

# 不同原水条件下水厂的混凝过程研究

苏 航<sup>1</sup>, 徐 慧<sup>2</sup>, 王东升<sup>2</sup>, 段晋明<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 中国科学院生态环境研究中心  
环境水质学国家重点实验室, 北京 100085)

**摘 要:** 为了考察原水性质对混凝过程的影响,对南方某市 4 个水厂的混凝过程进行了调研。结果表明,4 个水厂的原水呈现不同的水质特征,其中 A、B 水厂原水(湖泊水)的浊度比 C、D 水厂原水(长江水)的要低,而有机物浓度比 C、D 水厂原水的要高;4 个水厂原水中的有机物组成类似,均是腐殖酸所占比例最大(50% 左右)。A、C 水厂各混凝段的浊度随着混凝反应的进行呈下降趋势,而 B、D 水厂各混凝段的浊度无下降趋势,甚至略有上升;A 水厂滤池出水的 DOC 浓度明显下降,较原水下降了 55.44%,而其余 3 个水厂的 DOC 浓度下降不明显;混凝过程对大分子质量有机物的去除作用明显。

**关键词:** 原水; 混凝; 有机物; 浊度

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)07-0068-04

## Coagulation Process of Different Raw Water in Waterworks

SU Hang<sup>1</sup>, XU Hui<sup>2</sup>, WANG Dong-sheng<sup>2</sup>, DUAN Jin-ming<sup>1</sup>

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract:** Coagulation processes of four waterworks in South China were investigated in order to explore the influence of raw water on the coagulation process. The results indicated that the characteristics of raw water were different. The turbidity of raw water in waterworks A and B was lower than that of waterworks C and D, while the dissolved organic carbon (DOC) concentration of raw water in waterworks A and B was higher than that of waterworks C and D. The organic matter composition of different raw water was similar to each other, and the proportion of humic acid was always the largest (about 50%). The turbidity of each coagulation section in waterworks A and C decreased with the progress of coagulation reaction, but no decrease profile of waterworks B and D was detected, which even increased slightly. The effluent DOC concentration of the filter in waterworks A decreased significantly by 55.44%, while no obvious decrease of DOC was detected in the other three waterworks. In addition, the coagulation process had obvious removal effect on large molecular weight organics.

**Key words:** raw water; coagulation; organic matter; turbidity

众所周知,影响混凝过程的主要因素包括原水性质、混凝剂形态与投加量、助凝剂投加量等<sup>[1-3]</sup>。其中,原水中有机物的种类及浓度对混凝过程具有重要的影响<sup>[4-6]</sup>,但目前的研究多停留在实验室模拟阶段,有关天然水体中有机物对混凝过程的影响研究较少。原水中的有机物可以分为天然有机物和人工合成有机物两大类,天然有机物通常包括腐殖质与非腐殖质,非腐殖质主要有碳水化合物、蛋白质等,这类物质易被分解、残留很少,对水体的混凝过程影响较小,而腐殖质是一类构造和化学特性较为复杂的天然有机物,其可以在自然环境中广泛而稳定的存在,所以如何降低水环境中的腐殖酸浓度对于保证用水安全具有重要的意义<sup>[7]</sup>。为了研究原水中有机物的浓度及组成对混凝过程的影响,更好地了解水厂的混凝过程、减少混凝剂投加量、降低生产成本,笔者对南方某市4个水厂的原水水质以及混凝过程进行了调研,以期水厂的良好运行提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 水厂概况

南方某自来水公司目前有4个水厂(记作A、B、C和D),其中A、B水厂的原水为湖泊水,采用的工艺分别为臭氧预氧化+折板絮凝池+平流沉淀池+V型滤池、折板絮凝池+平流沉淀池+V型滤池,原水在较长时间内会保持静止状态,水厂在春季和夏季会面临藻类暴发等问题;A水厂的聚合氯化铝(PACl)投加量需达到30.0 mg/L,并加入一定量的聚丙烯酰胺(PAM)才能保证混凝效果。C、D水厂的原水为长江水,其中C水厂采用“网格絮凝池+平流沉淀池+V型滤池”工艺,D水厂采用“折板絮凝池+平流沉淀池+V型滤池”工艺。

