

# 聚合铁复合絮凝剂处理地表水性能研究<sup>1</sup>

高宝玉\* 魏锦程 王燕

(山东大学 环境科学与工程学院, 济南 250100)

**摘要:** 本文分别采用复合和共聚两种制备工艺, 研制出一系列具有不同碱化度(B)、不同阳离子聚合物(简称 JY-01) 百分含量 ( $w(P)$ )、不同 JY-01 粘度 ( $\eta$ ) 的聚合铁复合絮凝剂 PFC—JY-01, 并研究该絮凝剂对地表水的处理效果, 同时考察 B 值、 $w(P)$  值和  $\eta$  对絮凝效果的影响。试验结果表明 PFC—JY-01 复合絮凝剂的絮凝效果好于 PFC 和 JY-01。在一定范围内, 低 B 值、高  $w(P)$  值的 PFC—JY-01 具有更好的处理效果, 低  $\eta$  值和高  $\eta$  值的 PFC—JY-01 分别对除浊和降低 UV-254 更适宜。同时, 以高锰酸钾作为助凝剂会对地表水高锰酸盐指数的去除效果有一定程度的提高。

**关键词:** 聚合铁复合絮凝剂 (PFC—JY-01)、除浊、UV-254、TOC、高锰酸盐指数

## Study on Composite Flocculants in Treating Surfacewater

Gao Bao-yu\*, Wei Jin-cheng, Wang Yan

(School of Environmental Science and Engineering, Shandong University, Jinan, 250100, China)

**Abstract:** A series of flocculants polyferric chloride (PFC)-cationic organic polymer (JY-01) with different basicity (B) of PFC, different weight percentage ( $w(P)$ ) and intrinsic viscosity ( $\eta$ ) of JY-01 were prepared by copolymerization and prepolymerization. The coagulating properties of PFC—JY-01 in treating surfacewater were studied. The coagulation-flocculation efficiency of the composite flocculants was found to be related to the B value,  $w(P)$  value and  $\eta$  value. The experiment results showed that PFC—JY-01 is more efficient than PFC or JY-01. To some extent, the efficiency of PFC—JY-01 is higher at a larger  $w(P)$  value and lower B value. The turbidity removal efficiency is higher at a larger  $\eta$  value, while the value of UV-254 is lower at a lower  $\eta$  value. It is more efficient to reduce permanganate index using potassium permanganate as coagulant aid.

**Key words:** Composite flocculants; turbidity removal; UV-254; TOC; permanganate index

随着水体污染的日益普遍和逐渐加重, 许多水源的水质开始恶化; 生活水平的不断提高, 使人们对饮用水水质提出了更加严格的要求<sup>[1]</sup>。建设部新颁布的《城市供水水质标准》也对饮用水水质提出了更高的要求。絮凝是传统净水工艺中的重要一环。絮凝剂是絮凝法水处理技术的核心<sup>[2]</sup>。而传统药剂难以适应目前的原水水质状况以达到新的水质标准。因此迫切需要研究开发高效、经济及方便可行的新型絮凝剂。

复合聚合铁有机铵盐絮凝剂是一种复合型高分子絮凝剂, 该复合絮凝剂的无机原料聚合氯化铁 (PFC) 具有对水温变化并不敏感、腐蚀性相对来讲较弱、絮体密度沉降速度快等优点, 但对水溶性的不易形成胶体的污染物处理效果较差, 且单独使用投加量及污泥量较大。本文使用的高分子有机聚合物 (JY-01) 是一种具有高正电荷的阳离子絮凝剂, 在水处理中由于同时拥有电中和与吸附架桥两种功能, 具有非常好的水处理效果, 但同时存在成本较高, 水中残留单体不易清除等缺点。将二者复合后可充分发挥有机、无机絮凝剂各自的特点, 通过协同效应提高絮凝剂的絮凝效果, 减少它的用量并扩大它的使用范围。

