

改良型 Carrousel 氧化沟工艺生物脱氮优化研究

唐锋兵^{1,2}, 吴坤茹³, 达书峰⁴, 李思敏^{1,2}

(1. 河北工程大学 河北省水污染控制与水生态修复工程技术研究中心, 河北 邯郸 056038;
2. 河北工程大学 能源与环境工程学院, 河北 邯郸 056038; 3. 沈阳市市政工程设计研究院,
辽宁 沈阳 110015; 4. 邯郸市市政排水有限责任公司, 河北 邯郸 056001)

摘要: 为解决采用改良型 Carrousel 氧化沟工艺的某污水厂出水 TN 与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度高的问题,经现场试验对 SRT、HRT 和 DO 等工艺参数进行了优化调整。通过问题诊断,发现系统 SRT 过长、HRT 短及好氧区 DO 浓度低是导致脱氮效果差的直接原因;工艺优化结果表明,将系统的 SRT、HRT 和好氧区 DO 浓度分别控制在 18 d、16 h 和 2.5 ~ 3.0 mg/L 时系统的脱氮效果提升较大,此时出水 TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的平均浓度分别为 12.6 和 3.3 mg/L,去除率分别为 78% 和 91%,且出水 BOD_5 、COD 与 SS 等指标均达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。

关键词: 改良型 Carrousel 氧化沟; 生物脱氮; 污泥龄; 水力停留时间; 溶解氧

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)13-0091-05

Optimization of Biological Nitrogen Removal in Modified Carrousel Oxidation Ditch Process

TANG Feng-bing^{1,2}, WU Kun-ru³, DA Shu-feng⁴, LI Si-min^{1,2}

(1. Hebei Engineering Research Center for Water Pollution Control and Water Ecological Remediation, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 2. College of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China;
3. Shenyang Municipal Engineering Design and Research Institute, Shenyang 110015, China;
4. Handan Municipal Drainage Co. Ltd., Handan 056001, China)

Abstract: The parameters including SRT, HRT and DO concentration were optimized through scale experiments, to solve the high concentrations of TN and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ in the effluent of a modified Carrousel oxidation ditch process in a wastewater treatment plant. The diagnosis results indicated that long SRT, short HRT and low DO concentration were the direct causes of the poor denitrification. The process optimization results showed that the system achieved higher nitrogen removal efficiency when the SRT, HRT and DO concentration were controlled at 18 d, 16 h, and 2.5 ~ 3.0 mg/L, respectively. The average concentrations of TN and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ in the effluent were 12.6 mg/L and 3.3 mg/L, and the removal rates were 78% and 91%, respectively. Additionally, the effluent BOD_5 , COD and SS all met the first level A criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07203-003); 邯郸市科学技术研究与发展计划项目(1723209055); 河北工程大学青年学术骨干基金资助项目(201401)

通信作者: 李思敏 E-mail: chyeli@126.com

-2002)。

Key words: modified Carrousel oxidation ditch; biological nitrogen removal; SRT; HRT; DO

近年来,我国城镇污水处理厂在建设运行方面取得了较大成绩,但也存在如实际处理规模和水质与设计有差距,污水厂运行负荷低、能耗高、不同工艺运行能耗差异显著,污水回用率低等问题^[1~3]。根据国家《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)实施意见,要求敏感区域的城镇污水处理设施应于2017年底前全面达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A排放标准。因此,污水处理厂应对现有处理设施因地制宜地进行工艺改造及运行优化。

目前,A²/O及其变形工艺与氧化沟工艺在我国污水处理领域中占有较大市场。但改良型Carrousel氧化沟工艺的实际运行效果显示,其存在硝化效果不佳、脱氮效率不稳定等问题^[4]。笔者以某改良型Carrousel氧化沟工艺污水处理厂为研究对象,分析诊断该污水厂运行中脱氮效率低的原因,并对工艺参数进行优化调控,旨在为工艺运行提供技术支持。

1 目标污水厂概况

目标污水厂设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,研究期间的实际进水量为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。生物池分为3个系列,分别由厌氧选择池和改良型Carrousel氧化沟两部分构成,其中厌氧选择池沿水流方向分为5格,每格安装一台搅拌器;每组氧化沟分8个廊道,运行中根据曝气转碟的开启位置及数量不同而形成相应的缺氧和好氧区域,其中缺氧区4个廊道(①~④),安装8台曝气转碟和6台水下推进器;好氧区4个廊道(⑤~⑧),安装12台曝气转碟及6台水下推进器。进水与回流污泥一同进入厌氧选择池,在其前端进行混合,混合液由厌氧选择池末端进入缺氧区,经缺氧区第4廊道隔墙穿孔进入好氧区。

