

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.10.018

浸没式超滤在短流程净水厂改造工程中的应用

丛学志, 焦文海, 杨红红, 姚阔为, 孙 逊, 刘海峰
(济南市市政工程设计研究院<集团>有限责任公司, 山东 济南 250101)

摘 要: 济南市某水厂设计处理规模为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,原采用微絮凝+砂滤+消毒短流程处理工艺,为适应原水水质变化,并满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),在充分利用原有设施的基础上,将砂滤池改造为浸没式超滤膜池,并新建高密度沉淀池及污泥处理设施,改造后处理规模达到 $7\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。介绍了技术改造的设计思路和经验,并分析了改造前后净水效果。运行数据表明,调试运行投产以来,出水水质稳定优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),出厂水浊度、菌落总数等指标较改造前有较大提升,可为传统快滤池改造成浸没式超滤膜池提供技术借鉴。该改造工程造价约6 500万元,单位经营成本仅增加0.57元/ m^3 。

关键词: 净水厂; 短流程; 砂滤池; 浸没式超滤

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)10-0111-04

Application of Submerged Ultrafiltration in the Retrofit Project of a Short Process Waterworks

CONG Xue-zhi, JIAO Wen-hai, YANG Hong-hong, YAO Kuo-wei, SUN Xun,
LIU Hai-feng

(Jinan Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: A waterworks in Jinan City, with the treatment capacity of $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, adopted traditional short process of micro-flocculation, sand filtration, and disinfection originally. In order to adapt to changes in raw water quality and meet water quality requirements specified in the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749—2006), the waterworks was retrofitted technically based on full use of the existing facilities. The sand filter was transformed into submerged ultrafiltration membrane tank, and the Densadeg and sludge treatment facilities were also built, thus the treatment capacity reached $7\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ after reconstruction. The design idea and experience are introduced, and the water purification efficiency before and after the reconstruction are analyzed. The operation data show that since commissioning and production, the effluent quality is better than the requirements specified in the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749—2006). The effluent turbidity, aerobic plate count and other indicators have been greatly improved compared with those before retrofit, which could provide technical reference to transform sand filter into submerged ultrafiltration membrane tank. The investment of the retrofit project is about 65 million yuan, and the unit operating cost is increased by only 0.57 yuan/ m^3 .

Key words: waterworks; short process; sand filter; submerged ultrafiltration

我国20世纪80—90年代建设的水厂有一些采用微絮凝过滤的短流程工艺,随着城镇化的快速发

展,水环境发生变化,出厂水质要求越来越高,传统短流程工艺难以保障出水水质稳定达到《生活饮用

水卫生标准》(GB 5749—2006)。

2019年济南市南部城区某水厂启动实施水质提升工程,采用超滤膜工艺替代砂滤工艺。环保部门要求排泥水需经处理后达标排放,因此需建设排泥水处理系统。结合该水厂改造案例,重点分析将砂滤池改造为浸没式超滤膜池的设计思路和思考。

1 工程概况

该水厂始建于1999年,设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用微絮凝+砂滤+消毒的处理工艺。该水厂依山而建,总占地约 3.14 hm^2 ,厂内东侧地坪标高约174.5 m,西侧地坪标高约161.0 m,充分利用地势高差制水,重力式供水,预留部分加压设备。

该水厂原水为水库水,经输水渠道重力自流至水厂。原水浊度为 $0.98 \sim 7.19 \text{ NTU}$,平均浊度在 5 NTU 以下; COD_{Mn} 基本低于 2 mg/L ;氨氮 $< 0.05 \text{ mg/L}$,符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅱ类水体水质标准。但雨季时原水浊度骤升,微絮凝过滤工艺难以应对浊度冲击;春秋两季及低库容期间水中藻类较多,并存在有机微污染情况,藻类数量为 $(1\,000 \sim 4\,800) \times 10^4$ 个/L,大量的藻类造成混凝剂药耗增加、滤池堵塞、过滤周期变短。

针对原水水质特点并考虑节约用地,鉴于国内已有中试研究^[1-2]及成功案例^[3]证明超滤工艺能够安全、有效地处理沉后水,考虑将砂滤池改造为超滤膜池。经过多方案比选,最终确定采用高锰酸钾预氧化+粉末活性炭应急投加+高密度沉淀池+浸没式超滤膜的处理工艺,工艺流程见图1。

