

# 阳澄湖水源水中藻类的去除研究

景二丹<sup>1</sup>, 许小燕<sup>1</sup>, 李丛宇<sup>2</sup>, 曹荣玉<sup>1</sup>, 姚青<sup>1</sup>, 关永年<sup>1</sup>,  
Stephan Küppers<sup>3</sup>, 刘洪波<sup>2</sup>

(1. 苏州工业园区清源华衍水务有限公司, 江苏 苏州 215021; 2. 上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093; 3. 尤利希研究中心, 德国)

**摘要:** 藻类是水源水的微污染物,其大量生长将给水厂制水和饮水安全带来诸多影响。试验对比了次氯酸钠氧化除藻、硫酸铝、聚合氯化铝(PAC)混凝沉淀除藻以及氧化和混凝联合除藻的效果,并对次氯酸钠、硫酸铝、聚合氯化铝的投加量以及处理时间进行了优化,确定了经济合理的除藻方案。结果表明,当次氯酸钠投加量为 30 mg/L、接触氧化时间为 20 min 时,除藻率为 95.4%;当硫酸铝投加量为 140 mg/L 时,除藻率为 87.3%;当聚合氯化铝投加量为 120 mg/L 时,除藻率为 87.1%;在 25 mg/L 次氯酸钠 + 120 mg/L 硫酸铝条件下,除藻率为 98.3%,沉后水浊度为 0.411 NTU;在 25 mg/L 次氯酸钠 + 110 mg/L 聚合氯化铝条件下,除藻率为 98.0%,沉后水浊度为 0.379 NTU。次氯酸钠的助凝作用大大强化了混凝沉淀效果,从而使沉后水浊度降低,既有效提高了除藻率,又减轻了水厂后续工艺的负荷。

**关键词:** 阳澄湖水源水; 除藻; 次氯酸钠; 硫酸铝; 聚合氯化铝

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)13-0043-04

## Removal of Algae in Yangcheng Lake Source Water

JING Er-dan<sup>1</sup>, XU Xiao-yan<sup>1</sup>, LI Cong-yu<sup>2</sup>, CAO Xing-yu<sup>1</sup>, YAO Qing<sup>1</sup>,  
GUAN Yong-nian<sup>1</sup>, Stephan Küppers<sup>3</sup>, LIU Hong-bo<sup>2</sup>

(1. Suzhou Industrial Park Qingyuan Hong Kong & China Water Co. Ltd., Suzhou 215021, China;  
2. School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai  
200093, China; 3. Forschungszentrum Jülich, Germany)

**Abstract:** Algae are micro-contaminants in water bodies, and the growth of algae has adverse impacts on the waterworks production and the drinking water safety. An algal removal study was carried out, by oxidation using sodium hypochlorite, by coagulation and sedimentation using aluminum sulfate and polyaluminium chloride, and by their combination. The dosage and timing of sodium hypochlorite, aluminum sulfate, and polyaluminum chloride were optimized to form an economic and reasonable algae removal plan. The results showed that when 30 mg/L sodium hypochlorite was added and the contact oxidation time was 20 min, the removal rate of algae was 95.4%. When 140 mg/L aluminum sulfate was added, the algae removal rate was 87.3%, and when the dosage of polyaluminium chloride was 120 mg/L, the algae removal rate was 87.1%. When the dosage of sodium hypochlorite was 25 mg/L and the dosage

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21206092); 水处理技术研究以及相关领域虚拟合作平台创建协议资助项目(201608)

通信作者: 刘洪波 E-mail: liuhb@usst.edu.cn

of aluminum sulfate was 120 mg/L, 98.3% of algae were removed and the sedimentation effluent turbidity was 0.411 NTU. When the dosage of sodium hypochlorite and polyaluminum chloride were 25 mg/L and 110 mg/L respectively, the removal rate of algae was 98.0% and the sedimentation effluent turbidity was 0.379 NTU. The coagulation aid effect of sodium hypochlorite enhanced the effect of coagulation and sedimentation and reduced the turbidity of the sedimentation effluent, which effectively increased the algae removal rate and relieved the load of the subsequent processes in the waterworks.

