高锰酸盐复合药剂强化混凝改善再生水景观湖水质研究

于德淼[1] 马 军[1] 白 宇[2] 甘一萍[2] 周 军[2]
(1.哈尔滨工业大学市政环境工程学院,哈尔滨 150090; 2.北京城市排水集团,北京 100022)

摘 要 实验通过投加助凝剂以强化混凝沉淀过程,从而达到去除再生水景观水中的藻类。以 PAC为混凝剂,高锰酸盐复合药剂(PPC)为预氧化助凝剂,通过烧杯实验确定 PPC、PAC同时投加,最佳投量分别为 1 mg/L、60 mg/L。生产性实验中,机械加速澄清池强化混凝对 TP、叶绿素、藻密度的去除率分别为 54%、32.3%和 35.4%,湖水中 TP、TN逐渐降低分别由 4.9 mg/L、23 mg/L降至 0.72 mg/L、10.3 mg/L。PPC提高了混凝沉淀对藻类的去除效果,改善了再生水景观湖水质,降低水中氮磷营养盐的含量。

关键词 再生水景观水体 氮磷 叶绿素 a 高锰酸盐复合药剂 强化混凝

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2010)08-1837-04

Study on improvement in water quality of landscape of reclaimed water by enhanced coagulation with potassium permanganate composite

Yu Demiao[1] Ma Jun[1] Bai Yu[2] Gan Yiping[2] Zhou Jun[2]
(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;
2. Beijing Drainage Group Co., Ltd., Beijing 100022, China)

Abstract Coagulation technics with flocculent aid enhanced the efficiency of algae removal in landscape of reclaimed water. A practice for improved coagulation is the use of potassium permanganate composite (PPC) as a flocculent aid and PAC as a coagulant. Comparing the effect of the PPC and PAC different dosages to treating the landscape water by jar-test, it was found that the optimal PPC and PAC dosages were 1 mg/L and 60 mg/L respectively by fed into simultaneously. The removal rate of TP, chlorophyll a, and algae density was 54%, 32.3% and 35.4%, respectively, which was treated by clarification with enhanced coagulation in pilot test. The TP and TN of landscape of reclaimed water decreased gradually, from 4.9 mg/L and 23 mg/L to 0.72 mg/L and 10.3 mg/L. Enhanced coagulation with PPC is great effective for controlling algae growth to improve the water quality of landscape.

Key words landscape of reclaimed water; nitrogen and phosphorus; chlorophyll a; potassium permanganate composite; enhanced coagulation

北京属于严重缺水城市,补充水源不足已经成为景观水体建设的主要限制因素,解决这一难题只有充分利用再生水。将再生水作为景观河湖补水水源,不仅使腥臭干涸的河湖重新恢复了景观娱乐功能,而且也可节约洁净水资源,产生可观的经济效益[1]。但是由于再生水中营养物质含量较高,回用于景观娱乐用水时会产生一系列问题,包括:水体的富营养化、藻类的过度繁殖、水中色度与嗅味过高等等[2]。如何更好地解决这些问题,寻找一种在技术上、经济上都方便可行,且利于现有河湖维护工艺改造的新型技术是我们首先要解决的问题。

1 实验装置及方法

混凝沉淀过滤常规工艺在处理一般地表水或低含藻水时可达到较好的效果。但该工艺用于再生水景观水体中,对藻类生长控制及去除作用有限[3]。实践证明,藻类形成的浊度其 ζ电位较高,且具有较高的稳定性,因此混凝剂对含藻悬浮颗粒脱稳效果较差,形成的絮体强度较弱、体形较小且易穿透滤

收稿日期:2009-08-05;修订日期:2009-10-19

作者简介:于德淼(1981~),男,博士,主要研究方向:再生水回用技术。E-mail: yudemiao0425@126.com

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

层, 使滤池堵塞, 导致出水水质下降, 所以仅凭常规处理工艺是很难将高藻水处理达标, 保持再生水景观水体良好的美学效果[4]。

高锰酸钾 (及高锰酸盐复合药剂) 是一种成熟的预氧化技术, 其对很多种地表水表现出明显的强化混凝助凝作用[5,6]。高锰酸盐复合药剂 (PPC) 是以高锰酸盐为主剂, 与多种辅剂组合制成的除污染药剂, 它充分发挥了主剂与辅剂的协同促进作用, 使除污染效果大大提高。PPC在氧化反应中产生的新生态水合二氧化锰在中性 pH条件下带负电 (MnO_2 的电中性 pH为 2.8), 且具有胶体的性质, 与其他金属水解产物不同的是, 新生态水合二氧化锰具有很高的活性, 能够吸附水中的金属水解产物、金属离子和有机物等, 形成絮体核心, 促进胶体的成长[7]。因此, PPC与混凝剂联合使用, 可使沉后和滤后水浊度下降, 氧化作用破坏藻类结构, 使水中藻含量降低。