本文主要研究 PFC—JY-01 对两种不同地表水的絮凝效果, 同时考察 PFC—JY-01 各项配比对絮凝效果的影响, 为 PFC—JY-01 在供水中的应用奠定理论基础。

### 1 实验部分

#### 1.1 实验仪器及材料

<sup>1</sup> 基金项目: 国家自然科学基金项目(50578089); 山东省自然科学基金项目 (Y2005B06)

\*通讯联系人: 高宝玉, 通讯地址: 济南市山大南路 27 号山东大学环境科学与工程学院, 邮编: 250100, 电话: 0531-88364832, E-mail: bygao@sdu.edu.cn

### 1.1.1 实验仪器

DC-506 型六连搅拌机、MP200B 型电子天平、2100P 型浊度计、UV-754 型分光光度计、TOC5000A 型 TOC 测定仪、水浴锅

### 1.1.2 实验材料

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (A.R)、无水  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (A.R)、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  (A.R)、JY-01 ( $\eta=0.72$ 、 $\eta=1.02$ 、 $\eta=1.21$ )、 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  (G.R)、 $\text{KMnO}_4$  (A.R)、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  (A.R)

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 PFC-JY-01 的制备

取一定量的  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  固体于烧杯中，加入一定量蒸馏水，在 78-1A 型磁力加热搅拌器的搅拌下慢慢加入  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  粉末至预定碱化度，按照磷、铁摩尔比为 0.08 的比例加入一定量的  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  粉末，然后向不同 B 值的 PFC 溶液中加入一定量的 JY-01 聚合物，以制备具有不同 B 值、不同 w(P)值的 PFC-JY-01 的复合絮凝剂，制得产品的有效浓度(以 Fe 的质量百分比含量计)为 7%左右。

#### 1.2.2 PFC-JY-01 絮凝效果试验

于快速搅拌下 (120r/min) 向 500ml 水样中加入一定量的絮凝剂 (以 Fe 的浓度计)，快搅 3min 后转入慢搅 (40r/min) 10min，静沉 15min 后，取一定高度上清液测定相关水质指标。

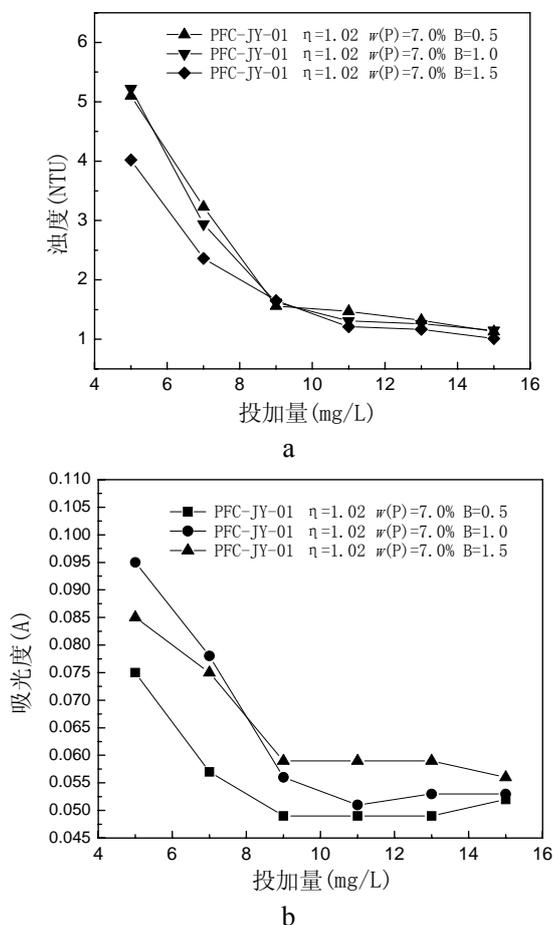
## 2. 结果与讨论

### 2.1 卧虎山水库水絮凝效果

卧虎山水库地处济南南部山区，是济南市的重要水源地。原水水质为：浊度=44.8 (NTU)，UV254=0.116，TOC=12.62 (ppm)。

#### 2.1.1 B 值对絮凝效果的影响

分别采用具有不同 B 值 (0.5、1.0、1.5) 的 PFC—JY-01 ( $\eta=1.02$ ， $w(\text{P})=7.0\%$ ) 在同一投加量范围内进行絮凝试验，取一定高度上清液测定浊度、UV-254，考察 B 值对絮凝效果的影响。试验结果如图 1 所示：



