

## “清时捷”供排水企业运行及管理成果专栏

汤婷, 郑恒, 黄庆, 等. PAC 和 PDM 联用对湘江原水藻类去除的生产性试验[J]. 净水技术, 2022, 41(10):171-177.

TANG T, ZHENG H, HUANG Q, et al. Productive test of algae removal from raw water of Xiangjiang River by combined chemical dosing of PAC and PDM[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(10):171-177.



扫我试试?

## PAC 和 PDM 联用对湘江原水藻类去除的生产性试验

汤婷<sup>1</sup>, 郑恒<sup>1</sup>, 黄庆<sup>1</sup>, 赖涵<sup>1</sup>, 李亚城<sup>1</sup>, 周耀渝<sup>2,\*</sup>

(1. 中南水务科技有限公司, 湖南长沙 410000; 2. 湖南农业大学资源环境学院, 湖南长沙 410128)

**摘要** 湘江水源长沙段每年均出现周期性藻类暴发。为解决水厂使用聚合氯化铝(PAC)对含藻水处理效果不佳的问题, 研究 PAC 和聚二甲基二烯丙基氯化铵(PDM)联合投加对藻类的去除效果。研究表明, PAC 和 PDM 联合投加后, 絮凝反应池末端可明显观察到絮体粒径变大, 沉淀池出水清澈, 大大减缓了斜管沉淀池蜂窝的堵塞程度。通过在水厂开展生产性试验, 得到针对试验期间水质的药剂建议投加量为 12 mg/L PAC+0.5 mg/L PDM。在此条件下沉淀池出水藻类、浊度、OD<sub>680</sub>、UV<sub>254</sub>、COD<sub>Mn</sub> 去除率分别为 97.71%、91.60%、97.79%、61.74%、38.04%, 相对于对照组分别提高了 18.04%、16.20%、21.32%、19.19%、19.22%。PAC 和 PDM 联合投加方法对藻类、浊度、有机物的去除效果显著, 可为高藻期间水厂藻类去除提供参考。

**关键词** 湘江原水 藻类 聚二甲基二烯丙基氯化铵 强化混凝 生产性试验

中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2022)10-0171-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.10.025

## Productive Test of Algae Removal from Raw Water of Xiangjiang River by Combined Chemical Dosing of PAC and PDM

TANG Ting<sup>1</sup>, ZHENG Heng<sup>1</sup>, HUANG Qing<sup>1</sup>, LAI Han<sup>1</sup>, LI Yacheng<sup>1</sup>, ZHOU Yaoyu<sup>2,\*</sup>

(1. Zhongnan Water Technology Co., Ltd., Changsha 410000, China;

2. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract** The Changsha section of the Xiangjiang River has periodic algae outbreaks every year. In order to solve the problem of poor treatment of algae-containing water by polyaluminum chloride (PAC) in water treatment plants (WTP), the effect of combined dosing of PAC and polydimethyldiallyl ammonium chloride (PDM) on algae removal was studied. Results showed that, after the combined dosing of PAC and PDM, the flocs size increased obviously at the end of the flocculation reaction tank. The treated water of sedimentation tank was clear, which greatly reduced the blockage of the honeycomb of inclined tube sedimentation tank. Through the optimization of the jar tests and the production tests, the recommended dosages for the water quality during the test period were 12 mg/L PAC+0.5 mg/L PDM. Under these conditions, the removal rates of algae, turbidity, OD<sub>680</sub>, UV<sub>254</sub>, and COD<sub>Mn</sub> in the test group were 97.71%, 91.60%, 97.79%, 61.74% and 38.04%, respectively, which were increased by 18.04%, 16.20%, 21.32%, 19.19% and 19.22%, compared to the control group. Results demonstrated that this method had a significant effect on the removal of

[收稿日期] 2022-06-02

[基金项目] 湖南省高新技术产业科技创新引领计划(2021GK4055)

[作者简介] 汤婷(1988—),女,博士,工程师,研究方向为水处理用新型絮凝剂的研究,E-mail:tinatang1021@163.com。

[通信作者] 周耀渝(1988—),男,博士,教授,研究方向为水环境污染修复,E-mail:zhouyy@hunau.edu.cn。

algae, turbidity and organic matter, which could provide a reference for algae removal in water plant during high algae periods.

