

苏南河网地区湖泊水源水厂除藻试验研究

黄 雷¹,陈 卫¹,马中文²,孙 敏¹

(1. 河海大学 环境科学与工程学院,江苏南京 210098;2. 江苏省泰兴市自来水公司,江苏泰兴 214500)

摘 要 针对苏南河网地区湖泊季节性高藻问题,在某水厂采用高锰酸钾、高锰酸盐复合药剂(PPC)进行联用试验。结果表明,常规混凝沉淀除藻效果有限,增加混凝剂投量效果变化不明显。经药剂联用后,沉后水的藻去除率能达到 80 %~90 %。同等条件下,联用 PPC 比高锰酸钾的除藻效果要好,藻去除率高 5 %以上,在机械混合池投加 PPC 和高锰酸钾比水源厂投加的除藻效果高 10 %左右。在高藻期,高锰酸盐复合药剂与常规混凝联用能有效控藻,卤代有机物(THM)和藻臭味基本去除。

关键词 藻 高锰酸钾 高锰酸盐复合药剂

中图分类号:TU991.2 文献标识码:A 文章编号:1009-0177(2009)02-0016-04

Bench-scale Study of Algae Removal Efficiency in Water Treatment Plant in the South Jiangsu Region

HUANG Lei¹, CHEN Wei¹, MA Zhong-wen², SUN Min¹

(1. Department of Environmental Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. TaiXing Water Supply Company, Taixing 214500, China)

Abstract Regarding the seasonal algae in water treatment plant in the South Jiangsu region, bench-scale experiment was conducted on the algae removal efficiency using potassium permanganate and potassium permanganate composite (PPC). The results indicated that the algae removal efficiency using conventional coagulation-sedimentation processes was limited, even after the increasing of coagulants dose. The efficiency of algae removal by combined use of potassium permanganate and PPC could reach 80%~90%, about 5% higher than the sole use of potassium permanganate. In addition, the combined use of potassium permanganate and PPC in the mechanical mixing tank could have better algae removal efficiency, about 10 % higher than in the water intake process. During the high algae-laden, the combined use of PPC and conventional coagulants could remove the algae efficiently, also remove the THM and odor generally.

Key words algae potassium permanganate potassium permanganate composite

水厂水源水中藻类滋生严重危及饮用水的安全性。一方面,藻类是总有机碳(TOC)、生化需氧量(BOD)和悬浮固体(SS)的主要来源,是饮用水消毒“三致”副产物的前驱物;另一方面藻类爆发影响净水工艺,供水难以得到保障^[1]。

苏南河网地区湖泊水源多为太湖水系,兼具南方水体和微污染湖库水的水质特征,藻类爆发期,水体呈高藻、低浊、pH 偏大、氨氮略有上升,对混凝效果影响较大,给处理工艺带来了一系列的问题。本文针对苏南河网地区湖泊水源水质特征,结合水厂工艺现状,从水厂控藻实用性出发,研究不同量级藻

浓度下常规混凝除藻效果以及投加高锰酸钾和高锰酸钾复合药剂(PPC)强化常规的除藻方法。

1 试验水样与方法

1.1 试验水样

水样取自阳澄湖水源地。水质特点是有机物含量高,小分子有机物多,每年 5~9 月为藻类高发期。高藻期藻数量为 $5\times10^6\sim1\times10^8$ 个/L,以蓝、绿藻为主,约占 85 %,有微囊藻、平列藻、栅藻、颤藻等,高藻期间原水水质如表 1 所示。

表 1 高藻期原水水质

Tab.1 Raw water quality during high algae period

藻浓度 /(个·L ⁻¹)	pH	COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	水温 /℃	浊度 /NTU	UV ₂₅₄ /cm ⁻¹	嗅味
$5\times10^6\sim1\times10^8$	7~10	4~6	22~30	10	0.2~0.4	2~4 级

[收稿日期] 2008-08-08
[基金项目] 国家科技支撑计划(2007BAC26B03)。
[作者简介] 黄 雷(1980-),男,硕士研究生,研究方向:水污染治理理论与技术。电话:13675149386;E-mail: cxfinter@hhu.edu.cn。

