

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.03.009

聚氯化铝铁处理引江原水试验研究

陈卓然¹, 李晨¹, 张怡然¹, 李思羽¹, 武莉娅², 杨宗政²

(1. 天津泰达水业有限公司, 天津 300457; 2. 天津科技大学 海洋与环境学院, 天津 300457)

摘要: 通过分析不同药剂配比条件下,聚氯化铝(PAC)、聚氯化铝铁(PAFC)、氯化铁(FeCl_3)对引江原水的处理效果,研究了PAFC在净水厂实际运行过程中的适用性和实操性,以达到丰富净水厂水处理工艺的目标。结果表明,单独投加30 mg/L的PAFC时处理效果最优,对浊度的去除率为96.52%、对 COD_{Mn} 的去除率为61.53%,投加40 mg/L的PAFC仍可保证出厂水中残余铝符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)小于0.2 mg/L的要求。采用PAC或PAFC复配投加 FeCl_3 的处理效果接近,当总投药量为30 mg/L时,对浊度的去除率约为93.29%,对 COD_{Mn} 的去除率约为61.38%。总的来说,在出厂水水质符合国家标准及水厂内控指标条件下,综合考虑药剂的使用效果及经济成本,实际运行中可根据原水水质特点合理采用不同的药剂配比。

关键词: 聚氯化铝铁; 引江原水; 混凝; 药剂配比

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)03-0062-05

Polyaluminum Ferric Chloride for the Treatment of Raw Water from Yangtze River

CHEN Zhuo-ran¹, LI Chen¹, ZHANG Yi-ran¹, LI Si-yu¹, WU Li-ya²,
YANG Zong-zheng²

(1. Tianjin TEDA Water Industry Co. Ltd., Tianjin 300457, China; 2. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: The performances of polyaluminum chloride (PAC), polyaluminum ferric chloride (PAFC) and ferric chloride (FeCl_3) for treating raw water from Yangtze River were analyzed under different reagent proportions, and the applicability and practicability of PAFC in actual operation of water purification plant were investigated to enrich the water treatment technology of water purification plant. The best treatment performance was obtained when 30 mg/L PAFC was added alone, and the removal rates of turbidity and COD_{Mn} were 96.52% and 61.53%, respectively. The addition of 40 mg/L PAFC still ensured that the residual aluminum in the product water was less than 0.2 mg/L specified in *Standards for Drinking Water Quality* (GB 5749-2006). The performance of PAC or PAFC combined with FeCl_3 was similar. When the total dosage was 30 mg/L, the removal rate of turbidity was approximately 93.29%, and that of COD_{Mn} was approximately 61.38%. In general, under the condition that the product water quality meets the national standard and the requirements of the water purification plant, the performance and cost

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07404002)

通信作者: 张怡然 E-mail: zyrzmmw@163.com

of the reagent need to be considered comprehensively, and different reagent proportions are reasonably selected according to the characteristics of raw water quality.

Key words: polyaluminum ferric chloride; raw water from Yangtze River; coagulation; reagent proportion

混凝是水处理过程中的关键步骤,不同混凝剂性质及处理效果不尽相同,选择合适的混凝剂、合理确定投加量及投药配比可为实际生产过程及时调整运行参数提供指导。聚氯化铝(PAC)是国内外应用最为广泛的混凝剂之一,在饮用水市场的份额超过95%^[1],但单独投加聚氯化铝会在一定程度上提高出厂水余铝浓度。《生活饮用水用聚氯化铝》(GB 15892—2020)也对药剂中各金属指标提出了更严格的要求。氯化铁(FeCl_3)药剂产生的矾花体积大、易于沉降,但单独投加可能影响出厂水色度,且该药剂属于危化品,存在运输问题,进行生产的厂家越来越少。聚氯化铝铁(PAFC)药剂兼具铁盐和铝盐的优点,水处理效果优良,但目前尚无国家或行业标准对饮用水用PAFC作出明确要求,实际使用过程中需关注药剂的质量问题。

目前天津某净水厂混凝单元采用聚氯化铝及氯化铁药剂复配投加的方式,设置了多管线加药系统,生产成本较高。笔者使用聚氯化铝铁药剂处理引江原水,分析处理效果,并与其他药剂进行对比,探讨净水厂实际生产中更为经济有效的药剂投加方式。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验期间引江原水水质情况如下:温度为27~28℃,浊度为3.94~7.53 NTU, pH为7.78~8.39, COD_{Mn} 为2.1~2.7 mg/L, UV_{254} 为0.030~0.037 cm^{-1} 。

