

徐瑛, 赵欣萍, 张新彦, 等. 多样性技术路线实现更严格排放标准——以江苏省某污水处理厂提标改造工程为例[J]. 净水技术, 2024, 43(3):181-186.

XU Y, ZHAO X P, ZHANG X Y, et al. Diversified technical route for implementation of stricter discharge standard——Case of the upgrading and renovation project of a WWTP in Jiangsu Province [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(3):181-186.

## 多样性技术路线实现更严格排放标准——以江苏省某污水处理厂提标改造工程为例

徐 瑛<sup>1</sup>, 赵欣萍<sup>2,\*</sup>, 张新彦<sup>3</sup>, 商莉莉<sup>3</sup>

(1. 无锡市政公用环境检测研究院有限公司, 江苏无锡 214000; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074; 3. 无锡市水务集团有限公司, 江苏无锡 214000)

**摘 要** 江苏省《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)2018年6月1日正式发布实施。据此地方标准要求, 省内某污水处理厂于2020年年底完成了全厂提标改造, 目前出水达标且高效稳定运行。该厂污水处理设计总规模为30万m<sup>3</sup>/d, 已连续运行30多年, 期间历经2008年一级A升级改造, 部分设施设备建设及运行时间长, 实际处理规模有所下降。本次提标改造工程, 全面深入地开展了工艺运行效能评估与优化运行调研技术研究, 多方案比选并采用因地制宜的多样性技术路线, 通过有针对性增容提标、设备设施更新等全方位提标改造工作, 在厂区不停产正常运行情况下, 克服用地紧、工期短、改造难度大等各种困难, 实现了设计处理水量和高排放标准出水的双提标处理实效。文中介绍了该污水处理厂的工程改造设计概况、改造工艺流程及难点特点、主要设计参数, 分析了其运行效果和经济指标, 可为类似污水处理厂提标改造工程提供一定参考借鉴。

**关键词** 污水处理厂 太湖地区 排放限值 提标改造 技术路线

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2024)03-0181-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.03.022

## Diversified Technical Route for Implementation of Stricter Discharge Standard——Case of the Upgrading and Reconstruction Project of a WWTP in Jiangsu Province

XU Ying<sup>1</sup>, ZHAO Xinping<sup>2,\*</sup>, ZHANG Xinyan<sup>3</sup>, SHANG Lili<sup>3</sup>

(1. Wuxi Public Utilities Environment Testing Research Institute Co., Ltd., Wuxi 214000, China;

2. North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300074, China;

3. Wuxi Water Group Co., Ltd., Wuxi 214000, China)

**Abstract** Jiangsu Province's Discharge Standard of Main Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment & Key Industries of Taihu Area (DB 32/1072—2018) was officially released and implemented on 1 June 2018. According to the requirements of this local standard, a wastewater treatment plant (WWTP) in the province completed a plant-wide upgrading and reconstruction at the end of 2020, and the current effluent meets the standards and operates efficiently and stably. The total design scale of the WWTP's wastewater treatment is 300 000 m<sup>3</sup>/d. The WWTP has been running continuously for more than 30 years, during the period after the 2008 class A upgrading. The part of the facilities and equipment construction and operation has a long period of time, and the actual scale of treatment has decreased. This upgrading project has carried out comprehensive and in-depth technical research on process operation efficiency evaluation and optimization operation, and selected multiple schemes and adopted diversified technical routes according to local conditions. Through the comprehensive upgrading work such as targeted capacity increase and upgrading of equipment and facilities, under the condition of normal operation of the WWTP without stopping production, various difficulties such as tight land, short construction period and difficult transformation have been overcome, and the double upgrading treatment effect of the

[收稿日期] 2023-11-27

[作者简介] 徐瑛, 女, 高级工程师, 主要从事城市水处理技术管理、科技研发等工作, E-mail: 764443618@qq.com。

[通信作者] 赵欣萍, 女, 正高级工程师, 主要从事水处理方向设计工作, E-mail: zxp\_tj75@126.com。

designed water treatment and high discharge standard water has been achieved. The article introduces the engineering reconstruction design overview of the WWTP, transformation process and difficult features, the main design parameters, analyses of its operating results and economic indicators, which can provide a certain reference for similar WWTP upgrading and reconstruction projects.