试验水样按藻浓度将 $5 \times 10^6 \sim 1 \times 10^8$ 个/L 分为 4 个量级,制备方法如表 2 所示。

表 2 试验水样藻浓度

Tab.2 Algae concentration of experimental water

	1# 量级	2# 量级	3# 量级	4# 量级
藻浓度区间/(个·L ⁻¹)	$5 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7$	$1 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7$	$5 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8$	$> 1 \times 10^8$
水样制备	湖泊原水	湖泊原水	原水和室内培养高藻水混合	原水和室内培养高藻水混合

1.2 试验方法

水厂工艺流程如图 1 所示,阳澄湖原水由水源厂经两根 DN 2000 的管道到水厂,输送时间约为

35 min,水厂采用絮凝沉淀工艺,常年使用混凝剂为聚合氯化铝(PAC)和硫酸铝,常规用量分别为 30 mg/L、40 mg/L。

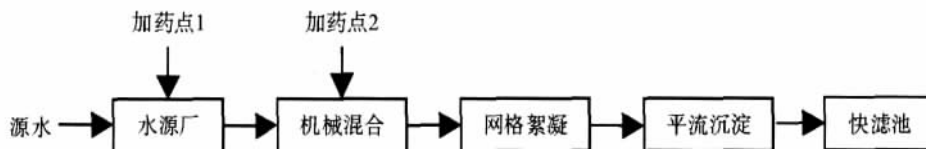


图 1 水厂工艺流程

Fig.1 Processes of water plants

试验混凝剂仍采用水厂现使用的聚合氯化铝(PAC)和硫酸铝,针对不同藻浓度量级的原水,聚合氯化铝(PAC)的试验用量分别为 30、40、50、60 mg/L;硫酸铝的试验用量分别为 40、50、60、80 mg/L。

因高锰酸钾和高锰酸钾复合药剂(PPC)具有强氧化性和助凝作用,试验选择两者为联用药剂,根据藻浓度量级,试验用量分别采用 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mg/L。

根据水厂工艺特点,实验采用以下两组工况:工况 1 在水源厂吸水井投加联用药剂,即混凝剂投加前 35 min 投加;工况 2 在机械混合池投加联用药剂,即混凝剂投加前 33 s 投加。

试验采用六联搅拌机进行烧杯试验,工况为转速 300 r/min,快速搅拌 1 min;转速 40 r/min,慢速搅拌 10 min;静置沉淀 15 min。

试验检测指标:浊度、藻浓度、水温、pH、COD_{Mn}、色度、UV₂₅₄、嗅味。嗅味采用加热超过 60 ℃ 的 6 级嗅味强度方法,多人检验取平均值;藻浓度的检测使用武汉水生所的计数框(20 mm×20 mm),容量 0.1 mL,共 100 个视野;其他项目按《水和废水监测分析方法》(第四版)检测。

2 试验结果与分析

2.1 常规混凝沉淀的除藻效果分析

对不同量级的藻浓度原水用 PAC 和硫酸铝分别进行常规混凝沉淀除藻试验,如图 2、图 3 所示,常规投量下(PAC 为 30 mg/L、硫酸铝为 40 mg/L),两种混凝剂的除藻效果近似,1#、2# 量级(原水藻浓度 $< 5 \times 10^7$ 个/L),去除率为 50 %;3#、4# 量级(原水

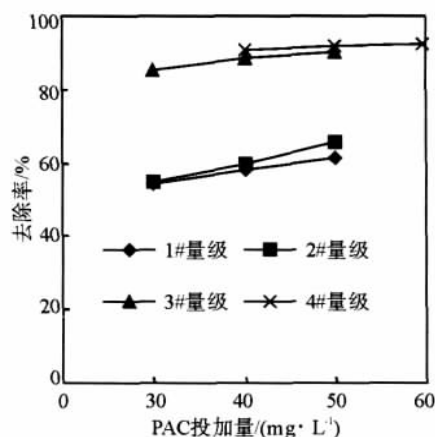


图 2 不同藻浓度量级 PAC 混凝沉淀除藻效果

Fig.2 Effect of removing algae of PAC coagulation sedimentation of different algae concentration order

