

污水处理与回用

鲍任兵, 徐健, 杜敬, 等. 低温低 C/N 下改良 Bardenpho 工艺与多级 AO 工艺的比较[J]. 净水技术, 2023, 42(12):80-87.

BAO R B, XU J, DU J, et al. Comparison of modified Bardenpho and multi level AO processes under low C/N influent at low temperature[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(12):80-87.

低温低 C/N 下改良 Bardenpho 工艺与多级 AO 工艺的比较

鲍任兵^{1,*}, 徐健¹, 杜敬², 刘赛^{3,4}, 陈鹏², 雷培树¹, 汪博飞¹

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北武汉 430010; 2. 武汉市城市排水发展有限公司, 湖北武汉 430070; 3. 中
信清水入江<武汉>投资建设有限公司, 湖北武汉 430200; 4. 中信工程设计建设有限公司, 湖北武汉 430014)

摘要 在冬季低温(9~13 ℃)和进水低 C/N 条件下, 分别以改良 Bardenpho 工艺与多级 AO 工艺进行试验, 探究水量负荷率为 100%、130% 和 150% 下两种工艺对污染物的去除效果, 并在工艺原理、设计要点和建设运行成本等方面进行对比分析, 并提出两种工艺的适用条件。结果表明, 在相同的水力停留时间(HRT)下, 多级 AO 工艺对 TN 有更好的去除效果, 而对于 COD_{Cr}、氨氮和 TP, 两者去除性能无较大差异; 在建设和运行成本上, 多级 AO 工艺可节省约 11.43% 的总占地面积和 20% 的运行电耗, 但需要配套精确曝气系统才能发挥其节能优势。

关键词 改良 Bardenpho 工艺 多级 AO 工艺 强化脱氮 多点进水 碳源投加

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2023)12-0080-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.12.010

Comparison of Modified Bardenpho and Multi Level AO Processes under Low C/N Influent at Low Temperature

BAO Renbing^{1,*}, XU Jian¹, DU Jing², LIU Sai^{3,4}, CHEN Peng², LEI Peishu¹, WANG Bofei¹

(1. Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430010, China;

2. Wuhan Urban Drainage Development Co., Ltd., Wuhan 430070, China;

3. CITIC Oingshui River <Wuhan> Investment and Construction Co., Ltd., Wuhan 430200, China;

4. CITIC Engineering Design and Construction Co., Ltd., Wuhan 430014, China)

Abstract Under the conditions of low temperature (9~13 ℃) in winter and low C/N influent, the modified Bardenpho process and multilevel AO process were tested respectively to compare the pollutant removal effects under water load rates of 100%, 130% and 150%. The process principle, design points, construction and operation costs were compared and analyzed, and the applicable conditions of the two processes were put forward. The results showed that under the same hydraulic residence time (HRT), multi level AO process had better removal effect on TN, but there was no significant difference in the removal performance of COD_{Cr}, ammonia nitrogen and TP. In terms of construction and operation costs, multi level AO could save about 11.43% of the total land occupation and 20% of the operation power consumption, but it needed to be equipped with a precise aeration system to give full play to its energy-saving advantages.

Keywords modified Bardenpho process multilevel AO process enhanced denitrification multi-point influent carbon source dosing

[收稿日期] 2022-10-03

[基金项目] 湖北省建设科技计划项目; 双碳背景下城镇污水处理厂强化脱氮除磷工艺技术研究

[通信作者] 鲍任兵(1991—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为水体污染与防治, E-mail: rbingbao@163.com。

随着我国污水处理要求和排放标准的日益提高, 对于 TN、TP 等出水指标的要求也日趋严格。目前改良 Bardenpho 工艺和多级 AO 工艺因其脱氮性能好、抗冲击负荷能力强, 在现有污水厂的提标改造

时,相较新建深度处理单元具有建设投资少、运行成本低等特点,逐渐应用于污水处理厂新建和提标改造工程^[1]。改良 Bardenpho 工艺的反应区设置一般为“厌氧-缺氧-好氧-缺氧-好氧”,多级 AO 工艺一般为“厌氧-缺氧-好氧-缺氧-好氧-缺氧-好氧……”。前者在形式上与两级 AO 类似,加之目前尚缺乏相关的技术标准和设计规范性文件,在实际工程中改良 Bardenpho 工艺有时也被称为多级 AO 工艺,这大大增加了对设计人员的迷惑性。

在处理低 C/N 污水时,改良 Bardenpho 工艺和多级 AO 工艺的相关案例通常采取多点进水^[2]、低氧曝气^[3]等方式,通过加大进水碳源利用,提升反硝化脱氮效果。然而在冬季低温条件下,低氧曝气往往会造成硝化反应受到抑制,加大了出水氨氮的超标风险^[4]。如何在低温低 C/N 下保证良好的氮、磷

