

臭氧-紫外预处理对高有机物原水混凝效果的影响

李华¹, 王文东^{1*}, 王晓昌¹, 刘永军¹, 丁真真², 金鹏康¹

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055; 2. 西安市环境保护科学研究院, 西安 710002)

摘要:以腐殖酸为模型污染物, 分别考察了臭氧氧化、紫外照射及臭氧-紫外联合预处理过程对高有机物原水混凝性能的影响。结果表明, 3种预处理方式均对原水中的溶解性腐殖酸具有明显的矿化作用。紫外及臭氧-紫外联合预处理还对后续的混凝过程具有强化作用。随着臭氧投量的增加和紫外照射时间的延长, 混凝过滤出水的TOC和浊度呈明显下降趋势。当臭氧浓度(O_3/C)达到9.0 mg/mg时, 预处理对腐殖酸的去除率可以达到47%, 过滤出水TOC含量为3.5 mg/L, 浊度为2.6 NTU; 紫外光照射3 h可去除原水中52%的溶解性有机物, 其出水TOC为2.0 mg/L, 浊度低于1.0 NTU。臭氧-紫外联合预处理后的混凝效果要明显优于二者单独作用的系统。在联合预处理系统中, 当预臭氧浓度(O_3/C)为1.0 mg/mg紫外照射时间为1 h时, 过滤出水TOC为2.6 mg/L, 且浊度低于1.0 NTU。不同预处理条件下的矿化作用主要是通过 $\cdot OH$ 实现的, 同时 $\cdot OH$ 还对溶解性腐殖酸的团聚结构产生破坏作用, 使其稳定性降低, 从而促进了混凝过程对有机物的去除。

关键词:臭氧氧化; 预处理; 腐殖酸; 混凝; 水处理

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)08-1807-06

Effect of Ozone-UV Pretreatment on Coagulation of Raw Water with High Organic Matter

LI Hua¹, WANG Wen-dong¹, WANG Xiao-chang¹, LIU Yong-jun¹, DING Zhen-zhen², JIN Peng-kang¹

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Xi'an Research Academy of Environmental Sciences, Xi'an 710002, China)

Abstract: Humic acid as a model pollutant, this paper aims to evaluate the effect of ozonation, ultraviolet irradiation and ozone-UV (UltraViolet) pretreatment process on the coagulation performance of raw water with high organics. The results indicated that three kinds of pretreatment had obvious mineralization on soluble humic acid in the raw water, and UV and ozone-UV pretreatment had a strengthening effect on the later coagulation process. With the increase of adding ozone dose and extension of UV irradiation, a decline in both content of TOC and turbidity were observed. Under the ozonation pretreatment process, when the concentration of ozone dose (O_3/C) was 9.0 mg/mg, 47% of humic acid could be removed by pretreatment, the content of TOC and the turbidity of the filtrated water was 3.5 mg/L and 2.6 NTU, respectively. With the UV pretreatment process, after 3 h UV irradiation, 52% of soluble organic matter could be removed by pretreatment, and the content of TOC and the turbidity of the filtrated water were 2.0 mg/L and 1.0 NTU, respectively. Furthermore, the UV/ O_3 combined system was better than separate system. The optimum in combined pretreatment process was that the concentration of ozone dose (O_3/C) was 1.0 mg/mg, the time of UV irradiation was 1 h, the TOC of the filtrated water was 2.6 mg/L and the turbidity of that was less than 1.0 NTU. The mineralization effect under various pretreatment processes was achieved by the oxidation of $\cdot OH$, and at the same time the construction of humic acid was changed by pre-oxidation. As a result, the stability of the Reunion construction of humic acid was reduced which promoted the removal of the organic matter during the coagulation process.