**Keywords** Xiangjiang River raw water algae polydimethyldiallyl ammonium chloride (PDM) enhanced coagulation productive test

近年来,湘江流域富营养化日趋严重,藻类时有暴发,威胁到人们的用水安全<sup>[1]</sup>。藻类暴发一方面会给水质带来不良影响,如释放藻毒素、臭味物质、消毒副产物前体物等<sup>[2-3]</sup>;另一方面,还会影响水厂的正常运行,比如干扰混凝过程,进而堵塞或穿透滤池,增加消毒剂用量等<sup>[4-5]</sup>。因此,根据湘江水质,探究合理有效的除藻方法成为人们的迫切需求。

针对高藻水,水厂常规的方法为使用氧化剂进行预处理,通过灭活藻细胞达到提高混凝除藻效果的目的<sup>[6-7]</sup>。然而,这些氧化剂可能会使得藻类细胞破裂,释放藻源有机物,造成二次污染<sup>[8-9]</sup>。相比于预氧化方法,投加助凝剂强化混凝是一种物理方法,不破坏藻细胞,具有更高的安全性<sup>[10]</sup>。聚二甲基二烯丙基氯化铵 (polydimethyldiallyl ammonium chloride, PDM) 是一种新型有机高分子助凝剂,带有强阳离子基团,通过电中和及吸附架桥作用使得水中带负电颗粒失稳絮凝,可直接用于饮用水处理,获得美国食品和药物管理局(FDA)批准<sup>[11-12]</sup>。

国内已有用无机絮凝剂和 PDM 联合投加除藻的研究<sup>[13-14]</sup>,但大多仅开展混凝搅拌试验。考虑到水厂实际情况和混凝搅拌试验的差异性,本研究在混凝搅拌试验的基础上,进一步在水厂开展生产性试验,考察聚合氯化铝(PAC)和 PDM 联合投加对浊度、藻类、OD<sub>680</sub> (680 nm 波长处的吸光值)、UV<sub>254</sub>、COD<sub>Mn</sub> 的去除效果,为高藻期间水厂藻类去除提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 原水水质

试验于 2021 年 8 月在湘江水源长沙段某水厂

进行,共运行 72 h,试验运行期间具体水质相关指标(平均值)如表 1 所示。

表 1 原水水质  
Tab. 1 Raw Water Quality

水质指标	参数
水温/℃	25
浊度度/NTU	8.21
pH 值	8.15
COD <sub>Mn</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	2.55
OD <sub>680</sub> /cm <sup>-1</sup>	0.013 6
UV <sub>254</sub> /cm <sup>-1</sup>	0.079 2
藻类数量/(cells·mL <sup>-1</sup> )	2.11×10 <sup>5</sup>
优势藻种	直链藻

### 1.2 试验药剂

PAC:液体工业品, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 质量分数为 10%; PDM:液体工业品,固体质量分数为 40%。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 混凝搅拌试验方法

混凝搅拌试验均在六联搅拌器(ZR4-6,深圳中润)中进行,每个烧杯装液量为 500 mL。步骤如下:(1)90 r/min 快速搅拌 10 s 使水样混合均匀;(2)添加混凝剂后,90 r/min 快速搅拌 3 min;(3)60 r/min 慢速搅拌 6 min;(4)40 r/min 慢速搅拌 6 min;(5)静置 30 min。静置结束后在液面以下 2 cm 处取上清液分析。

#### 1.3.2 生产性试验方法

该水厂工艺流程如图 1 所示,设计处理规模为

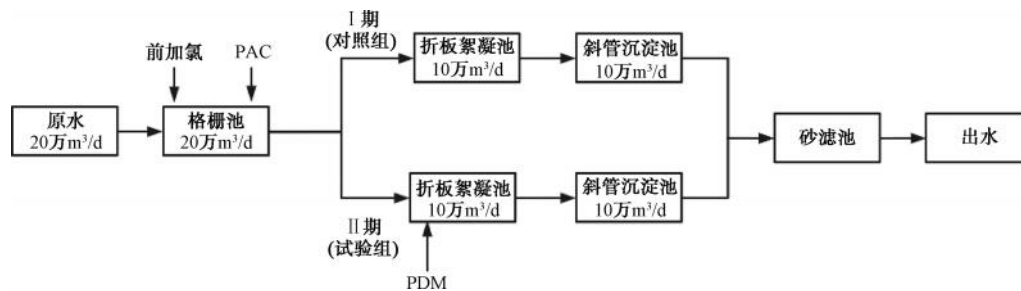


图 1 水厂工艺流程

Fig. 1 Process Flow of WTP

20 万 m<sup>3</sup>/d,分为 I 期和 II 期,每期处理规模为 10 万 m<sup>3</sup>/d,主要工艺为折板絮凝+斜管沉淀。I 期设为对照组,仅投加 PAC,II 期为试验组,采用 PAC 和 PDM 联合投加。PAC 投加量固定为 12 mg/L,试验组 PDM 的投加量设置 3 个质量浓度梯度,分别为 0.25、0.50、1.00 mg/L,每个浓度梯度运行 24 h,共运行 72 h。每隔 4 h 分别取原水、试验组沉淀池出水、对照组沉淀池出水,检测藻类数量、浊度、UV<sub>254</sub>、OD<sub>680</sub>、COD<sub>Mn</sub>。