### 1.2 水质分析仪器与方法

试验用仪器:总有机碳测定仪(TOC-L CPN CN200),浊度仪(HACH 2100),三维荧光光谱仪(Hitachi F-7000),紫外可见分光光度计(U-2910 UV/VIS),高效排阻色谱仪(Waters 2487)。

三维荧光分析方法:将用0.45  $\mu\text{m}$ 滤膜过滤的水样放入比色皿中,调节发射波长( $E_m$ )为220~550 nm、激发波长( $E_x$ )为200~400 nm<sup>[8]</sup>。

高效液相排阻色谱法:将用0.22  $\mu\text{m}$ 滤膜过滤的水样注入进样器,水样被流动相载入色谱柱内,水样中的各组分在两相中相对运动,经过反复多次的

吸附-解吸分配过程后,各组分被分离成单个组分依次从柱内流出进入检测器,通过电信号的变化来反映各组分浓度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 水厂原水分析

测定A、B、C、D这4个水厂原水的浊度以及DOC浓度,结果显示,浊度分别为32.9、35.7、68.0、42.1 NTU,DOC浓度分别为3.876、3.174、1.625、1.583 mg/L。可以看出,4个水厂的原水呈现不同的水质特征,由于A、B水厂原水为湖泊水,故其浊度比采用长江水作为原水的C、D水厂要低,而由于湖泊水面临着较多的城市污染,故其有机物含量高于C、D水厂原水。

对4个水厂的原水进行三维荧光分析,并对三维荧光光谱中的各有机物比例进行区域分类分析<sup>[9]</sup>,结果见表1。可知,4个水厂原水中的有机物组成并没有明显的区别,腐殖酸所占比例最大,含量均在50%左右。

表1 原水中有机物的各组分占比

Tab.1 Component proportion of the organic matter in

项 目	raw water			%
	蛋白质	富里酸	微生物产物	
A 水厂	19.46	12.92	15.87	51.75
B 水厂	22.45	12.25	16.70	48.60
C 水厂	20.89	12.81	15.48	50.82
D 水厂	18.60	12.69	15.65	53.06

为了更好地了解原水中有机物的特性,对原水进行排阻色谱分析,结果见图1。可以看出,4个水厂原水中的有机物呈现类似的分子质量分布(分子质量均分布在400~4 000 u之间),C、D水厂由于有机物含量较低,故其 $UV_{254}$ 的响应值较低。

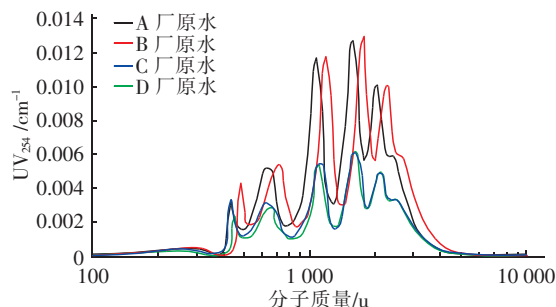


图1 原水排阻色谱分析

Fig.1 HPSEC spectra for raw water

对排阻色谱中各分子质量有机物的比例进行分析,结果见表2。可知,对于4个水厂原水中的有机

物,分子质量在 1 200 ~ 1 800 u 之间的有机物占比最大,均在 50% 左右。

表 2 原水中各分子质量有机物的占比

Tab. 2 Proportion of the organic matters with different molecular weights in raw water %

项 目	500 ~ 1 200 u	1 200 ~ 1 800 u	> 1 800 u
A 水厂	18.70	49.90	31.31
B 水厂	17.68	50.27	32.05
C 水厂	21.12	47.36	31.52
D 水厂	21.74	46.71	31.55

## 2.2 各工艺段的浊度

各工艺段浊度的测定结果见表 3。可知,A、C 水厂各混凝段的浊度随着混凝反应的进行呈现逐渐下降的趋势,而 B、D 水厂各混凝段的浊度无下降趋势,甚至略有上升,说明水厂现有混凝工艺设计或施工方面存在不足,混凝效果不好。混凝过程包括混合阶段和反应阶段,混凝过程的 GT 值应随着混凝反应的进行呈现逐渐下降的趋势,反应阶段是混凝剂与水体中的污染物结合形成絮体的过程,其搅拌强度应逐渐下降,以免絮体被打碎。

