

高锰酸盐-聚丙烯酰胺联用强化混凝处理太湖支流原水研究

孙士权¹ 王旭东² 马 军³ 郜玉楠³ 黄晓东² 张金松²

(1 长沙理工大学水利学院, 长沙 410076; 2 深圳市水务(集团)有限公司, 深圳 518031;

3 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090)

摘要 太湖B支流地表水受水土流失、水体富营养化和环境污染等因素影响, 水体污染严重, 水中有机物浓度和藻密度相对较高。常规的“混凝—沉淀—砂滤—加氯消毒”处理工艺难以有效地去除水中有机物、铁锰、藻类等物质。采用高锰酸盐(PPC)-聚丙烯酰胺(PAM)联用强化混凝工艺对原水进行处理。高锰酸盐投量在0.45 mg/L和聚丙烯酰胺投量在0.07 mg/L条件下联用强化混凝的静态试验结果表明: PPC-PAM联用强化混凝对浊度、色度、铁、锰和耗氧量的平均去除率为90%、73%、92%、99%和38%。PPC在0.3~0.5 mg/L投量和PAM在0.05~0.10 mg/L投量下联用强化混凝生产试验的出厂水浊度、色度、铁、锰等指标, 均比历史同期水平要好。

关键词 高锰酸盐(PPC) 聚丙烯酰胺(PAM) 强化混凝 微污染原水

Study on PPC and PAM enhanced coagulation process treating slightly polluted raw water from tributary of Taihu Lake

Sun Shiquan¹, Wang Xudong², Ma Jun³, Gao Yunan³, Huang Xiaodong², Zhang Jinsong²

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China; 2. Shenzhen Water Group Co., Ltd., Shenzhen 518031, China;

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

Abstract: A tributary of Taihu Lake being applied as the drinking water source was polluted due to the soil and water loss, eutrophication and environmental pollution. The raw water has high contents of organic substances and algae. Existing conventional water purification process of coagulation-sedimentation-filtration-disinfection is incompetent to remove organic substances, Fe, Mn and algae. Therefore, experiments of permanganate (PPC) in combination with polyacrylamide (PAM) enhanced coagulation were conducted. The jar test results showed that at condition of PPC dosage 0.45 mg/L and PAM dosage 0.07 mg/L, average removal rates of 90%, 73%, 92%, 99% and 38% were obtained for turbidity, colority, Fe, Mn and COD_{Mn} respectively. Also the full-scale experiment showed that the removal of turbidity, colority, Fe and Mn improved evidently in case when the dosages were 0.3 to 0.5 mg/L and 0.05 to 0.10 mg/L for PPC and PAM respectively.

Keywords: Permanganate; Polyacrylamide; Enhanced coagulation; Slightly polluted raw water

太湖B支流系浙江CX县自来水厂的地表水源。

国家高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601120); 长沙理工大学创新团队建设计划资助项目(2007-005)。

由于受水土流失、水体富营养化和环境污染等因素影响, 水体污染严重, 水中有机物浓度和藻密度相对较高, 在部分高温、少雨季节, 水质达到甚至超过地表水水质IV标准。而该水厂采用常规的“混凝—沉

淀—砂滤—加氯消毒”处理工艺难以有效地去除水中有机物、铁锰、藻类等有毒有害物质,致使部分出厂水质指标超过国家有关饮用水水质标准^[1,2]。

高锰酸盐在水处理过程中形成具有强氧化能力的中间态成分,能强化去除水中有机污染物,强化除藻、除臭、除色等而被广泛应用^[3~5]。聚丙烯酰胺高分子助凝剂通过吸附和架桥作用强化混凝过程,加快了絮体的沉降速度,降低浊度,但其用量要严格控制^[6]。笔者等人采用高锰酸盐(PPC)-聚丙烯酰胺(PAM)联用强化混凝工艺处理太湖B支流原水。

1 静态试验

试验所用地表水取自CX县自来水厂取水口(太湖B支流河水),试验期间该地表水典型水质如表1所示。由于水中有机物浓度高、稳定性铁、锰浓度高、色度高、藻密度高,形成稳定性胶体,难于混凝^[2],聚合氯化铝投量常高达30~60 mg/L。

表1 试验期间原水水质

水质指标	范围
浊度/NTU	5.5~12.9
色度/度	35~55
pH	7.5~8.5
耗氧量/mg/L	4.9~6.5
Fe(总量)/mg/L	0.28~0.89
Mn(总量)/mg/L	0.38~0.56
藻类/ 10^7 个/mL	9~12
细菌总数/ 10^3 CFU/mL	8~9