### 1.4 检测及分析方法

藻类数量采用显微镜计数法,浊度采用哈希 2100Q 浊度仪测定,OD<sub>680</sub> 和 UV<sub>254</sub> 采用紫外可见分光光度计测定(岛津,UV2600),COD<sub>Mn</sub> 根据《水和废水的生物监测方法》(第四版)相关方法进行检测。

## 2 结果及分析

### 2.1 混凝搅拌试验

混凝搅拌试验在六联混凝搅拌器上进行,分别

对 PAC 和 PDM 的投加量进行了优化,为下一步生产性试验药剂投加量提供参考。

#### 2.1.1 PDM 投加量优化

根据水厂的投加经验,针对目前水质情况,PAC 投加量暂设定为 16 mg/L,PDM 设置 5 个质量浓度梯度,分别为 0、0.25、0.50、0.75、1.00 mg/L。比较不同 PDM 投加量下沉后水浑浊度、絮体大小和沉降时间。

由混凝搅拌试验结果可知(表 2 和图 2),当 PDM 投加量为 0.25 mg/L 时,不足以形成吸附架桥作用,形成的絮体较小。随着 PDM 投加量增大,沉后水浑浊度和 OD<sub>680</sub> 逐渐降低,絮体粒径逐渐变大,但当 PDM 投加量大于 0.50 mg/L 时,浑浊度和 OD<sub>680</sub> 略有升高,絮体粒径增大不明显。这可能是因为 PDM 投加过量,产生“胶体保护”作用<sup>[15]</sup>。因此,PDM 的建议投加量为 0.50 mg/L。

表 2 PDM 投加量优化结果 (PAC:16 mg/L)

Tab. 2 Results of PDM Dosage Optimization (PAC: 16 mg/L)

比较项目	0	0.25 mg/L	0.50 mg/L	0.75 mg/L	1.00 mg/L
沉后水浑浊度/NTU	4.74	3.96	0.65	0.78	0.82
OD <sub>680</sub> /cm <sup>-1</sup>	0.008 3	0.006 5	0.000 3	0.000 8	0.001 2
絮体大小	小	中	大	大	大
沉降时间/s	>300	120	40	50	50

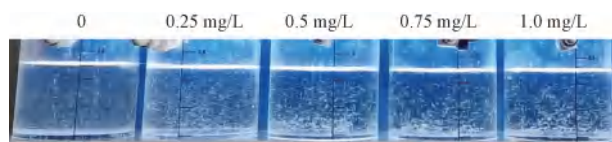


图 2 不同 PDM 投加量下絮体形态

Fig. 2 Floccs Forms under Different Dosages of PDM

#### 2.1.2 PAC 投加量优化

固定 PDM 投加量为 0.50 mg/L,PAC 投加量设

置质量浓度梯度为 0、4、8、12、16、20 mg/L,对 PAC 投加量进行优化,考察不同 PAC 投加量下沉后水浑浊度、絮体大小和沉降时间。

结果如表 3 和图 3 所示,当 PAC 投加量为 0~4 mg/L 时,絮体粒径非常细小,悬浮在溶液中,难以沉降,沉后水浑浊度较大。这主要是因为 PAC 投加量过低时,其水解带来的正电荷较少,电中和作用不充分,即使添加了足量的 PDM,助凝效果仍然不佳。

表 3 PAC 投加量优化结果 (PDM:0.50 mg/L)

Tab. 3 Results of PAC Dosage Optimization (PDM: 0.50 mg/L)

比较项目	0	4 mg/L	8 mg/L	12 mg/L	16 mg/L	20 mg/L
沉后水浑浊度/NTU	5.28	3.45	1.38	0.43	0.65	0.98
OD <sub>680</sub> /cm <sup>-1</sup>	0.009 2	0.005 6	0.002 7	0.000 1	0.000 3	0.001 6
絮体大小	非常小	小	大	大	大	大
沉降时间/s	>300	120	60	30	40	50

随着 PAC 投加量增大,沉后水浑浊度和  $OD_{680}$  逐渐降低,絮体粒径逐渐增大,沉降速度加快,易形成絮团。当 PAC 投加量大于 12 mg/L 时,絮体粒径增大不明显,且浑浊度和  $OD_{680}$  也出现逐渐增大的趋势,这可能是由于胶粒表面吸附的正电荷离子过多,电荷变号,有可能发生再稳现象<sup>[16]</sup>。因此,建议 PAC 的投加量为 12 mg/L。