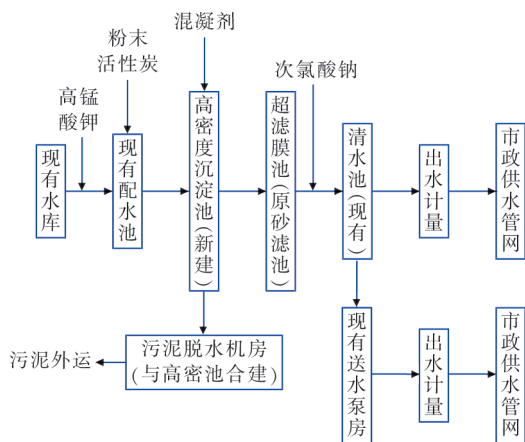


图1 水质提升工程工艺流程

Fig.1 Flow chart of treatment process of upgrading project

2 水厂现状及主要改造方案

各处理构筑物按照工艺流程,由东向西依次布

置有进水井、配水池、四阀滤池、清水池、送水泵房。加氯加药间等附属建筑布置于进水井北侧,低压配电室位于四阀滤池南侧。改造工程将新建高密度沉淀池、脱水机房及变配电室合建于现有四阀滤池东侧的预留发展用地,预留用地东西方向约30 m,南北方向约70 m;改造现有加氯加药间,配置次氯酸钠、聚合氯化铝、高锰酸钾、粉末活性炭投加设备;改造现有四阀滤池为超滤膜池;新建膜附属设备用房,位于现有四阀滤池南侧;按 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的供水规模更换现有送水泵房设备。

3 工程改造存在的难点

3.1 处理能力宽备

南部城区有3座供水厂,近些年南部城区开发速度较快,城市公共供水能力存在缺口,不足部分依赖城区供水厂加压补给。一方面,老城区的供水厂一直处于高负荷运转的状态,对水厂运行调度有一定的影响;另一方面,多级加压供水的模式增加了电耗、管理成本。结合城区发展规划、城市供水现状及规划,并考虑为城市远期发展提供保障,同时为了充分利用该水厂的高程优势,尽量提高水厂供水能力,既可减轻城区供水压力,又可作为南部城区进一步发展的基础设施储备。

3.2 厂区用地紧张

水厂内整体用地面积富余,但厂区西侧主要为绿化用地,主要生产性建(构)筑物均布置在清水池东侧,本次改造工程需在现有单体间新建构筑物、布置各类工艺管道和排水管道等,单体尺寸的把握要充分考虑施工作业范围。

3.3 地下管线情况复杂

现有工艺管道、排水管道错综复杂,需要充分踏勘现场、查阅技术资料,充分掌握地下管线情况,尤其是重力流管道的标高、位置及排水体制等。

3.4 将滤池改造为超滤膜池

为节约工程投资、缩短工期,将原有砂滤池改造为浸没式超滤膜池。砂滤池内部构造及配套管路系统与超滤膜池完全不同,如何改造管廊管道系统、拆除改造滤格构造以及池壁的防腐处理、膜组件检修维护的便利性,都是应重点考虑的内容。

4 改造思路及工程设计

综合上述分析,结合国内浸没式超滤的单格合理规模^[4],设计单格膜池规模取 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。现有四

阀滤池共有7格滤格,处理规模拟定为 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。因工程用地相对紧张,具备合建条件的工艺单元需要进行优化整合。

4.1 预处理加药系统

现有加氯加药间为L型建筑物,北侧为氯瓶间、加氯间及絮凝剂投加间,南侧为仓库。将北侧原有氯瓶间、加氯间分别改造为次氯酸钠、聚合氯化铝成品液投加间,拆除南侧部分,原位新建高锰酸钾、粉末活性炭投加间,对新改建的部分进行防爆设计。

4.2 混凝沉淀及污泥处理系统

混凝沉淀单元位于现有四阀滤池东侧的预留发展用地。采用表面负荷高、占地省的高密度沉淀池,沉淀区底部设置污泥浓缩区,可节省污泥浓缩单元的用地,污泥直接进行脱水处理。将污泥脱水机房、反冲洗废水调节池与高密度沉淀池、新建变配电室、厂区中控室进行合建,车间整体尺寸 $66.50 \text{ m} \times 22.35 \text{ m}$ 。高密度沉淀池混合区停留时间 40 s ,水力梯度不小于 500 s^{-1} ;絮凝反应时间 16 min ;斜管沉淀区上升流速 13.5 m/h ,停留时间 42 min 。

