

# 厌氧水解—分点进水倒置 A<sup>2</sup>/O 处理 低含量印染废水研究

张双圣<sup>1,2</sup>, 刘汉湖<sup>2</sup>, 张 龙<sup>3</sup>, 吴 伟<sup>3</sup>, 王晓青<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116; 3. 江苏省环境科学研究院, 江苏 南京 210036)

**摘 要:** 针对 A<sup>2</sup>/O 工艺在脱氮除磷方面存在的矛盾, 以及生物难降解印染废水中碳源不足的问题, 提出厌氧水解—分点进水倒置 A<sup>2</sup>/O 处理印染废水的新工艺。试验结果表明, 新工艺仅利用 2 段生化处理过程, 出水 COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TN、TP、色度分别可达 77.12%、70.93%、96.59%、45.52%、63.33%、83.11% 的平均去除率, 分别比常规 A<sup>2</sup>/O 工艺提高 16.01、27.85、3.92、8.85、19.89、0.65 个百分点, 显示厌氧水解—分点进水倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺具有较好的污染物去除效果。

**关键词:** 厌氧水解; 分点进水倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺; 印染废水

**中图分类号:** X703.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3770(2011)02-0090-003

一般来说, 印染废水具有“高含量、高色度、高 pH、难降解、多变化”5 大特征, 属于难处理的工业废水<sup>[1]</sup>。厌氧—缺氧—好氧法(A<sup>2</sup>/O)工艺因具有同时脱除 C、N、P 且处理成本低等功能而得到广泛应用, 但是近年来的研究发现 A<sup>2</sup>/O 工艺在脱氮除磷方面存在着矛盾<sup>[2-3]</sup>: (1) 内循环使得剩余污泥中只有一小部分经历了完整的释磷、吸磷过程, 其余基本上没有经历厌氧状态而直接由缺氧区进入好氧区, 对除磷不利; (2) 缺氧区位于系统的中部, 使得反硝化在碳源分配上处于不利地位; (3) 厌氧区居前, 回流污泥中的硝酸盐对释磷菌的释磷产生抑制作用。另外, 难降解的印染废水中碳源不足也会限制生物脱氮除磷的效果, 这使得常规 A<sup>2</sup>/O 工艺在处理低含量印染废水中遇到了瓶颈。因此解决常规 A<sup>2</sup>/O 工艺及低含量印染废水中碳源不足对生物脱氮除磷的限制成为一项重要课题。

本研究以苏南某化工园区综合印染废水为对象, 针对常规 A<sup>2</sup>/O 工艺存在的矛盾及废水中碳源不足的问题, 设计厌氧水解—分点进水倒置 A<sup>2</sup>/O 小试工艺处理园区废水, 并与常规 A<sup>2</sup>/O 工艺的处理效果进行对比, 以期指导低含量印染废水处理工艺。

## 1 试验部分

### 1.1 废水来源及水质

试验废水取自苏南某化工园区集中污水处理厂集水井, 其中 85% 左右是印染废水, 16% 左右是化工废水, 其余 9% 为其它工业废水以及少量生活污水。其中印染废水中的染料以及污染物主要以活性、酸性染料以及大量印染助剂、染料溶剂为主。气相色谱—质谱(GC-MS)检测结果表明, 废水中的有机污染主要以喹啉(异喹啉)、双酚 A、N-甲基甲酰胺苯胺、硬脂酸等为主, 以双酚 A 含量尤其高, 其中活性艳蓝是其中一种较为常用的活性染料。进水水质见表 1。

表 1 进水水质

Tab.1 Influent quality

COD/ mg·L <sup>-1</sup>	BOD <sub>5</sub> / mg·L <sup>-1</sup>	$\rho$ /mg·L <sup>-1</sup>			色度 / 倍
		NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	
250~330	63~90	18.6~36.4	19.9~53.6	1.5~4.7	200~350

由表 1 可知, 试验用水为典型的低含量印染废水, 碳源明显不足, 而且水质变化较大。

### 1.2 分析方法

试验分析方法均按照国标进行<sup>[4]</sup>。生物相观察使用 40 倍生物显微镜 LED XSP-10C。

### 1.3 工艺流程

厌氧水解—分点进水倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺如图 1 所示。

试验废水在调节池里调节水量, 依靠重力流入新型厌氧水解反应器, 厌氧水解出水 30% 流入缺氧区, 70% 流入厌氧区, 然后进入曝气区。其中缺氧区、

收稿日期 2010-05-11

基金支持 国家重大科技专项“水体污染控制与治理”课题(2008ZX07313-005, 2008ZX07101-003-005)

