

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2022. 06. 017

污水处理厂百乐克工艺提标改造设计与运行

蒋富海¹, 张显忠²

(1. 中持水务股份有限公司, 北京 100192; 2. 上海市城市建设设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200125)

摘要: 某采用百乐克(Biolak)工艺的城镇污水处理厂,为符合准IV类高标准尾水的深度治理需求,通过系统梳理原有设施工艺短板及指标达标弱项,采取了提升上游污水内碳源纳管效能、实施污水厂的泥水提标等厂网协同提质增效措施。采用改良Bardenpho作为主体新处理工艺,进行了将传统五段Bardenpho的厌氧区与缺氧区空间倒置,进水多点分布,增设消氧脱气区等利于硝化、脱氮、降碳、除磷的改良设计。引进节能变频风机、新型高效免停水曝气器、低氧曝气的节能运行策略,辅以集约占地的加砂澄清池。实际出水指标浓度稳定在新排放限值的65%以下,污泥减量48%,单位电耗、药耗分别节约16%、28%,再生水回用率超过30%。

关键词: 百乐克; 改良Bardenpho工艺; 加砂澄清池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)06-0086-07

Design and Operation of Upgrading and Reconstruction Project of a WWTP Using Biolak Process

JIANG Fu-hai¹, ZHANG Xian-zhong²

(1. CSD Water Service Co. Ltd., Beijing 100192, China; 2. Shanghai Urban Construction Design and Research Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract: In order to meet the enhanced treatment requirements of level quasi-IV discharge standard, an urban wastewater treatment plant with Biolak tank as its main process, takes coordinational measures of WWTP and drainage network for quality and efficiency improvement, such as improving the efficiency of inner carbon source from upstream sewage into the influent and implementing the sludge sewage upgrading, through systematically sorting out the shortcomings of the original facilities and indicators to reach the standard. The modified Bardenpho process was adopted as the new treatment unit of the WWTP, namely, the anaerobic zone and anoxic zone of the traditional five-stage Bardenpho was spatially inverted, with multipoint distribution of influent, the addition of deaeration zone and other benefit to improve nitrification, denitrification, carbon reduction and phosphorus removal was designed. It introduces energy-saving frequency variable blower, new efficient aerator without water cut-off for maintenance, as well as operation strategy of low oxygen aeration to save energy, and is also supplemented by sand adding clarifier with intensive footprint. Thus the actual effluent pollutant concentration is stably below 65% of the new discharge limits and the sludge is reduced by 48%. The energy and chemical consumptions are saved by 16% and 28% respectively. The recycle rate of reclaimed water exceeds 30%.

Key words: Biolak; modified Bardenpho process; sand adding clarifier

为改善雄安新区白洋淀入淀排放水质的劣V类现状,实现其流域水质达到《河北雄安新区规划纲要》提出的Ⅲ~Ⅳ类(与京标、津标对接)水环境目标要求,促进京津冀水生态一体化协同发展,2018年河北省环境保护厅编制下发了《大清河流域水污染物排放标准》(DB 13/2795—2018),将大清河流域沿线的控制区域划分为核心控制区、重点控制区、一般控制区三档(对应准Ⅲ~Ⅴ限值),要求自2021年1月1日起,各排污单位的COD、氨氮等5项水污染物排放限值按照新规定执行。针对隶属于大清河流域重点控制区、采用百乐克(Biolak)作为主体工艺的某城镇污水厂,开展准Ⅳ类提标改造设计与效益评估,为同类项目的高标准尾水、节水低碳、节能降耗的提质增效提供实践参考。

1 工程现状分析

1.1 项目概况

毗邻雄安新区的该县级市污水处理厂,设计处理规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,接纳市政生活污水。该项目于2010年建成投产,2020年下半年完成厂外部分明渠管网截污纳管和污水厂的提质增效工程。现状设计进、出水指标见表1,未列进水指标达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015),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A标准。

表1 现状设计水质

Tab.1 Design sewage quality before upgrading

项目	进水水质	出水水质
COD/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 350	≤ 50
BOD ₅ /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 150	≤ 10
NH ₃ -N/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 35	$\leq 5(8)$
TN/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 40	≤ 15
TP/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 3.5	≤ 0.5
SS/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	≤ 200	≤ 10
pH值	6.5~9.5	6~9

