

新型短程硝化同步反硝化除磷工艺的快速启动

吴春英

(吉林化工学院 资源与环境工程学院, 吉林 吉林 132022)

摘要: 构建以厌氧/好氧/缺氧/快速曝气单元组成的短程硝化同步反硝化除磷工艺,并在常温、低氧条件下用于处理实际城市污水。结果表明,设定水力停留时间(HRT)为9 h,污泥龄为20~25 d,污泥浓度(MLSS)为2 000~4 000 mg/L,且控制好氧1池的溶解氧(DO)浓度为1.5~2 mg/L,好氧2池的DO为0.5~1 mg/L,并投加氢氧化钠溶液调控好氧池的pH值在8.5以上,可以实现短程硝化反硝化的快速启动,且出现了反硝化除磷现象,出水水质可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准。

关键词: 短程硝化反硝化; 反硝化除磷; 反硝化聚磷菌; 氨氧化细菌; 亚硝化率

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)09-0111-05

Rapid Start-up of a Novel Shortcut Nitrification Coupled with Simultaneous Denitrifying Phosphorus Removal Process

WU Chun-ying

(College of Resources and Environmental Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, China)

Abstract: A novel process consisting of anaerobic (An) – aerobic (O_1, O_2) – anoxic (A_1, A_2) – fast aeration (O_3) units was proposed to achieve shortcut nitrification coupled with simultaneous denitrifying phosphorus removal, and it was applied in real municipal wastewater treatment under ambient temperature and low oxygen condition. The results showed that shortcut nitrification and denitrification was rapidly realized and denitrifying phosphorus removal phenomenon appeared when hydraulic retention time (HRT) was 9 hours, sludge retention time was 20–25 d, sludge concentration was 2 000–4 000 mg/L, dissolved oxygen(DO) of aerobic unit one and two were 1.5–2 mg/L and 0.5–1 mg/L and pH was more than 8.5. In addition, the effluent quality could meet the first level B standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918–2002).

Key words: shortcut nitrification and denitrification; denitrifying phosphorus removal; denitrifying phosphorus accumulating bacteria; ammonium-oxidizing bacteria; nitrosation rate

污水中的氮、磷是造成水体富营养化和生态环境恶化的重要污染物^[1-2]。A²/O工艺因具有较好的脱氮除磷效果而被广泛应用于城市污水处理领

域^[3-5],对现有城市污水处理厂进行调查发现,A²/O工艺的处理水量占总处理水量的70%以上,并且能耗和物耗占运行费用的比例较大^[4-5]。因此,研究

基金项目: 吉林化工学院校级重大科研项目(2018028); 吉林省教育厅项目(20160136); 吉林市科技局科技创新项目(20163301)

A²/O 工艺短程硝化反硝化的快速启动,对于城市污水处理厂节能降耗关键技术的改进及新建污水处理厂的优化设计具有重要指导意义。

笔者以厌氧/好氧/缺氧/快速曝气工艺处理城市污水,探讨在常温(25℃)、低氧条件下实现短程硝化同步反硝化除磷的快速启动,同时减少曝气量,降低污泥产生量,旨在为城市污水处理 A²/O 工艺的升级改造奠定基础。

1 材料与方法

1.1 工艺流程

新型脱氮除磷工艺流程如图1所示。反应器的材质为有机玻璃,每个单元的有效体积为7L,各单元之间采用隔板分开。二沉池为竖流式,直径为20cm。进水采用分段式,可以延长厌氧区的水力停留时间,使厌氧释磷过程更加充分,充分释磷后的厌氧出水一部分进入缺氧区,聚磷菌在充分释磷后体内储存了大量聚羟基丁酸酯(PHB),有利于缺氧区以亚硝酸盐为电子受体的聚磷过程。另外一部分出水进入好氧区,使好氧单元内游离态氨(FA)浓度升高,从而有利于亚硝酸盐氧化菌的生长。除两个好氧单元外,其他各反应单元均设有搅拌器,好氧单元底部铺有微孔曝气器,DO由气体流量计调节。试验过程中pH值和溶解氧(DO)采用在线控制,反应器内的温度由恒温加热棒调节。

