

# 高锰酸钾预氧化与预氯化协同预处理再生水原水

林杨杰, 田一梅, 吴云龙

(天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072)

**摘要:** 针对再生水厂原水高色度、高COD的特殊水质,提出了高锰酸钾预氧化+预氯化协同预处理技术。研究表明,该预处理方法强化了混凝沉淀—微滤工艺对色度和COD的去除效果,同时提高了滤膜的反洗恢复率。结合水厂设备配置等因素,确定最佳预氯化投量为4~5 mg/L、最佳高锰酸钾投量为0.4~0.5 mg/L。

**关键词:** 再生水; 高锰酸钾预氧化; 预氯化

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)01-0118-04

## Synergistic Effect of Potassium Permanganate Pre-oxidation and Pre-chlorination in Pretreatment of Reclaimed Raw Water

LIN Yang-jie, TIAN Yi-mei, WU Yun-long

(School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Considering the high color and high COD concentration in the reclaimed water, a pre-treatment process of potassium permanganate pre-oxidation coordinated with pre-chlorination was proposed. The process could improve the COD and color removal performance of coagulation sedimentation/microfiltration system. Meanwhile, it could improve the backwashing efficiency of microfiltration system. Based on the equipment allocation and other factors, the optimal pre-chlorination dosage was proposed to be 4 to 5 mg/L, and the optimal potassium permanganate dosage was 0.4 to 0.5 mg/L.

**Key words:** reclaimed water; potassium permanganate pre-oxidation; pre-chlorination

再生水处理工艺中一般在混凝前采用预氯化方法对原水进行氧化、助凝和微生物控制。但在某些特殊水质条件下,当原水中有有机物含量较高时,氯与过多的有机物反应,一方面不能维持水中必需的余氯量;另一方面会生成较多对人体有害的消毒副产物,且在后续工艺中难以去除,降低了出水的化学安全性。

解决上述问题的常用方法是投加高锰酸钾进行预氧化。于德森等<sup>[1]</sup>通过投加高锰酸盐复合药剂强化混凝。罗岳平等<sup>[2]</sup>在给水处理中通过投加高锰酸钾氧化有机物,当高锰酸钾投量为0.5~2.5 mg/L时,可以氧化大多数有机物,投量为0.6~1.2 mg/L时,可以使出水TON(嗅阈值)<3。孙子为

等<sup>[3]</sup>利用高锰酸钾预氧化取代预氯化降低三卤甲烷(THMs)的生成势。但是,高锰酸钾对细菌和藻类的灭活能力较弱,可能导致细菌和藻类在构筑物中滋生,影响再生水的处理效果。

因此,为了强化高锰酸钾预氧化工艺的杀菌效能,采用其他药剂与高锰酸钾联用的方法处理再生水<sup>[4]</sup>。笔者采用高锰酸钾预氧化与预氯化相结合的预处理方法处理再生水原水,并探讨了高锰酸钾预氧化+预氯化处理的可行性。

### 1 试验材料和方法

#### 1.1 原水水质

采用北方某城市再生水厂的原水作为中试进水,该原水为污水处理厂二级出水,由于某些工业污

污染源超标排放致使污水处理厂处理效果不稳定,导致再生水原水水质突变,特别是色度超标严重,COD、氨氮等也有不同程度的超标。具体水质如下:浊度、色度、pH 值分别为 3.62 ~ 10.1 NTU、40 ~ 75 倍、6.92 ~ 7.18, COD、氨氮、TP、SS、TDS、LAS、总硬度(以  $\text{CaCO}_3$  计)、总碱度分别为 32.4 ~ 83.4、1.15 ~ 16.2、0.62 ~ 3.66、5 ~ 22、1 171 ~ 1 438、0.073 ~ 0.147、337 ~ 390、240 ~ 288  $\text{mg/L}$ 。

## 1.2 工艺流程

中试规模为  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ , 工艺流程如图 1 所示。

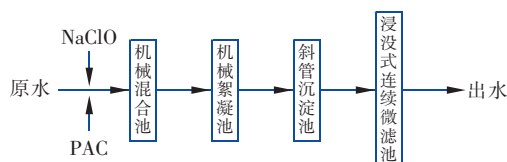


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of process

原水经提升泵进入机械混合池,依靠重力流依次流经 4 级机械絮凝池、斜管沉淀池,再经水泵提升至高位水箱后,流入浸没式连续微滤(CMF-S)池。微滤池膜孔径为  $0.1 \mu\text{m}$ ,有效容积为  $0.29 \text{ m}^3$ ,微滤系统运行通过 PLC 实现自控。

