

# 聚合硫酸铁聚丙烯酰胺絮凝效果与优化

孙松厚, 张志平, 李雁鸿, 王洪娟, 张玉华

神美科技有限公司, 河北 河间

收稿日期: 2021年11月6日; 录用日期: 2021年12月8日; 发布日期: 2021年12月16日

## 摘要

聚合硫酸铁是20世纪70年代由国外开发的一种新型无机高分子絮凝剂, 作为污水处理的主要药剂, 与常用的混凝剂聚合氯化铁、硫酸铝及聚合氯化铝相比, 它有着许多明显的优点。在进行污水处理过程中生成的矾花大、沉降快, 对某些重金属离子及COD、色度、恶臭等均有显著的去除效果, 并且聚合硫酸铁溶液对设备的腐蚀性更小。基于这些, 采用分光光度法通过观察污水的清澈度和测定污水中磷酸盐及COD的含量, 研究了聚合硫酸铁、不同相对分子质量聚丙烯酰胺以及二者一起使用用于污水的絮凝效果和除磷效果。结果表明, 对本文的污水来说聚合硫酸铁和聚丙烯酰胺一起使用的絮凝效果和污染物去除率更优于二者单独使用的效果, 且聚丙烯酰胺的相对分子质量越大, 其絮凝效果越好。该结果也为日后污水处理的成本优化打下了一定的基础。

## 关键词

聚合硫酸铁, 聚丙烯酰胺, 絮凝, 相对分子质量

# Flocculation Effect and Optimization of Polyacrylate with Polymer Iron Sulfate

Songhou Sun, Zhiping Zhang, Yanhong Li, Hongjuan Wang, Yuhua Zhang

Smedic Technology Co., Ltd., Hejian Hebei

Received: Nov. 6<sup>th</sup>, 2021; accepted: Dec. 8<sup>th</sup>, 2021; published: Dec. 16<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Polyferric sulfate is a new type of inorganic polymer flocculant developed by foreign countries in 1970s. As the main agent of wastewater treatment, it has many obvious advantages compared with common coagulants such as polyferric chloride, aluminum sulfate and polyaluminum chloride. In the process of wastewater treatment, the alum produced is large and settles quickly. It has

significant removal effect on some heavy metal ions, COD, chroma and odor, and the corrosion of PFS solution to the equipment is less. Based on these, the flocculation effect and phosphorus removal effect of PFS, PAM with different molecular weight and the combination of PFS and PAM were studied by observing the clarity of wastewater and determining the contents of phosphate and COD in wastewater by spectrophotometry. The results show that the flocculation effect and pollutant removal rate of PFS and PAM are better than those of PFS and PAM alone, and the bigger the molecular weight of PAM is, the better the flocculation effect is. The results also lay a foundation for the cost optimization of sewage treatment in the future.

## Keywords

Polymeric Ferric Sulfate, Polyacrylamide, Flocculation, Molecular Mass

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在环境保护的要求下, 污水处理的必要性是显而易见的。要控制住污水中的氮、磷营养物质, 就需要投加一些化学药剂以去除污水中的污染物质。本文选用传统的污水处理方法——絮凝沉降, 利用絮凝剂将废水中的悬浮物、胶体等产生絮体沉淀, 降低 COD, 将溶解性的磷转化为化学沉淀物, 在沉淀过程中去除。絮凝剂主要包括四大类, 无机絮凝剂、合成有机高分子絮凝剂、天然有机高分子絮凝剂和复合絮凝剂[1]。目前如何选取絮凝剂、优化絮凝条件和提升污染物去除率是比较重要的一方面, 而聚合硫酸铁作为一种广泛应用于市场且价格相对于其他药剂较低的无机高分子絮凝剂, 它形成絮体时间短, 矾花颗粒密实, 沉淀性能好, 本身安全无毒, 并且可利用钛白粉工业废渣绿矾等作为其生产原料, 是符合绿色化学概念的产品[2]-[7]。所以应该更好的利用起来, 提升污染物去除率, 减少投加量, 降低污水处理成本。聚丙烯酰胺属于合成类高分子有机絮凝剂, 具有良好的絮凝效果, 可以降低液体之间的摩擦力, 在全球范围内广泛应用于造纸、纺织、医药等废水处理行业。与无机高分子絮凝剂相比, 聚丙烯酰胺不仅分子量大、絮凝架桥能力强、絮体容易过滤、絮凝效果远优于无机絮凝剂、适用范围广等优点, 在水处理中显示其独特的优越性。但也存在合成工艺复杂、生产成本高等缺点[8]。所以本文考虑将聚合硫酸铁和聚丙烯酰胺一起配合使用, 通过投加量、聚丙烯酰胺的相对分子质量和投加顺序等因素的分析, 对某一污水进行絮凝实验, 找出效果最好的絮凝方案。

