

## 高锰酸钾预氧化及预氯化处理滦河水的研究<sup>\*</sup>

王丽华<sup>1</sup> 王晓昌<sup>1</sup> 金鹏康<sup>1</sup> 何文杰<sup>2</sup> 王 磊<sup>3</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. 天津自来水集团有限公司, 天津 300121; 3. 西安市自来水公司, 陕西西安 710082)

**摘要** 该研究从高锰酸钾的衰减速度着手, 综合剩余高锰酸钾浓度、气浮和过滤后出水浊度来确定高锰酸钾最佳投量范围为 0.7~1.3mg/L。比较了预氯化和高锰酸钾预氧化对出水水质及后续工艺的影响。

**关键词** 高锰酸钾 氯 预氧化 高藻水 助凝

## Study on Potassium Permanganate for Pre-oxidation and Prechlorination of Luan River Water

Wang Lihua<sup>1</sup> Wang Xiaochang<sup>1</sup> Jin Pengkang<sup>1</sup> He Wenjie<sup>2</sup> Wang Lei<sup>3</sup>

(1. School of Envir. & Muni. Eng, Xi'an, University of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. Tianjin Waterworks Group Company LTD., Tianjin 300121, China;

3. Xi'an Waterworks Company, Xi'an 710082, China)

**Abstract** Based on the pilot experiment, the study was begun to test the reaction rate of potassium permanganate with organic substance in water, considering residual concentration of potassium permanganate and turbidity after flotation and filtration. The optimum dosage of potassium permanganate was obtained between 0.7 and 1.3mg/L. The effects of pre-oxidation and pre-chlorination on quality of finished water and the influence on the subsequent operation of other unit process were compared.

**Keywords** potassium permanganate chlorine pre-oxidation high algae laden water coagulation aid

高锰酸钾作为一种强氧化剂, 广泛地被用于水处理。它可以较大程度地去除原水中的藻类、臭味等, 并发挥二氧化锰的凝核作用, 提高絮凝和沉淀效果<sup>[1]</sup>。而且高锰酸钾工艺不增加很多设备。运行费用可以接受。本文采用静态烧杯实验和动态中试实验, 在中试基础上研究滦河水在夏季高藻期高锰酸钾预氧化替代预氯化去除水中有机物和除藻的效果、比较两种氧化剂预处理后的氧化助凝作用以及对后续工艺的影响。

### 1 试验部分

#### 1.1 夏季滦河水水质

夏季滦河水处于藻类高发期, 加药后常有藻类矾花上浮。其水质见表 1。

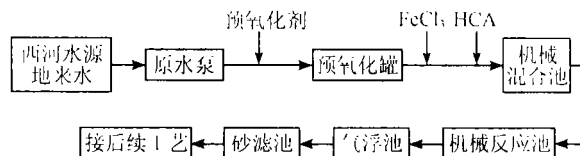
#### 1.2 试验装置

本试验分烧杯搅拌试验和中试两部分。中试系统为两套平行系统, 图 1 为系统工艺流程图。每套

系统的设计流量为 5m<sup>3</sup>/h, 每个预氧化罐水力停留时间为 10min, 搅拌转速为 80r/min。

表 1 夏季滦河水水质

| 指标       | 范围        | 指标         | 范围       |
|----------|-----------|------------|----------|
| 水温( )    | 25.5~28.5 | 氨氮(mg/L)   | 0.05~0.2 |
| 色度(度)    | 10~20     | 藻类计数(万个/L) | 800~6713 |
| 浊度(NTU)  | 10.0~20.0 | 碱度(mg/L)   | 112~120  |
| pH       | >8        | TOC(mg/L)  | 3.7~4.0  |
| 硬度(mg/L) | 150~165   |            |          |



注: 助凝剂 HCA 的有效成分, 为聚二甲基烯丙基氯化铵。

图 1 系统工艺流程图

#### 1.3 主要分析项目与方法

在实验室中利用烧杯搅拌试验模拟水厂的实际处理工艺操作, 利用静态试验并综合剩余高锰酸钾

<sup>\*</sup>基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601140)

