

# 提标扩建后的扬州第一水厂运行效果评估

郑全兴

(江苏长江水务股份有限公司, 江苏 扬州 225009)

**摘 要:** 扬州第一水厂提标扩建改造工程已竣工投产,自运行以来,经历春、夏、秋、冬四个季节,原水水质呈周期性变化。夏天原水水质变差,应对高藻原水和淮河泄洪这些季节性微污染原水时,采用了强化常规水处理、预处理和深度处理组合工艺。冬天低温低浊、沉淀池出水浊度偏高时,采用了强化常规水处理和深度处理组合工艺。应对不同的原水水质,采用了不同的组合工艺,保障了供水安全,使出厂水水质满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。

**关键词:** 藻类; 有机物; 低温低浊; 运行效果; 评估

**中图分类号:** TU991.2 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)01-0052-04

## Evaluation of Operation of Yangzhou No. 1 Waterworks after Extension

ZHENG Quan-xing

(Jiangsu Yangtze River Water Co. Ltd., Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** Since the Yangzhou No. 1 Waterworks was put into service after the extension, it has been operating regularly for over three years, during which the waterworks has experienced four seasons and the raw water quality has undergone periodical changes. In summer, the water quality deteriorated. To incorporate with high algae raw water and the slightly polluted raw water caused by the seasonal flood discharge in Huaihe River, a process combining intensified conventional water treatment, pretreatment, and advanced treatment was adopted. In winter, raw water was low in temperature and turbidity. When the turbidity of effluent from the sediment pool became high, advanced treatment process was employed in combination with conventional water treatment. In response to the variations in the raw water quality due to the change of water sources, different combinations of technologies were implemented in order to ensure the security of water supply and to meet the quality of the treated water with the requirements of the *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006).

**Key words:** algae; organic compound; low temperature and low turbidity; operational effect; assessment

扬州第一水厂生产规模由原来的  $15.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  扩大为  $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,原水取自万福闸廖家沟水源地,廖家沟原水正常水质基本符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅱ~Ⅲ类水质。但是每年的雨季,作为淮河排江通道的廖家沟水源地受上游泄洪的影响,水质变差。除雨季开闸排洪外,万福闸常年关闭,水源类似水库水,由于水体受到不同程度的污染,在夏天高温时,水中藻类快速生

长而产生异味,影响供水安全。冬天低温低浊,原水难处理。因此,扬州第一水厂采用了不同组合工艺应对原水水质的变化。

### 1 工程概况

在原水厂东侧新建了一组常规水处理工艺构筑物,主要包括加药间、高密度沉淀池、V型滤池、清水池以及二泵房,处理规模为  $17.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。在保证原净水厂不停产的情况下穿插施工,当扩建后的

工艺构筑物投入运行后,再拆除原净水厂的加药间、配水井、隔板絮凝池、平流式沉淀池以及普通快滤池;另外,留用原水厂 8 000、4 000、6 000 m<sup>3</sup> 的清水池和泵房。

在拆除原构筑物后,新建一组 17.5 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d 同样工艺的构筑物及深度处理单元,深度处理规模为 35 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。工程投资为 4.87 亿元,厂区占地面积为 5.87 hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。工艺流程如图 1 所示。

