

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.16.010

苏州某水厂深度处理二期改扩建工程设计

张晏晏

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘 要: 苏州某水厂由于新征建设用地无法落实,二期深度处理改扩建工程只能调整为在厂前区建筑物的地块内建设。经过工艺进一步比选,二期深度处理仍采用与一期相同的臭氧生物活性炭工艺。为满足水厂 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模深度处理全覆盖需求,将已建一期深度处理综合池规模由原来的 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 改建至 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,并由原对应二期常规处理系统($25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)改为对应一期常规处理系统($35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$);新建二期深度处理综合池规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,对应二期常规处理系统。本工程调整了水力流程和外部管线以适应由用地变更导致的常规处理生产线对应关系的变化。改造后,出水水质符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),出厂水 COD_{Mn} 平均值由 1.36 mg/L 降至 1.34 mg/L ,浊度由 0.28 NTU 降至 0.24 NTU ,氨氮始终低于检测限值。

关键词: 深度处理改造; 建设场地调整; 臭氧生物活性炭

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)16-0063-05

Design of Advanced Treatment Phase II Reconstruction and Expansion Project of a Waterworks in Suzhou

ZHANG Yan-yan

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

Abstract: Due to the newly acquired land expropriation cannot be carried out in a waterworks in Suzhou, the phase II advanced treatment reconstruction and expansion project can only be constructed in a small built-up area in front of the plant. After further selection of the treatment process, an ozone biological activated carbon process identical to that of phase I project was still used in the phase II project. In order to increase the total advanced treatment capacity of the plant to $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, treatment capacity of phase I advanced treatment comprehensive tank was transformed from $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ to $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the original corresponding phase II conventional treatment system ($25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) was changed to the corresponding phase I system ($35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$). The treatment capacity of new phase II advanced treatment comprehensive tank was designed to be $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, which was corresponding the phase II conventional treatment system. Hydraulic process and external pipelines were adjusted to adapt to the change of the corresponding relationship of conventional processing line caused by land use change. After the transformation, effluent quality met *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006), COD_{Mn} in the effluent was reduced from 1.36 mg/L to 1.34 mg/L , turbidity decreased from 0.28 NTU to 0.24 NTU , and ammonia nitrogen was always lower than the detection limit.

Key words: reconstruction of advanced treatment; adjustment of construction field; ozone

基金项目: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司科研专项(K2021K050、K2020K052A)

biological activated carbon process

1 工程概况

1.1 常规处理系统

苏州某水厂设计总规模 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 一期工程规模 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; 二期工程规模 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 水厂具备排泥水处理系统。

1.2 一期深度处理系统

水厂深度处理工程(一期)项目已建成, 设计规模 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。包括配水井及预臭氧接触池、深度处理综合池(一期)(提升泵房、反冲洗泵房、鼓风机房、后臭氧接触池、活性炭接触池和清水池)、臭氧制备车间等。

1.3 原深度处理系统分步实施计划

厂内预留建设场地非常有限, 无法满足建设

$60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模深度处理池的用地需求, 还需向北侧围墙外征地约 1.4 hm^2 。

由于征地需要审批时间, 一期工程设计时, 考虑深度处理系统分步实施:

第一步: 先期实施 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模深度处理综合池(一期); 同步实施 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模配水井及预臭氧接触池; $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模臭氧制备车间及液氧站。

第二步: 落实征地后再实施 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模后臭氧接触池、活性炭滤池、提升泵房、叠合清水池; 配套在臭氧制备车间增设相应设备。