试验中使用的混凝剂包括氯化铁、聚氯化铝、聚氯化铝铁。其中,氯化铁对应的标准为《水处理剂 氯化铁》(GB/T 4482—2018),主要用于饮用水、工业用水、废污水的处理及污泥脱水;聚氯化铝对应的标准为《生活饮用水用聚氯化铝》(GB 15892—2020),主要用于生活饮用水的净化;聚氯化铝铁对应的标准为《水处理剂 聚氯化铝铁》(HG/T 5359—2018),主要用于工业用水和污水的处理及污泥脱水。

所用的聚氯化铝铁药剂中,氧化铝(铁和铝的

总量,以 Al_2O_3 计)含量为10.56%,盐基度为82.39%,相对密度(20℃)为1.258, pH为4.15,药剂生产及质量标准执行药剂厂家根据行业标准及生产经验所制定的企业内部标准。聚氯化铝药剂中, Al_2O_3 含量为10.4%,盐基度为87.3%,相对密度(20℃)为1.25, pH为4.18,执行标准为《生活饮用水用聚氯化铝》(GB 15892—2020)。氯化铁药剂中, Fe^{3+} 含量为13.26%,相对密度(20℃)为1.43,执行标准为《水处理剂 氯化铁》(GB/T 4482—2018)。

1.2 试验方法

采用六联搅拌机模拟水厂实际混凝过程,混凝搅拌参数:快速混合阶段,150 r/min、2 min;慢速絮凝阶段,40 r/min、15 min。静置沉淀20 min后,测定上清液浊度,以表征水中悬浮物质含量;测定上清液的 UV_{254} ,以衡量水中有机物水平。

在天津某净水厂的车间进行中试,试验规模为2.5 m^3/h ,工艺流程如图1所示。

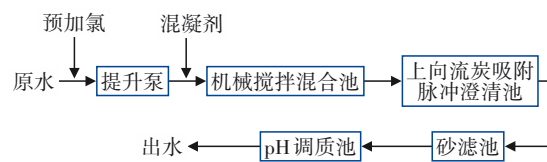


图1 中试工艺流程

Fig.1 Flow chart of pilot test

1.3 分析项目及方法

采用浊度仪检测浊度;采用UVM-402型水质监测紫外线吸光度自动测定仪检测 UV_{254} ;采用高锰酸盐指数法检测 COD_{Mn} ;采用铬天青S分光光度法检测铝含量。

2 结果与分析

2.1 小试结果分析

2.1.1 PAFC最佳投加量的确定

PAFC由铝盐和铁盐在一定条件下聚合而成,其依据协同增效的原理进行复合,具有较强的电中和能力,对于铝离子和铁离子的形态进行了改善,提高了聚合程度,通过羟化形成网状结构来提高网捕架桥能力,从而增强混凝效果^[2-3]。图2为PAFC

投加量对浊度和 UV_{254} 去除的影响。可以看出,随着PAFC投加量增加,上清液的浊度先降低后升高,当PAFC投加量为40 mg/L时,对浊度的去除效果较好,出水浊度为0.27 NTU,去除率为95.8%;继续增加PAFC投量,出水浊度有所升高。当PAFC投加量为20 mg/L时,上清液的 UV_{254} 已明显下降,继续增加投加量至40 mg/L左右时,对 UV_{254} 的去除效果并未提高,可能是由于混凝产生的矾花对有机物的吸附已经达到了峰值^[4]。当PAFC投加量增加至50~60 mg/L时,出水浊度和 UV_{254} 开始升高,处理效果下降。这可能是由于混凝剂投加过量时,水解产生的羟基络合物会使胶粒表面带上相反的电荷,胶粒间斥力增加,出现再稳现象,矾花脱附,混凝效果变差^[5]。因此,单独投加PAFC时,控制投加量在40 mg/L左右即可获得较好的混凝效果。