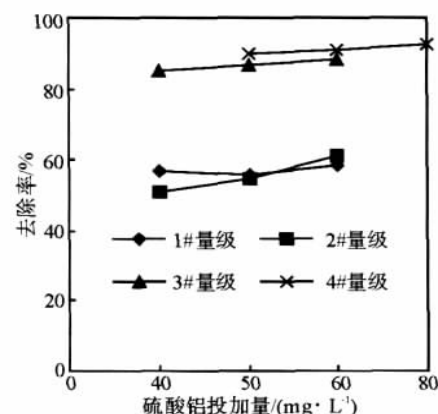


图 3 不同藻浓度量级硫酸铝混凝沉淀除藻效果

Fig.3 Effect of removing algae of aluminium sulfate coagulation sedimentation of different algae concentration order

藻浓度 $\geq 5 \times 10^7$ 个/L),去除率为 80 %。继续增大混凝剂投量,1#~4# 量级藻的去除率增幅 ≤ 3 %, 这是

因为藻体的胞外有机物(EOM)使之带负电荷,且在无机胶体表面形成有机涂层,造成空间阻碍或双电层排斥,在混凝剂投加初期,可降低藻的电荷量,使藻体易吸附于絮凝体表面而沉降,对藻体电荷的改变效应明显,使藻数量降低,当混凝剂投量加大时,对藻类表面电荷的影响较小,对除藻结果影响也小^[2]。当硫酸铝投加量大于 60 mg/L,沉后水中铝离子超标,故选用 PAC 为高藻期混凝剂,1# 量级,PAC 投加量为 30 mg/L,2#~4# 量级,PAC 投加量为 40 mg/L。

2.2 不同联用药剂两种工况的除藻效果分析

不同藻浓度量级的原水水样,采用 PAC 为混凝剂,分别在工况 1 和工况 2 下,与不同剂量 PPC 和高锰酸钾药剂联用进行除藻实验。由图 4 可见,在相同的实验条件下,工况 2 藻的去除率平均高于工况 1 的 10 %~20 %,PAC 与两种药剂联用的除藻效果好于单纯的混凝沉淀,且 PAC 与 PPC 联用效果好

于 PAC 与高锰酸钾联用的 5 %~10 %。1#、2# 量级(原水藻浓度 $<5\times10^7$ 个/L),当 PPC 投量 ≤1.0 mg/L 时,沉后水藻浓度 $<2\times10^6$ 个/L;3# 量级(原水藻浓度 $\geq5\times10^7$ 个/L),当 PPC 的投量为 1.5 mg/L 时,沉后水藻浓度 $<5\times10^6$ 个/L;4# 量级(原水藻浓度 $>1\times10^8$ 个/L),当 PPC 的投量为 2.0 mg/L,沉后水藻浓度 $<9\times10^6$ 个/L(表 3)。分析认为,在工况 1 下,由于 PPC 或高锰酸钾的强氧化性,氧化了藻体表面的有机涂层,破坏了有机质干扰和阻碍,增强了凝聚性,但是由于与混凝剂投加间隔较长(35 min),藻体可能又重新平衡稳定,难以发挥其与混凝剂协同强化作用,故去除效果提高幅度不大。工况 2,由于与混凝剂投加的间隔时间短,藻颗粒极易与混凝剂结合,形成的絮凝体大而密实,易沉降,即高锰酸钾或 PPC 起到了预氧化和增加电性中和的强化混凝作用^[3]。在相同实验条件下,PPC 复合药剂的作用好于高锰酸钾,提高除藻效能^[4]。

