

藻类絮凝体形态学特征及其与气浮的关系研究

王玉恒, 王启山, 吴玉宝, 安毅, 彭新红

(南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071)

摘要:采用聚合氯化铝(PAC)作为混凝药剂, 利用混凝-气浮技术去除水中铜绿微囊藻(MA), 用图像法对絮凝体的分形维数进行测定, 分析不同混凝条件下的气浮除藻效果以及 PAC-MA 絮凝体的形态学特征, 并探讨两者的关系. 结果表明, 在快速混合搅拌强度和时间分别为 500 s^{-1} 和 1 min, 回流比为 10% 条件下, PAC 最佳投药量范围为 $5.6 \sim 9.8\text{ mg/L Al}_2\text{O}_3$, 最佳点为 $8.4\text{ mg/L Al}_2\text{O}_3$; 最佳的絮凝反应搅拌强度范围为 $50 \sim 80\text{ s}^{-1}$, 最佳点为 50 s^{-1} ; 最佳的絮凝时间范围为 $5 \sim 8\text{ min}$; 投药量、絮凝反应搅拌强度及时间对 PAC-MA 絮凝体形态有着显著影响, 在最佳混凝条件下, 絮凝体的二维分形维数 D_2 较小, 在 $1.1688 \sim 1.2357$ 之间, 相对应的絮凝体的平均粒径较大, 在 $300 \sim 500\text{ }\mu\text{m}$ 之间; 在适当的混凝条件下, 结构疏松, 枝杈较多, 尺寸较大的 PAC-MA 絮凝体与气泡粘附效果好, 容易气浮去除.

关键词: 混凝-气浮; PAC-MA 絮凝体; 图像法; 形态学; 分形维数

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)03-0688-08

Morphological Characteristics of Algae Floc and Its Relation with Flotation

WANG Yu-heng, WANG Qi-shan, WU Yu-bao, AN Yi, PENG Xin-hong

(College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: *Microcystis aeruginosa* (MA) was removed by polyaluminium chloride (PAC) in the coagulation-flotation process. The test studied removing effect and morphological characteristics of PAC-MA flocs in the different coagulation conditions and discussed the correlation of them. Fractal dimension was measured by image analysis. The results indicate that the best range in dosage, stirring strength and time of flocculation reaction are respectively $5.6 \sim 9.8\text{ mg/L Al}_2\text{O}_3$, $50 \sim 80\text{ s}^{-1}$ and $5 \sim 8\text{ min}$ in the condition of mixing stirring strength of 500 s^{-1} , mixing time of 1 min, circulate ratio of 10%. The dosage, stirring strength and time of flocculation reaction influenced the form of flocs remarkably. Moreover the range of fractal dimension D_2 is between 1.1688 and 1.2357, and average diameters vary between $300\text{ }\mu\text{m}$ and $500\text{ }\mu\text{m}$ with the best flocculation condition. The flocs with the looser structure, the bigger diameter variation and more branches can adhere to bubbles more easily.

Key words: coagulation-flotation; PAC-MA floc; image analysis; morphology; fractal dimension

在混凝-气浮工艺中, 形成一定尺寸、容易被微气泡粘附的絮凝体, 是影响整个工艺处理效果的关键因素之一, 因此, 研究絮凝体的形态学特征与气浮去除的关系十分必要. 絮凝体的分形理论为研究颗粒聚合物的结构提供了一种新方法, 近年来, 运用分形理论(fractal theory)研究絮凝体的结构特征成为热点^[1~5]. 国内外学者运用分形理论研究成果, 指出了絮凝体的分形构造特征, 并将分形维数(fractal dimension)引入絮凝动力学模型和絮凝密度函数^[6~9]. 迄今为止大多以水中的无机悬浮颗粒、腐殖酸等混凝后形成的絮凝体为研究对象, 而对于藻类絮凝体的形态学特征及其与气浮去除关系的研究和报道很少.

本研究采用无机高分子絮凝剂聚合氯化铝(PAC)作为混凝药剂, 以含有较高浓度铜绿微囊藻(MA)的富藻水为处理对象, 利用混凝-气浮技术去除水中 MA, 采用静态显微图像法对絮体的分形维数进行测定^[10], 分析不同混凝条件下, 气浮除藻的

效果以及 PAC-MA 絮体的形态学特征, 并探讨两者的关系.

1 材料与方法

1.1 试验装置及实验步骤

试验装置由反应器以及溶气系统构成. 混凝及气浮过程都在反应器内进行, 反应器为有机玻璃粘结而成, 外表尺寸 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 300\text{ mm}$, 有效容积 2 L, 底部有取样口及溶气水进水口(如图 1). 采用武汉恒岭 TA2-I 程控混凝搅拌仪控制搅拌时间、转速. 溶气系统由空压机(型号 ZW-0.05/7, 宁波制造)、高压泵(台州泵业有限公司)、溶气罐(自制不锈钢罐)等组成.

