

# 高效混凝处理浑江微污染水的中试试验

王雪松<sup>1,2</sup>, 黄继国<sup>1</sup>, 李绪谦<sup>1</sup>, 冯慧敏<sup>2</sup>, 刘 宁<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 环境与资源学院, 长春 130026; 2. 长春水务集团, 长春 130028)

**摘要:**以受到工业废水污染的吉林省浑江水源为研究对象,采用高效混凝沉淀净水技术在低温低浊期进行生产性中试试验。通过药剂筛选试验确定的最佳药剂配合条件为:聚合氯化铝铁 30 mg/L 与聚丙烯酰胺 0.2 mg/L。设备生产性试验表明,在 2.0~3.0 m<sup>3</sup>/h 负荷范围内,保证处理出水满足工业用水水质标准。玻璃柱絮凝试验结果显示原水温度的上升对混凝效果是有利的。

**关键词:**水处理;微污染水;低温低浊高色度;高效混凝沉淀;工业用水水质

**中图分类号:**TU991 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2008)03-0662-04

## Pilot-scale experiment of high-effect coagulation of micro-polluted water

Wang Xue-song<sup>1,2</sup>, Huang Ji-guo<sup>1</sup>, Li Xu-qian<sup>1</sup>, Feng Hui-min<sup>2</sup>, Liu Ning<sup>1</sup>

(1. College of Environment and Resource, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Changchun Water Supply Group, Changchun 130028, China)

**Abstract:** High-effect coagulating pilot-scale experiment on Hun River water source, contaminated by industrial sewage, was carried out in low temperature and low turbidity period. The optimum dosage was determined as: Polyaluminum ferric chloride (PAFC) 30 mg/L and Polyacrylamide (PAM) 0.2 mg/L. Furthermore the pilot-scale experiment results show that in the loading range from 2 to 3 m<sup>3</sup>/h, the processed water can reach the standard for industry utilization. It is also shown that increasing the water temperature can enhance the effect of coagulation.

**Key words:** water treatment; micro-polluted water; low temperature & turbidity and high chromaticity; hi-effect coagulation; industry water standard

目前常规工艺对低温低浊微污染水的处理能力有限<sup>[1]</sup>,预处理及深度处理技术虽然可以达到较好的处理效果<sup>[2]</sup>,但由于增加了建设投资及制水成本并且操作复杂,影响了其推广和应用<sup>[3]</sup>。作者采用高效混凝沉淀净水技术进行生产性中试试验,以探索适合北方地区微污染水源的净化工艺。试验时间选择水质条件最为恶劣的低温低浊的冬季枯水期。

## 1 试验装置与条件

### 1.1 试验装置

中试试验模型采用高效混凝沉淀净水技术,相应设备包括微涡管式混合器、微涡网格絮凝设备、小矩形斜板沉淀设备,图1为试验装置简图。

试验设备整体外型尺寸为 1320 mm × 840 mm × 2630 mm,设计水量为 2.5 m<sup>3</sup>/h,混合时间

收稿日期:2007-03-01.

基金项目:国家自然科学基金项目(20777027);吉林大学“985工程”项目。

作者简介:王雪松(1974-),男,博士研究生.研究方向:水土污染控制与治理. E-mail:vanxs@sohu.com

通讯联系人:黄继国(1967-),男,教授.研究方向:环境工程. E-mail:huangxu67@sohu.com

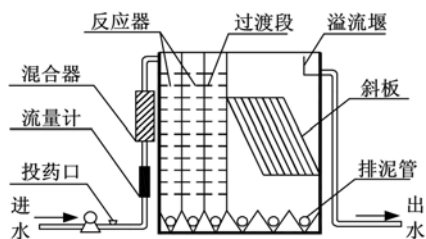


图1 中试试验装置图

Fig. 1 Pilot-scale experimental set-up

为2 s,反应时间为13.6 min,斜板沉淀池板间上升流速为2 mm/s。当考虑预留20%处理潜力时设计水量为3 m<sup>3</sup>/h,此时混合时间为1.5 s,反应时间为11.3 min,斜板间上升流速为2.5 mm/s。

### 1.2 原水情况

试验地点选在通钢自备水厂取水泵站。原水取自泵站汲水池,经流量计计量后进入处理设备。试验期间原水水温0~5℃,原水浊度10~30 NTU,色度为150~200, COD<sub>Cr</sub>为20~30 mg/L, pH值为5~7。

