

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.02.015

# 强化老旧水厂常规处理工艺优化提升出水水质

邓俊杰, 劳志雄, 陈明良, 梁晓燕, 谭剑荣, 邓苑  
(佛山水业集团 高明供水有限公司, 广东 佛山 528500)

**摘要:** 老旧水厂因场地限制,通过改造现状工艺池组提升水质存在困难。因此,通过强化常规处理工艺,增加应急投加系统,对提高老旧水厂出水水质以及应对突发性污染有重要作用。某水厂采用常规处理工艺,水源水为沧江河支流,原水水质为地表Ⅲ类水标准,受周边环境的影响以及存在突发性水质污染的情况,短时会达到Ⅴ类水质指标,常规工艺难以处理。通过将虹吸滤池改造成炭砂滤池,并增加粉末活性炭和高锰酸钾应急投加系统来应对微污染及进行应急处理,能有效提高供水安全保障能力。改造后出厂水 TOC 下降 48.28%,耗氧量下降 18.49%,三氯乙醛下降 81.41%,应急处理  $\text{NH}_3 - \text{N}$  能力提高 56.79%。

**关键词:** 老旧水厂; 强化常规工艺; 虹吸滤池; 粉末活性炭; 炭砂滤池; 高锰酸钾; 应急投加系统; 消毒副产物

**中图分类号:** TU991.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)02-0085-05

## Optimizing and Improving Effluent Quality by Strengthening Conventional Water Treatment Process in an Aging Waterworks

DENG Jun-jie, LAO Zhi-xiong, CHEN Ming-liang, LIANG Xiao-yan, TAN Jian-rong,  
DENG Yuan

(Gaoming Water Supply Co. Ltd., Foshan Water Group, Foshan 528500, China)

**Abstract:** It is difficult to improve the water quality of aging waterworks by reforming the existing process tank due to site constraints. Therefore, it plays an important role in improving the effluent quality of aging waterworks and coping with sudden pollution by strengthening conventional water treatment process and increasing an emergency dosing system. For a certain waterworks, which takes raw water quality as level III of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838 - 2002) from a tributary of the Cangjiang River, it is difficult to cope with sudden pollution by surrounding environment when the water quality deteriorated to level V. The water supply safety can be effectively improved by transformation of siphon filter into carbon-sand filter, as well as addition of powdered activated carbon and potassium emergency dosing system. The effluent TOC decreased by 48.28%, the effluent  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  decreased by 18.49%, the effluent trichloroacetaldehyde decreased by 81.41%, and the emergency treatment capacity of  $\text{NH}_3 - \text{N}$  increased by 56.79% after transformation.

**Key words:** aging waterworks; strengthening conventional water treatment process; siphon filter; powdered activated carbon; carbon-sand filter; potassium emergency dosing system;

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07406-004-5)  
通信作者: 邓俊杰 E-mail:417771285@qq.com

## disinfection by-products

佛山市某水厂水源水为沧江河支流,水质为地表Ⅲ类水标准,受周边环境的影响及存在突发性水质污染的情况,短时时会达到Ⅴ类水标准。现状设计处理能力为 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用二氧化氯前加氯+网格絮凝池+斜管沉淀池+虹吸滤池+次氯酸钠消毒的处理工艺,由于存在养殖户偷排污水的情况,除粪大肠菌群超标外,粪便和饲料残渣中含有较高的蛋白质类物质,这些有机物容易在氯化消毒过程中生成三氯乙醛;同时,受污染时氨氮、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 短时较高,现状常规工艺流程难以处理。因此,决定在现状主体工艺不改变的情况下采取强化措施,以应对更多不同的水质状况,保障该片区用水安全。

### 1 分析周期及方法

为确定此次改造是否有效,将对改造前后的出厂水水质数据进行对比,确保检测数据准确。检测周期包括改造前5个月、改造后6个月等共计11个月的数据,检测频率为每月两次,对水中三氯乙醛、菌落总数、总大肠菌群、浊度、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 等指标进行对比,相应分析方法为国家标准方法。