4.3 浸没式超滤膜池

将原有四阀滤池改造为浸没式超滤膜池,充分利用砂滤池与清水池的液位差产水,同时设置泵吸产水装置,当水温低、跨膜压差大、膜通量降低时,可启用产水泵保障制水规模。超滤膜设计膜通量 $25.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,强制膜通量 $30.0 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。过滤周期 $60 \sim 120 \text{ min}$,气冲时间 $30 \sim 60 \text{ s}$,气冲强度 $4.6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{帘})$,水冲时间 $60 \sim 90 \text{ s}$,水反冲洗强度 $80 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

主要改造思路及内容如下:

① 四阀滤池北侧外墙开设检修洞口,外部新建检修间进行外围护。利用滤格侧壁架设轨道,配置门式起重机,满足膜组件安装、检修期间的起吊及运输要求。

② 拆除滤格走道板、排水槽、石英砂滤料、滤砖等,将原有砂滤池改造为超滤膜池;因滤池空间有限,单独设置清洗池的离线恢复性清洗操作较繁琐^[5],因此超滤膜离线恢复性清洗采用原位清洗方式,不单独新建清洗池,故需对超滤膜池侧壁进行加强防腐处理(三布五油环氧树脂玻璃钢保护层,外涂 1 mm 环氧树脂防腐涂层罩面)。

③ 滤格间共用池壁统一凿除 90 cm ,满足门

式起重机跨滤格行走的要求;砂滤池中部的反冲洗排水渠凿除 50 cm ,满足膜产水、反冲洗管道系统的安装要求。

④ 空气压缩系统、真空系统置于滤池二层平台;管廊间内设置产水泵7台,改造管廊内的管道系统,形成膜产水、反洗、化学清洗三大管道系统。

砂滤池改造为超滤膜池后的布置见图2。

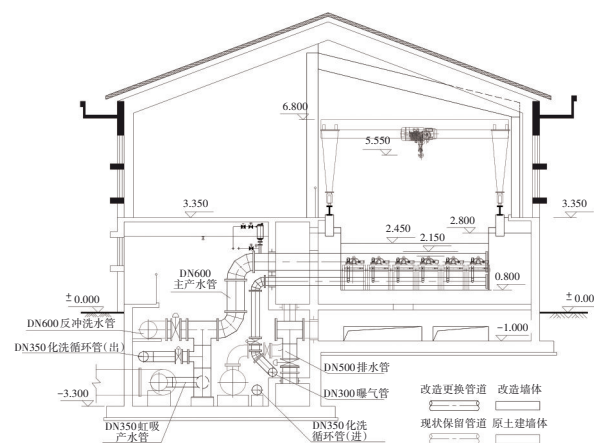


图2 由砂滤池改造的超滤膜池布置

Fig.2 Layout of ultrafiltration membrane tank transformed from sand filter

4.4 膜附属设施

为满足超滤膜系统正常运行,需配套化学清洗废液中和系统、膜系统加药系统、反冲洗水系统、反冲洗气洗系统,以上各系统合建为膜附属设备用房,平面尺寸 $22.40 \text{ m} \times 15.40 \text{ m}$ 。

① 中和池

有效容积按不小于单格膜池体积的2倍设计,单格膜池平面尺寸为 $7.5 \text{ m} \times 6.7 \text{ m}$,清洗时浸没膜架所需水深为 2.0 m ,有效容积 220 m^3 。

② 膜系统加药间

包括膜清洗所需的柠檬酸、次氯酸钠、氢氧化钠、亚硫酸氢钠加药系统。

③ 反冲洗风机房、反冲洗和化洗循环泵房

总供气量为 $37.5 \text{ m}^3/\text{min}$,主要设备为三叶罗茨离心鼓风机;反冲洗水泵采用单级双吸卧式离心泵,反冲水量 $1440 \text{ m}^3/\text{h}$;化学清洗循环泵采用单级单吸卧式化工泵,循环流量 $380 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