## 2. 实验部分

### 2.1. 材料与设备

材料: 实验污水, PH 值为 5.5, 磷酸盐含量为 12.29 mg/L, COD 为 64.7 mg/L, 神美科技有限公司产品聚合硫酸铁(以下简称 PFS), 相对分子质量分别为 1200 万、1500 万和 1800 万的聚丙烯酰胺(以下简称 PAM)。

设备: 紫外可见分光光度计, COD 快速消解仪, COD 快速测定仪, 电子天平。

### 2.2. 聚合硫酸铁和聚丙烯酰胺絮凝的原理

聚合硫酸铁作为比较见的絮凝剂, 其絮凝的基本原理是将污水中溶解性的磷转化为化学沉淀物, 在

污泥沉淀过程中去除，其具体机理分别是：压缩双电层、电性中和、吸附架桥作用、网捕作用等[9]。当药剂投到污水中时，污水中的活性基团与絮凝剂中的  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  等高价金属离子结合在一起，可以形成难溶复合体，并在有机聚合物、无机胶体之间架桥产生卷扫、吸附、粘结等作用，形成复合胶体网链，进而让活性基团失去生物活性，从而降低或者消除 COD、有机物[10]。同时会出现使悬浮微粒失稳的压缩双电层，然后因为胶粒物的相互凝聚微粒会不断增大而后形成矾花，也就是絮凝体。

当水中悬浮物含量很低时，颗粒碰撞几率大大减小，混凝效果差，通常采用投加高分子助凝剂或矾花核心类助凝剂类等方法来提高混凝效果[11]，如聚丙烯酰胺。聚丙烯酰胺按离子特性可分为非离子、阴离子、阳离子和两性型四种类型，阳离子对有机物胶体状悬浮物有特殊絮凝效果，能迅速促进污泥脱水过滤；阴离子具有极好的亲水性，由于该高分子聚合物带有负电荷，可对带正电荷的悬浮粒子进行电中和，促使其絮凝。

### 2.3. 实验方法

先将聚合硫酸铁稀释成 10 倍的药剂备用，不同分子质量的聚丙烯酰胺称取 0.1 g，配制成浓度为千分之一的溶液，准备好洗净的 100 ml 烧杯无数个。将要进行处理的污水倒入小烧杯中，分别加入已经配制好的 PFS 溶液和不同分子质量的 PAM 溶液以及两个药液一起搅拌使用。流程详见图 1。