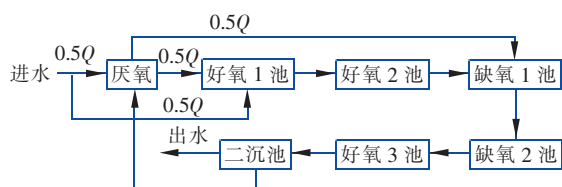


图1 新型脱氮除磷工艺流程

Fig. 1 Flow chart of novel nitrogen and phosphorus removal process

1.2 试验材料

试验采用实际生活污水,具体水质如下:COD为120~650 mg/L,平均为234.5 mg/L;氨氮为30~50 mg/L,平均为39.87 mg/L;TN为40~60 mg/L,平均为50.12 mg/L;磷酸盐浓度为1~5 mg/L,平均为3.27 mg/L。进水流量为100 L/d,HRT为9 h,反应器内污泥浓度(MLSS)为2 000~4 000 mg/L,污泥龄(SRT)约为20 d,污泥回流比为100%。

试验接种污泥取自某污水处理厂的好氧池,采用间歇培养法进行培养,并观察其生长情况。由于

污泥取自好氧池,其硝化性能和活性较强,7 d后观察到污泥絮体增大现象,沉降性能良好,出水中无悬浮物,此时将污泥(MLSS约为2 200 mg/L)接种到反应器中。

1.3 分析项目与方法

根据《水和废水监测分析方法》(第4版)测定COD、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、磷酸盐浓度等。待测水样均经过3 000 r/min的转速进行离心,并用0.45 μm的微孔滤膜过滤。另外,pH值采用雷磁PHG-21D-1在线pH计测定,DO采用SJG-208在线溶解氧测定仪测定。

2 结果与讨论

2.1 pH值和溶解氧的变化

本试验通过向好氧池中投加氢氧化钠溶液,使pH值始终高于8.5。同时调节曝气装置的阀门,控制好氧池的DO浓度。在启动的第1阶段,好氧1池和好氧2池的DO浓度均在0.5 mg/L以下,反应器经过1周左右的运行,好氧1池中亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的浓度均很低,亚硝酸盐氮浓度不足1 mg/L,且出现了污泥发黑发臭的现象,即局部厌氧。分析原因,虽然在低氧环境下,氨氧化细菌(AOB)的增殖速率快于亚硝酸盐氧化菌(NO₂),但两者的绝对增殖速率均很小,氨氮去除率很低。因此,在第2阶段将好氧1池和好氧2池的DO浓度均提高至3 mg/L左右,运行1周之后污泥颜色逐渐恢复为黄褐色,并逐渐出现了亚硝酸盐氮的积累现象,氨氮的去除率也随之升高,可达到80%以上。第3阶段,同时降低好氧1池和好氧2池的曝气量,将好氧1池的DO控制在1.5~2 mg/L,好氧2池的DO控制在0.5~1 mg/L,好氧3池的DO控制在2 mg/L左右,反应器运行10 d之后,好氧2池的亚硝化率达到50%以上,亚硝酸盐氮的积累浓度为5 mg/L左右,对氨氮的去除效果也十分理想,说明反应器完成了短程硝化的启动。

2.2 亚硝酸盐氮的积累

图2为启动期好氧1池和好氧2池中硝酸盐氮和亚硝酸盐氮的变化。在反应器启动的第1阶段,由于好氧1池和好氧2池的溶解氧浓度都低于0.5 mg/L,AOB的增殖速率快于NOB,所以两个好氧池的出水亚硝酸盐氮浓度均高于硝酸盐氮浓度,但出水浓度值都很低,亚硝化率高于50%,出水氨氮浓度很高,且污泥恶化,由开始接种时的黄褐色变成黑

色,能闻到臭味,所以单纯的低氧环境无法启动反应器。在第2阶段,将曝气量大幅提高到3 mg/L左右,出水氨氮浓度明显降低,氨氮去除率达到80%以上,两个好氧池出水的硝酸盐氮浓度急速上升,恶化的污泥也逐渐恢复原样,沉降性能良好。但此时出水的亚硝酸盐氮浓度呈下降的趋势,亚硝化率不足20%。在第3阶段降低曝气量后,好氧2池中氨氮去除率有所降低,但亚硝酸盐氮浓度升高,为5~8 mg/L,亚硝化率可达50%以上,说明反应器短程硝化启动成功。由于AOB的氧饱和常数一般为0.2~0.4 mg/L,而NOB的氧饱和常数为1.2~1.5 mg/L,也就是说AOB对氧的亲合力与耗氧速率均低于NOB^[3,5]。因此在好氧2池中AOB为优势菌种,亚硝酸盐氮的积累速率大于硝酸盐氮的积累速率。同时由于本工艺采取了分段进水方式,好氧2池氨氮负荷高,所以高溶解性有利于去除氨氮,也能促进亚硝酸盐氮的积累。

