

论述与研究

曝气方式对复合型 CAST 工艺处理低碳源污水的影响

王 科¹, 郭泽林², 吕龙义¹, 王 淼³, 李伟光¹

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 黑龙江建筑职业技术学院 成人教育学院, 黑龙江 哈尔滨 150025; 3. 哈尔滨市多相水处理技术有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 采用新型泥膜复合式 CAST 工艺中试装置处理低碳源市政污水, 分别考察了非限制性、区域交替、三段式和两段式曝气方式下该系统对有机物、氮和磷的去除能力。中试结果表明, 四种曝气方式对 COD、氨氮和总磷的去除效果影响较小, 而对总氮的去除能力影响显著。与非限制性曝气方式相比, 三种限制性曝气方式下对总氮的去除率明显提高, 其中三段式曝气对总氮的去除率最高, 达到了 72.3%; 限制性曝气方式不仅可以节省曝气能耗, 而且能够有效减少污泥损失。

关键词: 复合式 CAST 工艺; 低碳源污水; 曝气方式; 脱氮

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2017)05-0001-04

Effect of Four Aeration Modes on Pollutants Removal in a Composite CAST Treating Low Carbon Source Sewage

WANG Ke¹, GUO Ze-lin², LYU Long-yi¹, WANG Miao³, LI Wei-guang¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. School of Continuing Education, Heilongjiang College of Construction, Harbin 150025, China; 3. Harbin Multiphase Water Treatment Technology Co. Ltd., Harbin 150090, China)

Abstract: A novel composite CAST process was employed for treating domestic sewage with a low carbon content. Effect of four aeration modes including unlimited aeration, regional alternate aeration, three-stage aeration and two-stage aeration on the pollutants removal was investigated. The results showed that the aeration modes had little influence on COD, TP and $\text{NH}_3\text{-N}$ removal, but they had a remarkable effect on TN removal. Limited aeration modes significantly improved TN removal compared with the unlimited aeration mode. The three-stage aeration had the best TN removal of 72.3%, it could increase TN removal rate by 16.3% compared with unlimited aeration mode. On the other hand, the three limited aeration modes not only saved a lot of energy, also avoided the disintegration of activated sludge in the system.

Key words: composite CAST; low carbon source sewage; aeration mode; denitrification

目前,我国许多小城镇的生活污水排放量相对较少,排水管网采用雨污合流制,在雨季市政污水中的碳源浓度普遍很低^[1],而低碳源污水的脱氮问题一直是国内外学者研究的热点和难点。CAST 工艺

具有运行灵活、脱氮除磷能力强、占地面积小、抗污泥膨胀等优势,因而在我国城镇污水处理领域得到了广泛应用^[2]。但是通过调研发现 CAST 工艺在处理低碳源、低碳氮比污水时,出水总氮浓度很难达到

《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级排放标准^[3,4]。针对这一问题,通过在传统 CAST 系统主反应区前端安装固定式生物填料,开发了一种新型泥膜共存复合式 CAST 工艺。

曝气方式对 CAST 系统运行能耗和脱氮效果影响显著^[5],为寻求复合式 CAST 工艺的最佳曝气方式,以提高该工艺在处理低碳源污水时的脱氮能力,笔者分别考察了非限制性、区域交替、三段式和两段式曝气对该工艺去除碳、氮的影响,以期复合式 CAST 工艺的应用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验装置

复合式 CAST 工艺中试装置安装在大庆市某污水处理厂预处理间内,处理量为 60 m³/d,包括生物选择区、预反应区和主反应区,其中预反应区和主反应区都设有搅拌器和曝气盘,主反应区前端设置了固定式生物填料。通过潜水泵将污泥从主反应区回流至生物选择区。在主反应区不同排水高度上分别设置三个排水管和自动蝶阀,模拟滗水器的排水功能。通过电控系统控制装置 24 h 连续运行,运行周期包括进水 1 h、曝气 1.5 h、沉淀 1 h、滗水 0.5 h。中试装置如图 1 所示。