**Key words:** Yangcheng Lake source water; algae removal; sodium hypochlorite; aluminum sulfate; polyaluminium chloride

目前,水源水富营养化已经成为全球性的问题,这给饮用水处理工艺的运行带来了严重影响<sup>[1]</sup>。蓝藻是夏季的优势藻,其中又以颤藻、微囊藻、鱼腥藻为主,这类藻的沉降性较差、絮凝沉降速度慢,会给水厂制水工艺造成严重的影响。彭海清等<sup>[2]</sup>发现,藻类数量增加到一定程度时会堵塞滤池。目前关于藻类去除方法的研究有很多<sup>[3-4]</sup>,但是水源水水质、受污染程度、优势藻种等因素不同,对藻类的去除方法也不同。阳澄湖位于江苏苏州的东北部,分为西湖、中湖和东湖,是重要的水产养殖区和旅游区,同时又是昆山和苏州某水厂的重要水源地。对于阳澄湖水质,目前基本没有去除藻类的方法。因此,笔者探索了阳澄湖原水藻类的去除方法,旨在为制水工艺的应用提供参考。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

试验仪器:混凝试验搅拌机、显微镜、浊度计。

试验试剂:硫酸铝( $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8.11\%$ )、聚合氯化铝(PAC,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8.11\%$ )、次氯酸钠(有效氯为11.8%)、高锰酸钾(AR)、活性炭(椰壳)。

将1 g次氯酸钠定容至100 mL的容量瓶中,制备成次氯酸钠使用液;将1 g硫酸铝定容至100 mL的容量瓶中,制备成硫酸铝使用液;将1 g聚合氯化铝定容至100 mL的容量瓶中,制备成聚合氯化铝使用液。

### 1.2 试验方法

试验用水取自苏州阳澄湖东湖,取样时间为2017年8月,其pH值为7.43~8.97,藻类在 $230 \times 10^4 \sim 5\,200 \times 10^4$ 个/L之间。试验期间,水样外观呈绿色,通过显微镜辨别,藻类形态主要以蓝藻中的颤藻、鱼腥藻和微囊藻为主。本试验内容包括:①通过投加次氯酸钠考察藻类的去除情况;②通过投加混凝剂考察藻类的去除情况;③先投加次氯酸钠后

投加混凝剂,考察藻类的去除情况。其中,藻类数量按照《水和废水监测分析方法》(第4版)进行计数。

## 2 结果与讨论

### 2.1 次氯酸钠氧化法的除藻效果

试验源水藻类数量为 $4\,870 \times 10^4$ 个/L,浊度为27.8 NTU,分别取1 L水样,置于混凝搅拌机配套方杯中,同时加入不同浓度的次氯酸钠使用液。以80 r/min的转速分别搅拌10和20 min,取上清液测定藻类数量,结果如图1所示。

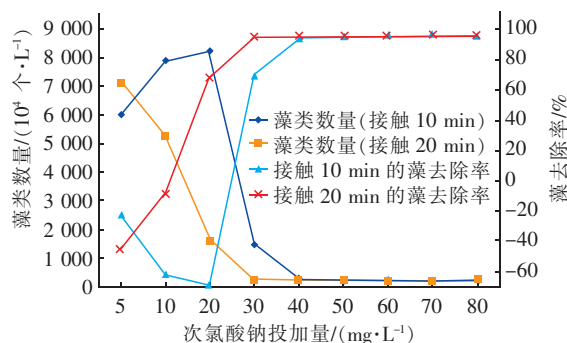


图1 次氯酸钠投加量与藻去除率的关系

Fig. 1 Relationship between sodium hypochlorite dosage and algae removal rate

由图1可知,随着次氯酸钠投加量的增加,藻去除率呈现明显上升的趋势,当次氯酸钠投加量达到40 mg/L时,藻去除率达到最大值。相同藻去除率条件下,接触氧化时间越长,所需次氯酸钠的投加量越少。当接触氧化时间为10 min、次氯酸钠投加量为40 mg/L时,藻去除率为95.1%;当接触氧化时间为20 min、次氯酸钠的投加量为30 mg/L时,藻去除率为95.4%。在接触时间为10 min条件下,次氯酸钠投加量在20 mg/L以下时藻去除率随着投加量的增加而下降;当投加量在20 mg/L以上时,藻去除率随着投加量的增加而提高;当投加量达到40 mg/L以后,藻去除率基本不变。当接触时间为20 min、次