去除效果是生化处理的研究难点。本研究通过设置多模式生化处理装置,在水温为 9~13 ℃ 下,分别以改良 Bardenpho 工艺和多级 AO 工艺进行不同水量负荷率试验,对比两种工艺的氮、磷去除性能及建设运行成本,并通过工艺原理分析提出两种工艺的设计思路和要点,为后续工程设计标准化提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验装置

本试验装置包括多模式生化池^[5]和二沉池。如图 1 所示,生化池尺寸(长×宽×高)为 2.0 m×1.3 m×1.3 m,有效容积为 2.6 m³。生化池共分为 9 个区域,污水依次通过 1#~9#区,其中相应反应区内同时设有搅拌器和曝气器,可实现多种工艺的切换运行。装置设有多点进水系统、污泥回流系统、混合液回流系统和曝气系统。

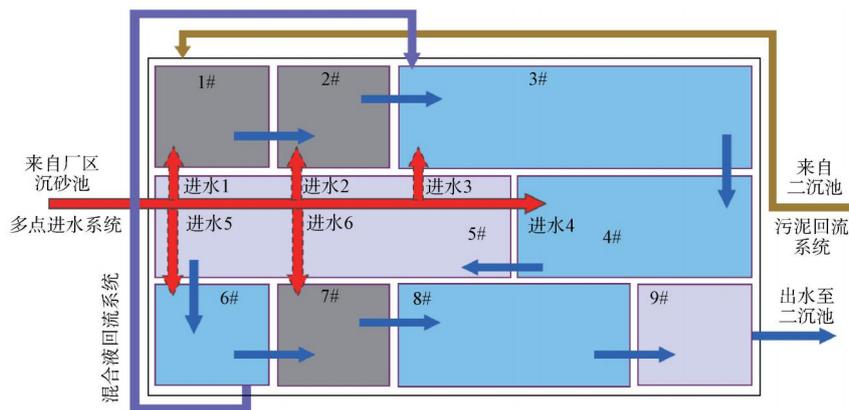


图 1 多模式生化池

Fig. 1 Multi Mode Biochemical Reactor

1.2 工艺流程与设计参数

本试验处理规模为 0.15 m³/h,总水力停留时间(HRT)为 19.1 h。如图 2 所示,通过相应反应区的曝气/搅拌切换,分别以改良 Bardenpho 工艺[图 2(a)]和多级 AO 工艺[图 2(b)]运行试验装置。在本试验阶段前期已分别对两种工艺的分段进水比例进行了相关优化试验研究,因此,本阶段采用最佳工况作为本对比试验运行条件。改良 Bardenpho 工艺运行时,预缺氧+厌氧、缺氧和好氧的 HRT 分别为 2.4、7.0 h 和 9.7 h,进水分配设定为 10% : 45% : 30% : 15%,污泥回流比设为 100%,混合液回流比设为 200%;多级 AO 工艺运行时,厌氧、缺氧和好氧的 HRT 分别为 1.2、6.5 h 和 11.4 h,进水分配设定为 30% : 20% : 30% : 20%,污泥回流比设为 100%。曝气

系统的总气水比设为 3:1。剩余污泥系统的污泥龄为 15 d。

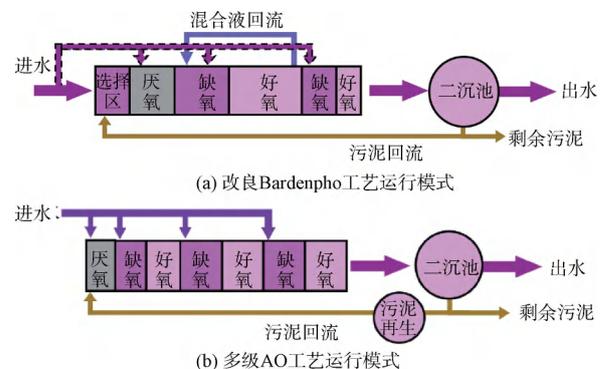


图 2 试验装置工艺流程

Fig. 2 Process Flow Chart of Test Device

1.3 试验原水水质及分析

试验原水取自某污水处理厂曝气沉砂池出水。如表 1 所示,试验进水温度为 9~13 °C, C/N(BOD₅/TN)在 2.0~2.7,满足低温低 C/N 的特性。在试验过程中应注重好氧区溶解氧与硝化反应程度,在保证出水氨氮达标的前提下,优化氮、磷去除性能。

表 1 试验原水水质

Tab. 1 Raw Water Quality in Test

项目	数值
水温/°C	9~13
COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	124~144
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	53~75
TN/(mg·L ⁻¹)	25~32
氨氮/(mg·L ⁻¹)	15~19
TP/(mg·L ⁻¹)	2.5~3.4