## 2 改造方案

### 2.1 预处理

根据多年统计数据可知,该水源地出现突发性有机污染、氨氮超标等污染情况最多,因此,本次改造预处理主要针对这两种污染,经过试验对比并结合水厂现状条件考虑,通过在原水管中投加高锰酸钾预氧化、投加粉末活性炭加强对有机物吸附等预处理手段,对水厂现状工艺进行强化,提高水厂应对突发性污染的能力。

### 2.2 滤池

原滤池采用 $0.95 \sim 1.35 \text{ mm}$ 均质砂滤料,共计7组,一期3组,每组3格,每格 $31 \text{ m}^2$ ,二期4组,每组2格,每格 $32.5 \text{ m}^2$ 。由于石英砂存在比表面积小、表面光滑、微生物难以附着等缺点,影响了石英砂滤料表面的附着生物量,进而影响了砂滤池对污染物的处理能力。考虑原水浊度较高,且氨氮、有机物含量高等污染风险问题,计划采用活性炭作滤料,但若只用活性炭作为滤料难以保障出厂水浊度达标,因此拟将活性炭与石英砂联用。因厂区用地不足,不能另建新的炭滤池,所以本次改造利用现状虹吸滤池,对滤池滤料层统一厚度后再在石英砂表面

补充活性炭,在保留砂滤池对颗粒物截留去除的条件下,强化对有机物的吸附作用,并通过活性炭表面生成的生物膜提高对有机污染物、氨氮的生物降解作用。

因原砂滤料在使用过程中已损耗了一部分,因此本次每组滤池补充 $d_{10} = 0.95 \sim 1.05 \text{ mm}$ 、 $K_{80} < 1.4$ 砂滤料到 $1.2 \text{ m}$ 厚;上层增加炭滤层,综合考虑滤速、滤料强度、过滤周期以及参考多地的改造案例后,确定双层滤料的上层选用 $\phi 1.5 \text{ mm}$ 、长 $2 \sim 5 \text{ mm}$ 的柱状活性炭,炭层 $0.4 \text{ m}$ 厚,总滤层厚 $1.6 \text{ m}$ ,过滤水头 $1.7 \text{ m}$ ,改造后一期滤池滤速 $7.8 \text{ m/h}$ ,二期滤池滤速 $6.7 \text{ m/h}$ 。由于滤料厚度比原来增加,而活性炭不宜采用气水同冲的方式进行反冲洗,因此按照原设计强度采用气冲、水冲方式进行反冲。为减少跑料现象,在反冲集水槽顶部加设 $20 \text{ cm}$ 不锈钢滤网,孔径 $10$ 目,在有效拦截滤料的同时顺利排水。

### 2.3 消毒

该水厂原采用次氯酸钠消毒,考虑原水存在季节性有机物浓度升高现象,因此本次改造增设高纯二氧化氯消毒,当原水 $\text{COD}_{\text{Mn}} > 6 \text{ mg/L}$ 或出厂水三氯乙醛 $> 0.7 \mu\text{g/L}$ 时采用二氧化氯消毒,能有效减少卤化消毒副产物,改造后可根据不同原水情况选择不同的消毒剂。

改造后的工艺流程见图1。

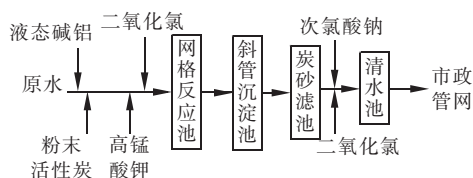


图1 改造后水厂工艺流程(消毒互为备用)

Fig. 1 Flow chart of water treatment process after transformation  
(disinfection standby mutually)

## 3 检测结果及分析

11个月的原水数据汇总见表1。由表1可知,改造后原水 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、TOC浓度平均值下降,而浊度有所上升,原因主要是高温多雨所带来的影响,整体水质无明显变化。因此改造后可降低原水水质变化对出厂水的影响。