Key words: ozonation; pretreatment; humic acid; coagulation; water treatment

随着环境污染问题日趋严重以及饮用水水质标准越来越严格化, 常规混凝技术已不能满足人们对水质安全的要求^[1]。有机污染物在水体中广泛存在, 且来源较为复杂, 不同有机物具有不同混凝去除率^[2]。在给水处理过程中, 消毒副产物(DBP)是一项重要的控制指标, 而天然有机物是消毒副产物的主要前驱物^[3], TOC含量就成为消毒副产物控制技术的主要指标。腐殖质是环境中总有机碳(TOC)的主要成分, 广泛存在于土壤、天然水体及底泥中, 构成了全球碳循环过程必不可少的部分, 几乎参与了

所有的环境反应, 并且对整个生态系统有着重要影响^[4]。溶解性有机物占有机物~ 中的绝大多数, 它是有机物中最难处理的形态, 也是混凝过程中影响去除效果的关键部分^[2]。

收稿日期: 2009-10-08; 修订日期: 2009-12-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(50708088); 教育部“长江学者与创新团队发展计划”创新团队项目(IRT0853); 陕西省自然科学基金项目(09JS029)

作者简介: 李华(1984~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水处理理论与技术, E-mail: lihua19841119@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wwd@xauat.edu.cn

20 世纪 90 年代美国给水工程师协会提出了强化混凝的概念,指出在水处理常规混凝过程中,在保证浊度去除效果的前提下,通过提高混凝剂的投加量来实现提高有机物去除率的目的^[5].但提高混凝剂投加量会同时导致混凝剂消耗量上升,沉淀池污泥含量也会相应提高.高级氧化工艺(advanced oxidation process, AOP)是利用·OH破坏有机物分子结构从而达到去除有机物的目的,它具有反应速度快、处理完全、无公害、适用范围广等优点.其中 UV/O₃ 是将紫外照射与臭氧结合,利用臭氧在紫外光照射下分解产生的活泼次生氧化剂来氧化有机物^[6]. UV/O₃ 反应条件温和,氧化能力强,20 世纪 80 年代其研究范围已扩大到饮用水的深度处理^[7].为了考察 UV/O₃ 预处理过程对高有机物原水混凝效果的影响,本研究通过模拟实验,对比分析了预臭氧和紫外照射的单独及联合系统对混凝过程去除 TOC 和浊度效果的影响.

1 材料与方 法

1.1 试剂

腐殖酸,Fluka humic acid (Sigma-Aldrich);高岭土,ASPI70,平均粒径 0.55 μm; PAC, 巩义金碧净水剂厂, Al₂O₃ ≤ 30%; NaOH, 分析纯; HNO₃, 分析纯.

1.2 原水配制

实验用水均以自来水配制.腐殖酸原液:将 2.5 mg 腐殖酸样品在碱性条件下溶解 (pH = 12.0),然后用 0.45 μm 滤膜过滤,以保证水中的有机物为溶解性有机物,滤后水样 TOC 浓度约为 700 mg/L,配水时稀释使用.浊度调节:实验用悬浊液采用高岭土配置,使用前先用蒸馏水浸泡 24 h. pH 的调节:0.01 mol/L 的 NaOH 溶液,20% (体积分数)的 HNO₃ 溶液.实验用原水各水质参数值及测定方法^[8],如表 1 所示.

表 1 原水的主要水质参数及其测定方法

Table 1 Water quality parameters and analysis methods of raw water

项目	含量	测定方法
水温/℃	20	温度计
浊度/NTU	5.0	Lovibond Turbidity
pH	7.50	DENVER UB-7 UltraBasic pH
TOC/mg·L ⁻¹	15.0	SHIMADZU TOC-VCPH
碱度 (CaCO ₃)/mg·L ⁻¹	98.7	酸碱指示剂滴定法
硬度 (CaCO ₃)/mg·L ⁻¹	45.8	EDTA 滴定法
氟离子/mg·L ⁻¹	0.36	离子选择电极法