### 1.3 试验药剂

试验混凝药剂选用碱式氯化铝(PAC)及聚合氯化铝铁(PAFC),助凝剂为活化硅酸和聚丙烯酰胺(PAM)。

## 2 试验方法

针对所选择的混凝剂、助凝剂,在试验设备设计水量(2.5 m<sup>3</sup>/h)条件下分别进行了配合处理试验。通过对比出水浊度、COD及色度情况,并充分考虑经济因素筛选最优药剂配合条件。通过有机玻璃柱絮凝试验考察不同水温条件对絮凝效果的影响情况。在此基础上,对中试设备进行极限负荷试验以及为期20 d的连续运行试验,考察设备处理能力。

## 3 试验结果及讨论

### 3.1 单独投加混凝剂处理试验

在原水条件基本不变、处理规模为2.5 m<sup>3</sup>/h的条件下,分别对碱式氯化铝(PAC)及聚合氯化铝铁(PAFC)进行不同投加量的处理试验,试验结果见图2。从图2中数据显示出PAC处理出水最佳浊度为5.2 NTU时投加量为100 mg/L;而PAFC处理出水浊度达到5.1 NTU时投加量为80 mg/L。由此可见单独投加混凝剂进行处理,不仅投加大,而且出水水质均未达到工业用

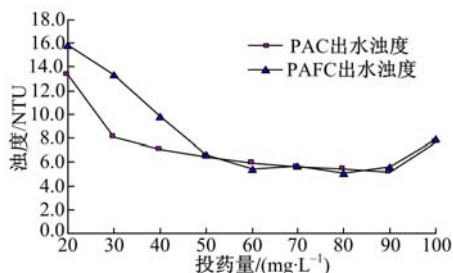


图2 混凝剂投加量试验结果

Fig. 2 Results of the coagulants dosage experiment

水水质要求,因此需进一步选择助凝剂进行配合处理试验。

### 3.2 助凝剂配合碱式氯化铝处理试验

选择活化硅酸和聚丙烯酰胺(PAM)作为助凝剂,分别与碱式氯化铝(PAC)进行不同投加量的配合处理试验,设备处理规模为2.5 m<sup>3</sup>/h。考察处理出水浊度情况,试验结果见表1。

由表1可以看出在助凝剂配合下,出水浊度可以满足工业用水水质要求。其中活化硅酸投加量为8 mg/L、PAC投加量为50 mg/L时,出水效果最佳,为2.2 NTU。而PAM投加量为0.4 mg/L、PAC投加量为50 mg/L时,出水浊度达到1.5 NTU。

表1 助凝剂配合碱式氯化铝处理效果

Table 1 Treating results of coagulant aids combined with PAC

PAC 投加量 /(mg·L <sup>-1</sup> )	活化硅酸投加量 /(mg·L <sup>-1</sup> )		PAM 投加量 /(mg·L <sup>-1</sup> )	
	5	8	0.2	0.4
20	7.2	6.4	6.0	4.1
30	5.4	3.0	3.3	3.0
40	3.2	2.3	2.1	2.2
50	2.7	2.2	2.0	1.5
60	5.4	3.5	3.3	3.8
70	9.5	4.7	5.8	7.4

由于助凝剂价格较高,在满足用水水质要求的前提下,从经济角度考虑选择PAC投加量为40 mg/L、活化硅酸投加量为5 mg/L以及PAC投加量为40 mg/L、PAM投加量为0.2 mg/L的两种组合进行最优药剂配合条件对比筛选。

### 3.3 聚合氯化铝铁配合助凝剂处理试验

选择活化硅酸和聚丙烯酰胺(PAM)作为助凝剂,分别与聚合氯化铝铁(PAFC)进行配合处理试验,考察出水浊度情况,试验结果见表2。

表2 聚合氯化铝铁配合助凝剂处理效果  
Table 2 Treating results of coagulant aids combined with PAFC

PAC 投加量 /(mg · L <sup>-1</sup> )	活化硅酸投加量 /(mg · L <sup>-1</sup> )		PAM 投加量 /(mg · L <sup>-1</sup> )	
	5	8	0.2	0.4
20	10.6	8.4	8.5	7.3
30	7.2	5.1	4.3	3.1
40	4.8	3.2	3.2	2.4
50	4.3	3.7	4.4	1.7
60	6.1	4.9	6.3	2.4
70	8.7	6.6	10.5	5.3

表2中数据显示活化硅酸投加量为8 mg/L、PAFC投加量为40 mg/L时,处理效果最佳,出水浊度为3.2 NTU。而对于PAM与PAFC的药剂组合来说,最佳处理效果为投加量分别为0.4 mg/L及50 mg/L,出水浊度达到1.7 NTU。