出厂水水质见表2。

表 1 原水水质

Tab.1 Quality of raw water

项 目		浊度/NTU	COD <sub>Mn</sub> / (mg · L <sup>-1</sup> )	菌落总数/ (CFU · mL <sup>-1</sup> )	总大肠菌群/ (CFU · 100 mL <sup>-1</sup> )	TOC/ (mg · L <sup>-1</sup> )	氨氮/ (mg · L <sup>-1</sup> )	硝酸盐氮/ (mg · L <sup>-1</sup> )
改造前	最大值	29.5	7.11	82 000	> 16 000	6.50	1.01	3.49
	最小值	11.6	4.24	1 100	> 16 000	3.71	0.57	1.88
	平均值	19.2	5.85	40 810	> 16 000	5.32	0.73	2.43
改造后	最大值	45.2	6.43	120 000	> 16 000	7.03	0.84	2.56
	最小值	13.1	2.64	2 600	> 16 000	2.26	0.36	1.47
	平均值	27.3	4.36	29 838	> 16 000	3.90	0.56	1.76

表 2 出厂水水质

Tab.2 Quality of effluent

项 目		浊度/NTU	COD <sub>Mn</sub> / (mg · L <sup>-1</sup> )	菌落总数/ (CFU · mL <sup>-1</sup> )	总大肠菌群/ (CFU · 100 mL <sup>-1</sup> )	TOC/ (mg · L <sup>-1</sup> )	氨氮/ (mg · L <sup>-1</sup> )	硝酸盐氮/ (mg · L <sup>-1</sup> )	三氯乙醛/ (μg · L <sup>-1</sup> )
改造前	最大值	0.37	2.37	6	0	3.75	0.030	3.50	8.21
	最小值	0.21	1.02	未检出	0	2.06	0.010	1.95	6.00
	平均值	0.27	1.55	1	0	2.80	0.016	2.42	6.68
改造后	最大值	0.76	1.73	30	0	2.00	0.030	2.51	2.10
	最小值	0.17	0.80	未检出	0	0.88	0.010	1.35	0.50
	平均值	0.29	1.26	9	0	1.45	0.015	1.66	1.24

3.1 消毒安全性

改造后使用二氧化氯作前加氯,出厂水次氯酸钠消毒,并将滤池改造成炭砂滤池,菌落总数有所增加,最高达到 30 CFU/mL,平均 9 CFU/mL,远小于国标限值(100 CFU/mL)。二氧化氯现制现用,次氯酸钠存放时间不超过一周,取次氯酸钠按正常生产的投加量进行烧杯试验,显示杀菌效果良好,滤后水剩余二氧化氯控制在 0.02 mg/L,出厂水余氯控制在 0.4 mg/L 以上,因此可初步排除消毒剂的问题。后经查阅资料发现,这主要是因为部分微生物吸附在活性炭上,跟随破碎的活性炭微粒进入清水池,对后续消毒有抗性,因此改造后菌落总数有所增加,但可通过稍微调大消毒剂来应对,暂未发现微生物泄漏的问题<sup>[1]</sup>,供水安全性能得到有效保障。改造后出厂水三氯乙醛浓度从 6.68 μg/L 降至 1.24 μg/L,下降 81.41% (见图 2),这是由于原水 COD<sub>Mn</sub> 下降 25.46%,原水有机物浓度下降较明显,同时通过将前加氯改为二氧化氯,在前加氯过程中不产生三氯乙醛等消毒副产物,而经过炭砂滤池去除有机物的滤后水才用次氯酸钠消毒,能有效降低三氯乙醛等氯消毒副产物的生成<sup>[2]</sup>。经稳定运行后测得出厂水和管网末梢水总大肠菌群无检出,菌落总数检出值远低于国标限值(100 CFU/mL),且 Ames 检测结果呈阴性,消毒安全性得以保障。