实验步骤为: ①注入 2 L 一定浓度的富藻水; ②

收稿日期: 2007-06-08; 修订日期: 2007-07-16

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601140)

作者简介: 王玉恒(1980~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为水污染控制, E-mail: sun_wangyh@sina.com

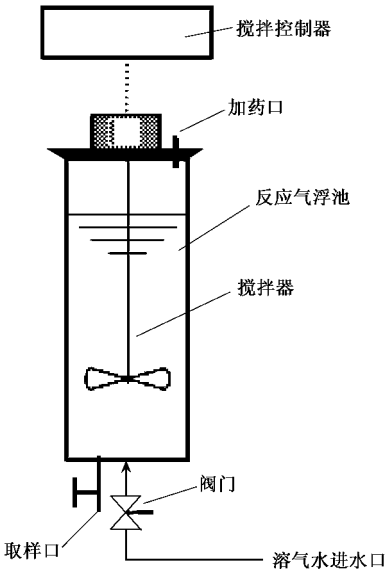


图 1 混凝-气浮反应器示意

Fig.1 Schematic diagram of coagulation-flotation reactor

加入一定量的 PAC,启动设置好的搅拌程序;③在一定的快速搅拌强度和时间下,药剂与原水迅速混合均匀,颗粒物脱稳;④在一定的絮凝搅拌强度和时间下,脱稳颗粒进一步碰撞、粘附、长大;⑤絮凝反应完成后,利用大口径管从反应器缓慢取样,并放置于存有一定去离子水的小玻璃槽中稀释,以防止图像采集过程中絮凝体干裂和聚集.整个采样过程动作小心轻缓,尽量避免破坏絮体完整性;⑥采样后,打开阀门,向反应器内通入 200 mL(回流比 10%)溶气水,并缓慢搅拌(转速为 20 r/min),使微气泡与絮体充分接触;⑦通气完毕,静置 5 min 后在取样口处取清水样,测定各项水质指标.

1.2 试验试剂与原水

絮凝剂:聚合氯化铝(PAC),天津乐泰化工试剂厂,黄色树脂状固体,Al₂O₃ 含量为 28%,碱化度为 65%~85%,使用时配制成 10 mg/mL 的溶液.

原水:利用 BG11 培养基培养高浓度纯种铜绿微囊藻后,用自来水稀释后得到本实验的原水,其水质指标如表 1.

表 1 原水水质

Table 1 Quality of raw water

浊度/NTU	色度/倍	藻数 × 10 ⁹ /个 · L ⁻¹	pH
4.9~5.4	17.28~19.62	3.26~4.83	8.1~8.4

1.3 检测指标与方法

浊度:本研究中,浊度主要是由铜绿微囊藻引起的,因此浊度的大小可间接反映出水中铜绿微囊藻

的浓度,采用 HACH 2100N 浊度仪进行测定.

440 nm 吸光度:将培养纯藻水稀释至实验所需浓度范围,用 HACH DR4000 型分光光度计进行波长扫描,得到波峰处波长 440 nm,因此通过测定水样 440 nm 处的吸光度值间接反映藻浓度,避免由于藻类计数的主观性带来的误差.采用 HACH DR4000 型分光光度计进行测定.

显微图像处理:采用 Olympus 显微摄影系统进行图像采集,然后利用 IIP(image pro plus)软件对絮体尺寸和分形结构进行分析.

絮体分形维数计算方法^[6,7,11,12]:采用絮体投影面积 A 与周长 P 的关系计算二维分形维数 D_2 :

$$A \propto P^{D_2} \tag{1}$$

对式(1)求对数则有:

$$\lg A = D_2 \lg P + b \tag{2}$$

测定不同的 A 和 P ,就可根据 $\lg A$ 和 $\lg P$ 的直线关系作图,其斜率即为二维分形维数 D_2 .

2 结果与分析

2.1 投药量对去除效果及絮凝体形态的影响

在本阶段实验中,快速搅拌 G 值和时间分别为 500 s⁻¹ 和 1 min,絮凝反应 G 值和时间分别为 50 s⁻¹ 和 6 min,回流比为 10%,投药量以 Al₂O₃ 计.

不同投药量下,混凝气浮工艺对 MA 去除效果如图 2 所示.

从图 2(a)可以看出,随着投药量的增加,出水浊度逐渐降低,然后趋于平稳,随后又迅速升高.当投药量范围在 5.6~9.8 mg/L Al₂O₃ 时,出水浊度小于 1 NTU,去除率在 85% 以上;投药量为 8.4 mg/L Al₂O₃ 时,出水浊度为 0.494 NTU,去除率达到 90.14%,处理效果最佳.随着投药量的进一步增加,浊度又逐渐升高,当投药量超过 11.2 mg/L Al₂O₃,处理效果迅速恶化;从图 2(b)中可以看出,投药量在 5.6~9.8 mg/L 之间时,吸光度 $A_{440\text{ nm}}$ 趋于平稳,起伏不大,去除率在 90% 以上,剩余藻浓度较小;当投药量超过 9.8 mg/L Al₂O₃ 时,吸光度又开始增大.

综合以上实验结果,当投药量不足时,一方面,大量藻类无法与絮凝结合形成 PAC-MA 絮凝体,致使出水中藻浓度偏高,另一方面絮凝剂不能有效地起到压缩双电层的作用,影响颗粒物的长大过程,从而不能与气泡很好的黏附去除.而当投药量过高时,大量的无定形氢氧化铝残留在出水中无法去除,导致浊度升高.所以,投药量在 5.6~9.8 mg/L 之间时,

絮凝剂水解产物既能够压缩藻类表面的双电层,又能起到粘附架桥以及卷扫网捕作用,形成的絮凝体能更好地与气泡结合,利于气浮去除.当投药量为

8.4 mg/L Al_2O_3 , 对各项指标的去除均达到最佳值,因此,在后续实验中采用投药量 8.4 mg/L Al_2O_3 .