在此条件下综合考虑处理出水达标及经济效益,选择PAFC投加量为40 mg/L、活化硅酸为5 mg/L以及PAFC投加量为30 mg/L、PAM为0.2 mg/L的两种组合作为最优药剂配合条件对比筛选。

### 3.4 各药剂组合条件下出水色度及COD<sub>Cr</sub>对比

对于浑江微污染原水,色度及COD<sub>Cr</sub>是其最为重要且处理难度最大的两项指标。上述四种药剂组合条件下,处理出水均能满足工业用水水质要求,且充分考虑了经济因素<sup>[4]</sup>。选择其出水进行色度、COD<sub>Cr</sub>对比研究,从而确定最优药剂试验条件,对比结果见表3。

表3 原水色度、COD<sub>Cr</sub>去除情况

试验条件	色度/(°)			COD <sub>Cr</sub> /(mg · L <sup>-1</sup> )		
	原水	出水	去除率/%	原水	出水	去除率/%
PAC+活化硅酸	190	25	86.8	23.4	12.0	48.8
PAC+PAM	194	18	90.7	22.6	14.1	37.8
PAFC+活化硅酸	193	29	85.0	25.3	14.1	44.3
PAFC+PAM	196	14	92.9	24.7	12.9	47.9

从表3的对比数据中可以看出,四种组合条件对原水色度及COD<sub>Cr</sub>均能够保证较高的去除率。其中在PAFC与PAM投加量分别为30 mg/L及0.2 mg/L的条件下,对色度的去除率达到92.9%,COD<sub>Cr</sub>的去除率达到47.9%。出水完全可以达到工业用水水质的标准。因此对于浑江微污染原水的最佳药剂配合为PAFC与PAM的

投加量分别为30 mg/L及0.2 mg/L。

### 3.5 温度条件对絮凝效果的影响

水温对絮凝效果有明显的影响<sup>[5,6]</sup>。因此,现场加热原水水样,控制不同温度条件分别加入3个有机玻璃柱中。投加相同剂量的混凝剂和助凝剂,控制相同的水力条件进行絮凝试验。观察矾花形成及沉降情况,并检测出水浊度,对比情况见表4。

表4 水温条件对絮凝效果的影响

Table 4 Effect of water temperature on coagulation			
水温/°C	矾花粒径/mm	沉降速度/(cm · min <sup>-1</sup> )	浊度/NTU
0	0.2	2.1	3.7
3	0.5	3.1	3.6
7	0.6	3.5	3.2

表4的试验数据显示,随着原水水温的升高,矾花粒径及沉降速度都明显提高,出水浊度也由3.7 NTU降低到3.2 NTU。由此可见,在低温低浊期浑江原水水质条件变化不大的情况下,水温成为影响絮凝效果的重要因素。

### 3.6 设备极限负荷试验

选择最优药剂配合条件,即PAFC投加量为30 mg/L、PAM投加量为0.2 mg/L,进行设备极限负荷试验。试验期间原水水质条件变化不明显,仍为低温低浊、高色度原水。

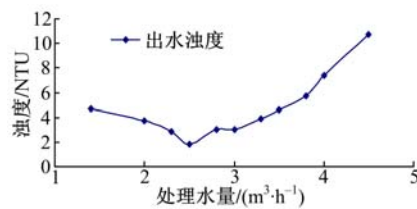


图3 设备极限负荷试验结果

Fig. 3 Results of set-up limit hydraulic loading experiment

极限负荷试验数据显示,处理水量在2.0~3.0 m<sup>3</sup>/h范围内时,出水水质稳定在5 NTU以下,其中在设计处理规模为2.5 m<sup>3</sup>/h时,处理出水浊度为3 NTU,满足工业用水水质要求。说明试验设备设计参数选择合理,可以达到设计负荷。

### 3.7 连续运行试验

在最优药剂配合条件、处理水量2.5 m<sup>3</sup>/h的条件下,进行设备连续运行试验。试验在原水水质变化前,共进行了20 d,处理出水水质稳定达标,选择其中较为典型的一天,试验数据如图4。

图4的试验数据说明,受到上游工厂不定期排污的影响,原水水质在一定范围内波动。经过

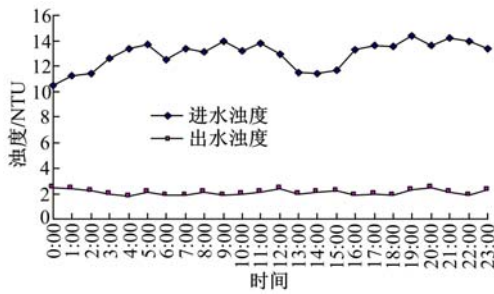


图 4 连续运行试验结果

Fig. 4 Results of set-up continuous operating experiment 处理后,出水浊度都控制在 2~4 NTU 范围内,去除率达到 86%~90%。说明试验装置对浑江低温低浊、高色度微污染原水有较强的处理能力,设计参数选择合理,处理规模及出水水质达到设计要求。

