

孙巍, 赵红兵, 张卫东. 某城区污水处理厂二级生物处理系统提标改造工艺设计[J]. 净水技术, 2022, 41(6): 156–161, 169.
SUN W, ZHAO H B, ZHANG W D. Process design of upgrading and reconstruction of secondary biological treatment system of a urban
WWTP[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(6): 156–161, 169.



扫我试试?

某城区污水处理厂二级生物处理系统提标改造工艺设计

孙巍, 赵红兵, 张卫东

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北武汉 430014)

摘 要 某城区污水处理厂位于湖北省孝感市孝南区, 总处理规模为 14 万 m^3/d , 采用改良百乐卡 AAO 为主体工艺, 提标前出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 标准, 提标后执行一级 A 标准。厂区现有用地极为紧张, 预留地块面积小且所处位置不利使用, 但又无法新增用地。文中基于用地、工艺流程等现实边界条件进行了巧妙构思, 在现有百乐卡 AAO 生物池前端增设厌氧/缺氧反应池, 优化了生物系统格局, 通过降低 TN 负荷率, 并同步采用多种技术措施强化生物脱氮除磷, 充分挖潜了二级生物处理能力确保 TN 达标, 解决方案简单而高效; 提标吨水投资仅为 640 元, 提标处理单元电耗为 $0.096 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。目前, 提标后已运行两年多, 提标改造后的二级生物处理系统运行良好, TN 平均去除率由 54.0% 提高至 69.0%, TP 平均去除率由 85.0% 提高至 94.0%; 出水 TN 平均质量浓度为 7.9 mg/L , 去除率为 63.0%~72.0%; 出水 TP 平均质量浓度为 0.2 mg/L , 去除率为 90.0%~96.0%。

关键词 提标改造 改良百乐卡 AAO 工艺 强化生物脱氮除磷 多点进水 厌氧区与缺氧区切换

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2022)06-0156-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.06.021

Process Design of Upgrading and Reconstruction of Secondary Biological Treatment System of a Urban WWTP

SUN Wei, ZHAO Hongbing, ZHANG Weidong

(Central and Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430014, China)

Abstract A urban wastewater treatment plant (WWTP) with a total treatment capacity of $140\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ is located in Xiaonan District, Xiaogan City, Hubei Province, and the main process is modified BIOLAK AAO. The tailwater may comply with the first class B criteria of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants* (GB 18918—2002) before upgrading, and it should be implemented as the first class A criteria after the upgrading and reconstruction. The existing land in the factory area is extremely tight, the reserved land is small and the location is unfavorable for use, but it is impossible to add new land. The design scheme is ingeniously conceived based on the actual boundary conditions such as land use and process flow. An anaerobic/anoxic reaction tank is added in front of the existing BIOLAK AAO biological tank to optimize the biological system pattern. By reducing the TN load rate and simultaneously adopting a variety of technical measures to strengthen biological nitrogen and phosphorus removal, the secondary biological treatment capacity is fully tapped to ensure that the TN meets the standard, the solution is simple and efficient. The investment for raising the standard per ton of water is only 640 yuan, and the power consumption of raising the standard processing unit is $0.096 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$. At present, it has been running for more than two years after the upgrading and reconstruction, and the secondary biological treatment system after the upgrading and reconstruction runs well. The average removal rate of TN is increased from 54.0% to 69.0%, and the average removal rate of TP is increased from 85.0% to 94.0%. The average mass concentration of TN in effluent is 7.9 mg/L , and the removal rate is 63.0%~72.0%. The average mass concentration of effluent TP is 0.2 mg/L and the

[收稿日期] 2022-02-14

[作者简介] 孙巍(1985—), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为污水处理及水环境治理, E-mail: 2678592020@qq.com。

removal rate is 90.0%~96.0%.