注: 括号内为温度 $\leq 12 \text{ }^\circ\text{C}$ 时指标。

1.2 现状工艺流程及存在的问题

现状处理工艺流程见图1。其中Biolak单元为厌氧区、曝气区、沉淀池、稳定区的四段综合池。设有进水、回流连通汇合的渠道,其与Biolak反应区共壁,渠道用于流体输送(替代传统的管道输送)。由于缺少缺氧区,只能将厌氧区用于缺氧脱氮,生物脱氮、化学除磷主要在Biolak池内完成,在Biolak池

进水渠末端设有外碳源、除磷剂的投药点。污水深度处理采用絮凝沉淀池+纤维滤布滤池,发挥沉淀(辅助消毒)、过滤功能。污泥脱水采用带式压滤脱水+污泥好氧发酵系统(污泥含水率 $\leq 60\%$)。

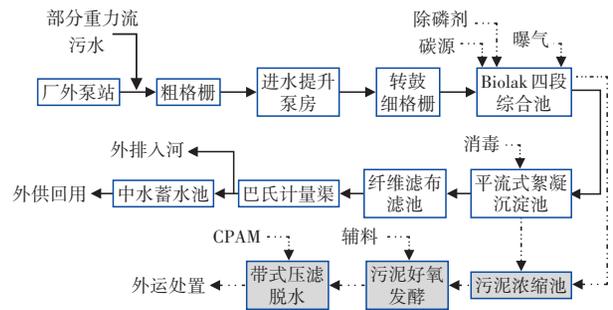


图1 现状处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of treatment process before upgrading

由于原有处理流程的出水COD、NH₃-N、TP难以稳定达到优于V类限值要求,且TN、SS接近现有排放限值的临界点,因此应对尾水高标的超标风险较大、提标需求迫切。针对原有工艺的短板进行分析,具体见图2^[1-3]。

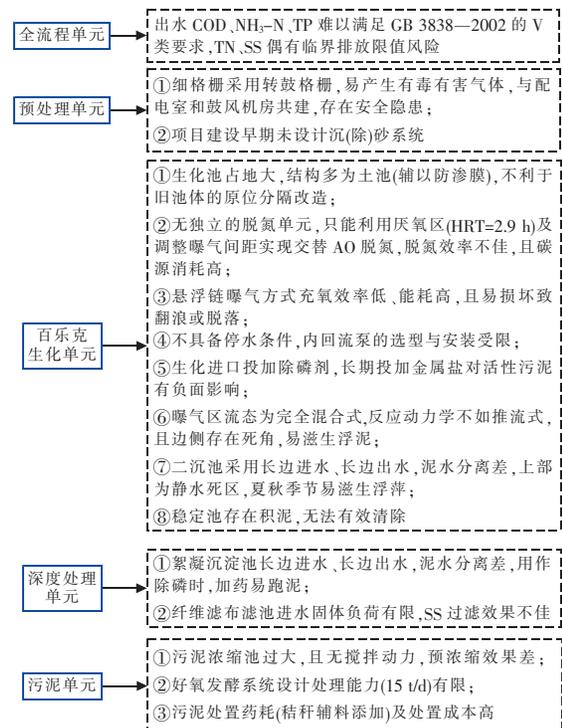


图2 原有工艺短板剖析

Fig.2 Analysis of short board of original process

1.3 现状实际进、出水情况

实际处理水量已超过90%负荷率,2019年—2020年实际进、出水水质COD、NH₃-N等5项指标见

表 2, 近两年平均进水 COD、NH₃-N、TN、TP、SS 指标的 90% 概率值分别为现状设计进水浓度的 0.7、1.3、1.3、1.4、0.8 倍。近两年平均出水 COD、NH₃-N、TN、TP、SS 指标的 90% 概率值分别为 32.5、4.46、14.25、0.44、9.55 mg/L, 可见现状处理工艺对于以上出水主控指标未能极限去除, 排放水质处于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 劣 V 类水平。