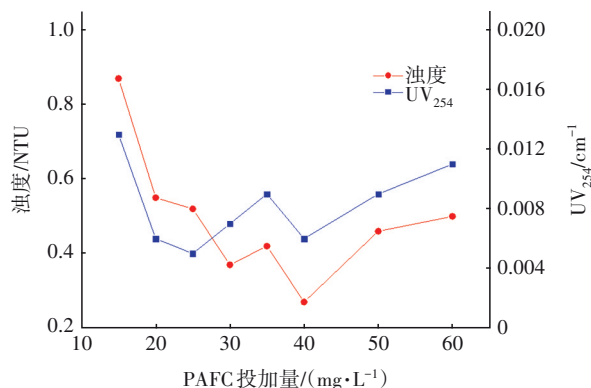


图2 PAFC投加量对浊度和 UV_{254} 去除的影响

Fig.2 Effect of PAFC dosages on turbidity and UV_{254} removal

2.1.2 PAFC与 $FeCl_3$ 组合投加试验效果

混凝剂中离子的物质的量之比对形成聚合物的性质有很大影响,而PAFC作为以铝为主、铁为辅的无机高分子混凝剂,Al与Fe的物质的量之比会影响其水解物的类型,进而对混凝效果产生影响^[6]。本试验所用PAFC的铁含量约为0.5%~1%,图3为复配投加PAFC和 $FeCl_3$ 对浊度的去除效果。可知,当复配投加20 mg/L的PAFC及15 mg/L的 $FeCl_3$ 时混凝效果最佳,浊度为0.24 NTU, pH为7.36,对色度没有影响,此时与单独投加40 mg/L的PAFC混凝效果相近,PAFC与 $FeCl_3$ 的总投加量在30~40 mg/L时,混凝效果较好。在PAFC制备过程中合理控制铁离子含量可以增强混凝效果。孔爱平等^[7]在制备PAFC处理黄河水时发现,当 Al^{3+} 与 Fe^{3+} 的物质的量

之比为9:2时,对浊度的去除效果最好。章小芬^[8]在制备PAFC新工艺时认为,当 Al^{3+} 与 Fe^{3+} 的物质的量之比为5:5时,对西湖水浊度及耗氧量的去除效果最优。赵爽等^[9]在处理腐殖酸-高岭土模拟地表水样时,制备的PAFC在 Al^{3+} 与 Fe^{3+} 的物质的量之比为7:1时,形成的絮体结构密实,处理效果较好。因此,在净水厂药剂使用过程中可根据引江原水的水质情况进行试验,并对药剂厂家提出关于铝、铁含量的明确要求,以达到最佳的处理效果。

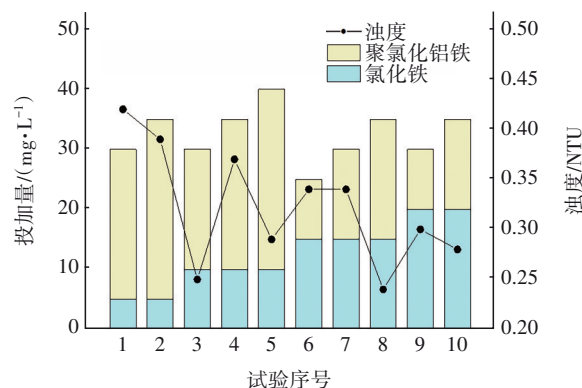


图3 复配投加PAFC和 $FeCl_3$ 对浊度的去除效果

Fig.3 Removal efficiency of PAFC and $FeCl_3$ on turbidity

2.2 中试结果分析

中试药剂投加方案见表1。试验预处理方式为预加氯1.5 mg/L,中试车间整体运行稳定后进行取样检测,取样点分别为原水、滤前水、滤后水。

表1 中试药剂投加方案

Tab.1 Reagent dosing scheme of pilot test

试验方案	mg·L ⁻¹		
	PAC	PAFC	$FeCl_3$
A	15	0	15
B	0	20	15
C	0	15	15
D	0	30	0

不同药剂组合对浊度的去除效果如图4所示。可以看出,方案A与C总投药量均为30 mg/L,滤后水的浊度去除率接近。但复配投加15 mg/L的PAFC与15 mg/L的 $FeCl_3$ 处理以后,滤前水浊度为0.52 NTU,较复配投加15 mg/L的PAC处理效果更优。PAFC中添加的铁离子进一步强化了混凝效果,使矾花加速下沉。方案B中继续增加了PAFC投量,可进一步降低出水浊度,试验结果与小试结果基本一致。方案D中,当单独投加30 mg/L的

PAFC时,滤后水浊度为0.20 NTU,浊度去除率最大,为96.52%。在总投药量均为30 mg/L的条件下,复配投加传统铁铝药剂与单独使用PAFC对浊度的去除效果接近,不同药剂配比时滤后水浊度均可控制在0.2 NTU左右。