Keywords upgrading and reconstruction modified BIOLAK AAO enhanced biological nitrogen and phosphorus removal multiple water inlet points switchover between anaerobic and anoxic zones

近年来,随着国家对环保的要求日趋严格,城市生活污水处理厂作为水环境保护的重要基础工程设施,作用愈加重要。与此同时,我国对污水处理厂的处理效果要求也不断提升。目前,我国污水处理厂出水执行的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)将基本控制项目的常规污染物标准值分为一级标准、二级标准及三级标准,其中一级标准又分为 A 标准和 B 标准。随着水污染防治力度的加大,城市污水处理厂出水标准要求提升为一级 A 标准或者更高的标准。对比《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)和《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的相关规定可知,污水处理厂出水水质由一级 B 标准提升至一级 A 标准,除了需要进一步降低水中 SS、BOD₅、COD 等物质的含量外,提标重点在于脱氮除磷^[1-2]。针对 TN 去除的技术措施主要有:生化段用于强化生物脱氮、外加碳源,后端设置反硝化滤池。针对 TP 去除的主要技术措施为:生化段用来强化生物除磷,后端增加化学辅助除磷。这种生物、化学处理互为补充的组合方式无疑是最为稳妥的,但因为生物处理方式更为环保节能,二次污染少,所以强化生物处理的脱氮除磷效果,降低所需辅助的化学除磷药剂及碳源投加已成为行业共识。后端设置反硝化滤池需要增加工艺流程、运行费用及建设成本,如果仅通过挖潜、强化二级生物处理能力而实现脱氮除磷需求,对于污水处理厂提标改造工艺而言,无疑更为简单、高效。本工程设计方案正是秉承这一理念,应运而生。

孝感市城区污水处理厂地处孝感市孝南区,随着城市的发展已经由建厂之初的远城区变成了今天的繁华之地,周边无新增用地可能,而厂区内原有预留用地面积小且利用难度大。此外,鉴于环保要求,设计方案还需考虑在施工期间现有厂区能够正常运行、不停产。基于用地、工艺流程、外部要求等现实边界条件,对现有二级生物处理系统的生物池进行扩容、调整功能分区、多点进水改造;更换内回流泵,调整回流比,优化回流点;强化生物脱氮除磷效果达到提标需求。这种充分挖潜、利用、提高生物处理系统脱氮除磷能力的提标策略,不仅可以有效降低后

续处理设施的建设成本及运维费用,还有利于污水处理厂节能减排,绿色环保。

1 项目概况

孝感市城区污水处理厂位于湖北省孝感市孝南区,是一座城市生活污水处理厂,总处理规模为 14 万 m³/d,分两期实施。一期(7 万 m³/d)于 2008 年竣工通水,二期(7 万 m³/d)于 2014 年竣工通水,尾水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,出水排入槐荫河。本工程是对现有污水处理厂进行提标改造,将出水水质由一级 B 标准提高至一级 A 标准,设计规模为 14 万 m³/d。

1.1 现状处理工艺

污水处理工艺:市政管网污水→粗格栅及进水泵房→细格栅及曝气沉砂池→改良百乐卡 AAO 生物池→二沉池→消毒池→出水排放(枯水期自排,丰水期泵房提升)至槐荫河。

污泥处理工艺:剩余污泥→预浓缩池→机械浓缩脱水池→高压板框脱水至污泥含水率为 60%→外运填埋。

1.2 运行现状及分析

提标前污水处理厂出水水质稳定达到一级 B 标准,处理水量接近设计水量,运行状况稳定、良好,2016 年污水处理厂运行工况如图 1 所示。对现状处理情况进行分析得出:污水处理厂现有工艺对于 COD_{Cr}、BOD₅、氨氮这 3 项指标的去除效果已满足一级 A 标准要求,说明现有改良百乐卡 AAO 生物池的好氧区容积及曝气系统可以满足提标需求;而对于 SS、TP、TN 这 3 项指标的去除效果无法满足提标需求,是提标改造设计亟需解决的重点。

1.3 用地现状

厂区周边土地均已开发利用,不具备新增用地的条件,提标改造工程须在厂区现状用地红线范围内完成。厂区现有预留用地主要位于西南及东南侧,具体位置如图 2 所示。其中西南侧预留用地①地块面积稍大,但位于现有处理系统上游,东南侧预留用地②地块面积较小,位于现有处理系统下游。