表 2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

项目		COD		NH ₃ -N		TN		TP		SS	
		2019年	2020年	2019年	2020年	2019年	2020年	2019年	2020年	2019年	2020年
进水	最小值	82	64	19.5	15.0	25.1	20.0	1.06	1.27	70	70
	最大值	458	561	54.0	56.1	64.6	63.7	7.03	6.89	186	225
	平均值	176	185	35.4	34.0	42.5	41.4	3.50	3.65	127	106
	85% 概率值	228	248	44.6	43.6	51.2	52.1	4.57	4.91	169	124
	90% 概率值	240	266	46.3	44.6	54.0	53.5	4.84	5.12	172	127
出水	最小值	10	15	0.55	0.76	7.0	9.0	0.13	0.10	8.7	3.0
	最大值	45	44	4.70	4.80	14.5	14.5	0.45	0.46	9.8	9.7
	平均值	22	23	2.69	2.80	12.5	13.2	0.36	0.32	9.2	7.9
	85% 概率值	30	30	4.25	4.34	14.0	14.3	0.44	0.43	9.6	9.3
	90% 概率值	32	33	4.40	4.52	14.2	14.3	0.44	0.44	9.7	9.4

2 提标设计进、出水水质

2020 年初当地政府明确要实施污水截污纳管和污水处理厂提标增效的环保民生工程, 结合 2019 年—2020 年污水处理厂实际出水 COD、NH₃-N 等 5 项指标的 90% 概率值, 并合理预测截污纳管后 COD、TP 浓度升高因素(截污纳管后, 原在明渠预沉淀截留的非溶解性的 COD 及 TP 浓度将一并收纳进入污水管网), 本次污水处理厂提标改造相应调整 COD、NH₃-N、TN、TP 的设计进水限值。提标后的出水 COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP 达到《大清河流域水污染物排放标准》(DB 13/2795—2018) 重点控制区的要求(接近 GB 3838—2002 准 IV 类标准), 自 2021 年 1 月 1 日起执行, SS、pH 值等出水指标仍执行一级 A 标准。

提标设计水质见表 3。

表 3 提标设计水质

Tab.3 Design sewage quality after upgrading

项目	提标后进水水质	提标后出水水质
COD/(mg·L ⁻¹)	≤400 (较提标前调增 50)	≤30
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	≤150	≤6
NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	≤45 (较提标前调增 10)	≤1.5(2.5)
TN/(mg·L ⁻¹)	≤55 (较提标前调增 15)	≤15
TP/(mg·L ⁻¹)	≤5 (较提标前调增 1.5)	≤0.3
SS/(mg·L ⁻¹)	≤200	≤10
pH 值	6~9	6~9

注: 括号内为温度 ≤12 °C 时的指标。

3 提标改造方案

3.1 改造思路

现状转鼓细格栅年久失修, 对杂物拦截效果差, 拟新建网孔细格栅渠。新建旋流沉砂池, 强化对污水中砂砾的分离效率, 保障后续单元设施的运行安全。采用更稳定灵活、节能降耗的改良 Bardenpho 工艺(及二沉池)替代原百乐克工艺, 提升生化单元对全部指标的最大化去除效能。利用集约占地的加砂澄清池, 提高系统对 TP、SS 的净化效果。优选更经济合理的污泥深度脱水工艺(污泥板框脱水系统)替代原低效高耗的污泥好氧发酵系统, 提升污泥减量化、稳定化效果。

3.2 改造后工艺流程

改造后处理工艺流程见图 3。

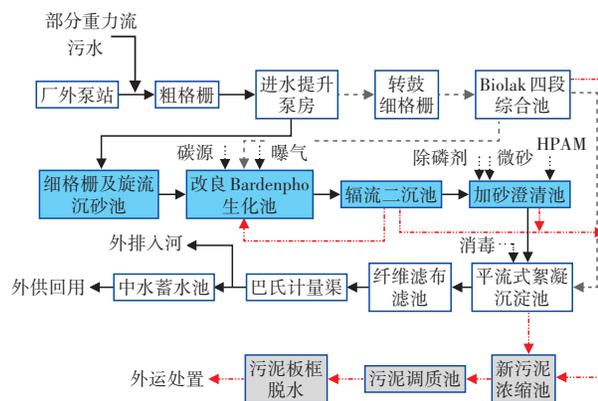


图 3 改造后处理工艺流程

Fig.3 Flow chart of treatment process after upgrading

采用“改良 Bardenpho-加砂澄清”取代原有百乐克工艺, 以适应高标准排放限值要求^[4-6], 污泥部分改建浓缩池、新建污泥调质池及污泥板框脱水车间替代原污泥好氧发酵系统, 以实现污泥处理能力扩容、污泥处置出路多样化及减量化功效。利用厂