静态试验利用烧杯搅拌器模拟混凝和沉淀,模拟自然条件下高锰酸盐(PPC)-聚丙烯酰胺(PAM)联用强化混凝工艺处理太湖B支流河水。试验工艺流程如图1所示。

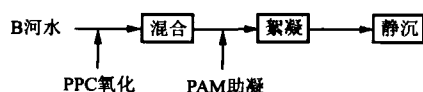


图1 静态试验工艺流程

1.1 试验工艺参数

第一阶段预氧化 150 r/min 搅拌 10 min;第二阶段混合 250 r/min 搅拌 1 min;第三阶段助凝(投加PAM时) 150 r/min 搅拌 5 min;第四阶段絮凝 50 r/min 搅拌 14 min;第五阶段沉淀静止沉淀 15 min。

1.2 试验器材及药剂

混凝试验搅拌器:JPZ1-6, HACH 便携式浊度仪, 721 分光光度计等;试验药剂:高锰酸盐固体粉末;阳离子型 PAM;碱式聚合氯化铝(Al_2O_3 含量约 10%)。

1.3 相关指标的分析方法

铁:二氮杂菲分光光度法;锰:过硫化胺分光光度法;浊度:HACH 浊度仪直接测定;耗氧量:高锰酸钾法;色度:铂钴标准比色法^[7]。

1.4 结果与讨论

试验结果见图2~图4。由图2可知,PPC预氧化强化混凝对原水中铁、锰含量的去除效果较好,对原水铁、锰的去除率在PPC投量为0.45 mg/L时达81.3%和91%;而对浊度的最大去除率为69.1%,对色度的最大去除率为66.7%。由图3可知,PAM助凝对强化去除原水中浊度效果好,最大去除率可达91%;但对强化去除原水铁、锰效果一般,对铁、锰的最大去除率仅为76%和64%。由图4可知,PPC与PAM联用强化混凝对浊度的平均去除率为90%,而PAM强化混凝对浊度的最大去除率仅为91%;PPC与PAM联用强化混凝对水中铁含量的平均去除率为92%,高于PPC预氧化强化混凝最大去除率(81.3%);PPC与PAM联用强化混凝对水中锰含量的平均去除率达99%;PPC与PAM联用强化混凝对色度和耗氧量的去除也达到较好的效果,对色度和耗氧量的平均去除率达到73%和38%。PPC与PAM联用强化去除水中铁、锰含量、浊度、耗氧量、色度等效果好的原因可能是PPC与PAM之间通过相互协同的作用,PPC预氧化产生新生态的水合二氧化锰等锰的中间态水解产物与水中的有机、无机颗粒碰撞,产生微絮凝作用,经过聚

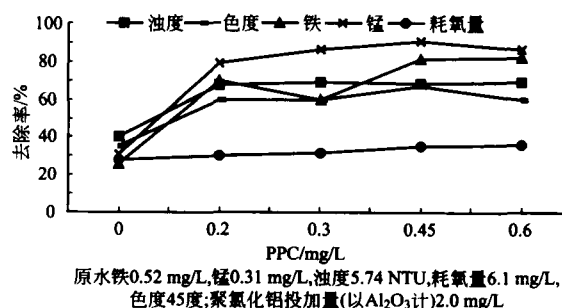


图2 PPC预氧化强化混凝的处理原水效果

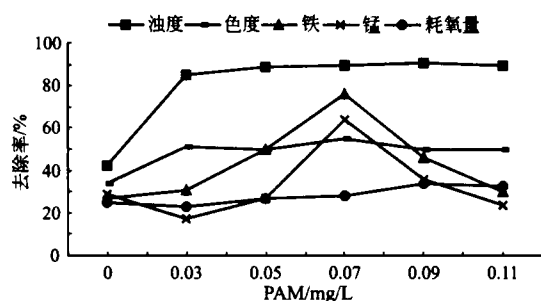


图3 PAM助凝强化混凝的处理原水效果

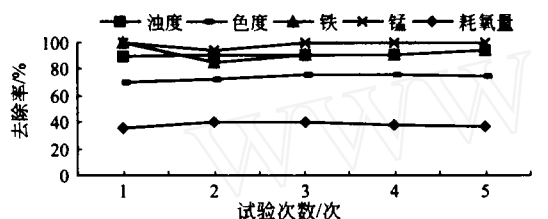


图4 PPC与PAM联用强化混凝的处理原水效果

氯化铝(PAC)混凝剂的物理化学反应,部分絮体沉淀,而未沉淀的胶体,在直线型有机大分子阳离子聚丙烯酰胺的架桥等作用下,胶体的体积和密度被提高,使得沉淀效果彻底,水中浊度、铁、锰浓度等的去除率大幅度上升。

