

悬浮复合填料对改良多级 A/O 工艺处理低碳氮比生活污水同步脱氮除磷的影响^{*}

张国珍¹ 明 驹^{2#} 武福平¹ 马宏琛¹ 吴 勇¹

(1.兰州交通大学环境与市政工程学院,甘肃 兰州 730070;2.武汉地铁集团有限公司,湖北 武汉 430000)

摘要 针对改良多级 A/O 工艺处理低碳氮比生活污水难以同时兼顾脱氮除磷的问题,考察了内置式悬浮球中填加海绵块(填料 A)和内置式悬浮球中填加海绵块、海绵铁和聚氯乙烯泡沫(填料 B)两种悬浮复合填料的效果。结果表明,悬浮复合填料的添加可以在保证 COD 去除效果的基础上同时兼顾脱氮除磷。出水 COD 和氨氮可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。填料 B 的脱氮除磷效果均优于填料 A。可以通过添加外加碳源增强脱氮的主要限制步骤(反硝化作用),从而进一步提高脱氮效果,有望出水 TN 达到 GB 18918—2002 的一级 A 标准。

关键词 悬浮复合填料 改良多级 A/O 工艺 低碳氮比 生活污水 同步脱氮除磷

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2017.10.013

Influence of suspended composite fillers on simultaneous denitrification and dephosphorization of domestic wastewater with low carbon nitrogen ratio treated by modified multi-stage A/O process ZHANG Guozhen¹, MING Ju², WU Fuping¹, MA Hongchen¹, WU Yong¹. (1. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou Gansu 730070; 2. Wuhan Metro Group Co., Ltd., Wuhan Hubei 430000)

Abstract: Domestic wastewater with low carbon nitrogen ratio was hard to be denitrified and dephosphorized simultaneously by modified multi-stage A/O process. Suspended composite fillers of Filler A (built-in suspended ball and sponge) and Filler B (built-in suspended ball, sponge, sponge iron and polyvinyl chloride foam) were tested to solve this problem. Results showed that suspended composite fillers was promising for simultaneous denitrification and dephosphorization without sacrifice of COD removal. COD and ammonia nitrogen in effluent could meet Grade 1A of "Discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant" (GB 18918-2002). Filler B was much better than Filler A. TN removal rate could be enhanced to meet Grade 1A of GB 18918-2002 by adding additional carbon resource.

Keywords: suspended composite filler; modified multi-stage A/O process; low carbon nitrogen ratio; domestic wastewater; simultaneous denitrification and dephosphorization

COD/TN 低于 7.5(质量比)的生活污水属于低碳氮比生活污水,传统生物处理工艺在无外加碳源的情况下,脱氮除磷效率不高^[1-2]。多级 A/O 工艺具有无硝化液内回流、碳源利用率高等优点^[3-4],但对于低碳氮比生活污水仍难以稳定脱氮除磷。研究发现,填料的添加能有效改善多级 A/O 工艺对低碳氮比生活污水的同步脱氮除磷效果。杨敏等^[5]利用新型 SPR-1 悬浮填料作为生物载体强化硝化作用,发现硝化效率显著提高。李杰等^[6]也指出,生物海绵铁填料能有效提高除磷能力。但是,单种填料往往难以同时兼顾脱氮和除磷,目前有关不同悬浮复合填料对多级 A/O 工艺处理低碳氮比生活污水进

行同步脱氮除磷的研究还鲜见报道。本研究以低碳氮比生活污水为研究对象,在带前置厌氧段的改良多级 A/O 工艺各级好氧段投加悬浮复合填料,考察不同悬浮复合填料的同步脱氮除磷效果。

1 材料与方法

1.1 工艺流程

改良多级 A/O 工艺流程如图 1 所示,改良多级 A/O 装置尺寸(长×宽×高)为 105 cm×20 cm×40 cm,总有效容积为 67.2 L,由前置厌氧段(A0)、一级缺氧段(A1)和一级好氧段(O1)、二级缺氧段(A2)和二级好氧段(O2)、三级缺氧段(A3)和三级好氧段

第一作者:张国珍,男,1969 年生,博士,教授,主要从事饮用水处理与水污染治理。* 通讯作者。

* 甘肃省重点研发计划项目(No.17YF1NA056);国家自然科学基金资助项目(No.51068014、No.51468033);长江学者和创新团队发展计划项目(No.IRT0966)。

(O3)组成。A0、A1、O1、A2、O2、A3、O3 的有效容积分别为 10.2、6.6、13.2、6.4、12.8、6.0、12.0 L。厌氧段和缺氧段采用电动搅拌器进行搅拌,好氧段采用曝气机配合微孔曝气管曝气。二沉池为圆形竖流式沉淀池,中心管进水,有效容积为 5.5 L,高度为 600 mm,直径为 130 mm,污泥斗呈截头倒锥体,倾角为 60°,污泥回流通过蠕动泵输送。

