

Carrousel 氧化沟内 DO 变化规律及其优化控制条件

刘艳臣¹,施汉昌^{1*},王志强¹,王 淦²,戴贤良²,王颖哲² (1.清华大学环境科学与工程系,环境模拟与污染控制国家重点实验室,北京 100084; 2.安徽国祯环保节能科技股份有限公司,安徽 合肥 230088)

摘要: 为了提高氧化沟单沟系统的脱氮能力,通过现场测试对 Carrousel 氧化沟单沟系统内部溶解氧(DO)的分布、传输特性进行了研究,通过中试试验对氧化沟适宜同步硝化反硝化过程发生的 DO 条件进行了研究.结果表明,沟内 DO 环境受曝气机的开启状态和进水负荷日动态变化的影响显著,DO 的分布和输移过程的推流特性有利于同步硝化反硝化过程的发生,沟内适宜同步硝化反硝化过程发生的好氧区域空间比例为 0.3~0.5,并随着水力停留时间缩短而逐渐增大.

关键词: Carrousel 氧化沟; 同步硝化反硝化(SND); 溶解氧(DO)

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2008)09-0843-04

Variation of dissolved oxygen and optimum control conditions in Carrousel oxidation ditch. LIU Yan-chen¹, SHI Han-chang^{1*}, WANG Zhi-qiang¹, WANG Gan², DAI Xian-liang², WANG Ying-zhe² (1.State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2.Guozhen Environmental Protection Company, Hefei 230088, China). *China Environmental Science*, 2008,28(9): 843~846

Abstract: To enhance the efficiency of removal of nitrogen, the distribution and process of transfer of dissolved oxygen was carried out in a real Carrousel oxidation ditch. The optimum condition of oxygen for the occurrence of simultaneous nitrification and denitrification (SND) was carried out in a pilot-scale oxidation ditch. The influence of the fluctuation of influent and control of aerators on the distribution of dissolved oxygen in the ditch was obvious. The characteristics of distribution and transfer of dissolved oxygen in the ditch were feasible for occurrence of SND. The proportion of the aerobic volume fraction changed from 0.3 to 0.5 corresponding to an optimal range for the removal of total nitrogen, the proportion increased with the decrease of hydraulic retention time.

Key words: Carrousel oxidation ditch; simultaneous nitrification and denitrification; dissolved oxygen

氧化沟工艺目前已经在世界范围内广泛应用,Carrousel 氧化沟是其中很重要的一种形式^[1].Carrousel 2000 和 Carrousel 3000 是最新发展的改进形式^[2],通过增建新的构筑单元和改变工艺形式强化不同单元运行条件,提高氧化沟脱氮除磷效果.在已有研究中,关于沟道内条件变化对运行效果影响的研究也不够深入,缺乏对影响因素的精确描述和控制方法的优化研究^[3-6].

溶解氧(DO)是控制氧化沟内脱氮效果的主要因素^[7-8].本研究主要针对氧化沟单沟系统同步硝化反硝化(SND)过程,分析沟内部 DO 变化特征,探讨 DO 对 SND 过程的影响机制,定量描述其控制参数的影响和变化,考察实现氧化沟单沟系统稳定高效脱氮过程最佳 DO 条件.

1 材料与方法

1.1 工艺概况

试验以某污水处理厂 Carrousel 氧化沟工艺(图 1)监测数据为基础^[7]进行研究.该厂采用大功率倒伞形表面曝气机曝气,处理生活污水和少量工业废水,日处理水量约 14 万 t(2 个系列),单沟有效容积约 1.2 万 m³(表 1).以氧化沟中试系统为对象,研究 SND 过程中 DO 最佳控制条件,中试系统为典型 4 廊道 Carrousel 氧化沟工艺形式,中试系统与生产性氧化沟相比可获得稳定的进水条件.表 2 为氧化沟运行情况及中试的进水水质条件.