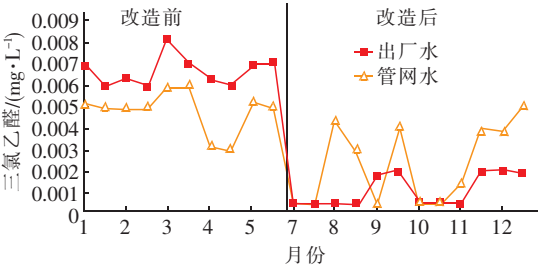


图 2 改造前、后三氯乙醛浓度对比

Fig.2 Comparison of trichloroacetaldehyde concentration before and after modification

3.2 浊度去除效果

将虹吸滤池改造为炭砂滤池后,出厂水浊度最大值出现在 7 月份(见图 3),达到 0.76 NTU,因这次滤池改造主要是增补滤砂到 1.2 m 厚后再铺设 0.4 m 炭层,而活性炭也需浸泡至反冲水无明显颜色后,改造的滤池才能使用,因此可排除柱状活性炭表面炭灰对出厂水浊度造成影响。经观察发现,主要原因是对活性炭进行浸泡时在用滤池数量减少、负荷加大,而正值用水高峰期,暴风雨过后原水浊度直线攀升,最大值达到 899 NTU,这导致滤池反冲周期缩短,滤后水浊度增大。通过调节生产,将滤池反冲设置在夜间用水量较少的时间段,当原水浊度过高时适当降低该水厂产水量,通过全区调度加大其他水厂产能以满足该片区用水需求,有效控制出厂水浊度在 0.3 NTU 以内。对所得数据进行统计可

知,改造前浊度平均去除率为 98.60%,改造后浊度平均去除率为 98.94%,浊度去除效果有所提升。

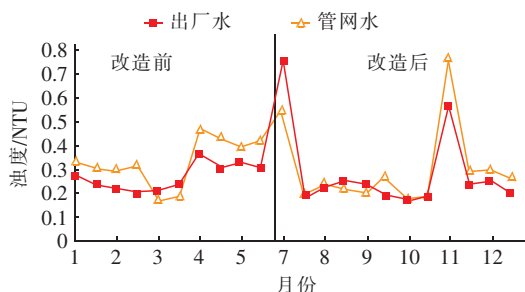


图3 改造前、后浊度对比

Fig.3 Comparison of turbidity before and after modification

由图3可知,7月份出厂水浊度明显升高,8月改造完成后出厂水浊度明显平稳下降,因温度高,有利于活性炭表面生物膜的形成,有效去除有机污染物。而11月因原水浊度仅不到20 NTU,处理效果欠佳,通过在水中原水投加石灰乳后得到有效改善。

### 3.3 有机物去除效果

改造前、后 TOC、COD<sub>Mn</sub>的变化分别见图4、5。

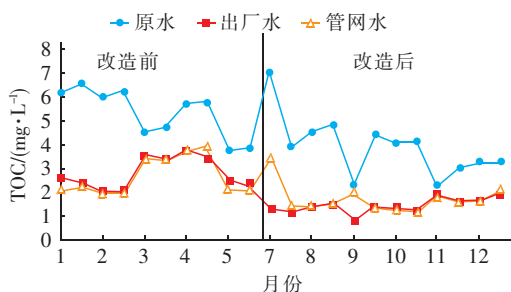


图4 改造前、后 TOC 浓度对比

Fig.4 Comparison of TOC concentration before and after modification

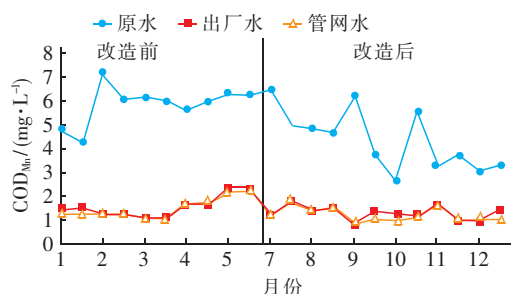


图5 改造前、后 COD<sub>Mn</sub>对比

Fig.5 Comparison of COD<sub>Mn</sub> before and after modification

改造后 COD<sub>Mn</sub>、TOC 均下降且保持平稳,出厂水 TOC 下降 48.28%,TOC 去除率从 47.30% 提高到 62.83%,COD<sub>Mn</sub> 去除率从 73.47% 下降到 70.99%,这是由于原水 COD<sub>Mn</sub> 下降 25.46%,计算

