

闫东晗. 魏村水厂深度处理及利旧改造工程实例[J]. 净水技术, 2022, 41(8):156–162.

YAN D H. Engineering example and utility of advanced treatment project for existing facilities of Weicun WTP[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(8):156–162.



扫我试试?

魏村水厂深度处理及利旧改造工程实例

闫东晗

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘 要 针对原水微污染、存在富营养化风险、总氮指标偏高、臭味等问题,在充分调研和论证的基础上,对常州魏村水厂现有生产工艺进行提质改造,增设以臭氧-生物活性炭为核心的深度处理工艺。项目通水后,出水水质符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),有机物去除效果明显提高,出厂水高锰酸盐指数最高质量浓度由 2.00 mg/L 降低至 1.40 mg/L。本次改造工程实践中工艺总体方案、管道式投加预臭氧和深度处理工艺构筑物设计等,可供相似改造工程设计参考。

关键词 水厂改造 深度处理工艺 臭氧活性炭工艺 预臭氧 活性炭滤池

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2022)08-0156-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.08.022

Engineering Example and Utility of Advanced Treatment Project for Existing Facilities of Weicun WTP

YAN Donghan

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

Abstract Considering the problems of slight pollution, eutrophication risk, high content of TN, taste and odor, the conventional treatment process was reconstructed based on the ample research and demonstration, and the advanced treatment process of ozone-activated carbon process was added as the core. After the reconstruction, the finished water quality met the requirement of *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749—2006). The removal effect of organic in finished water was obviously improved, and the highest mass concentration of permanganate index was reduced from 2.00 mg/L to 1.40 mg/L. Overall process plan, pre-pipeline dosing of ozone, design of advanced treatment structures of this transformation project practice had a good reference for similar project design.

Keywords WTP reconstruction advanced treatment process ozone-activated carbon process pre-ozone activated carbon filter

常州市地处江苏省南部、太湖平原西北部、长江三角洲平原中部,属“长三角”沿海经济发达地区,城市以先进制造业和文化旅游业为重要特色。为满足常州地区未来的供水需要,于 2001 年开始建设常州地区供水一期工程,包括新建长江取水口和取水泵站、魏村水厂等。2005 年后,又相继开展魏村水厂续建工程以及礼河水厂等的建设。上述工程均采用絮凝-沉淀-砂滤-消毒的常规水处理工艺,它们

的建成投产基本解决了“十一五”期间常州地区自来水的供需矛盾。

《江苏省城市自来水关键水质指标控制标准》(DB 32/T 3701—2019)于 2020 年 3 月 1 日起实施,其中内控标准规定指标为 23 项,19 项严于国标,包含附录项目 3 项。随着人民生活水平的提高,对城市供水的关注点从水量、水压的关注,逐步转向于水质安全保障和常态化、稳定的处理工艺。常州周边以长江作为饮用水水源的城市均实施了水厂深度处理工程,相关研究数据表明,深度处理工程对提高供水水质和安全保障有积极作用,采用臭氧-生物活性炭处理工艺较常规水处理工艺能够有效改善出厂

[收稿日期] 2022-02-28

[作者简介] 闫东晗(1977—),男,高级工程师,主要从事市政给水工程设计工作,E-mail:yandonghan@smedi.com。

水水质,具有较大的推广应用价值^[1-2]。为提升城市供水水质和服务,改善居民生活水平,实现从“合格水”向“优质水”的跨越,常州通用水司相继推进了常州第一水厂和魏村水厂深度处理改造工程的实施^[3]。本文以魏村水厂为例,对魏村水厂的深度处理及利旧改造进行分析,以期为相似改造工程提供参考。

1 工程概况

魏村水厂总规模为 70 万 m^3/d ,位于江苏省常州市新北区魏村地块,占地面积为 $1.074 \times 10^5 \text{ m}^2$ 。取水水源为长江魏村饮用水水源地,取水口位于新德胜河上游 200 m 处的夹江,取水点伸入长江 500 m,采用 $3 \times \text{DN}2200$ 自流钢管,其桩架式头部便于今