2 现状存在问题及总体解决方案

通过前述对厂区现状运行工况分析得出,现有工艺对于 COD_{Cr} 、 BOD_5 、氨氮指标的去除效果已满足提标要求,现有超标污染物指标主要为 SS、TP、TN。具体的设计进、出水水质及处理程度要求如表

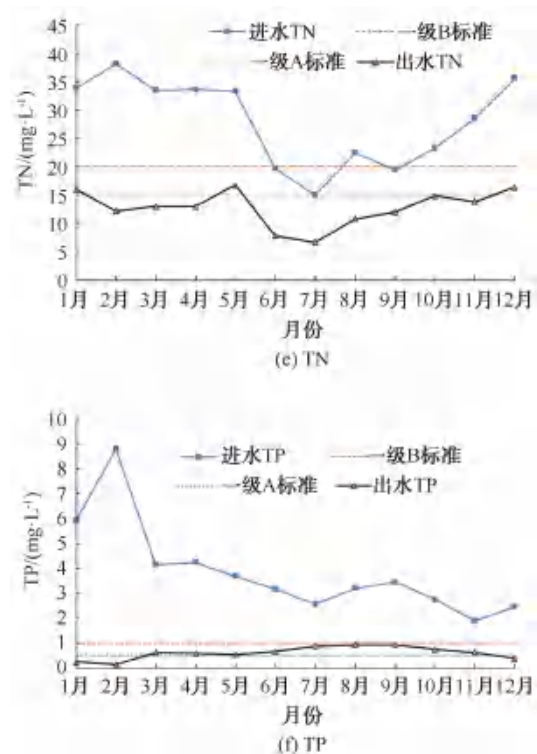
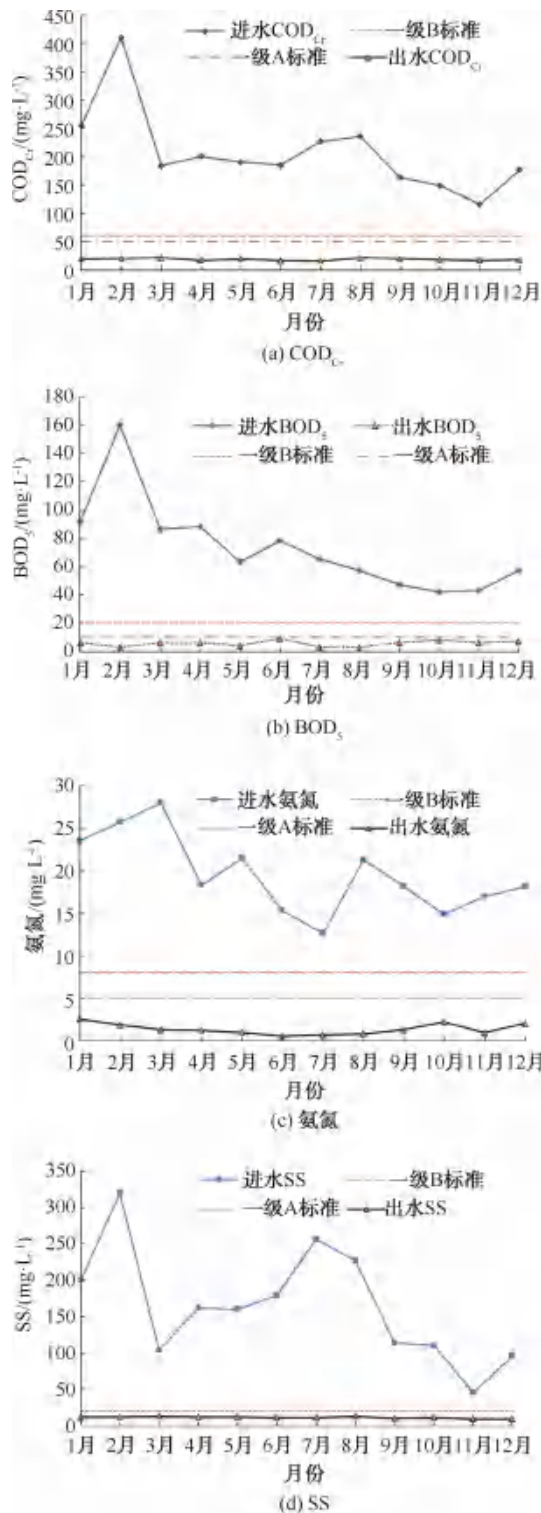


