

改良型 Carrousel 氧化沟工艺 生物脱氮除磷效果研究

彭永臻 侯红勋 乔海兵 王少坡

(北京工业大学北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100022)

摘要 为了提高改良型 Carrousel 氧化沟工艺污水处理厂的脱氮除磷效果, 结合某污水处理厂3年的运行实践, 讨论了该工艺的处理效果, 生物脱氮除磷原理及影响出水效果的因素。分析表明将 DO 控制在 0.3 ~ 0.7 mg/L 范围内, 能够使出水中的 TN 浓度低于 20 mg/L; 在氧化沟中发生的同步硝化反硝化反应(SND)对总氮的去除的贡献占总系统脱氮的 66%; 该系统剩余污泥的含磷率为 3.0%, 生物细胞中平均含磷量可达细胞干重的 4.2%; 总磷去除率与污泥龄具有很好的线性关系, 加大污泥排放量可以提高除磷效果。

关键词 Carrousel 氧化沟 生物脱氮 生物除磷

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1008-9241(2006)12-0042-04

Study on nitrogen and phosphorus removal effect by modified Carrousel oxidation ditch process

Peng Yongzhen Hou Hongxun Qiao Haibing Wang Shaopo

(Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering,
Beijing University of Technology, Beijing 100022)

Abstract In order to enhance the bio-nitrogen and phosphorus removal of the modified Carrousel oxidation ditch (OD) process, the treatment performance, the principle of bio-nitrogen and bio-phosphorus removal have been discussed, at the same time the influencing factors to the effluent quality have been analyzed from the operation practice for 3 years. Total nitrogen effluent was low than 20 mg/L if the dissolved oxygen could be controlled in the range of 0.3 ~ 0.7 mg/L in the oxidation ditch. Simultaneous nitrification and denitrification was found in the OD process. Generally the contribution to total nitrogen removal of SND was about 66%. The phosphorus content of the return activated sludge was 3.0%, and the average phosphorus content in the bio-cell was 4.2%. TP removal rate had a linear relation with SRT, the TP removal performance would be enhanced if the SRT can be decreased to some extent.

Key words Carrousel; oxidation ditch; biological nitrogen removal; biological phosphorus removal

氧化沟工艺是一种先进的生物处理技术, 具有较好的脱氮除磷效果。该工艺于 1954 年由荷兰的巴斯维尔(Pasveer)所开发的一种污水生物处理技术, 属于活性污泥的一种变种, 1964 年荷兰的 DHV 公司开发了卡罗赛(Carrousel)氧化沟^[1]。20 世纪 90 年代至今, 氧化沟又经历了几次改进, 使该工艺的生物脱氮除磷能力进一步增强。氧化沟工艺作为一种先进的污水生物处理技术, 在我国将具有广阔的推广应用前景^[1-3]。

结合北京某污水处理厂的运行实践, 对该水厂生物脱氮除磷进行分析研究。该污水处理厂的主体工艺为倒置的 A²/O 工艺, 其好氧段为 Carrousel 氧

化沟, 即缺氧-厌氧-氧化沟工艺。该工艺在 Carrousel 氧化沟前端增加了缺氧段和厌氧段。主体工艺示意图如图 1 所示。

该工艺不设初沉池和污泥消化池, 原水经格栅和沉砂池后与 30% 的回流污泥一起进入选择池, 70% 的回流污泥进入缺氧池, 混合液经厌氧池后流

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(20377003); 北京市属市管高等学校人才强教“创新团队”资助项目; 北京工业大学第三届研究生科技基金

收稿日期: 2005-07-29; 修订日期: 2005-11-08

作者简介: 彭永臻(1949~), 男, 博士, 博导, 主要研究方向: 污水脱氮除磷。E-mail: pyz@bjut.edu.cn

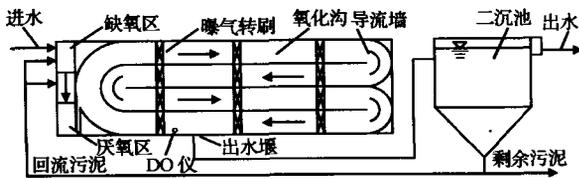


图 1 氧化沟工艺主体示意图

Fig. 1 Schematic diagram of oxidation ditch

入氧化沟,污水在氧化沟中平均经历 15 h 的停留后进入二沉池进行泥水分离。剩余污泥经浓缩后脱水外运。该污水处理厂进出水的水质如表 1 所示。

表 1 污水处理厂进出水水质
Table 1 Average concentrations in influent and effluent of the WWTP (mg/L)

