

高藻期滦河水处理工艺流程对比试验研究

赵志伟¹ ,崔福义¹ ,刘广奇² ,刘国平³

(1. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院 黑龙江 哈尔滨 150090 ; 2. 中国城市规划设计研究院 北京 100044 ;
3. 哈尔滨绍和供水有限公司 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要 对天津滦河高藻原水进行常规处理工艺、常规处理-活性炭工艺、常规处理-预氧化和臭氧活性炭工艺处理效能的对比试验 ,研究结果表明 :在常规处理工艺投加适量的混凝剂可有效控制浊度 ,但其对 TOC 和藻类的去除率仅为 38.7% 和 89.5% ;在常规处理工艺基础上增加后续活性炭过滤后 ,TOC 和藻类的去除率可达 65.1% 和 97.0% ;在臭氧预氧化和常规处理基础上增加臭氧活性炭工艺 ,TOC 和藻类的去除率可达 83.2% ,98.3% ;同时臭氧预氧化可提高气浮对藻类和 TOC 的去除效率 ,臭氧中间氧化也有利于提高活性炭对 TOC 的去除。

关键词 高藻水 ;TOC ;臭氧氧化 ;气浮 ;活性炭

中图分类号 :TU991 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2007)02-0145-04

富营养化水体中藻类及代谢物对我国以地表水为水源的城市供水造成严重的影响^[1]。天津饮用水与工业用水主要来源于水库 ,原水含藻量变化的季节特征较为明显 ,高值多出现在水温较高的夏秋季。高藻期原水中藻类主要以蓝藻为主 ,占藻类数总量的 70% ~ 90% ,优势种为微藻属的铜绿微藻和水华微藻^[2]。高藻期间水质各项指标变化较大 ,浊度、耗氧量、叶绿素、藻类等指标明显升高 ,水中藻类产生的恶臭味严重影响出厂水的感观指标 ,给水质净化带来较大难度^[3-4]。本文针对天津水厂高藻期饮用水安全问题 ,对高藻原水进行不同水处理工艺的处理效能对比试验研究 ,旨在为此类问题的解决提供技术支持。

1 实验装置及方法

1.1 常规工艺

混凝池采用三级机械搅拌池 ,水力停留时间 20 min ,转速分别为 130 ,30 ,20 r/min。混凝剂采用 5% 的 FeCl₃。采用回流式压力溶气气浮池 ,水力停留时间 15 min ,气水回流比为 10%。采用无烟煤和石英砂双层滤料 ,上层无烟煤 600 mm ,下层石英砂 400 mm ,滤速为 8 m/h。

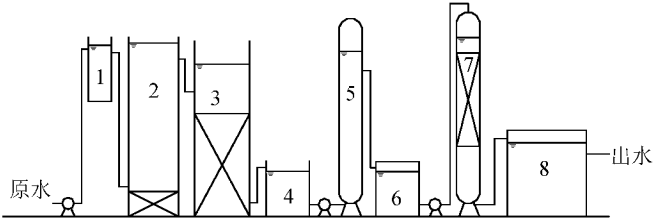
1.2 臭氧单元

采用氧化能力强的臭氧作为氧化剂^[5-6]。将臭氧化空气用空压机压入水射器中 ,采用钛板曝气 ,气水同向流 ,臭氧与水接触时间 12 min。预氧化臭氧投加量为 1 mg/L ,中间氧化臭氧投加量为 2 mg/L。