混凝剂采用聚合氯化铝(PAC),同时投加次氯酸钠进行预氯化,在混合池前利用蠕动泵将高锰酸钾加入混合池,高锰酸钾、PAC 与  $\text{NaClO}$  在混合池内完成混合后,流入絮凝池。

在 PAC 投量为  $8 \text{ mg/L}$  的条件下,研究高锰酸钾投量分别为 0、0.3、0.4、0.5、0.6  $\text{mg/L}$  及预氯化投量分别为 3、4、5、6  $\text{mg/L}$  时,对混凝沉淀—微滤工艺的处理效果及微滤膜反洗恢复率的影响。

## 1.3 分析方法

浊度采用便携式浊度仪(2100P)测定,色度采用目视比色法测定,余氯采用便携式余氯仪(DR890)测定, COD 采用便携式 COD 分析仪(DRB200, DR2700)测定,跨膜压差(TMP)由 PLC 实时记录。

## 2 结果与讨论

### 2.1 对高色度原水的处理效果

首先将配制的染料投加到混合池中模拟高色度原水,其进水色度为 75 ~ 115 倍,然后采用高锰酸钾预氧化 + 预氯化进行预处理,并与单独预氯化的处理效果进行对比,微滤出水后对色度的去除效果如

图 2 所示。

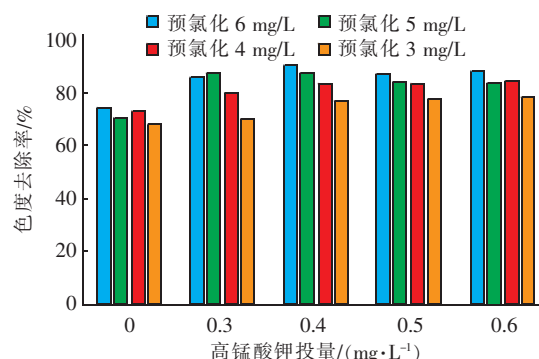


图 2 不同高锰酸钾和预氯化投量下对色度的去除率

Fig. 2 Removal rate of chroma in different potassium permanganate and pre-chlorination dosages

由图 2 可知,若不投加高锰酸钾,则预氯化投量为  $6 \text{ mg/L}$  时对色度的去除率最高。采用高锰酸钾预氧化和预氯化协同预处理工艺后,高锰酸钾投量相同时(除了投量为  $0.3 \text{ mg/L}$  的情况),对色度的去除率总体上也是随着预氯化投量的降低而下降,并且预氯化投量低于  $5 \text{ mg/L}$  时,对色度的去除率下降速度较快。另外,预氯化投量相同时,随着高锰酸钾投量的增加,对色度的去除率呈现先增大后稳定的规律,当预氯化投量分别为 6、5、4、3  $\text{mg/L}$  时,对色度的最大去除率分别为 89.6%、87.2%、83.8%、77.8%,此时对应的高锰酸钾投量依次为 0.4、0.4、0.6、0.6  $\text{mg/L}$ 。由此可以看出,高锰酸钾预氧化 + 预氯化协同预处理工艺整体上对色度的去除率有所提高,并且处理效果优于单独预氯化。

单独预氯化与高锰酸钾预氧化 + 预氯化协同预处理方法对高色度水中浊度的去除率相差不大,大都在 90% 左右。因此,综合考虑高锰酸钾投量、预氯化投量、对色度去除效果以及水厂加氯设备配置等因素,确定预氯化最佳投量为  $5 \text{ mg/L}$ 、高锰酸钾最佳投量为  $0.4 \text{ mg/L}$ ,其去除效果与仅采用预氯化处理方法(预氯化投量为  $6 \text{ mg/L}$ )相比,对色度的去除率提高了 17.8%。

### 2.2 对高 COD 原水的处理效果

原水中的小分子有机物可能优先消耗氯,通过测定不同加氯条件下 COD 的变化情况验证这一推断。结果表明,随 COD 的衰减余氯被消耗,说明 COD 是主要耗氯因素。将进水 COD 浓度提高到  $90 \text{ mg/L}$ ,然后对比单独预氯化与高锰酸钾预氧化 + 预氯化协同预处理方式对高 COD 原水的处理效果,结

果如图3所示。

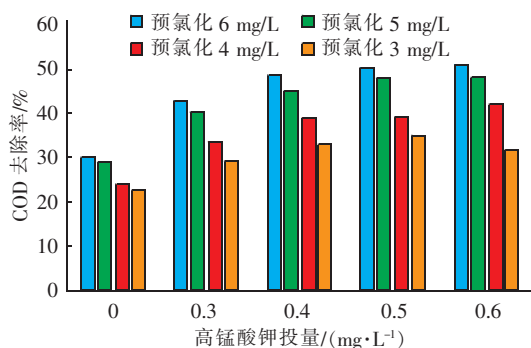


图3 不同高锰酸钾和预氯化投量下对COD的去除率

Fig. 3 Removal rate of COD in different potassium permanganate and pre-chlorination dosages

