

# 烟酸对毛纺废水活性污泥处理系统的影响

车玉伶<sup>1,2</sup> 王慧<sup>1</sup> 胡洪营<sup>1</sup> 梁威<sup>1,3</sup> 古新<sup>1</sup>

(1 清华大学环境科学与工程系,北京 100084; 2 中国电子工程设计院,北京 100840;

3 中国科学院水生生物所,武汉 430072)

**摘要** 烟酸是合成辅酶的原料,也是许多微生物生长所必需的维生素之一。以静态试验得出的烟酸最佳投加浓度为依据,采用连续流的实际毛纺废水活性污泥试验及对照系统,进行连续投加烟酸的试验,维持曝气系统内烟酸浓度 1 mg/L。在 16 d 的投加期间,投加组的平均 COD<sub>Cr</sub> 去除率为对照组的 1.3 倍,活性污泥平均总脱氢酶活性和平均内源呼吸脱氢酶活性分别为对照组的 1.34 倍和 1.44 倍。

**关键词** 毛纺废水 烟酸 COD<sub>Cr</sub> 去除率 脱氢酶活性

毛纺废水是公认难降解的工业废水之一,其活性污泥处理系统目前普遍存在运行不稳定以及 COD<sub>Cr</sub> 去除率低等问题。营养物质不均衡是毛纺废水生物处理效率降低的重要原因之一,以往的研究主要针对 C、N、P 等大量营养物质,但对微生物代谢所需的微量金属元素和维生素等微量营养物质的作用缺乏系统研究。烟酸是合成辅酶的原料,是许多微生物细胞生长必要的维生素之一,有研究表明一定量的烟酸能够提高工业废水处理污泥中细胞的代谢活性<sup>[1,2]</sup>。梁威等<sup>[3]</sup>通过实验室摇瓶试验研究了不同浓度烟酸对毛纺废水活性污泥降解 COD<sub>Cr</sub> 活性的影响,结果发现,在不同污泥浓度和废水 COD<sub>Cr</sub> 的条件下,加入烟酸后单位污泥的 COD<sub>Cr</sub> 降解速率均有明显提高,其中,体系烟酸浓度为 1 mg/L 时,COD<sub>Cr</sub> 降解速率提高最为显著,达到对照的 220%。本研究以梁威等<sup>[3]</sup>的静态

试验得出的烟酸最佳投加浓度为依据,在某毛纺厂废水处理站搭建了连续流的活性污泥试验及对照系统,以实际毛纺废水为处理对象,进行连续投加烟酸的试验,维持曝气系统内浓度为 1 mg/L,研究烟酸对该系统处理效果和微生物活性的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

(1) 活性污泥反应器。采用一体式完全混合活性污泥法。反应器包括 2 个完全相同的操作单元,每个操作单元分成曝气区、缓冲区、沉淀区和出水区。曝气区容积 20 L,通过空气压缩泵和搅拌器分别进行曝气和搅拌,使混合均匀、供氧充足;活性污泥混合液通过曝气区中上部的 3 个小孔流入缓冲区并从缓冲区底部的回流缝流到沉淀区;污泥在沉淀区沉降并从缓冲区底部的回流缝回流到曝气区,分离的上清液由沉淀区器壁的小孔溢流至出水区。反应器连续进水连续出水,设计进水流量为 50 mL/min, HRT 6.67 h。

(2) 调节池。毛纺废水具有水质水量变化大的

国家高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601150, 2002AA601170)。

Engineering, 2002, 128(9): 799 ~ 805

- 11 Bigda R J. Consider Fenton's chemistry for wastewater treatment. Chem Eng Prog, 1995, 91(12): 62 ~ 66
- 12 Bossmann S H. and Oliveros E, Gob S, et al. New evidence against hydroxyl radicals as reactive intermediates in the thermal and photochemically enhanced Fenton reaction. Phys. Chem., 1998, 102(28): 5542 ~ 5550
- 13 陈传好, 谢波, 任源, 等. Fenton 试剂处理废水中各影响因子