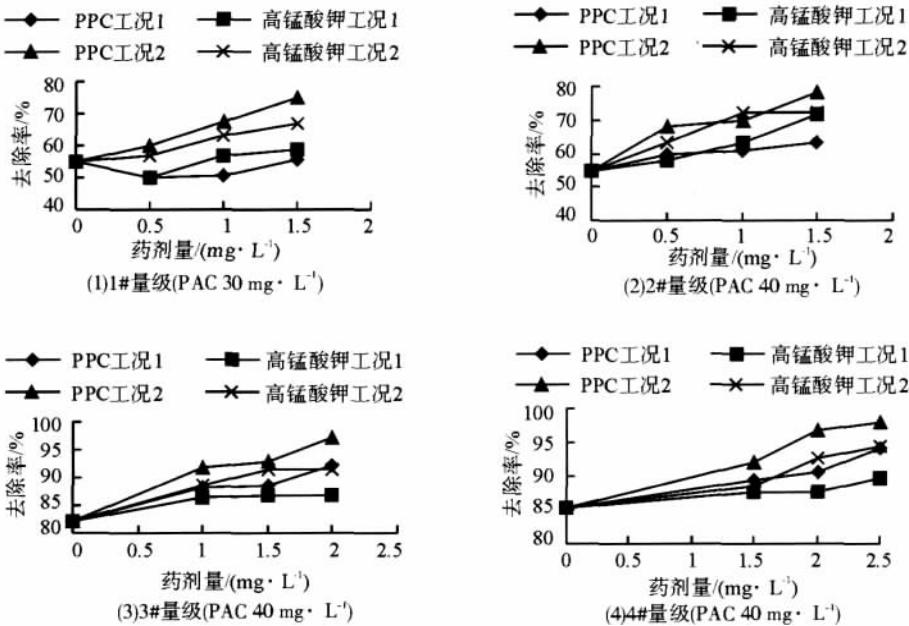


图 4 不同藻浓度量级 PAC 与 PPC、高锰酸钾联用除藻实验效果
Fig.4 Effect of removal algae of PAC combined with PPC or potassium permanganate of different algae concentration order

表 3 不同藻浓度量级原水小试处理方法及其除藻效果

Tab.3 Raw water small experiment and effect of removal algae of different algae concentration order

原水	选择处理方法	沉后水藻浓度/(个·L ⁻¹)
1#	PPC 0.5 mg·L ⁻¹ (工况 2)+常规工艺(PAC 30 mg·L ⁻¹)	$<2\times10^6$
2#	PPC 1.0 mg·L ⁻¹ (工况 2)+常规工艺(PAC 40 mg·L ⁻¹)	$<2\times10^6$
3#	PPC 1.5 mg·L ⁻¹ (工况 2)+常规工艺(PAC 40 mg·L ⁻¹)	$<5\times10^6$
4#	PPC 2.0 mg·L ⁻¹ (工况 2)+常规工艺(PAC 40 mg·L ⁻¹)	$<9\times10^6$

2.3 UV₂₅₄ 的去除效果

藻类在水中释放多种有机物,过滤经氯消毒后能生成卤代有机物(THM)^[5],由表 4 可见,对于 1#~4#

量级的原水,经常规 PAC 絮凝沉淀工艺后,各量级 UV₂₅₄ 分别比原水降低了 0.05 cm⁻¹ 左右,经由 2.2、
(下转第 23 页)

- 49.
- [4] Tang Xianbin. Problems and measures in construction of V-filter [J]. Water & Wastewater Engineering, 1999, 25(11):71-73.
- [5] 王彩娟,王晓芳.V 型滤池过滤机理的探讨[J]. 青岛建筑工程学院学报,2004,(03):56-58.
- [6] K.G. Babi, K.M. Koumenides, A.D. Nikolaou, et al. Pilot study of the removal of THMs, HAAs and DOC from drinking water by GAC adsorption[J]. Desalination, 2007,210(1-3):215-224.
- [7] Paul E. Stackelberg, Jacob Gibbs, Edward T. Furlong, et al. Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds [J]. Science of The Total Environment, 2007,377(2-3):255-272.
- [8] 康兰英. 净水用煤质颗粒活性炭的生产与应用 [J]. 净水技术, 2005,24(5):42-44,48.
- [9] 张捷,沈利清,朱慧,等.再生颗粒活性炭在果园桥水厂的应用实践[J].给水排水,2008,34(1):50-53.