**Keywords** wastewater treatment plant (WWTP) Taihu Area discharge standard upgrading and reconstruction technical route

近年来,随着我国对水环境保护和水生态治理高度重视,不断持续推进重点流域水环境综合治理工作,各地因地制宜制定主要污染物排放地方标准要求,意在有效提升污染物削减能力,切实改善水环境质量。为优化调整全流域产业结构,从根本上解决环境污染负荷与环境承载力之间的矛盾,促进太湖水质根本好转,江苏省《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)于2018年6月1日正式实施,要求太湖地区城镇污水厂出水执行本标准,其中,现有企业从2021年1月1日起执行,江苏省某污水处理厂提标改造工程迫在眉睫。本文以江苏省某污水处理厂改造工程为案例,重点介绍了多样性技术路线的高排放标准建设的设计应用。

## 1 提标改造工程概况

### 1.1 污水处理厂现状

江苏省某污水处理厂是某市第一座且规模最大、功能最齐全的城市污水处理厂,总设计规模为30万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,服务面积为80 $\text{km}^2$ ,受益服务面积人口达82万,厂区采用AAO处理工艺。污水处理厂分四期工程建设,一期工程最早于1988年8月开建,一二三期工程建设规模为20万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,四期工程建设规模为10万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,厂址分别位于梁塘河的南北两侧。在全面治理太湖流域水污染的大环境下,江苏省某污水处理厂于2008年完成了升级改造工程建设,全厂出水标准由原来的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B提高到一级A。

### 1.2 提标改造工程概况

江苏省某污水处理厂至今已运行30多年,历经2008年一级A升级改造,设施设备运行时间长,处理规模有所下降,在厂区不停产并确保原处理量的情况下,改造难度非常大。本次提标改造工程,全面深入地开展工艺全流程分析、设备设施等前期调研及评估<sup>[1]</sup>,因地制宜采用了改良Bardenpho工艺+高效沉淀池+深床滤池、Bardenpho工艺+气浮池+深床滤池等多样性技术路线,通过有针对性增容提标、设

备设施更新等全方位提标改造工作,于2018年—2020年年底完成了30万 $\text{m}^3/\text{d}$ 处理规模的厂区提标改造,达到江苏省《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)排放标准并高效稳定运行。

## 2 提标改造工艺分析及选择

### 2.1 工艺运行效能评估与优化运行技术研究

随着污水处理厂进水水质水量的变化、工艺配套设备、管道、仪表长期使用等,该厂开始出现“衰老”现象,陆续出现了一些问题亟待解决。为提高污水处理厂的运行效能,结合运行中存在的主要问题,以进水水质水量特性及达标难度分析为出发点,通过对工艺运行现状效能评估及污染物去除能力模拟分析,开展工艺现状评估与优化运行措施研究,为改造提供技术支持。在此基础上,系统梳理厂区现有问题,主要包括进水水质水量、工艺运行能力、配套设备仪表等方面,将“软件模拟”与“硬件优化”相结合,形成切实可行的优化方案。污水处理厂评估及运行优化技术研究路线如图1所示。