本实验通过烧杯混凝沉淀实验, 根据原水水质确定 PPC的投量。利用机械加速澄清池循环处理生产性实验, 观察高锰酸盐复合药剂 (PPC) 预氧化对藻类去除效果以及对水质营养盐控制情况。

烧杯实验分为两部分, 均采用单体搅拌器搅拌, 混凝剂为聚合氯化铝 (PAC)。第一部分混凝剂与复合药剂同时投加, 快速搅拌混合 (200 r/min) 1 min, 慢速混凝 (40 r/min) 10 min, 静沉 30 min后, 取上清液测定; 第二部分先投加复合药剂然后投加混凝剂, 投加 PPC快速搅拌 (200 r/min) 10 min, 再投加混凝剂快速搅拌混合 (200 r/min) 1 min, 然后慢速混凝 (40 r/min) 10 min, 静沉 30 min后, 取上清液测定。

生产性实验以北京排水集团培训中心景观湖为实验对象, 该湖采用高碑店再生水为补水, 再生水水质基本指标为: pH 7.2~7.6, 总磷 0.6~3.6 mg/L; 总氮 18.6~40.66 mg/L; 硝酸盐氮 16.2~33.7 mg/L; 氨氮 0.13~3.23 mg/L; COD为 19.6~47.0 mg/L。由此可以得出, 再生水中氮磷浓度较高属于富营养化水质, 由于景观湖水体流动性差, 在适宜的温度和光照条件下非常适于藻类的大量生长, 形成“水华”, 因此采用此水源的景观湖, 必须采用维护处理保障工艺。本实验景观湖采用机械加速澄清池工艺循环处理维护保障。景观湖水总量为 800 m^3, 循环处理流量 6 m^3/h, 絮凝沉淀时间为 50 min, PPC与 PAC同时投加, 投量分别为 PAC = 60 mg/L、PPC = 1 mg/L(符合烧杯实验的最优投量)。实验中各指标测定方法参考文献[8]。

2 结果分析

2.1 烧杯混凝实验

当混凝剂 PAC投量为 60 mg/L, 改变 PPC投量分别为 0、0.5、1和 2 mg/L, 寻找 PPC最佳投量, 并且比较同时投加与先后投加的差异。

原水经过混凝沉淀过后, 总氮有降低, 硝酸盐氮、亚硝酸盐氮略有升高; 浊度去除率达到 89%; 总磷、溶解性磷去除效果为 80%以上; 叶绿素去除率为 92.4%。

投加 PPC后, 对总氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮去除并无强化作用, 同时高锰酸盐复合药剂无法将有机氮及氨氮氧化至硝态氮、亚硝态氮; PPC预氧化助凝对于磷的去除在低投量时 (0.5 mg/L) 去除效果有所下降, 增大 PPC投量 (1 mg/L以上), 除磷效果与常规工艺持平达到 80%左右; 因此 PPC不能直接增强混凝作用提高氮磷等营养盐的去除效果。随着 PPC投量增大, 浊度去除效果越来越明显, 当投量达到 2 mg/L时, 浊度为 1.08 NTU, 这是因为再生水景观水体浊度主要是藻类引起的, 经过强化混凝后水中叶绿素含量为 25.4 mg/m^3 明显低于单独混凝的 47.1 mg/m^3, 高锰酸盐复合药剂强化混凝可提高对藻类的去除效果, 从而使水体浊度得到明显改善, 增加了水体的透明度。图 1为 PAC投量为 60 mg/L时, PPC投量对叶绿素去除效果影响。投加 PPC为 0.5 mg/L时混凝对叶绿素的去除效果得到提高 (去除率从 81%提升至 89.7%), 但是提高 PPC投量后, 叶绿素浓度反而保持不变, 说明 PPC在较低投量下即可达到较好的强化效果。高锰酸盐复合药剂通过自身的氧化作用破坏藻类细胞, 使藻细胞失活, 有利于混凝沉淀过程藻细胞的去除; 另外由于藻类生长吸收了水中的氮磷营养物质, PPC可强化混凝沉淀除藻能力, 间接地增加了对氮磷的去除效果, 不断去除水体中的藻类, 从而降低了水中的营养物质浓度。这种现象可通过景观湖的强化混凝循环处理生产性实验得出。