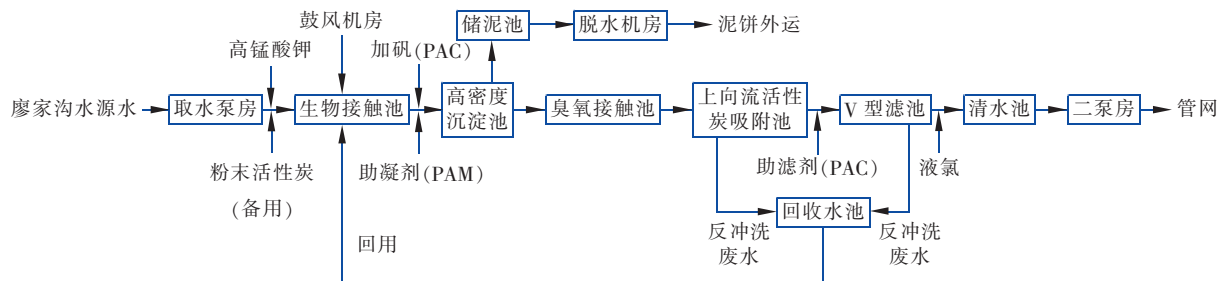


图1 工艺流程

Fig.1 Flow chart of water treatment process

## 2 提标扩建工程运行效果

扬州第一水厂自提标扩建改造工程运行以来,夏天原水藻浓度过高及淮河泄洪时,采用了在取水头部投加高锰酸钾和粉末活性炭、生物接触氧化池、中置式高密度沉淀池、臭氧氧化接触池、上向流生物活性炭吸附池、V型滤池、液氯消毒工艺。冬天低温低浊时,絮凝效果不佳,沉淀池出水浊度偏高,水厂运行方法:停运生物接触氧化池,在中置式高密度沉淀池投加凹凸棒土,并采用臭氧氧化接触池、上向流生物活性炭吸附池、V型滤池、液氯消毒工艺。

### 2.1 对藻类及微囊藻毒素-LR 的去除

2016年5月23日,对原水和水厂部分构筑物出水中的藻类及微囊藻毒素-LR进行了检测,原水为该水厂的进水,具体水质见表1。在万福原水厂取水口投加高锰酸钾和粉末活性炭,其投加量分别为1.5、15 mg/L。

表1 原水水质

Tab.1 Quality of raw water

项目	水温/ ℃	pH 值	色度/ 度	臭和 味	浊度/ NTU	藻类/ (10 <sup>4</sup> 个 · L <sup>-1</sup> )	微囊藻毒素 -LR/(μg · L <sup>-1</sup> )
数值	25	7.9	15	2级	32	630	0.222

#### 2.1.1 高密度沉淀池

向高密度沉淀池投加聚合氯化铝(PAC)和聚丙烯酰胺(PAM),投量分别为35和0.1 mg/L。结果表明,对藻类及微囊藻毒素-LR的去除效果较好。高密度沉淀池出水中藻类为33.8 × 10<sup>4</sup> 个/L,微囊藻毒素-LR为0.147 μg/L,对藻类及微囊藻毒素-LR的去除率分别为94.63%、33.78%。其原因

可能是,高锰酸钾被还原进而生成具有强氧化性的新生态水合二氧化锰,可氧化粒径为1~3 mm、带有鞭毛、游动性很强的藻细胞个体。同时,水合二氧化锰可氧化破坏藻细胞生长时产生的多糖类、果胶类、脂蛋白类、聚酰胺酸类有机物等细胞外胶状物质。而粉末活性炭因其巨大的比表面积而具有较强的吸附能力,另外粉末活性炭的投加增加了水中的粒子数量,其可作为混凝剂的晶核,去除更多藻细胞,具有明显的助凝作用<sup>[2]</sup>。

高锰酸钾与粉末活性炭联用在去除微囊藻毒素-LR方面具有互补性,高锰酸钾对微囊藻毒素-LR具有一定的氧化降解能力,可使其生成邻二醇类有机物而丧失毒性。一般来说,随着高锰酸钾投量的增加,对微囊藻毒素-LR的去除率越来越高,因为在粉末活性炭吸附过程中增加高锰酸钾投加量可以保证有足够的氧化强度使微囊藻毒素-LR在粉末活性炭表面发生氧化聚合<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.2 上向流活性炭吸附池

上向流活性炭吸附池的出水中藻类为11.5 × 10<sup>4</sup> 个/L,在高密度沉淀池出水的基础上进一步降低了藻类的含量,其去除率为65.98%,占藻类总去除率的3.53%。随着藻细胞的进一步去除,水中的微囊藻毒素-LR也被进一步去除,在前置构筑物的基础上炭池出水中微囊藻毒素-LR为0.121 μg/L,去除率为17.69%,占微囊藻毒素-LR总去除率的11.71%。其原因可能是:①臭氧具有很强的氧化性,能破坏藻细胞膜和组织结构中的蛋白质与核酸,或进入藻细胞氧化其中的酶系统,导致细胞死