工艺升级前,该污水处理厂出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准,但出水BOD₅、COD、SS等指标的平均值达到了一级A标准,因此需进一步重点控制出水TN和NH₄⁺-N等指标。工艺调整前该污水厂的实际进、出水水质如表1所示。可见,该污水厂进水水质波动较大,出水BOD₅、SS和COD均能达到一级A标准,平均去除率分别为96%、97%和90%;出

水TN和NH₄⁺-N的平均浓度高于一级A标准,可见该系统硝化、反硝化效果均较差。为了提高系统的脱氮效果,在现有工艺基础上通过运行问题诊断、调整参数,对原有工艺进行优化。

表1 污水处理厂进、出水水质

Tab. 1 Influent and effluent quality of wastewater treatment plant

项 目	进水/ (mg · L ⁻¹)		出水/ (mg · L ⁻¹)		平均去除 率/%
	范围	均值	范围	均值	
BOD ₅	161 ~ 324	249	8 ~ 15	10	96
SS	170 ~ 560	324	7 ~ 12	9	97
COD	225 ~ 643	448	30 ~ 55	46	90
TN	38.3 ~ 54.9	46.8	13.9 ~ 19.9	18.2	61
NH ₄ ⁺ -N	29.5 ~ 49.9	37.6	6.6 ~ 10.9	9.3	75

本研究选择污水厂第三系列生物池,其平面示意图见图1。

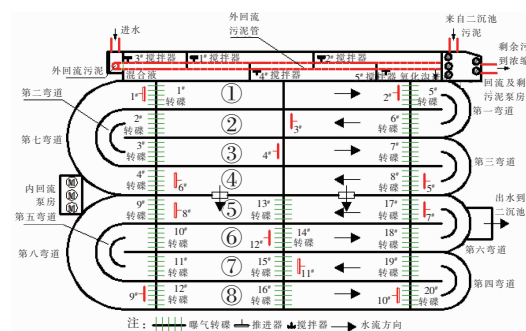


图1 改良型Carrousel氧化沟示意

Fig. 1 Schematic diagram of modified Carrousel oxidation ditch

2 系统运行问题诊断

在活性污泥脱氮工艺中,影响生物脱氮效果的主要因素有pH值、温度、进水污染物负荷、污泥龄(SRT)、水力停留时间(HRT)和溶解氧(DO)等。根据该污水厂的实际运行状况,本研究通过对SRT、进水NH₄⁺-N负荷及HRT和DO浓度等进行优化,以提高系统的处理效果。

2.1 系统SRT分析

根据活性污泥运行情况,为保证比增殖速率小的硝化细菌的数量,一般将泥龄控制在15 d左右。该污水厂在实际运行中,由于不能按照设计排泥量

及时排泥,使得 SRT 达到约 30 d 之久,时而导致系统 SV_{30} 升高,泥水分离不彻底,上清液表面有棕黄色、黑色絮絮的污泥絮体,二沉池有污泥流失现象。镜检观察到有较多的表壳虫、大量的丝状菌和少量的楯纤虫、钟虫、轮虫等指示生物数量不足,认为该系统活性污泥发生了丝状菌膨胀^[5]。此外由于丝状菌导致污泥膨胀,使得硝化细菌成为非优势菌种而导致硝化效果降低^[6]。因此,需调整系统的 SRT 来抑制丝状菌污泥膨胀,以增加系统中硝化及反硝化细菌的数量与活性。

2.2 系统进水 $NH_4^+ - N$ 负荷及 HRT 分析

HRT 过短,导致硝化反应不完全,使出水 TN 、 $NH_4^+ - N$ 浓度升高。应根据进水 $NH_4^+ - N$ 浓度,将 HRT 控制在合理范围,以满足硝化反应的正常进行。该污水厂设计进水 $NH_4^+ - N$ 为 25 mg/L,由表 1 可知实际进水 $NH_4^+ - N$ 平均浓度为 37.6 mg/L,远高于设计值。同时经检测,污水厂 3 个系列进水分配不均(第三系列氧化沟实际进水量达 $3.2 \times 10^4 m^3/d$)及污泥回流比过高(110%),使得实际水力停留时间为 10~11 h,低于设计值 15.4 h,因此影响了系统的脱氮效果。