基数变小所致。从图5与表2中得出改造后平均出厂水 COD<sub>Mn</sub> 下降 18.49%,而通过计算得出改造前后标准差从 0.48 下降到 0.27,说明改造后出厂水 COD<sub>Mn</sub> 更稳定。以上指标说明炭砂滤池对有机物的去除有效果,且较为稳定<sup>[3-4]</sup>。

### 3.4 氨氮处理效果

改造前该水厂多次遇到原水突发性氨氮超标情况,根据过往统计数据,改造前原水氨氮浓度达到 0.9 mg/L 以上时,待滤水氨氮浓度达到 0.7 mg/L,出厂水氨氮浓度超过 0.5 mg/L,此时需要停产。改造后发生过氨氮超标的情况,原水氨氮浓度达到 2.53 mg/L,通过投加 0.3 mg/L 高锰酸钾,炭砂滤池滤后水氨氮浓度下降到 0.5 mg/L 以下,较改造前处理能力提高 56.79%。经分析主要原因是活性炭具有较大的比表面积,有利于微生物生长,将水中氨氮转化为硝酸盐,而且附着于活性炭的微生物能改善活性炭的吸附平衡,使活性炭得以再生,持续有效处理水中的氨氮。

## 4 改造注意事项

### 4.1 滤池改造粒径选择

本次改造,滤料粒径选择根据滤柱试验得出实用性较好的规格<sup>[5]</sup>,以确保滤料使用年限与使用效果得到保障,同时按  $K_{80} < 2.0$  进行选择,以降低反冲洗混层的几率。

### 4.2 改造后反冲

为保障反冲强度,将原虹吸反冲改造为气水反冲,由于活性炭比较轻,且气水混冲强度较高,容易磨损活性炭,因此改造后采用单气冲、单水冲的方式,气冲强度  $55 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,水冲强度  $21.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。由于气冲已调到较低强度,气冲时池内水翻滚导致跑炭现象较明显,再进行调整将会影响滤料反冲洗的效果,因此,本项目在现状已加高的集水槽上方增设滤砂网,滤网孔径  $\phi 2.5 \text{ mm}$ ,通过估算取滤砂网高 20 cm。增设滤网后反冲过程水位均能控制在滤网内,减少了跑炭现象。

### 4.3 改造后前加氯

改造后原水有机物浓度依然较高,若前加氯采用次氯酸钠,生成三氯乙醛等氯消毒副产物的量较高<sup>[2]</sup>,因此前加氯改用二氧化氯,采用高纯二氧化氯发生器,二氧化氯纯度达到 98% 以上,并通过水射器抽吸二氧化氯气体进行投加,可有效控制氯酸盐的生成<sup>[6]</sup>。前加氯投加点为原水总管,从投加点



到反应池约1 min,有利于二氧化氯充分混合,减少未混合的二氧化氯光解产生亚氯酸盐;由于本次滤池采用炭砂双层滤料,在氧化还原反应中产生的亚氯酸盐能在活性炭表面发生还原反应,部分被活性炭吸附,因此能有效控制亚氯酸盐、氯酸盐超标的风险。

#### 4.4 改造后消毒剂选择

因原水存在突发性氨氮污染、季节性有机物浓度增高等微污染情况,故应根据不同的水质情况选择合适的消毒方式。当 $\text{COD}_{\text{Mn}} > 6 \text{ mg/L}$ ,或使用应急投加系统后出厂水三氯乙醛 $> 7 \text{ } \mu\text{g/L}$ 时,采用二氧化氯消毒,控制出厂水二氧化氯为 $0.1 \sim 0.8 \text{ mg/L}$ ,避免出厂水氯酸盐、亚氯酸盐超标;其余情况可用次氯酸钠进行消毒。正常情况下两种消毒剂均可使用,应按照实际生产、管网长度、片区用水情况等确定。

