

KMnO₄-PAC 对喀斯特高原湖库 DOM 的去除

王志康^{1,2}, 桂昕¹, 黄川¹, 吴妃¹, 张润宇³, 朱四喜^{1,2}

(1. 贵州民族大学生态环境工程学院, 550025; 2. 贵州民族大学饮用水安全研究中心, 550025;

3. 中国科学院地球化学研究所, 550002, 贵州 贵阳)

摘要:以云贵高原 2 个喀斯特湖库 - 红枫湖和阿哈水库为调查对象, 研究了以 KMnO₄-聚合氯化铝(PAC)预氧化协同混凝工艺对溶解性有机质(DOM)的去除影响。结果表明, 对红枫湖 DOM 的溶解性有机碳(DOC)去除率要高于阿哈水库, 但是对 UV₂₅₄ 的控制却呈相反的趋势; 且随着 PAC 投加量的增加而升高, KMnO₄ 的适宜投加量, 对红枫湖 DOM 的去除分别为 0.1、0.2 mg/L, 对阿哈水库 DOM 的去除为 0.3 mg/L。傅立叶变换红外光谱仪指纹区的峰频增加, 且波数 3 300 cm⁻¹ 处的主峰强度减弱, 表明预氧化可以破坏 DOM 长链的不饱和键, 产生低分子量的有机物, PAC 的吸附卷扫作用可能是提高 DOM 去除率的主要机理。KMnO₄-PAC 相结合的工艺对高原喀斯特湖库 DOM 的控制有较好的去除效果, 可为当地水厂的工艺技术升级提供一定的理论基础。

关键词: 溶解性有机质(DOM); 高锰酸钾; 预氧化; 混凝; 聚合氯化铝

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2018)06-0052-005

天然水体中的溶解性有机质(DOM)组成复杂, 不仅能够干扰和冲击常规水处理单元, 还会在消毒过程中与氯等消毒剂发生反应形成对人体有致癌、致突变作用的消毒副产物(DBPs)。大量的研究表明, 在水处理工艺端对 DOM 的去除, 是减少其对传统工艺的冲击、二次污染问题和控制 DBPs 产生的主要手段^[1]。混凝作为成本经济、高效的水处理技术, 被广泛的研究和运用。随着预氧化技术的研究并运用, 相对于传统的混凝工艺而言, 对提高 DOM 的去除率有显著的效果^[2]。例如, KMnO₄ 能够氧化并局部破坏水中的 DOM 化学结构, 提高其聚集的倾向性与混凝效率, 从而降低 DBPs 的产生。同样地, 高铁酸盐(Fe⁶⁺) 也具有很强的氧化性, 和混凝结合可以极大地提高 DOM 的去除效率, 其机理为高铁酸盐局部氧化 DOM, 改变其化学结构, 使得 DOM 更容易被混凝过程所去除^[3-4]。

与东部平原地区浅水性湖泊相比, 西南喀斯特地区深水性湖库具有显著不同的地质地理背景和物质循环特征, DOM 的化学组成也有所差异^[5]。尤其

是营养源输入的特殊性进一步影响了 DOM 的组成, 进而可能影响传统的混凝-沉淀水处理工艺^[6-8]。喀斯特地区土壤可溶性氮、磷的赋存和迁移机制存在差异, 其水土保持的脆弱性进一步驱动氮磷的流失^[9-11]。前期的报道也指出, 部分喀斯特地区湖泊 DOM 的来源为外源输入, 对其化学结构和组成进行了定量和定性研究, 然而, 在工艺的优化对高原喀斯特湖库 DOM 的控制方面, 却鲜有报道。

红枫湖和阿哈水库都地处云贵地区, 具有明显的喀斯特高原特征, 供给贵阳市大部分的饮用水。湖库周边环境以农业为主, 污染主要来源于农业面源污染, 湖中底泥氮、磷严重富集, 释放后导致每年春季、夏季富营养化严重, 可能与营养物质的外源输入有密切的关系^[9,12-16]。湖中的 DOM 的来源主要为外源(动植物的腐烂)和内源的贡献(藻源有机物的释放)。前期研究结果阐明了 2 个湖泊的富营养化程度预测和营养物的时空分布特征, 及 DOM 的时空分布特点和化学特征, 但是却对去除工艺方面还未有深入研究^[14,17-21]。