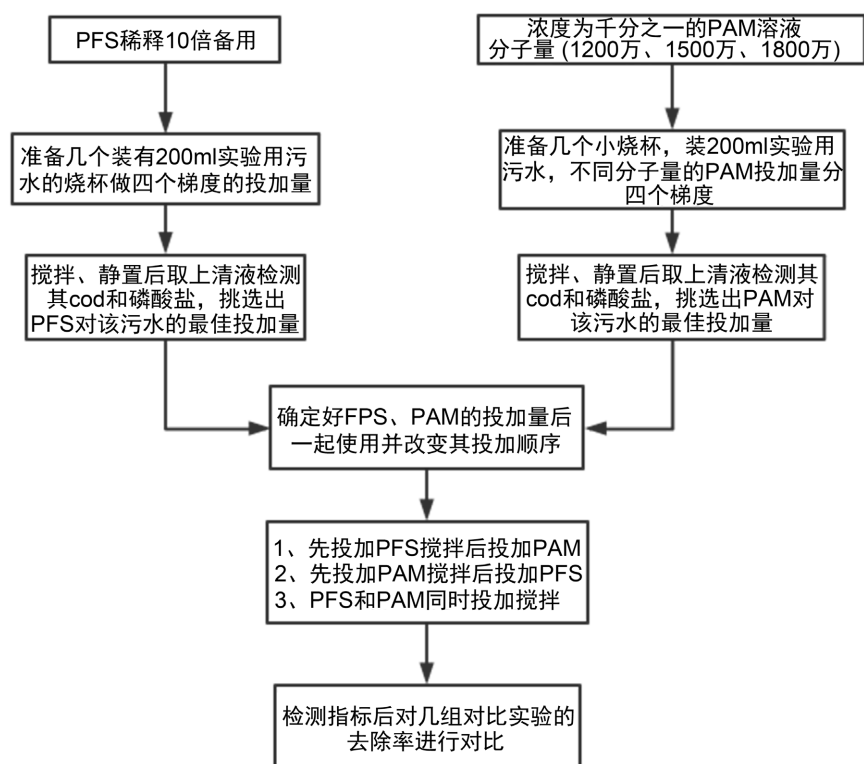


Figure 1. Block diagram of the experimental process

图 1. 实验流程框图

#### 2.3.1. 聚合硫酸铁(PFS)的使用

在四个装有 100 ml 污水的烧杯中加入不同投加量的 PFS，用玻璃棒顺时针进行 40~60 次的快速搅拌，出现小的絮体后停止搅拌并观察其絮凝的现象，等待沉降，30~45 min 取出上清液分别检测其 COD 和磷酸盐。在四个检测结果中确定出 PFS 的最佳投加量。

### 2.3.2. 聚丙烯酰胺(PAM)的使用

在几个装有 100 ml 污水的烧杯中加入不同投加量的 PAM, 用玻璃棒顺时针进行 40~60 次的快速搅拌, 出现小的絮体后停止搅拌并观察其絮凝的现象, 等待沉降, 30~45 min 后取出上清液检测其 COD 和磷酸盐。在检测结果中确定出 PAM 的最佳投加量。

### 2.3.3. 聚合硫酸铁与聚丙烯酰胺一起使用

在确定好 PFS 和 PAM 的最佳投加量后, 将备好的 PFS 溶液和配制好的不同分子量的 PAM 溶液用已确定好的投加量分别加入要处理的污水中, 并改变其投加顺序, 搅拌后观察絮凝现象静置 45 min, 取其上清液液体检测 COD 和磷酸盐含量。在经 PFS、PAM、PFS+PAM 等不同投加方式絮凝处理后, 观察到絮凝效果和液体的澄清度都有一定的差异。

## 2.4. 检测方法

### 2.4.1. 磷酸盐去除率

将取出的上清液液体放入 50 ml 的具塞比色管中, 加入蒸馏水至 50 ml 刻度线处, 加入 1 ml 的抗坏血酸, 30 s 后接液加入 2 ml 的钼酸盐溶液, 混匀后静置 15 min, 在紫外可见分光光度计波长为 700 nm 处检测出液体的吸光度, 并且计算出磷酸盐含量和加入药剂处理后磷酸盐的去除率。

### 2.4.2. COD 检测

将取出的 2.5 ml 澄清液放入比色管中, 分别加入 0.7 ml 的 D 试剂和 4.8 ml 的 EG 试剂利用 COD 快速消解仪和检测仪器, 在 COD 仪上读出数据并记录即可。

## 3. 实验结果与讨论

### 3.1. PFS 的絮凝效果

图 2 为 PFS 投加量对磷酸盐以及 COD 去除率的影响。随着 PFS 的投加量增加, 该污水的絮凝效果也越好, 磷酸盐去除率和 COD 去除率都有增加, 当超过最佳投加量时, 去除率则下降。见图 2。