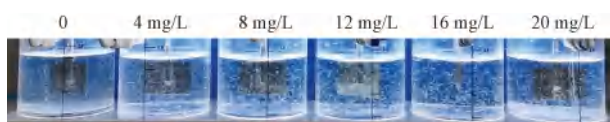


图 3 不同 PAM 投加量下絮体形态  
Fig. 3 Floccs Forms under Different Dosages of PAC

以上研究结果表明,针对该水质情况,混凝搅拌试验结果药剂建议投加量为 12 mg/L PAC+0.50 mg/L PDM,可以为下一步的生产性试验提供参考。

## 2.2 生产性试验

本研究主要探讨不同 PDM 投加量下藻类去除情况,因此,在生产性试验中主要优化 PDM 投加量, PAC 投加量根据混凝搅拌试验和水厂投加经验设置为 12 mg/L。根据 2.1 小节混凝搅拌试验结果, PDM 的最佳投加量为 0.50 mg/L,生产性试验围绕该值设置 0.25、0.50、1.00 mg/L 这 3 个质量浓度梯度,每个浓度梯度运行 24 h,共运行 72 h,根据 1.3.2 小节所述方法开展生产性试验。

### 2.2.1 絮体大小

分别在对照组和试验组反应池末端观察絮体形成情况,结果如图 4 所示,对照组形成的絮体非常细

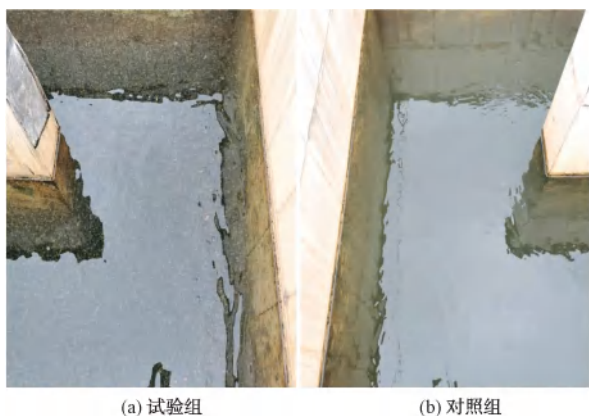


图 4 反应池絮体形成(12 mg/L PAC+0.50 mg/L PDM)  
Fig. 4 Floccs Forms in the Reaction Tank  
(12 mg/L PAC+0.50 mg/L PDM)

小,大部分悬浮在水中,沉降效率较低,甚至沉淀池出水中还会有部分悬浮的絮体。试验组投加 PDM 后,在其助凝作用下形成了较大的絮团,最大的絮体粒径可达到 1 cm,沉降速度加快。

### 2.2.2 沉淀池出水

原水经过絮凝反应池后,进入斜管沉淀池沉淀,分别观察试验组和对照组沉淀池出水以及斜管沉淀池斜管蜂窝堵塞情况。结果如图 5 所示,对照组出水非常浑浊,沉淀效果不佳,絮体容易上浮停留在斜管中,造成斜管蜂窝堵塞,斜管需要每 3 d 清洗一次。试验组出水水质良好,池水清澈见底,因絮体粒径大、沉淀效果好,大大减缓了斜管蜂窝的堵塞程度,清洗频率可延长至 14 d 一次。

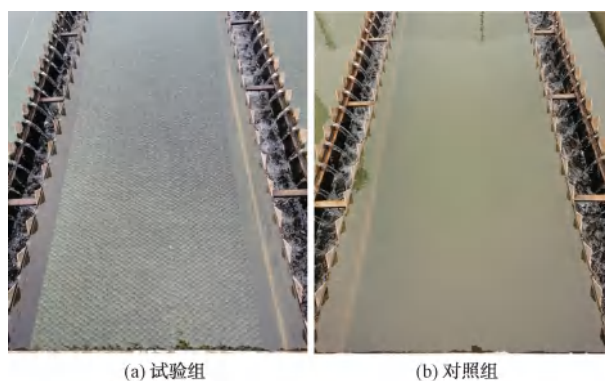


图 5 斜管沉淀池出水(12 mg/L PAC+0.50 mg/L PDM)  
Fig. 5 Outflow of Inclined-Tube Sedimentation Tank  
(12 mg/L PAC+0.50 mg/L PDM)

### 2.2.3 藻类去除效果

藻类去除效果如图 6 所示,原水藻类数量在  $1.74 \times 10^5 \sim 3.14 \times 10^5$  cells/mL,均值为  $2.11 \times 10^5$  cells/mL。对照组沉淀池出水藻类数量较高,均值在  $4.5 \times 10^4$  cell/mL 左右,藻类平均去除率为 78.67%。试验组中,当 PDM 投加量为 0.25、0.50、1.00 mg/L 时,沉淀池出水中藻类数量分别为  $2.00 \times 10^4$ 、 $4.83 \times 10^3$ 、 $5.66 \times 10^3$  cells/mL,去除率分别为 90.52%、97.71%、97.32%。当 PDM 投加量为 0.50 mg/L 时,除藻率达到最高,继续提高 PDM 投加量至 1.00 mg/L,除藻率略有降低。当原水藻类数量波动较大时,试验组沉淀池出水藻类的数量始终保持在较为平稳的水平,而对照组波动性较大。由以上结果可知,PAC 和 PDM 联合投加的方式可大幅度提高除藻率,其主要原因可能为:(1)PDM 每个结构单元带有一个正电荷,增强了电中和作用,使得带负电



