

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.10.018

长沙县某大型水厂集约化工艺设计与运行

陈 蕃^{1,2}, 卢文静¹, 邹 琳¹, 李 漫¹, 刘介源³, 黄 帆¹

(1. 中机国际工程设计研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410007; 2. 湖南省水处理过程与装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410007; 3. 长沙经济技术开发区水质净化工程有限公司, 湖南 长沙 410100)

摘 要: 长沙县某水厂现状规模为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,采用常规水处理工艺,存在供水规模不足、水源水质恶化、出水水质较差等问题。一期改扩建工程规模 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,针对现状用地紧缺及微污染原水的特点,采用“预臭氧+ACTIFLO沉淀池+TGV滤池+消毒”组合水处理工艺,并进行集约化设计,有效解决污染原水处理困难、现有工艺滞后、工程扩建用地不足以及运行超负荷等问题。运行结果表明,出水水质优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),占地面积仅为国家建设标准的40%,废水循环利用后年节约耗水量 $137\times 10^4\text{ m}^3$,工程总投资与类似项目相比节省30%左右。

关键词: 大型水厂; ACTIFLO沉淀池; TGV滤池

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)10-0112-04

Design and Operation of Intensive Process of a Large-scale Waterworks in Changsha County

CHEN Fan^{1,2}, LU Wen-jing¹, ZOU Lin¹, LI Man¹, LIU Jie-yuan³, HUANG Fan¹

(1. China Machinery International Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Changsha 410007, China; 2. Hunan Engineering Research Center for Water Treatment Process & Equipment, Changsha 410007, China; 3. Changsha Economic and Technical Development Zone Water Purification Engineering Co. Ltd., Changsha 410100, China)

Abstract: The current scale of a waterworks in Changsha County is $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, adopting conventional purification technology. There are some problems such as insufficient capacity of water supply, deterioration of source water quality and poor effluent quality. The scale of the phase I reconstruction and expansion project is $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. In view of the current shortage of land and the characteristics of micro-polluted raw water, the combined purification process consisting of pre-ozonation, ACTIFLO sedimentation tank, TGV filter and disinfection was adopted and the intensive design was carried out to effectively solve the problems such as difficult treatment of the polluted raw water, the lag of the existing technology, insufficient land for project expansion and overload operation. The product water quality of the project is better than the limitations specified in *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006). The footprint area is only 40% of the national construction standard, the annual water consumption saving after wastewater recycling is $137\times 10^4\text{ m}^3$, and the total investment of the project is

基金项目: 湖南省高新技术产业科技创新引领计划项目(2020SK2042、2022GK4062); 湖南省重点研发计划项目(2022SK2067)

approximately 30% less than that of similar projects.

Key words: large-scale waterworks; ACTIFLO sedimentation tank; TGV filter

1 工程背景

长沙县某水厂规模为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,于 2010 年投产,水源水取自浏阳河,现状采用常规水处理工艺。随着周边环境开发,供水区域扩大、两岸排污量增加、水源水质恶化等问题日益凸显,造成现有处理规模及工艺无法满足实际要求,故亟需对该水厂进行扩建和技术改造。本次一期改扩建工程采用“预处理+ACTIFLO 沉淀池+TGV 滤池+消毒”组合工艺。改扩建工程设计内容包括新建 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 水

处理构筑物和 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 污泥处理系统、送水泵房和加药系统改造等。

2 改扩建工程介绍

2.1 现状进水水质分析

该水厂进水为浏阳河河水,改扩建工程以 2013 年 1 月—2014 年 2 月的实测原水水质(见表 1)为基础进行水质设计。可见,原水属于微污染水源,挥发酚、 COD_{Mn} 、氨氮均超标,且浊度、 COD_{Mn} 和氨氮波动范围较大,会给水厂运行带来一定的冲击负荷。