图1 提标前污水处理厂进、出水水质

Fig. 1 Quality of Influent and Effluent of WWTP before Upgrading

1 所示,其中对于 SS、TP、TN 的去除率要求分别为 96.2%、90.0%、62.5%。根据《室外排水设计标准》中污水厂的处理效率规定可知,二级处理(活性污泥法)对于 SS 的去除率为 70.0%~90.0%,对 TP 的去除率为 75.0%~85.0%,对 TN 的去除率为 60.0%~85.0%。对比二级处理效率与本厂提标要求的处理效率得出,SS 及 TP 的去除必须依赖深度处理单元的辅助,而 TN 的去除完全可以强化二级处理的生物脱氮效果而实现。因此,提标改造设计以确保出水 SS、TP、TN 达标为主旨,并结合用地条件、现有工艺流程综合考虑,确定为通过改造现有二级生物处理系统、增加池容、降低负荷、优化回流方式等多途径提高生物脱氮除磷效果^[2-4]。需要说明的是,二级生物处理以确保 TN 出水达标为首要任务,TP 的去除以生物处理为主、化学除磷为辅。

在位于现有工艺流程上游的预留用地①增设厌氧/缺氧生物反应池,用来强化厂区二级生物系统的脱氮除磷效果;在位于现有工艺流程下游的预留用地②增设深度处理构筑物,以去除 SS 为主要目标、化学除磷为辅,并进一步降低其他污染物指标,提升

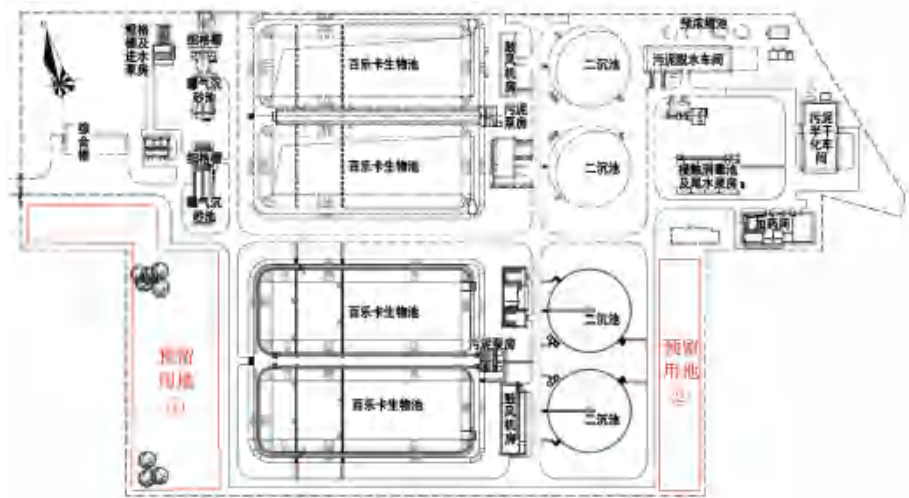


图 2 污水处理厂用地现状示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of Current Situation of Land Use for WWTP

表 1 设计进、出水水质及处理程度

Tab. 1 Designed Quality and Treatment Degree of Influent and Effluent

项目	BOD ₅	COD _{Cr}	SS	TN	氨氮	TP
设计进水水质/(mg·L ⁻¹)	130	260	260	40	30	5.0
设计出水水质/(mg·L ⁻¹)	10	50	10	15	5(8)	0.5
处理程度	92.3%	80.8%	96.2%	62.5%	83.3%(73.3%)	90.0%