### 图 1 B 值对絮凝效果的影响

图 1a 表示 B 值变化对除浊效果的影响。从该图中可以看出，在试验投加量范围内，剩余浊度随投加量的增加而减小，B 值最低 (B=0.5) 的 PFC—JY-01 除浊效果最好，但不同 B 值的复合絮凝剂除浊效果相差不大。图 1b 表示 B 值变化对 UV-254 去除效果的影响，呈现出与除浊相似的规律。这种现象与其它铁盐絮凝剂的研究结果极为相似：研究发现，PFS 的絮凝性能随碱化度的增高而下降<sup>[3]</sup>。Tang&Stumm<sup>[4]</sup>通过对慢速滴碱方式制备的 PFC 研究发现随着 B 值的增加，PFC 的絮凝效能明显下降，表现出与 PFS 类似的情形。这是因为碱化度较低时，其 Fe(III) 的形态以低聚物为主，胶粒电荷量大，可发挥较佳的电荷中和而凝聚脱稳作用，且伴随着 Fe(III) 的快速水解聚合，可发挥较佳的专属吸附、粘结架桥及卷扫絮凝作用，故有较佳的絮凝效果；碱化度较高时，Fe(III) 的形态逐渐转化为以低电荷的高聚物为主，投加后易转化为 Fe(OH)<sub>3</sub> 沉淀物，难以发挥电荷中和而凝聚脱稳作用，更多地表现出粘结架桥和卷扫絮凝作用，絮凝效果明显降低<sup>[5]</sup>。

### 2.1.2 w(P)对絮凝效果的影响

分别采用具有不同 w(P) 值 (0%、3.5%、7.0%、14.0%) 的 PFC—JY-01 (B=1.0、 $\eta=1.02$ ) 在同一投加量范围内进行絮凝效果试验，取一定高度上清液测定浊度、UV-254，考察 w(P) 值对絮凝效果的影响。试验结果如图 2 所示：

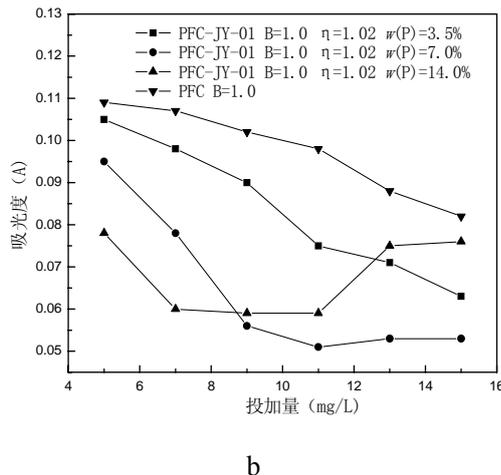
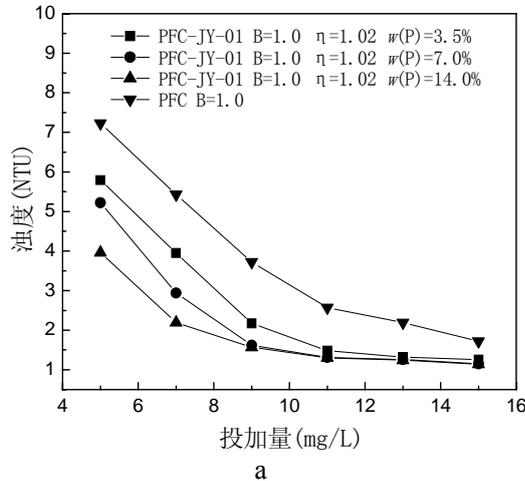


