

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.14.013

芜湖市某污水处理厂二期提标扩容工程设计

盖 鑫

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 芜湖市某污水处理厂现状(一期)规模 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,出水执行国家一级A排放标准。本次二期工程将污水厂总规模扩容至 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,出水水质提标至地表水准Ⅳ类标准。二期扩建采用改良Bardenpho生物反应池+磁混凝高效沉淀池+反硝化深床滤池工艺;对一期厂区现状多模式AAO反应池进行内部挖潜,投加悬浮填料,以强化硝化反硝化效果。实际运行表明,出水水质可稳定达标。本工程总投资39 737.47万元,新增单位经营成本1.47元/ m^3 。

关键词: 污水处理厂; 扩容提标; 改良Bardenpho

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)14-0080-05

Design of a Wastewater Treatment Plant Phase II Upgrading and Expansion Project in Wuhu City

GAI Xin

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: The current scale of a wastewater treatment plant in Wuhu City is $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and its effluent quality was required to meet the first level A limit specified in the discharge standard. In the phase II project, the total scale of the wastewater treatment plant was expanded to $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the effluent quality was upgraded to the quasi class IV limit specified in the surface water standard. The process consisting of modified Bardenpho biological reactor, magnetic coagulation high efficiency sedimentation tank and denitrification deep bed filter was adopted in the phase II expansion project. The potential of the existing multi-mode AAO reactor in the phase I project was tapped through adding suspended carriers, so as to enhance the nitrification and denitrification performance. Actual operation showed that the effluent quality met the discharge standard stably. The total investment of the project was 397.374 7 million yuan, and the unit operating cost was increased by 1.47 yuan/ m^3 .

Key words: wastewater treatment plant; upgrading and expansion; modified Bardenpho

1 项目概况及工艺流程

1.1 工程概况

芜湖市某污水处理厂现状规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,占地面积约 9.48 hm^2 ,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级A标准。

现状污水处理工艺为粗格栅→进水泵房→细格栅→旋流沉砂池→多模式AAO生物反应池→普

通高效沉淀池→反硝化深床滤池→消毒池。污泥经离心脱水后外运焚烧发电综合利用。

现状尾水在长江低水位时,重力自排厂区北侧天子港水系(自排口),进行补水,最终由漕港排灌站和麻浦桥排灌站进入漳河;长江高水位时,由出水泵房提升后排入长江(机排口)。具体尾水排放路径如图1所示。

本次扩建规模 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,总变化系数1.30,

扩建完成后污水厂总规模达 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 远期规划总规模 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。新增用地位于现状厂区西侧, 占地面积约 6.39 hm^2 。本工程总服务面积约 100 km^2 , 以生活污水为主。本工程机排口位于长江饮用水水源保护区, 为满足饮用水水源保护区“改建建设项目, 不得增加排污量”的要求, 以及“长江流域 2020 年要消除劣 V 类水”的目标, 本次扩容提标后, 部分出水水质指标需提升至地表水 IV 和 V 类标准, 其余指标执行一级 A 标准, 具体设计进、出水水质如表 1 所示。

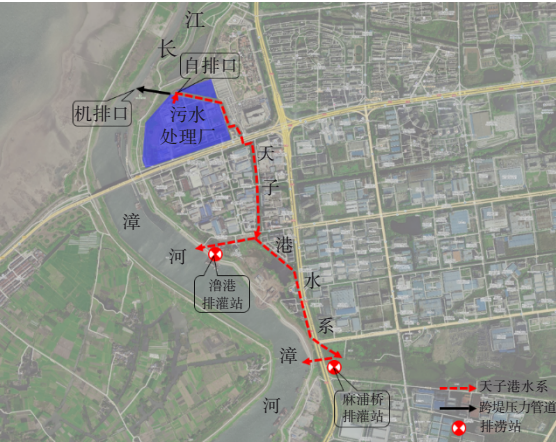


图 1 尾水排放路径

Fig.1 Tail water discharge path

表 1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项 目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
设计进水	360	170	230	30	35	5.0
现状设计出水	50	10	10	5(8)	15	0.5
扩容提标后设计出水	30	10	10	2	10	0.4