实验中先投加 PPC预氧化 10 min, 再加混凝剂的效果与同时投加 PPC与混凝剂的效果差异不是很明显, 磷酸盐、叶绿素有所下降、亚硝酸盐氮略有升高。说明延长 PPC预氧化时间对水质改善无明显作用, PPC单独氧化作用可在较短的时间内完成, 然后与混凝剂协同作用。这也表明 PPC强化混凝

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

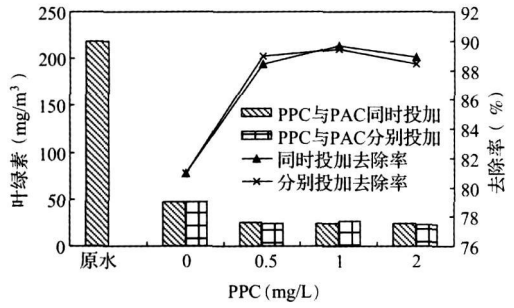

图 1　PAC投量 60 mg/L不同 PPC投量对叶绿素去除效果

Fig. 1　Chlorophyll removal effect of different PPC dosages with 60 mg/L PAC

无需氧化接触反应器, 可同混凝剂同时投加, 既节省了基建费用利于水厂在现有工艺改造, 又避免增加处理工艺复杂度利于管理控制。

PPC投量为 1.0 mg/L时, 改变 PAC的投量为 0、30、50、60和 80 mg/L。得出当 PAC投量为 60 mg/L时, 总磷、叶绿素与浊度指标去除率分别为 85.4%、89.4%和 88.4%, 处理效果好于其他投量。因此最终我们选定生产性实验混凝剂投量 60 mg/L, PPC投量为 1.0 mg/L, 混凝剂 PAC和预氧化剂 PPC同时投加, 在这种情况下既可满足较好的处理效果, 又将处理成本控制在合理范围。

2.2　生产性实验

生产性实验从 6月 5日至 7月 11日, 白天平均温度高于 27℃, 适宜于藻类生长, 期间湖体不补水, 机械加速澄清池循环处理, 循环处理周期为 5~6 d。

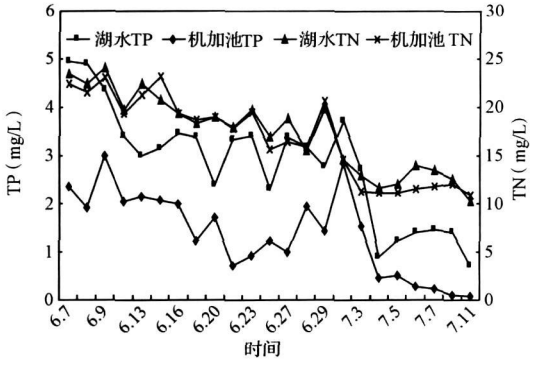

图 2　再生水景观湖水及机加清池处理出水 TN、TP含量

Fig. 2　TP and TN contents in landscape water and clarification water

从图 2中可以看出, 湖水经过 1个月的循环处理后, TP从 4.9 mg/L降至 0.72 mg/L, 特别是进入 7月以后 TP降低至 1 mg/L左右, 湖水中 TP浓度的减少可以有效地控制藻类生长。机械加速澄清池的混凝作用可以使水体中的 TP平均去除率达到 54%, 将磷从水体中去除, 这是湖水中总磷不断下降的重要原因; 同时藻类生长也要吸收大量的磷盐, 强化混凝可增强藻类的去除效果, 水体经过循环处理, 随着藻类不断的去除, 景观湖中总磷的含量逐渐降低。

再生水景观水中 TN的变化也是逐渐降低, 从开始的 23 mg/L降至最终的 10.3 mg/L。机械加速澄清池对 TN几乎无去除作用仅为 3%左右。湖水中 TN降低完全是由藻类生长吸收产生的, 经过强化混凝处理后, 藻类被去除, 从而 TN得到去除。经过机加池强化混凝循环处理后, 湖水中营养盐 TP、TN逐渐降低到较低水平, 有利再生水景观水体藻类生长的控制。