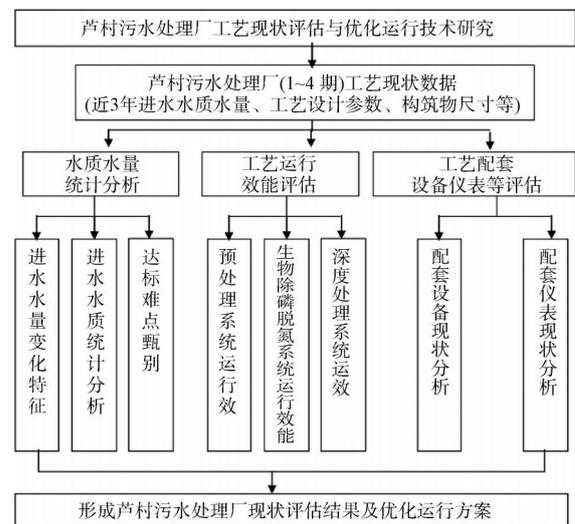


图1 污水处理厂评估及运行优化技术路线

Fig. 1 Technical Route of WWTP Assessment and Operation Optimization

### 2.2 可利用地块分析

江苏省某污水处理厂一二三期工程经过2008

年的升级改造后,厂区内已没有整块用地。四期工程厂区占地也十分紧张。因此,本次的提标改造工程用地主要是挖潜厂内的现有用地及充分利用四期工程的预留用地 20 亩(1 亩 $\approx$ 666.67 m<sup>2</sup>)。

### 2.3 设计进出水水质确定

参考某污水处理厂近一年的进水水质涵盖率 90% 时的指标值,并对比现状进水水质(表 1)及原

设计进水水质,最终确定本次提标改造工程的设计进水水质。提标后污水处理厂出水中的 COD<sub>Cr</sub>、氨氮、TN 和 TP 排放限值应达到《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)的要求,其他主要污染物指标参考一级 A 排放标准。污水处理厂设计进出水水质汇总如表 2 所示。

表 1 厂区现状进水水质

Tab. 1 Existing Influent Quality of WWTP

水质指标	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	氨氮	TN	TP
一二三期工程年均进水水质/(mg·L <sup>-1</sup> )	291.9	134.1	97.3	26.5	35.75	5.0
四期工程年均进水水质/(mg·L <sup>-1</sup> )	398	195	156	31.5	43	7.1

注:目前一二三期工程的污泥处理单元滤后和深度处理单元反冲洗废水汇入四期工程前端,导致四期工程进水水质浓度较高。

表 2 提标改造工程设计进出水水质

Tab. 2 Design of Influent and Effluent Quality for Upgrading and Reconstruction Project

水质指标	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	氨氮	TN	TP
一二三期工程设计进水水质/(mg·L <sup>-1</sup> )	450	195	160	37	48	8
四期工程设计进水水质/(mg·L <sup>-1</sup> )	500	300	250	35	55	8
设计出水水质/(mg·L <sup>-1</sup> )	40	10	10	3(5)	10(12)	0.3

注: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。

### 2.4 现状出水水质分析

根据近一年的出水统计数据可知,某污水处理厂一二三期工程和四期工程出水 TN 和 TP 与新标准要求差距较大,均主要集中体现在冬季。因此,在设计中将重点关注污水厂在冬季的运行及对生物池进行优化<sup>[2]</sup>,同时在深度处理单元中增加强化除磷单元。

### 2.5 多样性技术路线工艺思路分析

#### 2.5.1 分流量处理——减轻原处理负荷

经过核实,一二三期工程的生物池池容严重不足,影响了除磷脱氮的能力,需要分流量来减轻处理负荷。将一二三期工程中的 4 万 m<sup>3</sup>/d 来水分流至四期,在四期预留用地上新建一个处理能力为 4 万 m<sup>3</sup>/d 的全处理流程单元,同时也能使一二三期工程的分组改造顺利实施。

#### 2.5.2 充分挖潜原生物池处理能力

经过对一二三期工程分流量处理后,一二三期工程生物系统处理能力还有 2 万 m<sup>3</sup>/d 的差距,此部分差距需通过对一二三期工程生物池的改造及挖潜来解决<sup>[2]</sup>。将原有的传统 AAO 生物池改为具有强化除磷脱氮效果的改良 Bardenpho 工艺<sup>[3]</sup>,该工艺流程如图 2 所示。

