

常州第一水厂臭氧活性炭深度处理改造工程设计

任中佳

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 针对原水受到微污染、有富营养化风险、总氮指标偏高、有臭味等问题,在充分论证的基础上,常州第一水厂对原有处理工艺进行提升改造。淘汰了工艺滞后、运行效果不理想的迷宫沉淀池和移动罩滤池常规处理工艺,采用厂内有成功应用经验的机械搅拌澄清池和普通快滤池,增加了臭氧-活性炭深度处理工艺和污泥处理设施。改造后,出水水质符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),对有机物去除效果明显提高,活性炭滤后水 COD_{Mn} 由 1.1 mg/L 降低至 0.55 mg/L。深度处理构筑物采用高度叠合设计,可供相似改造工程设计参考。

关键词: 净水厂; 水厂改造; 臭氧活性炭工艺; 深度处理综合池

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)18-0069-04

Reconstruction Design of Changzhou No. 1 Waterworks for Ozone/Activated Carbon Advanced Treatment

REN Zhong-jia

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

Abstract: Considering the problems caused by the slight pollution and eutrophication risk, such as the high content of TN, the taste and odor, the conventional treatment process was reconstructed in Changzhou No. 1 Waterworks. The conventional treatment processes of labyrinth sedimentation tank and moving hood filter which have poor performance are eliminated and replaced by mechanical stirring clarification tank and common fast filter with successful application experience. And the advanced treatment process of ozone/activated carbon and sludge treatment facilities are added. After the reconstruction, the removal of COD_{Mn} in effluent is obviously improved from 1.1 mg/L to 0.55 mg/L. The finished water quality met the requirement of *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006). Advanced treatment structure which was designed with highly superimposed mode will give a good reference for similar project design.

Key words: waterworks; waterworks reconstruction; ozone/activated carbon process; combined advanced treatment tank

1 水厂概况

常州第一水厂占地为 4.3 hm^2 ,取水水源为长江江阴饮用水水源地。水厂原有折板反应+迷宫斜板沉淀+移动罩滤池和机械搅拌澄清池+双阀滤池

两种净水工艺,出水水质基本满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的各项指标要求。鉴于长江原水存在富营养化风险及突发污染威胁,且现有迷宫沉淀池和移动罩滤池运行效果不理想,出水

水质难以达到公司考核要求,改造工程在不新征建设用地、不降低运行规模的前提下,拟考虑充分利用现有净水工艺(见图 1),增加深度处理和污泥处理设施,以进一步提高出厂水水质。

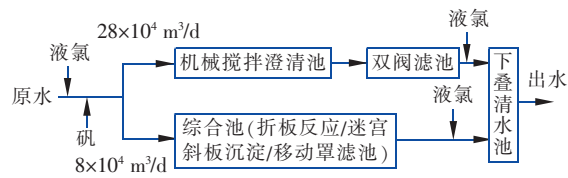


图 1 原工艺流程

Fig. 1 Original process flow

1.1 原水水质与出厂水水质

长江江阴饮用水水源地 2011 年—2014 年主要水质指标见表 1。原水浊度短期升高至 >350 NTU,氨氮的平均值不高,总氮含量偏高,存在一定的富营养化风险;高锰酸盐指数为 1.5~4.0 mg/L,属微污染。针对上述水质特点,在确定净水工艺时深度处理改造应重点考虑对有机微污染物质的去除和对富营养化风险的控制,并应考虑适应将来长江水质可能下降的不利状况。

表 1 原水水质

Tab. 1 Raw water quality

项 目	最高值	最低值	平均值
色度/度	15	10	12
浑浊度/NTU	355	22.7	63.5
嗅和味	2 级,弱泥腥味		
溶解氧/(mg·L ⁻¹)	11.24	6.27	8.24
氨氮/(mg·L ⁻¹)	0.5	0.03	0.17
高锰酸盐指数/(mg·L ⁻¹)	4.0	1.5	2.2
化学需氧量/(mg·L ⁻¹)	14.7	10.5	12.2
总氮/(mg·L ⁻¹)	3.17	1.13	2.15

2011 年—2014 年出厂水水质符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)要求,其中浊度最高值为 0.30 NTU,最低值为 0.09 NTU,平均值为 0.17 NTU,平均去除率达到 99.7%。但出水水质感官性状和一般化学指标还存在一定的提升空间。