收稿日期: 2017-08-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560717), 贵州省科技厅-贵州民族大学联合基金项目(黔科合 LH 字[2014]7383 号), 贵州省科技厅基础研究项目(黔科合基础[2016]1071), 贵州民族大学引进人才项目(15XRY010), 大学生创新创业训练计划项目(201510672011)

作者简介: 王志康(1987-), 男, 博士研究生, 副教授, 从事水体微污染物控制研究

联系电话: 0851-83610313, 电子邮件: wzkgzmz@163.com

本研究通过投加不同含量梯度的 KMnO_4 协同聚合氯化铝(PAC)对 2 个湖泊 DOM 的去除效率,探寻该组合工艺对云贵西南地区 2 代表性湖库红枫湖和阿哈水库水的 DOM 去除,为当地水处理厂今后采取有效方法控制富营养化和保障的饮用水安全提供理论依据和工艺参考。

1 实验部分

1.1 水样的采集与预处理

红枫湖和阿哈水库取水口表层水样(取自 2016 年丰水期 8 月),采集回实验室后立即在采样桶里加入 HgCl_2 溶液(质量浓度 $\sim 0.1 \text{ mg/L}$),以抑制微生物的生长。后放入冰箱冷冻室储存待用。

将冷冻保存的原水样移置 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 的冰箱中解冻,待桶中冷冻的水样解冻完全后摇匀,使水中悬浮物混合均匀,取出对水样进行真空抽滤,使其通过预处理过的 $0.45 \text{ }\mu\text{m}$ 的醋酸纤维素(CA)膜以去除水样中含有的颗粒物以及悬浮物等难溶解物质,得到 DOM。

1.2 预氧化-混凝实验

配置好的质量浓度分别为 100 、 300 mg/L 的 KMnO_4 和 3 g/L 的 PAC 储备液, KMnO_4 -PAC 预氧化混凝以杯罐实验为载体进行。

分别向每个烧杯中加入原水 100 mL ,然后向 5 个盛有原水水样的烧杯中配 KMnO_4 质量浓度梯度分别为 $0.1\sim 0.5 \text{ mg/L}$ 进行 DOM 的预氧化。静置反应 3 h 后取上清液进行后续测定。

准备 25 个 500 mL 的烧杯,分别向其中加入原水样 300 mL ,5 个烧杯的水样作为 1 组,总分为 5 组。向这 5 组的水样中分组各投加 0.1 、 0.2 、 0.3 、 0.4 、 0.5 mL 质量浓度为 300 mg/L 的 KMnO_4 溶液。预氧化 3 h 后,分别向各组的 5 个烧杯中投加 0.1 、 0.2 、 0.3 、 0.4 、 0.5 mL 质量浓度为 3 g/L 的 PAC 溶液。即每个组 5 个烧杯中 PAC 的质量浓度分别是 $1\sim 5 \text{ mg/L}$ (以 1 mg/L 为变化步长)。然后在六联搅拌器上以 250 r/min 快搅 30 s ,再以 200 r/min 搅拌 1 min ,最后以 40 r/min 慢搅 20 min 以完成混凝阶段。

停止搅拌后,所有样品静置 1 h ,将上清液取出后过 $0.45 \text{ }\mu\text{m}$ 的 CA 膜,防止絮体和不溶物对实验结果进行干扰,分别测定 DOC 含量和 UV_{254} ,计算去除率。DOC 通过总有机碳分析仪(vario TOC)进行测定,平行测定 3 组水样。使用紫外分光光度计(Cary300)时,设置波长为 254 nm ,在室温下开始检测波长在 254 nm 处的紫外光密度(UV_{254}),平行测定 3 组水样。 UV_{254} 是反映水体中 DOM 所含芳香

