

# 聚合铝铁强化 $A^2/O$ 系统脱氮除磷研究

温沁雪<sup>1</sup>, 王官胜<sup>1</sup>, 陈志强<sup>1,2</sup>, 吕炳南<sup>1</sup>, 施汉昌<sup>3</sup>

(1. 哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室 哈尔滨 150090 wqxshelly@263.net;

2. 城市水资源开发利用(北方)国家工程研究中心 哈尔滨 150090;

3. 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

**摘要:** 为了考察聚合铝铁强化  $A^2/O$  除磷系统的处理效果和聚合铝铁对  $A^2/O$  工艺生物系统的影响, 实验模拟  $A^2/O$  系统, 并在其曝气池前段投加聚合铝铁, 通过改变聚合铝铁的投加量, 研究在不同投加量下, 聚合铝铁强化  $A^2/O$  除磷系统对 TP, TN, COD 的去除效果, 并采用气相色谱法, 分析检测反应器内污泥的 PHA 含量, 研究聚合铝铁对聚磷菌的影响. 结果表明: 聚合铝铁对生物除磷有一定的影响, 在该试验条件下, 聚合铝铁的投加量为 4 mg/L (以 Al 计) 进水时, 系统对磷去除效果最好; 同时聚合铝铁的投加也有助于 TN 和 COD 的去除. 总磷去除率并不是随着聚合铝铁药剂的投加量增加而增加, 而是由化学除磷和生物除磷共同作用决定.

**关键词:** 聚合铝铁; 生物除磷;  $A^2/O$  工艺

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)06-0945-04

## Effect analysis of biological phosphorus removal in polymeric aluminum-iron strengthened $A^2/O$ system

WEN Qin-xue<sup>1</sup>, WANG Guan-sheng<sup>1</sup>, CHEN Zhi-qiang<sup>1,2</sup>, LÜ Bing-nan<sup>1</sup>, SHI Han-chang<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China, wqxshelly@263.net;

2. National Engineering Research Center of Urban Water Resources, Harbin 150090, China;

3. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** An  $A^2/O$  system was simulated in laboratory to investigate the effect of polymeric aluminum-iron (Al-Fe) on the performance of biological system. Chemical of polymeric Al-Fe was added in the front of the aeration tank and the effect of the dosage on the removal efficiency of TP, TN, and COD was studied. PHA content in the sludge was detected by gas chromatography analysis to estimate the effect of polymeric Al-Fe on the phosphate-accumulating bacteria. The results show that polymeric Al-Fe affects the biological phosphorus removal in  $A^2/O$  system. Under the experimental conditions, the maximum phosphorus removal is obtained at the dosage of 4 mg Al/L, TN and COD removal efficiencies are improved as well with the addition of polymeric Al-Fe. It is indicated that the total phosphorus removal in the system is determined by the combination of chemical phosphorus removal and biological phosphorus removal.

**Key words:** polymeric aluminum-iron; biological phosphorus removal;  $A^2/O$  process

随着水环境污染和水质富营养化问题的尖锐及公众环境意识的增强, 越来越多的国家和地区

制定严格的污水有机物和氮、磷排放标准<sup>[1]</sup>.  $A^2/O$  脱氮除磷工艺, 因能同时去除氮、磷及有机物, 且处理成本较低而得到广泛应用, 但其存在基质竞争、泥龄矛盾、总氮去除率低等弊端<sup>[2]</sup>. 研究表明反硝化菌与聚磷菌竞争易降解有机物, 前者的竞争能力大于后者<sup>[3]</sup>. 因此在优先保证脱氮效果的前提下, 辅助以化学除磷<sup>[4-6]</sup>, 可使得出水中的

收稿日期: 2010-03-01.

基金项目: 国家建设部“十一五”水专项(2008ZX07313-003, 2008ZX07207-005-03); 城市水资源与水环境国家重点实验室导向课题(2008DX-05).

作者简介: 温沁雪(1977—), 女, 博士, 副教授.

TP 和 TN 含量同时达到要求. 目前我国经济比较发达地区的大中型污水处理厂,大都采用化学投药辅助生物除磷技术,研究化学药剂对活性污泥的影响非常必要. 聚合铝铁兼有铝盐和铁盐的双重特性<sup>[7-8]</sup>,既能克服铝盐絮体生成慢、絮体轻、沉降慢的缺点,又能克服铁盐的出水不清、色度高的缺点<sup>[7,9]</sup>,应用较广.

