

# 混凝剂强化 SBR 处理生活污水的实验研究

尚文健<sup>1</sup> 陈佳文<sup>2</sup> 王宝宗<sup>1</sup> 景有海<sup>1</sup>

(1. 厦门大学环境科学研究中心, 福建厦门 361005; 2. 漳州市供排水管理处, 福建漳州 363000)

**摘要:** 分别向按 A/O 方式运行的 SBR 反应器中投加一定量氯化铁、硫酸铝、聚合氯化铝, 考察这 3 种金属盐混凝剂强化活性污泥系统处理生活污水的效果。结果表明, 这 3 种混凝剂的化学辅助除磷效果较好, 其中, 在 100 mg/L (以进水量计) 的投加量下, 投加氯化铁和硫酸铝的强化处理系统对 TP 的平均去除率比空白组分别提高了 65.52% 和 69.95%。对有机物的去除也有一定强化作用, 对氮的强化处理效果不明显, 但可提高活性污泥沉降性能。

**关键词:** 混凝剂; SBR; 生物强化; 生活污水

## EXPERIMENTAL RESEARCH ON TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER WITH COAGULANTS IN SBR

Shang Wenjian<sup>1</sup> Chen Jiawen<sup>2</sup> Wang Baozong<sup>1</sup> Jing Youhai<sup>1</sup>

(1. Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Water Supply and Drainage Office of Zhangzhou City, Zhangzhou 363000, China)

**Abstract:** Based on the SBR reactor running with the A/O process, the effect of enhancing activated sludge system adding coagulants (ferric chloride, aluminum sulfate and poly-aluminum chloride) on treating domestic sewage has been studied. Results showed that the three coagulants were efficient in chemical-aid phosphorus removal. The groups separately adding ferric chloride and aluminum sulfate in dose of 100 mg/L (in influent) gained the additional average removal rates of TP about 65.52% and 69.95%. The three coagulants also strengthened the removal of organic matter and had no great influence on the removal of nitrogen, but could improve the performance of sludge settlement.

**Keywords:** coagulant; SBR; bioaugmentation; domestic sewage

## 0 引言

氮、磷的去除涉及微生物硝化、反硝化、释磷和吸磷等过程。由于生物强化除磷过程与反硝化脱氮过程都需要消耗有机物, 而我国城市污水有机物含量较低, 不能较好满足同时脱氮除磷的要求。另外, 氮的去除要求泥龄大于硝化菌的最小时代期, 生物除磷要求系统泥龄较短以便排出较多剩余污泥。可见, 氮、磷的去除在碳源、泥龄等方面存在着矛盾, 除磷和脱氮很难同时达到最佳效果。由于脱氮一般只能靠生物去除, 而除磷既可以采用生物除磷, 也可以采用化学除磷, 加之在我国已建成并投入运行的城市污水处理厂中, 80% 属于二级生化处理工艺, 如何将化学法除磷和生物法脱氮除磷有机地结合, 在实现有机物和悬浮物高效去除的同时, 强化系统对氮、磷的去除, 是城市污水处理过程中一个亟待解决的问题<sup>[1]</sup>。目前, 向生物处理系统中投加化学混凝剂受到城市污水处理界的广泛关注。这种做法在不大规模增加污水厂处理设施的前提

下, 可以达到强化除磷的目的。但到目前为止, 对于投加混凝剂对微生物的影响研究较少。

本实验以按 A/O 方式运行的 SBR 反应器作为实验平台, 以实际生活污水作为处理对象, 考察投加金属盐混凝剂是否会强化活性污泥系统对有机物、氮和磷的去除能力, 对活性污泥系统有无不利影响。

## 1 实验部分

### 1.1 实验装置

反应器底部放置砂芯曝气头以及小型潜水泵。潜水泵在缺氧阶段开启起到搅拌混合的作用, 其他阶段关闭; 曝气头通过软管与电磁式空气压缩机相连, 在曝气阶段对活性污泥微生物进行供氧同时起到混合搅拌的作用。设置两个定时器分别控制空气压缩机和潜水泵在相应的时间开、关以形成实验所需的进水、缺氧、曝气、沉淀、排水和静置 6 个阶段 (进水、排水以及排泥由人工完成), 泥龄控制在 15 天。实验过程中共运行 2 个 SBR 反应器。