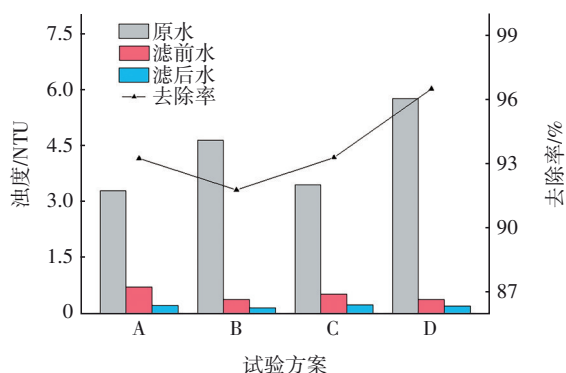


图4 不同药剂组合对浊度的去除效果

Fig.4 Removal effect of turbidity by different reagent combinations

不同药剂组合对 COD_{Mn} 的去除效果见图5。

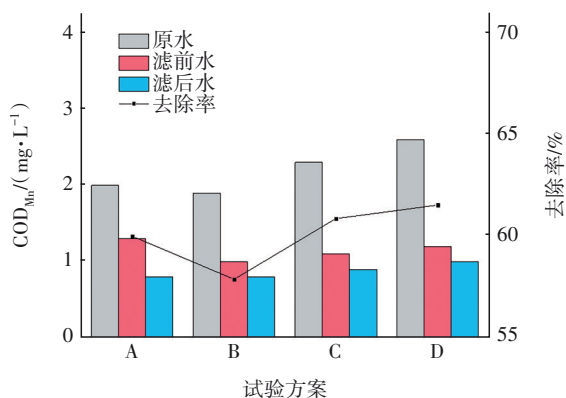


图5 不同药剂组合对 COD_{Mn} 的去除效果

Fig.5 Removal effect of COD_{Mn} by different reagent combinations

从图5可以看出,方案A、C与D的总投药量均为30 mg/L,3种方式的滤前水 COD_{Mn} 为1.0~1.3 mg/L,滤后水为0.8~1.0 mg/L,处理效果基本一致,单独投加PAFC对 COD_{Mn} 的去除率略优于复配投加PAFC和 FeCl_3 以及PAC和 FeCl_3 。当单独投加30 mg/L的PAFC时,对 COD_{Mn} 的去除率最高,为61.53%。之后续继续增加各类混凝剂投加量,不同药剂配比条件下对有机物的去除效果增加均不明显,整体去除能力有限。有研究证明^[10],铁盐对水中小分子质量有机物的去除效果明显,而铝盐对大分子质量有机物的去除效率较高,可根据原水中有

机物的种类决定混凝药剂的种类。

饮用水中残余铝一部分来自天然水体,更大一部分来自水处理药剂^[11],北方水厂复配投加 FeCl_3 及PAC,主要是为了避免大剂量投加PAC会造成出厂水铝超标。在原水温度及pH相对稳定的条件下,预处理工艺为投加1.5 mg/L的 NaClO ,考察了PAFC投加量对残余铝的影响,结果如图6所示。试验期间原水铝含量均小于检出限(0.008 mg/L),对各工艺段的铝含量几乎没有影响。随着PAFC投加量的增加,滤前水残余铝含量明显增大,通过滤池截留作用可降低10%~25%,整体出水残余铝可保持低于0.2 mg/L,符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的相关要求。经过混凝沉淀处理后,铝含量增加明显,主要是由于投加了PAFC,此时投加35 mg/L的PAFC与单独投加15 mg/L的PAC出水残余铝结果接近,可保证净水厂实际运行过程中残余铝含量安全稳定达标。

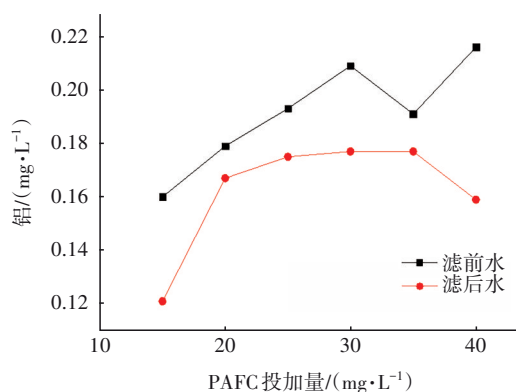


图6 PAFC投加量对残余铝的影响

Fig.6 Effect of PAFC dosage on residual aluminum

3 结论

① 在某净水厂现用引江原水条件下,单独投加30 mg/L的PAFC可有效去除浊度及有机物,并保证出厂水残余铝达标。在实际生产运行中可丰富净水厂药剂投加方式,提高净水工艺选择的科学性。