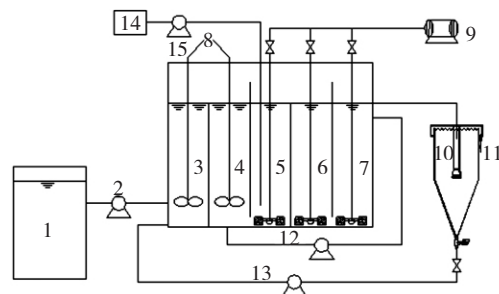
本文以实际污水处理 A<sup>2</sup>/O 工艺为参照,通过在曝气池前段投加不同量聚合铝铁,以提高 A<sup>2</sup>/O 工艺脱氮除磷效率,并确定最佳投加量以期为该技术的应用提供参考. 同时研究聚合铝铁在不同投加量下对 A<sup>2</sup>/O 系统生物除磷影响.

## 1 试 验

### 1.1 试验装置及运行条件

A<sup>2</sup>/O 系统试验装置如图 1 所示,由合建式厌氧-缺氧-好氧反应器和二沉池组成,试验装置用有机玻璃制成. 合建式反应器有效容积为 30 L,反应器分为 5 个相通容积的格室,第 1 格为厌氧区,第 2 格为缺氧区,后 3 格为好氧区. 进水、回流污泥、硝化液回流及加药均采用蠕动泵控制. 在厌氧区和缺氧区内安装搅拌器. 温度在 15~25℃之间,试验正常运行条件:进水量为 72 L/d,HRT 为 10 h,SRT 为 10 d,反应器中 MLSS 一般为 3 200 mg/L 左右,但在投药含量为 3 mg/L 时,污泥含量为 2 300 mg/L. 污泥回流比及内循环回流比均为 100%,好氧区 DO 含量设定在 2~5 mg/L. 试验分为加药初期和稳定运行 2 个时期,聚合铝铁的投加量均以 Al 计. 传统前置或后置化学除磷的药剂投配比为 1.5:1(物质的量比)<sup>[10-13]</sup>. 而根据前期运行发现 A<sup>2</sup>/O 系统出水 TP 含量在 2 mg/L 左右,所以选定在投加聚合铝铁初期阶段投加含量

为 3 mg/L;稳定运行期聚合铝铁投加含量有 3、4、5、6 mg/L(以 Al 计)4 个阶段. 每个阶段运行 2 个污泥龄,即运行 20 d.



1—水箱;2—蠕动泵;3—厌氧区;4—缺氧区;5~7—好氧区;8—搅拌器;9—曝气泵;10—沉淀池;11—出水;12—内回流;13—污泥回流;14—加药罐;15—加药泵.

图 1 A<sup>2</sup>/O 工艺流程及各部分功能

### 1.2 原水水质及测定方法

试验污水采用一半生活污水,一半人工配水. 其中生活污水来源于哈尔滨某家属区生活污水. 试验人工配水组成及含量为:蔗糖溶液 0.3~0.4 g/L;NH<sub>4</sub>Cl 溶液 0.1~0.15 g/L;KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 溶液 0.035~0.04 g/L;NaHCO<sub>3</sub> 溶液 0.05~0.15 g/L;MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 溶液 0.03~0.08 g/L;CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 溶液 0.01~0.02 g/L. 原水水质加药初期及稳定运行期参数见表 1.

COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N、TN、TP、MLSS、MLVSS 采用国家标准方法分析;pH 采用 HANNA HI8424 型手持 pH 计;溶解氧(DO)采用 YSI DO200 型便携式溶解氧仪;PHA 的检测采用 Agilent GC6890N,FID 检测器,HP-5 柱. 接种污泥为城市污水厂的剩余污泥,经过连续培养驯化待系统具有良好的脱氮除磷功能后再开始跟踪测定.