## 1.2 实验材料

生活污水取自厦门大学凌云博士公寓下水道, 实验期间水质情况如表 1 所示。

表 1 原水水质

$\rho(\text{COD})/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\rho(\text{TP})/$ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	浊度/ NTU	pH
72~904	21.6~133.7	2.6~14.6	38.7~390	6.2~9.1

接种污泥取自厦门市第一污水处理厂二沉池回流污泥。

## 1.3 实验步骤

### 1.3.1 SBR 反应器的启动

将取回的活性污泥搅拌均匀后平均分配到两个 SBR 反应器中, 用待处理的生活污水培养, 每周期 12h, 其中曝气 10h, 静置、进出水 2h。待系统 COD 去除率稳定在 75% 以上, 即按表 2 所示方式运行, 继续培养一段时间, 待出水 COD 浓度稳定在 50~100 mg/L 时, 即认为反应器启动成功, 总历时约 45 d。

表 2 SBR 反应器运行周期内不同阶段的时间分配

阶段	缺氧搅拌	好氧曝气	静置沉淀	排水进水
时间/h	2.5	7.5	1.5	0.5

注: 缺氧搅拌与曝气时间根据硝化与反硝化的水力停留时间比以 3:1 为宜设置<sup>[2]</sup>。

### 1.3.2 混凝剂强化实验

实验中 1、2 号反应器均以表 2 所示方式运行。1 号反应器作为混凝剂投加实验组, 2 号反应器作为空白对照组。混凝剂选择在每周期曝气结束前 30 min 投加, 此时由于聚磷菌的摄磷作用以及微生物生长对磷的摄取, 污水中磷酸盐浓度已经下降到一定程度, 可减少混凝剂的投加量, 同时也利用曝气产生的搅拌作用使混凝剂与活性污泥充分混合反应。强化实验共运行 44 d, 实验安排如表 3 所示。

表 3 混凝剂强化实验

实验阶段	I	II	III
时间安排	第 1~14 天	第 5~28 天	第 29~44 天
混凝剂种类	氯化铁	硫酸铝	聚合氯化铝

考察进水水质并经过初步计算后, 拟定实验过程中 3 种混凝剂的投加量均为 100 mg/L (按进水量计), 每周期投加一次。

考虑到硝化作用和金属盐混凝剂水解会消耗碱度, 于每周期进水后按 0.6 g/L (以有效容积计) 投加碳酸钠以提高系统酸碱缓冲能力。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 对悬浮物和有机物的去除影响

由于 SS 测定比较繁琐, 且在低浓度时准确性差,

故采用浊度表征<sup>[3]</sup>。图 1 为两组反应器进出水的浊度, 数据表明, 投加混凝剂组的出水浊度明显低于空白组的出水浊度。

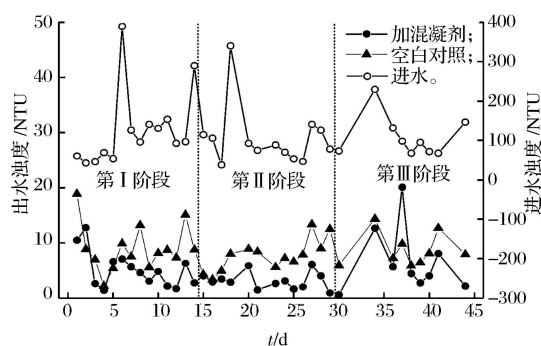


图 1 混凝剂投加组和空白对照组进出水浊度变化情况

图 2 为两组反应器的 COD 去除率变化。可以看出, 投加混凝剂的 COD 去除率总体上要高于空白组。张红<sup>[4]</sup> 等研究证明了不同类型污水的浊度与 COD 均有较好的相关性。图 1 中的混凝剂投加组出水浊度相对于空白组的降低与图 2 中混凝剂投加组的有机物去除率升高结果相吻合。