图 3 分别以投药量 8.4 mg/L Al_2O_3 和 9.8 mg/L

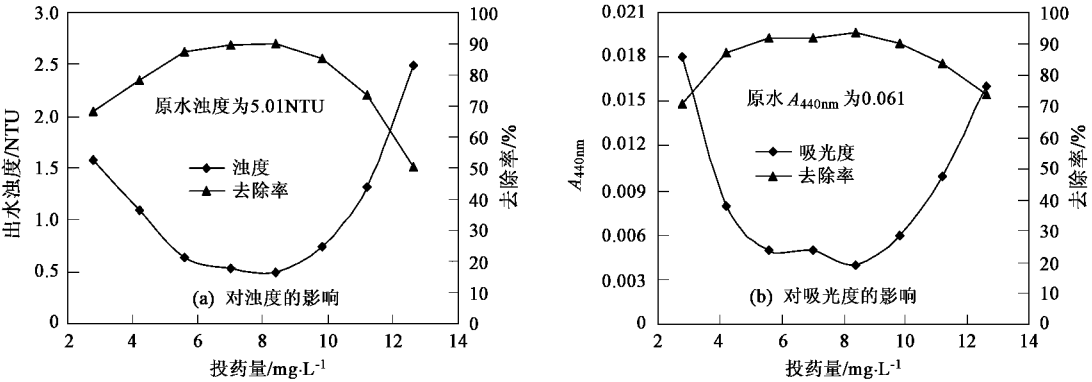


图 2 投药量对浊度和吸光度的影响
Fig.2 Effect of dosage on turbidity and absorbance

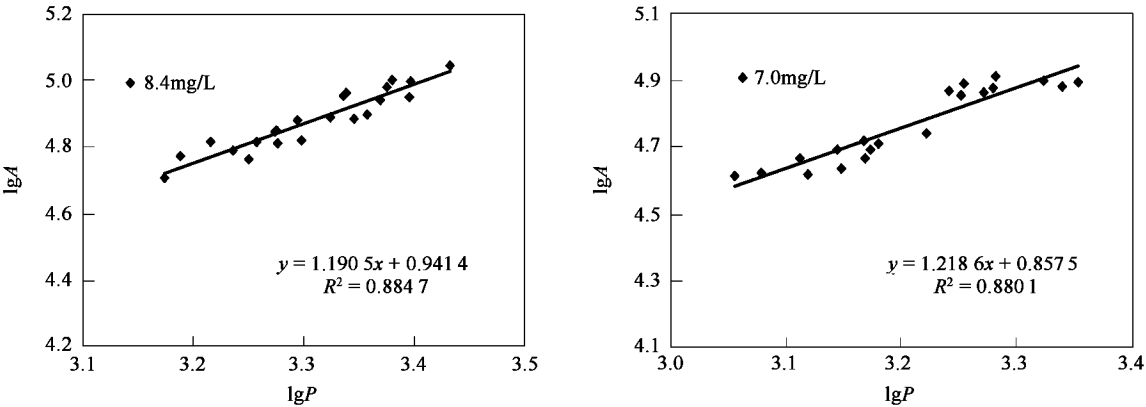


图 3 图像法求絮凝体的二维分形维数 D_2
Fig.3 Fractal dimension D_2 measured by image analysis

Al_2O_3 为例,做出絮体投影面积与周长在双对数坐标上的关系图,根据图像法分形维数的定义,图中直线

的斜率即为絮凝体的二维分形维数(D_2).

图 4 为不同投药量下絮凝体形态的变化趋势,

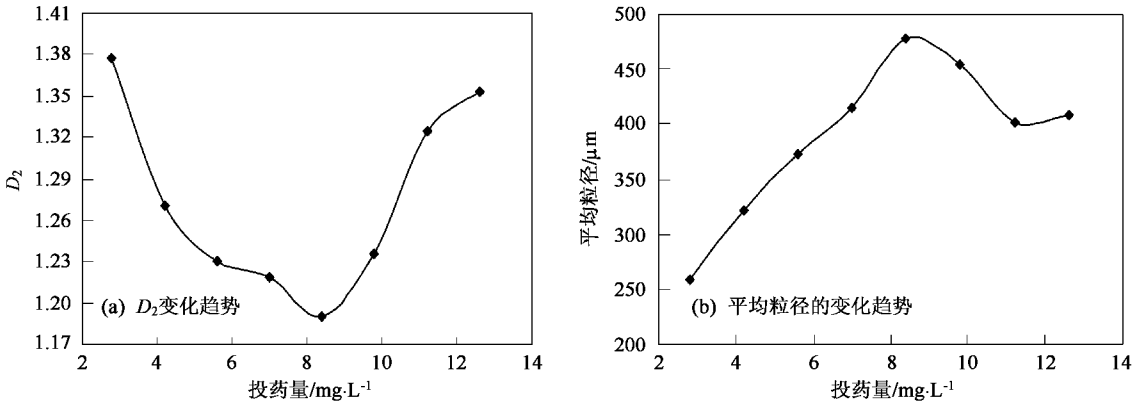


图 4 不同投药量下絮凝体形态的变化趋势
Fig.4 Trend of flocs form variation with different dosage

根据图像法求得 D_2 时, 相关系数 R^2 在 0.88 ~ 0.93 之间. 由图 4(a) 可以看出, 刚开始随着投药量的增加, D_2 明显减小, 当投药量为 8.4 mg/L Al_2O_3 时, D_2 达到最小值 1.190 5, 随着投药量的进一步增加, D_2 又开始逐渐增大; 从图 4(b) 中可以看出, 投药量在 2.8 ~ 8.4 mg/L Al_2O_3 范围内, 絮凝体的平均粒径随

着投药量的增加而增大, 当投药量超过 8.4 mg/L Al_2O_3 时, 又开始逐渐减小, 当投药量超过 11.2 mg/L Al_2O_3 时, 趋于稳定.