#### 2.5.3 强化深度处理单元,因地制宜采用最佳处理路线

针对高标准的出水 TP 要求,某污水处理厂一

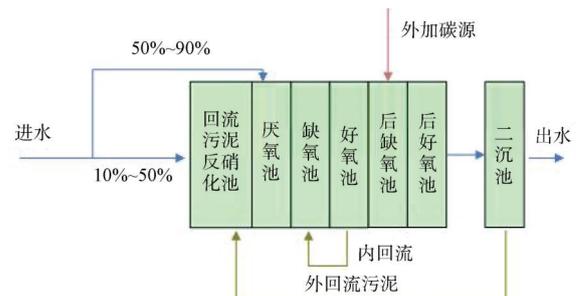


图 2 Bardenpho 工艺流程

Fig. 2 Process Flow of Bardenpho

二三期工程和四期工程均需强化深度处理单元。工程实施前在厂内开展了混凝沉淀和气浮小试,主要考察药剂投加量和 TP 出水指标,试验结果显示以上两种工艺均能满足处理要求。在确定推荐方案时,既要考虑工程的建设费用,也应充分结合新建池体的用地情况。最终某污水处理一二三期工程深度处理单元中采用高效沉淀池方案。四期工程深度处理单元中采用高架形式的气浮池方案以节省占地。

#### 2.5.4 充分挖掘原水中碳源,优化预处理单元

某污水处理一二三期工程和四期工程中均建有初沉池。通过对现状分析,某污水处理厂进水中碳源较欠缺,为了避免进一步削减碳源,初沉池没有运行,仅起到过水的作用。因此,改造中将初沉池改造成厌氧池,既增加了生物池池容,也提高了生物池进水中的碳源。

## 2.6 工艺设计

根据以上对本工程重点要素的分析,最终采用的整体处理工艺为一二三期工程中的4万 $\text{m}^3/\text{d}$ 分流至四期工程预留用地进行处理,使一二三期工程的分组改造可以顺利实施,最大程度上减少因改造对污水厂运行造成的影响。一二三期工程分流处理后的设计规模为16万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,四期工程设计规模为14万 $\text{m}^3/\text{d}$ 。一二三期工程和四期工程的处理工艺分别总结如下。

(1) 提标改造后的一二三期工程(16万 $\text{m}^3/\text{d}$ )

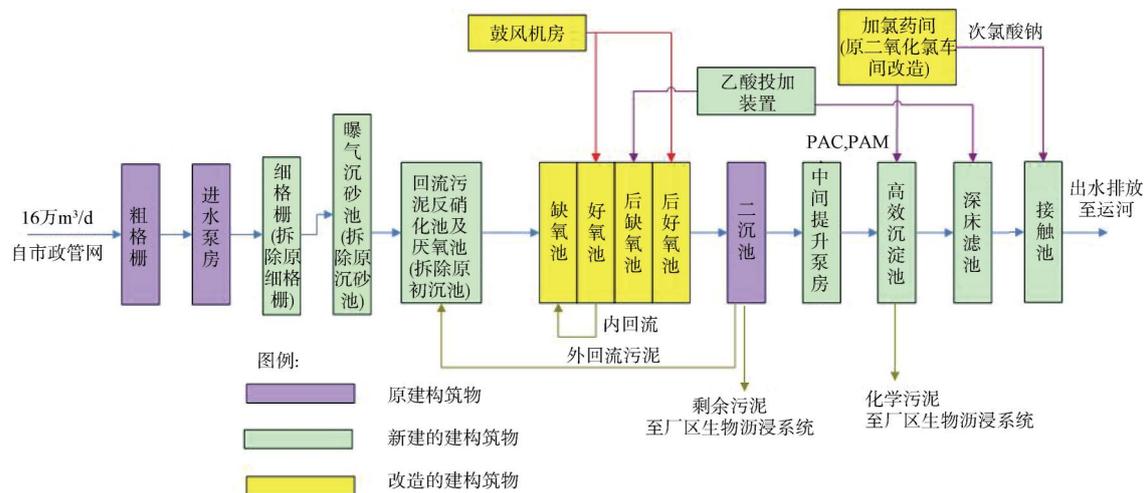
一二三期工程的整体处理工艺为将原有的曝气沉砂池和初沉池拆除,新建曝气沉砂池和新建生物池,同时将原有生物池进行改造,生物处理工艺采用具有强化除磷脱氮效果的改良 Bardenpho 工艺<sup>[3]</sup>。深度处理工艺为高效沉淀池+深床滤池。消毒工艺