后往江心延伸,平面布置如图 1 所示。现状水厂内有两组流程,其中,一期工程规模为 30 万 m^3/d ,于 2001 年实施,采用机械絮凝平流沉淀和 V 型滤池的常规工艺;2009 年实施的二期工程规模为 40 万 m^3/d ,采用法国 OTV 公司的 Multiflo 絮凝高速沉淀+TGV 滤池工艺^[4]。出水水质全年合格,处于国家《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)各项水质指标要求的限值以内。对 2011 年—2015 年出厂水水质检测数据分析,其中浑浊度的平均值为 0.12 NTU,最高值为 0.30 NTU,最低值为 0.06 NTU,平均去除率可达到 99.8%。但受制于常规处理工艺的去除特点,出水水质中感官性状和有机物等指标还有待提高,如出厂水高锰酸盐指数最高质量浓度为 2.00 mg/L 。

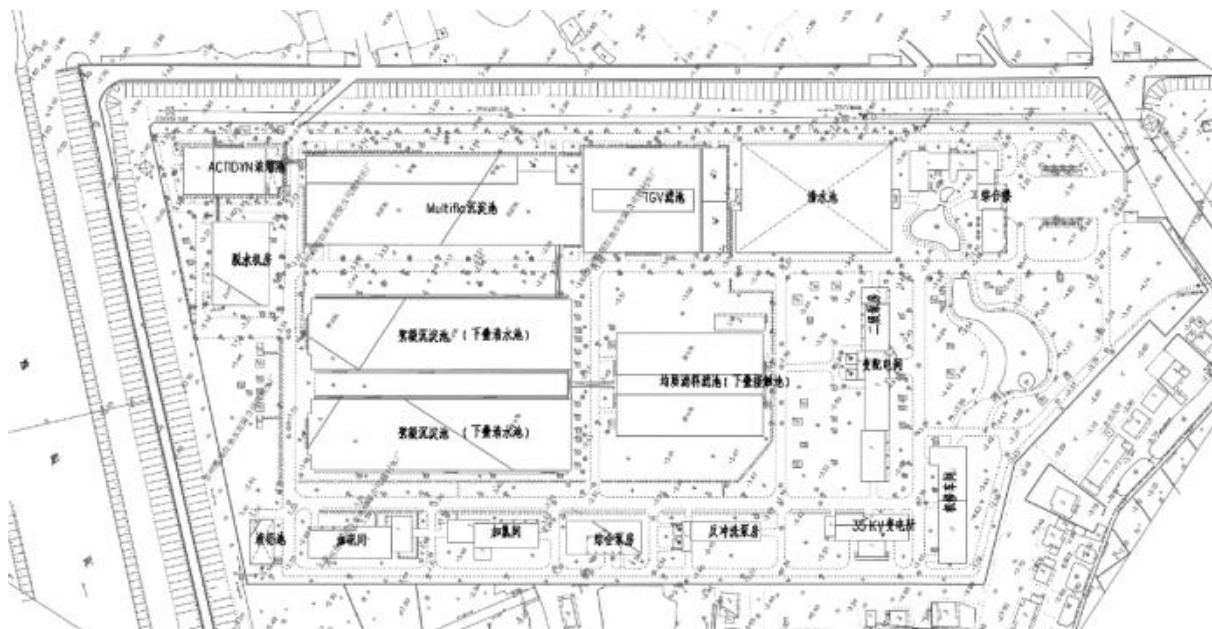


图 1 魏村水厂原平面布置

Fig. 1 Layout of Weicun WTP before Reconstruction

鉴于长江原水存在富营养化风险及突发污染威胁,为落实《江苏省政府办公厅关于加强城市基础设施建设的实施意见》,本工程考虑在不新征地原则下确保现有水厂规模不减少。对现有净水构筑物进行改造后,充分“挖潜”,并通过增设深度处理工艺提高供水保证度,从而使出水水质达到更高的公司内控指标要求,如高锰酸盐指数质量浓度不大于 1.5 mg/L ,甲醛质量浓度不大于 0.5 mg/L ,氨氮质量浓度不大于 0.5 mg/L 。