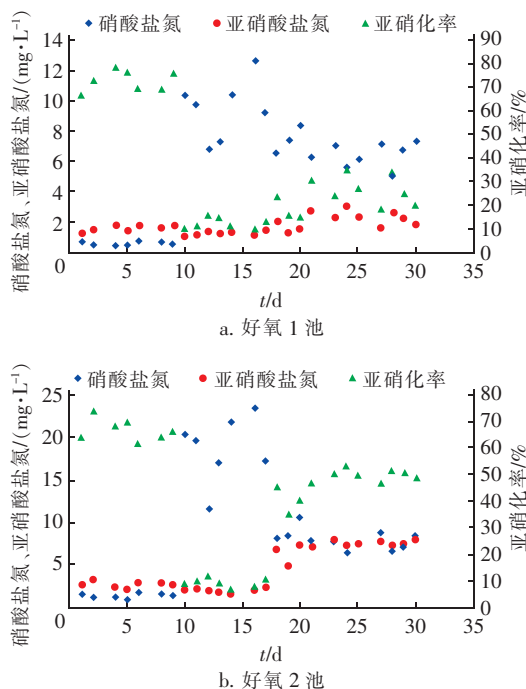


图2 启动期好氧1池和好氧2池中硝酸盐氮和亚硝酸盐氮的变化

Fig. 2 Change of nitrate and nitrite in aerobic unit 1 and 2 during start-up period

2.3 对COD的去除

启动期对COD的去除情况表明,虽然3个阶段的曝气量差别很大,但是COD去除率均较高。第1、2、3阶段对COD的平均去除率分别为64.87%、

78.24%和75.46%,出水COD平均为50.95 mg/L。可以看出,DO浓度对COD的去除影响不太大,监测发现厌氧池的出水COD平均浓度就已经低于100 mg/L,去除率达到了50%左右,说明系统中分解COD的微生物主要是聚磷菌。

2.4 对氨氮的去除

图3为启动期氨氮的变化情况。可以看出,DO对氨氮的去除率影响很大,DO浓度越高,对氨氮的去除率也越高。在第1阶段,由于DO浓度在0.5 mg/L以下,导致硝化细菌活性不足,增殖较慢,所以氨氮浓度在好氧1池和好氧2池中几乎没有降解,只是在反应器末端的快速曝气池(DO为2 mg/L)发生硝化反应,所以整体氨氮去除率低于50%,平均值仅为45.95%。在第2阶段,好氧1池和好氧2池的曝气量调整为3 mg/L左右,对应的氨氮去除率升高至80%以上,平均值为86.24%,出水氨氮平均浓度为6.9 mg/L,达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准。在第3阶段,降低好氧1池和好氧2池的曝气量,且好氧1池DO浓度高于好氧2池,此时氨氮去除率较高,平均值为79.7%。由于好氧1池氨氮负荷较高,池内保持相对较高的DO浓度是十分有利的。同时好氧2池可以发生短程硝化反应,氨氮去除率也较高。

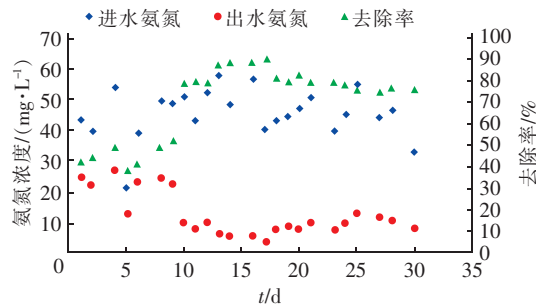


图3 启动期氨氮的变化情况

Fig. 3 Change of ammonia nitrogen during start-up period

2.5 对TN的去除

图4为启动期TN的变化情况。进水TN浓度为30~65 mg/L,波动较大。为了去除多余的氮,本工艺在末端增加了快速曝气池。快速曝气池的DO浓度为2 mg/L。在第1阶段,由于好氧1池和好氧2池的DO浓度均很低,所以TN的去除主要依靠快速曝气池的硝化作用,总氮去除率在40%以上。在第2阶段,由于好氧1池和好氧2池的曝气量均提高至3 mg/L左右,对TN的去除率也快速上升,均

值达到80%以上。在第3阶段,虽然好氧1池和好氧2池的曝气量均减小,但系统对TN的去除率并未大幅降低。说明在低氧条件下,AOB是优势菌种,部分氨氮被转化为亚硝酸盐氮。