污水处理厂平面布置见图 2。

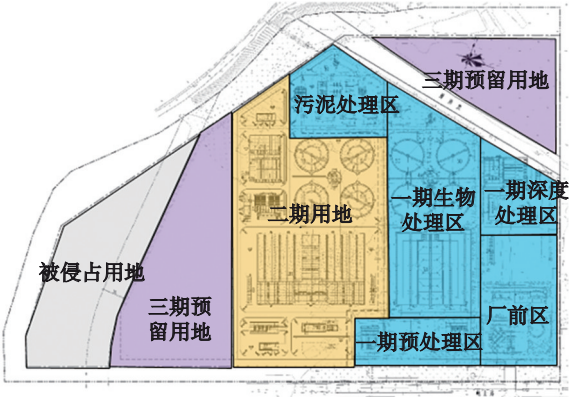


图 2 污水处理厂平面布置

Fig.2 Plane layout of the wastewater treatment plant

1.2 重点、难点分析

① 出水标准高

本工程出水水质执行标准优于一级 A 排放标准, 为芜湖市最严排放标准。其中 COD 指标需达到地表水 IV 类标准 (30 mg/L), $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 指标需达到地表水 V 类标准 (分别为 2 mg/L 和 0.4 mg/L), TN 需达到 10 mg/L 。

选择科学、有针对性的处理工艺是本次扩容提标的关键。

② 用地紧张

污水处理厂远期还将扩建 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 但受漕港闸工程建设的影响, 远期部分用地已被占用。为确保三期工程有地可用、土地够用, 本工程二期厂区总体方案应尽可能紧凑布置。合理优化构筑物之间的空间, 辅助设施利用构筑物上方的空间合建布置, 以缩减二期用地。

1.3 技术路线

本工程出水对 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 的要求较为严格, 需重点考虑除碳和脱氮。

污水处理厂进水主要为生活污水, 可生化性较好, 现状厂区实际出水 COD 日均值低于 27 mg/L 。本工程要求设计出水 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$, 后续深度处理若采用臭氧催化氧化或活性炭吸附工艺, 则可能长期处于超越状态, 投资浪费。本次生物反应池考虑选用具有延时曝气特点的池型, 以强化有机物的氧化和有机氮的去除。同时, 考虑到远期可能出现的水质特性变化等不确定因素, 为保证污水处理厂出水 COD 稳定达标, 混凝沉淀段预留投加粉末活性炭。

为尽量将脱氮控制在二级处理段完成^[1], 本次选用改良 Bardenpho 池型; 同时, 后续深度处理配备反硝化深床滤池, 作为保证措施。延时曝气对生物除磷不利, 因此深度处理段选用磁混凝高效沉淀池型。

具体工艺流程见图 3。

现状一期工程二级生物处理段采用多模式 AAO 工艺, 总停留时间 12.36 h , 深度处理段采用普通高效沉淀池+反硝化深床滤池工艺, 为达到最新排放要求, 二期工程考虑对现状生物反应池缺氧区及好氧区进行挖潜改造, 增加填料, 增设推流器, 以提高缺氧区及好氧区的处理能力, 强化除碳和脱氮效果。