的作用机制. 环境科学, 2000, 21(3): 180 ~ 183

- 14 Zhang H, Fei C Z, Zhang D B, et al. Degradation of 4-nitrophenol in aqueous medium by electro-Fenton method. Hazard Mat, 2006, 11(16): 1 ~ 19

E-mail: yangc@hnu.cn

收稿日期: 2008-07-14

修回日期: 2008-08-15

特点,为了快速启动反应器和保证反应器的良好运行以及连续投加烟酸的试验取得良好的条件,在活性污泥反应器进水之前设置了一个容积为  $2 \text{ m}^3$  的储罐作为调节池。

### 1.2 试验用水

某毛纺织厂产品全部为精纺产品,原料为洗净毛,没有开毛、洗毛工序,主要的废水产生工序为毛条染色和精染,废水中主要污染物为短纤维、毛屑、染料以及洗涤剂、柔软剂、碱、盐等辅料。该毛纺织厂所排废水为典型的毛精纺织产品排水,其中污染物浓度低于毛粗纺产品排水和绒线产品排水。废水处理站采用厌氧—好氧组合处理工艺,处理能力为  $2000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。试验装置具体进水为水解酸化池出水。本研究试验废水中  $\text{COD}_{\text{Cr}}$   $39 \sim 348 \text{ mg/L}$ ,总氮  $6 \sim 16 \text{ mg/L}$ ,氨氮  $5 \sim 12 \text{ mg/L}$ ,总磷  $0.5 \sim 1.3 \text{ mg/L}$ ,色度  $10 \sim 20$  倍,pH  $6.8 \sim 7.4$ , $\text{BOD}/\text{COD}$  约  $0.3$ ,废水中的氮、磷也基本满足微生物生长的需要。

### 1.3 试验方法

活性污泥反应器 2 个相同的系统同时接种废水处理站接触氧化池的底泥并保持运行条件的一致。在驯化和运行期间,监测  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  等常规指标,考察两系统的平行性及稳定状况。在系统稳定以后,以 1 个反应器为对照,向另一反应器连续投加烟酸  $16 \text{ d}$ ,保持反应器曝气区中烟酸浓度为  $1 \text{ mg/L}$  左右。同时监测两反应器的处理效果、微生物酶活性。停止投加后,继续观察  $14 \text{ d}$ 。

### 1.4 分析项目

(1) 理化指标:pH 采用玻璃电极法;溶解氧采用 YSF-58 型溶解氧仪; $\text{COD}$  采用改进的重铬酸盐比色法;氨氮采用纳氏试剂比色法;亚硝酸氮采用  $\text{N}-(1\text{-萘基})\text{-乙二胺}$  比色法;硝酸氮采用离子色谱法;SS 和 VSS 采用重量法。

(2) 脱氢酶活性:采用刃天青法测定。

## 2 结果与讨论

为了凸显烟酸投加试验进行的时间和效果,也为了更好地展示投加前后两反应器运行情况,本研究的数据和图表按投加试验的天数做了统一标注,将 5 月 27 日即开始投加烟酸那天定为 0 天,投加前后按数值坐标标注。

### 2.1 系统的调试运行

两个相同的活性污泥系统于 4 月 6 日同时启动。投加烟酸试验于 5 月 27 日开始。整个调试运行期约为  $50 \text{ d}$ 。 $\text{COD}_{\text{Cr}}$  的监测在启动后第 2 天开始。调试期间,进水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  变化很大,最大  $347.9 \text{ mg/L}$ ,最小  $39.0 \text{ mg/L}$ 。由于水质波动较大并受五一期间停电停水影响,五一前平行性良好的两反应器出现波动,直至 5 月 24 日两系统趋向稳定和平行。

氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮指标的监测在启动一周后开始进行。调试期间,两系统平行性良好。初始几天的监测数据表明,进水的氨氮基本在  $10 \text{ mg/L}$  以内,亚硝酸氮和硝酸氮未检出,而出水氨氮去除率在  $10\%$  以下,亚硝酸氮未检出,故暂不监测亚硝酸氮和硝酸氮,只连续监测氨氮。随着运行时间延长,氨氧化作用越来越明显,到启动后  $31 \text{ d}$  氨氮去除率达到  $90\%$  以上,此后一直稳定在  $90\%$  左右。在氨氮去除率达到  $90\%$  时开始连续监测亚硝酸氮,结果发现,去除的氨氮均转化为亚硝酸氮,出现亚硝酸氮积累现象。亚硝酸盐积累的现象可能是由于硝酸菌生长比较缓慢。随着运行时间的进一步延长,出水亚硝酸氮越来越低,而相应的硝酸氮浓度越来越高,到 5 月 25 日系统形成了稳定的自养菌群,也就是系统可以实现稳定的硝化功能。

调试运行期间,出水  $\text{DO}$   $4 \sim 5 \text{ mg/L}$ ,人工排泥一次,使曝气区  $\text{MLSS}$  维持在  $2 \sim 3 \text{ g/L}$ 。通过对两系统平行性及稳定性的考察,选择系统 B 为对照,在 5 月 27 日向系统 A 进行连续投加烟酸的试验。

### 2.2 烟酸投加对 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 去除率的影响

投加烟酸后两系统  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  去除效果见图 1 和图 2。投加烟酸后,经过  $2 \sim 3 \text{ d}$  反应器  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  去除率出现差别。投加期间,投加组出水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  平均  $21.3 \text{ mg/L}$ ,平均去除率为  $80.5\%$ ;对照组出水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  平均  $43.1 \text{ mg/L}$ ,平均去除率为  $60.2\%$ ;投加组的平均去除率为对照组的  $1.3$  倍。停止投加后投加组  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  去除率高于对照组情况仍持续近两周。

为了体现两个系统投加前的对照程度和充分体现投加后的效果,引入相对偏差  $= 2 \times (B - A) / (A + B)$ , $A$  和  $B$  分别表示投加组和对照组的出水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,见图 3。

由图 3 可知:投加前两系统基本平行,且投加前投加组出水的平均  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  高于对照组,即投加组

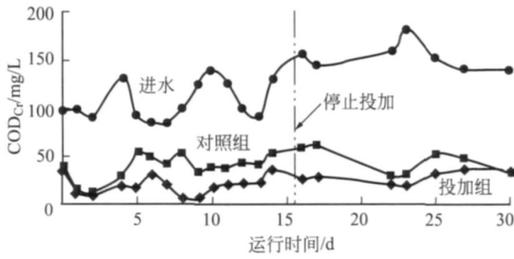


图1 系统对 COD<sub>Cr</sub> 的去除效果

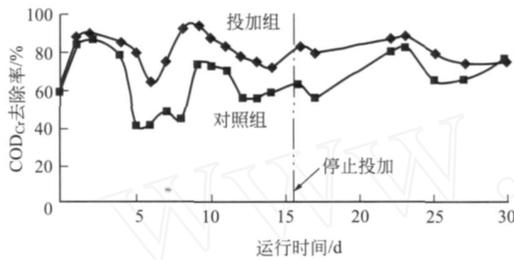


图2 系统 COD<sub>Cr</sub> 去除率变化

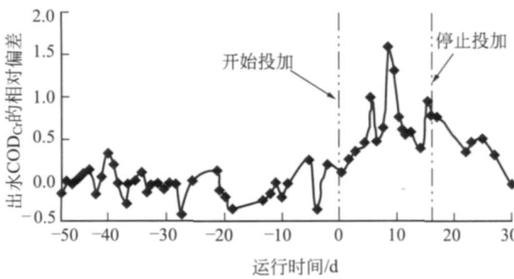


图3 烟酸投加系统与对照系统出水 COD<sub>Cr</sub> 的相对偏差

的平均去除率低于对照组；投加期间投加组的出水 COD<sub>Cr</sub> 显著小于对照组，说明烟酸的投加显著提高了 COD<sub>Cr</sub> 去除率；停止投加后，投加组较优的处理能力维持了一段时间后逐渐回落。