1.3 实验装置

预臭氧装置[图 1(a)]:连续电解式臭氧发生装置,空气气源,采用 KOH 溶液吸收尾气.紫外照射装置[图 1(b)]:陕西奥联科技紫外线 UV 灯,输出功率为 11 W.混凝装置:混凝杯罐为直径 14 cm,高 15 cm 的圆柱体,距底端 5 cm 处设有取样口.采用上海自来水设备工程公司 DC-506 型智能六联搅拌器,混凝操作条件为:快搅 200 r/min,1 min;慢速搅拌 50 r/min,15 min;静沉 30 min;实验中若无注明则混凝剂投加量均为 15 mg/L.过滤装置[图 1(c)]:滤柱内径为 5 cm,滤柱高 100 cm,实验中采用石英砂新砂滤料,粒径大小为 1.25 ~ 1.6 mm,滤料厚 70 cm,滤柱采用 2 层砾石承托层,↑ 厚 5 cm,粒径分别为 2 ~ 4 mm,4 ~ 8 mm,滤速为 8 ~ 10 m/h.实验装置如图 1 所示.

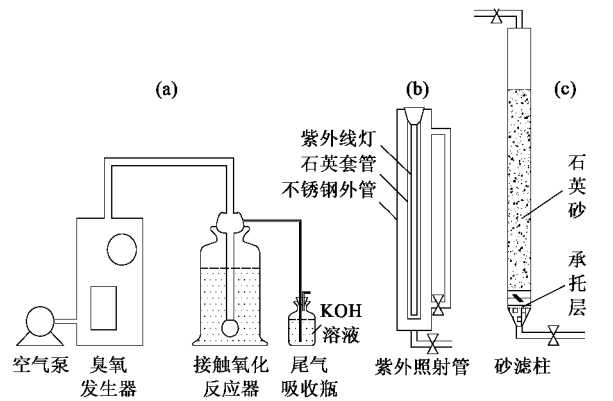


图 1 实验装置示意

Fig. 1 Experiment equipment

2 结果与讨论

2.1 臭氧预处理对原水混凝效果的影响

臭氧预处理过程对原水中的溶解性腐殖酸具有一定的矿化作用^[6].结果表明,TOC 含量随着臭氧浓度的增加呈明显下降趋势[图 2(a)].当臭氧浓度(O₃/C)为 2.5 mg/mg时,原水 TOC 由 15.0 mg/L 降至 10.4 mg/L;当臭氧浓度(O₃/C)增至 9.0 mg/mg时,预处理后水样中的有机物含量可降至 7.9 mg/L,去除率约为 47%.强氧化作用在这一过程中起关键作用,主要体现为臭氧自身的氧化性及其通过分解反应生成的少量·OH的氧化作用.此外,随着臭氧投量的增加混凝过程中溶解性有机物的去除量也呈上升趋势,臭氧氧化对铝盐混凝剂去除水体有机物具有促进作用^[9].由图 2(a)可知,对于未经臭氧氧化预处理的水样,溶液中的 TOC 含量在混凝过滤前后无明显变化,去除率约为 1%.采用 0.3

mg/mg 的臭氧浓度 (O_3/C) 对原水进行预处理后, 有机物在混凝过滤过程中的去除量增至 1.5 mg/L, 约占混凝前有机物总含量的 10%。当臭氧浓度 (O_3/C) 为 9.0 mg/mg 时, 混凝过程中溶解性有机物的去除量增至 4.5 mg/L, 占混凝前有机物总量的 55%。表明溶解性腐殖酸经臭氧氧化后, 体系稳定性降低, 在混凝过滤过程中的去除率提高。