3.8 连续运行试验出水色度及 COD<sub>Cr</sub> 的情况

连续运行试验期间,试验装置中可以观察到矾花颗粒粒径尺度明显分级并迅速沉降。抽取原水及当天的三个出水水样,检测其色度及 COD<sub>Cr</sub> 指标。检测结果见表 5。可见,经过处理后原水色度的去除率可以达到 94.7%,对于 COD<sub>Cr</sub> 的去除率也均达到 58% 以上。说明该设备对浑江微污染原水的主要污染指标(色度及 COD<sub>Cr</sub>)的处理能力较强,出水可以达到工业用水水质标准。

表 5 水样色度及 COD<sub>Cr</sub> 检测数据

Table 5 Detecting Results of chromaticity & COD<sub>Cr</sub> of water sample

水样编号	项目				
	pH	色度/°	去除率/%	COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	去除率/%
原水	6.5	190	—	31.4	—
出水 1 <sup>#</sup>	7.0	11	94.2	13.1	58.3
出水 2 <sup>#</sup>	7.0	10	94.7	12.4	60.5
出水 3 <sup>#</sup>	6.9	11	94.2	12.8	59.2

4 结 论

(1)在低温低浊期,高效混凝沉淀净水技术对浑江微污染原水的处理是行之有效的。

(2)通过对比 4 种药剂组合处理效果,并考虑经济因素,确定浑江微污染原水的最佳处理条件为 PAFC 投加量 30 mg/L、PAM0.2 mg/L。

(3)通过有机玻璃柱絮凝试验发现,随着水温由 0℃ 升至 7℃,矾花粒径由 0.2 mm 增大至 0.6 mm,沉降速度由 2.1 cm/min 提高至 3.5 cm/min,出水浊度也有一定程度的降低。由此可见,

对于浑江微污染原水来说,温度条件对混凝处理效果的影响较大。

(4)极限负荷及连续运行试验说明试验设备设计参数选择合理,能够承受低浑江微污染原水的水质变化,在较大负荷范围内保证处理出水达到工业用水水质标准。

参考文献:

[1] 刘文飞,张玉先. 水处理常规工艺对原水水质变化的适应性[J]. 净水技术, 2005, 24(5): 52-56.  
Liu Wen-fei, Zhang Yu-xian. Adaptability of the conventional water treatment processes performance to the changes of raw water quality[J]. Water Purification Technology, 2005, 24(5): 52-56.

[2] 陈莉,范跃华. 微污染原水的处理技术与探讨[J]. 重庆环境科学, 2002, 24(6): 67-69.  
Chen Li, Fan yue-hua. Treatment of micro-polluted water resource and discussion[J]. Enviroment Science of Chongqing, 2002, 24(6): 67-69.

[3] 何亚丽,季强. 强化现行常规给水处理工艺的必要性[J]. 城市公用事业, 2003, 17(6): 20-22.  
He Ya-li, Ji Qiang. Necessity to enhance the supplying water treatment process[J]. Civil Communal Project, 2003, 17(6): 20-22.

[4] 黄继国,王存正. 混凝法用于污水处理的实验研究[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2002, 32(3): 255-257.  
Huang Ji-guo, Wang Cun-zheng. Experimental study on applying coaglator in treatment for reuse water[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2002, 32(3): 255-257.

[5] Hanson A T. The effects of temperature on turbulent flocculation: fluid dynamics and chemistry[J]. Journal AWWA, 1990, 82(11): 56-73.

[6] 刘善培,王启山,樊雪红,等. 华北地区微污染水的气浮和沉淀工艺处理[J]. 吉林大学学报:工学版, 2008, 38(1): 245-248.  
Liu Shan-pei, Wang Qi-shan, Fan Xue-hong, et al. Treatment of micro-organic polluted water by DAF and sedimentation process[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2008, 38(1): 245-248.

[7] 褚良银. 絮凝法处理工业废水的试验研究[J]. 工业水处理, 1993, 13(3): 26-28.  
Chu Liang-yin. Experiment of industrial waste water flocculation treatment[J]. Industrial Water Treatment, 1993, 13(3): 26-28.