内预留空地、污泥脱水场地等进行改建,未另增征地。新增单元投用后,原转鼓细格栅、Biolak四段综合池仍保留备用,作为在持续暴雨季节超设计处理量溢流污水的快速应急处理手段(Biolak池仍维系活性污泥工艺,经原有处理线处理后外排)或应急

调蓄手段(Biolak池不维系活性污泥工艺,作为雨天时的蓄水池,并于降雨结束后泵送至新建改良Bardenpho池及后续处理)。

4 主要构筑物、设备及参数

核心处理单元的设计参数及设备配置见表4。

表4 核心单元的配置参数

Tab.4 Parameters of core treatment units

主要单元	设计参数	主要附属设备
细格栅渠	两系列	网孔格栅5 mm,2台;冲洗水泵2台
旋流沉砂池	Ø3 650 mm,两系列	旋流除砂器2台,砂水分离器1台,罗茨鼓风机2.5 m ³ /min,2台
改良Bardenpho生化池	污泥负荷0.048 kgBOD ₅ /(kgMLSS·d),有效水深7.0 m,气水比8:1,HRT 19 h(厌氧区1 h、前缺氧区5.5 h、前好氧区10 h、消氧区0.5 h、后缺氧区1.5 h、后好氧区0.5 h)	潜水搅拌机(消氧区)5.5 kW,2台;潜水推流器:厌氧区,4.5 kW,4台;前缺氧区,5.5 kW,4台;后缺氧区,4 kW,4台;管膜微孔曝气器2 800套;硝化液回流泵1 100 m ³ /h,4台(变频);外回流泵550 m ³ /h,4台(变频);剩余污泥泵100 m ³ /h,2台
辐流式二沉池	Ø38 m,有效水深4.5 m,表面负荷0.92 m ³ /(m ² ·h),2座	中心传动吸泥机,Ø38 m,2台
加砂澄清池	表面水力负荷15 m ³ /(m ² ·h),斜管上升流速22 m/h,HRT:混凝区2 min、加载区2 min、絮凝区3.5 min、沉淀分离区20 min	快混搅拌机,3 kW,2台;载体混合搅拌机,4 kW,2台;絮凝搅拌机,4 kW,2台;中心传动刮泥机,Ø9 m,2台;水力旋流器,25 m ³ /h,2套;斜管冲洗风机,6 m ³ /min,2台;污泥回流泵,50 m ³ /h,2台;剩余污泥泵,25 m ³ /h,2台;絮凝剂一体化装置,2.5 m ³ /h,1套
纤维滤布滤池(利旧)	1座(6格)	Ø1 500 mm水下过滤设备,6套
鼓风机房	1间	高效空气悬浮风机70 m ³ /min,80 kPa,120 kW,6台(变频)
污泥浓缩池	Ø15 m,1座,HRT 14 h	刮泥机Ø15 m,1台
污泥调质池	1座2格,有效容积130 m ³	搅拌机2台
污泥板框脱水间	两层框架结构	板框压滤机,过滤面积230 m ² ,过滤压力1.2 MPa,压榨压力2 MPa,2台;进料泵,30 m ³ /h,1.2 MPa,3台;压榨泵,8 m ³ /h,1.9 MPa,2台;冲洗泵,15 m ³ /h,4.0 MPa,2台;石灰料仓,15 m ³

5 提标运行效能分析

5.1 项目实施改善情况

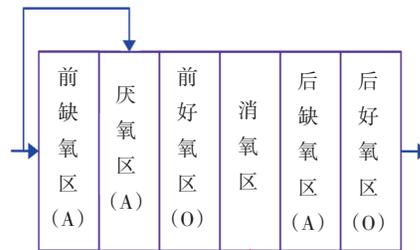
提标改造采用边运营、边施工方式,其间克服汛期及冬季施工、冬季调试、多边(方)交叉作业与新旧衔接等诸多困难。

提标改造期间,原百乐克池仍在独立运行,直至Bardenpho生化调试完成后切换至新处理线。

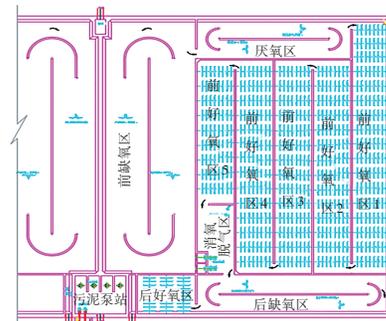
新建的改良Bardenpho生化池于2020年底投用,前缺氧池置于厌氧区前(即倒置)方式,从而避免外回流污泥中DO/NO₃-N对厌氧释磷的不利影响,并合理设置了消氧脱气区,其形式见图4,生化池厌氧、缺氧(两级)、好氧(两级)、消氧等功能空间串级分区形成的水力推流(PF)流态。