1.3 活性炭单元

活性炭滤池采用活性炭和石英砂双层滤料 ,上层为厚度 1500mm 的活性炭 ,下层为厚度 300mm 的石英砂 ,滤速为 5 m/h。

中试试验装置见图 1。



1—混合反应 2—气浮 3—过滤 4—中间水箱 5—臭氧反应器 ;
6—中间水箱 7—活性炭 8—消毒接触

图 1 中试试验装置

Fig.1 Setup for pilot experiment

2 实验结果与讨论

目前饮用水处理工艺主要包括常规处理工艺、预处理工艺与深度处理工艺。在常规处理工艺充分发挥作用的基础上 ,应增加适当的预处理工艺与深

度处理工艺净化水质.本文对常规工艺的混凝→气浮→砂滤流程,与深度处理工艺的混凝→气浮→砂滤→活性炭过滤和预处理工艺的臭氧预氧化→混凝→气浮→砂滤→臭氧氧化→活性炭过滤流程对比净化效果,对臭氧预氧化工艺、常规工艺、活性炭深度处理工艺(包括活性炭过滤和臭氧-活性炭过滤)处理效果进行讨论.

2.1 原水水质参数

2005年7~10月在天津市J水厂进行了中试试验的研究,此时正是滦河水高藻期,常规水质参数见图2.原水的 COD_{Mn} 和 UV_{254} 均在正常范围内,浊度在10 NTU附近,藻类个数为每毫升几千个,属于低浊高藻水.

2.2 常规工艺

在常规工艺中对混凝技术进行调整优化.首先根据水质情况筛选优化,确定混凝剂的种类和投量.目前水厂使用的混凝剂大致有3种:铝盐 $Al(III)$ 、铁盐 $Fe(III)$ 以及人工合成的有机阳离子聚合混凝剂.本文选择广泛应用的铁盐混凝剂^[7],在一定pH值条件下确定其最佳投量.

试验中对浊度、 UV_{254} 和 COD_{Mn} 3项指标进行考察.

如图3所示,在低投药量下气浮没有对浊度进行有效去除,形成的絮体在后续的过滤中去除,造成滤池工作周期缩短.而高投药量虽然可以达到较高的去除率,却造成了混凝药剂的浪费.根据图4、5中 UV_{254} 和 COD_{Mn} 指示的有机物去除情况,大部分有机物均在气浮工艺阶段随颗粒絮体的去除而去除,去除效率在15 mg/L左右出现较为明显峰值,与传统的混凝理论结论吻合.