### 2.3 烟酸投加对脱氢酶活性的影响

在生物氧化过程中，微生物脱氢酶是微生物降解有机污染物获得能量的必需酶。因此，微生物的脱氢酶活性在很大程度上反映了其代谢活性。烟酸是脱氢酶两个重要辅酶 NAD<sup>+</sup> 和 NADP<sup>+</sup> 的前体，从理论上分析，烟酸投加能够提高脱氢酶活性。本研究采用刃天青法测定了烟酸投加前后活性污泥微生物的总比脱氢酶活性和内源比脱氢酶活性两个指标，试验结果分别见图4和图5。

由图4、图5和数据分析可知：烟酸的投加显著提高了脱氢酶活性，投加期间活性污泥平均总脱氢酶活性和平均内源呼吸脱氢酶活性分别为对照组的1.34倍和1.44倍；投加初期脱氢酶活性迅速

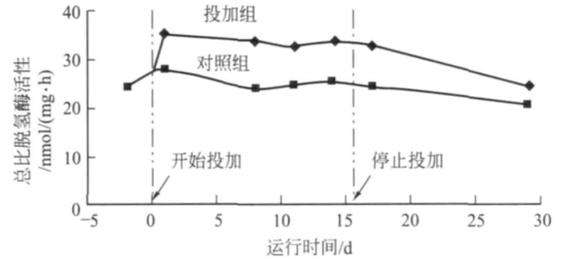


图4 总比脱氢酶活性变化

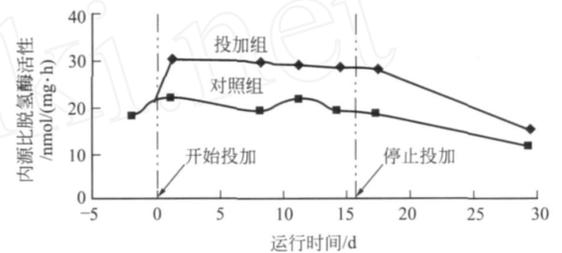


图5 内源比脱氢酶活性变化

上升，说明投加烟酸具有迅速提高微生物活性的作用；在停止投加两周以后，投加组的脱氢酶活性仍高于对照组但幅度有所下降，投加组的平均总比脱氢酶活性和平均内源比脱氢酶活性分别是其对照组的1.16倍和1.35倍，说明烟酸的投加可能在一定程度上优化了微生物种群，从而可以在一段时间内保持较高的微生物活性。

### 2.4 烟酸投加对系统氮素转化的影响

监测了投加烟酸前后两系统硝化功能的变化情况，以研究投加烟酸对硝化菌群（包括亚硝酸菌和硝酸菌）是否有促进或抑制作用。相应的试验结果见图6~图8。

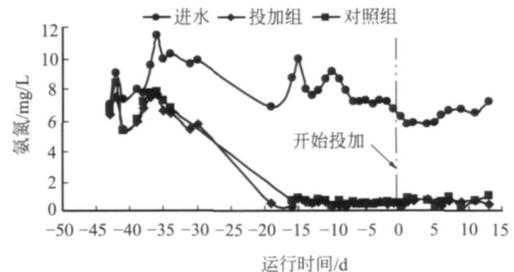


图6 系统进出水氮变化

由图6~图8可以看到，投加烟酸前两系统并行性良好；烟酸的投加对于氨氮去除率没有明显影响，投加组与对照组在氮素转化方面也没有显著差异。这说明，在本研究条件下，投加烟酸对硝化菌群