1.2 改造前运行存在的问题

水厂原先采用常规地表水处理工艺,部分工艺相对落后,运行过程中暴露出一些问题:①两组净水工艺出水水质有差异,迷宫斜板沉淀+移动罩滤池因其自身池型缺陷,出水水质有较大波动,浊度偏高,不利于总出厂水的水质达标。②移动罩滤池维护要求高,移动冲洗罩设备密封、定位等故障较多,

反冲洗效果不佳,且移动罩滤池反冲洗是在密闭环境下进行,其反冲洗效果和反冲洗强度较难测控,故对原水水质波动较为敏感。③水厂未建设排泥水处理设施,生产废水直接排放至周边河道水体,对周边环境有一定污染。④厂内采用液氯消毒,而净水厂周边民居、厂房的建筑密度较大,一旦发生氯气泄漏,将造成严重的安全事故。⑤净水厂的清水池池容非常小,总容积占水厂总规模的 3.3%,调蓄和厂自用水储存功能十分受限。

2 工艺方案比选

第一水厂拟淘汰原有落后工艺,并在常规处理工艺基础上增设臭氧活性炭深度处理工艺,提出如下几种组合工艺:

工艺一:沉淀-砂滤-臭氧活性炭。这是目前使用较普遍的工艺,存在活性炭滤池中微型动物孳生繁殖并泄漏的风险,有些以剑水蚤为主,有些以摇蚊幼虫和寡毛类为主^[1]。

工艺二:沉淀-超滤膜-臭氧活性炭。以超滤膜代替砂滤,占地面积更小。但在超滤膜出水浊度稳定且较低的情况下,后置活性炭滤池中生物膜脱落易使浊度反弹,同时存在与工艺一类似的出厂水微型动物泄漏风险的问题。另外,超滤膜物理清洗和化学清洗程序复杂,管理维护要求较高。

工艺三:沉淀-臭氧活性炭-砂滤。沉淀出水经活性炭过滤后,再经砂滤处理,以防止活性炭滤池中脱落的生物膜进入清水池,保证出水水质。但沉淀出水浊度不宜过大,应控制在 1 NTU 以内,一方面为降低活性炭层负荷,另一方面减少进入臭氧接触池的有机物总量。

三种工艺比较见表 2。

表 2 工艺方案比较

Tab. 2 Comparison of three schemes

项目	工艺一	工艺二	工艺三
改造期间水厂供水能力/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	36	基本停产	28
拆除工程量	较小	较大	较小
活性炭负荷	较低	最低	较高
水质	活性炭上生物膜脱落带来浊度反弹、细菌指标高等问题		应控制沉淀出水浊度在 1 NTU 以内
工程投资	较低	较高	较低
运行费用	较低	较高	较低

可见,工艺二最大的问题是改造期间水厂产能不能保证,基本处于停产状态;工艺三最大的问题是现状水厂机械搅拌澄清池设计负荷为 $4.1 \sim 5.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,沉淀出水浊度平均值为 2 NTU,较难控制在 1 NTU 以内,将使前置活性炭滤池负荷增加;采用工艺一在改造期间水厂产能最大,且拆除工程量小、新建工程投资低、运行费用也较低,本次深度处理改造工程推荐采用沉淀-砂滤-臭氧活性炭工艺。另外,以机械搅拌澄清池和普通快滤池替代迷宫沉淀池和移动罩滤池,改造后工艺流程见图 2。

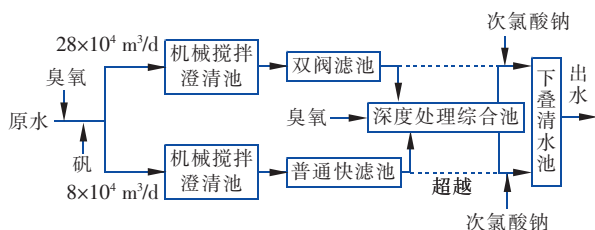


图2 改造后工艺流程

Fig. 2 Flow chart of reconstruction process

3 改造工程总体设计

3.1 厂平面布置

厂区无深度处理预留用地,本次改造拟拆除占地面积较大的综合池和污泥池置换建设用地。新建常规处理构筑物靠近现有机械搅拌澄清池布置。深度处理构筑物和污泥处理构筑物均采用高度叠合设计,新建清水池叠于深度处理构筑物下。