指标	BOD	COD	SS	TN	NH ₄ ⁺ -N	TP
进水	225.7	452.2	254.4	57.7	40.8	8.1
出水	11.2	39	11.7	17.7	3.5	2

由表 1 可见,该污水处理厂出水水质良好,除 TP 外其余各项指标均能够达到城镇污水处理厂污染物排放标准一级排放标准(GB18918-2002)的 B 标准。

1 氧化沟生物脱氮

1.1 污水处理厂生物脱氮效果

该污水处理厂出水的 TN 和 NH₄⁺ 浓度分别为 17.7 mg/L 和 3.5 mg/L,去除率分别为 70% 和 91%,脱氮效果较好。

1.2 污水处理厂生物脱氮机理分析

该污水处理厂沿着氧化沟主体工艺系统水流方向氨氮、硝氮和总氮的浓度变化情况如图 2 所示。

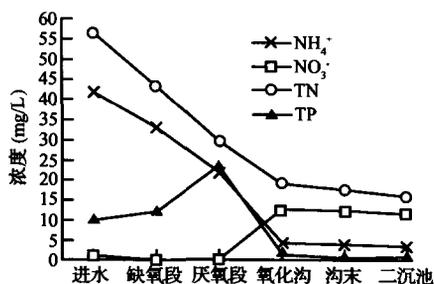
图 2 氧化沟系统 NH₄⁺, NO₃⁻, TN, TP 变化曲线

Fig. 2 Profile of NH₄⁺, NO₃⁻, TN, TP in oxidation ditch system

由图 2 可见:原水中的总氮主要为氨氮,在缺氧区和厌氧区,氨氮浓度主要由于回流污泥的稀释作用而降低,但总量没有明显变化;总氮浓度由于稀释作用和反硝化作用而降低,主要由于前置缺氧区的反硝化作用而使总氮的总量降低。

氧化沟中用转刷曝气器供氧并同时提供推流的动力,使沟内形成不同的溶氧梯度。混合液的溶解氧可由转刷后的 2 mg/L 减少 0.5 mg/L 以下,这样在氧化沟中形成了缺氧区,在氧化沟中可以实现同步硝化反硝化反应(SND)^[4-7]。在氧化沟中进行的反硝化不仅可以把氮去除,而且能够利用硝酸盐中的氧,从而满足一部分需氧量,减少氧的供给量,降低了能耗;还可以恢复在硝化过程中消耗的一部分碱度^[8]。

原水和回流污泥中携带的硝氮在缺氧池发生反硝化反应而去除,回流污泥中的 NO₃⁻ 平均为 11.6 mg/L,因此在缺氧池有 11.6Q (Q 为回流污泥流量,回流比为 100%) 的硝氮被还原;从厌氧区到氧化沟出水, TN 有大幅度的降低,共有 23Q (TN 降低了 11.5 mg/L,流量为 2Q) 的总氮损失,这部分总氮的减少为发生了 SND 反应而去除的氮。因此在该系统中,由于 SND 而使 TN 的损失占总的反硝化的 66%。

1.3 氧化沟生物脱氮主要影响因素分析

影响生物脱氮的因素主要有 C/N、DO、pH 值、温度等。该水厂的 BOD₅/TN 和 COD/TN 分别为 3.9 和 7.8,能够满足生物脱氮的需要。进水的 pH 为 7.4~7.8,出水的 pH 为 7.3~7.7,碱度能够满足硝化反应的需要。前置反硝化能够产生碱度,可以补偿硝化反应一半的碱度损失,在氧化沟中发生的 SND 反应消耗碱度较少,因此在整个系统中 pH 值除了在缺氧段稍稍升高外,在氧化沟中没有明显的变化。该水厂冬季水温仍在 13℃ 以上,夏季水温在 26℃ 以下,在该温度范围内硝化反应和反硝化反应能够顺利进行。

DO 是生物脱氮工艺中最重要的控制参数之一,对硝化反应和反硝化反应均有显著的影响。通常在反硝化过程 DO 通常控制在 0.5 mg/L 以下,在硝化过程 DO 通常控制在 2 mg/L 以上^[2]。该污水处理厂,前置的缺氧段 DO 往往在 0.1 mg/L 以下,能够使反硝化反应在缺氧区顺利进行。氧化沟中的 DO 是整个系统控制的重点。污水处理厂的实际运行主要是通过控制曝气转刷的启闭及转动速度来调