1.4 接种污泥及试验方案

(1) 污泥接种

试验装置厌氧区、缺氧区和好氧区活性污泥分别取自厂区生化池相应区域。经一周时间稳定运行后,装置内污泥浓度达到稳定,沉降性能良好,混合液悬浮固体(MLSS)质量浓度为 4 000 mg/L 左右。

(2) 试验方案

试验装置运行稳定后,分别以改良 Bardenpho 工艺(不加碳源)与多级 AO 工艺运行 12 d,期间分别开展两种工艺的水量冲击负荷试验,进水量设为 3.60、4.68 m³/d 和 5.40 m³/d (100%、130% 和 150%)。以地表水准 IV 类水为出水标准(COD_{Cr} 质

量浓度 ≤30 mg/L,氨氮质量浓度 ≤1.5 mg/L, TN 质量浓度 ≤15 mg/L, TP 质量浓度 ≤0.3 mg/L),通过水量变化获得不同 HRT 下两种工艺的出水水质情况,探究在低温情况(水温为 9~13 °C)下的污染物去除能力,获得满足出水要求下的最低 HRT,并进一步对比分析建设和运行成本。

1.5 检测指标及分析方法

中试装置稳定运行后,每日进行进出水水质监测。检测指标包括:COD_{Cr}、氨氮、TN、TP、MLSS/混合液挥发性悬浮固体浓度(MLVSS)等,测试方法参照《水和废水监测分析方法》(第四版)。

2 结果与讨论

2.1 污染物去除效果对比分析

2.1.1 对 COD_{Cr} 的去除效果分析

如图 3 所示,在进水 COD_{Cr} 质量浓度为 (133.83±11.55)mg/L 时,即使进水量增大至 150%,多级 AO 工艺与改良 Bardenpho 工艺的出水 COD_{Cr} 仍能满足一级 A 排放标准(出水 COD_{Cr} 质量浓度 ≤50 mg/L);在进水量为 130% 下,两者出水 COD_{Cr} 质量浓度均能达到 30 mg/L 左右,去除率分别为 78.80%±0.77% 和 77.80%±0.91%。可见在低温条件下、总 HRT 为 12.7 h 以上时,两种工艺设有缺氧/好氧的快速交替,能有效促进好氧微生物的共代谢作用,促进部分难降解有机物的去除^[6],在现状进水条件下均具有 COD_{Cr} 去除优势,相对于传统 AAO 工艺有很好的氧化有机物的能力和抗冲击负荷能力。

2.1.2 对氨氮的去除效果分析

两种工艺的氨氮去除效果如图 4 所示,其去除

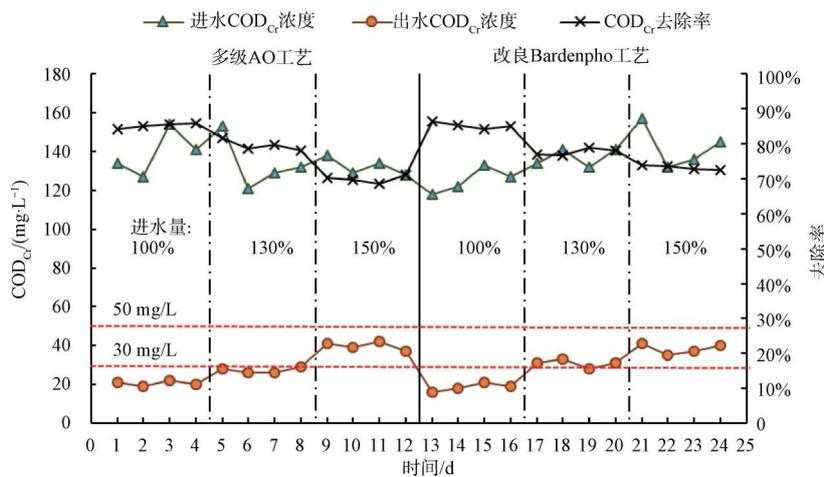


图 3 多级 AO 工艺与改良 Bardenpho 工艺的 COD_{Cr} 去除效果对比

Fig. 3 Comparison of COD_{Cr} Removal Efficiency between Multi Level AO and Modified Bardenpho Processes

性能变化整体上与 COD_{Cr} 去除趋势一致,随着进水量的增加,出水氨氮逐渐升高,去除率也逐渐降低。其中,当进水量由 130% 升高至 150% 时,去除率均显著降低,说明进水达到 150% 后,硝化反应已无法有效进行,出现了氨氮穿透。当进水量为 130% 时,多级 AO 工艺的出水氨氮质量浓度为 (1.10 ± 0.11) mg/L,改良 Bardenpho 工艺出水氨氮质量浓度为 (1.64 ± 0.14) mg/L。可见在冬季低温下,进水氨氮质量浓度为 (15.91 ± 2.00) mg/L 时,进水量达到