表 1 水厂原水水质

Tab.1 Raw water quality of the waterworks

项 目		pH	水温/ $^{\circ}\text{C}$	浊度/NTU	挥发酚/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	氨氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
2013 年 1 月—3 月	范围值	7.27~7.4	12.6~17.7	26.4~112.7	0.000 1~0.006	5.16~23.18	0.402 0~0.440 0
	平均值	7.34	14.63	57.20	0.003 3	16.38	0.423 0
2013 年 4 月—7 月	范围值	7.35~7.89	22.2~32.7	120.3~400.3	0.002~0.005	5.7~8.7	0.376 0~1.002 0
	平均值	7.525	28.50	311.35	0.003 0	7.38	0.668 0
2013 年 8 月—10 月	范围值	8.1~8.48	27~33.8	16.6~79.4	0~0.005	4.66~7.63	0.214 0~1.586 0
	平均值	8.23	30.53	41.80	0.003 0	5.81	0.764 3
2013 年 11 月— 2014 年 2 月	范围值	8~8.5	13.6~22.4	14.5~531.1	0~0.005	4.26~8.67	0.582 0~1.976 0
	平均值	8.24	16.68	156.60	0.003 0	7.09	1.248 8
地表Ⅲ类水质标准		6~8.5			0.000 5	6	1.0

2.2 工艺流程

本工程采用预臭氧对挥发酚、 COD_{Mn} 、氨氮等污染物进行预处理,主体工艺采用“ACTIFLO 沉淀池+TGV 滤池”应对原水浊度、 COD_{Mn} 和氨氮波动较大及厂区改扩建可用面积较小的问题。通过合理设计及优化建设时序,保证改扩建期间水厂正常供水、新建工艺与现有工艺有机结合。同时,预留 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 深度处理建设用地。工艺流程见图 1。

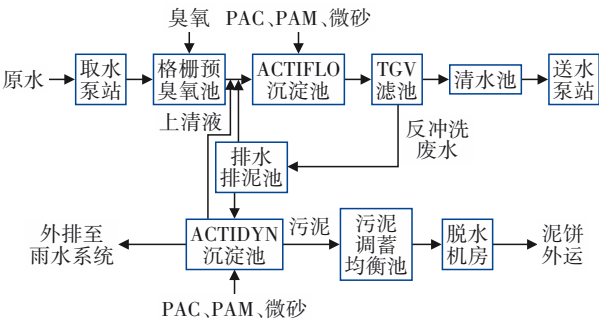


图 1 水厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of the waterworks process

2.3 改扩建工艺特点

2.3.1 集约化利用土地

现有工程($5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)占地面积约为 1 hm^2 ,改扩建工程($10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$)可用地面积仅为 1.21 hm^2 ,地块狭长且不规则,建(构)筑物的布置难度大。本工程采用集约化布置型式,将 ACTIFLO 沉淀池与清水池叠建,TGV 滤池与反冲洗泵房、反冲洗鼓风机房、中间提升泵房合建;同时,合理确定设计参数,参考同类型水厂实际运行数据,并结合水力模拟结果,适当提高设计负荷,减小建(构)筑物尺寸。通过集约化布置和优化设计参数,提高现有土地利用率,扩建工程占地面积仅为国家建设标准的 40%。

2.3.2 增设预处理设施并预留深度处理用地

针对供水区域扩大、进水水质恶化、水质波动较大等现状,本工程新建 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的臭氧预处理设施并预留 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 臭氧活性炭深度处理用地,通过预处理降解原水中的氨氮、COD 及挥发酚,深度处理进一步去除污染物,保证出水达标。

2.3.3 强化稳定出水水质

本工程将ACTIFLO沉淀池与TGV滤池相结合以强化去除效果和缩减用地^[1-2]。ACTIFLO沉淀池利用微砂作为絮体载体,可提高絮体的沉降性能,极大地改善固液分离效果;TGV滤池结合了深层砂床与粗砂过滤的优点,能比普通砂滤池截留更多悬浮颗粒物,提升过滤分离效果。

2.3.4 新建污泥处理系统

污泥处理采用ACTIDYN沉淀池+板框压滤机污泥脱水工艺,同时将沉淀池上清液回流至ACTIFLO沉淀池。ACTIDYN沉淀池具有表面负荷高、用地少、出泥效果好等优点,出水含固率达3%以上。

2.3.5 与现状工艺有机衔接

本工程通过拆除部分现有建筑对现状水处理区进行规整,使新增工艺单体朝向与现状工艺单体一致。同时,TGV滤池出水管可与现有砂滤池并联接入中间提升泵房进入预留深度处理综合构筑物,并在TGV滤池西侧设超越管,就近接入新建的清水池。同时,通过改造及新增设备,提升送水泵房和加药间处理规模至 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

