

# 高锰酸盐—生物活性炭联用工艺除藻试验研究

任芝军<sup>1</sup>, 马桂林<sup>1</sup>, 刘桂芳<sup>1</sup>, 马 军<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院, 黑龙江哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江哈尔滨 150090)

[摘要] 考察了高锰酸盐预氧化—生物活性炭联用工艺去除藻类的效能。试验结果表明, 高锰酸盐预氧化能明显改善混凝工艺对藻类的去除效果, 随高锰酸盐投量的增加, 混凝工艺对藻类的去除率呈上升趋势。生物活性炭滤池对藻类的去除主要集中在进水端, 在 20 cm 处, 去除率可达到 60%。高锰酸盐—生物活性炭联用工艺对藻类及有机物有明显的去除, 去除率可分别达到 99.5% 和 20.6%。

[关键词] 高锰酸盐; 生物活性炭滤池; 除藻; 有机污染物

[中图分类号] TU991.2 [文献标识码] A [文章编号] 1005-829X(2011)06-0055-03

## Effect of the combined process of permanganate preoxidation-BAC filtration on the removal of algae

Ren Zhijun<sup>1</sup>, Ma Guilin<sup>1</sup>, Liu Guifang<sup>1</sup>, Ma Jun<sup>2</sup>

(1. School of Aerospace and Civil Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;

2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

**Abstract:** The efficiency of the combined process of permanganate preoxidation-BAC filtration on algae removal has been investigated. The results show that permanganate preoxidation can improve the effect of coagulation on the removal of algae remarkably. With the increase of the dosage of permanganate, the coagulation effect on the removal rate of algae increases, which suggests that permanganate preoxidation enhances coagulation process for algae removal. The algae removal rate reaches 60% at the height of 20 cm by BAC process, which is mainly focalized on the influent end. This combined process has obvious removal capacity for removing algae and organic substances. Their removal rates can reach 99.5% and 20.6%, respectively.

**Key words:** permanganate; biological activated carbon filter; algae removal; organic pollutants

近几十年中, 随着工农业的发展, 湖泊、水库水的富营养化日趋严重, 藻类过量繁殖致使采用常规饮用水处理工艺的水厂在运行中出现了诸如沉淀效果差、药耗增加、藻类堵塞滤池等情况, 导致出水余氯及水质下降<sup>[1]</sup>。针对上述问题, 对常规饮用水处理工艺进行两级强化, 采用高锰酸盐复合药剂预氧化强化混凝工艺, 并用生物活性炭滤池取代石英砂滤池强化过滤工艺。

## 1 试验过程与方法

### 1.1 试验工艺

试验工艺流程见图 1。

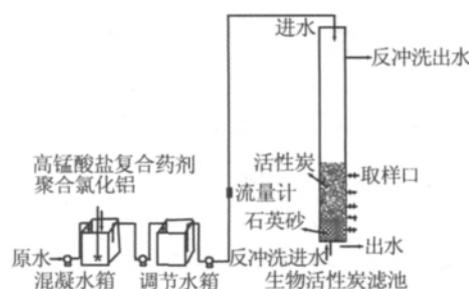


图 1 中试模型试验系统

首先, 在混凝水箱中投加一定量的高锰酸盐进行预氧化, 再投加混凝剂进行混凝沉淀, 预处理的沉后水上清液经泵提升后作为生物活性炭滤池的

[基金项目] 中央高校基本科研业务费专项资金资助(GB2020260101); 黑龙江省自然科学基金项目(E201052); 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11553049)

进水。

试验原水为淮河流域某地表水,混凝水箱的体积为 27 m<sup>3</sup> (3 m×3 m×3 m),高锰酸盐投量为 1.5~2.0 mg/L,预氧化时间为 20~30 min,聚合氯化铝(PAC)投量为 20~30 mg/L。混凝条件:快速搅拌 2 min,转速为 120 r/min,静止沉淀 1 h。

生物活性炭滤池将原有石英砂滤池上层 800 mm 的石英砂用粒径为 2~3 mm 的颗粒活性炭代替,保留下层 400 mm 的石英砂。滤池过滤采用下向流方式运行,滤速为 6 m/h。滤池反冲洗采用单独水冲,反冲洗膨胀率为 25%~30%,反冲洗周期为 48 h。滤柱采用有机玻璃制成,高为 3 000 mm,直径为 100 mm,由滤柱底部向上每 200 mm 设一个取样口。

### 1.2 分析方法

藻类和 UV<sub>254</sub> 的测定依据国家环保总局编的《水和废水监测分析方法》(第 4 版,2002)中叙述的方法进行。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 高锰酸盐除藻效能