节氧化沟中的 DO 的浓度。在氧化沟中,沿水流方向在转刷前后,以及沿水深方向均具有一定的 DO 梯度,沿程 DO 梯度如图 3 所示。

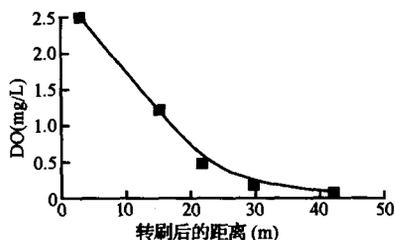


图3 曝气转刷后的 DO 梯度

Fig. 3 DO grades behind the aeration brush

沿水流方向, DO 在 2 转刷间由 2~3 mg/L 降低到 0.1~0.4 mg/L, 活性污泥由好氧状态转化为缺氧状态, 为 SND 反应提供优良的好氧及缺氧环境。氧化沟中存在着横向和纵向的 DO 梯度。实际运行中, 往往将溶解氧探头固定于出水堰前(转刷前)液面下 0.5 m 深的位置(本文的 DO 数据即为该位置的连续自动监测结果)。图 4 为该污水处理厂出水中 TN、 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 与 DO 的关系曲线和拟合曲线。

由图 4 中 NH_4^+ 玻耳兹曼拟合曲线可见, 随着溶解氧的升高, 氨氮浓度呈下降的趋势, 溶解氧浓度越高, 硝化反应进行越充分, 出水氨氮浓度也越低。溶解氧控制在 0.5 mg/L 以上, 可以保证出水氨氮达到一级标准。溶解氧的升高, 硝化作用增强, 同时反硝化作用会受到抑制, 在氧化沟中就会出现硝氮的积累, 在氧化沟中, 维持高浓度的溶解氧不利于反硝化反应的进行。由 TN 高斯拟合曲线可见 DO 由 0.3 mg/L 升高至 0.7 mg/L, TN 浓度由 25 mg/L 降低到 15 mg/L, 溶解氧超过 0.7 mg/L, TN 浓度持续升高。将出水堰前液面下 0.5 m 深的位置处的 DO 控制在

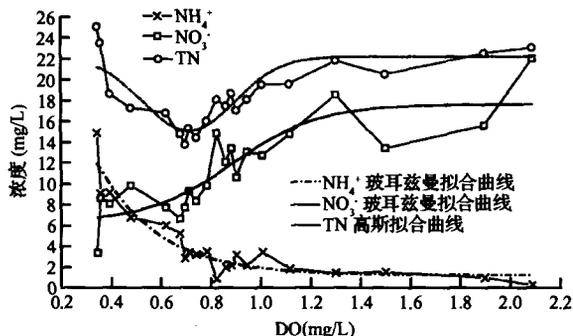


图4 出水中 NH_4^+ 、 NO_3^- 、TN 与 DO 的关系

Fig. 4 Relationship between DO and effluent NH_4^+ 、 NO_3^- 、TN

0.3~0.7 mg/L 范围内, 能够使出水 NH_4^+ -N 浓度在 5 mg/L 以下, 同时出水中的 TN 浓度最低。

2 氧化沟生物除磷

2.1 污水处理厂除磷效果

传统氧化沟工艺除磷效率约为 50%^[2]; 改进的 Carrousel 工艺在氧化沟前段增加了缺氧和厌氧段, 增强了氧化沟工艺除磷能力。该污水处理厂进水总磷平均浓度为 8.1 mg/L, 出水为 2.0 mg/L, 平均去除率达 75%。剩余污泥的含磷量为 3.0%, 生物细胞中平均含磷量可达细胞干重的 4.2%。该系统中磷的去除超过其合成细胞所需的磷, 因而表明该系统强化了生物除磷。该水厂长期排泥不畅, 污泥龄在 16~27 d, 平均 19.5 d, 超过设计值 16 d。若出水 TP 标准限制在 1.5 mg/L 时, 出水 TP 仅能保证 37% 的时间满足出水水质的要求。

2.2 总磷去除机理分析

生物除磷是利用聚磷菌经过好氧-厌氧过程的强化, 能够摄取在数量上远远超过其生理需要的磷, 并将磷以聚合的形态储藏在菌体内, 形成高磷污泥, 通过排放富磷剩余污泥将磷排出系统外, 达到从废水中除磷的目的。对于改良型 Carrousel 氧化沟工艺, 在厌氧段, 聚磷菌在厌氧条件下利用进水中的易降解有机物, 分解体内的 ATP, 释放 PO_4^{3-} 和能量, 所以在厌氧区出现总磷浓度升高的现象, 如图 2 所示; 在氧化沟内部, 由于转刷曝气, 沟内处于好氧状态, 聚磷菌通过主动输送的方式将污水中的 PO_4^{3-} 摄入体内, 摄入的 PO_4^{3-} 一部分用于合成 ATP, 另一部分则用于合成聚磷酸盐, 将溶液中的磷转移入污泥中, 在氧化沟的液相中总磷浓度远远低于进水。