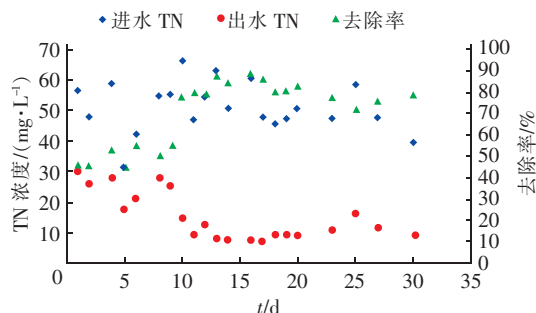


图4 启动期TN的变化情况

Fig. 4 Change of TN during start-up period

2.6 对磷酸盐的去除情况

图5为启动期磷酸盐的变化情况。可以看出,进水磷酸盐浓度波动较大,在1~6.5 mg/L之间。本试验中,除磷包括两部分,一是厌氧/好氧条件下的传统除磷,二是厌氧/缺氧条件下的反硝化除磷。在第1阶段,磷酸盐去除率很低,平均值仅为50%左右,主要原因可能是好氧1池和好氧2池的曝气量太低,导致传统除磷和反硝化除磷的电子受体(氧气、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$)不够,聚磷菌吸磷动力不足。在启动期的第2阶段,好氧池的曝气量充足,此时系统主要是在好氧池完成除磷,且除磷效果明显优于第1阶段,平均去除率达到80.91%,出水磷酸盐浓度符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准。在第3阶段,好氧池DO浓度下降,在好氧池发生了亚硝化反应,此时的除磷过程包括好氧池的传统除磷和缺氧池的反硝化除磷,磷酸盐整体去除率为71.69%,略差于第2阶段。

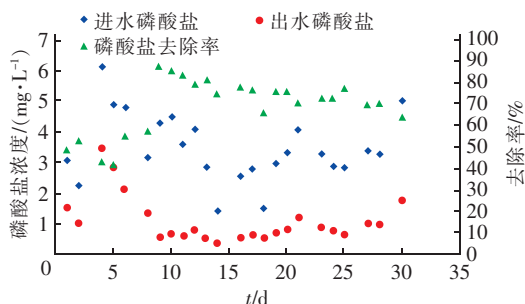


图5 启动期磷酸盐的变化情况

Fig. 5 Change of orthophosphate during start-up period

图6为启动期好氧池和缺氧池的除磷情况。可以看出,在启动期的第1阶段,磷酸盐去除率不高,好氧1、2池和缺氧1、2池的除磷情况都很糟糕,且各池除磷效率相当,说明系统中存在着反硝化聚磷作用。在第2阶段,好氧池DO浓度突然升高,硝化效率相应提高,但由于聚磷菌以氧气为电子受体的除磷速率优于以硝酸盐氮和亚硝酸盐氮为电子受体的除磷速率,所以在此过程中厌氧/好氧除磷量占总除磷量的90%以上。在第3阶段,由于出现了短程硝化,缺氧段积累了一定量的硝酸盐氮和亚硝酸盐氮,此阶段由于好氧池的溶解氧下降幅度较大,所以反硝化除磷逐渐占据优势,缺氧池的除磷量占总除磷量的60%以上,其中缺氧1池占总除磷量的50%。因此第3阶段,当好氧1池DO浓度为1.5~2 mg/L,好氧2池溶解氧浓度为0.5~1 mg/L时,系统以反硝化除磷为主。

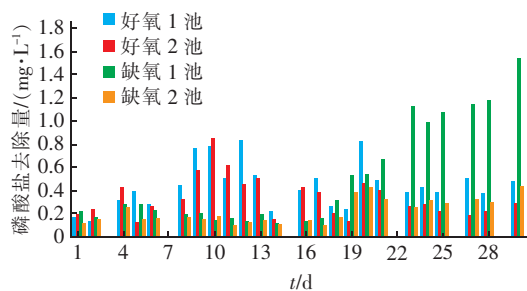


图6 启动期好氧池和缺氧池的除磷情况

Fig. 6 Orthophosphate removal of aerobic and anoxic units during start-up period

3 结论

① 调节进水pH值在8.5以上,控制好氧1池DO浓度为1.5~2 mg/L,好氧2池DO浓度为0.5~1 mg/L,可以成功启动反应器并实现短程硝化反硝化,且平均出水COD、TN、磷酸盐浓度分别为50.95、9.55、0.79 mg/L,达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准。

② DO浓度对COD的去除影响不大,去除过程主要发生在厌氧阶段。

③ 当好氧1池DO浓度为1.5~2 mg/L、好氧2池DO浓度为0.5~1 mg/L时,系统以反硝化除磷为主。

参考文献:

- [1] 秦伯强,许海,董百丽. 富营养化湖泊治理的理论与实

(下转第119页)