为次氯酸钠消毒。

(2) 提标改造后的四期工程(10万 $\text{m}^3/\text{d}$ +4万 $\text{m}^3/\text{d}$ )

该污水厂四期工程中有两个系统,分别为原有的四期工程10万 $\text{m}^3/\text{d}$ 和新建的4万 $\text{m}^3/\text{d}$ 处理系统。原有四期10万 $\text{m}^3/\text{d}$ 工程的处理工艺为改造初沉池,作为4万 $\text{m}^3/\text{d}$ 生物池的部分池容,维持原有的 AAO 处理工艺,深度处理单元中增加气浮单元,以进一步增强化学除磷的能力,减少滤池的负担。消毒工艺为次氯酸钠消毒。新建4万 $\text{m}^3/\text{d}$ 系统的生物处理工艺,采用具有强化除磷脱氮效果的改良 Bardenpho 工艺<sup>[3]</sup>。深度处理工艺为气浮+深床滤池。消毒工艺为次氯酸钠消毒。

一二三期工程和四期工程的工艺流程如图3~图4所示。



注:PAC为聚合氯化铝,PAM为聚丙烯酰胺。

图3 一二三期厂区内的工艺流程

Fig. 3 Process Flow of Phase I, II and III in WWTP

## 2.7 主要构筑物设计参数

①四期工程(10万 $\text{m}^3/\text{d}$ )-初沉池改造:改造为4万 $\text{m}^3/\text{d}$ 生物池中的回流污泥反硝化池和厌氧池。水力停留时间为3.5 h,拆除原有刮泥机,采用立式搅拌器24台。

②四期工程(4万 $\text{m}^3/\text{d}$ )-新建生物池:包括缺氧池、好氧池、后缺氧池、后好氧池。整个生物池系统(含初沉池改造)总泥龄为14.3 d,总停留时间为21.8 h。采用立式涡轮搅拌器(用于缺氧池)8台,立式涡轮搅拌器(用于后缺氧池)6台,管式微孔曝气器达780 m,内回流泵6台(4用2备)。

③四期工程(4万 $\text{m}^3/\text{d}$ )-新建二沉池:采用周

进周出二沉池,共1座4池,设计表面负荷为1.13 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,停留时间为3.9 h。

④四期工程(4万 $\text{m}^3/\text{d}$ )-新建气浮池:采用浅层离子气浮池,共2座,为高架形式一体化设备,设计表面负荷为6 $\text{m}^3/\text{h}$ ,直径为16 m。采用高效微氧化强溶气装置2套,微气泡发生装置2套和浅层离子气浮装置2套及配套回流水泵、螺杆空压机。

⑤四期工程(4万 $\text{m}^3/\text{d}$ )-新建深床滤池:共设1座4格,设计滤速为7.51 $\text{m}/\text{h}$ 。

⑥四期工程(10万 $\text{m}^3/\text{d}$ )-新建气浮池:采用浅层离子气浮池,共2座,为高架形式一体化设备,设计表面负荷为7.7 $\text{m}^3/\text{h}$ ,直径为22 m。采用高效微