注:氨氮括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标

出水水质。因深度处理用地非常有限,采用了高负荷的加砂高速沉淀池及精密过滤设备,提标后的工艺流程如图 3 所示。

3 二级生物处理系统提标改造工艺设计

对于已建的二级生物反应池,强化其生物脱氮

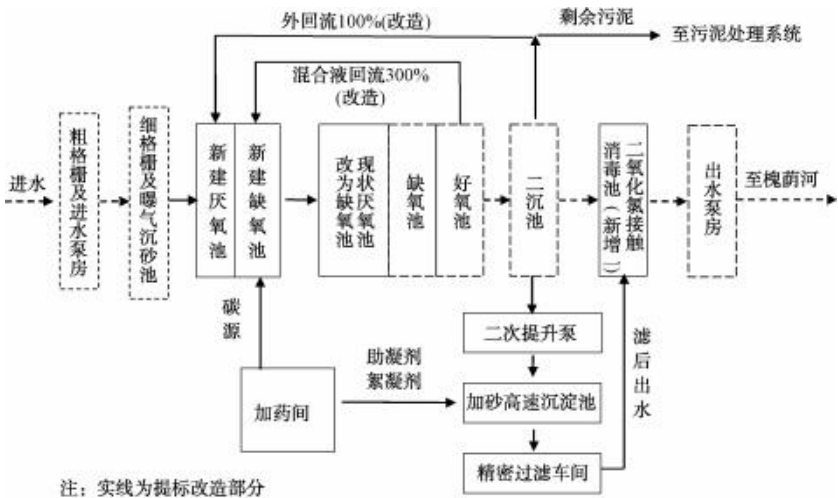


图 3 污水处理厂提标改造工艺流程示意图

Fig. 3 Process Schematic Diagram of Upgrading and Reconstruction of WWTP

除磷效果的常用改造方法有 3 种。①优化功能分区。若生物池池容基本满足要求,可通过新增隔墙或结合初沉池综合利用等方式,将原池内各反应段分区进行调整或改为倒置 AAO 工艺、五段 Bardenpho 工艺、UCT 工艺等。②改造为移动床生物膜反应器(MBBR)工艺。MBBR 工艺是向池中投加填料,填料在池内混合液回流翻转的作用下自由移动,对于好氧池,通过曝气使填料移动;对于厌氧及缺氧反应池,依靠机械搅拌作用移动。MBBR 工艺吸收了传统流化床与生物接触氧化法两种工艺的优点,因悬浮填料内外表面形成具有生物量高、泥龄长特点的生物膜,可以获得较好的脱氮除磷效果。该工艺比较适用于用地限制、无法增加反应池池容的老厂改造。③扩容降负荷改造。通过降低已建生物反应池处理规模,减小负荷、延长水力停留时间,同时另外增设生物反应池,满足污水处理水量要求^[8]。

3.1 强化生物脱氮除磷技术路径

本工程现有二级生物处理构筑物为改良百乐卡 AAO 生物池,通过优化设计,将影响生物脱氮除磷效果的各影响因素向有利于脱氮除磷方向推进,强化生物脱氮除磷效果。另外,以优先生物脱氮、同步生物除磷、辅以化学除磷,同时考虑碳源补充为基本原则,具体技术路径如下。

(1)碳氮比。充足的有机物是保障脱氮及厌氧释磷效果的重要因素之一,本工程提标改造前进水 BOD_5/TN 为 2.6, BOD_5/TP 为 18.7,可通过多点进水提高有机物利用率,并补充碳源,多途径满足脱氮除磷的碳源需求。

(2)污泥负荷与污泥龄。为了获得较好的脱氮效果,需要较低的污泥负荷及较长的污泥龄,但与之相反,缩短泥龄可以提高生物除磷效果。本工程生物池设置的目的是以生物脱氮为主,可以通过增加池容、降低污泥负荷、提高污泥龄获得较好的生物脱氮条件。

(3)污泥及混合液回流比。当硝化与反硝化条件都较好时,系统最大脱氮率是总回流比 r (污泥与混合液回流比之和)的函数,最大脱氮率为 $r/(1+r)$ 。增加总回流比可以提高脱氮效果,但总回流比为 4 时,再增加回流比对脱氮效果的提高不大,反而会降低系统运行效果。