结构的替代指标^[22]。最后计算混凝前后 DOC 和 UV_{254} 的去除率。

1.3 FT IR 表征

将 $0.45 \text{ }\mu\text{m}$ 滤膜滤出的水样放入真空冷冻干燥机(LGJ 18S)通过 4 个温度梯度对水样进行冻干。其中,冻干水样的 4 个温度梯度分别为 $20\sim 0$ 、 $0\sim -10$ 、 $-10\sim -60$ 、 $-60\sim 0 \text{ }^\circ\text{C}$ 。冻干过程结束后,得到固体粉末,与 KBr 混合压片后,在红外光谱仪上(Nicolet 6700)进行 FT IR 的表征。

2 结果与讨论

2.1 取水口水质分析

红枫湖和阿哈水库取水口处的水质特征如表 1 所示。

表 1 红枫湖和阿哈水库取水口水质特征
Tab.1 Water characteristics at intake of Hongfeng and Aha Lakes

取水口	水温 / $^\circ\text{C}$	浊度 / NTU	pH	UV_{254} / cm^{-1}	$\rho/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	
					TOC	DOC
红枫湖	24.3	2.93	7.16	0.235	12.44	4.32
阿哈水库	25.7	2.69	7.77	0.173	7.515	3.87

由表 1 可知,两水源地的浊度和 pH 均为正常水平,但红枫湖水样 TOC 含量以及 UV_{254} 较阿哈水库偏高。由于周边的农业面源污染和底泥中氮、磷的释放,两水源地存在较为严重的富营养化现象,所以采样期间(夏季 8 月份)为两湖库的藻华爆发期^[12]。综合分析,可能是藻类有机物的贡献导致这 2 个指标偏高。然而,红枫湖和阿哈水库水样的 DOC 含量相比 TOC 差异不大,说明两取水口水样 DOM 含量水平相当。

2.2 KMnO_4 预氧化对 DOC 与 UV_{254} 的去除影响

表 2 是预氧化后 DOC 的去除效率。

表 2 KMnO_4 预氧化对 DOC 去除率影响
Tab.2 Influence of KMnO_4 pre-oxidation on DOC removal rate

投加量 / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	去除率 /%		投加量 / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	去除率 /%	
	红枫湖	阿哈水库		红枫湖	阿哈水库
0.1	-22.7	2.21	0.4	3.73	1.64
0.2	-13.0	1.99	0.5	4.98	1.73
0.3	-0.12	1.35			

由表 2 可知,随着 KMnO_4 投加量的增大,红枫湖 DOC 的去除率呈现增加的趋势。 KMnO_4 预氧化对 DOC 的去除率在 $-22.7\%\sim 4.98\%$,出现负值的原因可能是在初期投加 KMnO_4 与团聚态的 DOM 发生了氧化反应,切断了部分分子链,使得长链分子转变为短链分子,导致测量时 DOC 含量有所增加^[23]。红枫湖的 DOC 含量要高于阿哈水库,在富营养化影响下可以推断这部分 DOC 的贡献大部分源可能的来

源为藻类有机物(AOM),DOC去除率为负,也可能是部分未经过滤截留的AOM释放DOC所导致。

由表2还可知,随着 KMnO_4 投加量的增加,阿哈水库的DOC去除率变化不大,去除率稳定在1.5%~2%,说明预氧化对阿哈水库水样DOC影响比红枫湖水样要小。有研究表明, KMnO_4 倾向于与DOM中的不饱和(共轭)基团发生反应,例如C=C双键以及苯环等有机物质,破坏C=C双键或C=O双键^[2,24]。但实际上并未将其从水体之中去除,主要的机理是将大分子的基团转化为小分子基团。所以在一定投加量范围下的 KMnO_4 对DOC的去除有一定促进作用。

表3是不同投加量的 KMnO_4 对红枫湖和阿哈水库 UV_{254} 的影响变化。

表3 KMnO_4 预氧化对 UV_{254} 去除率影响

Tab.3 Influence of KMnO_4 pre-oxidation on UV_{254} removal rate

投加量 / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	去除率 /%		投加量 / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	去除率 /%	
	红枫湖	阿哈水库		红枫湖	阿哈水库
0.1	3.71	61.8	0.4	15.4	55.9
0.2	11.3	60.0	0.5	16.3	55.8
0.3	13.7	59.1			