原水 pH 均为 7.50, 不经臭氧预处理的过滤出水 pH 为 7.35; 随着臭氧投量的增加, 过滤出水的 pH 也在 7.2 ~ 7.4 之间波动, 考虑到分析误差可以认为预处理过程对溶液 pH 无明显影响。同时, 在预处理过程中, 随着臭氧投量的增加, 溶解性腐殖酸的可混凝性能不断增强, 这将有利于降低混凝过滤出水的浊度。由图 2(b) 可知, 对于未经臭氧预处理的水样, 过滤出水的浊度为 6.8 NTU; 随着臭氧浓度的增加, 过滤出水的浊度呈现缓慢下降趋势。当臭氧浓度 (O_3/C) 为 9.0 mg/mg 时, 出水浊度为 2.6 NTU, 但仍不能满足现行居民饮用水浊度标准 (1 NTU) 的要求。工程应用中, 臭氧的投加量 (O_3/C) 一般在 0.3 mg/mg 左右, 对溶解性腐殖酸的矿化作用和混凝强化作用并不显著, 需将臭氧投量 (O_3/C) 增至 9.0 mg/mg (工程投量的 30 倍) 甚至更高, 方可使过滤出水中的 TOC 降至 4.0 mg/L 以下。

为便于对比分析, 实验过程中同时考察了无预

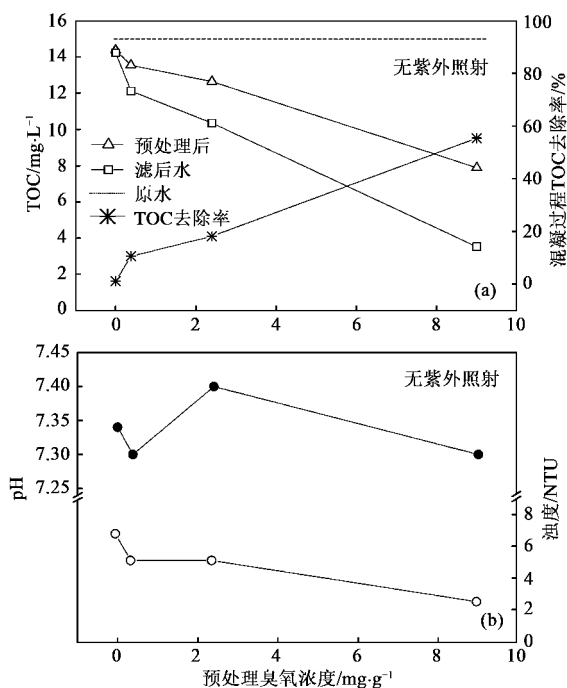


图 2 臭氧浓度对处理出水水质的影响

Fig. 2 Effects of ozone concentration on quality of filtered water

处理条件下混凝剂投加量对溶解性腐殖酸去除效果的影响。给水处理工艺中, PAC 的工程投加量一般为 10 ~ 20 mg/L。工程投加量下传统混凝工艺对高有机物原水的 TOC 几乎没有去除效果 (图 3)。当混凝剂投量增至 30 mg/L, 混凝过程对 TOC 的去除率也随之提高至 40%, 但出水 TOC 仍大于 9 mg/L。随着混凝剂投量的不断增加, 混凝过滤过程对 TOC 的去除效果也不断增强, 当 PAC 投加量为 200 mg/L 时, 出水 TOC 低于 2.0 mg/L, 有机物去除率接近 90%。强化混凝对有机物的去除主要是通过吸咐架桥和电性中和作用实现的^[5,10,11]。与采用臭氧预处理的工艺相比, 达到相同的去除效果 (TOC = 4.0 mg/L), PAC 的投加量需提高至 100 mg/L (约为工程投加量的 5 倍)。可见, 臭氧预处理过程可有效地提高混凝效果, 降低混凝剂的投加量。