2 存在的问题

经过充分的现场调研,水厂现状常规处理工艺在运行过程中存在问题包括如下几点。

(1)取水点上下游存在水质突发污染风险。长江在魏村水厂取水口上下游发生过多起水质污染的突发性危机事件,如 2012 年长江镇江段苯酚污染事件、2013 年食用油储罐坍塌事故等。该类突发水质污染事件具有高浓度污染、高危害性、高突发性的特征,对魏村水厂的正常生产构成潜在威胁。

(2)受工业排放影响,原水可能存在有机微污染物。受上游工业排放影响,原水可能存在各类低浓度工业排放污染物,虽然这些物质排放规律性不强、排江后已被快速稀释,并未造成原水相关水质指标不达标,但依然是水厂供水水质安全的隐患。

(3)现有设备管理维护工作量较大,影响生产效益。例如,一期机械絮凝虽然效果尚好,但絮凝区共有 64 台搅拌机,设备维护和检修频繁,常因搅拌机故障导致整条生产线停产,生产效益不佳。

3 升级改造方案

3.1 原水水质总体分析

魏村水厂取水点处的长江原水水质较好,基本符合《地表水环境质量标准》Ⅲ类标准,部分指标优于Ⅱ类标准。原水浑浊度在洪峰期可上升至 600.00 NTU 以上,但日检数据统计平均浑浊度仅为 55.00 NTU;氨氮的平均值不高,TN 质量浓度偏高(1.31~3.23 mg/L),说明原水存在一定的富营养化风险;溴离子质量浓度低,均低于 0.025 mg/L;铁离子质量浓度较高,最高达 3.40 mg/L;高锰酸盐指数质量浓度为 1.20~3.90 mg/L。依据《生活饮用水水源水质标准》,魏村水厂原水评判为二级水源水,水质受轻度污染,具体如表 1 所示。

因此,在确定净水工艺时应以某些超标物质的去除和控制水体富营养化风险为重点目标,并应考虑应对将来长江原水突发污染的不利情况。同时,针对厂内现状运行存在的问题予以有效改善。

3.2 深度处理工艺选择

对于净水深度处理工艺,国内主要常用超滤膜、活性炭、臭氧-生物活性炭等。其中,臭氧-生物活

表 1 魏村水厂原水水质指标

Tab. 1 Raw Water Quality of Weicun WTP

| 指标 | 最高值 | 最低值 | 平均值 |
|------------------------------|------------|-------|-------|
| 色度 | 50 | 10 | 15 |
| 浑浊度/NTU | 661.00 | 14.00 | 55.00 |
| 臭和味 | 1~2 级,弱泥腥味 | | |
| 溶解氧/(mg·L ⁻¹) | 11.72 | 6.33 | 8.58 |
| 氨氮/(mg·L ⁻¹) | 0.46 | 0.02 | 0.11 |
| 高锰酸盐指数/(mg·L ⁻¹) | 3.90 | 1.20 | 2.50 |
| 化学需氧量/(mg·L ⁻¹) | 15.0 | 10.0 | 11.9 |
| TN/(mg·L ⁻¹) | 3.23 | 1.31 | 2.26 |

性炭是目前应用最为广泛的深度处理工艺,运行稳定,管理运行方面也积累了大量丰富的经验。从现有原水水质和相似水厂的运行经验来看,臭氧-生物活性炭工艺能有效应对氨氮季节性超标,也可较为经济地降低水中有机物含量,对出水水质保障的可靠性较高。常州的原水水质中溴酸盐和溴离子的含量均较低,臭氧-生物活性炭净水工艺具有很强的技术和经济优势。另外,为应对长江魏村段原水可能发生的突发性污染事件,增设臭氧-生物活性炭工艺也可大大增加去除效果,增加水质安全。因此,本次改造工程推荐采用臭氧-生物活性炭深度处理工艺,如图 2 所示。

3.3 水厂平面布置方案

常州魏村水厂现有常规处理工艺先进、布局合理、经济实用,且使用年限不足 12 年,深度处理改造平面布置以不影响现有生产系统、充分利用现有设施、兼顾节约工程投资为原则。水厂现状厂区场地

