的结构变得松散,絮体变小。pH 值的冲击对于投加沸石的活性污泥系统来说是不利的。

2.3 投加沸石的紧急修复试验

高浓度氨氮冲击后投加沸石对 COD 、氨氮去除效果的恢复见图 12、13。

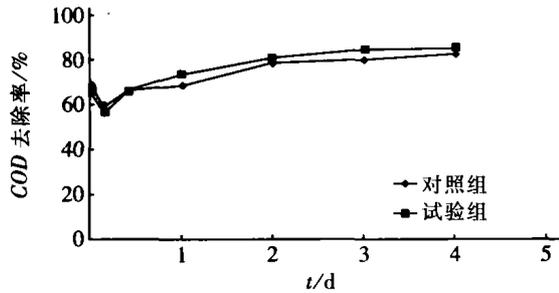


图 12 受到冲击后投加沸石修复的 COD 去除率变化
Fig. 12 Changes of COD removal with zeolite added for recovery of the system

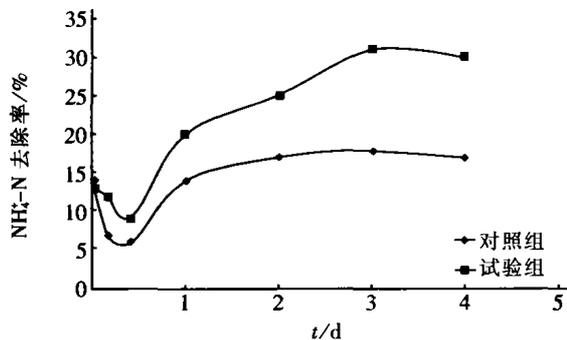


图 13 受到冲击后投加沸石修复的氨氮去除率变化
Fig. 13 Changes of ammonium removal with zeolite added for recovery of the system

从图 12、13 可知,正常系统在突然受到高浓度氨氮(145 mg/L)冲击 2 h 后,有机物和氨氮的去除率降低,出水水质变差,冲击结束后 10 h 系统的去除率降到最低,之后系统会逐渐恢复, COD 和氨氮的去除率在 20 h 后可基本恢复;投加沸石粉的系统(冲击结束后投加 50 mg/L)的恢复比对照组更快一些,而且由于沸石对氨氮的吸收,投加沸石组的氨氮去除率恢复比对照组快,而且随时间延长会持续升高,甚至高出原来的数值,直至沸石吸附饱和。

3 结论

① 沸石强化活性污泥系统对有机物和氨氮的去除有强化作用,投加沸石粉 50 mg/L 可使 COD 去除率平均提高约 10%,氨氮去除率提高 15%。沸石强化的活性污泥系统对于氨氮的冲击具有明显的耐受性,沸石投加组(50 mg/L)对 COD 和氨氮的去除率比对照组分别高 5%~8% 和 3%~12%。但对 pH 值的冲击,试验组对氨氮的去除率低于对照组。

② 投加沸石使得曝气池中的硝化细菌类群增加,硝化速率提高,出水的硝酸盐氮浓度明显提高。分子生态学分析表明,投加沸石后活性污泥系统中微生物的 DNA 多样性、丰富度和均匀度均有提高。

③ 对于受到短暂氨氮冲击的正常运行活性污泥系统,通过投加 50 mg/L 的沸石粉,可使处理系统在较短的时间内恢复到处理以前的状态。

参考文献:

- [1] Jorgensen T C, Weatherley L R. Ammonia removal from wastewater by ion exchange in the presence of organic contaminants[J]. *Wat Res*, 2003, 37: 1723-1728.
- [2] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第 4 版)[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.
- [3] Kristensen G H, Jorgensen P E, Henze M. Characterization of functional microorganism groups and substrate in activated sludge and wastewater AUR, NUR and OUR[J]. *Wat Sci Tech*, 1987, 25(6): 43-57.
- [4] 谢冰, 徐亚同. 锌离子对活性污泥微生物 DNA 序列多样性的分析[J]. *环境科学研究*, 2003, 22(6): 18-24.

作者简介:谢冰(1968-), 男, 湖北黄石人, 博士, 副教授, 研究方向为水污染控制。

电话:(021)62233670

E-mail:bxie@des.ecnu.edu.cn

收稿日期:2004-02-23

本期责任编辑:江荣 编辑:衣春敏 孔红春 王领全