2.3 系统 DO 浓度分析

硝化细菌是需氧自养型细菌,混合液中 DO 浓度对硝化细菌的代谢过程至关重要。同时活性污泥中硝化菌只占 5% 左右,且大部分硝化细菌生长在活性污泥絮体内部,需要混合液中存在较高的溶解氧浓度穿透絮体结构,可见 DO 对硝化细菌的增殖速率及硝化速率都有重要的影响。要保证较好的硝化效果,生化系统中混合液 DO 浓度一般应控制在 2.0 mg/L 以上。经检测,该系统好氧区域的 DO 浓度为 1.5~2.0 mg/L,浓度偏低。

3 系统参数优化及运行效果

3.1 SRT 的优化

工艺运行中平均污泥浓度约为 7 000 mg/L、回流污泥浓度为 14 000 mg/L、剩余污泥排放量为 480 m^3/d ,此时 SRT 约为 30 d。在原有工况下,控制污泥浓度至 6 000 mg/L,回流污泥浓度为 12 000 mg/L,调整剩余污泥排放量为 800 m^3/d ,将 SRT 控制在 18 d。对比 SRT 调整前后硝化及脱氮效果,如图 2 所示。可以看出,将 SRT 调整为 18 d 后,系统出水 $NH_4^+ - N$ 、 TN 均值分别为 5.2 mg/L 和 16.4 mg/L,与 SRT 为 30 d 时的运行效果相比, $NH_4^+ - N$ 平均去

除率由 75% 升高到 86%, TN 平均去除率由 61% 升高到 67%。待系统运行稳定后,观察混合液泥水分离过程,发现泥水分离后上清液清澈,无漂浮的解体污泥,污泥絮体变得密实,颜色呈棕褐色。镜检发现丝状菌数量减少,系统出现了钟虫、轮虫等生物。

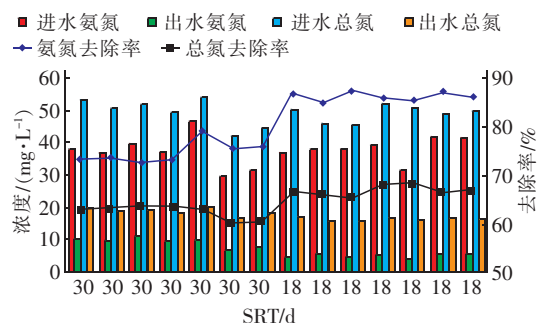


图 2 SRT 对出水氨氮与总氮的影响

Fig. 2 Influence of SRT on $NH_4^+ - N$ and TN of effluent

3.2 HRT 的优化

将 SRT 调整为 18 d 后,对 HRT 进行调整。平均分配该污水厂 3 个系列的进水量,将第三系列进水量由 $3.2 \times 10^4 m^3/d$ 调整为 $2.7 \times 10^4 m^3/d$ 后,分别调整回流比为 100% 和 70%,经核算两种工况下生物池对应实际 HRT 分别约为 14 h 和 16 h,系统中 $NH_4^+ - N$ 与 TN 浓度的变化情况如图 3 所示。

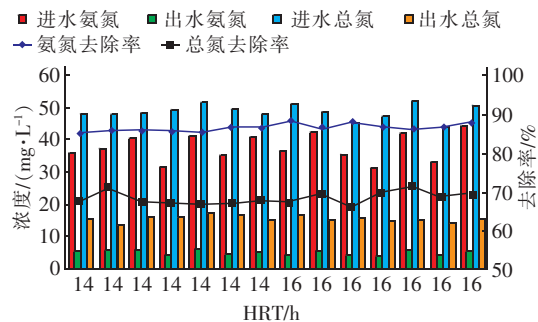


图 3 HRT 对出水氨氮与总氮的影响

Fig. 3 Influence of HRT on $NH_4^+ - N$ and TN of effluent

由图 3 可知,HRT 为 14 h 时出水 $NH_4^+ - N$ 、 TN 浓度分别在 4.6~6.1 mg/L 和 13.9~17.3 mg/L 之间,平均去除率分别为 86% 和 68%;HRT 为 16 h 时,出水 $NH_4^+ - N$ 、 TN 浓度分别在 4.1~5.9 mg/L 和 13.8~16.9 mg/L 之间,平均去除率分别为 87% 和 69%。此时,相应出水 $NH_4^+ - N$ 、 TN 平均浓度分别降低了 0.4 和 0.7 mg/L。可见,虽然脱氮效果得到了改善,但是出水 $NH_4^+ - N$ 与 TN 平均浓度仍有超标现象。因此,考虑进一步调整好氧区的 DO 浓