2.4 净水构筑物设计

2.4.1 格栅预臭氧池

格栅预臭氧池按 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 新建,共2座,兼除污、混合氧化、配水等功能。本次扩建时考虑1用1备,并预留远期管道安装位置。每座预臭氧池前设格栅渠2格,单格尺寸为 $9.7\text{ m}\times 3.6\text{ m}\times 2.1\text{ m}$,安装栅条间距为6 mm的格栅2台,过栅流速 0.9 m/s 。预臭氧接触池共2格,单格尺寸为 $14.0\text{ m}\times 3.6\text{ m}\times 6.6\text{ m}$,有效水深6.0 m。接触时间4.35 min,臭氧投加量 1.5 mg/L 。池体、管道及水下设备均采用316L不锈钢材质,采用水射器投加臭氧,池顶设尾气破坏装置,尾气收集至臭氧站处理后排放。

2.4.2 ACTIFLO沉淀池

ACTIFLO沉淀池按 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 扩建,共1座,用于混凝、絮凝、微砂循环和沉淀处理,去除预臭氧池出水中的大部分悬浮物,建筑占地尺寸为 $21.16\text{ m}\times 41.91\text{ m}$ 。其中,混凝池2格,单格有效容积 80 m^3 ,PAC($10\%\text{ Al}_2\text{O}_3$)投加量 $30\sim 140\text{ mg/L}$;絮凝池2格,单格有效容积 194.4 m^3 ,干粉PAM投加量 $0.1\sim 0.3\text{ mg/L}$,微砂投加量 $2\sim 5\text{ mg/L}$;沉淀池2格,单格直径9 m,有效面积 50 m^2 ,上升流速 39.8 m/h ;后混凝池1格,有效容 80 m^3 ,PAC投加量 $2\sim 5\text{ mg/L}$ ^[3]。

2.4.3 TGV滤池

水厂现有 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 均粒滤料滤池保留,TGV滤池按 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 扩建,共1座,分6格,单格尺寸为 $11.26\text{ m}\times 4.88\text{ m}\times 5.64\text{ m}$ 。单格过滤面积 54.95 m^2 ,滤料厚度2 m,承托层厚度0.1 m。滤池正常滤速 13.6 m/h ,强制滤速 16.3 m/h 。滤池反洗周期24 h,采用气、水反冲洗及联合冲洗,其中,气洗强度 $60\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,时间1 min;气水反冲时气冲洗强度 $60\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,水冲洗强度 $20\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,时间8 min;水冲洗强度 $20\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,时间7 min。反冲洗水采用TGV滤池出水,反冲洗水泵3台(2用1备),单台流量 $1\,650\text{ m}^3/\text{h}$,扬程135 kPa。

2.4.4 送水泵房

送水泵房按 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 规模改造。原设计规模为 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,泵房平面尺寸为 $23.4\text{ m}\times 9.0\text{ m}$,共4台水泵机组(3用1备)。泵房原建筑 and 主要结构保持不变,拆除并改造原4台泵及管道。改造后共设置4台卧式双吸离心泵(3用1备),设置1台变频泵,由平行布置改为交错布置。卧式双吸泵 $Q=1\,805\sim 3\,612\text{ m}^3/\text{h}$, $H=400\sim 580\text{ kPa}$, $N=500\text{ kW}$, $r=990\text{ r/min}$ 。

2.4.5 污泥处理系统主要构筑物

① ACTIDYN沉淀池

ACTIDYN沉淀池按 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 新建,1座,分2格,单格平面尺寸为 $20.5\text{ m}\times 13.4\text{ m}$ 。该沉淀池由混合池、絮凝池、沉淀池组成,其中,混合池单格容积 8 m^3 ,停留时间2.06 min;絮凝池单格容积 31.5 m^3 ,停留时间8.11 min;沉淀池单格直径6.5 m、面积 24 m^2 ,上升流速 8.6 m/h 。

② 污泥脱水机房

污泥脱水机房与污泥调蓄均衡池合建,土建按 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 新建,设备按 $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 配置。污泥调蓄均衡池平面尺寸为 $9.0\text{ m}\times 7.0\text{ m}$ 。污泥脱水机房平面尺寸为 $20.0\text{ m}\times 22.5\text{ m}$,总干污泥 15.01 t/d ,进泥含水率98.5%。设板框压滤机2台,过滤面积 150 m^2 ,脱水后泥饼含水率为60%。