KMnO_4 倾向于破坏C=C双键或C=O双键使得大分子基团转化为小分子基团,如醛酮类物质。由表3可知,红枫湖和阿哈水库的 UV_{254} 去除趋势完全不同,进一步阐明了水源地不同DOC的差异,在很大程度上可能取决于DOM的来源。红枫湖的 UV_{254} 去除率在3.7%~16.27%,投加 KMnO_4 后,此时可能会有2个过程同步进行: KMnO_4 对不饱和结构进行氧化,以降低 UV_{254} ;在pH=7附近, KMnO_4 可能会被还原形成 MnO_2 ,可以提供一定的吸附点位,对DOM的去除有一定的促进作用^[25]。对阿哈水库, UV_{254} 的去除率在60%左右。相对于红枫湖,阿哈水库的DOM中可能含有更多的不饱和基团。

2.3 KMnO_4 -PAC对DOC与 UV_{254} 的去除影响

预氧化-混凝对去除DOC的影响如图1所示。

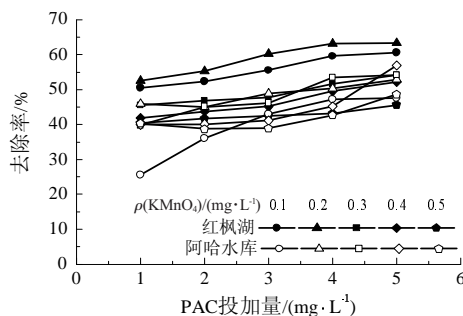


图1 KMnO_4 -PAC对DOC去除率影响

Fig.1 Influence of KMnO_4 -PAC on DOC removal

由图1可知,总体而言,随着PAC投加量的增加,去除率有所升高。相比于阿哈水库,红枫湖DOM有较高的去除率,且 KMnO_4 投加量对红枫湖DOM的去除更为有效。另外,在投加PAC之后, KMnO_4 与PAC对DOC的去除率为40.47%~63.32%,但DOC的去除率并没有随着 KMnO_4 投加量的增加而提升。相反,在0.5 mg/L的 KMnO_4 投加量的去除效率是所有投加量下最低,反而在0.1、0.2 mg/L的 KMnO_4 投加量下对DOC去除率的提升则更为明显。

等PAC投加量条件下,随着 KMnO_4 含量的增加,DOC的去除效率的降低可能原因是 KMnO_4 有助凝作用,但是其会选择性的破坏一些不饱和基团,使得大分子基团转化为小分子基团,DOM的分子量降低。PAC的主要混凝机理为压缩胶体的双电层,降低其稳定性,从而生成絮体来吸附、网捕和卷扫作用来去除水体中的DOM^[26]。但是,由于 KMnO_4 破坏了水体中的大分子基团,而混凝剂对大分子的吸附能力强于小分子有机物,因此,混凝效率也受之影响而降低。但 KMnO_4 投加量的增加使其有了更强的氧化性,使DOM的小分子有机物比例增加。所以,在相同 KMnO_4 投加量条件下,PAC的投放量的逐步提高可以使得DOC有更好的去除率。

在 KMnO_4 、PAC投加量分别为0.2、5 mg/L时,预氧化混凝对DOC的去除效率达到最大,达到了63.32%。同时也可以看到,在 KMnO_4 投加量分别为0.3、0.4 mg/L时,TOC的去除效率基本一致,而0.3~0.5 mg/L投加量时TOC的去除率是反而下降的,这说明在高 KMnO_4 投加量下,反而对产生的小分子DOM的去除形成了干扰。对红枫湖,0.2 mg/L的 KMnO_4 投加量下,DOM的去除达到最佳。对阿哈水库, KMnO_4 -PAC对DOC的去除率在40%~45%,相比于红枫湖,去除效率偏低10%~15%。这可能是因为阿哈水库中DOC含量偏低,且以小分子的形态为主,导致去除率的偏低。

图2是预氧化-混凝后红枫湖和阿哈水库水样DOM的 UV_{254} 去除率。

UV_{254} 与DOM的芳香官能团、不饱和键有较好的线性关系。之前数据表明,经过 KMnO_4 预氧化后的 UV_{254} 的去除效率在3.7%~16.27%。由图2可知,对红枫湖, KMnO_4 与PAC预氧化-混凝过程对 UV_{254} 的去除率则提高到了16.73%~47.99%,和DOC的去除率有相似的趋势。 UV_{254} 的去除效率基本随着 KMnO_4 投加量的增加而缓慢增加,但是幅度