130% 时,多级 AO 工艺尚能满足准 IV 类出水标准 (出水氨氮质量浓度 ≤ 1.5 mg/L),而改良 Bardenpho 工艺无法有效保证出水达标。在本试验中进水量为 100% 时,两者好氧区总 HRT 分别为 11.4 h 和 9.7 h。以硝化反应为计算依据,针对该进水环境,为保证出水氨氮质量浓度达到 1.5 mg/L 以下,多级 AO 工艺的好氧区总 HRT 至少需要 8.8 h,改良 Bardenpho 工艺的好氧区总 HRT 至少需要 9.7 h。

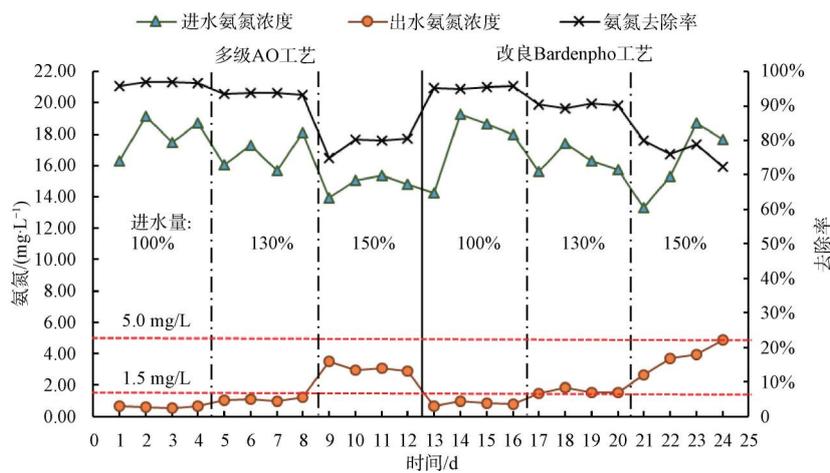


图 4 多级 AO 工艺与改良 Bardenpho 工艺的氨氮去除效果对比

Fig. 4 Comparison of Ammonia Nitrogen Removal Efficiency between Multi Level AO and Modified Bardenpho Processes

2.1.3 对 TN 的去除效果分析

如图 5 所示,进水 TN 质量浓度为 (29.33 ± 2.85) mg/L 时,随着进水量的不断提升, TN 去除率逐步降低,但在不同的进水量下多级 AO 工艺的 TN

去除率均高于改良 Bardenpho 工艺,可见在不加碳源的情况下,前者有更好的脱氮能力。进水量为 100% 时,多级 AO 工艺 TN 去除率能达到 70% 左右,出水能实现 10 mg/L 以下;增大至 130% 时, TN 去除

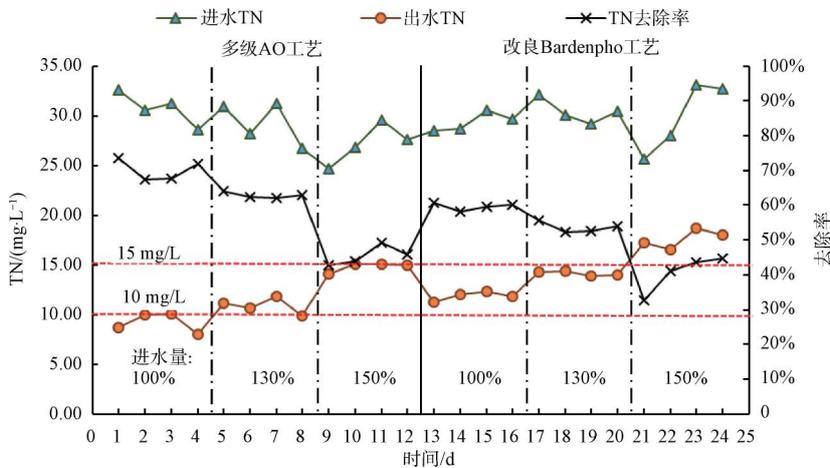


图 5 多级 AO 工艺与改良 Bardenpho 工艺的 TN 去除效果对比

Fig. 5 Comparison of TN Removal Efficiency between Multi Level AO and Modified Bardenpho Processes

率能达到 63%左右,出水 TN 质量浓度保持在 12 mg/L 以下;继续增大进水至 150%,TN 去除率明显大幅下降,为 45%左右,出水 TN 也接近 15 mg/L。然而改良 Bardenpho 工艺在进水量在 130%时去除率已下降至 60%以下,出水 TN 已接近 15 mg/L,在进水水质波动时有超标风险。在本试验中,多级 AO 工艺缺氧区总 HRT 为 6.5 h,改良 Bardenpho 工艺缺氧区总 HRT 为 7.0 h。为满足一级 A 标准(出水 TN 质量浓度 ≤ 15 mg/L),在该试验条件下,多级 AO 工艺缺氧区总 HRT 至少需要 4.3 h,改良 Bardenpho 工艺缺氧区总 HRT 至少需要 5.4 h。可见对于同一个进水条件,达到同样的脱氮效果,多级 AO 工艺缺氧区总 HRT 相对改良 Bardenpho 工艺可减小约 20.37%,说明多级 AO 工艺设置的 3 段处理单元和多点进水系统能够有效增大进水碳源的充分利用,减小了缺氧区池容要求。