3.2 具体工艺设计方案

为充分利用、挖潜二级生物处理系统的脱氮除磷功能,采用多种途径同步优化,创造适宜的脱氮除磷条件,具体工艺设计如下。

(1)优化现有生物池分区,新建生物池增加池容,降低负荷。现状改良 AAO 生物池停留时间为 12.8 h (厌氧区 1.8 h,缺氧区 3.0 h,好氧区 8.0 h),污泥质量浓度为 5 g/L。提标改造后的分区为选择区、厌氧区和缺氧区。

①选择区:新增选择区,停留时间为 0.5 h。

②厌氧区:新建厌氧池 1 和厌氧池 2,停留时间分别为 1.0 h 和 0.5 h。

③缺氧区:新增前置缺氧池 1,停留时间为 0.6 h,并将现状厌氧区改为缺氧池 2,停留时间为 1.8 h,用来补充缺氧区容积的不足,强化生化脱氮能力。改造后,新的缺氧区由 3 个部分组成:缺氧池 1 (新建)+缺氧池 2 (现状厌氧区改造)+缺氧池 3 (现状缺氧区),总停留时间为 5.4 h。

(2)生物池各分区之间可进行转换,设计灵活。新建厌氧/缺氧反应池的核心宗旨是确保出水 TN 达标,因此,分区转换是为了进一步提高脱氮效果。其单组平面布置如图 4 所示,具体转换方式:通过切换回流渠进水闸门,改变混合液回流出口位置至厌氧池 2,可将其转换为缺氧区,根据实际运行需求,进一步增加缺氧区容积,提高脱氮效果。

(3)将混合液内回流比由 200% 提高至 300%,提高脱氮效率。

(4)多点进水,通过在进水及回流渠之间的变频穿墙泵实现,可提高有机物利用率,减少碳源投加量。

(5)外加辅助碳源,用于特殊时段进水碳源不足时补充碳源,满足供给反硝化脱氮的碳源需求,提高脱氮效果稳定性。

(6)优化各分区的进、出水条件及回流位置,提高池容利用率、抗冲击负荷能力、脱氮除磷效果。

4 提标改造运行效果

提标工程于 2019 年底竣工通水,自运行以来,出水水质稳定优于一级 A 标准。随着近几年孝感城区污水管网的不断完善以及雨污分流改造工程的有序推进,提标改造后的进水指标较改造前有所提高,出水水质也明显优于提标前,提标改