试验考查了不同高锰酸盐投量的除藻效果,试验结果见图 2。

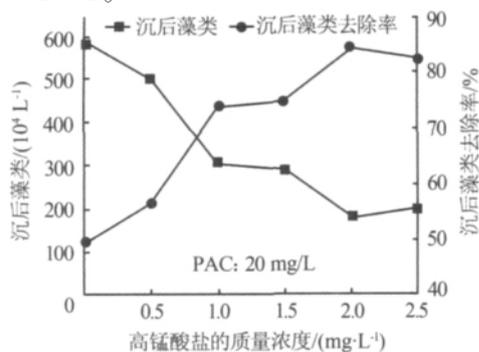


图 2 高锰酸盐投量对混凝工艺去除藻类的影响

由图 2 可以看出,单独投加聚合氯化铝 20 mg/L,混凝工艺对藻类的去除率可达到 50%左右;在聚合氯化铝投量一定的情况下,随着高锰酸盐投量的增加,藻类的去除率也呈上升的趋势。投加 1.0 mg/L 的高锰酸盐,藻类去除率可达到 75%;投加 2.5 mg/L 时,藻类去除率可达到 80%以上。

有人围绕高锰酸盐强化除藻的效能与机制曾作过深入探讨<sup>[2-3]</sup>。研究发现,高锰酸盐强化混凝工艺除藻效能远优于单纯提高混凝剂投量所取得的效果,主要是由于混凝剂不能灭活藻类。王立宁等<sup>[4]</sup>在

研究高锰酸盐氧化除藻的机理时,发现高锰酸盐预氧化能够破坏藻细胞的表面结构,造成藻细胞的断裂。

### 2.2 生物活性炭除藻效能

试验从不同高度的取样口取水样,测定生物活性炭沿程对藻类的去除效果,试验结果见图 3。

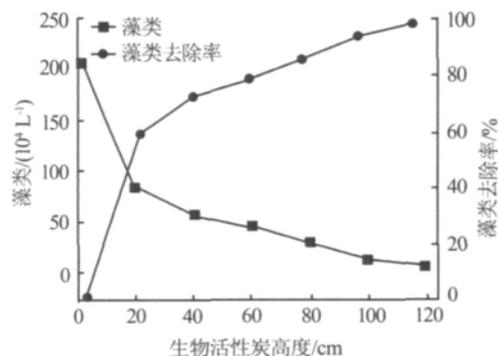


图 3 生物活性炭沿程对藻类的去除效果

生物活性炭滤池的滤料由两部分组成,分别为上层 80 cm 高的颗粒活性炭和下层 40 cm 高的石英砂组成。由图 3 可知,藻类的去除主要集中在生物活性炭工艺的进水端,在 20 cm 处,生物活性炭对藻类的去除率为 60%,上层 80 cm 的生物活性炭滤料层对藻类的去除率可达到 85%。下层 40 cm 的石英砂粒径为 1 mm (上层颗粒活性炭的粒径为 2~3 mm),粒径较小,也能去除一定的藻类,经石英砂滤料层过滤后,藻类的去除率可提高到 97%以上。

另外,通过镜检,可以观察到生物膜之中除有大量菌胶团外,还能观察到大量截留的藻类,且截留藻类的分布规律与生物活性炭滤池沿程去除藻类的规律相近。

季民等<sup>[5]</sup>采用接触氧化法去除滦河水中藻类时,研究认为,藻类的去除以生物膜的吸附絮凝为主,生物膜首先是通过吸附作用截留了水中的游离藻类,再通过微生物的氧化分解及原生动物的捕食作用去除藻类。

另一方面,藻类同水中其他颗粒一样,能通过物理截留过程去除。J. J. Chena 等<sup>[6]</sup>通过 SEM 研究高锰酸钾氧化除藻时发现,高锰酸钾的还原产物新生态水合 MnO<sub>2</sub> 能够吸附在藻类表面,形成致密层,增加藻类在水中的沉降速度,形成相对密实的絮体,从而有利于藻类在后续过滤工艺中去除。

### 2.3 高锰酸盐—生物活性炭联用工艺除藻效能

图 4 是高锰酸盐预氧化与生物活性炭联用工艺

去除藻类的效果。由图4可见,原水中藻类含量波动幅度较大,范围在 $4 \times 10^6 \sim 1.1 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ ,平均为 $7.97 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$ 。

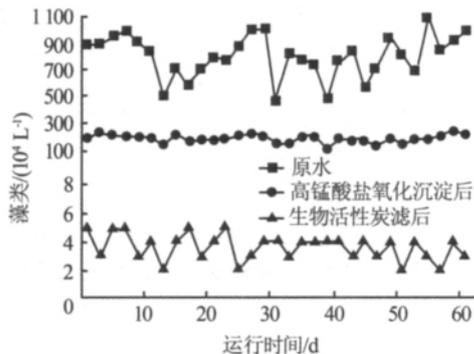


图4 联用工艺去除藻类的情况

高锰酸盐复合药剂预氧化后,沉淀工艺出水藻类数为 $1.18 \times 10^6 \sim 2.43 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$ ,平均为 $1.94 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$ ,去除率为74.4%;生物活性炭滤池出水中藻类数为 $2.0 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4 \text{ L}^{-1}$ ,平均为 $3.6 \times 10^4 \text{ L}^{-1}$ ,组合工艺对藻类去除率可以达到99.5%。