现状第一步已完成, 第二步待实施。一期深度处理建成后工艺流程见图1。

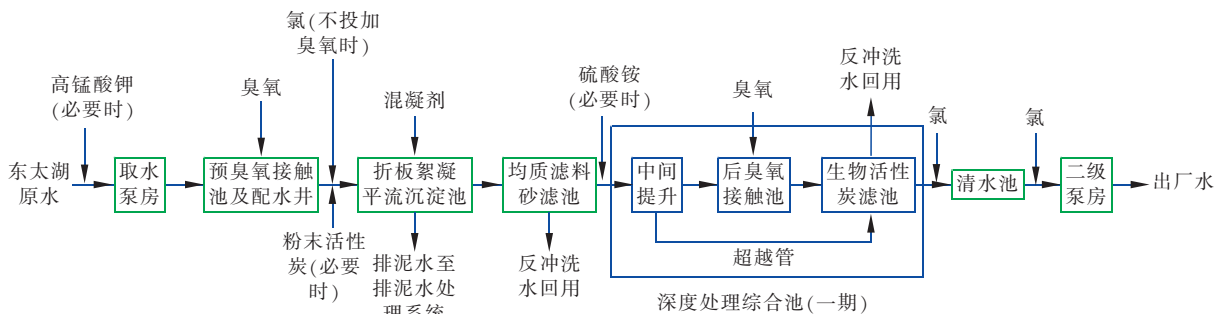


图1 水厂一期深度处理建成后工艺流程

Fig.1 Process flow chart of completed phase I advanced treatment project of waterworks

1.4 建设用地变更

经与政府部门沟通, 水厂北侧围墙外规划预留 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模建设征地无法落实, 为响应江苏省政策要求, 建设方决定在厂内拆除厂前区所有建筑, 以满足二期深度处理工程的用地要求。

2 针对用地变更的重新布置

2.1 一期深度处理系统的适应性考虑

现状二期 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模与一期 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模二条水处理系统均独立运行, 只在三组清水池后连通。

现状一期 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模深度处理系统对应二期常规处理系统, 在一期深度处理工程设计时, 已考虑在水力流程及设计参数的选取上能够适应 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的处理能力。

2.2 用地变更带来的问题

由于建设用地的变更, 水厂深度处理格局将发

生变化, 主要存在以下问题:

首先, 厂前区的地块面积无法满足设置 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模深度处理系统的建设用地要求。

其次, 水厂 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模常规处理生产线位于厂区北部, $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模常规处理生产线位于厂区南部, 二条水处理生产线独立运行。为匹配现状水处理生产系统的运行要求, 原规划将二期 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 深度处理系统布置在一期 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 深度处理系统北侧(见图2)。建设用地调整后, 二期深度处理系统只能设置于一期深度处理系统处理南侧, 则布局与常规处理二条生产系统的处理能力无法匹配。同时还需在深度处理系统前增设配水井等调流设施。而深度处理进出水生产管线在深度处理一期工程时已做实施及预留, 因此在接管条件、水力流程及建设用地上尚无法满足增设配水井等调流设施的要求。

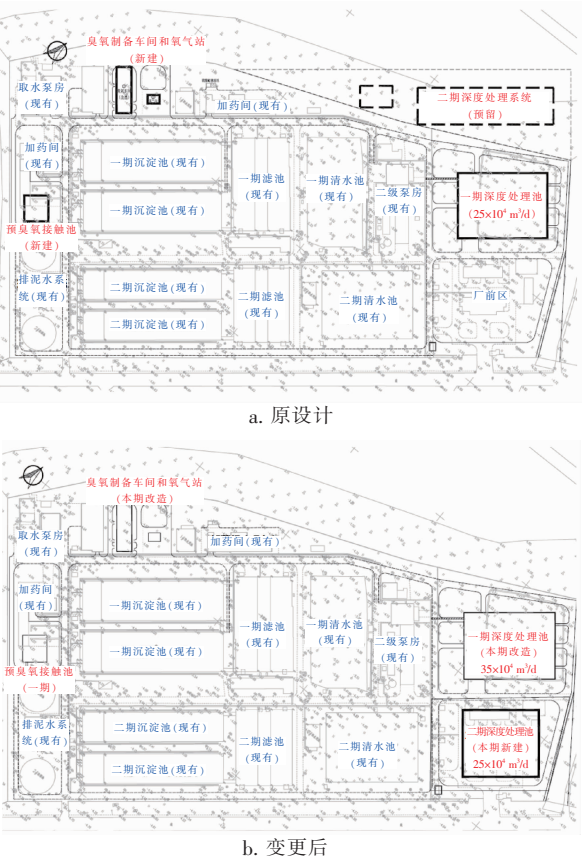


图2 水厂深度处理系统与常规处理生产线对应关系
Fig.2 Corresponding relationship between advanced treatment systems and conventional treatment systems in waterworks