图 2 w(P)对絮凝效果的影响

图 2a 表示在试验投加量范围内 w(P) 值对 PFC—JY-01 除浊效果的影响。可以看出：在低投加量下，w(P)=14.0% 的 PFC—JY-01 即具有相对较好的除浊效果；随着 w(P) 值的减小，除浊性能逐渐降低；在高投加量下，除 PFC (w(P)=0%) 除浊效果相对较差外，其它 w(P) 值的 PFC—JY-01 除浊效果相差不大。该复合絮凝剂与 PFC 相比，在低投加量下即具有较好

的除浊性能，因此可以大大降低 PFC 的使用量。

图 2b 表示在试验投加量范围内  $w(P)$  值对 PFC—JY-01 絮凝后上清液 UV-254 的影响。从图中可以看出：在低投加量范围内，随着投加量的增加，UV-254 逐渐减小，且  $w(P)$  值越大，絮凝效果越好；在高投加量范围内， $w(P)=14.0\%$  的 PFC—JY-01 出现返混现象。其它  $w(P)$  值的 PFC—JY-01 絮凝后的 UV-254 随投加量的增加继续降低。由此可见，高  $w(P)$  值的 PFC—JY-01 在低投加量下即可获得较好的絮凝效果。

### 2.1.3 $\eta$ 对絮凝效果的影响

分别采用具有不同  $\eta$  值 (0.72、1.02、1.21) 的 PFC—JY-01 ( $B=1.0$ 、 $w(P)=7.0\%$ ) 在同一投加量范围内进行絮凝效果试验，取一定高度上清液测定浊度、UV-254，考察  $\eta$  对絮凝效果的影响。试验结果如图 3 所示：

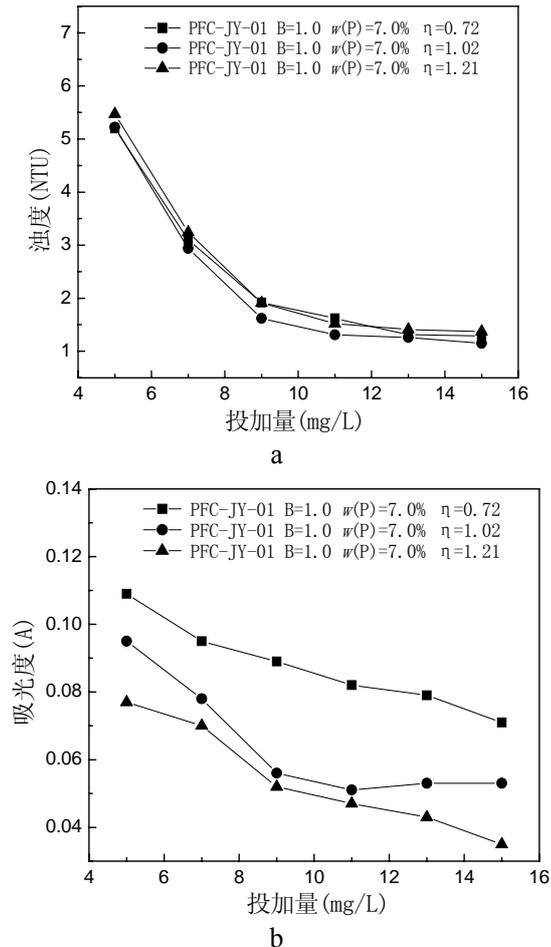


图 3  $\eta$  对絮凝效果的影响

图 3a 表示在试验投加量范围内  $\eta$  值对 PFC—JY-01 除浊效果的影响。从图中可以看出，随着投加量的增加，剩余浊度逐渐减小。不同  $\eta$  值的 PFC—JY-01 除浊效果相差不大。对于单纯使用 JY-01 而言，在最佳投药量前，JY-01 的特性粘度愈高除浊效果愈好<sup>[2]</sup>。但从上述除浊效果看，高  $\eta$  值的 PFC—JY-01 虽然略占优势，但并不明显，即 PFC—JY-01 在除浊过程中降低了对 JY-01 粘度要求，这也就相应降低 JY-01 生产工艺要求及生产成本<sup>[6]</sup>。