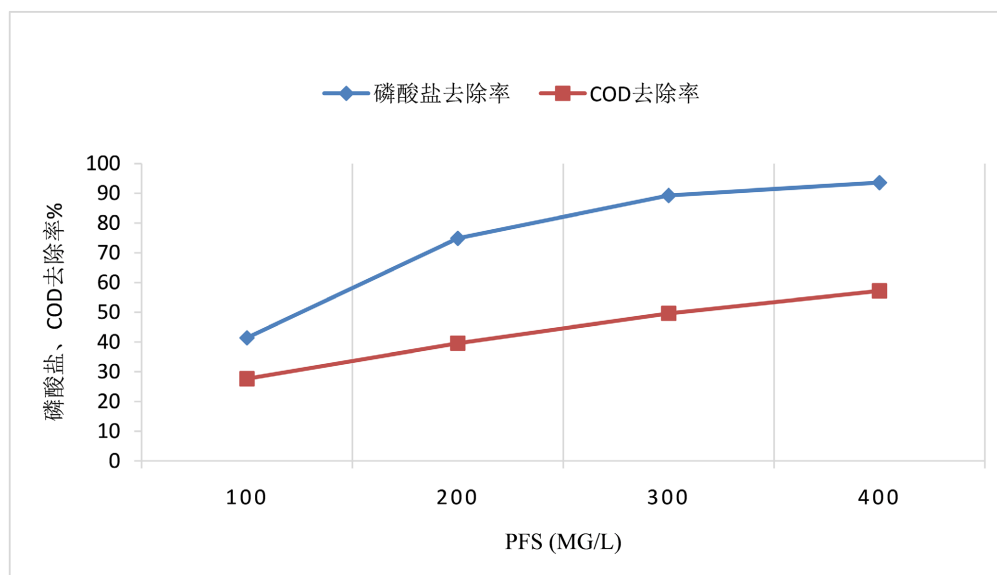


Figure 2. The effect of PFS on pollutant removal rate  
图 2. PFS 对污染物去除率的影响

### 3.2. PAM 的絮凝效果

根据 PAM 对该污水的絮凝效果和检测的结果来看, PAM 相对分子质量越高对污水的絮凝效果越好, 污染物去除率也越高。原因在于 PAM 的絮凝作用主要依靠大分子链在污水中的缠绕和吸附架桥作用[12]。将大分子颗粒脱稳并沉降下来, 从而去除污水中的污染物。当聚合物的相对分子质量越大时, 其分子链间的缠绕与架桥功能越强, 因此絮凝效果越好。但当 PAM 质量浓度超过一定数值时, 由于聚合物分子相互缠绕使絮体重新分散于溶液中, 进而使污水的絮凝效果变差[13], 污染物去除率反而下降。下图为 PAM 相对分子质量对该污水中污染物去除率的影响。见图 3。

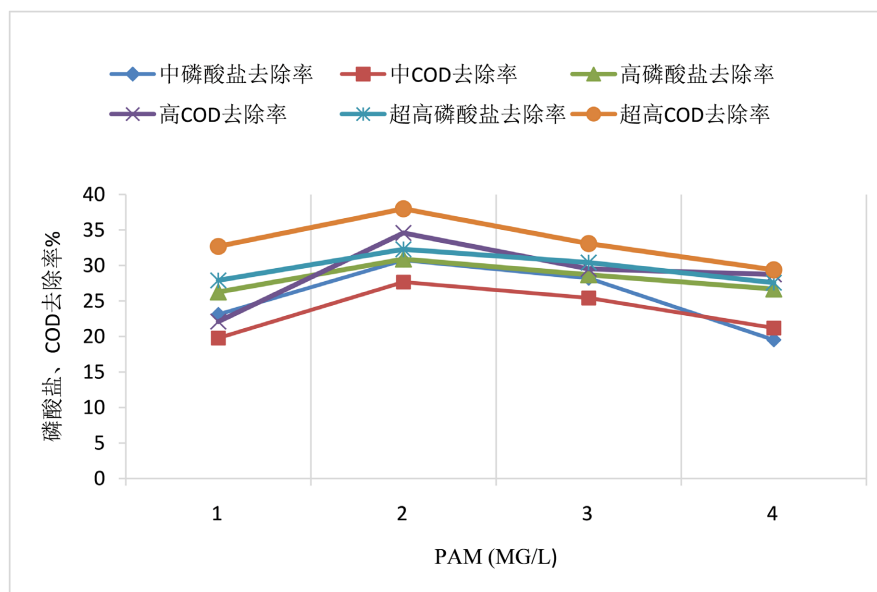


Figure 3. The influence of PAM on pollutant removal rate  
图 3. PAM 对污染物去除率的影响

### 3.3. PFS 与 PAM 一起使用的絮凝效果

PFS 和 PAM 一起使用的效果和影响可以从表 1~3 中可以看出, PFS 和 PAM 的一起使用使得絮凝效果和污染物去除率得到很大的提升, 液体澄清度更高, 从观察的现象来看, 絮体沉降速度也更快。因为两者一起使用时既发挥了 PFS 电性中和与吸附架桥作用, 也增强了吸附能力。

由表中数据可知, PFS 和 PAM 一起使用絮凝效果最好的投加顺序是先加 PFS, 搅拌出现矾花以后再加助凝剂 PAM。这是因为污水中颗粒带有负电荷, 先加入 PFS 起到电性中和、压缩双电层的作用, 减少斥力, 进而将颗粒结合成小的絮体, 使胶体脱稳[14]。在胶体脱稳的情况下再加入 PAM, 通过吸附架桥作用, 不仅使絮体颗粒变大而且使大絮体在沉降过程中发挥“卷扫”作用[15]。提高了絮凝处理效果。