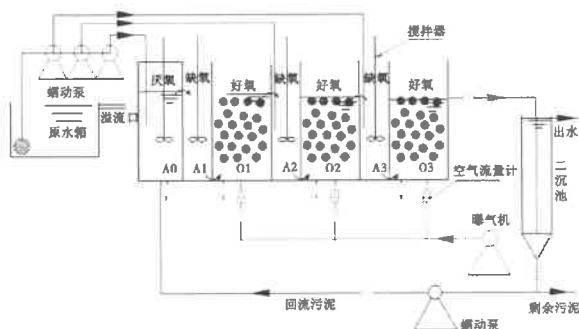


图 1 改良多级 A/O 工艺流程
Fig.1 Modified multi-stage A/O process

1.2 实验原水及水质指标测定

实验原水为兰州交通大学校园办公楼生活污水,COD/TN 平均值为 3.8。

COD 采用快速消解分光光度法测定,氨氮采用纳氏试剂分光光度法测定,TN 采用过硫酸钾消解—紫外分光光度法测定,TP 采用钼锑抗分光光度法测定,亚硝酸盐氮采用 N-(1-萘基)-乙二胺分光光度法测定,硝酸盐氮采用麝香草酚分光光度法测定,混合液悬浮固体(MLSS)采用重量法测定,沉降比(SV)采用量筒静置法测定,生物膜量采用碱洗法测定。

1.3 悬浮复合填料的制备

根据《水处理用高密度聚乙烯悬浮载体填料》(CJ/T 461—2014),利用内径 80 mm 的空心内置式悬浮球、体积 6~8 cm³ 的海绵块、粒径 5~8 mm 的海绵铁、聚氯乙烯(PVC)泡沫等材料制备悬浮复合填料。按内置式悬浮球中空体积填加海绵块,海绵块填加量为 2.6 g/L,制得的复合填料可以悬浮于水中,记作填料 A;按内置式悬浮球中空体积填加海绵块和海绵铁,海绵块填加量为 2.6 g/L,海绵铁填加量为 45.0 g/L,再加适量 PVC 泡沫以使复合填料能够悬浮于水中,记作填料 B。

1.4 实验方法

接种污泥取自兰州市某污水处理厂二沉池,将其接种至改良多级 A/O 工艺的各厌氧、缺氧、好氧段中,厌氧段 DO 控制在 0~0.2 mg/L、缺氧段控

制在 0.2~0.5 mg/L、好氧段控制在 1.8~2.2 mg/L,经 18 d 的驯化培养,氨氮和 COD 的去除率均达到 80%以上,SV 为 28%~35%,菌胶团紧密,有丝状菌贯穿菌胶团,并出现钟虫,表明系统已稳定运行。

从稳定运行的改良多级 A/O 工艺的 O1、O2、O3 中各取出共 4 L 的活性污泥,混合后污泥 MLSS 为 2 996 mg/L,SV 为 30%,均分到 2 个设有曝气系统的塑料容器(分别装有填料 A、填料 B)中,补充实验原水至总体积为 10 L,填料 A 和填料 B 的填充率按 30%(体积分数)进行投加。前 7 天控制 DO 质量浓度为 1.0~2.0 mg/L,第 8 天至第 28 天控制为 3.0~4.0 mg/L。水力停留时间(HRT)设为 8 h,每 8 h 暂停曝气并换水 50%(即 5 L)。污泥停留时间(SRT)为 14 d。第 16、22 天时,填料 A 和填料 B 的生物膜量分别达到最大,表明预挂膜过程完成。

在 O1、O2、O3 中分别投加填料 A 和填料 B 的情况下进行污水处理,A0、A2、A3 的流量体积比为 6:3:1,好氧段 MLSS 维持在 1 750~2 500 mg/L,曝气保证悬浮复合填料处于流化状态,厌氧段 DO 控制在 0~0.2 mg/L、缺氧段控制在 0.2~0.5 mg/L、好氧段控制在 3.0~4.0 mg/L,温度控制为 17~23 °C,污泥回流比为 75%(体积分数),HRT 为 10 h,SRT 为 14 d,每天计算系统所需排泥量后定时排放剩余污泥。在其他条件保持不变的情况下,以不加填料作为对照。

2 结果与讨论

2.1 对 COD 的去除效果

COD 在改良多级 A/O 工艺中的沿程变化如图 2 所示。COD 的去除主要集中在 A0 和 A1。A2 和 A3 由于有原水补充,因此 COD 浓度略有上升。在无填料、填料 A 和填料 B 3 种条件下,出水 COD 质量浓度分别为 27.09、19.57、33.11 mg/L,去除率分别为 87.24%、90.78%、84.41%,能够达到《城镇污水

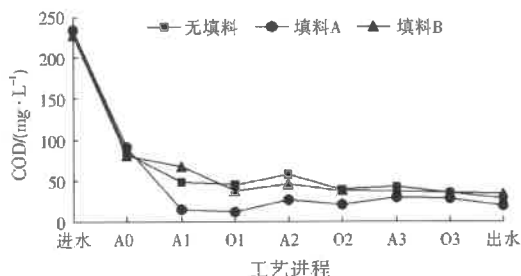


图 2 COD 沿程变化
Fig.2 Variation of COD along the process

处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准(50 mg/L)。总体而言,投加悬浮复合填料对提高COD的去除率影响不大。

