

粉末活性炭—混凝—超滤联用处理含藻水的研究

于莉君¹, 赵虎², 李圭白¹, 李娟³

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100022; 3. 天津市自来水集团有限公司, 天津 300040)

摘要: 考察了直接超滤、混凝—超滤、粉末活性炭 (PAC)—超滤和 PAC—混凝—超滤四种工艺对含藻水的处理效果及超滤膜的运行性能。试验结果表明, 四种工艺对浊度、藻类均有较好的去除效果, 出水中均未检出藻类, 且浊度均低于 0.2 NTU; PAC—混凝—超滤联合处理工艺对有机物的去除效果最好, 对 UV₂₅₄ 和 TOC 的去除率分别可达到 32.99% 和 46.72%, 且该工艺能有效缓解超滤膜直接过滤所产生的膜通量迅速下降及反冲洗后难以恢复的问题。

关键词: 超滤; 粉末活性炭; 混凝; 藻类; 通量

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2008)19-0051-04

Study on Treatment of Water with Algae by PAC/Coagulation / Ultrafiltration Process

YU Li-jun¹, ZHAO Hu², LI Gui-bai¹, LI Juan³

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Institute of Architectural Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 3. Tianjin Waterworks Group Co Ltd., Tianjin 300040, China)

Abstract: The treatment efficiencies of water with algae in four different processes including direct ultrafiltration, coagulation/ultrafiltration, powdered activated carbon (PAC)/ultrafiltration and PAC/coagulation/ultrafiltration and the operation performance of ultrafiltration membrane were investigated. The results show that turbidity is less than 0.2 NTU and algae are not detected in treated water of the four processes. PAC/coagulation/ultrafiltration process has the best removal efficiency of organic compounds, and the removal rates of UV₂₅₄ and TOC are 32.99% and 46.72% respectively. This process can also remarkably relieve the fast decrease and poor restoration of membrane flux, which is caused by direct ultrafiltration.

Key words: ultrafiltration; powdered activated carbon; coagulation; algae; flux

目前, 由于富营养化而形成的蓝藻水华在世界范围内均有发生, 已经成为一个世界性的公共卫生问题, 作为饮用水源的太湖也在 2007 年发生了大规模的蓝藻水华, 影响了人们的正常生活。随着膜技术的快速发展, 以超滤为核心技术的组合工艺将是饮用水净化工艺一个新的发展方向^[1], 然而在超滤工艺的运行过程中, 由于原水中藻类的繁殖, 大量藻黏附在膜表面, 使膜过滤阻力剧增、膜通量快速下

降, 且通过反冲洗难以恢复, 降低了超滤工艺的运行效率, 影响了超滤工艺的应用范围。因此, 笔者考察了以超滤为核心技术的不同组合工艺对含藻水的处理效果及超滤膜的运行性能, 以确定较合适的处理工艺, 从而保证超滤膜持久高效运行。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

原水由去除大颗粒杂质的深层土溶解液和实验

室培养的藻类配制而成。藻类采用铜绿微囊藻 (购于武汉水生生物研究所), 该蓝藻在湖泊中比较常见, 亦是湖泊藻类水华的优势藻种。由于藻浓度为 1.0×10^7 个/L 时, 对自来水厂水处理工艺不会造成较大影响^[2], 故原水中藻浓度采用 1.0×10^7 个/L, 其他主要水质指标见表 1。

表 1 原水水质

Tab 1 Quality of raw water

项目	温度 /	浊度 /NTU	TOC / (mg · L ⁻¹)	UV ₂₅₄ /cm ⁻¹	pH
最高值	20.5	10.8	8.745 5	0.088 4	7.78
最低值	17.2	9.3	6.334 0	0.061 5	7.01
平均值	19.3	10.0	6.932 3	0.071 6	7.44

采用内压式纤维束超滤膜, 该膜组件材料为 PVC 金属合金, 截留分子质量为 100 ku, 膜总面积为 1 m², 纤维内径为 1 mm, 外径为 1.66 mm, 纤维长度为 37 cm。