图 3b 表示在试验投加量范围内  $\eta$  值对絮凝后上清液 UV-254 的影响。可以看出，随着投加量的增加，UV-254 逐渐降低。 $\eta=1.21$  的 PFC—JY-01 具有相对较好的絮凝效果， $\eta$  值越小，絮凝效果越差。说明 PFC—JY-01 在去除该水样的可溶性有机物的过程中，JY-01 的  $\eta$  值即分子量会对絮凝效果产生一定影响： $\eta$  值越大，效果越好。

### 2.1.4 TOC 去除效果研究

分别使用 PFC-JY-01 ( $B=1.0$ 、 $w(P)=7.0\%$ 、 $\eta=1.02$ )， $FeCl_3$ -JY-01 ( $w(P)=7.0\%$ 、 $\eta=1.02$ )，PFC ( $B=1.0$ ) 在同一投加量范围内进行絮凝试验，取一定高度上清液测定其 TOC，考察不

同絮凝剂去除 TOC 的性能。试验结果如图 4 所示：

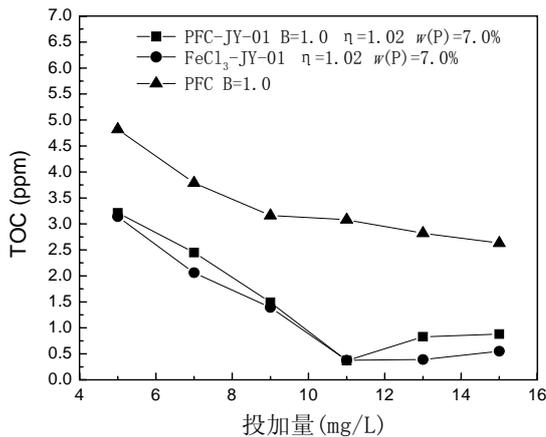


图 4 投加量与 TOC 去除效果的关系

从图中可以看出，在试验投加量范围内，TOC 随着投加量的增加逐渐降低。PFC—JY-01 和 FeCl<sub>3</sub>-JY-01 在 11mg/L 处发生返混。PFC 与 JY-01 复配后，去除 TOC 的性能较单独使用 PFC 有较大提高。由于复合絮凝剂在低投加量下即具有良好的去除效果，因此它可以大大降低絮凝剂的投加量。比较 FeCl<sub>3</sub>-JY-01 和 PFC-JY-01 可知，FeCl<sub>3</sub>-JY-01 的絮凝效果略好于 PFC-JY-01。可见，FeCl<sub>3</sub>-JY-01 对该水样 TOC 的去除具有更好的效果。

## 2.2 黄河水絮凝效果

黄河为济南市东部及北部的最主要水源地，影响其水质的主要污染物为上游冲刷的泥沙，同时上游各段排污也造成黄河有机微污染。实验黄河水水质如下：浊度为 6940NTU，高锰酸盐指数为 8.21mg/L，pH 为 8.10。

### 2.2.1 投加量对絮凝效果的影响

分别使用 PFC-JY-01 (B=1.0、η=1.02、w(P)=7%)、PFC-JY-01 (B=1.0、η=1.02、w(P)=14%)、PFC(B=1.0)、JY-01 (η=1.02) 在同一投加量范围内进行絮凝试验，取一定高度上清液测定其高锰酸盐指数和浊度。试验结果如图 5、6 所示：