2 生产试验

生产试验在CX县自来水厂进行,PPC投于取水泵吸水管。PPC投量为0.3~0.5 mg/L,PAM投量为0.05~0.10 mg/L(试验流程见图5)。试验结果见图6~图10。

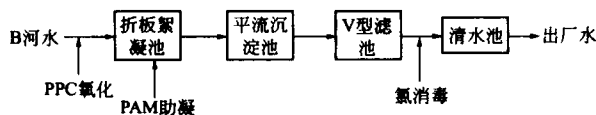


图5 PPC-PAM联用强化混凝试验流程

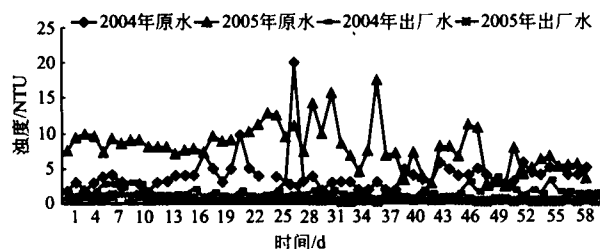


图6 生产试验期间和历史同期出厂水浊度对比

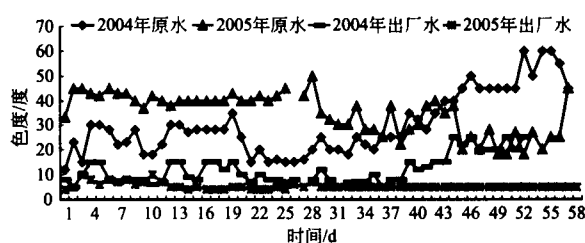


图7 生产试验期间和历史同期出厂水色度对比

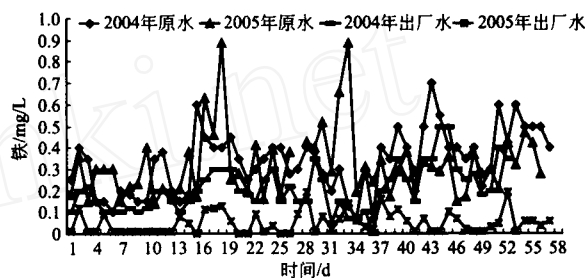


图8 生产试验期间和历史同期出厂水铁对比

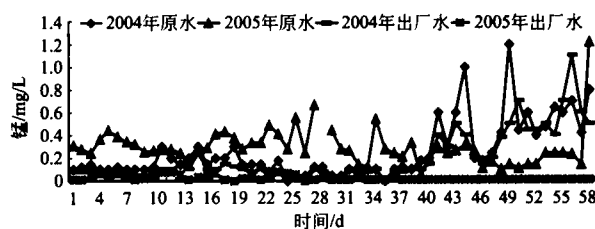


图9 生产试验期间和历史同期出厂水锰对比

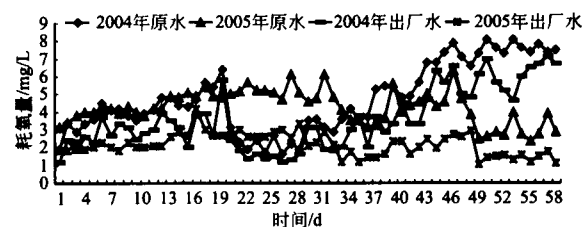


图10 生产试验期间和历史同期出厂水耗氧量对比

由图6~图10可知,虽然2005年原水耗氧量、锰、铁、色度等水质指标相对于2004年进一步恶化(以6月份为例,色度比去年同期上升80.9%、耗氧量上升25.6%、锰含量上升112.5%),但是经过PPC-PAM联用强化混凝工艺的出厂水浊度平均为0.66 NTU,小于2004年的1.59 NTU;色度平均为5度小于2004年的12度;耗氧量平均为2.17 mg/L,小于2004年的3.57 mg/L;出厂水铁浓度的平均值由2004年的0.21 mg/L降到2005年的0.06 mg/L;平均锰浓度也由2004年的0.22 mg/L降到2005年的0.03 mg/L。生产试验结果表明PPC-PAM联用