#### 5 结语

将滤池改造成炭砂双层滤池后,日常运行效果良好,对 $\text{TOC}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 等指标的去除能力得到有效提升。而对消毒方式进行改造后,前加氯采用二氧化氯,能有效避免处理流程中三氯乙醛等氯消毒副产物的产生,而前加氯的量较小,产生的氯酸盐、亚氯酸盐的量也很小,且采用水射器抽吸二氧化氯气体的形式投加至原水总管中,减少了氯酸盐、亚氯酸盐的产生,在过滤过程中亚氯酸盐会被还原、吸附,可避免氯酸盐、亚氯酸盐超标的风险。滤池改造初期,需注意水厂生产情况,避免滤池负荷过高,影响水质,同时需注意滤后水菌落数的变化,及时调整消毒剂的投量。因活性炭密度较小,而滤层总厚度较厚,为保障反冲强度并避免滤料被冲走,可考虑在排水槽上加装滤网,孔径等于或略大于所选取的柱状活性炭直径。而针对原水水质特点增设应急投加系统,能有效提高水厂的应急处理能力,为安全用水提供有力保障。本次改造仅增加1座占地 $80 \text{ m}^2$ 的应急投加间,对于用地紧张的老旧水厂,能较好地克服用地难问题,且水厂的水质保障能力、处理能力等均得到有效提升。

#### 参考文献:

[1] 冯硕,张晓健,陈超,等. 炭砂滤池在饮用水处理中的研究现状及前景[J]. 中国给水排水,2012,28(4):

16-19.

FENG Shuo, ZHANG Xiaojian, CHEN Chao, *et al.* Research status and prospect of GAC-sand dual media filters used in drinking water treatment[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(4): 16-19 (in Chinese).

[2] 黄文华,蔡广强,张金松,等. 二氧化氯预氧化对三氯乙醛前体物的去除与机制研究[J]. 环境科学学报, 2018, 38(4): 1514-1520.

HUANG Wenhua, CAI Guangqiang, ZHANG Jinsong, *et al.* Efficiency and mechanism of removing chloral hydrate precursor by chlorine dioxide preoxidation[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2018, 38(4): 1514-1520 (in Chinese).

[3] 曾植,杨春平. 炭砂滤池与砂滤池处理稳定性微污染地表水对比试验[J]. 工业水处理, 2008, 28(9): 43-46.

ZENG Zhi, YANG Chunping. Contrast experiment of the treatment of stable micro-polluted ground water between GAC-sand filtration and sand filtration[J]. Industrial Water Treatment, 2008, 28(9): 43-46 (in Chinese).

[4] 沈启明. 某市给水厂强化常规和深度处理工艺处理效果分析[J]. 供水技术, 2014, 8(2): 12-14.

SHEN Qiming. Effect analysis of enhanced conventional treatment process and advanced treatment process in a waterworks of one city[J]. Water Technology, 2014, 8(2): 12-14 (in Chinese).

[5] 赵胜勇,杨晓刚. 小型炭砂滤池在应急污染处理中的试验研究[J]. 河南化工, 2012(9): 37-38.

ZHAO Shengyong, YANG Xiaogang. Experimental study on small-sized carbon-sand filter in emergency pollution treatment[J]. Henan Chemical Industry, 2012(9): 37-38 (in Chinese).

[6] 尤作亮,张金松,惠如冰. 二氧化氯净化副产物的控制与去除技术[J]. 给水排水, 2003, 29(3): 17-21.

YOU Zuoliang, ZHANG Jinsong, HUI Rubing. Control and removal of chlorine dioxide purification by-products[J]. Water & Wastewater Engineering, 2003, 29(3): 17-21 (in Chinese).

作者简介:邓俊杰(1992-),男,广东佛山人,本科学历,助理工程师,现从事自来水生产工艺管理及市政工程施工管理工作。

E-mail: 417771285@qq.com

收稿日期: 2020-10-24

修回日期: 2020-11-21

(编辑:衣春敏)