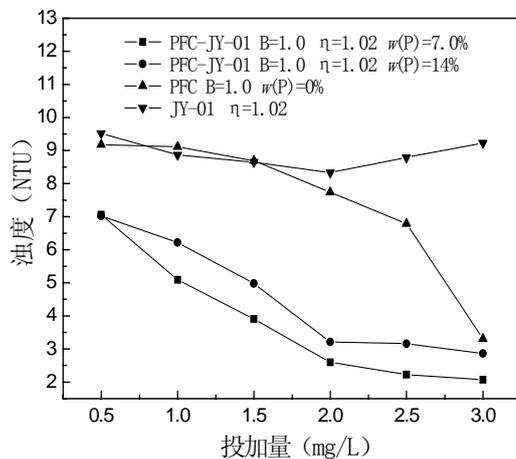


图 5 投加量与高锰酸盐指数去除效果的关系

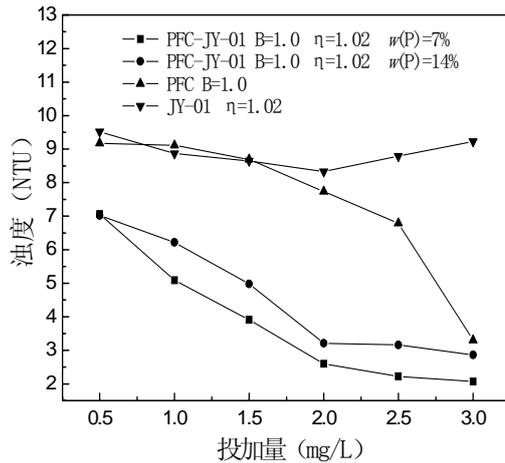


图 6 投加量与除浊效果的关系

高锰酸盐指数均随投加量的增加而减少。对于 JY-01 和 PFC 而言，在试验投加量范围内高锰酸盐指数的变化不大，效果较差。而 PFC—JY-01 复合絮凝剂的去浊效果较前者有较大提高。在低投加量下，PFC—JY-01 即能达到较好的处理效果，在高投加量下，PFC—JY-01 的处理效果要远远好于 PFC 和 JY-01。从  $w(P)$  值变化对絮凝效果的影响来看，增大它的  $w(P)$  值可以使去除效果得以提高，增强 PFC—JY-01 的絮凝能力。

在实验投加量范围内，剩余浊度随投加量的增加而呈下降趋势。JY-01 和 PFC 的处理效果较差，PFC—JY-01 在低投加量下即具有较好的除浊效果。 $w(P)=7\%$  时，PFC—JY-01 的除浊效果最好。 $w(P)=14\%$  时，除浊性能较  $w(P)=7\%$  有所降低。因此在一定  $w(P)$  范围内，PFC—JY-01 对该黄河水的除浊性能随  $w(P)$  的增大而提高，而过高的  $w(P)$  并不能得到较好的效果。可以看出，使用 PFC—JY-01 可以获得较好的除浊效果。在试验投加量范围内，PFC—JY-01 的除浊性能随着  $w(P)$  值的适当增加而增加。

可见，在对这两个水样的处理过程中，PFC—JY-01 的絮凝效果均优于单独使用 PFC 或 JY-01， $w(P)$  值变化对絮凝效果影响也现出了相似的规律。

### 2.2.2 以高锰酸钾作为助凝剂对絮凝效果的影响

单纯采用  $B=1.0$ 、 $\eta=1.02$ 、 $w(P)=7\%$  的 PFC—JY-01 时，高锰酸盐指数在投加量为  $3.0\text{mg/L}$  时的去除率仅为  $35.2\%$ ，效果一般。为考察助凝剂对絮凝效果的影响，先向水样中加入高锰酸钾，使水样中高锰酸钾的浓度为  $0.95\text{mg/L}$ ，然后用  $B=1.0$ 、 $\eta=1.02$ 、 $w(P)=7\%$  的 PFC—JY-01 进行絮凝实验（絮凝方法同前），对比加助凝剂前后两次絮凝效果，实验结果图 7、8 所示：