的藻类细胞脱稳<sup>[17]</sup>; (2) PDM 为链状高分子, 在电中和作用的基础上, 可进一步发挥较好的吸附架桥能力, 从而更容易将脱稳的藻类细胞絮凝沉淀<sup>[18]</sup>。

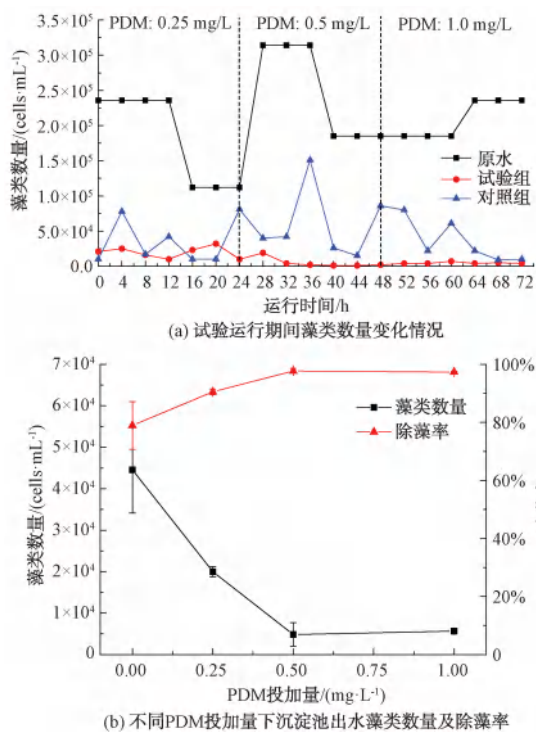


图6 不同PDM投加量下藻类去除效果

Fig. 6 Algae Removal Effect under Different Dosages of PDM

因藻类在 680 nm 处有特征吸收峰, 因此, 用  $OD_{680}$  可间接表征藻类去除效果, 结果如图 7 所示。试验运行期间, 原水  $OD_{680}$  在  $0.005 0 \sim 0.025 2 \text{ cm}^{-1}$ , 均值为  $0.013 6 \text{ cm}^{-1}$ 。对照组沉淀池出水  $OD_{680}$  均值为  $0.003 2 \text{ cm}^{-1}$ , 平均去除率为 76.47%。试验组中, 当 PDM 投加量为 0.25、0.50、1.00 mg/L 时, 沉淀池出水  $OD_{680}$  平均值分别为 0.001 7、0.000 3、0.001 8  $\text{cm}^{-1}$ , 去除率分别达到 87.50%、97.79%、86.76%。以上结果表明, 随着 PDM 投加量升高,  $OD_{680}$  去除率呈现先升高后降低的趋势, 这和藻类数量及去除率的变化趋势保持一致。

#### 2.2.4 浊度去除效果

浊度通常反映光线通过水体时被悬浮物阻碍的程度, 本试验使用的水源中主要悬浮物是藻类, 因此, 可通过浊度的变化来反映藻类数量的变化, 浊度变化结果如图 8 所示。原水浊度在 5.41 ~ 13.40 NTU, 均值为 8.21 NTU。对照组沉淀池出水浊度均值在 2.02 NTU, 且波动较大, 最高时可高

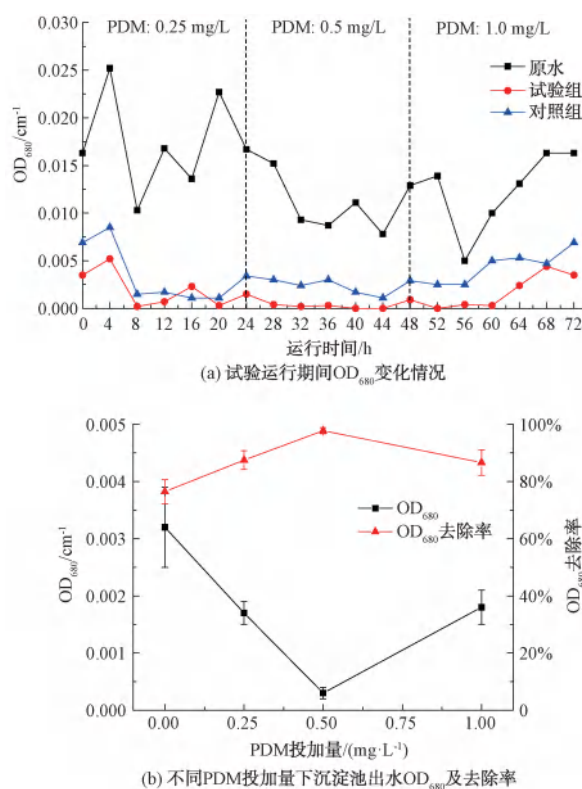


图7 不同PDM投加量下 $OD_{680}$ 变化

Fig. 7 Changes of  $OD_{680}$  under Different Dosages of PDM

达 4.14 NTU, 平均浊度去除率为 75.40%。试验组中, 当 PDM 投加量为 0.25、0.50、1.00 mg/L 时, 沉淀池出水浊度平均值均能达到 1.00 NTU 以下, 分别为 0.94、0.69、0.52 NTU, 浊度去除率分别为 88.55%、91.60%、93.67%。试验结果表明, 随着 PDM 投加量升高, 沉淀池出水浊度逐渐降低, 浊度去除率逐渐升高。