Table 1. Pollutant removal rate results of PFS used with medium molecular weight PAM

表 1. PFS 与中分子量 PAM 使用的污染物去除率结果

投加顺序	磷酸盐去除率%	COD 去除率%
先加 PAM	79.5	40.05
同时投加	90.76	60.50
先加 PFS	98.70	62.20

**Table 2.** Pollutant removal rate results of PFS used with high molecular weight PAM  
**表 2.** PFS 与高分子量 PAM 使用的污染物去除率结果

投加顺序	磷酸盐去除率%	COD 去除率%
先加 PAM	81.94	45.21
同时投加	93.50	60.96
先加 PFS	98.70	67.93

**Table 3.** Pollutant removal rate results of PFS used with ultra-high molecular weight PAM  
**表 3.** PFS 与超高分子量 PAM 使用的污染物去除率结果

投加顺序	磷酸盐去除率%	COD 去除率%
先加 PAM	84.62	48.70
同时投加	95.88	61.53
先加 PFS	99.02	69.60

#### 4. 实验结论

由实验可知, 聚合硫酸铁和聚丙烯酰胺一起使用的絮凝效果和污染物去除率是最好的, 单独使用的时候去除率虽然高但是絮凝效果不理想, 一起使用后污染物去除率明显更高且絮体矾花大, 沉降速度变快。在一起使用 PFS 和 PAM 的时候最好的投加顺序是先加聚合硫酸铁再加聚丙烯酰胺。两者一起使用既提高了污水的去污效果, 也降低了絮凝剂聚合硫酸铁的使用用量, 而且使用方法也很简单。在使用 PAM 的时候对于此实验的污水相对分子质量越大使用效果就越好, 但是要先确定好最佳投加量, 要是投加量过大就会引起反效果, 絮凝变差, 就会影响污水处理效果, 也会严重影响到后续生化系统的分解。

#### 参考文献

- [1] 杨晓霞, 华涛, 周启星, 等. 水处理复合絮凝剂的研究及应用进展[J]. 水处理技术, 2007, 33(12): 11-18+37.
- [2] 方月梅, 李琼, 蔡苇, 等. 饮用水专用絮凝剂 PAS 的制备及性能研究[J]. 黄石理工学院学报, 2008, 24(6): 33-36.
- [3] 解立平, 徐向荣. 无机絮凝剂——聚合硫酸铁生产方法综述[J]. 环境与开发, 2000, 15(4): 3.
- [4] 潘碌亭, 吴锦峰. 聚合硫酸铁制备技术的研究与进展[J]. 工业水处理, 2009, 29(9): 1-5.
- [5] 吴玢, 郝丽萍. 聚合硫酸铁生产方法[P]. 中国专利, CN90105895.5, 1991-02-27.
- [6] 李真理, 王亮, 李继明, 等. 利用钛白废副产物制备絮凝剂的研究[J]. 环境工程, 2009, 27(SI): 379-382.
- [7] 韩晓燕, 王萍, 付君善, 等. 新型絮凝剂聚合磷酸铁的制备及应用[J]. 石化技术与应用, 2009, 27(4): 322-324.
- [8] 徐初阳, 李振奇, 聂容春, 等. 聚丙烯酰胺絮凝剂的合成方法及进展[J]. 有色金属(选矿部分), 2004(4): 45-48+13.
- [9] 郑先俊. 高校校园污水生物接触氧化处理与回用的实验研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2007.
- [10] 李海静. 絮凝剂处理污水的现状 & 对策研究[J]. 环境保护与循环经济, 2012, 32(6): 53-56.
- [11] 于益群, 薛鹏, 赵超, 等. 絮凝剂的复合使用在水处理中的应用[J]. 天津科技, 2016, 43(7): 88-91.
- [12] 王陈琰, 耿春香, 曹春萍. 复配絮凝法脱除柠檬酸废水中的铝[J]. 广州化工, 2013(24): 47-49.
- [13] 赵岳阳, 秦树林. PAC/PAFC 混凝强化生活污水的预处理影响研究[J]. 浙江化工, 2013, 44(7): 40-42.
- [14] 任晓燕, 刘红, 秦霞. 复合絮凝剂(PAC-PAM)对制药废水的絮凝效果研究[J]. 菏泽学院学报, 2017, 39(2): 77-81.
- [15] 王强, 张冬. 有机高分子絮凝剂处理炼油废水的探究[J]. 当代化工, 2016, 45(12): 2740-2742.