6月 12日, 湖水水质比实验开始时出现恶化, 藻类快速生长, 湖水中叶绿素和藻密度达到 380 mg/m³、1.1×10^8 个 /L, 此时强化混凝对叶绿素和藻密度的去除率分别为 32.3%和 35.4%。在较短的时间内强化混凝工艺无法将氮、磷等营养物质降到较低水平, 藻类在 4~5 d左右会进入对数生长期, 对水质产生较大危害。此时藻类过量生长会引起混凝效果的下降, 藻类形成的浊度稳定, 通常粘土类胶体在 ζ电位为 -5 mV时即可完全脱稳, 而藻类必须在 ζ电位为 0时才能脱稳, 且沉降性能差, 增加了混凝剂投量、降污染物去除效率[9]。高锰酸盐复合药剂 (PPC)通过氧化作用破坏藻类表面结构及电性, 减少藻类对混凝沉淀影响。在本实验小试中 PPC可以明显强化混凝沉淀对叶绿素和藻密度的去除效果。随着连续的强化混凝循环处理, TN、TP浓度的不断降低, 藻类生长很快得到了控制, 叶绿素稳定至 100 mg/m³ 左右。生产性实验和烧杯小试对藻的去除效果有较大差异, 这是由于小试实验为较理想状态, 受其他因素影响较小, 混凝沉淀效果可达到最好状态, 而在生产性实验中藻类数量较多, 并且受反应器设备、气候等多因素影响, 无法达到最佳效果。

3　结　论

(1) PPC强化混凝循环处理再生水景观水体对藻类、TP有明显的去除效果, 工艺运行简单、技术设备成熟、维护管理方便, 可有效控制由藻类生长而引起的“水华”现象。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(2) PAC和 PPC同时投加, 最佳投量 PAC为 60 mg/L, PPC为 1 mg/L。PPC对混凝沉淀去除总氮、硝态氮、亚硝态氮、总磷、溶解性磷无明显强化作用, 对浊度、叶绿素有强化去除作用, 叶绿素的去除率为 89.4%。

(3) 生产性实验中机械加速澄清池采用 PPC强化混凝, 对 TP平均去除率为 54%; 对 TN无明显去除能力; 藻计数大于 10^8 个 /L情况下, 强化混凝对叶绿素和藻密度的去除率分别为 32.3% 和 35.4%。

(4) 机械加速澄清池强化混凝对再生水景观水体有较好的维护效果, 湖水中 TP、TN 分别由 4.9 mg/L、23 mg/L降至 0.72 mg/L、10.3 mg/L, 有效控制了藻类的生长; 水中 TP下降是由于混凝沉淀的去除以及藻类的生长吸收联合作用, 而 TN 下降就是由于藻类生长吸收引起的。

参 考 文 献

[1] 马东春. 中国缺水问题与污水资源化——以北京市为例. 水利经济, **2006**, 24(6): 44~47

[2] Craig S Campbell, Michael H. Ogden. Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape. Canada: John Wiley & Sons, **1999**. 169~186

[3] 聂发辉, 李田, 吴晓芙, 等. 藻型富营养化水体的治理方法. 中国给水排水, **2002**, 23(6): 18~20

[4] 尤作亮, 张金松, 梁明, 等. 强化混凝提高水厂除藻效果试验研究. 净水技术, **2003**, 22(5): 9~12

[5] 张锦, 李圭白, 马军. 高锰酸钾复剂对给水处理中混凝的强化效应. 工业用水与废水, **2003**, 34(3): 12~14

[6] 陈卫, 李圭白, 邹浩春. 高锰酸钾复合药剂去除太湖水中蓝藻的室内试验研究. 哈尔滨建筑大学学报, **2001**, 34(3): 72~74

[7] Raveendran R., Chatelier B., Williams K.. Oxidation of manganese in drinking water systems using potassium permanganate. Water Supply, **2002**, 2(5): 173~178

[8] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第 4版). 北京: 中国环境科学出版社, **2002**

[9] 彭海清, 谭章荣, 高乃云, 等. 给水处理中藻类的去除. 中国给水排水, **2002**, 18(2): 31~33

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net