作者简介 张双圣(1983—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水污染控制及污泥资源化利用 E-mail: zhang\_shuangsheng@163.com

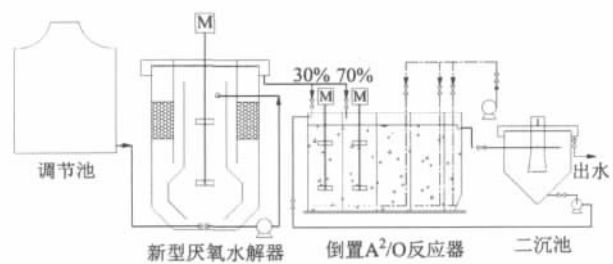


图1 厌氧水解-分点进水倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺流程  
Fig.1 Schematic diagram of anaerobic hydrolysis-step feed in the inverted A<sup>2</sup>/O technique

厌氧区采用机械搅拌，水流采用上流式与折流式相结合的方式，延长生化反应的 HRT。经过生化反应后，出水进入二沉池进行泥水分离，污泥回流至缺氧区，回流比为 100%，剩余污泥及上清液外排。

新型厌氧水解反应器和倒置 A<sup>2</sup>/O 反应器用有机玻璃制作。主要处理单元及操作参数见表 2。

表 2 主要处理单元及工艺参数

Tab.2 Main disposal units and technological parameter		
处理单元	尺寸 /cm	HRT/h
新型厌氧水解反应器	φ80×140	14
缺氧区	100×40×120	24
厌氧区	100×40×120	24
好氧区	100×100×120	24
二沉池	φ50×45	

新型厌氧水解反应器系自行设计，反应器为同心圆结构，其中穿孔布水管、回流布水管和上清液收集管均为环形穿孔布水管，搅拌方式分为机械搅拌和上清液回流搅拌 2 种，其中机械搅拌的转速为 90 r·min<sup>-1</sup>，上清液回流比为 100%。

2 结果与讨论

2.1 试验结果

为了比较厌氧水解-分点进水倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺的处理效果，同时采用厌氧水解-常规 A<sup>2</sup>/O 工艺处理该废水，并进行比较。在系统稳定运行的情况下，2 种工艺分别运行 1 个月，进出水水质的监测结果见表 3。

表 3 对应的厌氧水解-分点进水倒置和常规 A<sup>2</sup>/O 工艺 COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP、色度的去除率分别为 77.12%、70.93%、96.59%、45.52%、63.33%、83.11%和 61.11%、43.08%、92.67%、36.67%、43.44%、82.46%。通过表 3 可以看出，新型厌氧水解反应器对 COD、BOD、色度均有不同程度的去除效果，而 NH<sub>3</sub>-N、TN 和 TP 的含量有升高的现象，新型厌氧水解反应器对污染物有一定程度的去除，但是各项目的去除主要集中于后段的倒置 A<sup>2</sup>/O 反应器。2 种工艺相比较，厌氧水解-分点进水倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺对

表 3 2 种工艺处理效果比较(日平均)

Tab.3 Comparison of treating efficiency with anaerobic hydrolysis-step feed in the inverted A<sup>2</sup>/O technique and anaerobic hydrolysis-routine A<sup>2</sup>/O technique

工艺	项目	COD/ mg·L <sup>-1</sup>	BOD <sub>5</sub> / mg·L <sup>-1</sup>	ρ/mg·L <sup>-1</sup>			色度 / 倍
				NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	
厌氧水解-分点进水倒置 A <sup>2</sup> /O	进水	319	86	20.8	25	3.9	296
	厌氧水解出水	220	83	23.47	26.12	4.06	165
	倒置 A <sup>2</sup> /O 缺氧区	88	32	14.86	17.88	2.79	60
	厌氧区	91	33	14.88	17.72	2.81	60
	好氧区	74	27	1.02	14.08	1.55	60
	二沉池出水	73	25	0.71	13.62	1.43	50
厌氧水解-常规 A <sup>2</sup> /O	进水	270	65	18.0	25.3	3.2	285
	厌氧水解出水	183	63	20.08	26.21	3.33	155
	常规 A <sup>2</sup> /O 缺氧区	163	50	18.35	25.53	3.34	65
	厌氧区	160	46	14.97	21.86	2.89	65
	好氧区	108	39	1.66	17.02	2.02	65
	二沉池出水	105	37	1.32	16.02	1.81	50

COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP、色度的去除率分别提高 16.01、27.85、3.92、8.85、19.89、0.65 个百分点，其中 COD、BOD 与 TP 的去除率提高最明显。

2.2 结果分析

厌氧水解-分点进水倒置 A<sup>2</sup>/O 工艺比厌氧水解-常规 A<sup>2</sup>/O 工艺有较强的污染物去除能力，其主要原因分析如下：

(1) 新型厌氧水解反应器集上流式、折流式和推流式厌氧水解反应器的功能于一体<sup>[5-8]</sup>。采用环形穿孔布水管，搅拌方式为机械搅拌加回流搅拌，这既保证了布水的均匀性，又增强了泥水的混合程度，有利于难降解的复杂有机物分解成简单有机物<sup>[9-10]</sup>，同时有利于水解菌破坏染料的分子结构，断开发色基团，降低色度，从而大大提高废水的可生化性，B/C 由进水的 0.25 提高到 0.36，COD 的去除率高达 31.63%，色度的去除率为 82.79%<sup>[11]</sup>。厌氧水解反应器出水中 NH<sub>3</sub>-N、TN 和 TP 含量都有提高，这主要是微生物在厌氧环境下的释磷作用，废水中含氮染料降解为胺类物质所致<sup>[12-13]</sup>。

(2) 将常规 A<sup>2</sup>/O 工艺中的厌氧区与缺氧区调换位置，即缺氧区在前厌氧区在后，解决了系统中脱氮与除磷之间的矛盾。与常规 A<sup>2</sup>/O 工艺相比，TN、TP 的去除率提高。缺氧区位于厌氧区之前，硝酸盐在这里进行反硝化作用，含量大大减小甚至消耗殆尽，减小了硝态氮对聚磷菌释磷的影响，有利于微生物形成更强吸磷动力，此段 TP 的质量浓度由进水的 4.06 mg·L<sup>-1</sup> 减小到 2.79 mg·L<sup>-1</sup>，这主要是回流水的稀释作用造成的，废水进入厌氧区，微生物进行厌氧释磷作用，TP 的质量浓度由 2.79 mg·L<sup>-1</sup> 上升到

$2.81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 微生物经厌氧释磷后直接进入生化效率较高的好氧区, 使得其在厌氧区形成的吸磷动力可以得到充分利用, 增强系统的除磷能力。

另外, 系统取消了内循环, 使得工艺流程更加简捷。同时, 参与回流的全部污泥均经历了完整的厌氧-好氧过程, 产生一种“群体效应”, 对除磷十分有利。常规  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺中, TP 在厌氧区的质量浓度为  $3.34 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 经缺氧区后降低到了好氧区的  $2.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 去除率为 39.52%; 而在倒置  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺中, TP 的质量浓度由厌氧区的  $2.81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  降低到好氧区的  $1.55 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 去除率达 44.84%, 比常规  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺提高 5.32 个百分点, 这充分体现了倒置  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺在不影响脱氮的前提下在除磷方面的优越性。

(3) 废水属于低含量工业废水, 碳源不足, 采用分点进水技术, 可使碳源得到有效利用。选择进水的 30% 分配给缺氧区可用于反硝化细菌的反硝化作用, 而在缺氧区反硝化碳源不足时, 可以强制反硝化细菌利用其他大分子有机物作为反硝化的碳源, 从而进一步增强 COD 的去除率<sup>[14]</sup>。厌氧区分配 70% 用于缓解反硝化细菌的反硝化作用与聚磷菌的厌氧释磷作用对碳源的竞争作用, 在增强系统脱氮除磷的同时, 使碳源得到了最充分的利用<sup>[15]</sup>。与常规  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺比较, 分点进水-倒置  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺可提高 COD 和 BOD 的去除率。

采用厌氧水解-分点进水倒置  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺一段时间后, 水体中出现了微型后生动物红班囊体虫(如图 2(a)), 而在厌氧水解-常规  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺中却始终只以原生动物小口钟虫为主(如图 2(b)), 未见后生动物, 这充分说明了分点进水有利于废水中各种微生物的生长, 显著提高污泥含量, 形成稳定的食物链, 这也成为系统能显著提高 COD 和 BOD 去除率的有力证据。