高锰酸钾的氧化作用能够增强部分有机物的极性,使其从被吸附颗粒表面脱附,改变胶体颗粒的 $\zeta$ 电位,从而使胶体颗粒脱稳。腐殖酸能对水中的胶体产生很强的保护作用,高锰酸钾的氧化作用能增强腐殖酸等大分子的腐殖性,并相互螯合,易于混凝。经过高锰酸钾氧化后会产生二氧化锰,二氧化锰具有很高的活性,能形成以水合二氧化锰为核心的密实絮体,也能通过催化和吸附等作用提高对水中有机污染物的去除效果<sup>[5]</sup>。高锰酸钾作为一种强氧化剂,提高了混凝沉淀—微滤工艺对COD的去除率。

由图3可知,与单独预氯化相比,采用高锰酸钾预氧化+预氯化协同预处理方法后对COD的去除率有显著提高,最高提高了69.8%。而且除了预氯化投量为3 mg/L外,随着高锰酸钾投量的增加,对COD的去除率均逐渐增大,只是当高锰酸钾投量超过0.4 mg/L时,对COD的去除率增长明显减缓。另一方面,单独预氯化或在同一高锰酸钾投量下,预氯化投量越高,对COD的去除率越高。

综上所述,高锰酸钾投量宜为0.4 mg/L、预氯化投量宜为5 mg/L,其处理效果与单独预氯化(投量为6 mg/L)相比,对COD的去除率提高了56.7%。

### 2.3 对微滤膜反洗恢复率的影响

浸没式连续微滤膜采用恒液位过滤,利用连续在线压力记录仪记录微滤系统跨膜压差与运行时间和投药量的关系。利用公式(1)将跨膜压差换算成反洗恢复率,用以评价气水反洗效果的好坏,结果如图4所示。

$$\eta = \frac{(TMP_1 - TMP_2)}{TMP_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $\eta$ 为反洗恢复率,%;TMP<sub>1</sub>为系统运行周期结束时的跨膜压差,kPa;TMP<sub>2</sub>为系统运行周期开始时的跨膜压差,kPa。

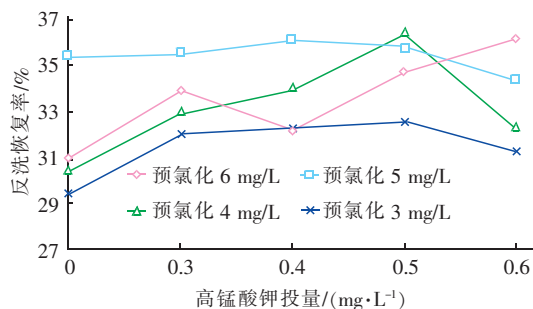


图4 不同高锰酸钾和预氯化投量下微滤膜反洗恢复率的变化

Fig. 4 Change of backwash recovery rate in different potassium permanganate and pre-chlorination dosages

由图4可知,在预氯化投量为3、4、6 mg/L时,高锰酸钾预氧化+预氯化方法中微滤膜的反洗恢复率明显好于单独预氧化的,并且在高锰酸钾投量为0.5 mg/L时达到最大值或较大值;但在预氯化投量为5 mg/L时,两种方法的微滤膜反洗恢复率相差无几。由此可见,高锰酸钾预氧化+预氯化方法能在一定程度上提高微滤膜的反洗恢复率。但当预氯化投量过高时,反洗恢复率反而降低。因此最佳预氯化投量为4 mg/L、最佳高锰酸钾投量为0.5 mg/L或最佳预氯化投量为5 mg/L、最佳高锰酸钾投量为0.4 mg/L,此时微滤膜的反洗恢复率相对较高,与单独预氯化(投量为6 mg/L)相比,分别提高了17.4%和16.4%。

### 3 结论

针对再生水厂原水高色度、高COD的特殊水质,提出了高锰酸钾预氧化+预氯化协同预处理技术,其强化了混凝沉淀—微滤工艺对色度和COD的去除率,并在一定程度和范围内提高了微滤膜的反洗恢复率,但对浊度去除率的影响不大。综合考虑高锰酸钾投量、预氯化投量、对色度和COD的去除效果、微滤膜反洗恢复率以及水厂加氯设备的配置等问题,确定最佳预氯化投量为4~5 mg/L、最佳高锰酸钾投量为0.4~0.5 mg/L,其去除效果与单独预氯化(投量为6 mg/L)技术相比,对色度的去除率

(下转第125页)