2.2 脱氮效果

2.2.1 对TN的去除效果

TN在改良多级A/O工艺中的变化如图3所示。在无填料、填料A和填料B 3种条件下,出水TN质量浓度分别为29.41、25.27、24.49 mg/L,去除率分别为47.42%、54.82%、56.21%。投加填料A或填料B对TN的去除率有较大的提高。填料B条件下TN去除率最高,较无填料时提高了8.79百分点,原因可能是海绵铁能促进硝酸盐的还原^[7]。

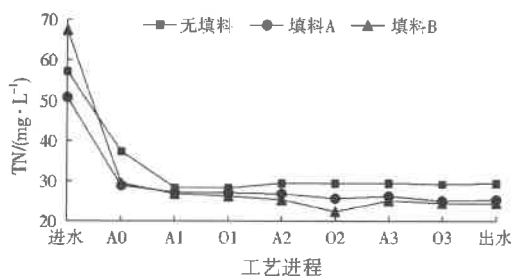


图3 TN沿程变化

Fig.3 Variation of TN along the process

2.2.2 对氨氮的去除效果

氨氮在改良多级A/O工艺中的沿程变化如图4所示。A0和A1处于厌氧或缺氧状态,这两个工艺段氨氮浓度降低主要归因于原水进水和回流污泥的稀释作用。O1、O2、O3在好氧条件下,硝化细菌活性增强,将氨氮转化为硝酸盐氮或亚硝酸盐氮,才真正实现对氨氮的去除。在无填料、填料A和填料B 3种条件下,出水氨氮质量浓度分别为1.90、0.22、1.73 mg/L,去除率分别为96.64%、99.57%、97.44%,能够达到GB 18918—2002的一级A标准(5 mg/L)。可见,3种条件下改良多级A/O工艺硝化能力充足,填料对硝化作用影响不大,说明硝化作用不是限制改良多级A/O工艺脱氮的主要原因。

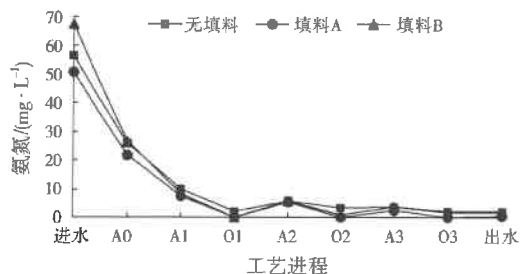


图4 氨氮沿程变化

Fig.4 Variation of ammonia nitrogen along the process

2.2.3 对硝酸盐氮的去除效果

硝酸盐氮在改良多级A/O工艺中的沿程变化如图5所示。A0、A1和O1中硝酸盐氮浓度大幅度增加,主要是由于A0、A1中厌氧或缺氧条件下硝化作用把大量氨氮转化成了硝酸盐氮,但实验原水的碳氮比低导致反硝化作用明显不足。

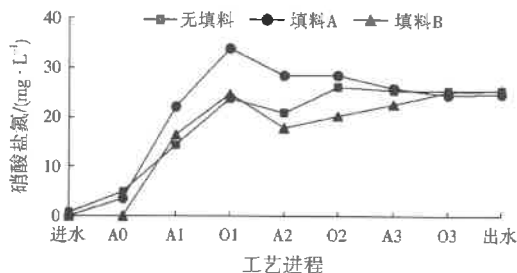


图5 硝酸盐氮沿程变化

Fig.5 Variation of nitrate nitrogen along the process

通过向实验原水中添加冰醋酸调节COD/TN为7.5,结果发现,硝化作用明显增强,在无填料、填料A和填料B 3种条件下,出水TN质量浓度分别降到了17.61、15.34、9.49 mg/L,去除率分别达到了70.03%、79.97%、84.99%,已经达到GB 18918—2002的一级B标准(20 mg/L),添加悬浮复合填料的条件下甚至可以达到一级A标准(15 mg/L)。

因此,改良多级A/O工艺处理低碳氮比生活污水脱氮效率不高的主要限制步骤是反硝化作用受到限制,可以通过添加外加碳源增强。

2.3 除磷效果

TP在改良多级A/O工艺中的沿程变化如图6所示。在无填料、填料A和填料B 3种条件下,TP的沿程变化趋势基本一致,出水TP质量浓度分别为3.51、3.28、2.64 mg/L,去除率分别为27.03%、25.34%、52.49%。填料A条件下较无填料条件时,TP去除率基本相当。填料B条件下,系统对TP的去除率有了明显提高,主要原因是海绵铁填料表面发生电极反应产生铁离子,能够和磷酸盐反应形

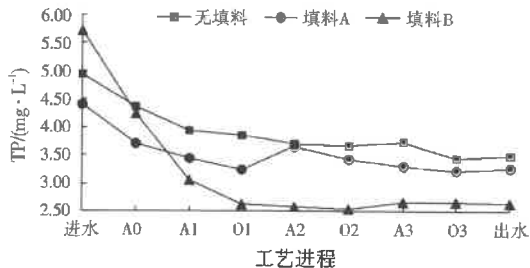


图6 TP沿程变化

Fig.6 Variation of TP along the process

(下转第1116页)