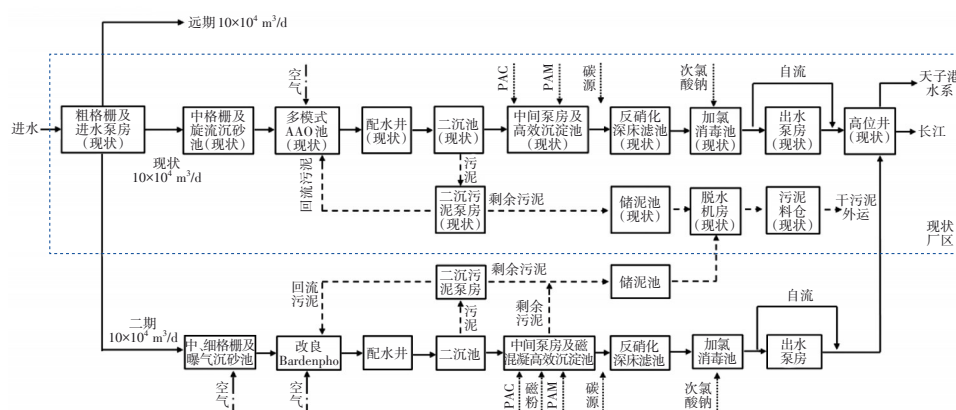


图3 污水处理厂工艺流程

Fig.3 Process flow chart of the wastewater treatment plant

2 主要单体设计

① 中、细格栅及曝气沉砂池

新建中、细格栅及曝气沉砂池 1 座, 设计规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。中格栅采用 8 mm 间隙的回转式固液分离机; 细格栅采用 3 mm 孔径的网板式格栅; 曝气沉砂池峰值流量停留时间约 7.5 min。

② 改良 Bardenpho 生物反应池

新建改良 Bardenpho 生物反应池 1 座, 规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 2 组。在厌氧区和第一缺氧区各设 1 处进水点, 可根据不同情况合理分配进水量, 同时满足脱氮和除磷对碳源的需求; 每组各设 1 条内回流渠, 由调节区回流至第一缺氧区进水点; 设 1 条外回流渠, 在两组厌氧区进水处各设 1 处外回流点。生物反应池进行加盖除臭, 厌氧区、第一缺氧区及第二缺氧区采用土建加盖形式, 顶部覆土并绿化。第一好氧区、调节区及第二好氧区采用拱形玻璃钢盖板加盖。生物反应池布置见图 4。设计参数见表 2。

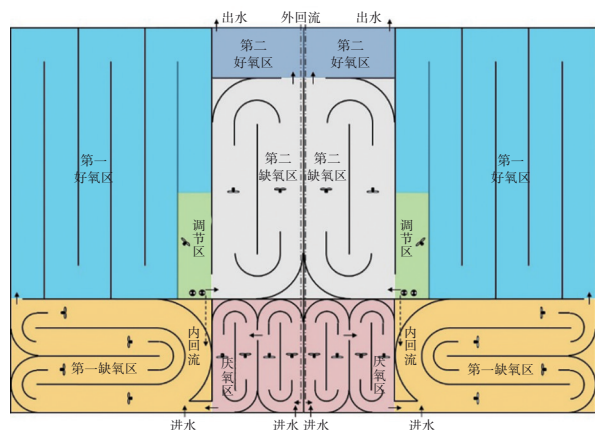


图4 改良 Bardenpho 生物反应池平面布置

Fig.4 Plane layout of modified Bardenpho biological reactor

表2 改良 Bardenpho 生物反应池设计参数

Tab.2 Design parameters of modified Bardenpho biological reactor

设计参数	参数值
设计泥龄/d	16.82
有效水深/m	6.0
污泥负荷/($\text{kgBOD}_5 \cdot \text{kg}^{-1} \text{MLSS} \cdot \text{d}^{-1}$)	0.071
MLSS/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.0
污泥产率/($\text{kgDS} \cdot \text{kg}^{-1} \text{BOD}_5$)	0.84
总停留时间/h	18.0
厌氧区停留时间/h	1.5
第一缺氧区停留时间/h	4.0
第一好氧区停留时间/h	9.5
调节区停留时间/h	1.0
第二缺氧区停留时间/h	1.5
第二好氧区停留时间/h	0.5
气水比	7.20:1
外回流比/%	50~100
内回流比/%	200

③ 二沉池

新建辐流式中进周出二沉池 4 座, 单座设计规模 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 峰值流量表面负荷为 $0.85 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

④ 磁混凝高效沉淀池

新建磁混凝高效沉淀池 1 座, 设计规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 分 2 组。由混合池、混凝池、加载反应池、絮凝池及斜板沉淀区组成, 沉淀区峰值流量表面负荷为 $18.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 平均流量表面负荷为 $14.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

⑤ 反硝化深床滤池

新建反硝化深床滤池 1 座, 设计规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 分 8 格。滤床深度 2.44 m, 设计平均滤速 5.58 m/h, 平均强制滤速 6.37 m/h。