2.3 重新布置

已经建成的 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模深度处理系统已考虑适应 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的水处理能力,因此有条件通过泵机设备改造实现扩建。

同时通过对深度处理一期工程已设置的局部预留接口及隔断阀门的改造调整,可满足场地调整后二期深度处理系统设置于南侧地块的接管要求。

厂内拆除原厂前区辅助建筑后的建设地块能够满足建设 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 深度处理系统的平面布置要求,在此区域设置 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模的深度处理系统后,加上改造至 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模一期深度处理工程系统,可满足水厂 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 全面实施深度处理的要求,二条深度处理系统规模与水厂现状常规处理生产线匹配对应。具体见图 2(b)。

3 深度处理工程工艺的确定

3.1 水质分析

一期工程中对 2011 年—2015 年的原水水质指标进行了分析,表明该水厂原水存在一定的有机污

染。在夏季 7 月、8 月、9 月三个月东太湖水源地极易发生藻类过度繁殖现象。

对 2015 年后一些主要水质指标的分析表明,本工程原水具有以下特点:

原水浊度有短期较高的现象,月最高值可达 424 NTU;氨氮的平均值不高,最高值也仅为 0.65 mg/L;耗氧量 (COD_{Mn}) 平均值和最大值都略高,平均值总体在 5 mg/L 以下,最大值 5.84 mg/L。

原水藻类产生的臭味物质在夏季 7 月、8 月、9 月三个月仍有短时暴发现象,且最高值逐年升高。

可见,2015 年以来原水水质与一期时基本一致,因此确定其净水工艺应与一期工程保持一致。近年来藻类代谢物质有升高趋势,应考虑水质下降的可能性,且重点考虑对藻类及某些超标物质的去除和控制。

3.2 工艺进一步比选

一期工程采用技术成熟,运行稳定,对氨氮、有机物、藻类去除效果好^[1-2]的后置式臭氧生物活性炭深度处理工艺。近年来随着膜元件的国产化和价格降低,纳滤膜已逐渐发展成为一种新的深度处理工艺^[3],因此对臭氧生物活性炭工艺及纳滤膜工艺进行了对比分析(见表 1)。

表 1 深度处理工艺对比

Tab.1 Comparison of advanced treatment processes

项目	臭氧生物活性炭工艺	纳滤处理工艺
臭味物质去除效果	原水 2 - MIB 350 ng/L 条件下,1.5 mg/L 预臭氧投加量,去除率 98%	原水 2 - MIB 250 ng/L 条件下,去除率 99%
耗氧量去除率/%	60	80
基建投资/(元·m ⁻³)	520	750
运行费用/(元·m ⁻³)	0.133	0.387
管理维护和工程经验	有丰富的运行和工程经验	缺少实际生产运行和工程经验。系统复杂。参照海水淡化厂
对砂滤池出水要求	没有特殊要求	SDI < 5
浓水	无	有 5% 处理水量的浓水,水质暂无法达到纳管排放要求,需处理
水耗	反冲洗水全部回用	有 5% 处理水量的水耗
前置构筑物负荷	需提供 $25.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 进水量	需提供 $26.85 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 进水量
材料价格趋势	活性炭价格逐年上升	纳滤膜价格逐年下降
水温	有影响	影响较大

纳滤工艺主要缺点在于生产系统复杂^[4]、浓盐尾水处置难度大,且投资及运行成本较高^[5]、水资源消耗率较大、受水温影响较大。考虑该水厂一期和区域供水内其他水厂均采用臭氧生物活性炭工艺,故本期深度处理确定采用臭氧生物活性炭工艺。

3.3 一期深度处理池适应性设计

一期工程设置的 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模深度处理综合池在当时设计时已考虑了适应 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的处理水量。具体措施如下:

① 将现状一、二期常规处理与一期深度处理综合池进出水连接生产管线(包括切换阀门)一次性实施。

② $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模中间提升泵房分设二组提升泵,每组设提升泵3台(2用1备)。通过启用备用泵组形成六用以适应提升至 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模的能力,考虑六用时的用电负荷。