2.5 运行维护经验

① TGV滤池需根据实际情况控制反洗强度;反洗过后,排出初滤水后进入过滤阶段;过滤时间根据水头损失来确定,也可根据运行经验以时间来确定,但需设置触发水头。

② ACTIFLO沉淀池运行要注意根据进水量/浊度的变化调整药剂投加量;药剂的选择需要做烧

杯试验来初步确定,再根据现场测试时的矾花和沉淀效果最终确定。

3 工程特色

① 采用部分构筑物紧凑布置方式,用地面积仅为国家建设用地指标的 40%;同时,利用集中管理、分散控制的自动化生产模式,配置人员 33 人,与国家建设指标人数相比缩减近 40% 维护操作人员。

② 利用密度较大的微砂作为载体增加絮体的凝结中心,可在低投药量下通过网捕卷扫作用形成粒径和密度较大的絮体,絮体生长及沉淀速率加快,实际 PAC 投加量仅 16 mg/L,比常规工艺降低近 50%。

③ 深层砂床与粗砂的双重过滤加强了悬浮物截留效果,解决了水质波动幅度较大带来的冲击负荷。较小的滤池面积降低了反冲洗耗水量,达到稳定出水水质和节约投资的效果^[4]。

④ 将 TGV 滤池反冲洗排水和 ACTIDYN 沉淀池上清液循环利用,回流至 ACTIFLO 沉淀池,可节约水厂 3.7% 左右自用水。

4 运行效果与经济分析

水厂改造后于 2018 年 2 月通过竣工验收,出水水质(见表 2)稳定优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。

表 2 水厂出水水质

Tab.2 Effluent quality of the waterworks

项目	浊度/NTU	挥发酚/ (mg·L ⁻¹)	COD _{Mn} / (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	总大肠菌 群/(CFU· 100 mL ⁻¹)
2019 年 10 月—12 月	0.23~0.49	0.001 0~ 0.001 8	1.11~ 1.54	0.05~0.1	未检出
2020 年 1 月—3 月	0.23~0.42	0.001 0~ 0.002 0	1.11~ 1.54	0.03~ 0.13	未检出
2020 年 4 月—6 月	0.25~0.32	0.001 2~ 0.001 6	1.04~ 1.34	0.04~ 0.06	未检出
2020 年 7 月—9 月	0.22~0.45	0.001 0~ 0.001 8	0.91~ 1.16	0.04~ 0.08	未检出
2020 年 10 月—12 月	0.2~0.28	0.000 9~ 0.002 0	0.92~ 1.19	0.04~ 0.05	未检出

经济分析:①通过集约型建设和设备精简,降低了土建投资与设备投资,工程总投资为 1 206 万元,与长沙类似项目相比节省 30% 左右。②循环用水量约 3 780 m³/d,年节约耗水量 137×10⁴ m³。

5 结语

针对原水微污染、原工艺超负荷运行、改扩建用地缺乏等特点,该水厂扩建工程采用“预处理+ACTIFLO 沉淀池+TGV 滤池+消毒”组合工艺,实现了水资源循环利用,降低了工程投资和单位经营成本。项目投产后,出水水质稳定达标。

参考文献:

- [1] 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).
- [2] 陈伟,罗启达,张群,等. 临江水厂 Actiflo[®]澄清池、Filtraflo[®]滤池的设计与应用[J]. 中国给水排水, 2007, 23(8):46-49.
CHEN Wei, LUO Qida, ZHANG Qun, et al. Design and application of Actiflo[®] clarifier and Filtraflo[®] filter in Linjiang water treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(8):46-49 (in Chinese).
- [3] 由小卉,平文凯,陈晓华. Actiflo[®]高效沉淀工艺在 CSO 处理中的应用[J]. 中国给水排水, 2010, 26(20):49-52,58.
YOU Xiaohui, PING Wenkai, CHEN Xiaohua. Application of Actiflo[®] high efficiency sedimentation process to CSO treatment [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(20):49-52,58 (in Chinese).
- [4] 张素霞,徐扬,刘永康,等. ACTIFLO[®]微砂加重絮凝斜管高效沉淀技术[J]. 中国给水排水, 2006, 22(8): 26-31.
ZHANG Suxia, XU Yang, LIU Yongkang, et al. ACTIFLO[®] high efficiency lamella settler with micro-sand ballasted floc technology [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(8):26-31 (in Chinese).

作者简介:陈蕃(1983—),男,湖南长沙人,硕士,高级工程师,中机国际工程设计研究院有限责任公司党委委员、副总经理,主要从事城市污水处理、给水处理设计研究工作。

E-mail:chenfan@cmie.cn

收稿日期:2021-06-07

修回日期:2021-06-28

(编辑:孔红春)