#### 2.4 联用工艺对 $UV_{254}$ 的去除效能

藻类在代谢过程中会生成一系列小分子有机物,主要有碳水化合物、肽和有机酸等。这些代谢产物会产生各种臭味,影响水的感官性能;同时它们也会吸附在胶体表面,增加其负电性,不利于混凝。 $UV_{254}$ 为在254 nm波长下水样的吸光度,能够间接反映水中溶解性紫外吸收物质浓度的变化规律。测定 $UV_{254}$ 可间接地反映水中有机物浓度的变化情况。

图5是高锰酸盐预氧化与生物活性炭联用工艺对不饱和有机物的去除效果。

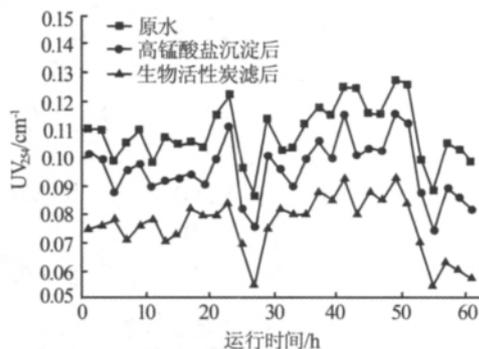


图5 联用工艺对 $UV_{254}$ 的去除效果

由图5可见,原水 $UV_{254}$ 在 $0.086 \sim 0.127 \text{ cm}^{-1}$ 之间,投加高锰酸盐进行预氧化处理可显著降低

$UV_{254}$ ,其为 $0.074 \sim 0.116 \text{ cm}^{-1}$ ,平均去除率为11.7%。这主要是由于高锰酸盐复合药剂预氧化可对水中某些紫外吸收物质的分子结构有破坏作用;也可能由于新生态水合二氧化锰的吸附作用提高了对水中有机物的去除效率。经生物活性炭工艺过滤后, $UV_{254}$ 进一步降低,达到 $0.055 \sim 0.093 \text{ cm}^{-1}$ ,平均为 $0.076 \text{ cm}^{-1}$ ,联用工艺对有机物的去除率为20.6%。

### 3 结论

(1)通过氧化灭活藻类和新生态二氧化锰吸附在藻类表面等多方面的共同作用,高锰酸盐预氧化能明显改善混凝工艺对藻类的去除,随高锰酸盐投量的增加,混凝工艺对藻类的去除率呈上升趋势。

(2)生物活性炭滤池对藻类的去除主要集中在进水端,在20 cm处的去除率达到60%,下层粒径较小的石英砂也能去除部分藻类。

(3)高锰酸盐—生物活性炭联用工艺对藻类有明显的去除,去除率可达到99.5%。

(4)高锰酸盐—生物活性炭工艺可较好地去除藻类在代谢过程中生成的一系列小分子有机物,联用工艺对以 $UV_{254}$ 为代表的有机物的去除率可达到20.6%。

#### [参考文献]

- [1] 周利,杨惠敏,孙嗣杰,等. 给水处理中藻类去除的方法[J]. 青岛理工大学学报,2005,26(4):40-43.
- [2] Petrusovski B, Breemen A N, Alaerts G. Effects of permanganate pretreatment and coagulation with coagulants on algae removal in direct filtration[J]. Aqua, 1996, 45(5):316-326.
- [3] Sukanik A, Telch B, Wachs A W, et al. Effect of oxidants on microalgal flocculation[J]. Wat. Res., 1987, 21(5):533-539.
- [4] 王立宁,方晶云,马军,等. 化学预氧化对藻类细胞结构的影响及其强化混凝除藻[J]. 东南大学学报:自然科学版,2005,35(增刊):182-185.
- [5] 季民,吴昌敏,贾霞珍,等. 生物接触氧化法对引滦水中藻类的去除[J]. 中国给水排水,2003,19(8):56-58.
- [6] Chena J J, Hsuan-Hsien Y. The mechanisms of potassium permanganate on algae removal[J]. Water Research, 2005 (9): 4420-4428.

[作者简介] 任芝军(1978—),2006年毕业于哈尔滨工业大学,副研究员,博士。电话:13115557461, E-mail:renzhiyun2003@126.com。

[收稿日期] 2011-03-25(修改稿)