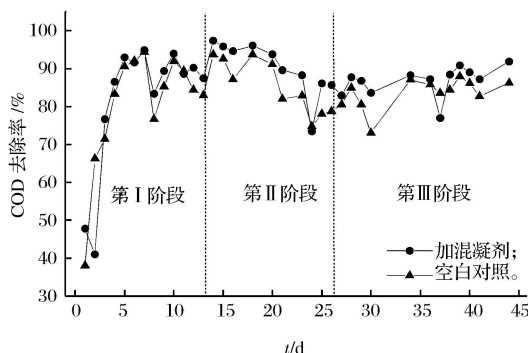


图 2 混凝剂投加组和空白对照组 COD 的去除率变化情况

传统活性污泥法依靠生物絮凝和沉淀作用可以得到澄清的出水, 但是此时处理后的水中仍然存在小部分难以通过生物絮凝和短时间的沉淀作用去除的悬浮有机物质, 如游离细菌、细胞残留物等, 宏观上表现在出水浊度和 COD 浓度仍然偏高; 利用化学药剂的絮凝作用使这部分难以去除的物质形成更大的颗粒物从而在有限的时间内与水分离开。利用生物絮凝为主, 化学絮凝为辅的运行方式, 可以节省药剂费, 提高出水水质。

图 1、图 2 的结果也验证了其他学者的研究结论<sup>[6-7]</sup>, 即混凝剂对活性污泥系统的悬浮物和有机物去除效能没有不利影响。表 4 说明在 100 mg/L (按进水量计) 的投加量下, 投加硫酸铝的活性污泥系统对 COD 的去除效果最好, 相对空白对照组 COD 去除率平均提高了 4.28%, PAC 次之, 三氯化铁则较差。

表4 各阶段两组反应器进出水 COD 平均值 mg/L

阶段	进水	混凝剂组出水	空白组出水	相对空白组提高百分比均值/%
I	419	49.1	56.4	1.51
II	337	33.1	45.9	4.28
III	314	39.3	48.2	3.27

## 2.2 对TP的去除影响

两组反应器的TP去除率变化见图3。各阶段进出水TP平均值见表5。

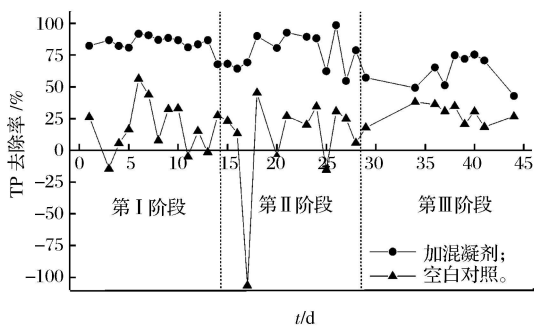


图3 混凝剂投加组和空白对照组TP的去除率变化情况

表5 各阶段进出水TP平均值 mg/L

阶段	进水	混凝剂组出水	空白组出水	相对空白组提高百分比均值/%
I	8.24	1.33	6.39	65.52
II	8.43	1.91	6.94	69.95
III	7.74	3.03	5.57	33.99

从图3和表5可以看出,混凝剂投加组的出水TP去除率明显高于空白对照组的TP去除率,说明活性污泥中投加混凝剂明显强化了系统对TP的去除,其中在相同投加量下三氯化铁的效果最好也最稳定,硫酸铝次之,PAC则较差。由于生物处理出水中大多是溶解性磷,利用铁和铝对应磷酸盐的难溶性即可将磷除去。生成的难溶性磷酸盐,金属阳离子水解生成的氢氧化物及悬浮物会通过吸附络合等作用一起沉淀下来<sup>[7-9]</sup>。由图3可看出,生物除磷受进水水质的影响去除率变化较大,甚至出现下降的情况。因此,采用化学辅助除磷是一较经济可靠的除磷方法。

## 2.3 对氨氮的去除影响

由图4中可知,当进水氨氮浓度低于100 mg/L时,对氨氮的去除效果总体上较好。投加混凝剂组与空白组的出水氨氮浓度相差不多。这可能是由于生物处理过程对NH<sub>3</sub>-N的去除率已经较高(>80%),加之氮的各种离子都很小,进一步发挥混凝剂吸附和网捕含氮污染颗粒作用的空间不大。