⑥ 现状多模式 AAO 生物反应池改造

本工程维持现状多模式 AAO 生物反应池厌氧区、缺氧区池容不变,将部分好氧区划分为缺/好可调区和好氧填料区,优先满足缺氧区停留时间的需求,在好氧填料区投加好氧悬浮填料。改造前、后各区停留时间见表 3。

表 3 多模式 AAO 生物反应池改造前、后停留时间

Tab.3 HRT of multi-mode AAO reactor before and after reconstruction h

项 目	现状	改造后
厌氧区	1.61	1.61
缺氧区	2.41	2.41
可调区		1.89
好氧区	8.35	6.46
总计	12.37	12.37

3 运行效果及经济分析

本工程自 2021 年 6 月竣工验收以来,各项出水指标均能稳定达到设计标准。2021 年 7 月—2022 年 9 月实际进、出水指标平均值见表 4。

表 4 扩容提标后实际进、出水水质

Tab.4 Actual influent and effluent quality after expansion and upgrading $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	148.3	70.3	155.6	18.6	27.4	3.3
出水	11.0	6.2	6.8	0.1	6.9	0.1

本工程总投资 39 737.47 万元,其中第一部分工程费用 31 489.17 万元。本工程完成后,污水处理厂新增单位处理成本 2.10 元/ m^3 ,新增单位经营成本 1.47 元/ m^3 。

4 设计总结

4.1 高标准出水工艺的选择

与一级 A 标准相比,准 IV 类水标准对碳氧化、脱氮和除磷提出了更高的要求^[2-4]。

本工程要求出水 $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N} \leq 2 \text{ mg/L}$ 。脱氮应尽可能控制在生物反应池内完成,目前应用较多的有多段 AO 池型和改良 Bardenpho 池型。多段 AO 池型一般进水点多,对污水中现有碳源利用率高,但实际分配复杂,且每段 AO 停留时间较短,前端 O 池曝气过量易导致后端 A 段无法形成缺氧状态;改良 Bardenpho 池型在传统 AAO 后增加了一段 AO,第二缺氧段未设置进水点,一般需要投加碳源^[5],污水中现有碳源利用率不及多段 AO 工艺,但

反应池未零碎切割,易形成好氧、缺氧状态,运行简单。本工程扩建厂区二级生物处理选用改良 Bardenpho 工艺。目前,我国环保执法要求污水厂出水瞬时值需达标,为确保出水 TN 稳定达标,本工程深度处理段选用反硝化深床滤池工艺,作为预留手段。

本工程要求出水 $\text{TP} \leq 0.4 \text{ mg/L}$ 。延时曝气不利于生物除磷,故深度处理段需强化化学除磷,可选用加介质混凝沉淀工艺,常见的有磁混凝和加砂高效沉淀池。加砂高效沉淀池最早由威立雅引进国内^[6];磁混凝技术厂家较多,如青岛洛克、安乐、北京科迈等。两者总投资相差不大,日常运行均需补充添加介质。加砂高效沉淀池可以做到更高的负荷,目前已有一体化成套设备供应,集成度高;但是,加砂沉淀池对微砂级配要求较高,厂家偏少,采购相对困难。本工程混凝沉淀工艺选用磁混凝高效沉淀池。

本工程要求出水 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$,对于进水中工业废水占比高的污水厂,若出水 COD 要求降低至 30 mg/L 以下,深度处理段需增设去除难降解有机物的措施,目前应用较多的有臭氧氧化、活性炭吸附工艺。这两种工艺建设成本和运营费用都很高^[7-8]。具体到本项目,污水厂进水以生活污水为主,现状厂区实际出水 $\text{COD} \leq 27 \text{ mg/L}$ 。与现状厂区多模式 AAO 工艺相比,扩建厂区二级处理段选用延时曝气工艺,具有更强的碳氧化能力,若深度处理段采用臭氧氧化或活性炭吸附工艺,构筑物将长期闲置。因此,本工程仅在高效沉淀段预留投加粉末活性炭设施,在出水 COD 达标有压力时可迅速响应。