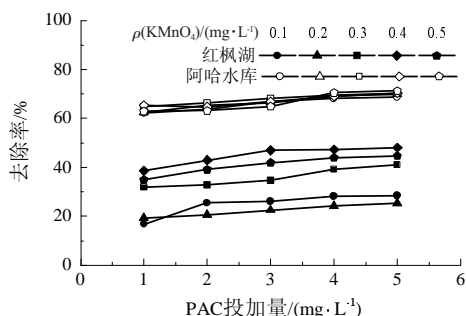


图2 KMnO_4 -PAC 对 UV_{254} 去除率的影响

Fig.2 Influence of KMnO_4 -PAC on UV_{254} removal

不大,这可能与倾向于与类如共轭双键及苯环结构反应有一定的关联。对比 UV_{254} 的去除率,阿哈水库高于红枫湖,也说明阿哈水库 DOM 中可能含有较少的共轭基团。在 KMnO_4 投加量相同时,PAC 含量的逐步升高也会有利于 UV_{254} 的降低。其中当 KMnO_4 、PAC 的质量浓度分别为 0.4、5 mg/L 时,其 UV_{254} 的为 0.103 cm^{-1} ,去除效率最高,达到 47.99%,较未进行混凝时的预氧化水样提升了约 32.61%。

2.4 FT IR 分析

图3和图4分别为红枫湖和阿哈水库原水与 KMnO_4 -PAC (KMnO_4 、PAC 投加量分别为 0.1~0.3、5 mg/L) 下的 FT IR 分析。

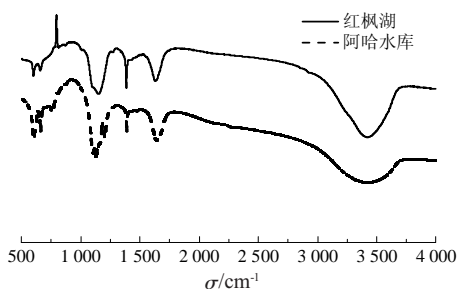


图3 原水 DOM 的 FT IR

Fig.3 FT IR of DOM at water intake

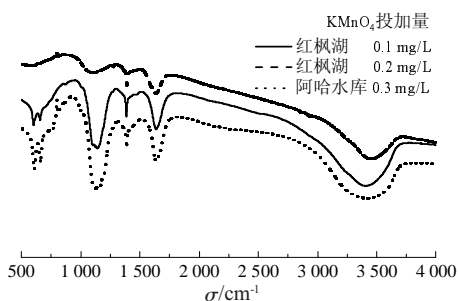


图4 KMnO_4 -PAC 下水样的 FT IR

Fig.4 FT IR with KMnO_4 -PAC dosage

由图3可知,红枫湖和阿哈水库原水 DOM 在波数 3300 cm^{-1} 处观测到 1 个主要的吸收峰,且在

指纹区内(小于 1000 、 1200 、 1400 、 1800 cm^{-1})观测到较多的吸收峰。阿哈水库的 DOM 在指纹区内比红枫湖的 DOM 有更为密集的吸收频率。波数为 1800 cm^{-1} 的吸收峰,可能是 $\text{C}=\text{O}$ 键的伸缩振动表明了醌类、共轭酮类官能团和不饱和官能团的存在,在 $1000\sim 1300 \text{ cm}^{-1}$ 处的波数代表多聚糖类物质的 $\text{C}-\text{O}$ 伸缩振动^[27]。

由图4可知,随着 KMnO_4 投加量的增加,大部分吸收峰的强度增大,这意味着预氧化使得小分子的化合物含量增加,产生比原水 DOM 更多的吸收峰。另外,波数 $3600\sim 3000 \text{ cm}^{-1}$ 内出现的典型吸收谱带也可能为水分子 $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ 键的伸缩振动及羟基吸收带,而在波数 $2800\sim 3000 \text{ cm}^{-1}$ 内有饱和 $\text{C}-\text{H}$ 伸缩振动,表明了 $-\text{CH}_3$ 和 $-\text{CH}_2$ 官能团的普遍存在;在混凝后的样品和原水中同时观测到这些吸收峰,也证明了混凝对这些官能团去除影响不大^[27]。