#### 2.2.5 $UV_{254}$ 和 $COD_{Mn}$ 去除效果

夏季藻类暴发期间, 有机污染明显, 除了藻类数量和浊度外,  $UV_{254}$  和  $COD_{Mn}$  也是反映水体受有机污染程度的重要指标。因此, 对试验组和对照组出水  $UV_{254}$  和  $COD_{Mn}$  进行了考察。 $UV_{254}$  变化结果如图 9 所示, 原水  $UV_{254}$  在  $0.053 8 \sim 0.108 1 \text{ cm}^{-1}$ , 均值为  $0.079 2 \text{ cm}^{-1}$ 。对照组沉淀池出水  $UV_{254}$  均值为  $0.045 5 \text{ cm}^{-1}$ , 平均去除率为 42.55%。试验组投加 0.25、0.50、1.00 mg/L PDM, 沉淀池出水  $UV_{254}$  分别为 0.044 7、0.030 3、0.038 6  $\text{cm}^{-1}$ , 去除率分别为 43.56%、61.74%、51.26%。试验结果表明, 当 PDM 投加量较低 (0.25 mg/L) 时,  $UV_{254}$  去除率和对 照组相差不大。随着 PDM 投加量升高,  $UV_{254}$  去除

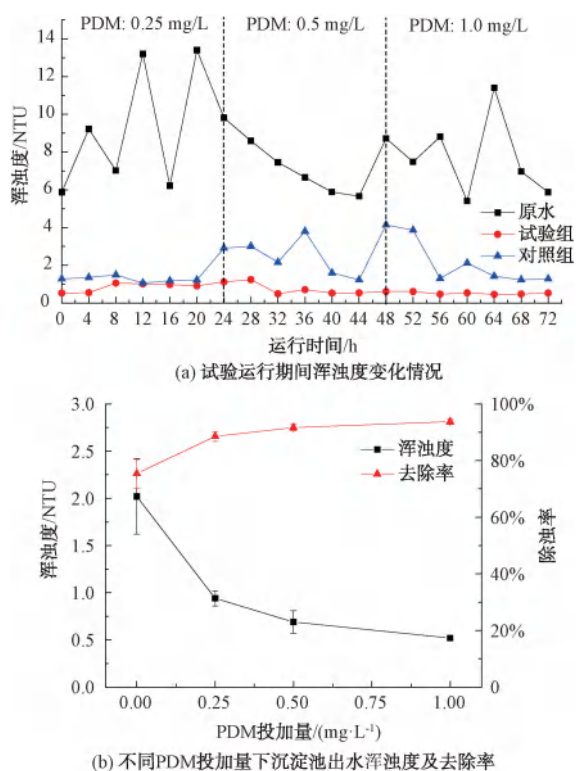


图 8 不同 PDM 投加量下浑浊度去除效果

Fig. 8 Turbidity Removal Effect under Different Dosages of PDM

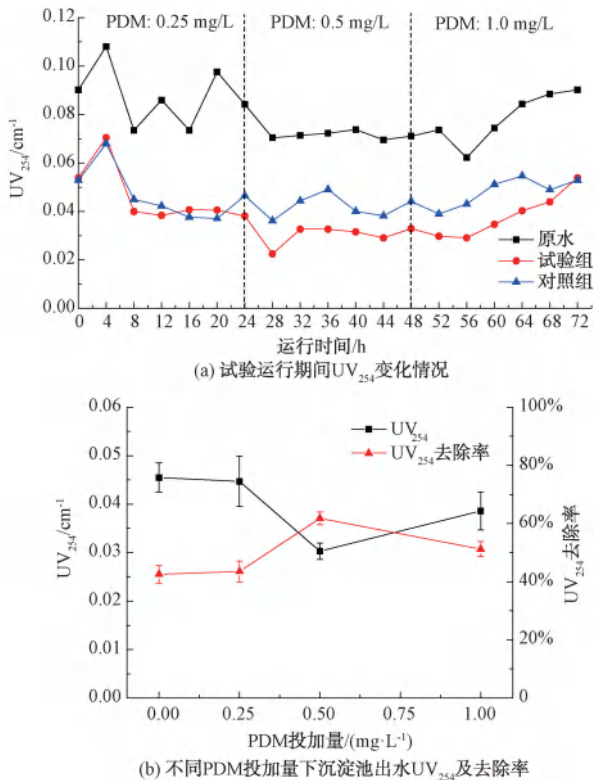


图 9 不同 PDM 投加量下 UV<sub>254</sub> 去除效果

Fig. 9 UV<sub>254</sub> Removal Effect under Different Dosages of PDM

率呈现先升高后略微降低的趋势,当 PDM 投加量为 0.50 mg/L 时,UV<sub>254</sub> 去除率达到最高。

COD<sub>Mn</sub> 变化结果如图 10 所示,原水 COD<sub>Mn</sub> 质量浓度在 2.21~3.08 mg/L,均值为 2.55 mg/L。对照组沉淀池出水 COD<sub>Mn</sub> 平均质量浓度为 2.07 mg/L,平均去除率为 18.82%。试验组投加 0.25、0.50、1.00 mg/L PDM,沉淀池出水 COD<sub>Mn</sub> 质量浓度分别为 1.82、1.58、1.61 mg/L,去除率分别为 28.63%、38.04%、36.86%。