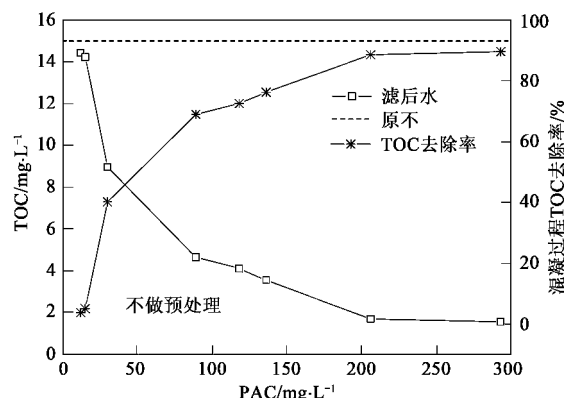


图 3 混凝剂投加量对出水 TOC 的影响

Fig. 3 Effects of coagulant concentration on TOC content

2.2 紫外预处理对原水混凝效果的影响

在腐殖质参与下有机物会吸收光能发生光敏化反应^[12], 由相同水质原水不同照射时间的紫外预处理实验数据可知: 与臭氧预处理过程类似, 随着紫外照射时间的延长溶液中的 TOC 含量也呈明显下降趋势 [图 4(a)]。当紫外照射时间为 1 h 时, 原水 TOC 含量降至 13.8 mg/L, 去除率为 8%; 当紫外照射时间延长至 3 h 时, 预处理后的水样 TOC 含量可降至 7.2 mg/L, 去除率为 52%, 可见延长紫外照射时间能够迅速提高预处理对原水中溶解性腐殖酸的去除效果。同时, 随着紫外照射时间的延长混凝过程中溶解性腐殖酸的去除率也不断提高。而未经紫外预处理的水样, 混凝过程对 TOC 几乎没有去除效果 [图 4(a)]。紫外照射 1.5 h 的水样, 混凝过程中 TOC 的去除量为 3.2 mg/L, 去除率为 25%; 当紫外照射时间达到 3 h 时, 出水 TOC 可降至 2.0 mg/L,

溶解性腐殖酸在混凝过程中的去除量为 5.4 mg/L, 占混凝前有机物含量的 77%.

由图 4(b) 可知, 随着紫外照射时间的延长, 过滤出水 pH 相对稳定 (7.25 ~ 7.35), 但略低于原水 (7.50), 这与臭氧预处理的实验结果基本一致. 随着紫外照射时间的延长, 混凝过程中形成的矾花更为密实, 这将有利于控制过滤出水的浊度. 由图 4(b) 还可看出, 当原水紫外照射时间为 1.5 h 时, 过滤出水的浊度约为 4.5 NTU; 当紫外照射时间达到 3 h 时, 过滤出水的浊度可降至 1.0 NTU 以下, 符合居民饮用水浊度标准. 因此, 紫外预处理对溶解性腐殖酸的去除效果及其对混凝过程的促进作用均优于臭氧氧化预处理.