改造采用的新型Bardenpho悬挂链曝气器具有充氧动力效率高、曝气均匀性好、可不停水检修的特点。

新建二沉池后,再无浮萍大量滋生影响感官的困扰。



a. 串级结构



b. 平面示意

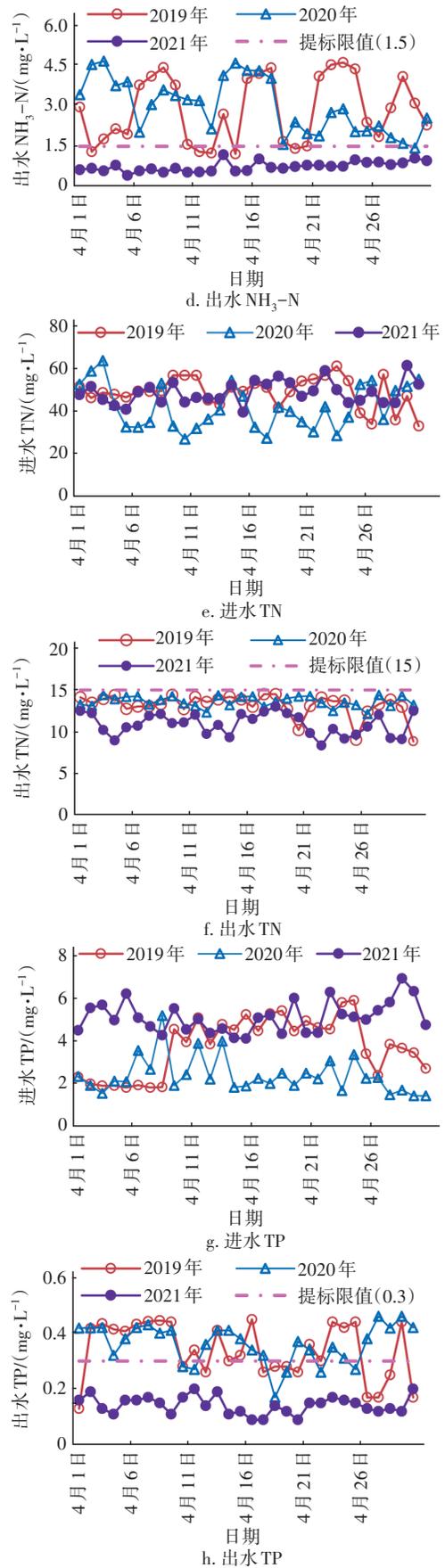
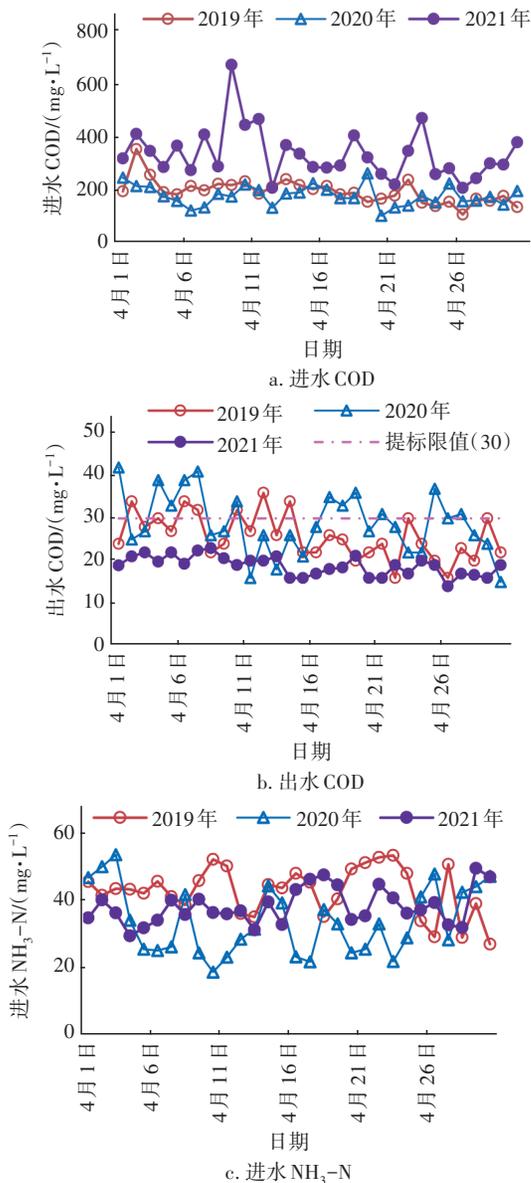
图4 新建的改良Bardenpho生化池