表 1 原水水质

| 参数                              | 质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )               |        |                      |        |                      |        |                      |        |                      |       |
|---------------------------------|------------------------------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|-------|
|                                 | 加药初期投药含量<br>(以 Al 计)3 mg·L <sup>-1</sup> |        | 稳定运行期投药含量(以 Al 计)    |        |                      |        |                      |        |                      |       |
|                                 |                                          |        | 3 mg·L <sup>-1</sup> |        | 4 mg·L <sup>-1</sup> |        | 5 mg·L <sup>-1</sup> |        | 6 mg·L <sup>-1</sup> |       |
|                                 | 范围                                       | 均值     | 范围                   | 均值     | 范围                   | 均值     | 范围                   | 均值     | 范围                   | 均值    |
| COD                             | 254~390                                  | 316.66 | 253~355              | 290.75 | 274~333              | 295.36 | 239~354              | 293.64 | 236~421              | 319.6 |
| TN                              | 35.8~49.9                                | 43.27  | 33.1~50.3            | 40.69  | 31.9~45.3            | 40.10  | 32.1~52.0            | 42.49  | 29.5~51.7            | 43.58 |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | 33.8~51.2                                | 40.81  | 27.6~48.4            | 37.37  | 30.5~41.1            | 34.25  | 29.7~47.3            | 36.31  | 23.1~43.5            | 34.16 |
| TP                              | 6.0~10.6                                 | 7.55   | 5.6~10.8             | 7.51   | 5.4~10.9             | 7.34   | 6.5~10.0             | 7.49   | 6.1~9.6              | 7.52  |

## 2 结果与分析

### 2.1 TP 去除效果

在投加聚合铝铁初期阶段和稳定运行期各个

阶段 A<sup>2</sup>/O 系统的除磷效果如图 2 所示,系统中各段污泥中的 PHA 含量如图 3 所示. 其中稳定运行期包括聚合铝铁投加含量分别为 3、4、5、6 mg/L 4 个阶段.

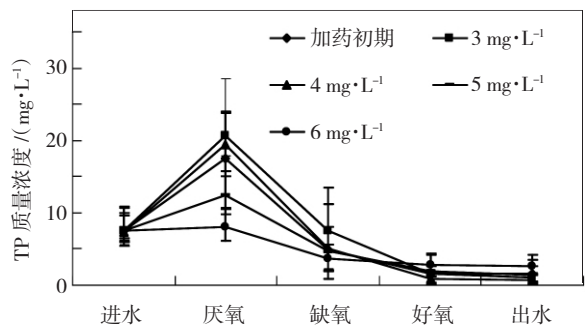


图 2 A<sup>2</sup>/O 系统各阶段时的除磷效果

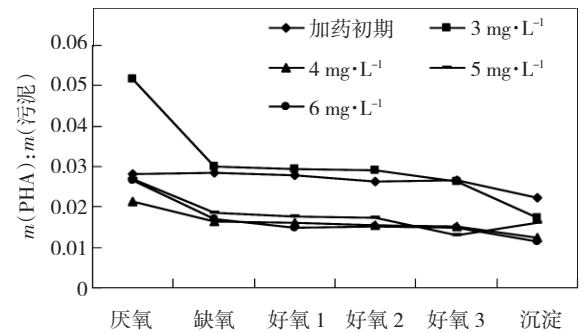


图 3 A<sup>2</sup>/O 系统各阶段污泥中的 PHA 含量

由图 2 可知,在投加聚合铝铁初期和聚合铝铁投加为 3、4、5、6 mg/L 时,出水 TP 含量分别为 1.61、1.09、0.77、1.47、2.54 mg/L,平均去除率分别为 79.21%、84.84%、89.23%、75.16%、65.81%,说明在生物除磷和化学除磷的共同作用下,磷的去除率并不是随着聚合铝铁药剂的投加含量增加而增加,而是在投加含量为 5 mg/L 时,磷的去除效果最好。

由图 3 可知,在加药初期 PHA 含量变化平缓,说明聚磷菌利用 PHA 进行吸磷量少。在投加为 3 mg/L 时,厌氧区与缺氧区 PHA 含量相差最大,说明聚磷菌在投加含量为 3 mg/L 进水时活性最大。但由于此时系统内污泥含量较低,大约为 2 300 mg/L,影响其处理效果。此后几个阶段厌氧区与缺氧区 PHA 含量变化不是很大。在投加含量(以 Al 计)为 4 mg/L 时,出现沉淀池污泥的 PHA 含量大于好氧池,可能是沉淀池的二次释磷造成的。结合图 2,出水 and 好氧区 TP 含量很接近,有时出现二次释磷。说明在曝气池前段投加聚合铝铁,不能保证稳定的去除效果。不同的聚合铝铁投加量条件下厌氧区平均释磷分别为 17.58、20.69、19.46、12.43、8.04 mg/L,说明随着聚合铝铁投加含量的增加,释磷含量逐渐减少。可以认为 A<sup>2</sup>/O 系统中聚合铝铁对聚磷菌的生物除磷作用有一定的影响。这是因为在曝气池前段投加聚合铝铁,聚合铝铁中的金属阳离子与磷酸盐形成沉淀,水解