当进水氨氮浓度高于100 mg/L时,两组反应器

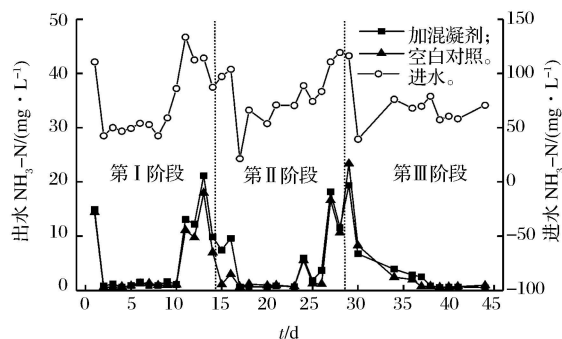


图4 混凝剂投加组和空白对照组进出水氨氮浓度变化情况

出水氨氮浓度急剧上升,甚至出现投加混凝剂组的出水氨氮浓度高于空白组的情况。这就说明混凝剂对活性污泥的硝化作用产生了不利影响。这一方面是由于高浓度的氨氮对硝化细菌产生抑制作用,另一方面由于硝化细菌属嗜碱细菌,尽管系统中每周期进水时人工投加一定量碳酸钠,但仍不能有效缓冲硝化作用以及金属盐混凝剂水解带来的pH较大程度的降低(见图5),偏酸性的环境不利于硝化细菌的生长,即影响了氨氮的去除。

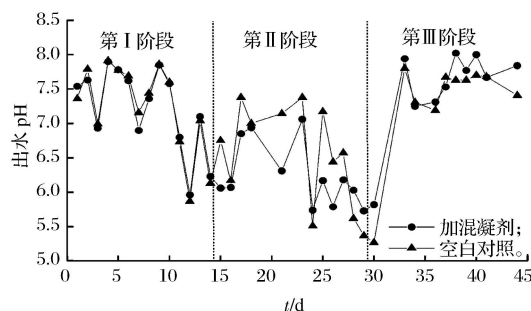


图5 混凝剂投加组和空白对照组出水pH变化情况

表6的数据说明在相同的投加量下,硫酸铝产生的不利影响最大,相对空白组的氨氮去除率降低了1.47%,三氯化铁和PAC次之。混凝剂对活性污泥的这种不利影响值得引起注意,但是数据显示这种影响程度相当有限,即投加混凝剂未对活性污泥去除氨氮的能力产生显著的不利影响。

表6 各阶段进出水NH<sub>3</sub>-N平均值 mg/L

阶段	进水	混凝剂组出水	空白组出水	相对空白组提高百分比均值/%
I	74.49	5.78	4.89	-0.91
II	80.1	5.15	3.64	-1.47
III	72.6	3.86	4.04	-0.22

## 2.4 对活性污泥沉降性能的影响

从图6看出,不同混凝剂对活性污泥的沉降性能影响不尽相同,投加了氯化铁的活性污泥沉降性能基本上未受到影响,而投加硫酸铝和PAC则显著提高了

活性污泥的沉降性能。实验结果说明在 100 mg/L 的投加量下, 混凝剂未对活性污泥的沉降性能产生不利影响。

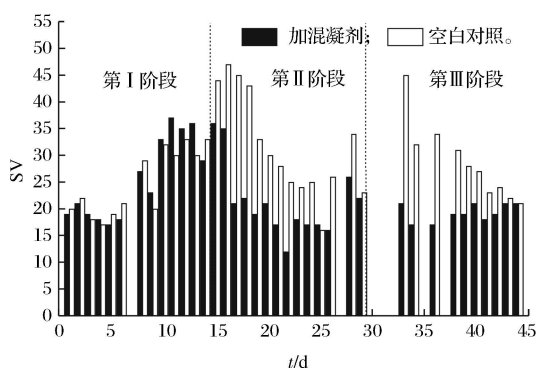


图6 混凝剂投加组和空白对照组出水SV变化情况

### 3 结论

实验结果表明在 SBR 反应器每个运行周期曝气阶段结束前 30 min 投加混凝剂可以大幅度提高系统对生活污水中 TP 的去除率, 并且能够保持较高的稳定性, 在 100 mg/L (按进水量计) 的投加量下, 投加了氯化铁和硫酸铝的实验组对 TP 的平均去除率相对于空白对照组分别提高了 65.52% 和 69.95%, 化学辅助除磷效果较好; 而对悬浮物和有机物的去除也有一定程度的强化作用; 对氨氮的去除则未产生显著不利影响; 可以提高活性污泥沉降性能。