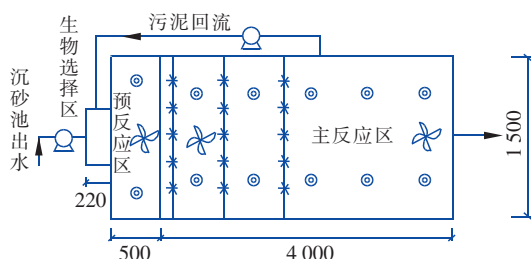


图1 中试装置示意

Fig.1 Schematic diagram of pilot-scale CAST reactor

1.2 试验用水及接种污泥

试验用水为污水处理厂的沉砂池出水,pH 值为 7.63~7.82,COD 为 88.35~154.65 mg/L,NH₃-N 为 15.35~30.59 mg/L,TN 为 17.43~36.69 mg/L,TP 为 0.63~2.57 mg/L,碳氮比为 5.06~5.77,属于低碳源、低碳氮比市政污水。

接种污泥来自附近某牛奶厂污水处理站的污泥暂存池,该处理站采用 UASB/曝气生物滤池工艺,暂存池中的污泥是二沉池排出的剩余污泥,其活性良好,接种后经过一段时间的培养驯化,污泥性能稳定,出水水质稳定达标。

1.3 分析项目及方法

分别考察在非限制性曝气和限制性曝气下对 COD、NH₃-N 和 TN 的去除效果,由于进水 TP 浓度较低,无论采用何种曝气方式出水值均在 0.5 mg/L 以下,故不作进一步研究。其中,pH 值:pH-3C 型 pH 计;COD:快速消解法;NH₃-N:纳氏试剂分光光度法;TN:过硫酸钾氧化-紫外分光光度法;DO:YSI DO200 便携式溶解氧仪。

1.4 曝气方式

非限制性曝气:曝气强度由曝气后期 DO 控制。

区域交替曝气:将装置的主反应区分成前后两段(I 段和 II 段),曝气阶段的前 30 min 两段同时曝气,控制 DO 在 2~3 mg/L;曝气阶段的中间 30 min 仅 I 段曝气,控制 DO 在 1~2 mg/L;曝气阶段的后 30 min II 段曝气,控制 DO 在 1~2 mg/L。

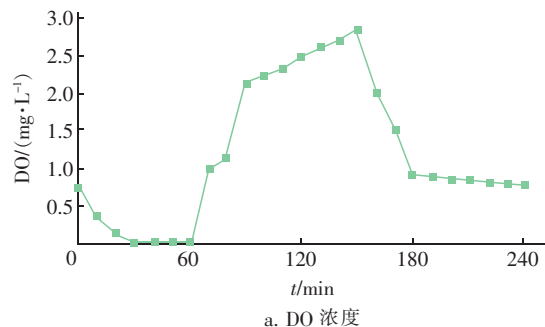
三段式曝气:曝气阶段的前 30 min 控制 DO 在 2~3 mg/L;曝气阶段的中间 30 min 控制 DO 在 1~2 mg/L;曝气阶段的后 30 min 控制 DO < 0.5 mg/L。

两段式曝气:曝气阶段的前 30 min 控制 DO 在 2~3 mg/L;后 60 min 控制 DO 在 0.5~1 mg/L。

2 结果与分析

2.1 非限制性曝气的去除效果

在非限制性曝气方式下,典型周期内 DO 及氮浓度随时间的变化如图 2 所示。进水阶段 DO 浓度随着时间逐渐下降,直至低于 0.1 mg/L,NO₃⁻-N 浓度从 12 mg/L 下降到 8 mg/L,这一结果说明进水补充碳源促进了生物反硝化过程^[6]。在曝气阶段 DO 浓度上升到 2 mg/L 以上,同时 NH₃-N 下降了 4.9 mg/L,硝态氮增加了 3.1 mg/L,这表明曝气阶段生物硝化和氨同化作用显著。沉淀阶段 DO 浓度由 2.8 mg/L 迅速降至 1 mg/L 左右,而在滗水阶段 DO 浓度下降缓慢。由图 2(b)可知 TN 和 NO₃⁻-N 浓度在这两个阶段并没有发生明显变化,可能是因为缺乏碳源致使生物反硝化作用微弱。