随着 PDM 投加量升高,COD<sub>Mn</sub> 去除率呈现先升高后略微降低的趋势,当 PDM 投加量为 0.50 mg/L 时,COD<sub>Mn</sub> 去除率达到最高。由以上结果可知,PAC 和 PDM 联合投加也可以加强对有机物指标 UV<sub>254</sub>、COD<sub>Mn</sub> 的去除。

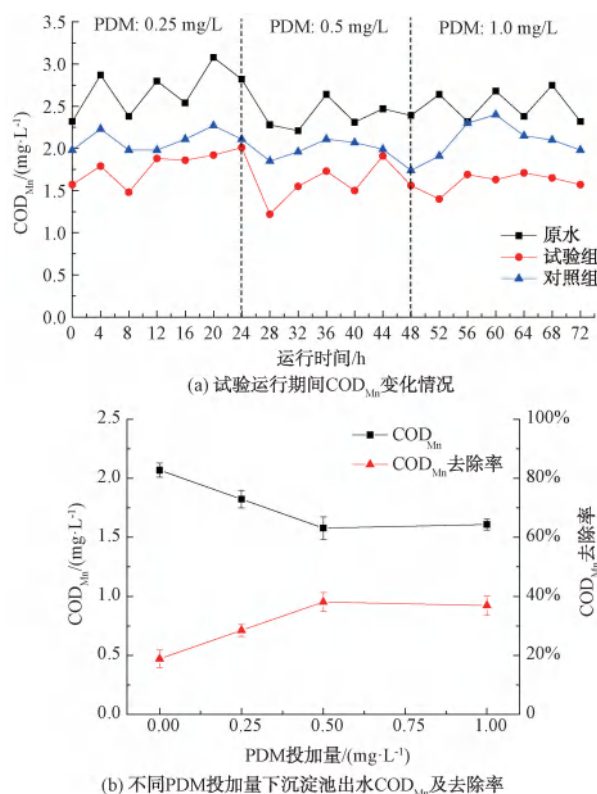


图 10 不同 PDM 投加量下 COD<sub>Mn</sub> 去除效果

Fig. 10 COD<sub>Mn</sub> Removal Effect under Different Dosages of PDM

综合以上结果,针对目标水质情况,当 PDM 投加量为 0.50 mg/L 时,藻类、OD<sub>680</sub>、UV<sub>254</sub>、COD<sub>Mn</sub> 去除率均可达到最大值,浑浊度可降低至 1.00 NTU 以下。相关数据如表 4 所示,试验组藻类、浑浊度、OD<sub>680</sub>、UV<sub>254</sub>、COD<sub>Mn</sub> 去除率分别为 97.71%、91.60%、97.79%、61.74%、38.04%,相对于对照组分别提高了 18.04%、16.20%、21.32%、19.19%、19.22%。

表 4 最佳投加量下相关水质指标去除率  
(12 mg/L PAC+0.50 mg/L PDM)

Tab. 4 Removal Rate of Relevant Water Quality Indices under Optimal Dosages (12 mg/L PAC+0.50 mg/L PDM)

组别	藻类 去除率	浑浊度 去除率	OD <sub>680</sub> 去除率	UV <sub>254</sub> 去除率	COD <sub>Mn</sub> 去除率
对照组	78.67%	75.40%	76.47%	42.55%	18.82%
试验组	97.71%	91.60%	97.79%	61.74%	38.04%

### 3 结论

为解决水厂使用 PAC 对含藻水处理效果不佳的问题,研究 PAC 和 PDM 联合投加对藻类的去除效果,得出以下结论。

(1)PAC 和 PDM 联合投加的方式可有效解决高藻期间水厂絮凝效果不佳、斜管堵塞等问题,投加 PDM 后絮体明显增大,沉降速度加快,沉淀池出水清澈见底,大大减缓了斜管沉淀池蜂窝的堵塞程度,清洗频率可从 3 d 清洗一次延长至 14 d 清洗一次。