亡,同时臭氧能对微囊藻毒素-LR起到杀死作用,使其失去活性;②由于上向流活性炭吸附池置于臭氧接触池之后,当水中有足够的溶解氧时,活性炭表面产生了大量的微生物,而活性炭吸附和生物降解协同作用对去除藻类及微囊藻毒素-LR的效果明显,活性炭依靠其吸附性能吸附大部分藻类细胞,并在其表面积聚浓缩,同时产生部分微生物,把积聚在活性炭表面的藻细胞及其有机物作为养料消化分解,从而进一步降低水中的藻类及微囊藻毒素-LR含量。

### 2.1.3 V型滤池

V型滤池出水中藻类为 $10.1 \times 10^4$ 个/L,在前置构筑物的基础上其对藻类的去除率为12.17%,占藻类总去除率的0.22%。出水中微囊藻毒素-LR为 $0.105 \mu\text{g/L}$ ,去除率为13.22%,占微囊藻毒素-LR总去除率的7.21%。其原因可能是:①吸附在颗粒上的藻类随着浊度的降低而被去除;②石英砂滤料去除水中浊度时,在滤料表面形成了生物膜,生物膜具有高度亲水性和很强的吸附能力,可吸附并降解水中的藻类及微囊藻毒素-LR,从而达到进一步净化作用。

### 2.1.4 出厂水中藻类及微囊藻毒素-LR的变化

出厂水中藻类含量为 $9.2 \times 10^4$ 个/L,在V型滤池的基础上清水池对藻类的去除率为8.91%,占藻类总去除率的0.14%。其原因可能是:清水池起到了沉淀作用,吸附在颗粒上的藻类沉淀下来被进一步去除。出厂水中微囊藻毒素-LR含量为 $0.122 \mu\text{g/L}$ ,可见经过清水池该值不仅没有降低,反而升高了。这是由于藻细胞破裂致使藻毒素释放,但仍符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求。

## 2.2 对浊度的去除

根据2016年4月的生产数据报表,原水浊度为3~8 NTU,平均为5 NTU,出厂水平均浊度为0.51 NTU,浊度去除率为89.8%。冬天,在中置式高密度沉淀池投加凹凸棒土,投加量为30~60 mg/L,其可增大颗粒的碰撞几率,增强混凝效果,并降低后续构筑物的处理负担。

2016年梅雨季节没有下雨而秋雨较多,万福闸开闸泄洪,根据11月生产数据报表,原水浊度为104~422 NTU,平均为201 NTU,出厂水平均浊度为0.66 NTU,浊度去除率为99.67%。对原水浊度的

去除起主要作用的是高密度沉淀池。这是因为高锰酸钾可氧化破坏胶体颗粒表面的有机涂层,降低胶体颗粒的表面电负荷和双电层排斥作用,使水中胶体颗粒易于脱稳,从而达到去除有机物和浊度的目的。粉末活性炭因其巨大的比表面积,能吸附水中的有机物,强化混凝过程<sup>[4,5]</sup>。

## 2.3 对 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 的去除

$\text{COD}_{\text{Mn}}$ 在饮用水处理中通常用于表征水中还原性有机物的多少,对2016年11月生产数据报表进行分析:原水 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 为3.7~5.6 mg/L,平均为4.4 mg/L,出厂水中 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 平均为1.7 mg/L,去除率为60.36%。有机物的去除途径主要是:①高锰酸钾与粉末活性炭协同作用,去除了部分有机物;②臭氧的强氧化性可以使水中难降解的有机物断链、开环,将大部分有机物氧化为小分子有机物,使原水中有有机物的可生化性和可吸附性得到增强,以利于后续生物活性炭的处理<sup>[6]</sup>;③臭氧氧化反应后生成 $\text{O}_2$ ,为后续活性炭池中的微生物提供了足够的DO,从而促进了微生物的新陈代谢。另外通过臭氧的氧化,使得后续活性炭对有机物的去除率大大增加。

## 2.4 对臭和味的去除

水体产生的臭和味是由一些水生生物引起的,使水中产生天然土霉味的微生物主要有蓝绿藻和放线菌,它们能代谢一些具有土霉味的半挥发性有机物,如土臭素和二甲基异茨醇(2-MIB)等。该水厂工艺去除臭和味的原因可能是:①粉末活性炭吸附作用,原水从取水口到净水厂需2 h左右,可充分发挥活性炭的吸附性能<sup>[7]</sup>;②生物接触氧化池曝气对水中臭和味有吹脱作用,且填料生物膜中的微生物能去除水中致嗅有机物;③臭氧可氧化致嗅物质,并且生物活性炭可去除致嗅有机物。