收稿日期: 2008-03-05

基金项目: 国家“863”项目(2004AA601060)

* 责任作者, 教授, hanchang@mail.tsinghua.edu.cn

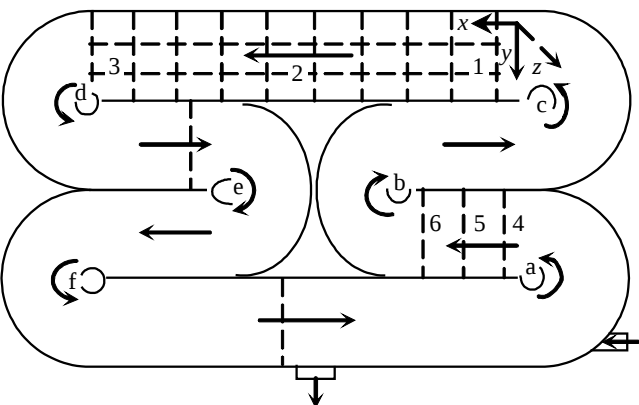


图 1 氧化沟内测点分布

Fig.1 Distribution of the test position

1~6 为测点截面编号;a~f 为曝气机编号;x,y,z 为坐标轴方向

表 1 氧化沟工艺参数

Table 1 Technical parameters of oxidation ditch

项目	单沟长(m)	单沟宽(m)	有效水深(m)
实际氧化沟	89.6	7.4	3.9
中试氧化沟	15.0	1.9	1.1

表 2 氧化沟运行效果(日平均情况)

Table 2 Effects of operation of oxidation ditch

项目	COD (mg/L)	SS (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	TP (mg/L)
进水	276	98	19.6	6.5	1.9
出水	40	15	15.4	7.3	0.7

1.2 监测设备和方法

为了能够更加清晰地反映氧化沟内 DO 环境的变化,将沟内分为一系列等效体积单元,每个单元视为一个完全混合式反应器,单元内的有机物浓度、DO 浓度、污泥浓度以及流速均相同.以氧化沟长沟段为例,沿纵向分为 10 个等距离小段,横向和深度方向也分别等距离分割为 3 部分,则将整个直沟段分为 90 个体积相等的完全混合的反应单元(图 1 虚线所示).先对图 1 所示编号 1~6 截面的单元体进行监测,编号间的单元体 DO 浓度再通过差分计算获得.试验测定了 2 种工况条件沟内 DO 分布,工况 1 开启 3 台曝气机(编号 a,c,e),工况 2 开启 5 台曝气机(f 未开).

为了分析 DO 在氧化沟内的输移过程,试验测定了长沟和短沟 3 个不同截面位置的氧传质系数(K_La)和耗氧速率(OUR).氧化沟持续进水,进

水水质保持稳定.首先降低所有曝气机转速,使其只具有推流作用,待沟内 DO 降低到接近零之后,再提高待测沟段上游曝气机转速.在这个过程中测定对应位置在曝气机转速调低后的 DO 下降速率及曝气机转速调高后的 DO 上升速率.测定后对测定数据进行滤波处理,去除影响因素干扰,再利用式(1)拟和求得不同位置 OUR 及 K_La .

$$\frac{d[DO(t)]}{dt} = K_La[DO_s - DO(t)] - OUR \quad (1)$$

式中:DO 为反应器内混合液的 DO 浓度,mg/L; K_La 为不同截面位置的氧传质系数,min⁻¹;DO_s 为饱和 DO 浓度,mg/L;OUR 为活性污泥呼吸速率,mg/(L·min);t 为时间.

每个位置均测定 2 次并取平行结果,试验期间的水温约 20℃,采用金泉公司提供的 YSI-58 型溶氧仪对 DO 进行测定.