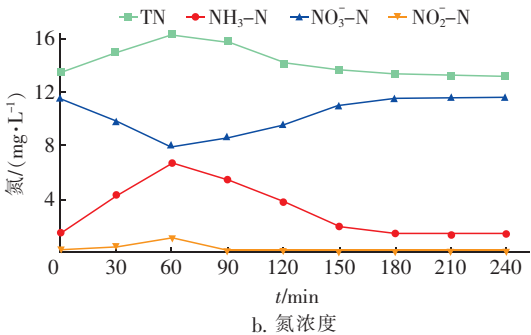


图 2 典型周期内 DO 和氮浓度的变化

Fig. 2 Variation of DO and nitrogen concentration in a reaction cycle

在非限制性曝气条件下复合式 CAST 系统出水各污染物浓度均达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 排放标准(见表 1),对氨氮的平均去除率可达 90% 以上,但对总氮的平均去除率仅为 56%,这是因为曝气时间较长,系统中始终保持较高溶解氧水平,这有利于硝化反应,但不利于生物反硝化过程。因为原水碳源浓度很低,所以需要采用限制性曝气方式控制系统内部 DO 水平,通过同步硝化反硝化作用进行脱氮才可以有效节省碳源^[7]。

表 1 非限制性曝气方式下对污染物的去除效果

Tab. 1 Effect of contaminant removal under unlimited aeration mode

项 目	COD	NH ₃ - N	TN
进 水			
范围	93. 42 ~ 137. 54	20. 32 ~ 28. 32	26. 34 ~ 34. 42
均值	114. 34	24. 65	29. 54
出 水			
范围	38. 89 ~ 53. 45	0. 62 ~ 4. 20	12. 34 ~ 15. 67
均值	43. 65	2. 32	13. 24

2. 2 区域交替曝气的去除效果

在区域交替曝气方式下对污染物的去除效果见图 3。

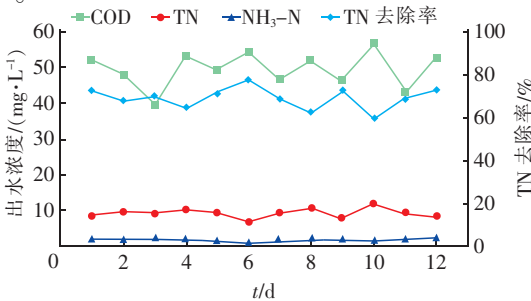


图 3 区域交替曝气方式下对污染物的去除效果

Fig. 3 Effect of contaminant removal under alternate aeration mode

与非限制性曝气方式相比,区域交替曝气运行模式下复合式 CAST 工艺出水 COD 和 NH₃ - N 浓度变化不大,但是对总氮的平均去除率由 56% 升至 69.2%。这可能是因为 I、II 段交替曝气,为填料上生物膜提供了好氧和缺氧交替环境,从而促进了同步硝化反硝化作用。此外,区域交替曝气方式不仅可以显著节约能耗、降低运行成本,而且避免了微生物进入内源呼吸,有效减少了污泥流失。

2. 3 三段式曝气的去除效果

与非限制性曝气相比,三段式曝气工况下装置出水 COD 和 NH₃ - N 浓度差异不大,但出水总氮浓度明显降低,总氮平均去除率达到了 72.3%,提高了 16.3%(见图 4)。在曝气阶段的前 30 min 主要进行有机物降解和硝化过程;中间的 30 min 主要进行同步硝化反硝化作用,这个阶段需调低 DO 浓度(1~2 mg/L),一方面可以限制异养菌对有限碳源的过度消耗,另一方面使得活性污泥絮体或生物膜内部形成缺氧微环境,促进同步硝化反硝化的进行;在曝气阶段的后 30 min,水中氨氮大部分转化为硝态氮,此时进一步降低 DO 浓度(<0.5 mg/L),有助于提高生物反硝化效率^[7]。