浓度、滤后水浊度来确定高锰酸钾的最佳投加量。在中试试验的基础上研究了高锰酸钾和氯对夏季滦河水的氧化助凝作用、对有机物的去除和除藻效果及对后续工艺的影响。

主要分析项目有浊度、藻类、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 等,均采用标准分析方法<sup>[2]</sup>。

## 2 试验方法、结果与讨论

### 2.1 高锰酸钾最佳投药量的确定

利用高锰酸钾的氧化助凝作用来氧化地表水中的有机物,需要合理确定高锰酸钾投量。 $\text{KMnO}_4$ 投加量是其助凝过程的重要参数,高锰酸钾的最佳投加量既要达到对地表水的助凝作用,又由于高锰酸钾本身的色度给处理水质带来了一定的影响,若投入 $\text{KMnO}_4$ 过多,则可能存在出水Mn超标的问题。所以探讨 $\text{KMnO}_4$ 投加量与其剩余浓度之间的关系及 $\text{KMnO}_4$ 浓度随时间的变化规律有重要意义。

饮用水中要求总锰浓度小于 $0.1\text{mg/L}$ ,因而高锰酸钾在水中的限定浓度为 $[\text{KMnO}_4(158)/\text{Mn}^{2+}(54.9)] \times 0.1 = 0.288\text{mg/L}$ 。对于地表水整个处理流程经历 $2 \sim 3\text{h}$ ,所以要求高锰酸钾投入后,经历 $3\text{h}$ ,其剩余浓度要小于 $0.288\text{mg/L}$ 。

取 $\text{KMnO}_4$ 的特征吸收波长 $530\text{nm}$ ,该波长下的吸光度值可以反映 $\text{KMnO}_4$ 剩余浓度的变化情况。

作 $\text{KMnO}_4$ 浓度的标准曲线;

六个放有水样的烧杯中,分别加入 $0, 0.3, 0.7, 1.3, 1.7, 2.1\text{mg/L}$ 的 $\text{KMnO}_4$ ,随后模拟水厂的实际处理工艺操作,即以 $120\text{r/min}$ 搅拌 $20\text{min}$ ;向各烧杯中加入 $10\text{mg/L FeCl}_3$ ,以 $150\text{r/min}$ 搅拌 $1\text{min}$ ;以 $20\text{r/min}$ 搅拌 $9\text{min}$ ;静沉 $30, 60, 120, 180\text{min}$ ;

用虹吸法取液面下 $2\text{cm}$ 处上清液测定 $530\text{nm}$ 下的吸光度值,从而得到氧化时间分别为 $30, 60, 120, 180\text{min}$ 时的高锰酸钾投加量与剩余量之间的关系。实验结果见表2及图2。

表2 滦河水中加铁盐后高锰酸钾的衰减

| $\text{KMnO}_4$<br>投量<br>( $\text{mg/L}$ ) | 反应时间(min) |       |       |       |
|--------------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|
|                                            | 30        | 60    | 120   | 180   |
| 剩余 $\text{KMnO}_4$ 浓度( $\text{mg/L}$ )     |           |       |       |       |
| 0                                          | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 0.3                                        | 0.00      | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 0.7                                        | 0.027     | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 1.3                                        | 0.256     | 0.168 | 0.00  | 0.00  |
| 1.7                                        | 0.448     | 0.269 | 0.136 | 0.141 |
| 2.1                                        | 0.691     | 0.512 | 0.318 | 0.282 |