④ 反冲洗清水池

储存两格膜池反冲洗所需水量,平面尺寸 $6.57 \text{ m} \times 4.00 \text{ m}$,有效水深 3 m ,有效容积 78 m^3 。

4.5 送水泵房改造

考虑高地势地区的开发,对送水泵房进行设备改造,提升至 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的加压供水规模。

5 运行效果及分析

新建 $7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 絮凝-沉淀-超滤净水设施、污泥脱水设施、 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 加压供水设备,并对厂区其他附属设施进行了设备更新及改造,投资约6500万元,制水成本仅增加0.57元/ m^3 。该水厂自2020年8月改造完成后,经历了切换水源、冬季极寒天气(室外气温 -15°C)等不利条件的考验,改造前出厂水浊度0.22~0.53 NTU,菌落总数1 CFU/mL,改造后高密度沉淀池出水浊度稳定达到0.3~0.5 NTU,超滤膜池出水浊度稳定在0.2 NTU以下,出厂水菌落总数检出率较低,出水水质稳定优于国标要求。

实际运行中发现,超滤膜池维护性清洗后的反冲洗废水含氯量较高,回用至高密度沉淀池后出厂水余氯大幅上升(产水规模小时,可达到2.0~3.0 mg/L),目前通过外排部分反冲洗废水、降低维护性清洗加药量的方式进行控制,建议对超滤膜池反冲洗废水含氯量进行长期监测,后续设计中需注意加强这方面的研究与优化。

6 结语

① 利用现有建筑物进行设备更新时,需注重核对设备选型、加药储罐高度等,避免与现有土建条件不协调的情况。

② 超滤膜系统原位离线恢复性清洗后,需及时清洗管道、水泵中的残液,否则会对系统造成严重的腐蚀损害。建议采用耐腐蚀的化工泵、化学建材管道。

③ 浸没式超滤膜池的超高需考虑反冲洗瞬时水量的影响,膜车间设计时需要考虑增设机械通风,避免离线化学清洗时室内蓄积废气、敞开水面造成的水汽对设备、管道的腐蚀。

④ 传统快滤池改造为浸没式超滤膜池是可行的,值得在老旧水厂改造中推广应用,但应注意原有构筑物与膜系统之间的细节衔接与协调问题。

参考文献:

[1] 张艳,李圭白. 混凝沉淀-浸没式超滤膜处理东江水

的中试研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(11): 37-39.

ZHANG Yan, LI Guibai. Coagulation-sedimentation and submerged ultrafiltration membrane for treatment of Dong River water [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(11): 37-39(in Chinese).

[2] 谢观体,邵森林,梁恒,等. 浸没式超滤膜处理水厂沉后水中试研究[J]. 水处理技术, 2012, 38(4): 114-117.

XIE Guanti, SHAO Senlin, LIANG Heng, et al. Pilot-scale study on immersed ultrafiltration process for sedimentation effluent treatment [J]. Technology of Water Treatment, 2012, 38(4): 114-117(in Chinese).

[3] 徐叶琴,谭奇峰,李冬平,等. 肇庆高新区水厂超滤膜法升级提标改造示范工程[J]. 供水技术, 2012, 6(5): 44-47.

XU Yeqin, TAN Qifeng, LI Dongping, et al. Demonstration project of upgrading reconstruction using ultra-filtration membrane process in Zhaoqing new & high-tech zone waterworks [J]. Water Technology, 2012, 6(5): 44-47(in Chinese).

[4] 徐俊. 浸没式超滤膜技术在水厂升级改造中的应用及设计[J]. 中国给水排水, 2016, 32(2): 41-44.

XU Jun. Design and application of submerged ultrafiltration membrane to upgrading of drinking water treatment plants [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(2): 41-44(in Chinese).

[5] 常海庆,梁恒,高伟,等. 东营南郊净水厂超滤膜示范工程的设计和运行经验简介[J]. 给水排水, 2012, 38(6): 9-13.

CHANG Haiqing, LIANG Heng, GAO Wei, et al. Introduction of the design and operating experience of the ultra-filter membrane model project in Dongying Nanjiao water treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(6): 9-13(in Chinese).

作者简介:丛学志(1987-),男,山东烟台人,硕士,工程师,主要从事给排水设计工作。

E-mail:shjycxz@jnszy.com

收稿日期:2021-01-27

修回日期:2021-03-26

(编辑:衣春敏)