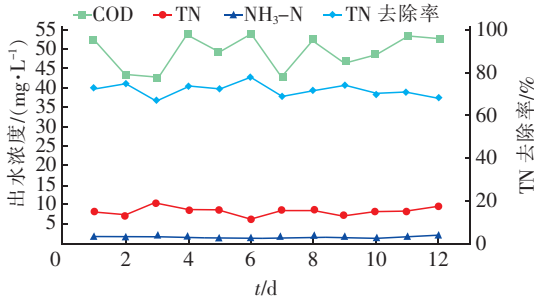


图 4 三段式曝气的污染物去除效果

Fig. 4 Effect of contaminant removal under three-stage aeration mode

2. 4 两段式曝气的去除效果

两段式曝气相比其他三种曝气方式更加节能。两段式曝气工况下装置出水 COD 为 48.3~58.5 mg/L,与非限制性曝气方式相比对 COD 的去除率略有降低,出水 NH₃ - N 浓度差异不大,总氮平均去除率达到了 64%。两段式曝气在前 30 min 提供较高的 DO 浓度(2~3 mg/L),为有机物生物好氧代谢和硝化反应提供充足的电子受体;在曝气阶段的后 60 min 将 DO 浓度维持在 0.5~1 mg/L 的水平,为进行同步硝化反硝化反应提供缺氧环境条件,同样有利于节省进水中的碳源。但是由于曝气阶段系统

内部 DO 浓度相对较低,部分有机物没有被微生物完全利用,使得系统对 COD 的去除率有所下降(见图 5)。

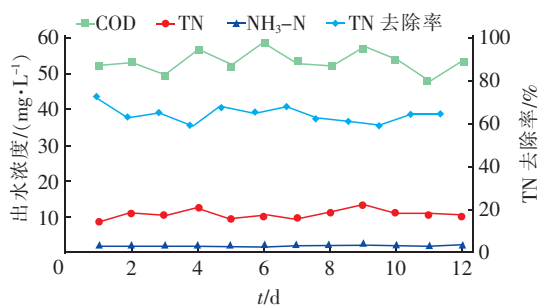


图5 两段式曝气的污染物去除效果

Fig.5 Effect of contaminant removal under two-stage aeration mode

3 结论

复合式 CAST 工艺适合处理低碳源、低碳氮比市政污水,出水各污染物浓度均可达到一级 A 标准。采用非限制性曝气方式,曝气后期 DO 浓度过剩影响反硝化过程和对总氮的去除效率。与非限制性曝气相比,区域交替、三段式和两段式曝气对总氮的去除率分别提高 13.2%、16.3% 和 8%,并能够实现节能降耗和减少污泥流失。其中,三段式曝气时对有机物和总氮的去除率最高,因此确定为复合式 CAST 工艺处理低碳源污水的最佳曝气方式。

参考文献:

- [1] 郭倩. 低碳源污水同步脱氮除磷工艺优化研究[D]. 重庆:重庆大学,2012.
- [2] 熊红权,李文彬. CASS工艺在国内的应用现状[J].

中国给水排水,2003,19(2):34-35.

- [3] 马娟,彭永臻,王淑莹,等. CAST 工艺处理低 C/N 生活污水的强化脱氮性能[J]. 环境工程学报,2009,3(2):234-238.
- [4] 刘少武,周娇,张智. 小城镇低负荷 SBR 工艺运行参数优化研究[J]. 给水排水,2009,35(9):39-41.
- [5] 周国胜,刘年丰. 低 DO 下同步硝化反硝化现象新形式探讨[J]. 环境科学与技术,2007,30(2):97-99.
- [6] 杨麒,李小明,曾光明,等. 同步硝化反硝化的形成机理及影响因素[J]. 环境科学与技术,2004,27(3):102-104.
- [7] 曾薇,彭永臻. SBR 交替好氧缺氧短程脱氮工艺及其过程控制[J]. 中国给水排水,2006,22(9):46-51.



作者简介:王科(1982-),男,辽宁营口人,博士,副教授,从事污水、污泥处理技术研究,主持国家自然科学基金等各类科研项目 7 项。

E-mail: hitwk@sina.com

收稿日期:2016-11-11

全面规划、统筹兼顾、

标本兼治、综合利用水资源