氯酸钠投加量在 30 mg/L 以下时,藻去除率随着投加量的增加而升高;当投加量达到 30 mg/L 以后,藻去除率趋于稳定。

## 2.2 混凝沉淀法的除藻效果

向盛有水样的混凝搅拌机配套方杯中加入不同浓度的混凝剂使用液,以 120、80 和 40 r/min 的转速分别搅拌 1、5 和 15 min,静置沉淀 20 min。取上清液测藻类数量和浊度,结果见图 2。可知,随着混凝剂投加量的增加,藻去除率呈上升趋势,浊度逐渐下降。为减轻滤池的负担,要求沉淀后出水的浊度 < 1 NTU。当聚合氯化铝投加量为 120 mg/L 时,藻去除率为 87.1%,浊度为 1.02 NTU,继续增大投加量,浊度变化不明显,而藻去除率最高达到 94.1%。当硫酸铝投加量为 140 mg/L 时,藻去除率为 87.3%,浊度为 1.05 NTU,继续增大投加量,浊度变化不明显,而藻去除率最高为 88.2%。可见,在最佳混凝剂投量下,混凝剂的种类对除藻效果无明显影响。

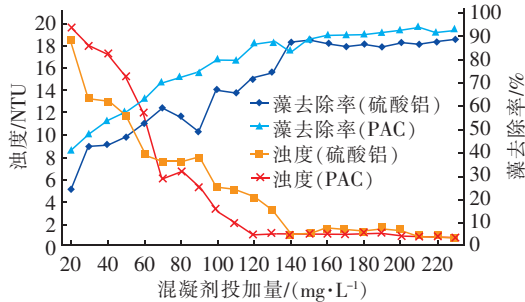


图2 混凝剂投加量与藻去除率的关系

Fig. 2 Relationship between coagulant dosage and algae removal rate

图3为试验期间显微镜下观察到的藻类形态,可见藻类以微囊藻、鱼腥藻为主,这种类型的藻种细胞具有伪泡,密度小、易上浮。

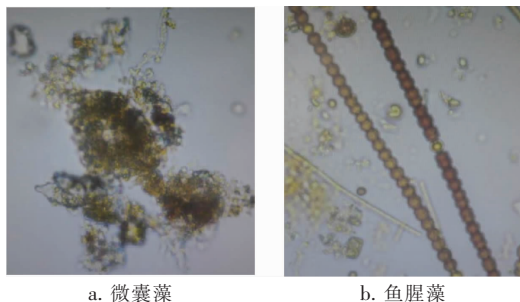


图3 藻类的形态

Fig. 3 Morphology of algae

## 2.3 次氯酸钠与混凝剂联合除藻的效果

若单独使用次氯酸钠去除藻类,随着次氯酸钠

投加量的增加,藻去除率升高,但消毒副产物的含量也随之升高,影响饮用水水质安全。在硫酸铝、聚合氯化铝投加量固定的条件下,与不同浓度的次氯酸钠联合杀藻。试验过程中,当次氯酸钠与水样接触 10 min 后再加入混凝剂,除藻效果如图 4 所示。可知,次氯酸钠与混凝剂联合除藻比两者单独使用的除藻效果好,不仅节约药剂,而且进一步控制了出水浊度。在次氯酸钠投加量为 25 mg/L 的条件下,当硫酸铝投加量为 120 mg/L 时,藻去除率为 98.3%,浊度为 0.411 NTU;当聚合氯化铝投加量为 110 mg/L 时,藻去除率为 98.0%,浊度为 0.379 NTU。可见,次氯酸钠的助凝作用大大强化了混凝沉淀效果,从而降低了沉后水的浊度。

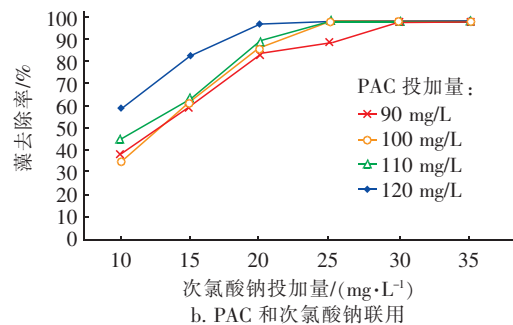
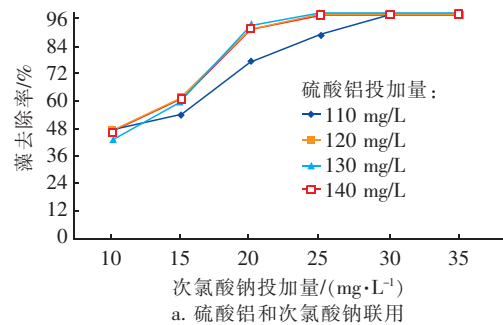