如图 6 所示,随着水量负荷的逐级增加,两种工艺的进出水 $\Delta\text{COD}_{\text{Cr}}/\Delta\text{TN}$ 均逐渐上升,说明增大水量后脱氮对进水碳源的需求量增加,在低温低进水 C/N 下降负荷运行能有效保证出水 TN 达标。另外,多级 AO 工艺生化反应进出水 $\Delta\text{COD}_{\text{Cr}}/\Delta\text{TN}$ 在各水量负荷下均低于改良 Bardenpho 工艺,说明在三级“缺氧-好氧”的溶解氧环境下,去除单位 TN 所需要的碳源量更低,更有利于脱氮反应,在处理低碳源进水方面具有较大优势。

2.1.4 对 TP 的去除效果分析

多级 AO 工艺和改良 Bardenpho 工艺对 TP 的去除效果如图 7 所示,两者对 TP 的去除性能和趋

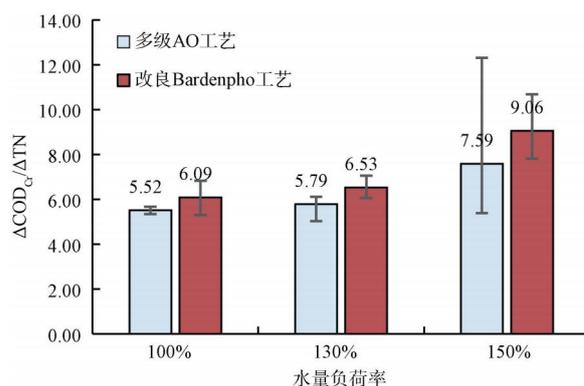


图 6 多级 AO 工艺与改良 Bardenpho 工艺 $\Delta\text{COD}_{\text{Cr}}/\Delta\text{TN}$ 对比
Fig. 6 Comparison of $\Delta\text{COD}_{\text{Cr}}/\Delta\text{TN}$ between Multi Level AO and Modified Bardenpho Processes

势大致相同。在进水 TP 质量浓度为 (3.42 ± 0.62) mg/L,进水量为 100%时,两种工艺均能稳定达到一级 A 排放标准(出水 TP 质量浓度 ≤ 0.5 mg/L),出水质量浓度接近 0.3 mg/L,去除率均达到 87%~90%;当进水量达到 130%时,两者出水 TP 质量浓度均超过 0.5 mg/L,去除率也都降低至 80%左右;继续增大进水量至 150%,出水 TP 迅速升高至 1.0 mg/L 以上。因此,为保证出水 TP 稳定达到一级 A 排放标准甚至接近 0.3 mg/L,改良 Bardenpho 工艺的“预缺氧+厌氧区”或者多级 AO 工艺的前段“厌氧区+缺氧 1 区”总 HRT 应不低于 2.4 h。

结合两种工艺的出水 SS,如图 8 所示,当进水量为 100%时,两种工艺的出水 SS 均未检出(SS 质量浓度为 3 mg/L 为检测下限);当进水量提高至 130%后,出水 SS 质量浓度增大,但还能保证达到 5

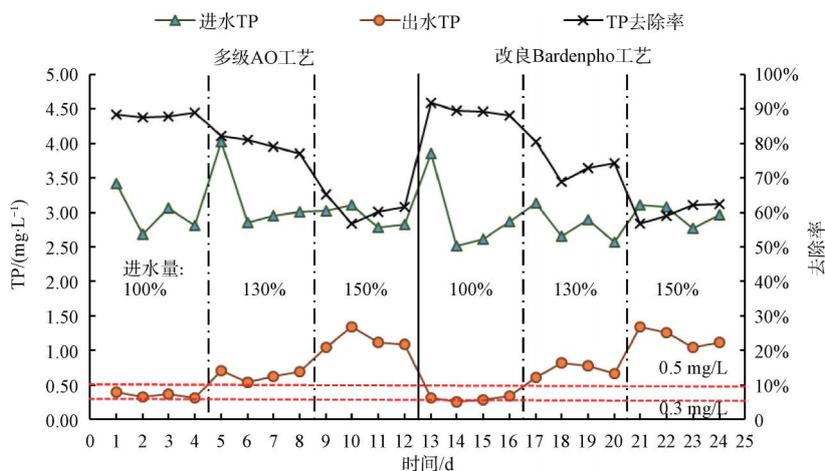


图 7 多级 AO 工艺与改良 Bardenpho 工艺的 TP 去除效果对比

Fig. 7 Comparison of TP Removal Efficiency between Multi Level AO and Modified Bardenpho Processes