3.2 分阶段改造建设

常州第一水厂是常州市区的主力水厂,改造期间为最大程度地保留水厂产能,总平面布置(见图3)充分考虑了改造建设顺序,分三个阶段实施。首先迁建附属构(建)筑物,然后在置换的建设用地上新建常规处理构筑物,待其正式投产使用后,拆除原常规处理综合池及废弃泵房,最后新建深度处理和污泥处理构筑物。

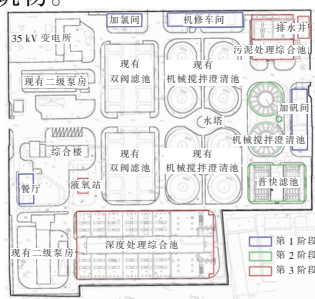


图3 水厂平面布置

Fig. 3 Plane layout of waterworks

3.2.1 第1阶段,迁建附属构筑物

改造加氯间,由液氯消毒更换为商品次氯酸钠消毒,改造期间在加氯间的南侧空地先行建设临时投加 PE 储罐和加注泵系统,待拆除现有加氯系统并且次氯酸钠储液池建成后,加注设备再依次移至加氯间室内。迁建加矾间。将厂区加氯加矾系统切换至新的加药系统。迁建机修车间和餐厅。

3.2.2 第2阶段,新建常规处理构筑物

增设预臭氧投加,采用管道式投加方式,管道混合器混合,投加点后至配水井段现有生产管线内壁采用食品级氟碳涂料涂层。新建一组 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 常规处理工艺,池型选用水厂内有成功应用经验的机械搅拌澄清池和普通快滤池,以补偿因拆除原常规处理综合池造成的产能缺口。

3.2.3 第3阶段,新建深度处理和污泥处理构筑物

深度处理综合池位于原常规处理综合池地块,污泥处理综合池位于原废弃泵房地块,一次性建成 $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模。新建排水井用于排放厂区雨水及超量生产废水,当暴雨或反冲洗废水量超过厂区原有重力排水能力时,溢流至排水井,经潜水泵压力排入附近河道。

4 主要构筑物设计参数

4.1 预臭氧

预臭氧采用管道式投加方式,设计最大投加量为 0.5 mg/L ,按流量比例投加。在水厂进厂总管上设置 DN2 000 管道混合器,材质为 SS316L,上设臭氧投加管。现有生产管线(范围:投加点后至配水井)内壁增加食品级氟碳涂料涂层。

4.2 机械搅拌澄清池

机械搅拌澄清池单座设计规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,直径为 22.8 m。设计停留时间:第二反应室 7.13 min,第一反应室 13.63 min,分离室 43.35 min。回流比为 4。分离室上升流速为 1.67 mm/s 。澄清池总停留时间为 1.07 h。

4.3 普通快滤池

普通快滤池设计规模为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用四阀滤池形式。6 格双排布置,单格过滤面积为 61.4 m^2 ,设计过滤周期约 24 h,滤速为 9.5 m/h ,强制滤速为 11.4 m/h 。滤料采用石英砂,厚度为 1.0 m,有效粒径为 0.85 mm ,不均匀系数 $K_{80} \leq 1.4$;支撑层采用级配砾石,厚度为 0.60 m,粒径范围为 $2 \sim 64 \text{ mm}$ 。滤池反冲洗采用大阻力配水系统配水。反冲

洗方式为单独水冲洗,水冲洗强度为 $14 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。深度处理综合池未建成前,利用现有水塔新设一根反冲洗管冲洗。深度处理综合池建成后,切换为利用反冲洗泵房反冲洗泵经变频调速后进行反冲洗。

4.4 深度处理综合池叠合设计

深度处理综合池设计规模为 $36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,包括提升泵房、后臭氧接触池、活性炭滤池、清水池、鼓风机房和反冲洗泵房以及臭氧制备车间,通过叠合设计,将所有深度处理的工艺单元合理布置在三层空间内。提升泵房、后臭氧接触池和活性炭滤池依流程顺次布置在中层,清水池叠于下层。鼓风机房和反冲洗泵房集中布置在管廊一端,反冲洗泵房吸水井为清水池的一部分。臭氧制备车间位于上层,车间外预留设备吊装平台。溢流管一端连接提升泵房的吸水井,另一端通过超越管连接清水池,精巧的设计,使深度处理综合池可实现多种运行工况。