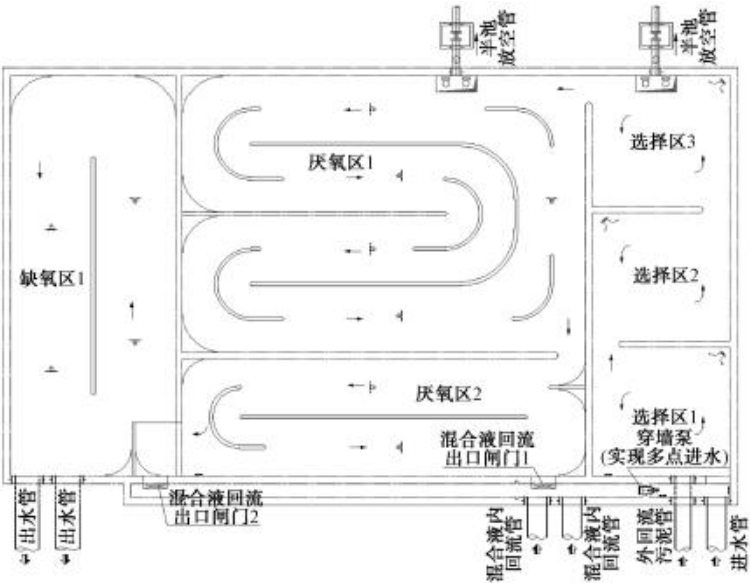


图 4 厌氧/缺氧反应池单组平面示布置示意图

Fig. 4 Plane Layout Diagram of Single Group of Anaerobic/Anoxic Reaction Tank

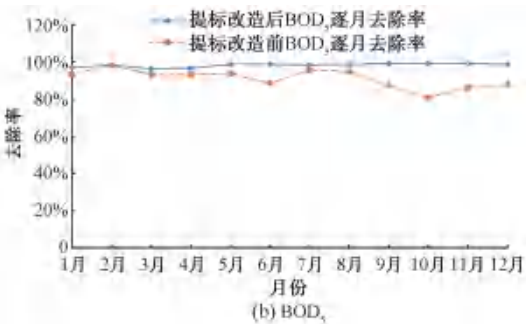
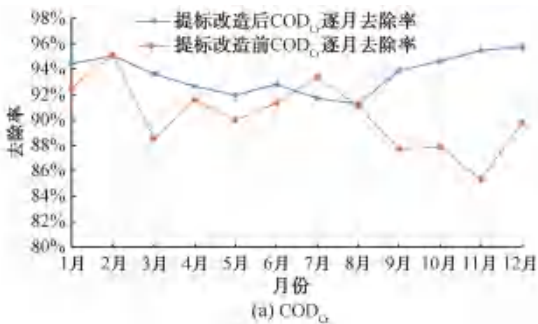
造工程效果显著,具体年均进、出水水质情况如表 2 所示。其中二级生物处理系统在去除氨氮、TN、COD_{Cr}、BOD₅ 污染指标方面的表现较为突出,对 TP 的去除也起到了关键作用。提标前后各项指标去除率对比如图 5 所示,提标后出水 TN 平均质量浓度为 7.9 mg/L,去除率为 63.0%~72.0%;出水 TP 平均质量浓度为 0.2 mg/L,去除率为 90.0%~

96.0%。将提标改造后的二级生物处理系统处理效果与改造前进行对比分析发现:提标后 TN 平均去除率由 54.4%提高至 68.5%,TP 平均去除率由 84.6%提高至 93.5%。且本次提标改造新增电耗低,全部新增处理单元电耗为 0.096 kW·h/m³,提标用地仅用 1.3×10⁴ m²,吨水投资仅为 640 元。

表 2 提标改造前后平均进、出水水质对比

Tab. 2 Comparison of Average Influent and Effluent Quality before and after Upgrading and Reconstruction

项目	COD _{Cr}		BOD ₅		TN		TP		氨氮		SS	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
提标改造前/(mg·L ⁻¹)	207.8	18.4	73.2	5.6	28.1	12.8	3.9	0.6	19.5	1.3	164.4	11.3
提标改造后/(mg·L ⁻¹)	240.2	14.5	99.0	1.8	25.1	7.9	3.1	0.2	22.7	0.7	121.6	7.1



(下转第 169 页)

- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇污水处理厂臭气处理技术规程: CJJ/T 243—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [4] 王健明, 袁武建, 陈刚, 等. 污水处理厂恶臭污染物控制技术的研究[J]. 安全与环境工程, 2005, 12(3): 33-34.
- [5] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 城镇污水

处理厂污染物排放标准; GB 18918—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.

- [6] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 恶臭污染物排放标准: GB 14554—1993[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [7] 唐霞, 肖先念, 李碧清, 等. 城市污水厂除臭组合新工艺的优化及应用[J]. 净水技术, 2020, 39(8): 124-130.

(上接第 161 页)