Fig.4 New-built modified Bardenpho biochemical tank

5.2 污染指标同比变化

近三年来污染物指标的一个月同比变化见图 5, 污水厂上游进行局部明渠管网截污纳管增加有机物(内碳源), 进水 COD、SS、TP 等指标浓度有所提升; 污水厂提标改造后的出水 COD、NH₃-N、TN、TP、SS 平均浓度分别为 19.0、0.75、10.9、0.14、5.4 mg/L, 实际出水指标浓度基本在新排放限值的 65% 以下, 完全满足排放或回用水质要求。

改良 Bardenpho 生化池的前好氧池为廊道式(前好氧区 1~5, 分别以 O₁~O₅ 表示)的折返推流方式, 其 DO 水平随 NH₃-N 耗氧污染物浓度呈现负向变化, 且 NH₃-N 于 O₃ 或 O₄ 末端已降至低限水平, 见图 6。



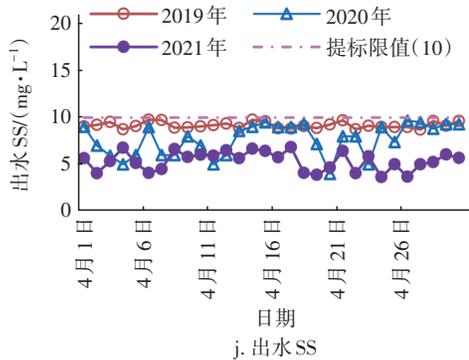
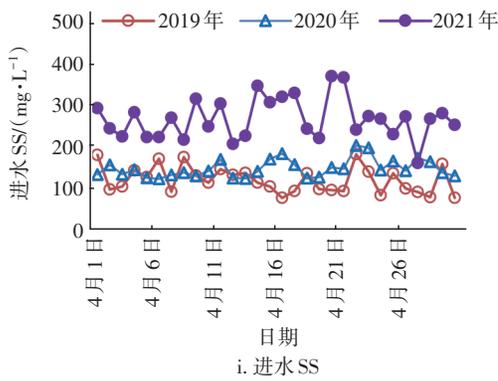


图5 近3年的进、出水COD、NH₃-N、TN、TP、SS对比
Fig.5 Comparison of COD, NH₃-N, TN, TP, SS from influent and effluent of the WWTP in recent three years

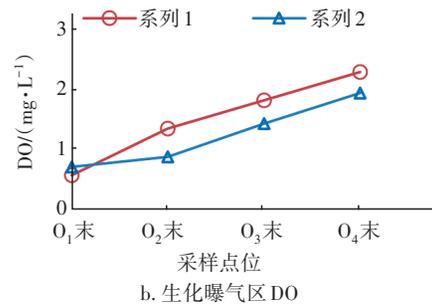
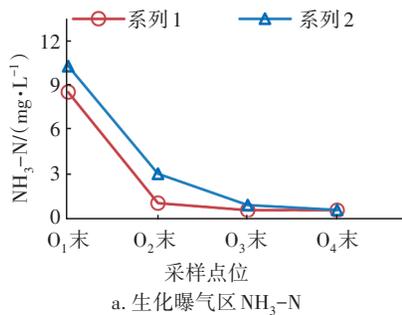


图6 Bardenpho生化池的曝气区沿程NH₃-N与DO变化
Fig.6 Change of NH₃-N and DO along the aeration zone of Bardenpho tank

在O₅末端安装了在线DO和NO₃⁻-N过程仪表,可实时表征硝化、反硝化的完成进程。通过节能型空气悬浮风机变频调控,辅以免停水检修的新型曝气器的高效充氧扩散并与DO在线联动,控制低氧曝气策略(调节O₅末端DO为1.5~2.5 mg/L)。消氧区的设置和调控(末端DO≤1.5 mg/L)可降低硝化液回流的DO,避免过高DO对前缺氧区脱氮造成的干扰。

