

高氮豆制品废水的短程硝化反硝化脱氮技术及其过程控制

高大文^{1,2} 彭永臻^{1,3} 王庆¹ 王淑莹³ 王鹏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. 东北林业大学森林资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;

3. 北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100022)

摘要:采用交替好氧/缺氧运行方式和适时过程控制策略开发了一种生物脱氮新工艺,该工艺结合了短程硝化反硝化脱氮技术。试验过程中选择了 3 种不同运行模式去实现短程硝化反硝化脱氮技术,即传统的序批式活性污泥法(SBR)运行模式、固定时间控制交替好氧/缺氧运行模式和适时过程控制交替好氧/缺氧运行模式。结果显示,适时过程控制交替好氧/缺氧运行模式效果最佳,它不但能提高硝化、反硝化速率和减少总反应时间,而且可以节省硝化过程中碱度的投加和反硝化过程碳源的投加量,降低了运行成本。

关键词:序批式活性污泥法(SBR);过程控制;短程硝化与反硝化;豆制品废水

中图分类号:X799

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2003)06-0028-04

Nitrogen removal from soybean waste water by shortcut nitrification-denitrification and its process control

GAO Da-wen^{1,2}, PENG Yong-zhen^{1,3}, WANG Qing¹, WANG Shu-ying³, WANG Peng¹

(1. School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;

2. College of Forest Resources and Environment, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

3. School of Environmental and Energy Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

Abstract: An innovative technology for nutrient removal from soybean wastewater was developed by using alternating oxic/anoxic operation and the real-time process control, and it was combined with shortcut nitrification-denitrification. The shortcut nitrification-denitrification was performed in three kinds of operation modes: shortcut nitrification-denitrification by traditional sequencing batch reactor (SBR) operation, shortcut nitrification-denitrification by alternating oxic/anoxic operation under the fixed-time control and shortcut nitrification-denitrification by alternating oxic/anoxic operation under the online fuzzy control. Results show that the shortcut nitrification-denitrification by alternating oxic/anoxic operation under the online process control is the best. It not only can improve both nitrification and denitrification rates and decrease the total reaction time, save the carbon source and alkalinity, but also can shorten the reaction time and save the operation cost.

Key words: sequencing batch reactor (SBR); process control; shortcut nitrification-denitrification; soybean wastewater

随着地表水体“富营养化”现象的日益加剧,越来越多的国家包括中国相继在废水排放标准中对氮、磷的浓度进行了限制。而国内很多豆制品加工厂的规模较小,基本上以作坊式生产为主,分布广,给收集和处理这类废水带来困难。这种废水的含氮

量较高,用传统活性污泥法很难处理。生物硝化反硝化脱氮工艺已经在废水脱氮处理中得到了广泛应用。长期以来一直认为要实现废水生物脱氮就必须经过全程硝化反硝化脱氮^[1],而其最突出的问题是一次性投资较大和运行成本较高。

收稿日期:2003-03-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50138010)和黑龙江省自然科学基金资助项目(E0230)

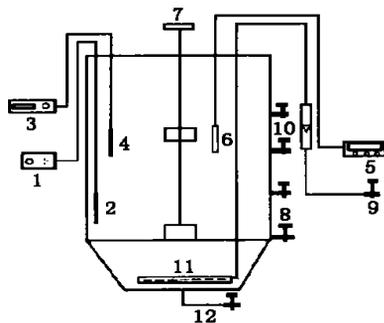
作者简介:高大文(1967-),男,博士生;彭永臻(1949-),男,博士,教授,博导,主要从事污水生物处理及其智能控制的研究,通讯联系人,0451-2291734。

近年来短程硝化反硝化生物脱氮技术成为研究热点^[2-7],笔者针对豆制品废水含氮量高的特点,探索适宜的短程硝化反硝化处理工艺条件,及其合适的适时过程控制策略。目前对于高含氮豆制品废水短程硝化反硝化的生物脱氮研究还未见报道。

1 试验材料与方法

试验用水采用某豆制品加工厂的实际废水,活性污泥的种泥取自哈尔滨工业大学市政环境工程学院水污染控制实验室排放的剩余污泥。为了便于试验研究,有时在原水中投加一定量自来水稀释配成所需的进水浓度,或投加一定量碳酸氢钠补充废水中碱度的不足。使进水 COD 和氨氮浓度分别维持在 350~400 mg/L 和 55~57 mg/L,此时总氮为 90 mg/L 左右,游离氨质量浓度小于 2 mg/L,pH 值为 7.5 左右,活性污泥浓度 (MLSS) 控制在 3.5 g/L 左右。