表 2 采用 PPC-PAM 联用强化混凝技术水质平均数据统计

项目	原水锰 /mg/L	出厂水锰 /mg/L	原水铁 /mg/L	出厂水铁 /mg/L	原水耗氧 量/mg/L	出厂水 耗氧量 /mg/L	原水色 度/度	出厂水 色度/度	原水浊 度/NTU	出厂水浊 度/NTU	一厂(虹 吸滤池) /h/次	二厂(V 型滤池) /h/次
2006 年 1~12 月	0.24	0.03	0.45	0.01	4.21	2.14	34	8	26	0.2	23.5	42
2007 年 1~10 月	0.28	0.03	0.43	0.01	3.98	1.49	32	8	25	0.2	23	41

强化混凝工艺对太湖原水处理效果较好。

3 PPC-PAM 联用强化混凝技术的生产结果

对太湖 B 河水源水处理试验的研究于 2005 年 8 月结束,此后 CX 县自来水厂一直采用 PPC-PAM 联用强化混凝工艺进行生产。实际生产中高锰酸盐投加量为 0.3~0.5 mg/L;PAM 投加量为 0.05~0.10 mg/L,投药点见图 5。

由表 2 可知,CX 县自来水厂采用 PPC-PAM 联用强化混凝技术后,在 2006 年、2007 年出厂水水质均达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。而且联用强化混凝技术对滤池(虹吸滤池、V 型滤池)过滤周期影响较小。但是单独采用 PAM 对滤池有一定影响。在 2007 年 2 月时,由于原水水质较好,CX 县自来水厂一个月没有投加高锰酸盐,只投加聚丙烯酰胺,结果在滤池的滤料上层发现有丝状粘稠物质,滤池周期相对缩短了 1~3 h,而采用联用强化混凝技术均没有发现此现象,这可能是 PPC 预氧化产生新生态的水合二氧化锰等锰的中间态水解产物提高了 PAM 助凝形成的胶体的体积和密实度,使得沉淀效果彻底。

4 PPC-PAM 联用强化混凝工艺的技术经济分析

高锰酸盐和聚丙烯酰胺均是固体药剂,存放和投加都简便易行,不需要增加过多构筑物和设备,运行管理方便。从基建费用看:采用 PPC-PAM 联用强化混凝工艺可以降低建设费用。运行费用方面(以 CX 县自来水厂为例):水厂产水量按 6 万 m³/d 计,PPC 和 PAM 投加量选择为 0.45 mg/L、0.08 mg/L,每天 PPC 和 PAM 的用量为 27 kg 和 4.8 kg,PPC 和 PAM 价格约 1.5 万元/t 和 5 万元/t,则药剂费用为 645 元/d。PPC-PAM 联用强化工艺增加制水药耗成本为 0.009 15 元/m³。水厂采用 PPC-PAM 联用强化工艺后,水厂的聚氯化铝用量由原来的平均 30 mg/L 降到 18 mg/L,每天节约聚氯

化铝的量为 720 kg,聚氯化铝的价格为 5 000 元/t,节约聚氯化铝的费用为 2 880 元/d。由此可见 PPC-PAM 联用强化混凝工艺是一种经济可靠且实用性强的水处理方法。

5 结论

PPC 投量在 0.3~0.5 mg/L 和 PAM 投量在 0.05~0.10 mg/L 条件下联用强化混凝生产试验的出厂水浊度、色度、铁、锰等指标,均比历史同期水平要好。采用 PPC-PAM 联用强化混凝工艺后,不但没有增加制水成本,反而可以节约混凝剂费用。PPC-PAM 联用强化混凝工艺对处理太湖 B 支流水地表水具有较好的社会和经济价值。

参考文献

- 唐铭,丁亮,颜亮,等.高锰酸钾法降低自来水锰含量的运用.城镇饮用水安全保障技术研讨会论文集,2004:143~145
- 孙士权,马军,黄晓东,等.高锰酸盐预氧化去除太湖原水中稳定性铁、锰.中国给水排水,2006,21(22):8~11
- Ma J, Li G B, Chen Z L, et al. Enhanced coagulation of surface waters with high organic content by permanganate preoxidation. Water Science and Technology: Water Supply, 2001,1(1):51~61
- 马军,李圭白,陈忠林,等.高锰酸钾复合药剂除微污染物生产性试验.中国给水排水,1997,13(6):13~15
- Ma J, Li G B. Laboratory and full-scale plant studies of permanganate oxidation as an aid in coagulation. Wat Sci Tech, 1993,27(11):47~54
- 黄晓东.常规强化技术研究:[学位论文].北京:清华大学,2003
- 国家环境保护总局编.水和废水监测分析方法.第 4 版.北京:中国环境科学出版社,2001

○通讯处:410076 长沙理工大学水利学院给排水教研室
电话:13875857275
E-mail: sunsprite8010@163.com
收稿日期:2007-06-21
修回日期:2008-02-19