在各投药量范围内, 对应的絮凝体典型图像对比如图 5, 投药量为 8.4 mg/L Al_2O_3 时所形成的絮凝体枝杈较多, 结构疏松, 形状不规则.

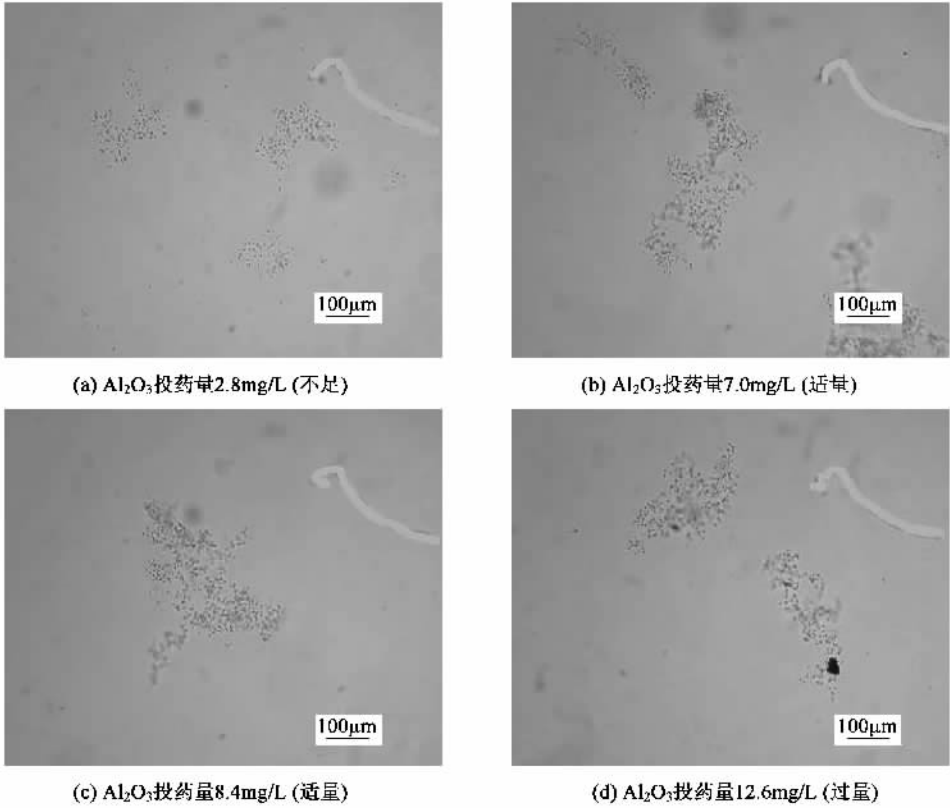


图 5 不同投药量下 PAC-MA 絮凝体显微图像
Fig.5 Images of PAC-MA flocs made through microscope with different dosage

2.2 絮凝反应搅拌强度(G 值)对去除效果及絮凝体形态的影响

在本阶段实验中, 快速搅拌 G 值和时间分别为 500 s^{-1} 和 1 min, 投药量为 8.4 mg/L Al_2O_3 , 絮凝反应时间 6 min, 回流比为 10%.

不同絮凝反应搅拌强度下, 混凝气浮工艺对 MA 去除效果如图 6 所示. 从图 6(a) 可以看出, 当絮凝反应的速度梯度 G 值在 $20 \sim 150\text{ s}^{-1}$ 范围内时, 出水浊度在 1 NTU 以下, 均取得很好的去除效果, 尤其是 G 值在 $50 \sim 80\text{ s}^{-1}$ 之间时, 浊度的去除率在 87% 以上, 去除效果较好; 从图 6(b) 可以看出, 随着 G 值的增大, 出水在 440 nm 处的吸光度值先减后增, 当 G 值为 50 s^{-1} 时, 达到最小值, 说明出水的藻类浓度最低, 处理效果最好.

图 7 为 G 值与 D_2 以及平均粒径的关系, 根据图像法求得 D_2 时, 相关系数 R^2 在 0.87 ~ 0.94 之间. 从图 7 可以看出, 随着 G 值的增大, D_2 逐渐增大, 絮凝体的平均粒径逐渐减小, 且 D_2 、平均粒径与 G 值都存在线性关系. 这是因为在絮凝反应过程中, 脱稳絮粒相互碰撞、粘附, 当 G 值较小时, 水力剪切作用较小, 小絮体间较弱的结合键也足以对抗水力剪切作用, 更多的小絮体相结合成长为结构疏松多枝杈的絮凝体; 随着 G 值的增大, 在较强的剪切力作用下, 只有较强的结合键没有被破坏, 这种情况下形成的絮凝体尺寸较小, 结构密实紧凑. 图 8 为不同 G 值下对应的絮凝体典型图像对比.