5.3 低碳节能降耗效益

对比提标改造前、后的单位能(物)耗同比变化(见表5)情况,处理1×10⁴ m³污水产生60%含水率污泥减量约48%,实现了污泥的减量化、稳定化;通过低碳节能改造,吨水电耗节能16%;吨水药费同比节约28%,其中:碳源、除磷剂、污泥脱水剂较提标前分别减少25%、14%、50%,脱氮药耗调控采用内碳源为主、外碳源为辅的精细思路(实际进水C/N比约6.5~7.2,补充外碳源C/N比控制约1.2~1.8);部分尾水外供作为周边企业回用水,回用率超过30%,实现了节水资源化。初步评估:年减少新鲜水耗量达550×10⁴ m³以上,提标改造后节水节能、降耗增效效果显著。

表5 提标改造前、后的单位能(物)耗对比

Tab.5 Comparison of energy and chemical consumption before and after upgrading

年份	万吨污水产泥量/ (t·10 ⁴ m ⁻³)	吨水电耗/ (kW·h·m ⁻³)	吨水药费/(元·m ⁻³)			
			碳源	除磷剂	污泥脱水剂	合计
2020年(1月—4月)	6.9	0.43	0.32	0.07	0.08	0.47
2021年(1月—4月)	3.6	0.36	0.24	0.06	0.04	0.34

6 结论

① 改良Bardenpho采用了厌氧区与缺氧区空间倒置、进水多点分布配水、增设消氧脱气、新型免停水维护的高效曝气系统等利于硝化、脱氮、降碳、除磷的改良设计。提标改造采用边运营、边施工方式,克服交叉作业与新旧衔接等困难。

② 改良Bardenpho-加砂澄清组合工艺,以及高压板框污泥深度脱水技术,针对高标准尾水(准IV类)、污泥减量化的应用良好,实际出水指标浓度基本在新排放限值的65%以下,污泥减量约48%。

③ 针对污水厂工艺短板精准把脉,最终达到提标稳效化、绿色低碳化、节水资源化、运行精细

化,改造后处理单位水量的电耗、药耗分别节约16%、28%,再生水回用率超过30%,年减少新鲜水耗量达 $550 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上。

参考文献:

- [1] 白王军,祝建中.某污水处理厂扩建及提标改造工程设计与运行[J].净水技术,2020,39(4):28-33.
BAI Wangjun, ZHU Jianzhong. Design and operation for extension and upgrading and reconstruction of a WWTP [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(4):28-33(in Chinese).
- [2] 刘强.五段AO+MBBR工艺应用于污水处理厂提标改造[J].中国给水排水,2019,35(16):53-57.
LIU Qiang. Application of five-stage AO+MBBR process in upgrading design of sewage treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(16):53-57(in Chinese).
- [3] 陈克玲,罗继武.百乐克(BIOLAK)工艺优化设计探讨[J].中国给水排水,2006,22(22):55-57.
CHEN Keling, LUO Jiwu. Discussion on the optimal design of BIOLAK process [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(22):55-57(in Chinese).
- [4] 北京市市政工程设计研究总院有限公司.给排水设计手册(第5册 城镇排水)[M].3版.北京:中国建筑工业出版社,2004.
Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd. Water & Wastewater Design Manual (Volume Five, Urban Wastewater)[M]. 3rd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004(in Chinese).
- [5] 王舜和,李朦,郭淑琴.多级AO与多模式AAO工艺在污水厂的应用对比[J].中国给水排水,2018,34(10):48-51,57.
WANG Shunhe, LI Meng, GUO Shuqin. Application and comparison between multistage AO and multi-mode AAO in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(10):48-51, 57(in Chinese).
- [6] 夏莉,彭建国,刘文彬.ACTIFLO高密度沉淀池应用于污水厂升级改造[J].水处理技术,2021,47(2):137-140.
XIA Li, PENG Jianguo, LIU Wenbin. Application of high density sedimentation tank of ACTIFLO in upgrading of sewage plant [J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(2):137-140(in Chinese).

作者简介:蒋富海(1983-),男,安徽怀宁人,硕士,高级工程师,从事污、废水运营技术精细化研发与管理工作。

E-mail:jafehy@163.com

收稿日期:2021-08-14

修回日期:2021-09-02

(编辑:衣春敏)

完善水利基础设施网络

增强水安全保障能力