### 参考文献

- [1] 王琳娜, 王爱英. 化学混凝强化生物氧化技术处理城市污水研究进展综述[J]. 伊犁师范学院学报(自然科学版), 2007, 12(4): 46-49.
- [2] 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999: 308-315.
- [3] 邱立平, 马军. 曝气生物滤池铁盐及铝盐化学强化除磷的对比研究[J]. 现代化工, 2007, 27(1): 951-261.
- [4] 张红, 施永生. 污水浊度与化学需氧量的关系[J]. 西南给排水, 2006, 28(4): 48-49.
- [5] Clark T, Stephenson T, Pearce P A. Phosphorus removal by chemical precipitation in a biological aerated filter[J]. Wat Res, 1997, 31(10): 2557-2563.
- [6] 凌霄, 胡勇有, 马冀. 曝气生物滤池铝盐化学强化与生物协同除磷[J]. 环境科学学报, 2006, 26(3): 409-415.
- [7] Yu qiu Wang, Tianwei Han, Ze Xu, et al. Optimization of phosphorus removal from secondary effluent using simplex method in Tianjin, China[J]. Journal of Hazardous Materials B, 2005, 121: 183-186.
- [8] 邱维, 张智. 城市污水化学除磷的探讨[J]. 重庆环境化学, 2002, 24(2): 81-84.
- [9] 赵艳梅, 刘起峰, 李涛, et al. 混凝强化除磷的模拟实验研究[J]. 环境工程学报, 2007, 1(5): 20-24.

作者通信处 景有海 361005 福建省厦门市厦门大学环境科学研究中心  
电话 (0592)2188132  
E-mail jingyouhai@xmu.edu.cn

2008-01-22 收稿

(上接第 35 页)

为 3234.6 mg/L,  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度为 327.8 mg/L 时, 出水 COD 浓度与  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度有较大上升, 分别为 557.4, 8.7 mg/L, COD 与  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率分别为 82.8%、97.3%。COD 去除率降低, 这与高浓度的焦化废水中存在对微生物有抑制作用的物质与难生物降解物质比例增高有关, 废水 COD 浓度越高, 存在对微生物有毒害物质与难生物降解物质浓度越高, 造成出水 COD 与  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度上升, 工艺系统水力停留时间较长, 活性污泥生长缓慢, 产泥量少。出水 COD、总氮与硫化物浓度较高, 需进行深度处理和工艺参数优化。

### 参考文献

- [1] 何苗. 杂环化合物和多环芳烃生物降解性能的研究[D]. 北京: 清华大学, 1995: 3-28
- [2] Zhang Min, Tay J H, Qian Yi, et al. Comparison between anaerobic-anoxic-oxic and anoxic-oxic systems for coke plant wastewater treatment[J]. Journal of Environmental Engineering, 1997, 9:

- 879-880
- [3] 张方西, 余承基, 周淑芬, 等. 含酚废水的处理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 1983: 17-18
- [4] Zhang Min, Tay J H, Qian Yi, et al. Coke plant wastewater treatment by fixed biofilm system for COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  removal[J]. Wat Res 1998, 32(2): 519-527.
- [5] 张自杰, 张忠祥, 龙滕锐, 等. 废水处理理论与设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社 2002: 202-203
- [6] 谢清喜, 李志然, 李克文, 等. 焦化高浓度酚氰废水的处理[J]. 河南冶金, 2002, 52(5): 22-24
- [7] Xu Jin Qiu, Jia Jin Ping, Wang Jing Wei. Decomposition of organic compounds in coke plant wastewater by ultrasonic irradiation and its combined process[J]. Chem Res Chinese, 2004, 20(4): 421-428

作者通信处 陈劲松 101102 北京通州马驹桥桑德环保集团技术研发中心  
电话 (010)60594937  
E-mail envbluwa@yahoo.com.cn

2008-11-14 收稿