2.3 絮凝反应时间 t 对去除效果及絮凝体形态的影响

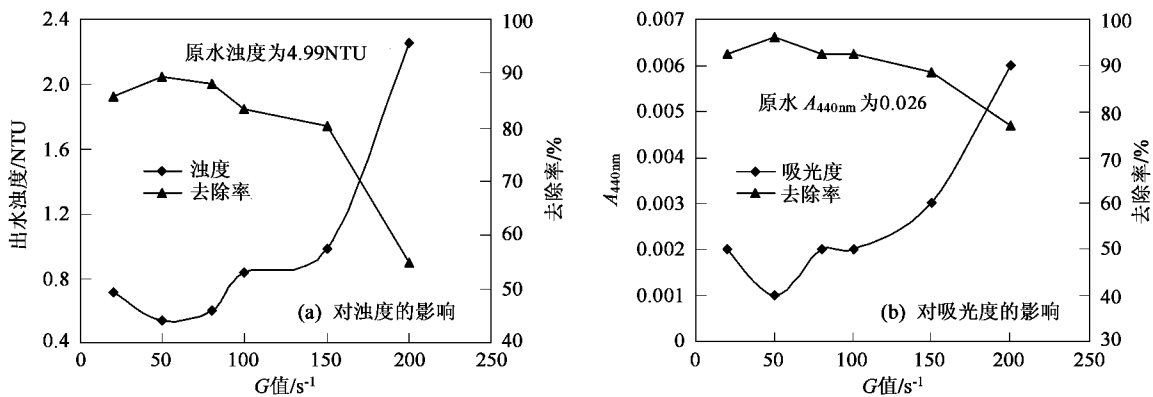


图 6 G 值对浊度和吸光度的影响
Fig.6 Effect of G value on turbidity and absorbance

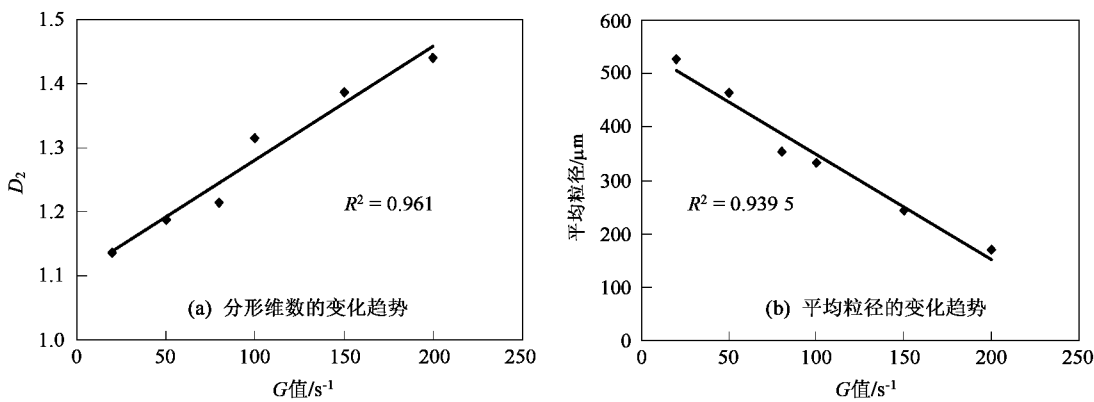


图 7 不同 G 值下絮凝体形态变化趋势
Fig.7 Trend of flocs form variation with different G value

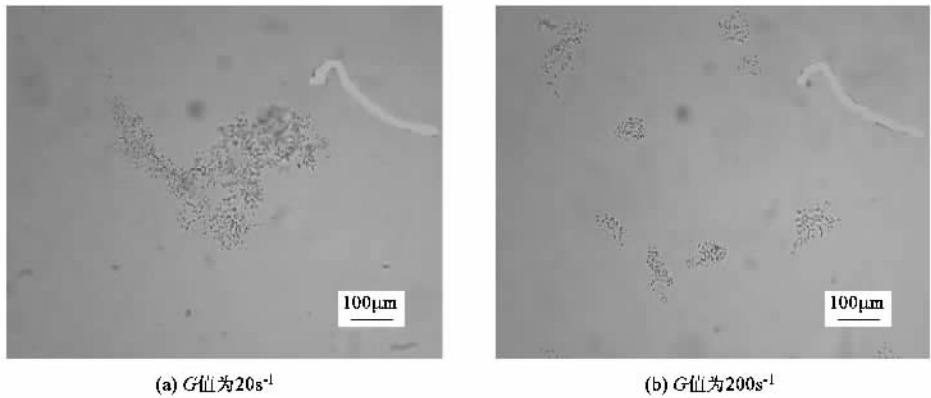


图 8 不同 G 值下 PAC-MA 絮凝体显微图像
Fig.8 Images of PAC-MA flocs made through microscope with different G values

在本阶段实验中,快速搅拌 G 值和时间分别为 $500 s^{-1}$ 和 1 min,投药量为 $8.4 mg/L Al_2O_3$,絮凝反应搅拌强度为 $50 s^{-1}$,回流比为 10%.