表 3 各工艺段的浊度

Tab. 3 Turbidity in different treatment units NTU

项 目	混凝 1	混凝 2	混凝 3	沉淀池出水	滤池出水
A 水厂	231.0	181.0	158.0	1.39	0.81
B 水厂	37.2	38.5	38.1	3.43	0.61
C 水厂	60.3	53.0	44.2	2.02	1.06
D 水厂	80.3	90.7	95.0	3.87	0.75

## 2.3 各工艺段的 DOC 浓度

各工艺段 DOC 浓度的测定结果见表 4。

表 4 各工艺段的 DOC 浓度

Tab. 4 DOC concentrations in different treatment units

项 目	混凝 1	混凝 2	混凝 3	沉淀池出水	滤池出水
A 水厂	2.714	2.673	2.569	2.294	1.727
B 水厂	2.899	2.995	2.853	2.885	2.962
C 水厂	1.513	1.484	1.428	1.303	1.306
D 水厂	1.277	1.377	1.270	1.344	1.208

由表 4 可知,A 水厂滤池出水的 DOC 浓度明显下降,较原水下降了 55.44%,而其余 3 个水厂的 DOC 浓度下降并不明显,较原水的下降率分别为 6.68%、19.63%、23.68%。分析原因在于 A 水厂采用臭氧预氧化工艺对原水进行预处理,故能在强化常规工艺的过程中去除异味、提高混凝效果等。综上所述,水厂现有混凝剂的混凝效果不佳,B、C 和 D

水厂的 DOC 去除率不高。应该针对不同的水厂原水水质进行混凝剂的研发,提高混凝效果,降低出水的 DOC 浓度,从而降低消毒副产物的产生。

## 2.4 各工艺段出水的三维荧光分析

以 A 水厂为例,分析不同阶段出水的三维荧光特性,结果见图 2。可以看出,A 水厂的混凝过程可明显降低水中的有机物含量,腐殖酸类有机物得到了明显去除,分析原因在于臭氧预氧化能够去除水中含不饱和键、溶解性微生物代谢产物和腐殖酸类等难降解有机物。