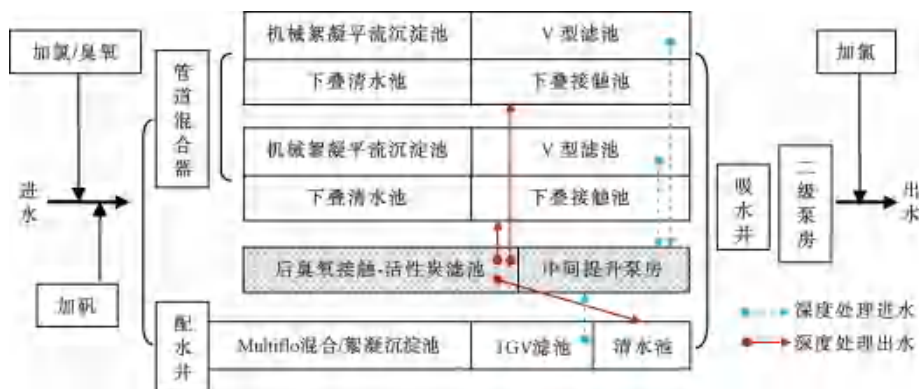


图 2 魏村水厂工艺流程

Fig. 2 Process Flow of Weicun WTP

较为平整,标高基本在 3.500 m(1956 年黄海高程系)左右。可用于改造工程建设的地块主要为平流沉淀池以西、V 型滤池南北两侧和二级泵房以东空

地,也可拆除现有综合楼以置换建设用地,如图 3 所示,提出以下 3 个水厂总平面布置方案作比选,3 种方案比较如表 2 所示。

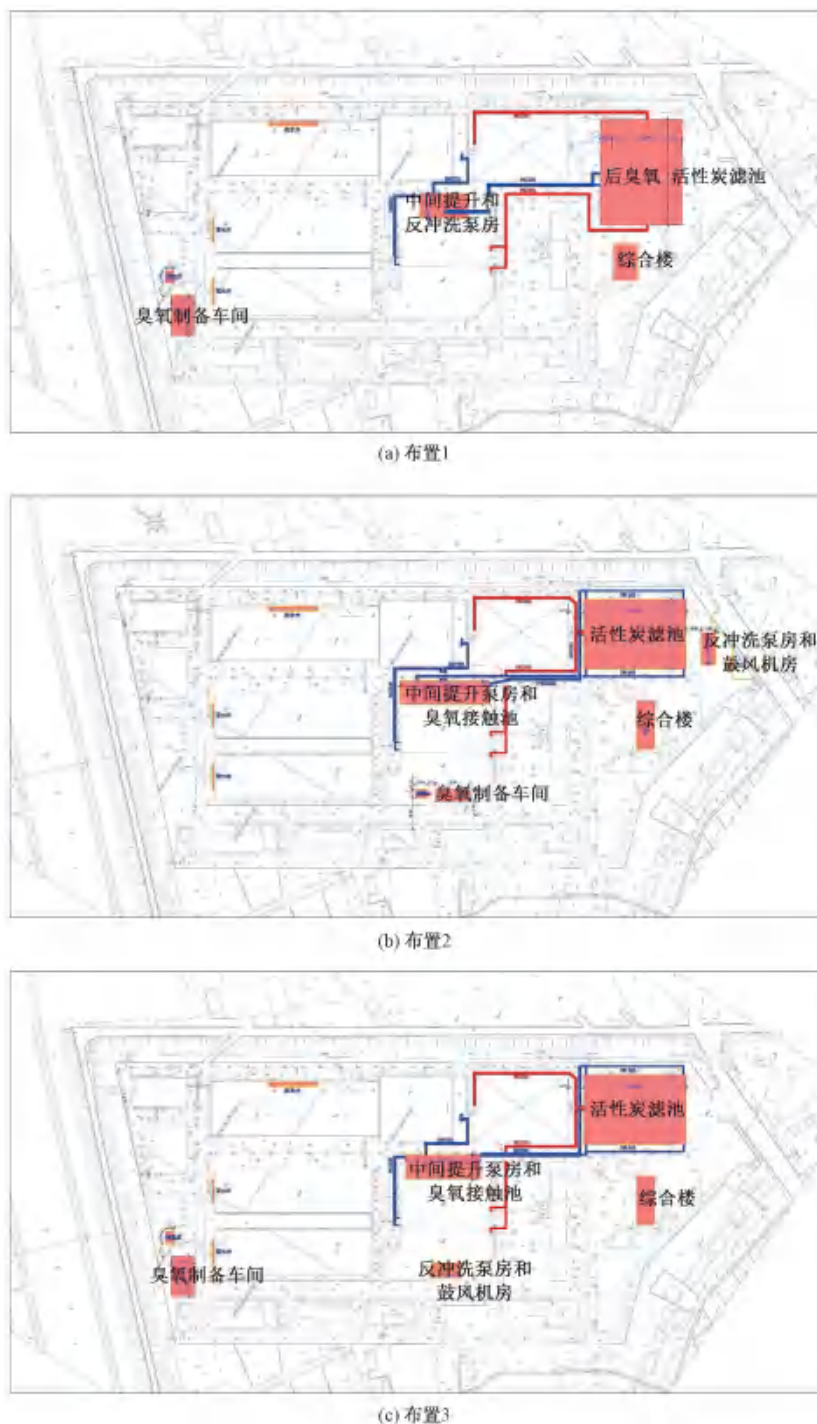


图 3 魏村水厂总平面布置
Fig. 3 General Layout Scheme of Weicun WTP

表 2 平面布置方案比较
Tab. 2 Comparison of General Layout Plans

| 对比项目 | 布置一 | 布置二 | 布置三 |
|-------|---|---|---|
| 主要构筑物 | ①新建管道投加臭氧系统,改造配水井(3处)进行尾气吸收; ②新建中间提升泵房和反冲洗泵房1座(40.0 m×20.3 m); ③新建后臭氧-生物活性炭滤池1座(88.0 m×68.0 m),内置鼓风机; ④新建臭氧制备车间1座(33.2 m×19.1 m); ⑤新建液氧站1处(10.0 m×7.0 m); ⑥迁建综合楼1座(约2 000 m ²) | ①新建管道投加臭氧系统,新建配水井2座、改造配水井1处进行尾气吸收; ②新建中间提升泵房和后臭氧接触池1座(74.5 m×19.7 m); ③新建活性炭滤池1座(85.0 m×58.0 