2 结果与讨论

2.1 氧化沟内 DO 的分布

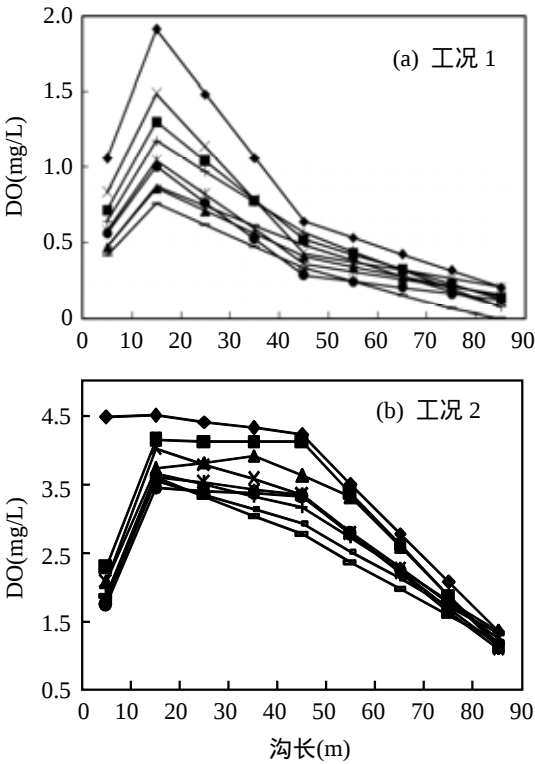


图 2 沿沟长方向不同位置单元体 DO 变化

Fig.2 Change of dissolved oxygen in different units

- ◆— y=1.205, z=0.5 —▲— y=1.205, z=3.19 —✱— y=4.215, z=1.95
- +— y=5.825, z=0.5 —■— y=5.825, z=3.19 —■— y=1.205, z=1.95
- ×— y=4.215, z=0.5 —●— y=4.215, z=3.19 —■— y=5.825, z=1.95

以氧化沟长沟段为例,2 种不同工况条件下长沟段各单元体 DO 浓度的变化如图 2 所示.结果表明,氧化沟内 DO 沿沟长方向变化显著,沿沟宽、沟深方向变化不大.曝气机的开启情况对氧化沟内的 DO 影响很大,工况 1 条件下,氧化沟好氧区和缺氧区交替分布,而工况 2 条件下,氧化沟几乎处于完全好氧状态.絮体条件下,SND 过程在 $DO<0.8\text{mg/L}$ 时才能发生^[9-10],所以需要根据实际运行条件调控曝气机开启状态,保证氧化沟内形成较好的好氧、缺氧交替环境,促进 SND 过程发生,提高氧化沟脱氮效果.

2.2 氧化沟内 DO 的传输过程

试验分别测定了长沟段 3 个位置(图 1,编号 1,2,3)和短沟段 3 个位置(图 1,编号 4,5,6)的 K_La 和 OUR.由表 3 可见,随着测定位置与对应沟段上游曝气机距离的增大, K_La 和 OUR 均略有降低,短沟段的 K_La 和 OUR 均高于长沟段.OUR 变化主要源于曝气机上游的有机物浓度和 DO 浓度均高于下游位置,短沟段的 DO 浓度及有机物浓度也高于长沟段.而传质系数的变化则主要是不同位置的沟内扰动程度、DO 气含率等因素共同作用的结果.试验结果充分体现了氧化沟内的 DO 输移扩散和有机物降解传输过程的推流特性. K_La 和 OUR 在空间上的差异,也为氧化沟 SND 过程的进行创造了比较好的条件.有研究表明^[11],在硝化作用完成时,水体环境的 DO 为 0.4mg/L 才可完全穿透絮体(粒径 $50\sim100\mu\text{m}$).在氧化沟低氧段,相对较低的 K_La 和较高的 OUR,为絮体的缺氧微环境创造了较好的条件,进一步促进絮体微环境中的 SND 过程发生.