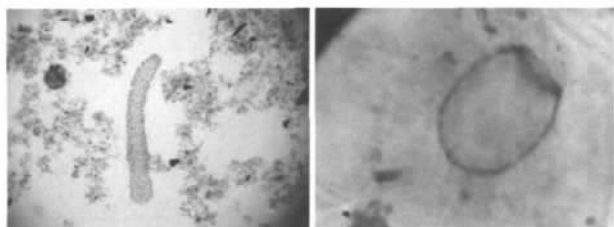


图 2(a) 红班囊体虫

图 2(b) 小口钟虫

图 2 红班囊体虫和小口钟虫

Fig.2 *Aeolosma hemprichii* and *vorticella microstroma*

### 3 结 论

采用厌氧水解-分点进水倒置  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺, 厌氧水解反应器对 COD、BOD、色度都有不同程度的去除率, 但其主要功能是提高废水的可生化性, 为后续

的生化处理做好准备, 各项目的去除主要集中于后段的倒置  $\text{A}^2/\text{O}$  反应器。

新工艺出水对 COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP、色度去除率分别达 77.12%、70.93%、96.59%、45.52%、63.33%、83.11% 的平均去除率, 分别比常规  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺提高 16.01、27.85、3.92、8.85、19.89、0.65 个百分点。

采用倒置  $\text{A}^2/\text{O}$  结构, 可使系统在不影响 TN 去除率的情况下显著提高 TP 的去除率, 取消内循环, 有利于形成完整的释磷、吸磷过程, 也可增强系统的除磷效率, 而且也降低了运行成本。

分点进水避免了各区段微生物对碳源的竞争, 有利于微生物的生长, 提高污泥含量, 形成良好的食物链, 提高废水的处理效果。

### 参考文献:

- [1] 肖秀梅, 欧军智, 吴星五. 混凝沉淀-水解酸化-活性污泥工艺处理印染废水[J]. 工业用水与废水, 2006, 37(3): 78-79.
- [2] Delia Teresa, Hulya Atalay. Influence of nitrate and COD on phosphorus nitrogen and dinitrotoluene (DNT) removal under batch anaerobic and anoxic conditions [J]. Anaerobe, 2004, 10 (5): 287-293.
- [3] 张宝军, 耿德强, 张雁秋.  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺处理城市废水的应用研究[J]. 煤矿环境保护, 2002, 16(3): 32-35.
- [4] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [5] Azbar N, Ursillo P, Speece E R. Effect of configuration and substrate complexity on the performance of anaerobic processes [J]. Water Research, 2001, 35(3): 817-829.
- [6] 韩相奎, 叶长兵, 林年丰, 等. 异波折板高效水解酸化废水的处理技术[J]. 中国环境科学, 2004, 24(3): 360-363.
- [7] Barber W P, Stuckey D C. Use of anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: A review [J]. Wat Res., 1999, 33 (71): 1559-1578.
- [8] 郭永福, 郭维华. 内循环式水解酸化反应器的动态试验研究[J]. 苏州科技学院学报: 工程技术版, 2003, 16(4): 11-15.
- [9] 陈晗, 龚明. 水解-接触氧化工艺处理印染废水[J]. 水处理技术, 2006, 32(12): 87-89.
- [10] Yalcin A O, Orhan I, Tom D, et al. Determination of optimum operating conditions of an acidification reactor treating a chemical synthesis-based pharmaceutical wastewater [J]. Process Biochemistry, 2006, 41(11): 2258-2263.
- [11] 潘涌璋, 陈永进, 吴戌元. 混凝-水解-接触氧化-混凝气浮工艺处理印染废水[J]. 印染, 2007(7): 31-32.
- [12] Wang X Y, Zeng G M, Zhu J L. Treatment of jean-wash wastewater by combined coagulation, hydrolysis/acidification and Fenton oxidation[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 153(1/2): 810-816.
- [13] 喻学敏, 白永刚, 刘伟京, 等. ABR 反应器预处理综合印染废水的研究[J]. 环境工程学报, 2009, 3(6): 981-984.
- [14] 黄理辉, 张波, 毕学军, 等. 倒置  $\text{A}^2/\text{O}$  工艺的生产性试验研究[J]. 中国给水排水, 2004, 20(6): 12-15.
- [15] 李飞, 张雁秋. 城市污水生物除磷脱氮技术分析[J]. 环保科技, 2009, 15(1): 16-19.