试验用序批式生物反应 (SBR) 反应器由有机玻璃制成,上部为圆柱形,底部呈圆锥体,高 700 mm,直径 300 mm,总有效容积 38 L,如图 1 所示。采用恒定的鼓风曝气量 0.6 m³/h,恒温器控制水温在 (28 ±1) 。用 pH 计 (哈纳 pH 211 型) 和具有 Ag/AgCl 复合电极的氧化还原电位 (ORP) 仪分别在线检测反应过程中的 pH 值和 ORP 值,并根据反应过程中 pH 值和 ORP 值的变化每隔一定时间检测 COD、NH₃-N、NO₂-N、NO₃-N、MLSS 和碱度等指标。文中给出的试验结果都是经过几个运行周期试验得出重现性很好的试验数据,试验中所采用的分析方法均按照国家环境保护局发布的标准方法^[8]。



1—温度控制仪;2—温度传感器;3—pH 测定仪;4—pH 传感器;
5—ORP 测定仪;6—ORP 传感器;7—搅拌器;8—取样口;
9—压缩空气;10—转子流量计;11—曝气器;12—排泥管

图 1 SBR 试验系统与控制示意图

2 结果与分析

为了优选运行方式,采用 3 种运行方式处理废

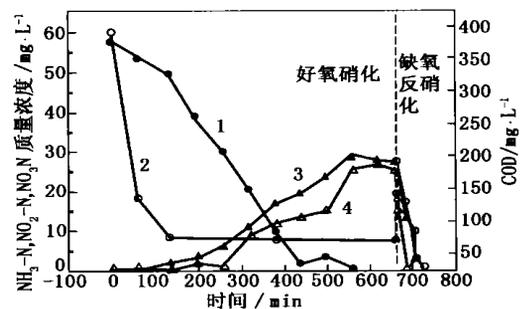
水,一是传统 SBR 短程硝化反硝化;二是预先设定好氧/缺氧时间交替实现短程硝化反硝化;三是用 ORP 和 pH 值在线过程控制好氧/缺氧时间交替实现短程硝化反硝化。3 种方式采用同样的反应器,其运行工况如表 1 所示。

表 1 3 种脱氮工艺的运行工况

| 运行方式 | 运行工况 |
|-----------------|--|
| SBR 传统运行方式 | 短时进水 曝气 11 h 搅拌 1 h 沉淀 0.5 h 排水 0.5 h |
| 设定好氧/缺氧交替时间 | 短时进水 曝气 4 h 搅拌 0.5 h 曝气 3.5 h 搅拌 1 h 沉淀 0.5 h 排水 0.5 h |
| 在线过程控制好氧/缺氧交替时间 | 短时进水 根据 ORP 和 pH 值的变化在线过程控制交替好氧/缺氧所需要的时间 |

2.1 传统 SBR 运行方式

传统 SBR 运行方式对高含氮豆制品废水进行脱氮处理时,反应过程中的 COD、NH₃-N、NO₂-N 和 NO₃-N 随时间的变化如图 2。反应开始的前 1 h 硝化反应并没有发生,此阶段主要是异养微生物降解有机物与同化作用吸收氮;随着曝气的进行,硝化作用开始,且亚硝酸盐氮与硝态氮的比值一直在 50% 以上,属于短程硝化,直到硝化结束时,亚硝酸盐氮与硝酸盐氮的比值基本没有变化。反硝化开始时,COD 浓度的增大是由于投加原水补充反硝化碳源造成的。投加原水作为碳源的反硝化只需要 60 min 即可完成,总的反应时间为 720 min 左右。然而,当反应进行到 550 min 时,硝化反应已经结束,此时 NH₃-N 浓度接近零,NO₂-N 和 NO₃-N 浓度达到最大值。因此可以认为大约 110 min 的时间被浪费。所以过度曝气不仅浪费能源,而且影响活性污泥的活性和种群的变化,必须研究适时过程控制策略,合理安排曝气和搅拌时间来控制短程硝化反硝化脱氮过程。