② 当总投药量为30 mg/L时,单独投加PAFC和采用15 mg/L的PAC或PAFC复配投加15 mg/L的 FeCl_3 混凝效果相似,整体来看PAFC对有机物去除率更高,PAC对浊度的去除效果更佳,通过对原水指标的实时监测,可对药剂投加量及时作出调整。

③ 实际生产过程中,应根据原水的水质特点,选择合适的混凝剂投加方式,以达到最佳处理

效果,并探索更为节能降耗的运行工艺。

参考文献:

- [1] 李风亭,李梓彤,李杰.中国无机铝铁盐水处理剂行业60年发展历程及未来发展趋势[J].无机盐工业,2020,52(10):25-29.
LI Fengting, LI Zitong, LI Jie. Analysis of developing history in past 60 years and future trends of China's inorganic aluminum and ferric salt water treatment chemicals industry [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2020, 52(10): 25-29 (in Chinese).
- [2] YAN M Q, WANG D S, QU J H, *et al.* Enhanced coagulation for high alkalinity and micro-polluted water: the third way through coagulant optimization [J]. Water Research, 2008, 42(8/9): 2278-2286.
- [3] 张瑛洁,秦楠.聚氯化铝铁及其处理溶解性有机物研究进展[J].硅酸盐通报,2015,34(5):1290-1295.
ZHANG Yingjie, QIN Nan. Research progress on polymeric aluminum ferric chloride and its application for dissolved organic matters removal [J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2015, 34(5): 1290-1295 (in Chinese).
- [4] 刘云根,王海峰.混凝剂和混凝方法对 UV_{254} 的处理效率研究[J].三峡环境与生态,2009,2(5):11-14,28.
LIU Yungen, WANG Haifeng. Research on coagulant and coagulation method for UV_{254} treatment efficiency [J]. Environmental and Ecology in the Three Gorges, 2009, 2(5): 11-14, 28 (in Chinese).
- [5] 白妮,王爱民,姜慧.聚氯化铝铁与聚丙烯酰胺协同处理城市污水研究[J].非金属矿,2015,38(5):78-80.
BAI Ni, WANG Aimin, JIANG Hui. Study on the treatment of municipal sewage by polyaluminum ferric chloride combined with polyacrylamide [J]. Non-Metallic Mines, 2015, 38(5): 78-80 (in Chinese).
- [6] SHI J, ZHANG Y, ZOU K Y, *et al.* Speciation characterization and coagulation of poly-silica-ferric-chloride: the role of hydrolyzed $Fe(III)$ and silica interaction [J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, 23(5): 749-756.
- [7] 孔爱平,王九思,刘剑,等.复合絮凝剂聚氯化铝铁的制备及其对黄河水的絮凝作用[J].石化技术与应用,2008,26(6):574-576.
KONG Aiping, WANG Jiushi, LIU Jian, *et al.* Preparation of polymeric aluminum ferric chloride and its flocculation in Yellow River water [J]. Petrochemical Technology & Application, 2008, 26(6): 574-576 (in Chinese).
- [8] 章小芬.聚氯化铝铁的制备及其应用[J].广州化工,2012,40(8):117-118,128.
ZHANG Xiaofen. Preparation and application of polymeric aluminium ferric chloride [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2012, 40(8): 117-118, 128 (in Chinese).
- [9] 赵爽,徐梦辰,汪艳.聚氯化铝铁的制备、使用及混凝机制研究[J].无机盐工业,2020,52(7):36-41.
ZHAO Shuang, XU Mengchen, WANG Yan. Preparation, application and coagulation mechanism of polyaluminium ferric chloride [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2020, 52(7): 36-41 (in Chinese).
- [10] 周玲玲,张永吉,孙丽华,等.铁盐和铝盐混凝对水中天然有机物的去除特性研究[J].环境科学,2008,29(5):1187-1191.
ZHOU Lingling, ZHANG Yongji, SUN Lihua, *et al.* Characteristic of natural organic matter removal by ferric and aluminium coagulation [J]. Environmental Science, 2008, 29(5): 1187-1191 (in Chinese).
- [11] 李思敏,崔妍琰,唐锋兵.河北南部南水北调原水强化混凝效果及残余铝含量[J].中国给水排水,2020,36(3):39-44.
LI Simin, CUI Yanyan, TANG Fengbing. Enhanced coagulation and residual aluminum content of source water from South-to-North Water Diversion Project in southern Hebei Province [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(3): 39-44 (in Chinese).

作者简介:陈卓然(1994-),女,天津人,硕士,工程师,主要研究方向为水处理技术。

E-mail: czrx94@163.com

收稿日期:2021-05-28

修回日期:2021-07-21

(编辑:任莹莹)