图4 混凝剂和次氯酸钠联合除藻的效果

Fig. 4 Effect of combined coagulant and sodium hypochlorite on algae removal rate

## 3 结论

次氯酸钠对藻类有较好的去除效果,随着次氯酸钠投加量的增加,藻去除率上升。相同藻去除率条件下,接触氧化时间越长,次氯酸钠的投加量相应减少。采用混凝沉淀进行除藻的试验结果表明,随着混凝剂投加量的增加,藻去除率呈上升趋势,且浊度逐渐降低,当聚合氯化铝投加量为 120 mg/L 时,藻去除率为 87.1%;当硫酸铝投加量为 140 mg/L 时,藻去除率为 87.3%。同时发现,采用次氯酸钠

和混凝剂联合除藻能取得较好的效果,不仅节约药剂,而且进一步降低了出水浊度。次氯酸钠的助凝作用可以强化混凝沉淀的效果,从而使沉后水的浊度降低,既有效提高了藻去除率,又减轻了水厂后续工艺的负荷。

#### 参考文献:

- [1] 王品飞,倪澜琦,张丹轶,等. 预氧化强化混凝去除藻类的影响因素[J]. 净水技术,2016,35(1):33-37.  
Wang Pinfei, Ni Lanqi, Zhang Danyi, *et al.* Influencing factors of algae removal with pre-oxidation and enhanced coagulation processes [J]. Water Purification Technology, 2016, 35(1): 33-37 (in Chinese).
- [2] 彭海清,谭章荣,高乃云,等. 给水处理中藻类的去除[J]. 中国给水排水,2002,18(2):29-31.  
Peng Haiqing, Tan Zhangrong, Gao Naiyun, *et al.* Removal of algae in water treatment [J]. China Water & Wastewater, 2002, 18(2): 29-31 (in Chinese).
- [3] 季华,Didier PERRIN,杨燕华,等. 预臭氧/混凝/气浮工艺去除水库原水中的藻类[J]. 中国给水排水,2016,32(21):60-62.  
Ji Hua, Didier PERRIN, Yang Yanhua, *et al.* Removal of algae from raw water of reservoir with pre-ozonation/coagulation / flotation process [J]. China Water &

Wastewater, 2016, 32(21): 60-62 (in Chinese).

- [4] 李明玉,潘倩,王丽燕,等. 不同混凝剂对流溪河水源水中藻类去除的对比[J]. 中国环境科学,2010,30(11):1484-1489.  
Li Mingyu, Pan Qian, Wang Liyan, *et al.* Removal algae with different coagulants from micro-polluted water in Liuxi River [J]. China Environmental Science, 2010, 30(11): 1484-1489 (in Chinese).



作者简介:景二丹(1985-),女,山东菏泽人,大专,工程师,主要从事水质检测及水处理技术研究工作。

E-mail: jinged@sz-hkcw.com

收稿日期:2019-02-11

#### · 信息 ·

### 《中国给水排水》第七届饮用水安全保障技术交流会 在长沙理工大学国际交流中心成功召开

2019年5月30日—6月1日,《中国给水排水》第七届饮用水安全保障技术交流会在长沙理工大学国际交流中心成功召开。此次会议由《中国给水排水》杂志社有限公司、麦斯特环境科技股份有限公司、长沙理工大学联合主办,长沙水业集团有限公司、湖南大学、湖南省建筑设计院、浙江联池水务设备股份有限公司、天健水务集团(杭州)有限公司、浙江中昌水处理科技有限公司、格兰富水泵(上海)有限公司、苏伊士新创建有限公司、珠海九通水务股份有限公司等单位协办。会议紧紧围绕“水质监测预警与应急”“水厂工艺设施建设与改造”“管网改造、优化与运行”“饮用水水源地保护与水资源修复”“饮用水处理新材料、新设备、新技术”“农村饮用水安全保障技术”等内容展开,邀请了清华大学环境学院张晓健教授、哈尔滨工业大学环境学院马军教授和李伟光教授、西安建筑科技大学黄廷林教授、湖南大学土木工程学院施周教授、广西绿城水务股份有限公司贝德光总工、上海市政设计研究总院(集团)有限公司王如华副总工、湖南省建筑设计院罗惠云副总工等30位专家到会进行技术交流,来自全国各地水务集团、设计院、高校、科研院所的400余人参加了此次会议,并现场参观了长沙水业集团洋湖水厂。此次会议为业内人士搭建了良好的技术交流平台,得到了与会代表的一致好评。

(本刊编辑部)