1.2 试验装置

试验采用自行设计的膜法水处理装置, 具体见图 1。

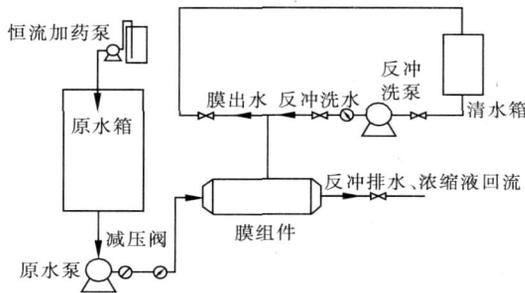


图 1 试验装置

Fig 1 Schematic diagram of experimental system

原水进入原水箱后, 用计量泵投加不同药剂, 搅拌后经原水泵进入 Y 型过滤器 (截留颗粒物), 再经过流量计进入超滤膜组件, 在膜内进行固液分离, 处理后的出水以垂直方向流出并进入清水箱。采用反冲洗泵从清水箱抽水进行反冲洗, 反冲洗周期为 2 h, 冲洗时间为 3 min。

试验共考察了四种工艺: 直接超滤工艺、混凝—超滤工艺 (混凝药剂为硫酸铝, 投加量为 20 mg/L)、粉末活性炭 (PAC)—超滤工艺 (PAC 投加量为 8 mg/L)、PAC—混凝—超滤工艺。

1.3 分析方法

浊度采用 Hach 2100N 浊度仪测定。有机物浓度用 UV₂₅₄ 和 TOC 表征, 其中 UV₂₅₄ 采用 UV754N 紫

外可见分光光度计测定, TOC 采用 TOC - CPN 总碳分析仪测定。

藻类的检测采用两种方法: 原水中藻类的检测采用血球计数板法, 出水中藻类的检测采用固体平板培养法。固体平板培养: 配好藻类琼脂培养基 (BG11), 于 121 °C 下灭菌 15 min, 注入灭菌后的平皿内, 冷却备用。取 1 L 水样, 用 0.45 μm 微孔滤膜抽滤, 然后将滤膜贴在制备好的藻类琼脂培养基平板上, 置于 27 °C 恒温箱中, 在荧光灯照射下静止培养 5 ~ 10 d, 观察平板上藻类的生长情况并进行计数^[3]。

2 结果与讨论

2.1 对浊度及藻类的去除效果

四种工艺的出水中均未检测出藻类, 这说明超滤及其组合工艺对藻类的去除有绝对的优越性。四种工艺对浊度的去除效果如图 2 所示。

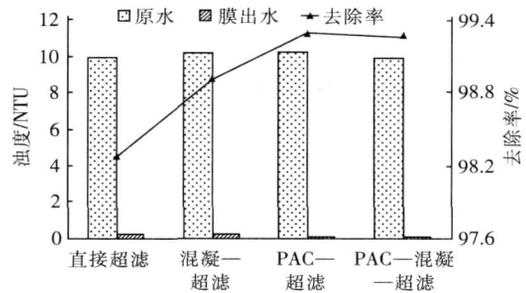


图 2 不同工艺对浊度的去除效果

Fig 2 Removal efficiency of turbidity by different processes

从图 2 可以看出, 四种工艺的出水浊度均低于 0.2 NTU。相对于直接超滤工艺, 混凝—超滤工艺对浊度的去除率有一定的提高, 从 98.28% 提高到 98.91%; PAC—超滤工艺对浊度的去除率最高, 为 99.29%, 其次是 PAC—混凝—超滤工艺, 对浊度的去除率为 99.26%, 这可能是因为粉末活性炭对小分子物质的吸附作用使得超滤膜允许通过的浊度物质总量减少。

2.2 对有机物的去除效果

超滤膜虽然是悬浮颗粒物和胶体物质的有效屏障, 但因其截留分子质量较大, 因此对天然有机物的去除效果相对有限^[4]。四种工艺对有机物的去除效果如图 3、4 所示。

从图 3 可以看出, 直接超滤工艺对 UV₂₅₄ 的去除率只有 9.69%, 其他三种工艺对 UV₂₅₄ 的去除率均有较大提高, 其中 PAC—混凝—超滤工艺对 UV₂₅₄ 的

去除率最高 (32.99%)。从图 4 可以看出,直接超滤工艺对 TOC 的去除率只有 30.88%,混凝—超滤工艺对 TOC 的去除率比直接超滤工艺略有降低,但其他两种工艺均提高了对 TOC 的去除率,其中 PAC—混凝—超滤工艺对 TOC 的去除率最高,可达 46.72%。