2.3 氧化沟生物除磷主要影响因素分析

影响该污水处理厂生物除磷的因素有: DO、C/P、pH 值、水温和污泥龄等。该水厂的改良型氧化沟工艺为聚磷菌的生长提供了宏观厌氧-好氧环境有利于聚磷菌的释放磷和吸收磷。该水厂的 BOD/TP 为 28, 较高的碳磷比有利于生物除磷; pH 值在 7.4~7.8; 水温在 13~26 °C, 该环境下适宜于生物除磷。因该工艺优先考虑生物脱氮, 设计污泥龄为 16 d, 该水厂剩余污泥排放量较低, 较低的剩余污泥排放量限制了该水厂的除磷效率的提高。

生物除磷主要依靠创造一个适宜于聚磷菌生存的生态环境, 将磷由液相转移入固相中, 通过剩余污泥的排放将磷排出系统。该污水处理厂运行过程中

总磷的去除率与污泥龄的关系如图 5 所示。

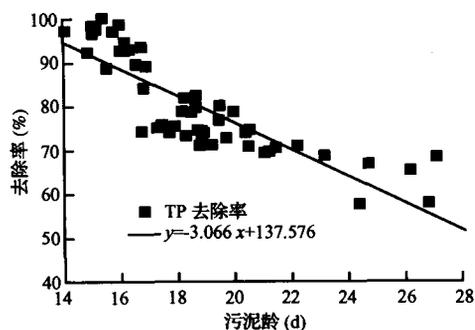


图 5 TP 去除率与污泥龄的关系

Fig. 5 Relation between TP removal rate and SRT

由图 5 可见,在一定范围内,总磷的去除率与污泥龄有着很好的相关性。因此在一定程度上排出更多的剩余污泥,降低污泥龄可以保证较好的除磷效果。

根据图 5 的曲线拟合公式,在设计污泥龄为 16 d 的情况下,按照设计的工况运行,总磷的去除率为 88.5%,有望使出水在 1 mg/L 以下。

3 结论

通过对某污水处理厂缺氧-厌氧-Carrousel 氧化沟工艺的实际运行实践进行分析研究,结果表明:

氧化沟中溶解氧浓度是该工艺生物脱氮的主要控制因素,将 DO 控制在 0.3 ~ 0.7 mg/L 范围内,能够使出水 NH_4^+ -N 浓度在 5 mg/L 以下,出水中的 TN 浓度最低,在 20 mg/L 以下。

在氧化沟中发生的 SND 反应对总氮的去除起

了关键作用,由于 SND 而使 TN 的损失占总的反硝化的 66%。

该工艺具有较好的生物除磷效果,前置的缺氧和厌氧段首先去除了回流污泥中带入的硝态氮,为厌氧段聚磷菌的释磷创造了良好的厌氧环境,聚磷菌能够过量地从外部环境摄取磷,形成高磷污泥,该系统剩余污泥的含磷量比较高,含磷率为 3%,生物细胞中平均含磷量可达干重的 4.2%。

总磷去除率与污泥龄具有很好的线性关系,加大污泥排放量可以提高除磷效果。

参考文献

- [1] 邓荣森. 氧化沟污水处理理论与技术. 北京: 化学工业出版社, 2006. 5 ~ 8
- [2] 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程(下). 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 132 ~ 136
- [3] 周少奇. 环境生物技术. 北京: 科学出版社, 2003. 15 ~ 23
- [4] Hao X., Joddema H., Van Groenestijn J. W. Use of contact tank to enhance denitrification in oxidation ditches. *Wat. Sci. Tech.*, 1996, 34(1 ~ 2): 195 ~ 202
- [5] Elisabeth V. Munch, et al. Simultaneous nitrification and denitrification in bench-scale sequencing batch reactor. *Wat. Res.*, 1996, 30(2): 935 ~ 941
- [6] Lee Hee-Ja, Bae Jae-Ho, Cho Kwang-Myeung. Simultaneous nitrification and denitrification in a mixed methanotrophic culture. *Biotechnology Letters*, 2001, 23(12): 935 ~ 941
- [7] Metcalf, Eddy. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (Fourth Edition). 北京: 清华大学出版社, 2003. 750 ~ 753
- [8] 周少奇, 范家明. 氧化沟同时硝化反硝化的生物脱氮机理. *环境科学与技术*, 2002, 25(6): 3 ~ 4