表 3 氧化沟不同位置的 K_La 和 OUR

Table 3 K_La and OUR at the different location of oxidation ditch

项目	长沟段位点			短沟段位点		
	1	2	3	4	5	6
$K_La\ (\text{min}^{-1})$	0.15	0.12	0.11	0.20	0.17	0.18
OUR[g/(L·min)]	0.91	0.71	0.70	1.44	1.30	1.26

2.3 DO 环境稳定性

污水处理厂的进水量和水质在 1d 内均会呈

现出一定的波动,氧化沟内 DO 环境受进水水质波动的影响十分显著^[7].图 3 为实际氧化沟不同时刻沟道内不同 DO 浓度体积比例的变化情况,进水负荷高的时段,DO 偏低区域过大,完全缺氧的时间约持续 5~6h,硝化条件不足;而进水负荷低的时段,DO 偏高区域过大,完全好氧的时间约持续 7~8h,反硝化条件不足,氧化沟内不能够形成持续稳定的交替好氧缺氧环境条件.所以,运行过程中需要综合考虑不同时间段内的运行负荷、曝气条件、反应过程等多方面因素,对系统运行条件进行综合调控,确保氧化沟内形成稳定的交替好氧、缺氧环境.

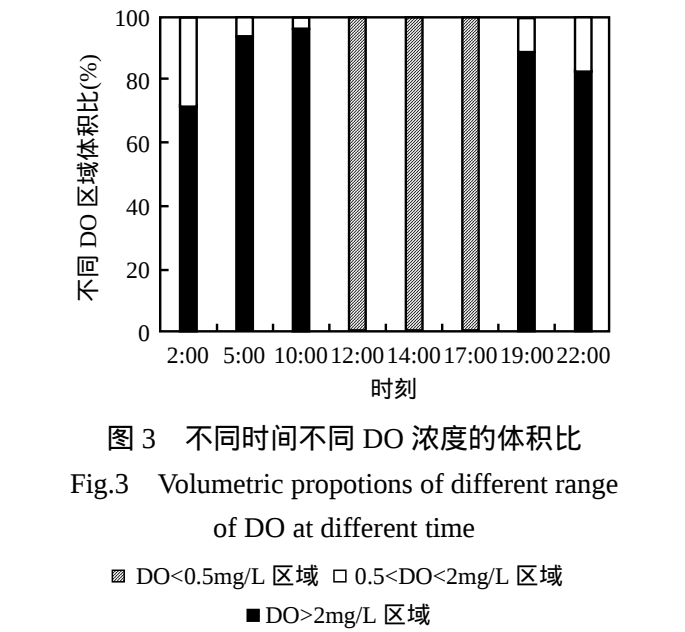


图 3 不同时间不同 DO 浓度的体积比

Fig.3 Volumetric propotions of different range of DO at different time

2.4 DO 优化控制条件

在稳定的试验水质条件下,DO 浓度过低,硝化效果较差;DO 浓度过高,硝化效果变好,但反硝化效果会受到抑制,总氮的去除率也不高.通过氧化沟中试试验,研究实现稳定单沟 SND 过程的最佳 DO 条件,研究不同水力停留时间(HRT)最利于 SND 过程实现的好氧、缺氧空间比例.试验结果如图 4 所示,试验期间的 DO 控制在能够保证硝化效果的最低水平,最佳运行条件下出水的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 氨氮、总氮浓度均可达到《GB18918-2002》^[12]一级 B 标准(8mg/L 和 20mg/L)的要求.

由图 5 可见,在不同 HRT 时,实现 SND 过程的最佳好氧区域空间比例为 $0.3\sim0.5$,随着 HRT 的缩短,比例逐渐增大.