(下转第 97 页)

11.8%,说明温度的上升提高了生物膜的活性和污染物的去除率。由表3可知,加药组中各污染物的下降率均比对照组高,如在HRT为8h,温度20℃,加药组比对照组COD、NH<sub>3</sub>-N和TP的周期下降率分别高7.1%、13.2%和10.5%,说明复合酶生物促进剂均对反应装置污染物的去除起促进作用,具有良好的环境适应性。

### 3 结 论

复合酶生物促进剂对反应系统有明显的促进作用,在相同温度和水力停留时间下加药池池中的生物挂膜量( $m_{\text{生物膜干重}}/m_{\text{干填料纤维}}$ )较对照池平均高0.7。

在HRT 8h,温度为20℃时,取第7个取样点,加药池中COD、TP、NH<sub>3</sub>-N污染物的下降率分别为53.9%、46.7%和49.4%,比对照池高7.1%、13.2%和10.5%。投加复合酶生物促进剂使生物膜反应器对污染物的去除有促进作用,具有一定的抗冲击能力。

在相同温度下,水力停留时间越长,对污染物的

去除率越高,温度在10℃到20℃范围内,污染物的去除率随温度的上升而提高。

### 参考文献:

- [1] 何焰,由文辉,吴健.上海市水环境生态安全现状与建设管理[J].上海建设科技,2006(2):30-33.
- [2] Masse L, Kennedy K, Chou J. Testing of alkaline and enzymatic hydrolysis pretreatments for fat particles in slaughterhouse wastewater[J].Bioresour Technol.,2001,77(2):145-155.
- [3] Tadeusz A, Alina K, Edward G. Enzymatic hydrolysis of waste fats [J].Biotechnologia,2000(2):120-130.
- [4] 杨磊,林逢凯,胥峥,等.城市富营养化河道复合酶-原位生物修复技术研究[J].环境污染与防治,2005,27(8):607-610.
- [5] 汪红军,胡菊香,吴生桂,等.生物复合酶污水净化剂处理黑臭水体的研究[J].水利渔业,2007,27(1):68-70.
- [6] 国家环保局《水和废水检测分析方法》编委会.水和废水检测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [7] 万雨龙,金腊华,陈克坚,等.低成本生物膜法处理城市污水试验研究[J].工业水处理,2007,27(4):72-74.
- [8] 胡一珍,张永明.用生物膜方法修复受污染河道水[J].上海师范大学学报,2007,36(6):91-98.

## STUDY ON THE TREATMENT OF DISORDERLY DISCHARGED SEWAGE IN TIDAL RIVERS BY BIO-FILM PROCESS

Feng Xiaofeng, Lin Fengkai, Xu Zheng, Qin Huifen

(College of Resource & Environmental Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** The treatment of disorderly discharged sewage by bio-film process with multiple enzymes stimulant was carried out. The distribution of the biomass and COD, NH<sub>3</sub>-N, TP along the water flow direction were investigated at different HRT and temperature for the tide condition and the promotion of multiple enzymes stimulant was also studied. These results showed that the removal efficiencies of COD, TP and NH<sub>3</sub>-N were 53.9%, 46.7%, 49.4% at HRT=8 h, T=20℃ for the system with dosing of multiple enzymes stimulant under the tide condition, which were 7.1%, 13.2%, 10.5% higher than the contrast one. It indicated that the bio-film process possessed high adaptability of treating disorderly discharged sewage for tidal river and the dosing of multiple enzymes stimulant enhanced the treatment efficiency. The removal efficiency increasing with the HRT at the same temperature was also investigated.

**Keywords:** bio-film process; multiple enzymes; tide

(上接第92页)

## EXPERIMENTAL STUDIES ON THE TREATMENT OF LOW CONCENTRATION DYEING WASTEWATER BY ANAEROBIC-STEP FEED IN THE INVERTED A<sup>2</sup>O TECHNIQUE

Zhang Shuangsheng<sup>1,2</sup>, Liu Hanhu<sup>2</sup>, Zhang Long<sup>3</sup>, Wu wei<sup>3</sup>, Wang Xiaoqing<sup>2</sup>

(1.China University of Mining and Technology, Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering, Xuzhou 221116, China;

2.School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

3.Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing 210036, China)

**Abstract:** In view of the conflict between the nitrogen and phosphorus removal in A<sup>2</sup>O technique, as well as the problem of insufficient carbon source in the nonbiodegradable dyeing wastewater, the anaerobic hydrolysis-step feed in the inverted A<sup>2</sup>O technique was studied in textile wastewater treatment. The results showed that the removing rates of COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, TN, TP, BOD<sub>5</sub>, chroma increased from 61.11%, 92.67%, 36.67%, 43.44%, 43.08%, 82.46%, by the routine A<sup>2</sup>O technique to 77.12%, 96.59%, 45.52%, 63.33%, 70.93%, 83.11% by the new technique. It exhibited satisfactory removing efficiencies of pollutants.

**Keywords:** anaerobic hydrolysis; step feed in the inverted A<sup>2</sup>O technique; dyeing wastewater