生成的氢氧化物也可以通过吸附络合等作用去除一定的磷,因此聚磷菌吸磷含量将有所减少。随着聚合铝铁投加量的增加,聚磷菌吸磷含量减少,将逐渐影响到聚磷菌的活性,因此在厌氧区释磷量也将减少,沉淀池出水 TP 含量也将提高。另外在投加聚合铝铁药剂初期,释磷量有所下降,可能是加药初期对生物系统的影响造成。所以实际工程中为了防止突然投加大量药剂对微生物脱氮除磷产生较大的影响,可以采取循序渐进的投药方式。

2.2 TN 去除效果

在投加聚合铝铁初期阶段和稳定运行期各个阶段 A<sup>2</sup>/O 系统的脱氮效果如图 4 所示。其中稳定运行期包括聚合铝铁投加量为 3、4、5、6 mg/L 4 个阶段。

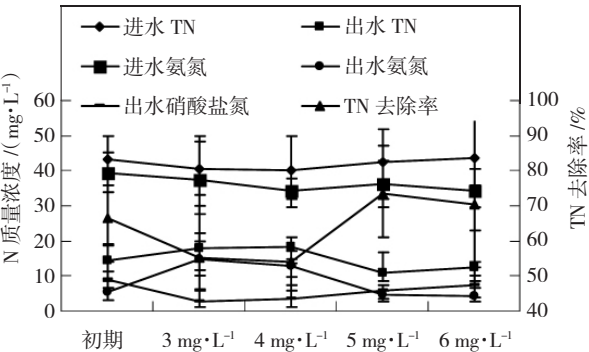


图 4 A<sup>2</sup>/O 系统各阶段下的除氮效果

在投加聚合铝铁初期阶段和稳定运行期聚合铝铁投加量为 3、4、5、6 mg/L 5 个阶段,出水 TN 含量分别为 14.58、18.06、18.29、11.03、12.46 mg/L,平均去除率分别为 66.47%、55.14%、54.19%、73.43%、70.58%。出水 TN 中氨氮含量分别为 5.29、14.16、12.72、4.80、4.44 mg/L,硝酸盐氮含量分别为 8.83、2.90、3.4、5.67、7.46 mg/L。有关聚合铝铁对脱氮菌脱氮功能的影响,目前尚未报道。可能的影响是聚合铝铁影响聚磷菌的活性,聚磷菌所消耗的能量减少。在厌氧区,反硝化菌有更多的能量进行反硝化脱氮,反硝化作用加强。但受到该系统内回流比( $R=1$ )的影响,脱氮效果难以继续增加。此外,在投加含量(以 Al 计)为 3 mg/L 进水和 4 mg/L 进水运行中,出现后生动物较多的现象,因此影响硝化菌的活性使出水氨氮较高。

2.3 对 COD 的去除

试验结果表明,虽然进水 COD 含量波动较大,但是系统对 COD 的去除率一直很稳定。在投加聚合铝铁初期(投加量为 3 mg/L)和聚合铝铁投加为 3、4、5、6 mg/L 时,出水 COD 含量分别为 24.5 ~ 61.0 mg/L、22.8 ~ 57.6 mg/L、8.1 ~

49.6 mg/L, 8.1 ~ 40.1 mg/L, 11.8 ~ 47.3 mg/L, 平均出水 COD 含量分别为 41.05, 37.19, 25.96, 29.28, 26.07 mg/L, 平均 COD 去除率分别为 87.03%, 87.20%, 91.27%, 89.92%, 91.99%。聚合铝铁可以通过水解生成的氢氧化物吸附络合等作用去除一定的 COD, 随着聚合铝铁投加量的增加, COD 的去除效果增加。但对于  $A^2/O$  系统经过厌氧区和缺氧区之后, COD 已经被大大去除, 所以聚合铝铁去除 COD 现象表现不是很明显。