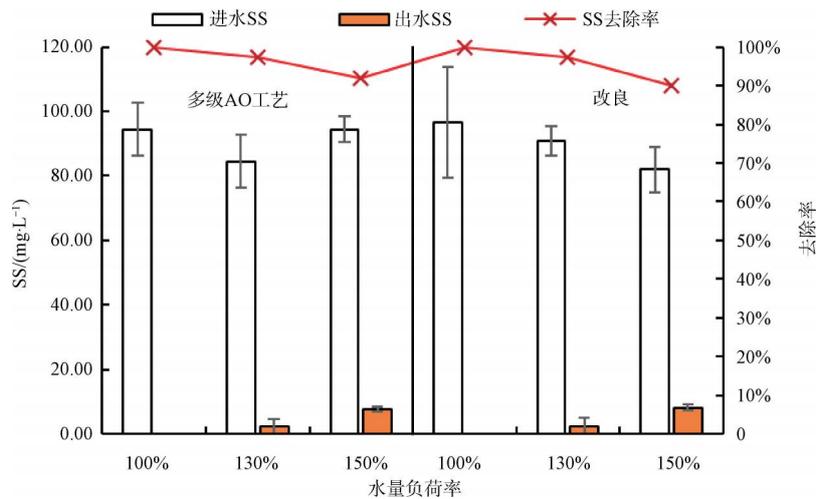


图8 多级AO工艺与改良Bardenpho工艺的SS去除效果对比

Fig. 8 Comparison of SS Removal Efficiency between Multi Level AO and Modified Bardenpho Processes

mg/L 以下;当进水量达到 150% 时,出水 SS 质量浓度增大至 7~9 mg/L。经计算,3 种进水量的条件下,二沉池的表面水力负荷分别为 0.30、0.39、0.45 m³/(m²·h)。由于 SS 中尚存在部分 TP,随着进水量的增大,二沉池出水 SS 升高,也会造成出水 TP 的升高。

2.2 建设及运行成本对比分析

2.2.1 建设成本分析

根据以上研究,在出水要求准IV类标准下,两种工艺各反应区的 HRT 如表 2 所示,多级 AO 工艺在缺氧区和好氧区需要的 HRT 均低于改良 Bardenpho 工艺,即多级 AO 工艺可节省总占地面积约 11.43%。

表2 满足排放标准要求下改良 Bardenpho 工艺与多级 AO 工艺各反应区最低 HRT

Tab. 2 Minimum HRT in Each Reaction Zone of Modified Bardenpho and Multilevel AO Processes under the Discharge Standard Requirements

工艺类型	厌氧区 HRT/h	缺氧区 HRT/h	好氧区 HRT/h	总 HRT/h
改良 Bardenpho 工艺	2.4	5.4	9.7	17.5
多级 AO 工艺	2.4	4.3	8.8	15.5

但在试验过程中发现,与改良 Bardenpho 工艺相比,多级 AO 工艺由于分区较多,溶解氧调节较为困难,特别对于小流量试验装置,多点进水的分配上无法做到精确调整,需要在实际工程设计中考虑分配调节及精确曝气系统下,才能发挥最大的处理优势和潜能,达到低碳节能的目的,但这也会增加一部

分建设投资。另外,针对现有污水处理厂的提标改造,可通过将常规 AAO 工艺的好氧区分隔出后置 AO 单元,改造为改良 Bardenpho 工艺,改造成本低,适用于大部分污水处理厂;多级 AO 工艺由于各反应区的 HRT 较为平均,不太适用于现有污水厂的提标改造。

2.2.2 运行成本分析

在本试验过程中,两种工艺均未投加碳源及其他药剂,因此,仅存在电费成本。生化池用电设备主要有进水泵、混合液回流泵、污泥回流泵、曝气风机、搅拌器等,改良 Bardenpho 工艺与多级 AO 工艺在生化池运行中主体设备大致相同,但在进水条件好的情况下多级 AO 工艺通常不开启混合液回流。在本试验中改良 Bardenpho 工艺运行,开机设备总装机功率为 1.0 kW;多级 AO 工艺为 0.79 kW,在以准IV类为出水标准的要求下可节省约 20% 的运行电耗。另外,在实际污水处理厂运行成本中,曝气电耗占比通常达到 50% 以上^[7],因此,在保证出水水质达标的前提下降低曝气量可达到节能效果。根据试验运行情况,多级 AO 工艺工况下降低 16% 的曝气量仍能保证出水水质达标,而改良 Bardenpho 工艺出水无法稳定达标。多级 AO 工艺有利于进水碳源的有效利用,使反硝化过程消耗更多的 COD_C,可减小好氧区对氧气的需求量,因此,可适当降低曝气量,有更好的节能效果。