度,同时将 HRT 控制在 16 h。

3.3 DO 的优化

将 SRT 和 HRT 分别调整为 18 d 和 16 h,污泥浓度控制为 6 000 mg/L,回流比为 70%,原工况 DO 浓度为 1.5~2.0 mg/L(记为 DO1),通过增加好氧区转碟的运行台数及输入功率,将 DO 浓度调控在 2.5~3.0 mg/L(记为 DO2),考察两种 DO 浓度下出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 浓度变化,如图 4 所示。

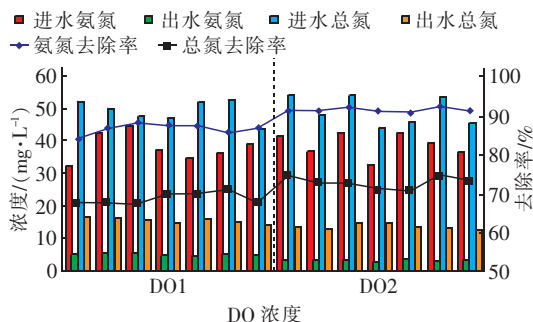


图 4 DO 对出水氨氮与总氮的影响

Fig. 4 Influence of DO on $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and TN of effluent

当 DO 为 1.5~2.0 mg/L 时,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 浓度分别为 4.4~5.6 mg/L 和 14.1~16.8 mg/L,平均去除率分别为 87% 和 69%。当 DO 浓度增至 2.5~3.0 mg/L 后,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度降到 2.9~3.7 mg/L,平均去除率达到 91%;出水 TN 浓度为 12.4~14.7 mg/L,平均去除率为 73%。

3.4 系统优化后的运行效果

经运行问题诊断和参数优化,调整工况如下: SRT 为 18 d、HRT 为 16 h、好氧区 DO 为 2.5~3.0 mg/L、回流比为 70%、污泥浓度为 6 000 mg/L。稳定运行一个月后多次检测系统主要进、出水指标,如表 2 所示。

表 2 工艺优化后运行情况

Tab. 2 Operation status after process optimization

项 目	进水浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		出水浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		平均去除 率/%
	范围	均值	范围	均值	
COD	214~584	451	32~50	42	91
BOD_5	164~418	246	6~12	9	96
SS	116~547	331	5~13	9	97
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	26.4~48.5	37.8	1.01~4.12	3.3	91
TN	39.2~68.7	56.8	10.9~14.16	12.6	78

对比表 1 与表 2 可知,通过工艺参数优化后,出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 平均浓度降低了 6 mg/L,对应的去除率

提高了 16%;出水 TN 平均浓度由 18.2 mg/L 降到了 12.6 mg/L,对应的去除率由 61% 提高到 78%。通过工艺优化调整,出水 COD、 BOD_5 、SS、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 与 TN 等各项指标均达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准。

4 结论

① 针对改良型 Carrousel 氧化沟工艺运行的实际情况,经诊断认为 SRT 长、进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 负荷高、HRT 短、好氧区 DO 浓度低等是造成该系统脱氮效果较差的主要原因,需对其进行优化调整。

② 将系统 SRT 由 30 d 调控到 18 d、HRT 控制在 16 h、好氧区 DO 浓度保持在 2.5~3.0 mg/L 时,稳定运行一个月后,系统出水 TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的平均浓度分别为 12.6 mg/L 和 3.3 mg/L,去除率分别为 78% 和 91%。

参考文献:

- [1] 王先宝,赵敏,金虎,等. 西安某氧化沟污水处理厂升级改造能耗分析[J]. 中国给水排水,2016,32(2):93-96.
Wang Xianbao, Zhao Min, Jin Hu, et al. Analysis on energy consumption in upgrading and reconstruction of a wastewater treatment plant with Orbal oxidation in Xi'an [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(2):93-96 (in Chinese).
- [2] 宋连朋,魏连雨,赵乐军,等. 我国城镇污水处理厂建设运行现状及存在问题分析[J]. 给水排水,2013,39(3):39-44.
Song Lianpeng, Wei Lianyu, Zhao Lejun, et al. Analysis of construction and operation status and existing problems of municipal wastewater treatment plants in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(3):39-44 (in Chinese).
- [3] 朱雁伯,袁楠楠,姜威,等. 我国城镇污水厂运行管理中存在的问题及对策[J]. 中国给水排水,2012,28(18):30-34.
Zhu Yanbo, Yuan Nannan, Jiang Wei, et al. Problems and solutions in operation management of municipal sewage treatment plants in China [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(18):30-34 (in Chinese).
- [4] 马迎霞,张全森,许爱红. 改良型 Carrousel 氧化沟的运行与改造[J]. 中国给水排水,2007,23(4):29-31.
Ma Yingxia, Zhang Quansen, Xu Aihong. Operation and

(下转第 97 页)