从图 9(a)可以看出,随着絮凝反应时间 t 的增

大,出水浊度逐渐下降,超过 8 min 后,出水浊度又逐渐升高,在 5 ~ 8 min 时,出水浊度小于 0.6,去除率在 89% 以上,浊度去除效果好;从图 9(b)也可以看出, t 在 5 ~ 8 min 时,出水在 440 nm 处吸光度值

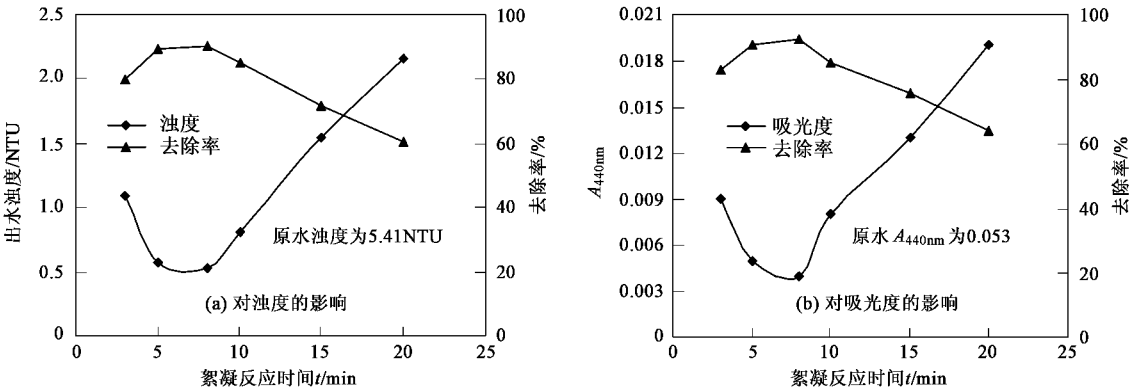


图9 絮凝反应时间 t 对浊度和吸光度的影响
Fig.9 Effect of flocculation reaction time on turbidity and absorbance

较小,藻类去除效果较好.

图10为不同絮凝反应时间下絮凝体形态的变化趋势,根据图像法求得 D_2 时,相关系数 R^2 在0.90~0.95之间.从图10(a)可以看出,絮凝反应时间 t 小于10 min时, D_2 随 t 的增加明显减小,从3 min的1.332 7减小至10 min的1.144 5,絮凝体结构

由密实变疏松的趋势明显,絮凝反应时间在10~20 min时,分形维数减小幅度缓慢,在1.135 2~1.144 5之间,其结构变化不明显;从图10(b)可以看出,随着 t 的增加,絮凝体也逐渐长大,当 t 超过10 min后,絮凝体长大的趋势减慢.不同絮凝反应时间下絮凝体显微图像对比见图11.

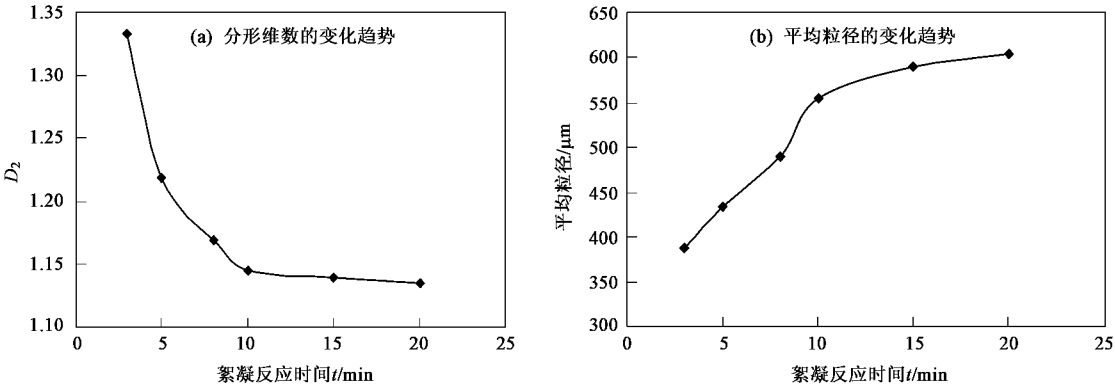


图10 不同絮凝反应时间下絮凝体形态的变化趋势
Fig.10 Trend of flocs form variation with different flocculation reaction time

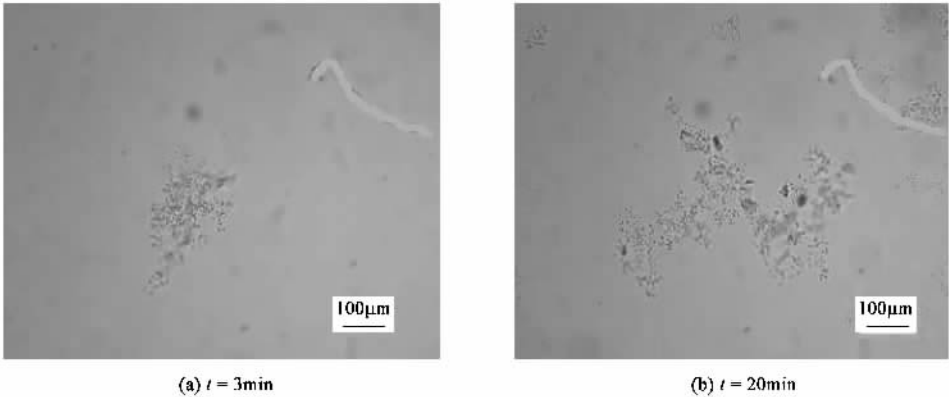


图11 不同絮凝反应时间下絮凝体显微图像
Fig.11 Images of PAC-MA flocs made through microscope with different flocculation reaction time