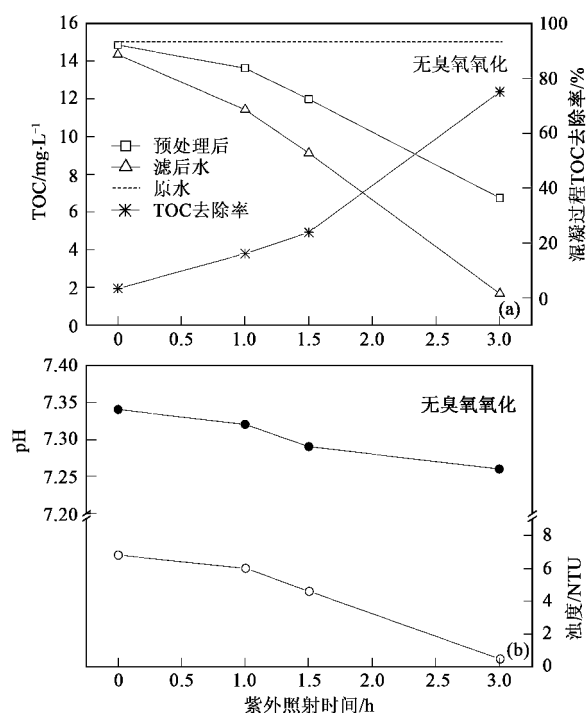


图 4 紫外预处理过程对处理出水水质的影响

Fig. 4 Effects of UV pretreatment time on quality of filtered water

2.3 臭氧-紫外联合预处理对原水混凝效果的影响

虽然预臭氧和紫外照射均可促进原水溶解性有机物的去除, 但臭氧发生器的能耗较大, 且紫外线的穿透能力较差, 二者对有机物的去除效果均不理想, 有研究发现 UV/O₃ 比臭氧氧化速度更快, 对有机物的降解作用更强^[13,14]. 为提高溶解性有机物的去除效果, 研究过程进一步考察了臭氧-紫外联合系统对混凝过程的促进作用及其对溶解性腐殖酸去除能力的影响. 由图 5(a) 可知, 固定臭氧浓度 (O₃/C) 为 0.38 mg/mg, 当紫外照射时间为 1 h 时, 混凝过滤过

程对 TOC 的去除率可以达到 40%, 滤后出水的 TOC 含量为 4.9 mg/L. 而对于单独预处理系统来说, 当臭氧浓度 (O₃/C) 为 0.3 mg/mg, 紫外照射时间为 1 h 时, 混凝过滤过程对 TOC 的去除率分别不足 10% 和 20%, 且出水 TOC 含量均超过了 10.5 mg/L [图 2(a) 和图 4(a)]. 在联合系统中, 当紫外照射时间为 2 h 时, 出水 TOC 含量接近 2.0 mg/L, 混凝过程对溶解性腐殖酸的去除率可达到 75% [图 5(2)], 而在单独预处理系统中, 紫外照射 2 h 混凝过程中 TOC 的去除率仍不足 40% [图 4(a)]. 表明臭氧-紫外联合作用对混凝过程的促进作用优于二者单独作用的系统, 联合系统中紫外照射 1 h 便可达到较好的控制效果. 然而, 继续增加紫外照射时间对混凝效果的促进作用并没有明显的提高.

固定紫外照射时间 (1 h), 考察不同臭氧浓度条件下溶解性腐殖酸的去除情况. 由图 6 可知, 当臭氧浓度 (O₃/C) 达到 1.0 mg/mg 时, 混凝过滤过程中 TOC 的去除率可达到 70%, 出水 TOC 含量为 2.6 mg/L, 基本满足居民饮用水水质需求. 在臭氧-紫外联合作用下, 混凝过滤过程中 TOC 的去除率达到 70% 后, 继续延长紫外照射时间或增加臭氧浓度, 均对溶解性腐殖酸的去除无明显改善 [图 5(a) 和图 6].

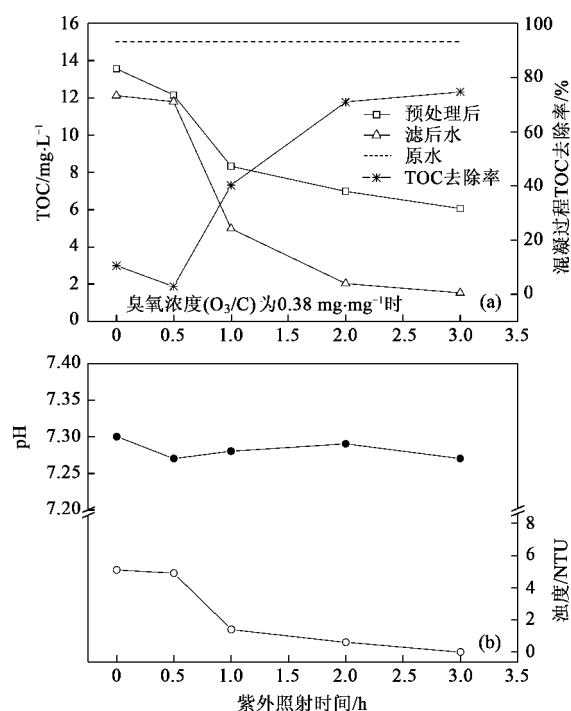


图 5 联合系统中紫外照射时间对处理出水水质的影响

Fig. 5 Effects of UV pretreatment times on quality of filtered water in combined pretreatment process