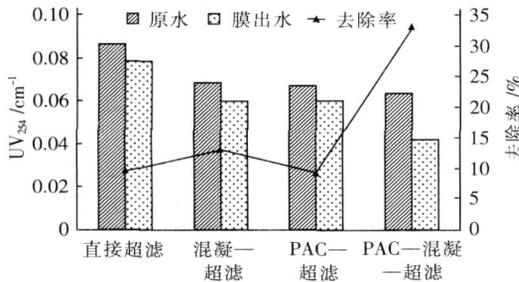


图 3 不同工艺对 UV₂₅₄ 的去除效果

Fig 3 Removal efficiency of UV₂₅₄ by different processes

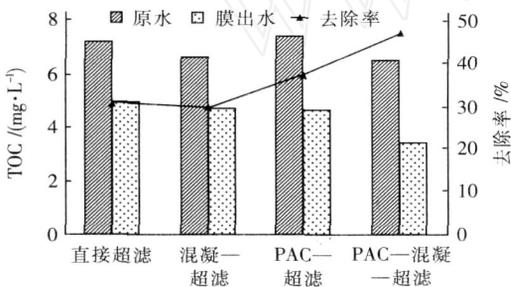


图 4 不同工艺对 TOC 的去除效果

Fig 4 Removal efficiency of TOC by different processes

粉末活性炭之所以能提高对有机物的去除率,是因为其对小分子的物质 (500 ~ 3 000 u) 有较好的吸附效果;混凝可提高对 UV₂₅₄ 的去除率,而对 TOC 的去除效果无明显改善作用,这可能是因为混凝更倾向于去除较大分子质量的有机物,但其去除过程中对藻类的破坏可能会导致某些有机物的释放,从而使 TOC 含量增加;从 PAC—混凝—超滤工艺对有机物的去除效果可知,混凝剂和粉末活性炭对有机物的去除存在协同作用,这可能是因为混凝过程中对藻类破坏所释放的有机物更容易被粉末活性炭吸附。

2.3 超滤膜通量的变化

在压力恒定的情况下,超滤膜的通量表示超滤膜的产水量,根据其变化可以了解膜的污染情况及运行效率。试验中将超滤膜通量均统一到 20 时

的通量值,四种工艺运行期间的超滤膜通量变化如图 5 所示。

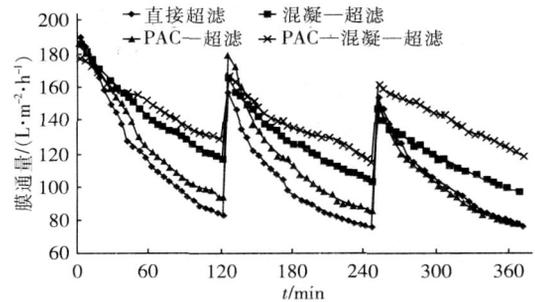


图 5 不同工艺中超滤膜通量的变化

Fig 5 Variation of membrane flux with different processes

由图 5 可以看出,直接超滤工艺的膜通量下降很快,3 个周期后就下降到初始通量的 39.99%,这样的下降速度在生产中缺乏使用意义;对于 PAC—超滤工艺而言,其开始时的膜通量下降速度较直接超滤工艺的慢,随着时间的延长,膜通量下降速度和直接超滤工艺相当;混凝—超滤工艺的膜通量下降较慢,3 个周期时下降到初始通量的 52.54%;PAC—混凝—超滤工艺的膜通量下降最慢,3 个周期时下降到初始通量的 67.31%,该组合工艺提高了超滤膜的运行效率。

2.4 对反冲洗效果的影响

反冲洗后膜通量的恢复程度可表征膜组件的运行效率,同时也是确定膜组件化学清洗或更换频率的重要参数。四种工艺的反冲洗效果如图 6 所示。

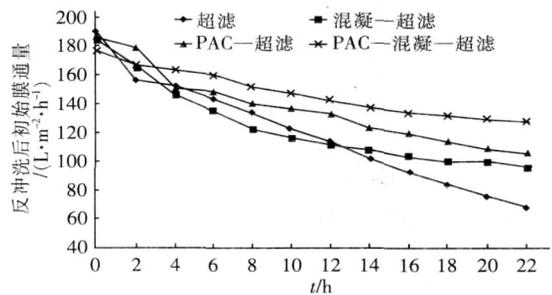


图 6 不同工艺的反冲洗效果

Fig 6 Membrane flux restoration of different processes

由图 6 可以看出,第一次反冲洗后,PAC—超滤工艺的膜通量恢复最好,可以达到初始通量的 96.03%,PAC—混凝—超滤工艺的膜通量可恢复至初始通量的 94.23%,混凝—超滤工艺的膜通量可恢复至初始通量的 89.07%,而直接超滤工艺的膜