3 工艺原理及设计要点对比分析

3.1 工艺原理

改良 Bardenpho 工艺和多级 AO 工艺虽然从形

式上类似,但在污染物处理功能分区上存在较大不同。现阶段的改良 Bardenpho 工艺是由传统 Bardenpho 工艺与 AAO 工艺相结合产生的。针对 AAO 工艺存在的脱氮性能有限,无法应对现阶段污水处理厂进水水质浓度低、C/N 低、无机 SS 浓度高的处理难题,采取在 AAO 工艺后段增设单独的反硝化功能 AO 单元并投加碳源,实现了出水 TN 去除率的大幅提升。因此,其混合液回流也是由第一段好氧区回流至缺氧区,为其反硝化提供硝酸盐;后段 AO 单元不存在回流,但设有碳源投加点,以应对进水碳源不足及出水 TN 要求严格的情况。大部分污染物已在前一段的 AAO 工艺中去除,后一段仅需要去除少部分的 TN,因此,在设计时通常后段 AO 单元 HRT 较小。经过本试验研究,为节省外碳源投加,减少药剂成本,可采用多点进水方式,充分利用进水中的有机碳源。

多级 AO 工艺是由多组缺氧/好氧单元相连接而成,通常采用三级 AO 形式,与改良 Bardenpho 工艺相区别的是其设计理念是前一段好氧硝化产生的硝酸盐进入后一段缺氧区进行反硝化,因此,一般不需要混合液回流。由于改良 Bardenpho 工艺后段仅需要承担小部分的 TN 去除,应分配较多的进水至前段 AAO 工艺,而后段 AO 单元需要的进水比较小;而多级 AO 工艺缺氧段较多,且需要反硝化上一段好氧产生的硝酸盐,因此,需要向各缺氧区分配近乎等量的进水以提供反硝化碳源。各 AO 段均要承担有机物、氨氮和 TN 的去除,因此各段 AO 在功能上没有很大的侧重点。

3.2 工艺设计

目前改良 Bardenpho 工艺的工程设计尚无相关标准规范,在现阶段设计时,前 AAO 段通常按照进进出水水质要求进行设计,后一组 AO 单元仅进行强化脱氮,故其 HRT 较短。如图 9 所示,该工艺在碳氮比(BOD₅:TKN)小于 4 的情况能发挥脱氮潜能,因此,后段 AO 单元的设计应参考进水的 C/N,收集现有污水厂在现状工艺下的出水水质,经过理论模拟计算(通常根据现有缺氧池体积和进水 TN 浓度,并依据《室外排水设计标准》进行反算出水 TN 浓度)常规 AAO 工艺对 TN 的去除效果,以确定后续缺氧区的 HRT 及碳源投加量。后段 AO 单元承担着额外的反硝化和氧化剩余碳源的功能,因此,通常

占地比常规 AAO 工艺更大。

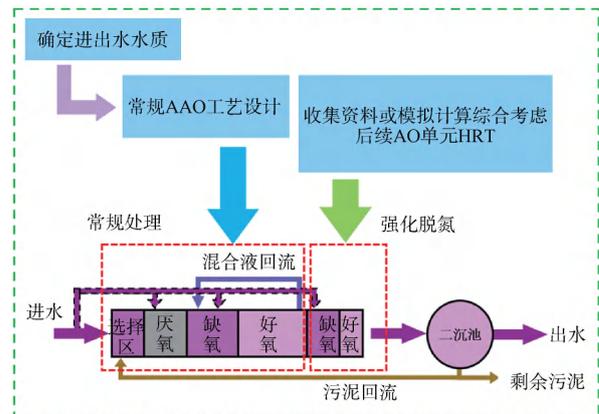


图 9 改良 Bardenpho 工艺设计思路

Fig. 9 Design Idea of Modified Bardenpho Process

对于多级 AO 工艺,应从多段分配处理的角度进行设计。根据本试验研究,反应池内的污泥浓度在三段 AO 区中有逐渐降低的趋势,经过多级回流可保持各反应区内污泥浓度趋于平衡。如图 10 所示,多级 AO 工艺生化池进行工程设计时,应以单个 AO 段为研究对象,按照进入各段的有机物和氨氮的量及该区域的污泥浓度进行好氧区 HRT 计算,通常与进水分分配比相一致。各段缺氧区需要对前一段的好氧反应产生的硝酸盐进行反硝化,因此,需按照进入各段的硝酸盐浓度及污泥浓度进行缺氧区 HRT 计算。可见,多级 AO 工艺的多点进水分分配比至关重要,其影响着各段的好氧区与缺氧区容积。目前,多级 AO 工艺在工程设计中通常采用 HRT 相等的 3 段 AO 区,其设计进水分分配也大致相等,在后期运行中可根据进水水质进行微量调控运行。在本