③ 经复核,臭氧接触池、活性炭滤池运行水量达 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,臭氧接触时间、活性炭滤池滤速与设计规范建议值相符。

④ 深度处理综合池内部输水管路的水力输水水头需考虑适应 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的输水能力。

⑤ 当深度处理系统全部实施后,通过阀门切换可保持二条生产线的独立运行。

3.4 一期深度处理池改造方案

一期深度处理综合池已与一、二期砂滤池预留接口连通,进水水源充足。内外部管路也已经考虑 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的输水能力。运行 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,后臭氧接触池的接触时间和活性炭滤池的滤速及空床接触时间也符合规范要求。反冲洗设施与运行水量关系不大。

而提升泵房必须再启动2台备用泵,才能提升 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 水量,无备用泵运行的设置不满足常态化运行要求。故考虑更换一期深度处理综合池提升泵,并配套改造电气和自控设备。

3.5 一期深度处理系统外部条件复核

由于原有一期深度处理系统对应南侧二期 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 常规处理系统,其外部水力流程均根据二期系统进出水水位推算,将其调整为对应北侧 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 常规处理系统后,需复核外部进出水管道和水位条件,以保证系统的正常运行。

复核了现一期常规处理系统至现有一期深度处理提升泵房吸水井水位,其符合更换后提升泵的吸

水要求。

复核深度处理综合池至一期常规处理清水池水力流程后,发现流程变化后将导致原有清水池最高水位下降 $0.3 \sim 0.4 \text{ m}$,清水池实际有效调节容积减小,不利于水厂运行。由于两期深度处理系统出水管道连通,考虑运行时将开启出水管连通阀,深度处理池出水混合后再进入清水池,使进入清水池的流量与设计规模略有不同,实现两期清水池水位平衡,从而保证两期清水池的调节容积。

4 工艺设计

4.1 工艺流程及平面设计

本期深度处理改扩建工程工艺流程与一期工程相同。

建设用地为原厂前区场地,面积约 $9\,500 \text{ m}^2$ 。依次布置提升泵房、后臭氧接触池和活性炭滤池。

臭氧制备车间改造位于现有臭氧制备车间内。

4.2 构筑物设计

① 深度处理综合池

合并设置后臭氧接触池、活性炭滤池、提升泵房、冲洗泵房及鼓风机房一座,设计规模为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

a. 提升泵房、活性炭滤池冲洗泵及鼓风机房

提升泵采用混流泵型式,设二组,每组设提升泵3台(2用1备),每台流量为 $2\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程为 80 kPa 、配电功率为 110 kW ,变频调速。

活性炭滤池冲洗泵房内设冲洗水泵4套(3用1备),单泵流量为 $1\,350 \text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程为 $80 \sim 100 \text{ kPa}$ 、配电功率为 55 kW ,变频调速。

鼓风机房内设鼓风机3台(2用1备),每台风量 $4\,400 \text{ m}^3/\text{h}$ 、风压 40 kPa 、配电功率 90 kW 。

b. 后臭氧接触池

设置后臭氧接触池二组,臭氧接触时间共计 9 min 。臭氧最大投加量按 1.5 mg/L 考虑。池顶设置尾气吸收装置,2用2备。

c. 活性炭滤池

活性炭滤池分为6格,双排布置,单格滤池过滤面积为 154 m^2 ,设计滤速 11.50 m/h ,炭床吸附停留时间 10.43 min 。

d. 清水池

在后臭氧接触池及活性炭滤池下叠合设置1座清水池,有效容积为 $6\,000 \text{ m}^3$,与现有清水库串联运行。

② 臭氧制备车间及氧气站

现状预臭氧接触池规模为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 设计臭氧投加量 0.5 mg/L 。将一期后臭氧接触池规模改造至 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 新增二期后臭氧接触池规模 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 最大臭氧投加量均为 1.5 mg/L 。