m); ④新建反冲洗泵房和鼓风机房1座(25.0 m×12.0 m); ⑤新建臭氧制备车间和液氧站1处(分别为28.0 m×10.1 m、10.0 m×7.0 m); ⑥迁建综合楼1座(约2 000 m ²); ⑦迁建门卫1处(约40 m ²) | ①新建管道投加臭氧系统,改造配水井(3处)进行尾气吸收; ②新建中间提升泵房和后臭氧接触池1座(62.0 m×20.3 m); ③新建活性炭滤池1座(85.0 m×58.0 m); ④新建反冲洗泵房和鼓风机房1座(25.0 m×12.0 m); ⑤新建臭氧制备车间1座(33.2 m×19.1 m); ⑥新建液氧站1处(10.0 m×7.0 m); ⑦迁建综合楼1座(约2 000 m ²) |
| 优点 | 后臭氧-生物活性炭滤池周边排水管道位充裕 | 出厂管线无需改排; 用电负荷集中、且靠近变电所; 构筑物布局更加紧凑; 综合楼周边景观用地充裕 | 出厂管线无需改排; 综合楼周边景观用地充裕 |
| 缺点 | 2根DN800出厂管线需改排; 臭氧制备车间距离预臭氧投加点较远 | 进厂大门和门卫需改建 | 臭氧制备车间距离预臭氧投加点较远; V型滤池南侧DN1400生产管线需改排 |

布置一:拆除现有综合楼置换建设用地。二级泵房以东空地新建后臭氧接触池-生物活性炭滤池、综合楼,V型滤池北侧空地新建中间提升泵房和反冲洗泵房,机械絮凝池北侧空地新建臭氧制备车间和液氧站。

布置二:拆除现有综合楼置换建设用地。二级泵房以东空地新建活性炭滤池、反冲洗泵房和鼓风机房、综合楼、门卫,V型滤池北侧空地新建中间提升泵房和后臭氧接触池,V型滤池南侧空地新建臭氧制备车间和液氧站。