(2)通过混凝搅拌试验和生产性试验的优化,得到针对试验期间水质的药剂建议投加量为 12 mg/L PAC+0.50 mg/L PDM。在此条件下沉淀池出水藻类、浑浊度、OD<sub>680</sub>、UV<sub>254</sub>、COD<sub>Mn</sub> 去除率分别为 97.71%、91.60%、97.79%、61.74%、38.04%,相对于对照组分别提高了 18.04%、16.20%、21.32%、19.19%、19.22%。PAC 和 PDM 联合投加的方式对藻类、浑浊度、有机物等去除效果显著,可为高藻期间水厂藻类去除提供参考。

### 参考文献

[ 1 ] 陆娇. 湘江长沙综合枢纽上下游浮游生物群落结构动态分布特征及水质评价[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2019.  
[ 2 ] 杨飞飞, 张亚娟, 方月英, 等. 藻类及臭味物质生产性试验分析[J]. 净水技术, 2019, 38(2): 18-21.  
[ 3 ] 闫雨薇, 翟洪艳, 王雪娇. 臭氧/氯消毒中藻类有机物生成消毒副产物的特征[J]. 中国给水排水, 2020, 36(5): 7-

13.  
[ 4 ] 李国平, 戚菁, 兰华春. 水厂除藻技术的研究进展综述[J]. 净水技术, 2018, 37(11): 32-39.  
[ 5 ] 肖友道. 藻类对常规工艺水厂的影响研究[J]. 广东化工, 2011, 38(1): 136-137.  
[ 6 ] 王伟平, 张璐, 徐慧. 高锰酸钾与二氧化氯预氧化除藻试验研究[J]. 净水技术, 2006, 25(2): 41-42, 76.  
[ 7 ] 王晓云, 蒋柱武, 付爱民. 原水硬度对臭氧和高锰酸钾预氧化除藻效果的影响[J]. 中国给水排水, 2021, 37(1): 46-50.  
[ 8 ] 张晓东, 乔俊莲, 吕丽萍, 等. 高锰酸钾预氧化对藻活性和胞内外有机物的影响[J]. 中国环境科学, 2017, 37(7): 2708-2714.  
[ 9 ] CORAL L A, ZAMYADI A, BARBEAU B, et al. Oxidation of *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena flos-aquae* by ozone: Impacts on cell integrity and chlorination by-product formation [J]. Water Research, 2013, 47(9): 2983-2994.  
[ 10 ] 张翀, 赵亮, 张莹, 等. 藻类爆发危害及其控制技术研究进展[J]. 环境保护科学, 2015(3): 107-112.  
[ 11 ] ROUT D, VERMA R, AGARWAL S K. Polyelectrolyte treatment-An approach for water quality improvement[J]. Water Science & Technology, 1999, 40(2): 137-141.  
[ 12 ] 彭振华. 聚二甲基二烯丙基氯化铵的合成及在水处理中的应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.  
[ 13 ] 张跃军, 李潇潇, 赵晓蕾, 等. PAC/PDM 复合混凝剂用于夏季太湖水混凝脱浊研究[J]. 环境科学, 2008, 29(8): 2195-2200.  
[ 14 ] 赵晓蕾, 张跃军, 李潇潇, 等. AS/PDM 复合混凝剂对冬季太湖原水除藻效果研究[J]. 环境科学, 2009, 30(4): 1023-1028.  
[ 15 ] 仲米贵, 王郑, 黄雷, 等. 壳聚糖对 PAC 的助凝效果及机理研究[J]. 应用化工, 2017, 46(6): 1152-1156.  
[ 16 ] 张晓健, 黄霞. 水与废水物化处理的原理与工艺[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.  
[ 17 ] 田秉晖, 栾兆坤, 潘纲. 阳离子聚电解质聚二甲基二烯丙基氯化铵的絮凝机理初探[J]. 环境科学学报, 2007, 27(11): 1874-1880.  
[ 18 ] 黄新丽. 复合混凝剂 PAC-PDMAAC 的混凝效果及机理研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.

**【编辑推荐】**原水中的藻类具有气囊结构,且采用高级氧化技术去除容易产生藻毒素等副产物问题,在水厂工艺中的去除一直存在难点,特别对于突发性的藻类暴发事件,应急处置的工艺储备尤其重要。文章引入一种带有强阳离子基团的新型有机高分子助凝剂,开展与絮凝剂联合投加的工艺参数探索,在前期确定了絮凝剂投加量的基础上,分析对比了不同助凝剂投加量对浑浊度、有机物等特征污染物的去除效果,对突发高藻期间的水厂应急工艺参数提出了建议,具有实践的指导意义。