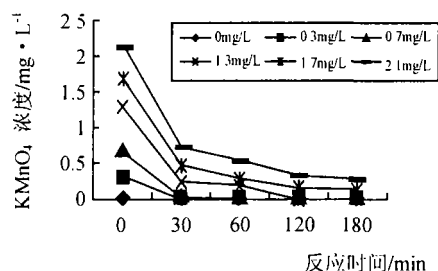


图2 滦河水中加铁盐后高锰酸钾的衰减

由表2及图2可以看出, $\text{KMnO}_4$ 的剩余浓度随时间迅速衰减,而且在最初的半小时内衰减很快,以后逐渐减慢,到 $180\text{min}$ (一般水处理工艺所需的时间)为止,剩余 $\text{KMnO}_4$ 应该在允许的限定范围( $0.228\text{mg/L}$ )之内。考虑这一因素,结合滤后浊度(水样静沉 $30\text{min}$ 后用中速中性滤纸过滤后测定浊度)情况,可以确定 $\text{KMnO}_4$ 最佳投量。结果如图3所示。

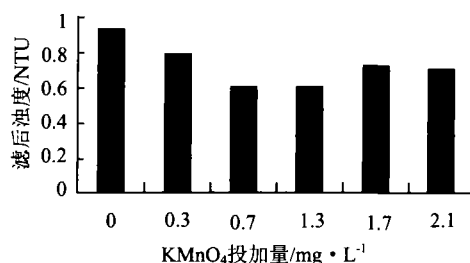


图3  $\text{KMnO}_4$ 投加量对滤后浊度的影响

综合滤后浊度和剩余高锰酸钾浓度,可知 $\text{KMnO}_4$ 的最佳投量范围是 $0.7 \sim 1.3\text{mg/L}$ 。确定了 $\text{KMnO}_4$ 的投量后,我们就可以针对不同水质投加不同量的药剂,以达到同样的处理效果。

### 2.2 高锰酸钾预氧化取代预氯化的中试试验

#### 2.2.1 高锰酸钾和氯的助凝作用的对比

高锰酸钾将水中的腐殖酸类有机物氧化成为小分子化合物,经混凝气浮之后,使水的浊度降低,再经过过滤,将高锰酸钾的还原产物二氧化锰去除。与此同时,也将水中的有机胶体物质去除。为了研究高锰酸钾氧化替代预氯化的优势,中试系统有两套完全相同的处理系统,因此可用来进行高锰酸钾预氧化和预氯化的对比试验。在试验中,两套系统的混凝剂与助凝剂均采用 $\text{FeCl}_3$ 和HCA。其助凝作用对比如表3。

表 3 KMnO<sub>4</sub> 与 Cl<sub>2</sub> 的助凝作用的比较

| 项 目     | 平均浊度<br>(NTU) | 去除率<br>(%) | 备 注                        |
|---------|---------------|------------|----------------------------|
| 原 水     | 11.5          |            | 药剂投加量分别为:                  |
| 高锰酸钾 气浮 | 1.02          | 91.1       | KMnO <sub>4</sub> 1.0mg/L  |
| 预氧化 滤后  | 0.20          | 98.3       | Cl <sub>2</sub> 1.5mg/L    |
| 气浮      | 1.93          | 83.2       | FeCl <sub>3</sub> 10.0mg/L |
| 预氯化 滤后  | 0.51          | 95.6       | HCA 0.15mg/L               |

由表 3 可看出,高锰酸钾预氧化后的气浮及过滤出水浊度的去除率分别比预氯化后高 7.9 %和 2.7 %。而且大量现场运行数据表明,高锰酸钾预氧化系统的实际加药量和滤后水浊度比预氯化系统低。由试验结果可看出,高锰酸钾具有氧化助凝作用,有可能取代氯气。

2.2.2 对 COD<sub>Mn</sub>、藻类去除效果的对比

水中有有机物成分复杂,定性和定量的测定都极为困难,所以用一些替代参数来反映水中有有机物的情况,本试验通过 COD<sub>Mn</sub>表示有机物。高锰酸钾和氯预氧化对 COD<sub>Mn</sub>、藻类的去除效果见表 4。