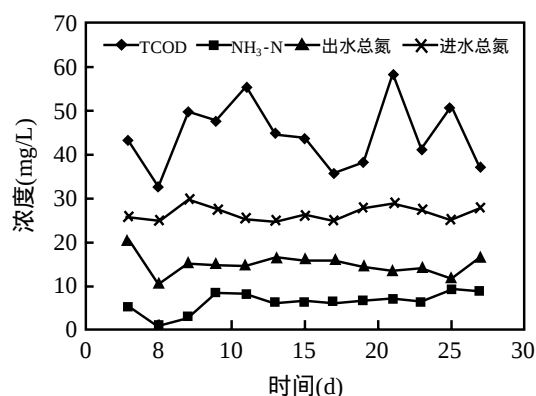


图 4 氧化沟中试运行效果

Fig.4 Effect of operation of pilot-scale oxidation ditch

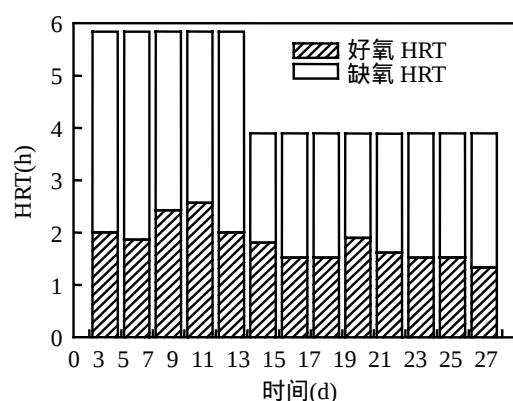


图 5 氧化沟单沟 SND 过程最佳好氧、缺氧空间比例

Fig.5 Optimal proportions of aerobic with anoxic volume for SND in a single channel of oxidation ditch

3 结论

3.1 氧化沟单沟系统 DO 分布和传输过程所体现的推流特征,有利于促进好氧、缺氧交替变化以及絮体缺氧环境条件下 SND 过程的发生;在满足硝化效果前提下,尽量减少曝气机开启数,更易于形成有利于 SND 过程发生的 DO 分布。

3.2 氧化沟进水条件的日变化严重影响沟道内交替好氧、缺氧环境的稳定性,需要实施针对进水变化的合理调控,才能实现稳定高效 SND 过程,氧化沟适宜 SND 过程发生的好氧区域空间比例为 0.3~0.5, HRT 越小,相应的比例越高。

参考文献：

[1] Koot A C J, Zeper J. Carrousel, a new type of aeration system with low organic load [J]. Water. Res., 1972,6:401-406.

[2] 陈学群,俞爱媚,吕 斌. Carrousel 氧化沟技术演变规律的探究 [J]. 给水排水, 2002,28(2):19-21.

[3] Rittman B E. Simultaneous denitrification with nitrification in single-channel oxidation ditches [J]. Wat. Pollut. Control Fed., 1985,57(4):300-308.

[4] HAO X, Hans J, Johan W. Conditions and mechanisms affecting simultaneous nitrification and denitrification in a pasveer oxidation ditch [J]. Bioresour. Technol., 1997,59: 207-215.

[5] GAO S, Peng Y, Dong W, et al. Pilot studies of factors influencing the simultaneous nitrification and denitrification in an oxidation ditch treating the domestic wastewater at low cost [C]// Future urban wastewater system-decentralisation and reuse. Xi'an: IWA conference, 2005: 18-20.

[6] 彭永臻,侯红勋,乔海兵,等.改良型 Carrousel 氧化沟工艺生物脱氮除磷效果研究 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2006,7(12): 42-45.

[7] 刘艳臣,范 茏,王志强,等.Carrousel 氧化沟内特性参数分布的研究 [J]. 中国环境科学, 2007,27(6):792-796.

[8] 王 晋,孙晓娟,傅飞云.同步硝化反硝化脱氮影响因素探讨 [J]. 江苏工业学院学报, 2003,15(3):24-26.

[9] Katie A T, Nataite B, Ralf C-R. Simulatneous nitrification and denitrification Using Stored Substrate (PHB) as the electron Donor in an SBR [J]. Biotechnol. Bioeng., 2003,83: 706-720.

[10] Klangduen P, Keller J. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification(SND) [J]. Wat. Sci. Tech., 1999, 39(6):61-68.

[11] Rikke L, Meyer R, Jianxiong Z, et al. Challenges for simultaneous nitrification and denitrification and phosphorus removal in microbial aggregates:mass transfer limitation and nitrous oxide production [J]. FEMS Microbiology Ecology, 2005,52(3):329-338.

[12] GB18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准 [S].

作者简介：刘艳臣(1980-),男,黑龙江兰西人,清华大学环境科学与工程系博士研究生,研究方向为水污染控制理论与技术.发表论文 5 篇。