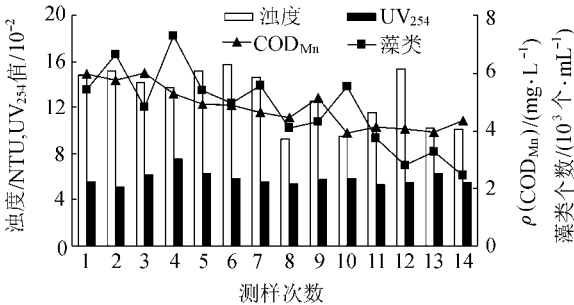


图2 试验原水的水质参数

Fig.2 Water quality parameters for raw water in experiment

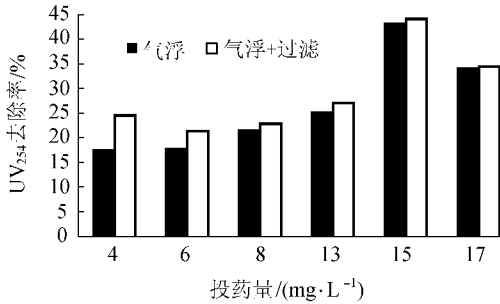


图4 不同投药量下常规工艺对 UV_{254} 去除效率

Fig.4 Removal rate of UV_{254} by conventional technique at different dosages

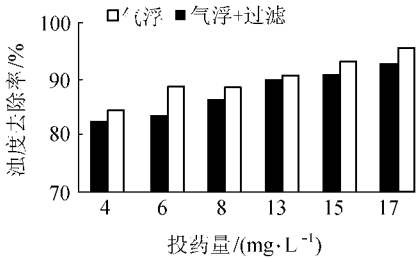


图3 不同投药量下常规工艺对浊度去除效率

Fig.3 Removal rate of turbidity by conventional technique at different dosages

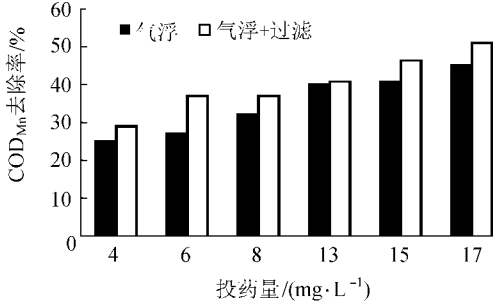


图5 不同投药量下常规工艺对 COD_{Mn} 去除效率

Fig.5 Removal rate of COD_{Mn} by conventional technique at different dosages

2.3 处理工艺对比

为有效去除水中微量有机物和藻类物质,对不同工艺流程处理效果进行对比,确定天津地区水质的处理工艺.工艺主要包括混凝、气浮、砂滤、臭氧预氧化、活性炭过滤、臭氧-活性炭过滤单元,将其进行整合为以下3种流程进行对比实验:(a)流程1,混凝→气浮→砂滤;(b)流程2,混凝→气浮→砂滤→活性炭过滤;(c)流程3,臭氧预氧化→混凝→气浮→砂滤→臭氧氧化→活性炭过滤.

其中铁混凝剂投量(以 $FeCl_3$ 计)为15.0 mg.流程1与流程2为同一系统,因此,流程1的数据与流程2中相同处理单元的数据相同.

2.3.1 总有机碳

TOC表示水中有机物含碳量,根据TOC值的变化可以有效指示水中有机物含量.图6表示不同工艺流

程对 TOC 的去除效果.比较流程 1 和 2 可以看出,活性炭对水中 TOC 的去除起了很大作用,经过活性炭处理之后出水中 TOC 值均低于 2.0 mg/L.

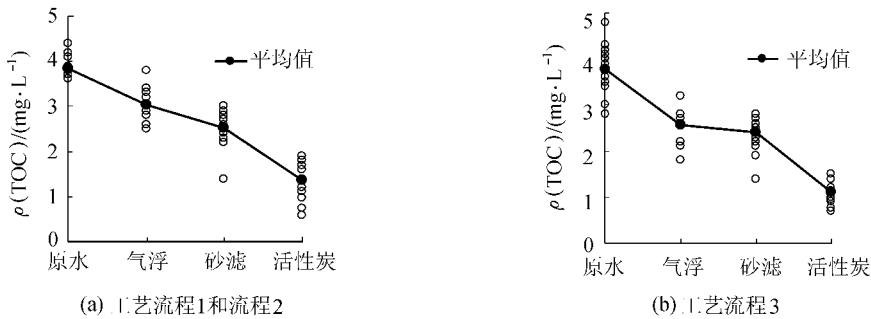


图 6 出水 TOC

Fig.6 TOC values in effluent by 3 technical processes

而经过臭氧氧化之后,出水的 TOC 达到更低的水平,均在 1.5 mg/L 以下.臭氧的投加对活性炭具有重要的影响,它可将带色、产生 UV 吸收的芳香族化合物等难降解的有机物分解为易吸附降解的醛类、酸类等物质,被后续的活性炭去除^[8].

由图 7 可知,流程 1 气浮对 TOC 的去除率为 28.9%,过滤 TOC 的去除率为 9.8%;流程 2 中活性炭对 TOC 的去除率为 27.5%;而流程 3 经臭氧预氧化和中间氧化后 TOC 总去除率达到 83.2%.因为臭氧可以与不饱和官能团反应,破坏碳碳双键;同时臭氧可氧化铁、锰等无机呈色离子为难溶物;臭氧的微絮凝效应还有助于有机胶体和颗粒物的混凝,并通过颗粒过滤去除致色物.通过臭氧的氧化和微絮凝作用,水中的有机物更易于被气浮过滤单元去除.