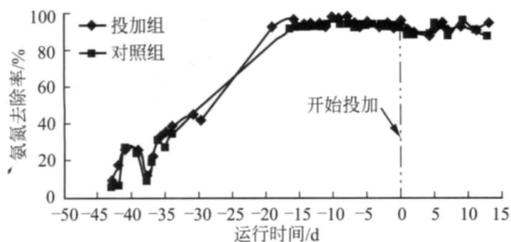


图7 系统氨氮去除率变化

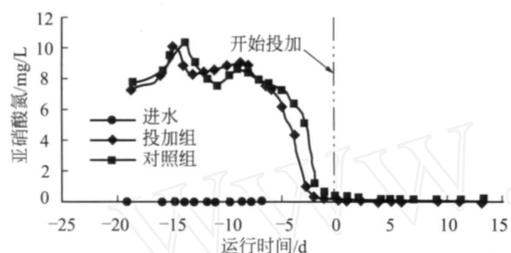


图8 系统进出水亚硝酸氮变化

没有促进或抑制作用。鉴于此趋势,在加药第 14 天停止监测氮素指标。

### 3 结论

(1) 烟酸的连续投加有效提高了毛纺废水活性污泥处理系统的 COD<sub>Cr</sub> 去除率,投加组的平均去除率约为对照组的 1.3 倍。

(2) 烟酸的连续投加能够迅速高效地提高活性污泥总脱氢酶活性和内源呼吸脱氢酶活性,提高幅

度在 30% 以上。

(3) 烟酸的连续投加迅速优化了菌群结构,增加系统的稳定性。

(4) 烟酸投加对废水处理的硝化过程基本没有影响。

(5) 在停止投加两周左右时间里,投加组较优的处理能力和较高的微生物酶活维持了一段时间后渐渐回落。

### 参考文献

- 1 Lemmer H, Lind G, Metzner G, et al. Vitamin addition in biological wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 1998, 37 (4-5): 395 ~ 398
- 2 Burgess J E, Quarmby J, Stephenson T. Micronutrient supplements for optimization of the treatment of industrial wastewater using activated sludge. *Water Research*, 1999, 33 (18): 3707 ~ 3714
- 3 梁威, 胡洪营, 王慧, 等. 微量营养物质对毛纺废水生物处理效果的影响. *给水排水*, 2005, 31 (11): 53 ~ 56

通讯处: 100084 清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制国家重点实验室 205

E-mail: wanghui @tsinghua. edu. cn

收稿日期: 2008-07-28

修回日期: 2008-08-16

## 2009 年《给水排水》增刊征稿启事

《给水排水》杂志创刊于 1964 年,是中国建筑科学类中文核心期刊,中国科技论文统计源期刊,发行量居同行业之首。《给水排水》以报道应用技术为主的刊物,由于版面所限,一些研究类的论文未能及时刊用。同时,随着我国经济的发展,大量给水排水新技术不断涌现,尤其是一些边缘科学的兴起,拓宽了给排水技术研究领域,也促进给水排水事业的发展。为了给研究类论文更多的交流机会,给新兴边缘科学的研究提供更宽广的交流平台,《给水排水》近年来连续出版多期增刊,刊登了大量高水平的研究类论文,深受广大读者、作者好评,在业内产生了深远的影响。《给水排水》增刊具有与正刊相同的 CN 和 ISSN 出版物号。经上级批准,《给水排水》拟定于 2009 年 4 月底出版增刊。

### 征稿范围

相关边缘科学理论与研究; 水务管理理论与探讨; 水处理技术试验研究; 输配水系统技术理论与研究。

### 征稿要求

内容新颖、论点正确、文字简练、语言流畅; 论文须包含题目、摘要、关键词等部分,且不宜超过 6000 字; 文末须注明作者姓名、单位、联系方式(邮编、通讯处、电话、E-mail); 请务必提交电子文稿(Word 格式),来稿请注明“增刊投稿”; 请勿一稿多投,如已在内部刊物或会议论文集刊登,请在投稿时说明; 所有来稿,文责自负。

### 截止时间

2009 年 3 月 15 日。

### 联系方式

联系人: 郭丹丹

通讯处: 100044 北京西外车公庄大街 19 号

电话: (010) 68316321

传真: (010) 68302907

E-mail: gsp3 @vip. 163. com

《给水排水》杂志社

2008 年 11 月