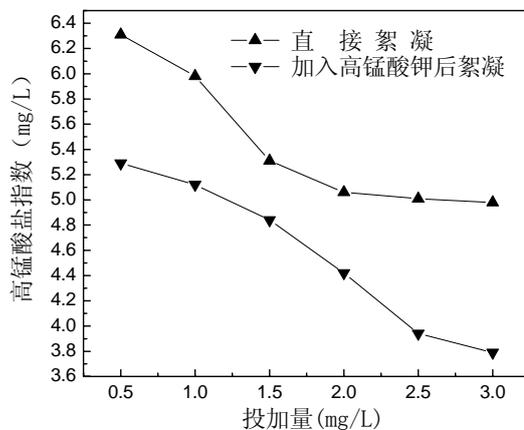


图 7 投加助凝剂与高锰酸盐指数去除效果的关系

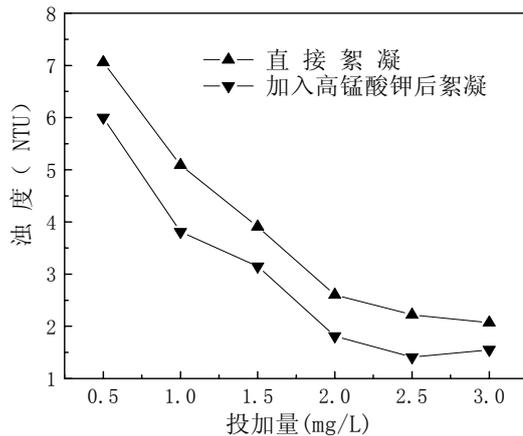


图 8 投加助凝剂与除浊效果的关系

从图 7、8 中可以看出，在相同试验条件下，加入高锰酸钾作为助凝剂后，该絮凝剂去除高锰酸盐指数和浊度的性能都得到了改进。除浊性能提高幅度相对较小。投加量为 3.0mg/L 时高锰酸盐指数的去除率由 35.2% 提高至 50.7%，因此助凝剂对高锰酸盐指数去除效果的提高相对较为明显。据文献报导<sup>[8]</sup>，水中有机物对胶体的保护作用导致絮凝剂投加量大幅度提高，加入高锰酸钾后，通过破坏有机物对胶体的保护作用，强化胶体脱稳，形成以新生态二氧化锰为核心的密实絮体。因此高锰酸钾预氧化助凝可以显著提高地表水的混凝效果，明显提高水质或降低混凝剂药耗。

### 3 结论

(1) PFC 与 JY-01 复配后，其对地表水的絮凝效果优于单独使用 PFC 或 JY-01，可以在低投加量下达到较好的处理效果。

(2) PFC 的碱化度 B、JY-01 的百分含量  $w(P)$  和  $\eta$  值是影响 PFC-JY-01 絮凝性能的重要因素。一般说来，除浊时易采用低 B 值、高  $w(P)$  值、低  $\eta$  的复合絮凝剂，而高 B 值、低  $w(P)$  值、高  $\eta$  的复合絮凝剂对降低地表水的 UV-254 更为有效。

(3) 助凝剂高锰酸钾可以使 PFC—JY-01 复合絮凝剂具有更高的去除高锰酸盐指数的能力。

### 参考文献

- [1] 肖羽堂, 张晶晶, 吴鸣等. 我国水资源污染与饮用水安全性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10 (1): 51-58
- [2] 汤鸿霄. 无机高分子复合絮凝剂的研制趋向[J]. 中国给水排水, 1999, 15 (2): 1-4.
- [3] 洪金德, 丁淼. PFS 盐基度与絮凝性能关系分析[J]. 华侨大学学报, 2005, 26 (3): 303-305.
- [4] Davenport, W.H. (1949), Determination of aluminum in presence of iron. Anal. Chem., 21: 710~711.
- [5] 胡晓霞, 史成武, 戴文娟. 不同碱化度聚合硫酸铁的除浊效果[J]. 安徽大学学报, 1996, 20 (2): 89-91.
- [6] 潘碌亭, 肖锦. 高分子絮凝剂在印染废水处理中的应用进展[J]. 工业用水与废水, 2000, 31 (5): 1-3.
- [7] 马军, 陈忠林, 李圭白等. 高锰酸盐复合药剂助凝处理高稳定性地表水[J]. 中国给水排水, 1999, 15 (9): 1-3.