流程 2 对 TOC 的平均总去除率为 65.4%,在经过臭氧预氧化(1 mg/L 和臭氧中间氧化(2 mg/L)之后,TOC 平均总去除率提高至 83.2%.对比可以看出,进行适当的臭氧氧化可以提高系统对有机物的去除率,提高出水水质.流程 3 中活性炭对 TOC 的去除率明显高于流程 2 中活性炭对 TOC 的去除率,可见臭氧-活性炭工艺对 TOC 的去除要大于直接活性炭过滤工艺.

2.3.2 藻类物质

藻类会影响混凝和沉淀,增加混凝剂量,堵塞滤池,缩短滤池过滤周期,致臭并产生藻毒素,和氯作用形成氯化消毒副产物,降低饮用水安全性.去除藻类最好的方法之一就是使藻类杀灭失活,通过后续工艺进行分离去除^[9].

如图 8(a)所示,经过臭氧预氧化后气浮对藻类的去除率明显增加,减轻了过滤对藻类去除的负荷,而活性炭过滤对藻类去除率的影响没有明显的变化.比较流程 1 和 2 可以看出,经过臭氧预氧化和中间氧化之后,流程 3 对藻类的去除有了明显的提高,如图 8(b)所示.出水藻类含量保持在 100 个/mL 左右.由于臭氧氧化对藻类有明显的溶裂和杀灭作用^[10]以及对后续沉淀的助凝作用,提高了后续工艺混凝沉淀对藻类的去除效率.

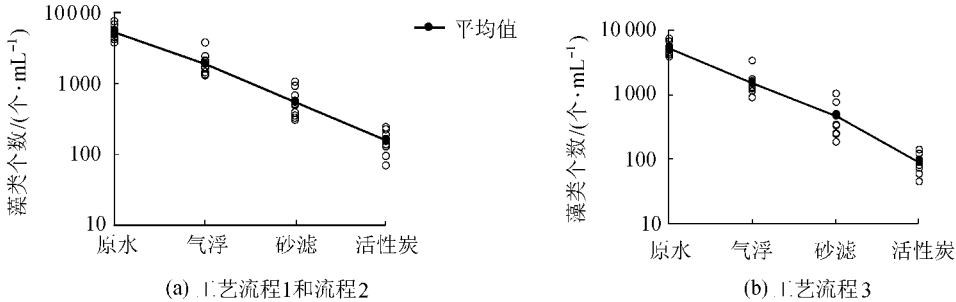


图 8 各单元出水藻类计数

Fig.8 Algae counting in effluent of 3 technical processes

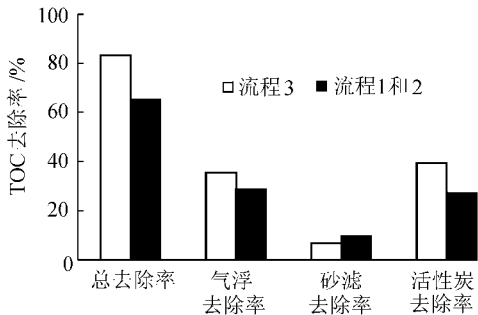


图 7 3 种工艺流程对 TOC 去除效果比较

Fig.7 Comparison of removal rates of TOC by 3 technical processes

流程1对藻类的总去除率为89.5%,其中以气浮对藻类的去除率最高,为71.0%,而砂滤对藻类的去除率为20%。流程2、3对藻类的去除率分别为97.0%和98.3%,如图9所示。流程3在总去除率略有升高的情况下利用臭氧氧化对藻类的溶裂和杀灭及助凝作用,使得气浮有效分离了水中的藻类,并防止藻类进入砂滤池和活性炭滤池,减轻过滤负荷的同时阻止了藻类在滤池中的繁殖。