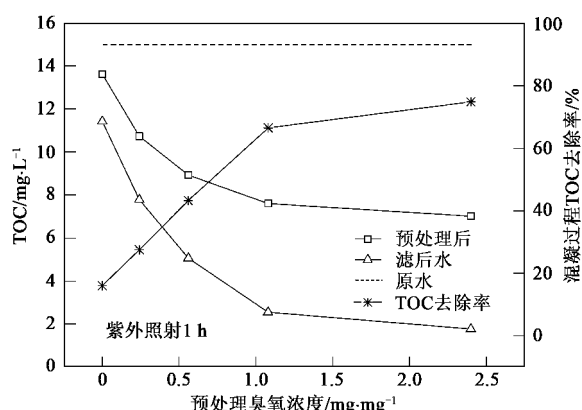


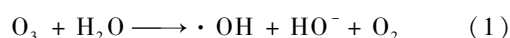
图6 联合系统中臭氧浓度对处理出水 TOC 的影响

Fig.6 Effects of ozone concentration on quality of filtered water in combined pretreatment process

与臭氧和紫外单独预处理系统相同,臭氧-紫外联合作用下过滤出水 pH (7.25 ~ 7.30) 相对稳定 [图 5(b)]. 当臭氧浓度为 0.38 mg/L, 紫外照射时间为 1 h 时, 出水浊度为 1.0 NTU [图 5(b)], 而在单独臭氧预处理系统中最佳控制条件 [臭氧浓度 (O_3/C) 为 9 mg/mg] 下的出水浊度仍高于 2.5 NTU [图 2(b)]; 单独紫外预处理条件下要达到相同的处理效果紫外照射时间需增至 3 h. 因此, 臭氧-紫外联合作用下对混凝过滤出水浊度的控制效果明显优于二者单独使用.

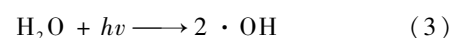
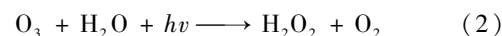
2.4 反应机制分析

臭氧在水溶液中与有机物的反应有 2 种形式: 直接反应和自由基反应^[7]. 臭氧分子自身的离域 π 键可以使它作为偶极试剂同有机物的不饱和键发生 1~3 偶极环加成反应, 还可以使其在有机物分子中电子云密度高的点发生亲电反应. 这种反应模式只能将有机物氧化为醛、酮等羰基化合物, 无法实现有机物的彻底矿化. 实验结果发现, 当臭氧浓度 (O_3/C) 为 9.0 mg/mg 时, 水中的 TOC 将由 14.0 mg/L 降至 7.1 mg/L [图 2(a)]. 表明臭氧与腐殖酸间的反应除了直接反应外, 二者的主要反应形式为自由基反应, 反应将有机物最终矿化为水、二氧化碳和无机盐, 自由基形成的方程式为:



紫外照射会使腐殖酸发生脱羧基反应, 使一部分有机碳转变成了无机碳, 进而促进水体中有机物的去除, 这与照射前后水样中 TOC 的变化规律基本一致. 同时, 在紫外照射条件下臭氧的分解过程得到强化, 1 mol 臭氧将产生 2 mol $\cdot OH$ [式 (2) 和式 (3)]. 因此, 臭氧-紫外联合预处理系统对腐殖酸的

去除效率更高.



此外, 臭氧-紫外联合预处理还能促进后续混凝过程对有机物的去除. 这可能与预处理过程改变了水中腐殖酸的结构有关. 腐殖酸实际上是一种结构复杂的大分子有机物, 外围结合位相对较少. 铝在水中则以水合离子的形式存在. 由于空间位阻效应的影响, 使得铝离子难以进入有机大分子内部并与之有效结合. 但通过氧化预处理, 大分子腐殖酸解体为小分子, 增加了其与铝离子的结合位, 从而促进了混凝过程对腐殖酸的去除.