高度集成设计提高了土地利用效率;各单元间水力流程顺畅,输水距离缩短,节能效果显著,比平面式布置节能 20% 以上。

提升泵采用潜水泵型式,设 6 台(4 用 2 备),提升泵均设置变频调速装置。

后臭氧接触池分为 4 组,由三段接触室串联而成。臭氧接触时间共计 8.1 min,臭氧投加量为 $0.5 \sim 1.0 \text{ mg/L}$ 。

活性炭滤池分为 12 格,双排布置,单格过滤面积为 90.72 m^2 ,设计滤速为 14.5 m/h ,炭床吸附停留时间为 10.3 min。活性炭层厚度为 2.5 m,滤料级配采用 8×30 目(相当于 $2.38 \text{ mm} \times 0.60 \text{ mm}$),不均匀系数 $K_{80} \leq 2.0$;下层采用粗砂滤料,厚度为 0.30 m,颗粒粒径为 $2 \sim 4 \text{ mm}$ 。反冲洗单气冲强度为 $55 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,单水冲强度为 $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。反冲洗水泵采用潜水泵,设 4 台(3 用 1 备),均设置变频调速装置。鼓风机设备设 3 套(2 用 1 备)。反冲洗泵兼顾砂滤池反冲洗使用。

臭氧制备车间布置管式臭氧发生系统 2 套,单套臭氧发生能力为 $12 \text{ kgO}_3/\text{h}$ (臭氧浓度为 10%)。

4.5 污泥处理综合池

污泥处理综合池设计规模以 85% 保证率为设计依据。水厂一天最大排泥水量为 $11\,300 \text{ m}^3/\text{d}$,干泥量为 28 t/d 。

排泥水调节池设两格,有效容积为 $2\,500 \text{ m}^3$,有效水深为 2.9 m,为防止污泥沉积,设置污泥冲洗泵

6 台,每天定期运行冲洗。浓缩池两座,单座实际有效面积为 136.9 m^2 ,每日最大运行时间为 24 h。浓缩池设计固体通量为 $4.26 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h})$,水力负荷为 $1.46 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,设计上清液 $\text{SS} \leq 150 \text{ mg/L}$,出泥含固率为 2% ~ 3%。污泥平衡池两座,有效容积为 780 m^3 。脱水机房离心机 3 台(2 用 1 备),每日运行时间为 8 h。配套污泥切割机和污泥螺杆泵 3 套。

PAM 设计投加率:浓缩池为 0.5 mg/L ,脱水机前为 4 kg/tDS 。

5 改造后处理效果

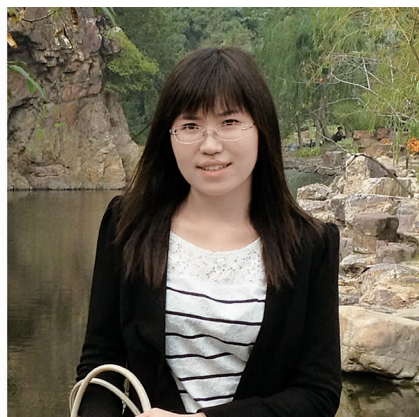
第一水厂深度处理系统于 2018 年 2 月正式投产,出水水质稳定,有机物去除效果明显提高,活性炭滤后水 COD_{Mn} 由 1.1 mg/L 降低至 0.55 mg/L ,平均浊度为 0.18 NTU,达到了预期的工程目标。

6 结论

常州第一水厂改造工程通过整合常规处理、合理选择工艺方案、构筑物高度集成设计、分阶段改造建设实现了水厂深度处理改造不征地、不降产,可为类似的老旧水厂升级改造工程提供参考。

参考文献:

- [1] 顾一峰. 上海 M 水厂深度处理改造工程设计运行[J]. 给水排水, 2015, 41(S): 139 - 142.
Gu Yifeng. Design and operation of advanced purification reconstruction in Shanghai M Water Treatment Plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(S): 139 - 142 (in Chinese).



作者简介:任中佳(1988 -),女,山西吕梁人,硕士,工程师,主要从事市政给水工程设计工作,曾获 2013 年—2014 年度上海市“青年文明号”号长荣誉称号。

E-mail: renzhongjia@smedi.com

收稿日期:2018-04-10