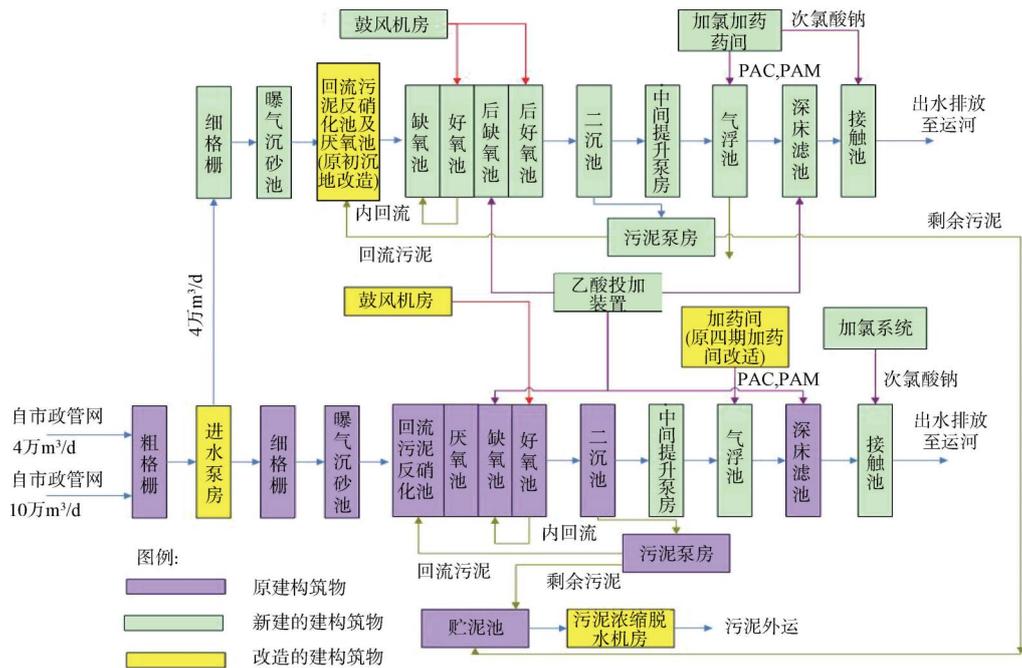


图4 四期厂区内的工艺流程

Fig. 4 Process Flow of Phase IV in WWTP

氧化强溶气装置4套,微气泡发生装置4套和浅层离子气浮装置2套及配套回流水泵、螺杆空压机。

⑦一二三期工程(16万 m<sup>3</sup>/d)-新建生物池:利用原有初沉池建设用地,新建2座生物池,包括生物池中的回流污泥反硝化池、厌氧池及部分缺氧池。停留时间为7.8 h,采用立式搅拌器36台。

⑧一二三期工程(16万 m<sup>3</sup>/d)-生物池改造:原生物池改造为缺氧池、好氧池、后缺氧池和后好氧池。主要改造内容包括对部分导流墙进行切割、拆除填料区现有推流器及年久失修的搅拌器、新增不锈钢进出水系统、重新布置池内曝气头。改造后生物池系统(含初沉池改造)总泥龄为22.2 d,总停留时间为20.8 h。

⑨一二三期工程(16万 m<sup>3</sup>/d)-新建高效沉淀池:采用混凝反应沉淀一体化池体,共4池,设计表面负荷为13.4 m/h。采用混凝搅拌器8台,絮凝搅拌器4台,刮泥机4台和斜管4套,配套回流污泥泵和排泥泵。

⑩一二三期工程(16万 m<sup>3</sup>/d)-新建深床滤池:共设1座12格,设计滤速为7.51 m/h。

因厂内布置紧凑,建筑物构筑物间距小,且厂内管网密度大,布局复杂,尤其是在一二三期改造时只能在狭窄的空间区域内施工,难度较大。在工程实施过程中,采用统筹考虑,分段实施的方式,结合污水处理工艺优化施工程序,确保旧管拆除、新管及阀门安装过程中污水处理系统正常运行,通过水下作业、局部超越等措施,最大程度地缩短停水持续时间,基本实现“不停水”改造。

### 3 处理效果

江苏省某污水处理厂经过提标改造后于2021年底投入试运行。从2021年12月26日—2023年4月25日的运行数据可知,某污水处理厂提标效果良好,出水稳定达标排放,主要出水指标同时还能满足江苏省于2022年年底颁布的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 32/4440—2022)。实际出水水质如表3和表4所示。

表3 提标改造后一二三期工程出水水质

Tab. 3 Effluent Quality for Phase I, II, and III Project after Upgrading and Reconstruction

指标	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	TN	氨氮	TP
出水指标最低值/(mg · L <sup>-1</sup> )	9.40	1.00	5.00	3.94	0.08	0.02
出水指标最高值/(mg · L <sup>-1</sup> )	30.40	6.64	5.00	9.76	1.48	0.15
出水指标平均值/(mg · L <sup>-1</sup> )	16.42	2.38	5.00	6.82	0.28	0.06