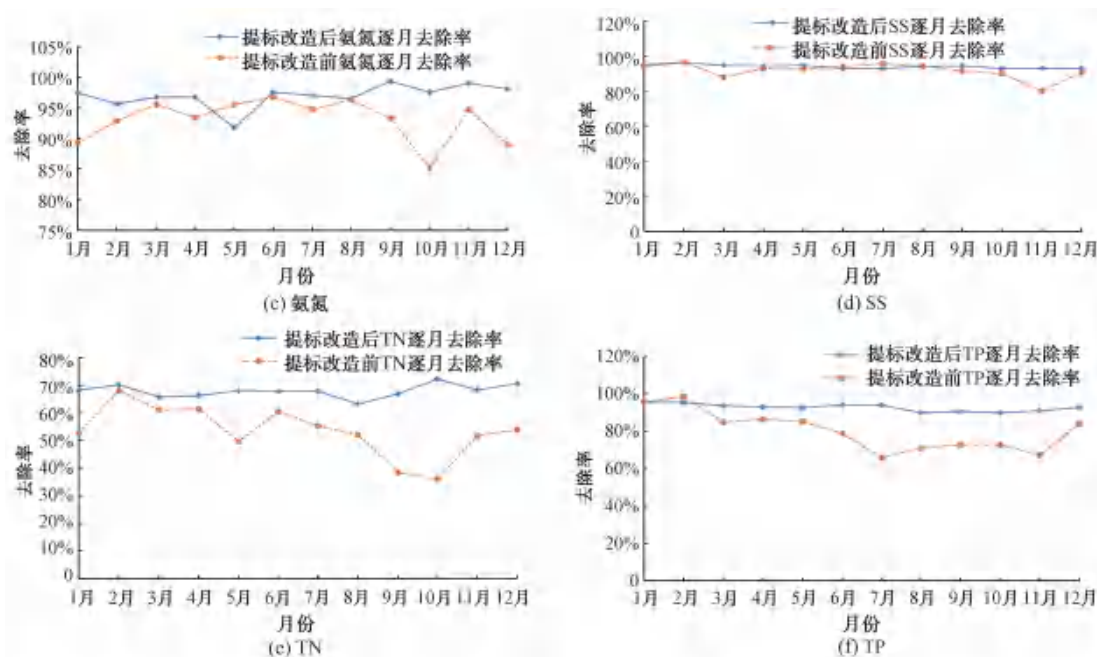


图 5 提标前后各项指标去除率对比

Fig. 5 Comparison of Removal Rate of Various Indices before and after Upgrading and Reconstruction

5 结论

孝感市城区生活污水处理厂基于提标需求并结合用地现状,在现有百乐卡生物池前端增设厌氧/缺氧反应池,重新构建高效二级生物处理系统的工艺设计独具匠心,通过精心设计将提标障碍逐一击破,使污水处理厂的提标得以顺利完成。解决方案简单而高效,经过实践检验合理、可行。

(1)强化生物脱氮效果,不仅可以在系统后端设置反硝化生物滤池,也可借鉴本设计,在系统前端生化段增设缺氧反应池强化脱氮效果。

(2)通过调整生物脱氮除磷的运行条件可以获得较好的脱氮除磷效果。出水 TN 平均质量浓度为 7.9 mg/L,去除率为 63.0%~72.0%;出水 TP 平均质量浓度为 0.2 mg/L,去除率为 90.0%~96.0%。

(3)对于生活污水处理厂, TN、TP 以生物处理系统为主的工艺效果稳定、无二次污染、能耗低,提标

改造的全部新增处理单元电耗为 0.096 kW·h/m³。

(4)提标方案简单、高效,用地节约,建设成本低,提标用地仅为 1.3×10⁴ m²,吨水投资仅为 640 元。

参考文献

- [1] 刘亦凡, 陈涛, 李军. 中国城镇污水处理厂提标改造工艺及运行案例[J]. 中国给水排水, 2016, 32(16): 36-41.
- [2] 徐立然, 周晓莉, 朱光灿, 等. 多点交替进水阶式 A²/O 工艺强化脱氮除磷[J]. 环境科学研究, 2015, 28(9): 1466-1473.
- [3] 杨雪莲, 陈莹, 杨文娟, 等. 改变缺氧池容积强化 A²/O 工艺脱氮除磷效率[J]. 水处理技术, 2021, 47(1): 125-129, 133.
- [4] LUO W H, PHAN H V, XIE M, et al. Osmotic versus conventional membrane bioreactors integrated with reverse osmosis for water reuse: Biological stability, membrane fouling, and contaminant removal[J]. Water Research, 2017, 109: 122-134. DOI: 10.1016/j.watres.2016.11.036.
- [5] 钱林, 薛哲骅, 王首都. 城市污水厂一级 A 排放标准提标改造工艺设计[J]. 净水技术, 2020, 39(4): 39-44.