3 结 论

- a. 在高藻水情况下,常规工艺对混凝进行适当的调整即可以将浊度控制在0.3 NTU以下,无需进行强化处理,但其对TOC和藻类去除效果不佳,仅为38.7%和89.5%。
- b. 在常规工艺的基础上增加后续活性炭过滤后,TOC和藻类的去除率可达到65.4%、97.0%,在常规处理基础上增加臭氧预氧化、臭氧化活性炭工艺后,TOC和藻类的去除率可达到83.2%、98.3%,两者均可有效去除水中的微量有机物和藻类。
- c. 适当的臭氧预氧化可提高气浮对藻类的去除效率,防止藻类进入砂滤池和活性炭滤池,阻止了藻类在滤池中的繁殖。

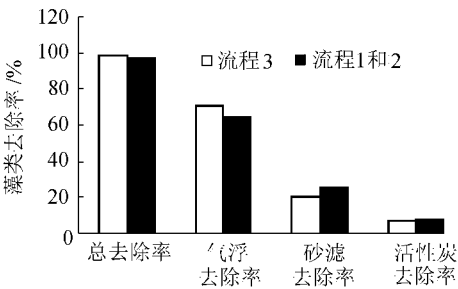


图9 3种工艺流程对藻类去除效果比较

Fig.9 Comparison of removal efficiencies of algae by 3 technical processes

参考文献:

[1] 中国环境年鉴[M].北京:中国环境科学出版社,1999.

[2] 解岳,陈霄,黄廷林,等.北方城市供水水源藻类高发特征及其影响因素探讨[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2005,37(2):184-188.

[3] 彭海清,谭章荣,高乃云,等.给水处理中的藻类去除[J].中国给水排水,2002,18(2):29-31.

[4] 张乃群,杜敏华.南水北调中线水源区浮游植物与水质评价[J].植物生态学报,2006,30(4):650-654.

[5] JAMES M M. Water treatment principles and design[M]. Montgomer:A-Wiley-Iner-Science Publication,1985:263.

[6] JAMES E S. Upgrading existing or designing new drinking water treatment facilities[R]. [s.n.]:USA Noyes Data Corporation,1991:61-64.

[7] 雷国元,邹有红,耿志毅.铁盐类混凝剂去除水中藻类生物的研究[J].武汉科技大学学报:自然科学版,2003,26(1):35-38.

[8] GRAHAM N J D. Removal of humic substances by oxidation/biofiltration processes-a review[J]. Water Science and Technology,1999,40(9):141-148.

[9] 迟玉霞,陈翼孙.臭氧-气浮联用新工艺处理含藻水[J].环境与开发,1999,14(1):14-15.

[10] PLUMMER J D,EDZWALD J K. Effect of ozone on disinfection by-product formation of alga[R]. Water Science and Technology,1998,37(2):49-55.

Experimental study on technical processes of high algae-laden water treatment for Luanhe River

ZHAO Zhi-wei¹, CUI Fu-yi¹, LIU Guang-qi², LIU Guo-ping³

- (1. School of Municipal and Environment Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;
- 2. China Academy of Urban Planning and Design, Beijing 100044, China;
- 3. Harbin Shaohe Drinking Water Supply Co., Ltd., Harbin 150080, China)

Abstract Comparative experiments were performed to study the effects of three technical processes for high algae-laden water treatment of the Luanhe River of Tianjin City, including the conventional treatment, the conventional treatment combined with activated carbon filter, and the conventional treatment combined with pre-ozonation and ozonation-activated carbon filter. Some conclusions were drawn: suitable dosage of coagulation agent in the conventional treatment could effectively control the turbidity of river water, but the removal rates of TOC and algae were only 38.7% and 89.5% respectively; if the conventional treatment was combined with activated carbon filter for water treatment, the removal rates of TOC and algae could reach 65.1% and 97.0% respectively; the values could reach 83.2% and 98.3% if the conventional treatment was combined with pre-ozonation and ozonation-activated carbon filter. It is also indicated that the pre-ozonation can improve the removal efficiency of TOC and algae by aeration, and that the post-ozonation accelerates TOC removal by activated carbon filter.

Key words high algae-laden water; TOC; ozonation; aeration; activated carbon