表 4 两种工艺对 COD<sub>Mn</sub>、藻类的去除效果比较(夏季高藻期)

| 项 目                      | 原水   | KMnO <sub>4</sub> 预氧<br>化后滤后出水 | 预氯化后<br>滤后出水 | 备 注                        |
|--------------------------|------|--------------------------------|--------------|----------------------------|
| COD <sub>Mn</sub> (mg/L) | 4.86 | 3.02                           | 3.22         | 药剂投加量为:                    |
| 去除率 (%)                  |      | 37.9                           | 33.7         | KMnO <sub>4</sub> 1.0mg/L  |
| 藻类计数<br>(万个/L)           | 4306 | 1891                           | 1563         | Cl <sub>2</sub> 1.5mg/L    |
| 去除率 (%)                  |      | 56.1                           | 63.7         | FeCl <sub>3</sub> 10.0mg/L |
|                          |      |                                |              | HCA0.15mg/L                |

对 COD<sub>Mn</sub>的去除率高锰酸钾预氧化比预氯化高 7.6 %,可见在去除有机污染物方面 KMnO<sub>4</sub> 的处理效果较好;而 KMnO<sub>4</sub> 的除藻率略差,高锰酸钾预氧化和预氯化的除藻率分别为 56.1 %和 63.7 %。虽然两系统除藻率都较高,但因为原水藻类含量很高(一般在 4000 ~ 5000 万个/L 左右),使滤后水也都在 1000 万个/L 上下,如此高的含藻量不仅会给滤池运行带来麻烦,使滤池反冲洗次数和能耗增加,还易使细菌重新生长,且个体尺寸细小的藻类也会穿透滤层而增加出水的臭味<sup>[3]</sup>。

2.2.3 高锰酸钾预氧化和预氯化对后续工艺的影响

试验在中试模型的基础上研究了高锰酸钾预氧化和预氯化后过滤工艺工作周期的长短。图 4 中的两条曲线分别是采用预氯化和高锰酸钾预氧化之后,滤床的工作情况。

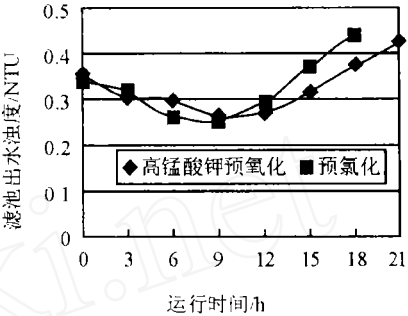


图 4 预氯化和高锰酸钾预氧化后滤床的工作情况

由图 4 可见,采用高锰酸钾预氧化处理的曲线较预氯化的曲线平缓,曲率较小,其物理解释为:采用高锰酸钾氧化处理所形成的絮体可能比较细小,因而使滤层的含污能力趋于饱和较慢,出水浊度变化缓慢。

3 结 论

高锰酸钾随时间呈衰减趋势,在初始阶段衰减较快,以后逐渐降低其衰减速度。高锰酸钾的最佳投药量范围是 0.7 ~ 1.3mg/L ;

高锰酸钾预处理对夏季滦河水有氧化助凝作用,高锰酸钾预氧化后出水浊度比预氯化后低;

KMnO<sub>4</sub> 预氧化在去除有机污染物方面的效果要好于预氯化,而 KMnO<sub>4</sub> 的除藻率略差于预氯化;

在中试系统中,采用高锰酸钾预氧化取代预氯化,滤池的运行周期增长,滤层的含污能力趋于饱和和过程较慢。

参考文献

1 罗岳平,邱振华,李宁等. 高锰酸钾在给水处理中的应用分析[J]. 中国给水排水,2001,17(11)  
2 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法,第三版[M]. 北京:中国环境科学出版社,1997  
3 张杰,臧景红,刘俊良等. 高锰酸钾预氧化替代预氯化的实用性[J]. 中国给水排水,2002,18(1)

收修改稿日期:2004-10-13

第一作者简介:王丽华,1980 年出生,女,西安建筑科技大学硕士,研究方向为水处理理论与技术。电话:13891930992;E-mail:Laurel1980@163.com.