4.2 现状厂区提标的思考

现状厂区建设规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,多模式 AAO 生物反应池总停留时间 12.37 h,缺氧段仅 2.41 h,停留时间偏短,厂区出水执行一级 A 标准。为确保一、二期厂区整体出水达到地表水准 IV 类标准,可采用减量提标和内部挖潜两种思路。减量提标会造成整个二期工艺线投资和运营成本增加,且现状厂区部分深度处理段闲置,因此本项目选用内部挖潜的思路,在现状生物反应池内投加悬浮填料,强化处理效果。

4.3 绿色低碳设计

本工程设计阶段拟在生物反应池厌氧区、缺氧区顶部土建加盖,覆土并绿化,提高景观效果。在

后续施工阶段,经与建设单位沟通,将反应池土建加盖区上部方案调整为光伏设备区,可为污水处理厂提供清洁绿色能源,为实现“双碳”目标助力。

5 结语

芜湖市某污水处理厂二期扩建厂区采用改良Bardenpho生物反应池+磁混凝高效沉淀池+反硝化深床滤池工艺;对一期厂区现状多模式AAO反应池进行内部挖潜,投加悬浮填料,以强化硝化反硝化效果。实际运行表明,出水水质可稳定达标。

参考文献:

- [1] 陈秀成. 嘉兴联合污水处理厂提标改造工程设计及经验总结[J]. 中国给水排水, 2020, 36(4): 47-52.
CHEN Xiucheng. Design and experience summary of the upgrading project of Jiaxing united wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(4): 47-52(in Chinese).
- [2] 祝君乔. 无锡市新城污水处理厂提标改造工程实践[J]. 中国给水排水, 2010, 26(16): 29-31.
ZHU Junqiao. Upgrading and reconstruction of Wuxi Xincheng wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(16): 29-31(in Chinese).
- [3] 高陆令. 江边污水处理厂二期扩建及升级改造工程设计方案[J]. 净水技术, 2013, 31(2): 88-93.
GAO Luling. Design scheme of second phase renovation project of expansion and upgrading construction in Jiangbian wastewater treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2013, 31 (2) : 88-93 (in Chinese).
- [4] 陈爱朝,王海峰,周继,等. 七格污水处理厂提标改造工程设计[J]. 中国给水排水, 2016, 32(24): 118-121.
CHEN Aichao, WANG Haifeng, ZHOU Ji, et al. Design of upgrading and reconstruction project of Qige wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(24): 118-121(in Chinese).
- [5] 王延萍. Bardenpho 工艺与多级 AO 工艺对比分析[J]. 天津建设科技, 2019, 29(6): 41-43.
WANG Yanping. Comparative analysis of Bardenpho process and multi-stage AO process [J]. Tianjin Construction Science and Technology, 2019, 29 (6) : 41-43(in Chinese).
- [6] 李伟进,唐孝国,平文凯. 新型 Actiflo®加砂高速沉淀池及其工程应用[J]. 中国给水排水, 2010, 26(6): 55-57.
LI Weijin, TANG Xiaoguo, PING Wenkai. Introduction and application of Actiflo® rapid settler with micro-sand [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(6): 55-57 (in Chinese).
- [7] 栗文明,白永刚,周军,等. 臭氧催化氧化应用于工业园区污水处理厂深度处理工艺的选择及设计[J]. 给水排水, 2019, 45(5): 90-93.
LI Wenming, BAI Yonggang, ZHOU Jun, et al. Selection and design of catalytic ozonation in wastewater advanced treatment of industrial park [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45 (5) : 90-93 (in Chinese).
- [8] 高伟楠. 高出水标准下的再生水厂 COD 深度处理工艺比选[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 58-61.
GAO Weinan. Comparison and selection of advanced treatment process for COD removal from reclaimed water plants with high effluent quality [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10): 58-61(in Chinese).

作者简介:盖鑫(1990-),男,江苏扬州人,硕士,工程师,主要从事城市排水工程设计与研究工作。

E-mail:gaixin@smedi.com

收稿日期:2022-10-12

修回日期:2022-11-07

(编辑:孔红春)

以水定需,量水而行,促进水资源可持续利用