3 结论

预氧化对红枫湖 DOM 的 DOC 去除率在随着 KMnO_4 投加量的增加而提高,但对阿哈水库 DOC 的去除影响不大,可能是预氧化破坏了红枫湖 DOM 中部分藻源有机物,导致有机碳的释放所致。

当 KMnO_4 、PAC 的投加量分别为 0.1~0.3、5 mg/L 时对 DOC 和 UV_{254} 的去除率最佳,平均去除率为 40%~55%。红枫湖 DOC 的去除率要高于阿哈水库,但是阿哈水库的 UV_{254} 要高于红枫湖,可以初步推断阿哈水库的 DOM 含有较多的类芳香和共轭结构。

FT IR 的结果显示指纹区的峰出现频率的增加,且波数 3300 cm^{-1} 处的主峰强度减弱,表明预氧化可以破坏长链的不饱和键,产生低分子量的有机物,PAC 的吸附卷扫作用可能是提高 DOM 去除的主要机理。

参考文献:

- [1] MATILAINEN A, GJESSING E T, LAHTINEN T, et al. An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment[J].Chemosphere,2011, 83(11):1431-1442.
- [2] CHEN J J, YE H H, TSENG I C. Effect of ozone and permanganate on algae coagulation removal-Pilot and bench scale tests[J].Chemosphere,2009,74(6):840-846.
- [3] GAN W, SHARMA V K, ZHANG X, et al. Investigation of disinfection byproducts formation in ferrate(VI) pre-oxidation of NOM and its model compounds followed by chlorination[J].Journal of Hazardous