3 结论

(1) 臭氧氧化预处理和紫外照射均能有效降解原水中的有机物. 当臭氧浓度 (O_3/C) 达到 9.0 mg/mg 时, 氧化预处理对腐殖酸的去除率可以达到 47%; 紫外照射 3 h 对腐殖酸的去除率可以达到 52%.

(2) 氧化预处理对混凝过程中腐殖酸的去除效果有显著的促进作用. 当臭氧浓度 (O_3/C) 为 9.0 mg/mg, 紫外照射时间为 3 h 时, 混凝过滤过程对腐殖酸的去除率分别为 55% 和 77%; 而对于未做预处理的水样 TOC 的去除率则小于 1%.

(3) 臭氧-紫外联合系统的氧化作用及对混凝过程的促进作用均优于单独系统. 当臭氧浓度 (O_3/C) 为 1.0 mg/mg, 紫外照射时间为 1 h 时, 出水 TOC 含量为 2.6 mg/L, 浊度低于 1.0 NTU. 氧化预处理对水中腐殖酸的强化去除主要表现为 $\cdot OH$ 对有机物的矿化作用, 其对混凝过程的促进作用则与氧化过程中腐殖酸与水合铝结合位的增加有关.

参考文献:

- [1] 王东升, 刘海龙, 晏明全, 等. 强化混凝与优化混凝: 必要性、研究进展和发展方向[J]. 环境科学学报, 2006, 26(4): 544-551.
- [2] 王东升. 微污染原水强化混凝技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009. 29-86.
- [3] Rook J J. Formation of haloforms during chlorination of natural water[J]. Water Treat Exam, 1974, 28(4): 234-243.
- [4] Croue J P. Isolation of humic and non-humic NOM fractions: structural characterization[J]. Environ Monit Assess, 2004, 92: 193-207.
- [5] Edzwald J K, Tobiasson J E. Enhanced coagulation: US requirement and a broader view[J]. Water Sci Technol, 1999, 40(9): 63-70.
- [6] Glaze W H. Drinking-water treatment with ozone[J]. Environ

- Sci Technol, 1987, **21**(3):224-230.
- [7] 邓南圣, 吴峰. 环境光化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 284-285.
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [9] Purnindu B, David A R. The effect of ozonation on natural organic matter removal by alum coagulation[J]. Water Res, 2007, **34**(15): 1516-1524.
- [10] 严煦世. 给水工程[M]. (第四版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1999. 257-260.
- [11] Edzwald J K, Tobiason J E. Enhanced versus Optimized Multiple Objective Coagulation[A]. In: Chemical Water and Wastewater Treatment[M]. New York: Springer, 1998. 113-124.
- [12] Richard G, Zepp R G, George L, et al. Comparison of photochemical behavior of various humic substances in water: II. Photosensitized oxygenations[J]. Environ Sci Technol, 1981, **10**(1): 119-126.
- [13] Gerald R, Reper B, Günter H. UV-O₃, UV-H₂O₂, UV-TiO₂ and the photo-Fenton reaction-comparison of advanced oxidation processes for wastewater treatment[J]. Chemosphere, 1994, **28**(8): 1447-1454.
- [14] Aysegül L, Mirat D G. The effect of humic acids on nitrobenzene oxidation by ozonation and O₃/UV processes[J]. Water Res, 2003, **37**(8): 1879-1889.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjxx.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过20字,少用副标题.

4. 中文摘要不少于300字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用1,1.1,1.1.1的形式,左起顶格书写,3级以下标题可用(1),(2)……表示,后缩2格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:

期刊:作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页-止页.

图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页-止页.

会议文集:作者.论文名[A].见(In):编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页-止页.

学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.

报告:作者.论文名[R].出版地:出版单位,出版年.

专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.

11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在3个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.对未刊稿件一般不退,请作者自留底稿.

12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市2871信箱;邮编:100085;电话:010-62941102,010-62849343;传真:010-62849343;E-mail: hjxx@rcees.ac.cn;网址: www.hjxx.ac.cn