通量只可恢复至初始通量的 82.24%。随着反冲洗次数的增加,直接超滤工艺的膜通量恢复最差,并且保持着较快的下降速度。混凝—超滤工艺的膜通量恢复较好,在第 8 个周期后,反冲洗后膜通量的下降速度开始变慢,这可能是因为混凝过程对 UV₂₅₄类有机物的有效去除减轻了膜污染。PAC—超滤工艺在试验期间反冲洗后的膜通量恢复好于混凝—超滤工艺,但笔者在后期的试验中发现,这种优势并不能一直保持,随着超滤时间的延长,该工艺的反冲洗效果开始下降,这可能是因为粉末活性炭对引起膜污染的 UV₂₅₄类物质的去除效果不好,不能在污染源上减轻膜污染。PAC—混凝—超滤工艺的膜通量恢复最好,在 11 个周期后仅下降到初始通量的 72.00%,分析原因可能是混凝和粉末活性炭能协同去除有机物,同时混凝形成的絮体在膜表面形成的滤饼层更加松散,在减少滤饼层阻力、提高膜通量的同时,更有利于反冲洗对滤饼层的去除。

3 结论

超滤及其组合工艺对藻类和浊度均有较好的去除效果,出水中均未检出藻类,且浊度均低于 0.2 NTU。

混凝—超滤、PAC—超滤和 PAC—混凝—超滤等工艺对有机物的去除效果均比直接超滤工艺好,其中 PAC—混凝—超滤工艺对有机物的去除率

最高,对 UV₂₅₄和 TOC 的去除率分别为 32.99%、46.72%。

直接超滤工艺处理含藻水时,膜通量下降迅速且反冲洗后难以恢复,缺乏应用价值。其他三种组合工艺中,PAC—混凝—超滤工艺在运行期间超滤膜通量下降最慢,且反冲洗后初始通量下降的幅度和速度均最小,该工艺对膜污染有较好的控制作用,提高了膜组件的运行效率,保证了出水水质。

参考文献:

- [1] 李圭白,杨艳玲. 第三代城市饮用水净化工艺——超滤为核心技术的组合工艺[J]. 给水排水, 2007, 33(4): 1.
- [2] 梁炜,贾秋放,华一江. 藻类污染对太湖流域饮用水水质的影响[J]. 江苏预防医学, 2001, 12(1): 1-2.
- [3] 张菊梅,吴清平,郭伟鹏,等. 桶装饮用水藻类污染检测技术研究[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(10): 43-45.
- [4] 董秉直,曹达文,刘遂庆,等. 超滤膜—活性炭用于优质饮用水生产工艺试验研究[J]. 给水排水, 2001, 27(1): 15-18.

电话: 13633601783

E-mail: yulijun_hit@gmail.com

收稿日期: 2008-04-18

(上接第 50 页)

National Library of Canada, 1999.

- [2] Aiyuk S, Forrez I, Lieven D K, et al. Anaerobic and complementary treatment of domestic sewage in regions with hot climates—A review[J]. Bioresour Technol, 2006, 97(17): 2225-2241.
- [3] Seghezzi L. Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions[D]. Wageningen: Wageningen University, 2004.
- [4] Singh K S, Viraraghavan T, Bhattacharyya D. Sludge blanket height and flow pattern in UASB reactors: temperature effects[J]. J Environ Eng, 2006, 132(8): 895-900.
- [5] Elmitwalli T, Zeeman G, Lettinga G. Anaerobic treatment of domestic sewage at low temperature[J]. Water Sci Technol, 2001, 44(4): 33-40.
- [6] Lettinga G, Rebac S, Zeeman G. Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment[J]. Trends Biotechnol, 2001, 19(9): 363-370.
- [7] Scully C, Collins G, O'Flaherty V. Anaerobic biological treatment of phenol at 9.5-15 °C in an expanded granular sludge bed (EGSB)-based bioreactor[J]. Water Res, 2006, 40(20): 3737-3744.
- [8] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1998.
- [9] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.

电话: (0459) 5027373

E-mail: xiaoliu200401@163.com

收稿日期: 2008-04-17