- Materials,2015,292:197-204.
- [4] MA J, LIU W. Effectiveness and mechanism of potassium ferrate (VI) preoxidation for algae removal by coagulation[J]. Water Research, 2002,36(4):871-878.
- [5] 岳兰秀,吴丰昌,陈文龙. 贵州百花湖水中溶解有机质的分子量分布随深度的变化规律[J]. 环境科学与管理,2008,33(5):66-70.
- [6] 古励,郭显强,丁昌龙,等. 藻源型溶解性有机氮的产生及不同时期藻类有机物的特性[J]. 中国环境科学,2015,39(9):2745-2753.
- [7] HAN L, XU B, QI F, et al. Effect of nitrogen/phosphorus concentration on algal organic matter generation of the diatom *Nitzschia palea*: Total indicators and spectroscopic characterization[J]. Journal of Environmental Sciences,2016,47:130-142.
- [8] ZHANG N, XU B, QI F. Effect of phosphate loading on the generation of extracellular organic matters of *Microcystis Aeruginosa* and Its derived disinfection by-products[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2016,227(8):264.
- [9] 刘鸿雁,王龙飞,罗梅,等. 贵阳市阿哈水库农业面源污染调查与分析[J]. 贵州农业科学,2009,37(9):235-239.
- [10] 刘方,朱健,罗海波,等. 贵州喀斯特山区旱作土壤 - 水系统中氮磷迁移的变化特征[J]. 中国水土保持,2013(6):47-50.
- [11] 张巧香,刘方,朱健,等. 贵州中部喀斯特山区水稻田面水 N、P 浓度变化及污染评价[J]. 中国农学通报,2012,28(24):63-67.
- [12] 方志青,李存雄,张明时,等. 百花湖、阿哈水库底泥及营养盐蓄积量的估算[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2009,27(4):30-33.
- [13] 潘祖光,侯克钧. 关于阿哈水库水质及污染情况的研究及对策[J]. 贵州工业大学学报(自然科学版),2007,25(4):60-63.
- [14] 陈作州. 阿哈水库、红枫湖水库水华蓝藻的时空变化及毒性试验研究[D]. 贵阳:贵州师范大学,2007.
- [15] 黄国佳,李秋华,陈椽,等. 贵州高原红枫湖水库浮游植物功能分组及其时空分布特征[J]. 生态学报,2015,35(17):5573-5584.
- [16] 晏妮. 贵州两种类型喀斯特水库浮游植物分布与富营养化特征比较研究[D]. 贵阳:贵州师范大学,2006.
- [17] 李磊,李秋华,焦树林,等. 阿哈水库浮游植物功能群时空分布特征及其影响因子分析[J]. 环境科学学报,2015,35(11):3604-3611.
- [18] 黎文,吴丰昌,傅平青,等. 贵州红枫湖水体溶解有机质的剖面特征和季节变化[J]. 环境科学,2006,27(10):1979-1985.
- [19] 岳兰秀,吴丰昌,刘丛强,等. 红枫湖和百花湖天然溶解有机质的分子荧光特征与分子量分布的关系[J]. 科学通报,2005,50(24):2774-2780.
- [20] 王立英,吴丰昌,张润宇,等. 红枫湖溶解有机质不同有机组分的地球化学特征[C]. 中国矿物岩石地球化学学会第12届学术年会,2009:1.
- [21] 万国江,万恩源,陈敬安,等. 深水人工湖环境生物地球化学过程研究:以贵州红枫湖 - 百花湖为例[J]. 地球与环境,2010,38(3):262-270.
- [22] SÄRKKÄ H, VEPSÄLÄINEN M, SILLANPÄÄ M. Natural organic matter (NOM) removal by electrochemical methods-A review[J]. Journal of Electroanalytical Chemistry,2015,755:100-108.
- [23] NEBBIOSO A, PICCOLO A. Molecular characterization of dissolved organic matter (DOM):a critical review[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry,2013,405(1):109-124.
- [24] MA J, LIU W. Effectiveness and mechanism of potassium ferrate(VI) preoxidation for algae removal by coagulation[J]. Water Research, 2002,36(4):871-878.
- [25] 李多,苗时雨,张怡然,等. 高锰酸钾预氧化 - 强化混凝控制饮用水消毒副产物的研究[J]. 水处理技术,2014,40(2):26-30.
- [26] MATILAINEN A, VEPSÄLÄINEN M, SILLANPÄÄ M. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review[J]. Advances in Colloid and Interface Science,2010,159(2):189-197.
- [27] 方晶云. 蓝藻细胞及藻类有机物在氯化消毒中副产物的形成机理与控制[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.

Effects of KMnO_4 -PAC on Removal of Dissolved Organic Matter in Karst Plateau Reservoirs

WANG Zhikang^{1,2}, GUI Xin¹, HUANG Chuan¹, WU Fei¹, ZHANG Runyu³, ZHU Sixi^{1,2}

(1. College of Eco-environmental Engineering, Guizhou Minzu University, 550025;

2. Institute of Drinking Water Safety, Guizhou Minzu University, 550025;

3. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, 550002; Guiyang, China)

Abstract: The influence of KMnO_4 pre-oxidation combined with PAC coagulation on removal of DOM in two representative Karst plateau reservoirs-Hongfeng and Aha Lake were investigated. The results indicated that, the DOC removal rate for DOM in Hongfeng Lake was higher than Aha Lake, however, UV_{254} removal rate showed opposite trends. The dosage of PAC was dominant in DOM control, 0.1 and 0.2 mg/L of KMnO_4 were the optimum dosage for DOM removal in Hongfeng Lake, 0.3 mg/L of KMnO_4 was the optimum dosage for DOM removal in Aha Lake. FT IR results indicated that the increase of peak frequency in fingerprint zone and the decrease of main peak at $3\ 300\ \text{cm}^{-1}$, which was mainly attributed to the cleavage of carbon bonds and low molecular weight organic matters were produced. The adsorption and wrap effect of PAC might be the dominant mechanism for DOM removal rate improvement. KMnO_4 combined with PAC technique could provide relative high removal rate of DOM in karst plateau reservoirs and provide part of fundamental theories for DOM treatment of local drinking water treatment plants.

Keywords: dissolved organic matter (DOM); KMnO_4 ; pre-oxidation; coagulation; polyaluminium chloride (PAC)

节约用水 重在合理用水 科学用水。