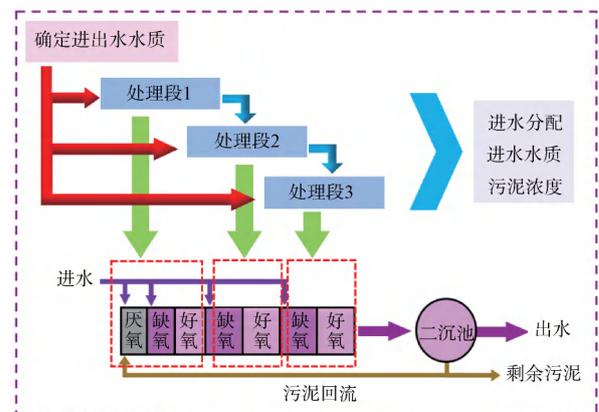


图 10 多级 AO 工艺设计思路

Fig. 10 Design Idea of Multilevel AO Process

试验中由于考虑两种工艺的调整,3段AO区HRT比为31%:38%:31%。多级AO工艺在设计过程中各段AO区同时进行碳、氮的去除,且需保持较高的污泥浓度,因此,占地较其他工艺较小。

4 结论

(1)改良Bardenpho工艺与多级AO工艺的主要区别在于反应功能区的设置段数、进水分配、池容分配、混合液回流设置、溶解氧控制等方面。两者最大区别是反应顺序不同,改良Bardenpho工艺是以前段为主体,通过硝化液回流进行反硝化的“前反硝化后硝化”的方式,并依靠后段强化脱氮效果;多级AO工艺是主要依靠多点进水加大了进水碳源的充分利用,并按照“前硝化后反硝化”的模式脱氮。

(2)池容分配上,在出水要求准IV类标准下,多级AO工艺在缺氧区和好氧区需要的HRT均低于改良Bardenpho工艺,可节省总占地面积约11.43%;在准IV类为出水标准的要求下,采用多级AO工艺可节省约20%的运行电耗。

(3)多级AO工艺由于分区较多,溶解氧调节较为困难,加之多点进水的分配上无法做到精确调整,需要在实际工程设计中考虑分配调节及精确曝气系统下,才能发挥最大的处理优势和潜能,达到低碳节能的目的。

(4)针对现有污水处理厂的提标改造,可通过将常规AAO工艺的好氧区分隔出后置AO单元,改造为改良Bardenpho工艺,改造成本低,适用于大部分污水处理厂;多级AO工艺由于各反应区的HRT较为平均,不太适用于现有污水厂的提标改造。

参考文献

- [1] 鲍任兵,高廷杨,宫玲,等. 污水生物脱氮除磷工艺优化技术综述[J]. 净水技术, 2021, 40(9): 14-20.
BAO R B, GAO T Y, GONG L, et al. Review of process optimization of biological denitrification and phosphorus removal in wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(9): 14-20.
- [2] 艾胜书,张莉,王帆,等. 多段多级AO生物膜反应器处理低温城市污水研究[J]. 水处理技术, 2018, 44(7): 105-109.
AI S S, ZHANG L, WANG F, et al. Study on low temperature municipal wastewater treatment by AMAO bio-film reactor [J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44(7): 105-109.
- [3] 陈杰云,张智,任丽平,等. 碳氮比对分段进水多级A/O工艺脱氮效果的影响研究[J]. 给水排水, 2012, 48(5): 125-128.
CHEN J Y, ZHANG Z, REN L P, et al. Study on the effect of carbon to nitrogen ratio on nitrogen removal efficiency of multi-stage A/O process with staged influent [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 48(5): 125-128.
- [4] 赵宪章,董文艺,王宏杰,等. 组合填料强化多级AO工艺处理低温污水脱氮效果[J]. 环境工程, 2018, 36(3): 49-53.
ZHAO X Z, DONG W Y, WANG H J, et al. Enhancing nitrogen removal efficiency of multistage AO process with combined carrier for low temperature wastewater treatment [J]. Environmental Engineering, 2018, 36(3): 49-53.
- [5] 鲍任兵,万年红,雷培树,等. 具有多工艺模式的污水生化处理系统: 202021866302 [P]. 2020-08-31.
BAO R B, WAN N H, LEI P S, et al. Sewage biochemical treatment system with multiple process modes: 202021866302 [P]. 2020-08-31.
- [6] 杨平,周家中,管勇杰,等. 基于MBBR的AAO和Bardenpho工艺改造效果对比[J]. 中国给水排水, 2021, 37(7): 11-19.
YANG P, ZHOU J Z, GUAN Y J, et al. Comparison of AAO and Bardenpho processes transformation effect based on MBBR [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(7): 11-19.
- [7] 张倬玮,张会宁,李志丽,等. 北方某城市污水处理厂节能降耗改造及运行[J]. 中国给水排水, 2016, 32(24): 133-138.
ZHANG Z W, ZHANG H N, LI Z L, et al. Reconstruction for energy saving and consumption reducing and actual operation of a WWTP in north China [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(24): 133-138.