1—NH₃-N;2—COD;3—NO₂-N;4—NO₃-N

图 2 传统 SBR 法运行方式下的脱氮过程

2.2 预先设定好氧/缺氧交替运行时间

根据前面的试验结果,按表 1 设定的好氧/缺氧交替时间进行试验,结果如图 3。整个短程硝化反硝化脱氮过程分为 2 个阶段,每个阶段又相当于一个传统 SBR 法。

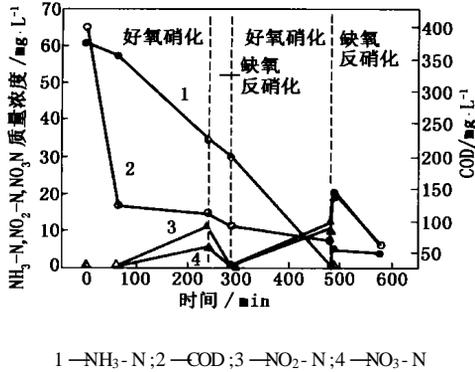


图 3 固定时间控制交替好氧/缺氧运行方式下的脱氮过程

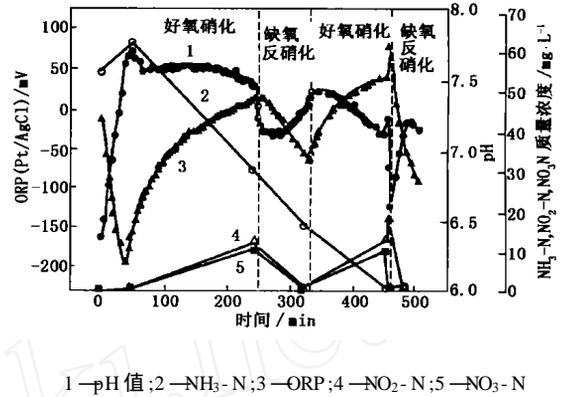
第一次搅拌时, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 都有减少,使后续的曝气时间缩短,而第一次搅拌产生的碱度也可以为第二次硝化反应利用,由于碱度的增加,使得第二阶段的硝化速率大大提高,缩短了反应时间,节省了反应时间和碱度投加。但该工艺也存在一些缺点,即难于掌握曝气和搅拌时间的合理分配,容易导致反应时间延长,或者反应时间不足造成硝化反硝化的不完全,影响最终出水质量。

2.3 在线过程控制好氧/缺氧交替运行时间

为解决其运行方式的问题,提出采用适时过程控制策略实现交替短程硝化反硝化,控制参数选择 ORP 和 pH 值,选择理由见前期工作^[9-10]。通过在线检测 ORP 和 pH 值把握短程硝化反硝化的进程,用过程控制的方法实时调节曝气和搅拌时间,经过十几个周期的运行,获得了稳定的处理效果,结果如图 4。

在交替好氧/缺氧短程硝化反硝化过程中,ORP 在第一次曝气阶段首先出现下降趋势,而后快速升高。ORP 下降指示着微生物对有机物和氨氮的吸附和利用,ORP 上升则表明反应体系开始出现硝化反应;pH 值在第一次曝气阶段首先出现快速上升趋势,而后缓慢下降,其上升最高点与 ORP 下降最低点吻合很好,因此该点可以作为交替好氧/缺氧短程硝化反硝化第一次曝气阶段的变化点。同样,在两次搅拌阶段 pH 值由升高转为下降,指示着反硝化的结束。在第二次曝气阶段,当 ORP 出现平台和

pH 值由下降转为上升时,这一点指示着硝化反应的结束。因而可根据 ORP 和 pH 值的变化,合理地控制好氧/缺氧的交替时间,该运行方式在达到同样处理效果的前提下,总反应时间仅为 460 min。



1—pH 值; 2— $\text{NH}_3\text{-N}$; 3—ORP; 4— $\text{NO}_2\text{-N}$; 5— $\text{NO}_3\text{-N}$

图 4 适时过程控制交替好氧/缺氧运行方式下的脱氮过程

2.4 3 种运行方式的比较

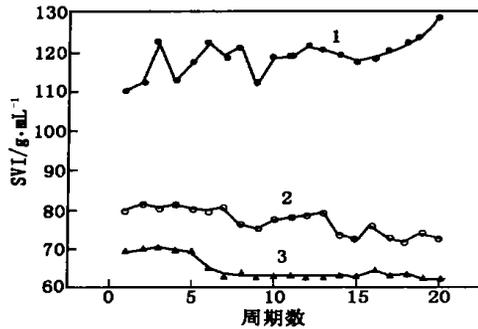
为了准确评价 3 种运行方式,分别计算了这 3 种运行方式下的硝化时间和硝化速率以及反硝化时间和反硝化速率,结果见表 2。比较结果显示,采用适时过程控制实现的交替好氧/缺氧短程硝化反硝化工艺效果最佳。它的硝化速率是传统 SBR 运行方式的 1.29 倍,是固定时间控制交替好氧/缺氧时间的 1.23 倍,但它的反硝化时间偏高,可能是由于投加反硝化碳源偏低所致。另外,它的硝化时间也最短,分别比传统 SBR 运行方式和固定时间控制交替好氧/缺氧运行方式缩短 190 min 和 60 min。综上所述,采用 ORP 和 pH 值作为过程控制参数控制交替好氧/缺氧短程硝化反硝化脱氮工艺是可行的。这项新技术不但能提高硝化速率,缩短反应时间,而且能够降低运行成本和工程投资。