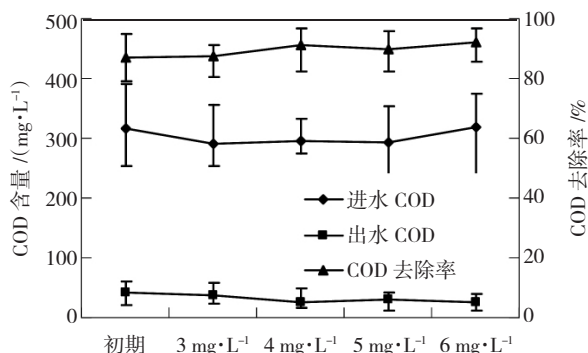


图5  $A^2/O$  系统各阶段下的 COD 去除效果

### 3 结 论

1) 投加聚合铝铁对生物除磷处理系统有一定的冲击作用。在投加药剂初期, 除磷效果并不理想, 平均出水 TP 含量为 1.61 mg/L。

2) 在  $A^2/O$  系统曝气池前段投加聚合铝铁对聚磷菌的生物除磷有一定的影响, 而且随着投加量的增加, 影响作用增强。在化学除磷和生物除磷的同时作用下, 聚合铝铁投加量为 4 mg/L 时, 磷的去除效果最好, 平均出水 TP 含量为 0.77 mg/L, 平均去除率为 89.23%。

3) 在曝气池前段投加聚合铝铁, 由于其对聚磷菌吸磷的影响, 有利于反硝化菌获得更多的能量进行反硝化脱氮, 脱氮效果提高。

4) 聚合铝铁水解生成的氢氧化物通过吸附络合等作用可去除一定的 COD。但在  $A^2/O$  系统曝气池前段投加聚合铝铁, 由于 COD 经过厌氧区和缺氧区之后已经被大大去除, 所以聚合铝铁辅

助去除 COD 效果表现不是很明显。

### 参考文献:

- [1] 王琳娜, 朱亮, 周明, 等. SBR 系统中投加三氯化铁辅助除磷试验 [J]. 环境工程学报, 2009, 32(8): 80 - 83.
- [2] 曹雪梅, 彭永臻, 王淑莹. 缺氧区、好氧区容积比对  $A^2/O$  工艺反硝化除磷的影响 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(3): 27 - 30.
- [3] SAITO T, BRDJANOVIC D, VAN LOOSDRECHT M C M *et al.* Effect of nitrite on phosphate uptake by phosphate accumulating organisms [J]. Wat Res, 2004, 38(17): 3760 - 3768.
- [4] MAURER, ABRAMOVICH, SIEGRIST *et al.* Kinetics of biologically induced phosphorus pre-precipitation in wastewater treatment [J]. Water Research, 1999, 33(2): 484 - 493.
- [5] 侯红娟, 周琪. 城市污水除磷技术发展 [J]. 四川环境, 2004, 23(6): 41 - 45.
- [6] 王文超, 张华, 张欣. 化学除磷在城市污水处理中的应用 [J]. 水科学与工程技术, 2008, 1: 14 - 16.
- [7] 王秋阳, 李涛, 王东升, 等.  $A^2/O$  污水处理工艺化学强化除磷研究 [J]. 环境工程学报, 2008, 2(11): 1501 - 1505.
- [8] 邢伟, 黄文敏, 李敦海, 等. 铁盐除磷技术机理及铁盐混凝剂的研究进展 [J]. 给水排水, 2006, 32(2): 88 - 91.
- [9] 甘莉, 甘光奉. 铝铁复合混凝剂的研究新进展 [J]. 给水排水, 2004, 4(1): 58 - 63.
- [10] SEDLAK R. Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater principles and practice [M]. 2nd ed. New York: Lewis Publishers, 1999.
- [11] METCALF & EDDY Inc. Wastewater engineering treatment and reuse [M]. 4th ed. New York: Mc Graw-Hill, 2003.
- [12] 段瑞文. 化学辅助除磷在改良  $A^2/O$  工艺中的应用 [J]. 中国给水排水, 2005, 21(8): 94 - 96.
- [13] 周克钊. 生物/化学(BC)法处理城市污水研究 [J]. 中国给水排水, 2000, 16(10): 13 - 16.

(编辑 魏希柱)