布置三:拆除现有综合楼置换建设用地。二级泵房以东空地新建活性炭滤池、综合楼,V型滤池北侧空地新建中间提升泵房和后臭氧接触池,V型滤池南侧空地新建反冲洗泵房,机械絮凝池北侧空地新建臭氧制备车间和液氧站。

本工程推荐采用平面布置二,虽然进厂大门和门卫需改建,但构筑物布局紧凑、用电负荷集中,且基本按照流程布置。出厂管线无需改排,建设过程中能够保证一期、二期生产运行受到影响较小。

4 主要构筑物设计

4.1 预臭氧氧化设计

由于场地受限,本次新设预臭氧工艺采用管道式投加方式,接触时间为3.00 min,最大投加量为

0.5 mg/L,采用流量比例投加控制方式。水厂进厂DN1600总管上设置2处管道混合器,采用不锈钢材质(标号316 L),上设臭氧投加管。为避免臭氧的强氧化性对现有管道的影响,经分析,对现有生产管线(投加点后至配水井)内壁增加食品级氟碳涂料涂层,安全可靠。

4.2 中间提升泵房和后臭氧接触池

由于现有流程,本次增设深度处理流程需进行一次提升。结合用地条件限制,中间提升泵房和后臭氧接触池进行合建,总体设计规模为70万m³/d。中间提升泵采用潜水泵型式,设有8台(6用2备),单泵流量为5 104 m³/h,扬程为10 m,均设置变频调速装置,可灵活应对生产能力的变化。后臭氧接触池可分为独立运行的2组,每组2格,为提高臭氧的溶解和氧化效率,设置为三段接触室串联多点投加的方式。后臭氧的接触时间共计7.89 min,设计投加量为0.5~1.0 mg/L。

提升泵房吸水井溢流接至清水池,利用溢流完成超越,实现深度处理和超越运行的自分配,这一巧妙设计使水厂运行工况多样化,有利于降低水耗和生产成本。

4.3 活性炭滤池

活性炭滤池的池型选择直接影响着处理效果、

稳定性。其中,翻板滤池在反冲洗系统、排水系统与滤料选择方面虽然有新的技术性突破,但存在着工程投资较大、冲洗水耗大、污染物排放不彻底的问题。反之,普通快滤池具有出水水质好、运行周期长、冲洗效果好且水量低、自动化程度高等优点,已在国内绝大部分新建水厂中得以采用。且生产实践表明,普通快滤池适用于常州地区的地表水水厂。综合多方面的技术、经济因素,本工程推荐选用普通快滤池。

本工程设活性炭滤池1座,共16格,双排布置,设计规模为70万 m^3/d 。单格滤池过滤面积为140 m^2 ,设计滤速为13.7 m/h ,炭床吸附停留时间为10.10 min 。活性炭层厚度为2.30 m ,滤料选用15柱状炭,下层采用粗砂承托层,厚度为0.30 m ,颗粒粒径为2~4 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 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。参数满足相关设计和运行规范的要求。

由于单座活性炭滤池规模大、格数多,单侧进水总渠超过80.0 m 。受场地条件限制,活性炭滤池进水总渠宽度仅能做到1.8 m 。若从进水渠道一端进水,渠道起始端流速将达到0.85 m/s ,难以保证多格滤池均匀进水,这使靠近进水端的滤格负荷增大,而尾端的滤格负荷低于设计值。基于上述问题,本工程设计了单侧总渠4点进水,使整条总渠内流速降低至0.50 m/s 以下,确保多格滤池进水的均匀性,同时