表 2 3 种工艺硝化和反硝化过程比较

| 工艺 | 硝化过程 | | 反硝化过程 | |
|---------------|---|--------------|--|---------------|
| | 硝化速率/ $\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$ | 硝化时间/ min | 反硝化速率/ $\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$ | 反硝化时 间/min |
| SBR 传统工艺 | 0.0268 | 560 | 0.2457 | 60 |
| 时间控制交替短程硝化反硝化 | 0.0282 | 435 | 0.2432 | 50 |
| 适时控制交替短程硝化反硝化 | 0.0346 | 370 | 0.1419 | 90 |

注:硝化速率或反硝化速率指每分钟每克活性污泥硝化或反硝化 $\text{NO}_x\text{-N}$ 的毫克数。

当采用活性污泥法处理废水时,污泥的沉降性能对于污水处理厂能否正常运行起着至关重要的作用。然而活性污泥的性质又随系统中菌胶团和丝状菌的竞争增长而改变。低有机负荷容易诱发污泥膨胀^[11],而过度曝气间接使反应体系在低有机负荷下运行,因此在长时间过度曝气情况下,活性污泥的沉降性能必然受到影响。



1—传统 SBR; 2—固定时间控制交替好氧/缺氧
3—适时过程控制交替好氧/缺氧

图 5 不同运行模式对污泥沉降性能的影响

针对这一问题,开展了以上 3 种运行方式下的污泥沉降性能研究。结果显示,由 ORP 和 pH 值控制的交替好氧/缺氧短程硝化反硝化脱氮工艺的污泥沉降性能最好,整个试验过程中污泥指数(SVI)值均在 70 g/mL 以下,并且随着运行周期数的增加,SVI 值有下降趋势;而采用传统 SBR 运行方式下的污泥沉降性能最差,SVI 值均在 110 g/mL 以上,并且随着运行周期的增加,SVI 值有增大的趋势(见图 5)。分析 SVI 值增大的原因,主要是因为硝化过程中为避免硝化不完全,每次曝气时间都超过实际反应所需的供氧时间。采用固定时间控制交替好氧/

缺氧的运行方式介于二者之间。

3 结论

所采用的 3 种运行方式都实现了短程硝化反硝化,而且最终的脱氮效率很高,其中过程控制好氧/缺氧交替进行的短程硝化反硝化运行方式最好。采用以 ORP 和 pH 值作为在线过程控制参数的好氧/缺氧交替运行方式的参数,把握短程硝化反硝化的进程。这种在线过程控制好氧/缺氧交替运行方式不仅适用于高含氮豆制品废水的处理,还可在其他高含氮废水处理中推广应用。

参考文献

- [1] 袁林江,彭党聪,王志盈. [J]. 中国给水排水, 2000, 16(2): 29 - 31.
- [2] Surmacz-Gorska J, Cichon A, Miksch K. [J]. Wat Sci Tech, 1997, 36(10): 73 - 78.
- [3] Hellinga C, Schellen A A J C, Mulder J W, et al. [J]. Wat Sci Tech, 1998, 37(9): 135 - 142.
- [4] Mulder J W, van Loosdrecht M C M, Hellinga C, et al. [J]. Wat Sci Tech, 2001, 43(11): 127 - 134.
- [5] van Kempen R, Mulder J W, Uijterlinde C A, et al. [J]. Wat Sci Tech, 2001, 44(1): 145 - 152.
- [6] van Dongen U, Jetten M S M, van Loosdrecht M C M. [J]. Wat Sci Tech, 2001, 44(1): 153 - 160.
- [7] 方士, 李筱焕. [J]. 环境科学学报, 2001, 21(1): 79 - 83.
- [8] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [9] 高大文, 彭永臻, 郑庆柱. [J]. 中国给水排水, 2002, 18(11): 13 - 18.
- [10] 高大文, 王淑莹, 彭永臻, 等. [J]. 环境科学, 2003, 24(1): 63 - 69.
- [11] 王淑莹, 高春娣, 彭永臻, 等. [J]. 环境科学学报, 2000, 20(2): 129 - 133.

浙江绿环建成全国废旧轮胎常温 精细胶粉设备生产和加工示范基地

日前,一家专业研究、开发、生产环保设备——废旧橡胶(轮胎)常温法精细胶粉成套生产线为主的浙江绿环橡胶粉体工程有限公司在浙江嵊州市宣告成立。该公司由浙江丰利粉碎设备有限公司、浙江天堂硅谷创业投资有限公司和嵊州市绿环机械制造有限公司联合投资创建而成。新创建的浙江绿环公司拥有的国家双高一优项目“常温法废旧轮胎精细胶粉成套生产线”主要是由丰利公司引进德国技术研发的“废旧轮胎前处理设备”和绿环公司自主开发的“XF型废旧橡胶常温法精细粉碎设备”相配套而成,开创了在常温条件下将废旧轮胎整胎工业化批量生产 60~200 目精细胶粉的先例;整条生产线具有设备配置合理、出胶率高、使用寿命长、动力消耗低、噪音低和自动化程度高等优点。(吴宏富)