臭氧制备车间现有臭氧发生器 3 台, 单台臭氧发生能力 20 kg/h 。本期新增一套 20 kg/h 的臭氧发生器, 功率 200 kW , 与现有 3 台臭氧发生器软备用, 并增加相应配套设备。

③ 原有设施改造

一期深度处理综合池提升泵改造, 设提升泵 6

台(4 用 2 备), 每台流量为 $3800 \text{ m}^3/\text{h}$ 、扬程为 80 kPa 、配电功率为 130 kW , 变频调速。

5 改造后处理效果

水厂深度处理全覆盖工程于 2019 年 12 月 31 日完成通水后, 深度处理的水量达到 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。改造前(2019 年)和改造后(2020 年)水质指标对比见表 2。

由表 2 可见, 出水水质较有明显的改善和提高, 各项指标基本达到了水专项的考核指标要求。此外, 嗅味物质 2-甲基异莰醇(2-MIB)出水浓度可以稳定在 10 ng/L 以下。

表 2 改造前、后出厂水水质对比

Tab. 2 Comparison of effluent quality before and after reconstruction

项 目	耗氧量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)			氨氮/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)			浑浊度/NTU		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
2019 年	1.44	1.20	1.36	<0.20	<0.20	<0.20	0.38	0.12	0.28
2020 年	1.76	0.88	1.34	<0.20	<0.20	<0.20	0.36	0.14	0.24

6 结论

① 苏州某水厂为了应对深度处理改扩建工程用地变更, 对一期工程深度处理系统进行改造, 使其达到 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模, 二期深度处理规模确定为 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。二条深度处理生产线与常规处理系统相匹配, 实现了深度处理工程全覆盖。

② 改扩建工程最终采用预臭氧 + 常规处理 + 后臭氧生物活性炭处理工艺。改造后出水水质在一期深度处理系统出水的基础上, 又有了进一步的改善和提高, 出水耗氧量和浑浊度指标均优于改造前。

参考文献:

- [1] 蒋福春, 董坚, 华伟, 等. 再生活性炭在太湖流域某水厂中的应用实践[J]. 中国给水排水, 2016, 32(9): 35-38.
JIANG Fuchun, DONG Jian, HUA Wei, et al. Application of regenerated activated carbon in a waterworks in Taihu basin[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(9): 35-38(in Chinese).
- [2] 陈义春, 戴盛, 朱永林, 等. 臭氧/生物活性炭深度去除有机物的效果研究[J]. 中国给水排水, 2015, 31(23): 51-53.
CHEN Yichun, DAI Sheng, ZHU Yonglin, et al. Advanced removal of organics by ozone/biological activated carbon treatment process[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(23): 51-53(in Chinese).

- [3] 李艾铨, 朱云杰, 朱昊辰, 等. 纳滤技术在饮用水处理中的应用[J]. 净水技术, 2019, 38(6): 51-56.
LI Aihua, ZHU Yunjie, ZHU Haochen, et al. Application of nanofiltration technology in drinking water treatment[J]. Water Purification Technology, 2019, 38(6): 51-56(in Chinese).
- [4] 陈欢林, 吴礼光, 陈小洁, 等. 钱塘江潮汐水源的饮用水膜法集成系统示范运行经验[J]. 中国给水排水, 2013, 29(22): 98-101.
CHEN Huanlin, WU Liguang, CHEN Xiaojie, et al. Demonstration operation of integrated membrane system for treatment of source water from Qiantang River during tidal periods[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(22): 98-101(in Chinese).
- [5] 赵伟业, 李星, 杨艳玲, 等. 纳滤膜去除饮用水中苯系污染物效能试验研究[J]. 膜科学与技术, 2017, 37(1): 114-120.
ZHAO Weiye, LI Xing, YANG Yanling, et al. Research on removal efficiency of benzene series in drinking water by nanofiltration membrane[J]. Membrane Science and Technology, 2017, 37(1): 114-120(in Chinese).

作者简介: 张晏晏(1989-), 女, 江苏南通人, 硕士, 工程师, 从事给水工程设计工作。

E-mail: zyy_121@163.com

收稿日期: 2020-11-01

修回日期: 2021-01-30

(编辑: 孔红春)