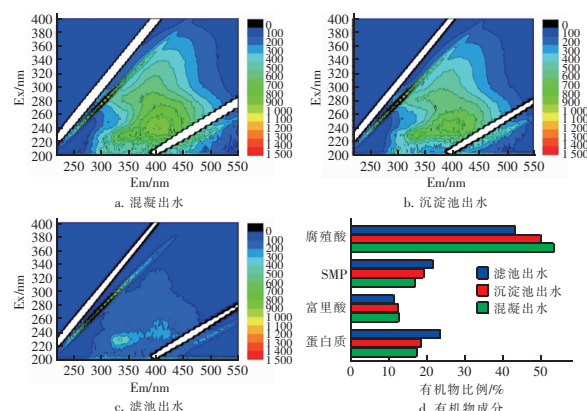


图 2 A 水厂各工艺段出水的三维荧光分析

Fig. 2 EEM spectra of effluent from each treatment unit in waterworks A

## 2.5 各工艺段出水的排阻色谱分析

各水厂不同工艺出水的排阻色谱分析结果如图 3 所示。

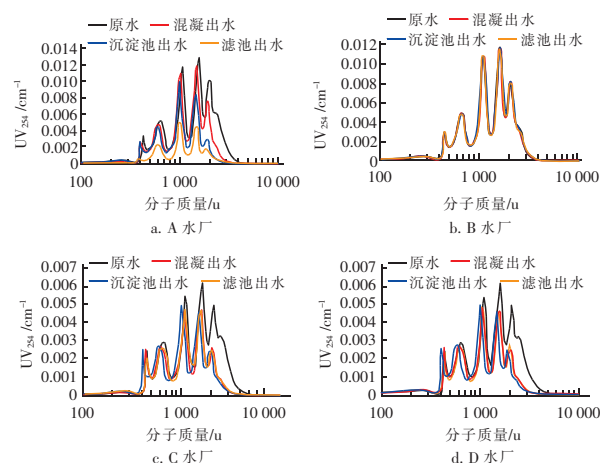


图 3 水厂各工艺段出水的排阻色谱分析

Fig. 3 HPLSEC spectra of effluent from each treatment unit in four waterworks

对比图 3(a) 和 (b) 可以发现,A 水厂的混凝过

程对各分子质量的有机物均有良好的去除效果,特别是对分子质量较大的有机物去除效果较好;而B水厂的混凝工艺对有机物基本无去除能力。对比图3(c)和(d)可知,C、D两水厂对低分子质量的有机物无明显的去除作用,但是对高分子质量有机物的去除作用明显。

### 3 结论

① A和B水厂采用湖泊水作为原水,C和D水厂采用长江水作为原水,A、B水厂原水的浊度比C、D水厂原水的要低,而有机物浓度比C、D水厂原水的要高。4个水厂原水中的有机物组成没有明显的区别,均是腐殖酸所占的比例最大,分子质量在1 200~1 800 u之间的有机物所占比例最大,均在50%左右。

② A、C水厂各混凝段的浊度随着混凝反应的进行呈下降趋势,而B、D水厂各混凝段的浊度无下降趋势,甚至略有上升。A水厂滤池出水的DOC浓度明显下降,较原水下降了55.44%,而其余3个水厂的DOC浓度下降并不明显,较原水的下降率分别为6.68%、19.63%、23.68%。

③ 分子质量较大的有机物容易在混凝过程中被去除,如何提高低分子质量有机物的去除效果对于保障出水水质具有重要的影响。

### 参考文献:

- [1] 洪云,徐慧. 不同混凝剂处理低温低浊水[J]. 环境工程学报,2015,9(9):4421-4426.  
Hong Yun, Xu Hui. Treatment of raw water with low turbidity and low temperature using different coagulants [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015,9(9):4421-4426(in Chinese).
- [2] 徐慧,肖峰,王东升. 不同高岭土体系混凝过程中絮体形态的变化[J]. 环境工程学报,2015,9(7):3121-3126.  
Xu Hui, Xiao Feng, Wang Dongsheng. Changes in morphology of flocs formed in different kaolin systems [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015,9(7):3121-3126(in Chinese).
- [3] Xu H, Jiao R, Xiao F, et al. Enhanced removal for humic-acid(HA) and coagulation process using carbon nanotubes (CNTs)/polyaluminum chloride (PACl) composites coagulants[J]. Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects,2016,490:189-199.

- [4] Jiao R, Xu H, Xu W, et al. Influence of coagulation mechanisms on the residual aluminum—The roles of coagulant species and MW of organic matter [J]. J Hazard Mater,2015,290:16-25.
- [5] Korshin G, Chow C W K, Fabris R, et al. Adsorbance spectroscopy-based examination of effects of coagulation on the reactivity of fractions of natural organic matter with varying apparent meolecular weights [J]. Water Res, 2009,43(6):1541-1548.
- [6] Jiao R, Chow C W K, Xu H, et al. Organic removal assessment at full-scale treatment facilities using advanced organic characterization tools [J]. Environ Sci Process Impacts, 2014,16(10):2451-2459.
- [7] 楼涛,汪学军,何昆鹏,等. 腐殖质的光化学降解及其对环境污染环境行为的影响[J]. 生态环境学报, 2014,23(4):716-720.  
Lou Tao, Wang Xuejun, He Kunpeng, et al. Photodegradation of humic substance and its effects on the environmental pollutant behavior [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23 (4): 716 - 720 (in Chinese).
- [8] Xiao P, Xiao F, Wang D S, et al. Investigation of organic foulants behavior on hollow-fiber UF membranes in a drinking water treatment plant [J]. Sep Purif Technol, 2011,95:109-117.
- [9] Chen W, Westerhoff P, Leenheer J A, et al. Fluorescence excitation-emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter [J]. Environ Sci Technol,2003,37(24):5701-5710.



作者简介:苏航(1992-),男,河南鹤壁人,硕士研究生,研究方向为饮用水处理。

E-mail:dacyanyin@163.com

收稿日期:2018-08-21