也减少了总渠内水力比降。经过实践证明,该设计方法有效改善了大尺寸滤池进水不均匀的问题。

4.4 反冲洗泵房和鼓风机房

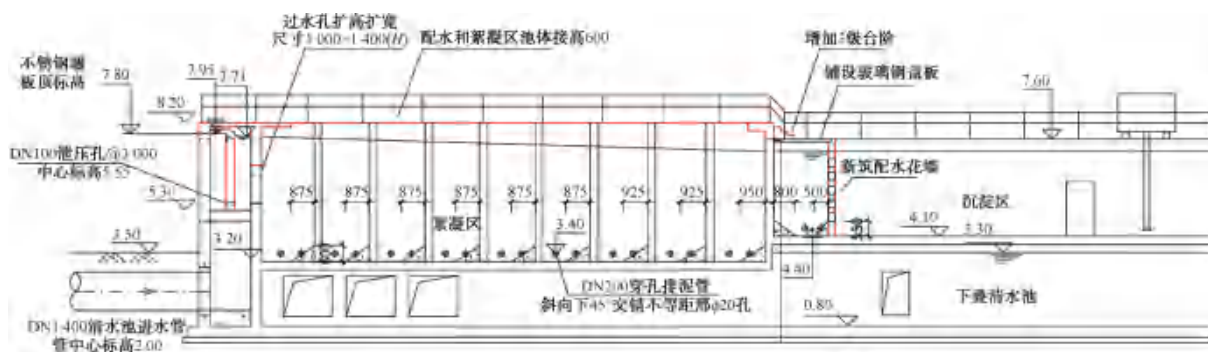
反冲洗泵房和鼓风机房是炭滤池反冲洗中水冲和气冲的重要设施,本次工程将两者合建,并下叠反冲洗吸水井。反冲洗水泵采用潜水泵型式,设4台(3用1备),单泵流量为1167 m^3/h ,扬程为12.0 m ,均设置变频调速装置。鼓风机设备设3套(2用1备),单机流量为3850 m^3/h ,扬程为4.5 m 。上述设备参数均符合炭滤池反冲洗强度的要求。

4.5 臭氧制备车间和氧气站

臭氧制备车间布置3套管式臭氧发生系统,单套臭氧发生能力为15.3 $\text{kg O}_3/\text{h}$ (臭氧质量分数为10%)。氧气站距离臭氧制备车间为12 m ,满足消防距离要求。采用氧气供货商租赁设备的形式,储罐体积为30 m^3 ,周边不允许采用沥青路面。

4.6 机械絮凝改造

为配合预臭氧投加,配水和机械絮凝区池体接高为0.6 m (图4)。配水渠内增设跌水堰,顶部设人孔、安全阀、尾气吸收管吸收预臭氧残留的尾气;絮凝区拆除现有内部隔墙,重筑隔墙和配水花墙,新增折板、排泥管,由机械絮凝改造为折板絮凝,分3段,第一絮凝区停留时间为6.20 min ,第二絮凝区停留时间为5.71 min ,第三絮凝区停留时间为7.75 min ,絮凝区总停留时间为19.66 min 。



注:标高单位为 m ;尺寸单位为 mm

图4 配水和机械絮凝区改造示意图

Fig. 4 Schematic Diagram of Reconstruction of Water Distribution and Mechanical Flocculation Zone

5 改造后处理效果

目前,魏村水厂深度处理系统已正式投产,并网运行以来出水水质稳定,统计2019年1月—2021年12月的水质检测数据,出厂水甲醛质量浓

度 $<0.05\text{ mg}/\text{L}$,氨氮质量浓度 $<0.02\text{ mg}/\text{L}$ 。且过程水的监测数据表明(图5),砂滤后高锰酸盐指数最高质量浓度为2.00 mg/L 、最低质量浓度为0.83 mg/L 、平均质量浓度为1.25 mg/L ;炭滤后高锰酸盐

指数最高质量浓度为 1.60 mg/L、最低质量浓度为 0.59 mg/L、平均质量浓度为 1.04 mg/L; 出厂水高锰酸盐指数最高质量浓度为 1.40 mg/L、最低质量浓度为 0.64 mg/L、平均质量浓度为 1.03 mg/L。可见, 深度处理改造后有机物去除效果明显提高, 达到预期的工程目标。