(上接第 18 页)

2.3 筛选的“PAC 与 PPC 联用”,在工况 2 实验条件下,沉后水 UV_{254} 值的下降幅度明显,1#~3# 量级的

UV_{254} 均小于 0.200 cm^{-1} ,4# 量级比原水降低了 0.204 cm^{-1} ,近 50 %,可见联用工艺能够有效地去除了高藻水中的 THM 前驱物质。

表 4 不同藻浓度量级原水小试处理方法及其 UV_{254} 去除效果

Tab.4 Raw water small experiment and effect of removal effect of UV_{254} of different algae concentration order

原水	UV_{254}/cm^{-1}	常规工艺	UV_{254}/cm^{-1}	PPC(工况 2)+常规工艺	UV_{254}/cm^{-1}
1#	0.287	PAC $30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.244	PPC $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ +PAC $30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.187
2#	0.386	PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.304	PPC $1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ +PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.198
3#	0.406	PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.358	PPC $1.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ +PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.195
4#	0.422	PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.398	PPC $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ +PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.218

2.4 嗅味的去除效果

高藻期原水有明显的藻嗅味,并随着藻浓度量级的升高,藻嗅味不断增大,1# 量级藻嗅味 2 级,2#~3# 量级藻嗅味 3 级,4# 量级达到 4 级。由表 5

可知,高藻原水经常规絮凝沉淀工艺后嗅味值几乎没有变化,但经“PAC 与 PPC 联用”,在工况 2 实验条件下,嗅味基本去除,1#~4# 量级沉后水检测,没有嗅味。

表 5 不同藻浓度量级原水小试处理方法及其嗅味去除效果

Tab.5 Raw water small experiment and effect of removal of odour of different algae concentration order

原水	嗅味	常规工艺	嗅味	PPC(工况 2)+常规工艺	嗅味
1#	2	PAC $30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2	PPC $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ +PAC $30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0
2#	3	PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	3	PPC $1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ +PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0
3#	3	PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	3	PPC $1.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ +PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0
4#	4	PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	4	PPC $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ +PAC $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0

3 结论

(1)针对苏南河网地区湖泊高藻水,常规混凝沉淀工艺控藻效果有限,对藻嗅味没有去除,加大硫酸铝的量铝离子超标,可使用 PAC 作为高藻期混凝药剂,藻浓度 $\leq 1\times 10^7$ 个/L,PAC 投加量 30 mg/L ,藻浓度 $>1\times 10^7$ 个/L,PAC 投量 40 mg/L 。

(2)PAC 与 PPC 联用比与高锰酸钾联用藻的去除率更高,原水藻浓度 $\leq 1\times 10^7$ 个/L(PPC 0.5 mg/L + PAC 30 mg/L); 1×10^7 个/L $\leq$ 原水藻浓度 $<5\times 10^7$ 个/L (PPC 1.0 mg/L +PAC 40 mg/L); 5×10^7 个/L $\leq$ 原水藻浓度 $\leq 1\times 10^8$ 个/L(PPC 1.5 mg/L +PAC 40 mg/L);原水藻浓度 $>1\times 10^8$ 个/L(PPC 2.0 mg/L +PAC 40 mg/L),能控制藻浓度并有效去除含藻水中的 THM 前驱物

质和藻嗅味。在机械混合池投加联用药剂,能充分发挥 PPC 或高锰酸钾的助凝作用,对藻的去除效果较好。

参考文献

- [1] 陈卫,李圭白,邹浩春.高锰酸钾复合药剂去除太湖水蓝藻的室内试验研究[J].哈尔滨建筑大学学报, 2001,34(3):72-74.
- [2] 余国忠,刘军,王占生.藻细胞特性对净水工艺的影响研究[J].环境科学研究,2000,13(6):56-59.
- [3] 陈卫,李圭白,邹浩春.PPC 强化混凝除蓝藻除色度效果及致病研究[J].河海大学学报,2006,34(2): 140-143.
- [4] 石颖,陈忠林,李圭白.高锰酸钾复合药剂(PPC)强化混凝除藻试验研究[J].哈尔滨建筑大学学报, 2000,33(4): 43-45.
- [5] 何文杰,李玉仙,黄廷林. O_3 和 PPC 强化常规处理高藻原水的效果对比研究[J].中国给水排水, 2006,(22)17:5-8.