表 4 提标改造后四期工程出水水质  
Tab. 4 Effluent Quality for Phase IV of Project after Upgrading and Reconstruction

指标	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	TN	氨氮	TP
出水指标最低值/(mg·L <sup>-1</sup> )	10.10	1.01	5.00	3.24	0.08	0.03
出水指标最高值/(mg·L <sup>-1</sup> )	26.80	4.55	5.00	10.00	0.88	0.18
出水指标平均值/(mg·L <sup>-1</sup> )	15.85	1.59	5.00	6.83	0.23	0.06

#### 4 工程投资及增加成本

项目总投资约为 50 957 万元,一类工程费为 43 052 万元。运行成本中增加了电耗、药剂消耗和定员数量等。本工程进行提标改造后吨水经营成本合计 1.1 元。

#### 5 结论

本提标改造工程建设,属于江苏省太湖流域较早成功提标的大型污水处理厂之一。工程设计中能先行开展全面深入调研,充分分析厂内现状情况,对现有构筑物等深度挖潜利用,在有限的用地条件下选择因地制宜的工艺路线,保障出水达标的同时也做到了用地集约、低碳节能、安全环保。

工程特点如下。

(1)提标改造设计前,建议先行开展现状污水处理厂能效评估与优化运行措施研究,系统梳理厂区运行水质水量、设备设施状况、工艺运行能力等问题,为改造工程设计及工程实施提供技术支撑。

(2)提标改造工程在提升水质的同时,需对厂内现有处理构筑物等进行核算分析评估,充分挖潜。若有用地则尽量同步开展污水处理能力水量的提升改造,以满足运行整体要求,实现设计处理水量和高排放标准出水水质的双提标处理实效。

(3)技术路线多样性优选。本次提标改造工程,因地制宜地采用了改良 Bardenpho 工艺+高效沉淀池+深床滤池、Bardenpho 工艺+气浮池+深床滤池等多样性技术路线,并结合项目自身特点在设计细节处创新创优,通过有针对性开展增容提标、设备设

施更新等全方位提标改造工作,运行至今,出水稳定达标。

(4)深度协同、不停产改造。项目本底复杂,现状工艺系统改造、管线切改,电气系统改造及切换,均在几乎不停产的条件下进行。与运营单位深度沟通改造实施方案,各专业在协同匹配建设进度的基础上优化设计。

#### 参考文献

- [ 1 ] 李激,王燕,罗国兵,等. 城镇污水处理厂一级 A 标准运行评估与再提标重难点分析[J]. 环境工程, 2020, 38(7): 1-12.
- LI J, WANG Y, LUO G B, et al. Operation evaluation of urban sewage treatment plants implementing grade I-A standard and analysis on emphasis and difficulties in upgrading the standard [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(7): 1-12.
- [ 2 ] 李家驹,郑兴灿,李鹏峰,等. 基于新地方标准的城镇污水处理厂提标调研方案[J]. 环境工程, 2020, 38(7): 13-18.
- LI J J, ZHENG X C, LI P F, et al. Research scheme and problems identification of urban sewage treatment plants based on new local standard [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(7): 13-18.
- [ 3 ] 金涛,刘晓静,马文明,等. 更严格排放标准下低温条件的某新建污水处理厂工程设计与运行[J]. 净水技术, 2023, 42(9): 168-175.
- JIN T, LIU X J, MA W M, et al. Engineering design and operation of a newly-built WWTP under stricter discharge standard at low temperature [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(9): 168-175.

(上接第 80 页)

WANG Y T, LIU J L, ZHANG T J. Study on the causes of high alkali water in the middle route of south-to-north water diversion project and its emergency treatment technology [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(4): 14-20.

- [ 4 ] 贺晓娟,袁本松,黄保平,等. 高 pH 湖泊水处理中残余铝的

影响因素及控制措施[J]. 净水技术, 2019, 38(3): 51-55.

HE X J, YUAN B S, HUANG B P, et al. Influence factors and control measures of residual aluminium in treatment of high pH value lake water [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(3): 51-55.