3 讨论

3.1 投药量与絮凝体形态的关系

从投药量变化而引起的分形维数变化来看,投药量对絮体分形结构有着显著影响:当投药量不足($\text{Al}_2\text{O}_3 < 4.2 \text{ mg/L}$)时,藻类相对过量,藻类等生物聚集体中的胞外高分子会占据颗粒间隙^[11,13],絮凝体具有较为密实的构造,二维分形维数较大;当投药量在合适范围($\text{Al}_2\text{O}_3 5.6 \sim 9.8 \text{ mg/L}$)内时,PAC 与藻类的结合以吸附架桥为主,形成的絮凝体枝杈较多,形状较为不规则,结构疏松,分形维数较小;当投药量过大时,过量的无定形氢氧化铝发挥网捕卷扫作用,颗粒嵌入沉淀物中,使絮凝体变得密实紧凑^[14],分形维数变大。

3.2 絮凝体形态与气浮的关系

从图 6 与图 7 可以看出,其它反应条件不变,当 G 值为 $50 \sim 80 \text{ s}^{-1}$ 时,PAC-MA 絮凝体二维分形维数 D_2 在 $1.1881 \sim 1.2141$ 之间,絮凝体尺寸在 $300 \sim 500 \mu\text{m}$ 之间,此时的处理效果较好。根据气泡与絮凝体粘附机理^[15]:枝杈较多、结构较疏松、尺寸较大的絮体具有较多的粘附点,可以实现絮体与气泡的多点粘附,更容易发挥网捕、包卷和架桥作用,有利于气泡在絮体的间隙中成核并长大,絮体与气泡结合的更加牢固,易于上浮,处理效果好。

从图 9 与图 10 可以看出,其它反应条件不变,絮凝反应时间 t 为 $5 \sim 8 \text{ min}$ 时, D_2 在 $1.1688 \sim 1.2182$ 之间,絮体平均粒径在 $400 \sim 500 \mu\text{m}$ 之间,此时处理效果较好。由此,除了可以得出与上述相同的结论(尺寸合适、结构较为疏松的絮体更容易与气泡结合)外,进一步可知,絮凝体的尺寸不宜过大,分形维数不宜过小,这是因为:如果絮体结构过于疏松,絮凝体强度太小,抗剪切能力太弱^[14,16,17],当通入溶气水时,絮凝体结构在水力剪切作用下容易被破坏,形成尺寸较小的絮体,而破碎后的小絮体又不易与气泡相结合,残留在出水中,导致处理效果变差。不同混凝条件下,PAC-MA 絮凝体的形态特征与强度的关系及其对气浮效果的影响尚需进一步的研究。

4 结论

(1) 利用混凝气浮工艺去除铜绿微囊藻,在快速搅拌强度和时间为 500 s^{-1} 和 1 min ,回流比为 10% 条件下,通过对 PAC 投药量、絮凝反应搅拌强度及时间分别作单因素实验,得到 PAC 最佳投药量范围为 $5.6 \sim 9.8 \text{ mg/L Al}_2\text{O}_3$,最佳点为 8.4 mg/L

Al_2O_3 ;最佳的絮凝反应搅拌强度范围为 $50 \sim 80 \text{ s}^{-1}$,最佳点为 50 s^{-1} ;最佳的絮凝时间范围为 $5 \sim 8 \text{ min}$ 。

(2) 投药量、絮凝反应搅拌强度及时间对 PAC-MA 絮凝体形态特征有着显著影响。在最佳混凝条件下,絮凝体的二维分形维数 D_2 较小,在 $1.1688 \sim 1.2357$ 之间,相对应的絮凝体平均粒径较大,在 $300 \sim 500 \mu\text{m}$ 之间。

(3) 结构疏松、枝杈较多、尺寸较大的 PAC-MA 絮凝体具有较多的粘附点,可以实现絮体与气泡的多点粘附,更容易发挥网捕、包卷和架桥作用,有利于气浮去除,但絮凝体分形维数也不宜过小,尺寸不宜过大,避免絮凝体结构过于疏松易破碎,影响去除效果。

参考文献:

- [1] Lee D G, Bonner J S, Garton L S, *et al.* Modeling coagulation kinetics incorporating fractal theories: comparison with observed data [J]. *Water Research*, 2002, **36**(4): 1056-1066.
- [2] Bushell G C, Yan Y D, Woodfield D, *et al.* On techniques for the measurement of the mass fractal dimension of aggregates [J]. *Advances in Colloid Interface Science*, 2002, **95**(1): 1-50.
- [3] Wu R M, Lee D J, Waite T D, *et al.* Multilevel structure of sludge flocs [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2002, **252**(2): 383-392.
- [4] Waite T D, Cleaver J K, Beattie J K. Aggregation kinetics and fractal structure of γ -alumina assemblages [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2001, **241**(2): 333-339.
- [5] 金鹏康,王晓昌.腐殖酸絮凝体的形态特征和混凝化学条件 [J]. *环境科学学报*, 2001, **21**(6): 23-29.
- [6] Li D, Ganczarczyk J. Fractal geometry of particle aggregates generated in water and wastewater treatment processes [J]. *Environmental Science and Technology*, 1989, **23**(11): 1385-1389.
- [7] Jiang Q, Logan B E. Fractal dimensions determined from steady-state size distribution [J]. *Environmental Science and Technology*, 1991, **25**(12): 2031-2038.
- [8] 王晓昌,丹保宪仁.絮凝体形态学和密度的探讨——(I)从絮凝体分形构造谈起 [J]. *环境科学学报*, 2000, **20**(3): 257-262.
- [9] 王毅力,李大鹏,解明曙.絮凝形态学研究及进展 [J]. *环境污染治理技术与设备*, 2003, **4**(10): 1-9.
- [10] Chakraborti R K, Atkinson J F, Van Benschoten J E. Characterization of alum floc by image analysis [J]. *Environmental Science and Technology*, 2000, **34**(18): 3969-3976.
- [11] Li X Y, Logan Bruce E. Collision frequencies between fractal aggregates and small particles in a turbulently sheared fluid [J]. *Environmental Science Technology*, 1997, **31**(4): 1237-1242.
- [12] 王毅力,姜敏,石宝友,等.微涡旋絮凝-逆流气浮-纳滤集成工艺去除水中腐殖酸的研究之二——以聚合氯化铁(PFC)为絮凝剂 [J]. *环境科学学报*, 2006, **26**(5): 791-797.

[13]

Serra T, Logan Bruce E. Collision frequencies of fractal bacterial aggregates with small particles in a sheared fluid[J]. Environmental Science and Technology, 1999, **33**(13): 2247-2251.

[14]

Li T, Zhu Z, Wang D, *et al.* Characterization of floc size, strength and structure under various coagulation mechanisms[J]. Power Technology, 2006, **168**(3): 104-110.

[15]

陈冀孙,胡斌.气浮净水技术的研究与应用[M].上海:上海

科学技术出版社,1985.29-30.

[16]

Li T, Zhu Z, Wang D, *et al.* The strength and fractal dimension characteristics of alum-kaolin flocs [J]. International Journal of Mineral Processing, 2007, **82**(1): 23-29.

[17]

Jarvisa P, Jeffersona B, Gregoryb J, *et al.* A review of floc strength and breakage[J]. Water Research, 2005, **39**(14): 3121-3137.

2006 年环境科学技术类期刊总被引频次和影响因子排序表¹⁾
(中国科学技术信息研究所 2007 年 11 月 15 日发布)

代码	期刊名称	总被引频次			影响因子		
		数值	学科排名	离均差率	数值	学科排名	离均差率
Z027	JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES	352	26	-0.61	0.406	22	-0.40
Z549	安全与环境学报	563	21	-0.37	0.744	13	0.11
Z029	长江流域资源与环境	811	12	-0.09	0.830	11	0.23
Z024	城市环境与城市生态	611	18	-0.32	0.301	27	-0.55
Z015	电镀与环保	330	27	-0.63	0.444	20	-0.34
Z544	防灾减灾工程学报	99	31	-0.89	0.348	26	-0.48
Z013	工业水处理	1 021	10	0.14	0.406	22	-0.40
Z032	工业用水与废水	288	28	-0.68	0.207	31	-0.69
Z010	海洋环境科学	642	15	-0.28	0.653	14	-0.03
Z009	化工环保	595	19	-0.34	0.944	7	0.40
Z017	环境保护科学	274	29	-0.69	0.246	30	-0.63
Z005	环境工程	569	20	-0.36	0.371	25	-0.45
Z004	环境科学 ²⁾	2 899	1	2.24	1.310	3	0.95
Z003	环境科学学报	2 362	2	1.64	1.076	5	0.60
Z002	环境科学研究	1 141	8	0.27	1.089	4	0.62
Z025	环境科学与技术	687	14	-0.23	0.397	24	-0.41
Z019	环境污染与防治	701	13	-0.22	0.462	19	-0.31
Z021	环境污染治理技术与设备	1 503	6	0.68	0.550	16	-0.18
Z008	农业环境科学学报	1 779	5	0.99	0.879	8	0.31
H784	生态环境	975	11	0.09	0.837	10	0.24
Z023	生态与农村环境学报	627	16	-0.30	0.838	9	0.25
Z016	水处理技术	614	17	-0.31	0.268	29	-0.60
Z007	四川环境	419	25	-0.53	0.413	21	-0.39
T953	消防科学与技术	254	30	-0.72	0.291	28	-0.57
Z551	植物资源与环境学报	517	23	-0.42	0.638	15	-0.05
G129	中国安全科学学报	1 060	9	0.18	0.828	12	0.23
Z030	中国环境监测	445	24	-0.50	0.480	18	-0.29
Z001	中国环境科学	2 045	3	1.28	1.062	6	0.58
Z546	中国人口资源与环境	518	22	-0.42	0.513	17	-0.24
Z022	资源科学	1 152	7	0.29	1.350	2	1.01
Z012	自然资源学报	1 926	4	1.15	1.675	1	1.49
平均值		896			0.673		

1) 数据源于:中国科学技术信息研究所.2007 年版中国科技期刊引证报告(核心版)[M].北京:科学技术文献出版社.2007.212.
2) 《环境科学》2002~2007 连续 6 年荣获“百种中国杰出学术期刊”称号.