## 2.5 对氧化副产物的控制及消毒效果

2016年9月三卤甲烷(THMs)检测值为0.02(三氯甲烷、三溴甲烷、二氯一溴甲烷、一氯二溴甲烷分别为<0.002 0、<0.005 0、<0.002 0、0.002 1 mg/L),远低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中的限值。其原因可能是:①取水口投加高锰酸钾和粉末活性炭可以有效去除有机物,从而减少消毒副产物的前体物;②在臭氧-生物活性炭组合工艺中,臭氧将大分子有机物氧化为小分子有机物,使原水中有有机物的可生化性和可吸附性增强,而其后的活性炭能吸附分解有机物,从而使消毒副产



物的前体物大量减少。根据2014年8月的生产报表,与2012年同时期常规处理工艺相比,在保证管网末梢水质合格的条件下,1 000 m<sup>3</sup> 水的氯耗平均下降了53.3%,这是由于水中大部分有机物和还原性物质被去除。

## 2.6 水质检测

2016年11月是原水水质最差的一个月,对扬州第一水厂出厂水进行了全面分析,水质完全符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求,具体见表2。

表2 出厂水部分水质指标  
Tab. 2 Quality of finished water

项 目	GB 5749—2006	出厂水
色度/度	15	<5
浊度/NTU	1	0.66
氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.5	<0.02
COD <sub>Mn</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	3	1.70
贾第鞭毛虫/(个·10 L <sup>-1</sup> )	<1	未检出
隐孢子虫/(个·10 L <sup>-1</sup> )	<1	未检出
微囊藻毒素-LR/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.001	<0.000 2
溴酸盐/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.01	<0.005
甲醛/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.9	0.05
氯化物/(mg·L <sup>-1</sup> )	250	28.5
三卤甲烷	<1	0.03

## 3 讨论

提标扩建后的扬州第一水厂运行效果良好,但也存在一些问题:①高密度沉淀池矾耗很高,达到25~60 mg/L,是其他水厂的5~10倍;②藻类无法进一步去除,有时藻类含量高达每升几十万个,无法解决藻细胞后续藻毒素的释放问题;③相对于生物活性炭滤池,V型滤池去除浊度的效果不明显;④上向流生物活性炭滤池存在跑炭情况。

## 4 结论

扬州第一水厂的原水取自万福闸廖家沟水源地,一年中,原水难处理时段为高藻期、淮河泄洪期及低温低浊期。为应对季节性的水源水质变化,扬州第一水厂提标扩建工程采用了不同的处理工艺。提标扩建工程于2013年5月竣工后,投入生产运行

至今,出厂水水质满足现行国家水质标准。

## 参考文献:

- [1] 陆玉蓉,郑全兴,刘锐. 扬州第一水厂提标扩建工程案例[J]. 中国给水排水,2014,30(20):98-101.
- [2] 郑全兴. 饮用水处理过程中对藻类的控制研究[J]. 中国给水排水,2010,26(17):98-100.
- [3] 魏军艳,薛文通,马小妮,等. 高锰酸钾与粉末活性炭联用处理微囊藻毒素[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2008,28(3):299-302.
- [4] 周平,郑全兴,葛丽英. 高锰酸钾与粉末活性炭联用工艺在饮用水强化处理中的应用[J]. 给水排水,2009,35(4):14-17.
- [5] 姜成春,马军,李圭白. 高锰酸钾与粉末活性炭联用去除水中微量有机污染物[J]. 哈尔滨建筑大学学报,2000,33(6):45-49.
- [6] 王正林,邹浩春,戎文磊,等. 充山水厂臭氧—生物活性炭深度处理示范工程[J]. 给水排水,2009,35(4):7-11.
- [7] 李伟光,邵玉楠,黄晓东,等. 高锰酸钾与粉末活性炭联用去除饮用水中嗅味[J]. 中国给水排水,2007,23(5):18-21.



作者简介:郑全兴(1971—),男,江苏泰州人,硕士,高级工程师,国家注册一级市政建造师,研究方向为水厂运行管理。

E-mail: zqxing1708@126.com

收稿日期:2017-07-29