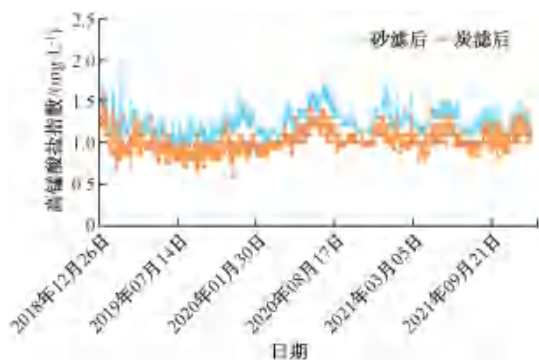


图 5 高锰酸盐指数监测数据

Fig. 5 Monitoring Data of Permanganate Index

魏村水厂深度处理改造工程费用约为 2.7 亿元, 吨水投资为 386 元, 低于同地区同类型水厂改造吨水投资的平均水平(约为 500 元), 具有较好的经济性。

6 结论

在水厂提质改造实施过程中, 由于很多水厂无新征用地条件, 只能利用现有场地进行深度处理改造工程建设, 且为了减少对周边供水的影响, 保产能的同时增加了改造难度。本次深度处理改造工程实例中, 选择管道式投加预臭氧以节省预处理工艺用地、通过迁建管理用房释放建设场地并纳入新建深度处理设施重新规划布局厂区、针对微污染长江原水合理选择臭氧-生物活性炭工艺方案、对单座大规模滤池均匀进水给出设计建议等, 实现了水厂深度处理改造的同时不征地、不降产, 可为类似的水厂升级改造工程提供设计参考。

参考文献

- [1] 徐春蕾. 臭氧-生物活性炭深度处理工艺对典型水质指标的控制效果[J]. 净水技术, 2019, 38(s1): 65-67.
- [2] 危有达. 萧山南片水厂改扩建工程设计方案[J]. 净水技术, 2019, 38(9): 27-32.
- [3] 任中佳. 常州第一水厂臭氧活性炭深度处理改造工程设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(14): 69-72.
- [4] 闫东晗. 高效处理工艺在魏村水厂续建工程中的应用[J]. 净水技术, 2010, 29(1): 74-78.

(上接第 145 页)

- [6] 侯锋, 王凯军, 曹效鑫, 等. 《地下式城镇污水处理厂工程技术指南》解读[J]. 中国环保产业, 2020(1): 20-25.
- [7] 陈贻龙. 地下式 MBR 工艺在广州京溪污水处理厂的应用[J]. 给水排水, 2010, 46(7): 51-54.
- [8] 邱明, 杨书平. 地下式污水处理厂工程设计探讨与实例[J]. 中国给水排水, 2015, 31(12): 48-51.
- [9] 王雅楠. 钱江地下式集约化污水处理厂设计方案[J]. 净水技术, 2020, 39(6): 38-42.
- [10] 王文喜, 赵维春, 姚明炫. UCT-MBR/RO 工艺用于烟台套子湾污水厂扩建工程[J]. 中国给水排水, 2014, 30(6): 65-69.
- [11] 秦桂海. 改良 AAO/MBR/RO 工艺用于半地下式污水厂工程设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(12): 46-49.
- [12] 刘绪为, 徐洁, 林蔓, 等. 正定新区全地下污水处理厂工程

- 设计[J]. 中国给水排水, 2017, 33(4): 48-50.
- [13] 王阳, 张月, 郭庆英, 等. 珠海前山水质净化厂全地下 MBR 工艺设计[J]. 中国给水排水, 2018, 34(22): 59-62.
- [14] 邱维. 昆明市第九、第十地下污水处理厂设计实例分析[J]. 中国给水排水, 2017, 33(10): 22-27.
- [15] 李捷, 隋军, 马振强, 等. 昆明市第九、十污水处理厂的设计要点[J]. 中国给水排水, 2013, 29(6): 58-60.
- [16] 阮辰旻. 昆明市第十水质净化厂运行评估与经验分析[J]. 净水技术, 2018, 37(11): 4-6.
- [17] 王雪, 戴仲怡, 张晓临, 等. A²/O+MBR 工艺用于集约化高排放标准半地下式污水厂[J]. 中国给水排水, 2020, 36(4): 53-56.
- [18] 孙世昌, 汪翠萍, 王凯军. 地下式污水处理厂的研究现状及关键问题探讨[J]. 给水排水, 2016, 52(6): 37-41.