

DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.01.025

陈碧, 闫龙, 张智芳, 等. 角蛋白与聚合硫酸铁复配体系处理选煤废水的研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(1): 100-103.

# 角蛋白与聚合硫酸铁复配体系处理选煤废水的研究

陈碧<sup>1,2</sup>, 闫龙<sup>1,2</sup>, 张智芳<sup>1,2</sup>, 梁敏茹<sup>1,2</sup>

(1. 榆林学院 化学与化工学院 陕西 榆林 719000;  
2. 榆林学院 陕西省煤炭清洁转化重点实验室 陕西 榆林 719000)

**摘要:** 采用单因素实验方法, 以选煤废水为研究对象, 将鸡毛角蛋白助剂与聚合硫酸铁复配体系用于选煤废水处理, 研究复配体系对选煤废水的处理效果。结果表明: 复配体系的最佳配置为鸡毛角蛋白助剂 0.2 g/L, 聚合硫酸铁 0.025 g/L, 且该复配体系实现了在碱性条件下高效处理选煤废水。该复配体系处理选煤废水的最佳工艺条件为: 室温下, 选煤废水在 pH 值为 7~8 的条件下, 投加角蛋白复配体系并搅拌, 搅拌速度为 120 r/min, 反应后沉降 30 min, 此时 SS(固体悬浮物) 去除率达到 92% 以上。

**关键词:** 角蛋白助剂; 聚合硫酸铁; 选煤废水; SS 去除率

中图分类号: X703.1; X752

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2014)01-0100-04

## Coal preparation wastewater treatment with compound system of feather keratin assistant and polymeric ferric sulfate

CHEN Bi<sup>1,2</sup>, YAN Long<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhifang<sup>1,2</sup>, LIANG Minru<sup>1,2</sup>

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Yulin University, Yulin 719000, China;

2. Shaanxi Key Laboratory of Coal Clean Conversion, Yulin University, Yulin 719000, China)

**Abstract:** Investigate the properties of compound system of feather keratin assistant and polymeric ferric sulfate (PFS) in coal preparation wastewater treatment through single factor experiment. The results show that, when the mass concentration of feather keratin assistant, PFS is 0.2 g/L, 0.025 g/L, the treatment effects is the best. The compound system also can work well in alkaline solution. When the pH of wastewater is between 7 and 8, inject the compound system, then stir, keeping the stirring speed being 120 r/min, settle for 30 minutes after the reaction. The suspended solid (SS) removal rate can reach above 92 percent.

**Key words:** feather keratin assistant; polymeric ferric sulfate (PFS); coal preparation wastewater; suspended solid removal rate

选煤废水是原煤洗选加工时产生的工业尾水, 其中含有大量的煤粉、泥砂、悬浮物以及少量有机药剂和金属离子等。选煤废水由于具有色度高、pH 值偏高、出水量大, 颗粒表面带有较强的负电荷, SS

浓度和 COD<sub>Cr</sub> 浓度都很细小颗粒含量高、黏度大、污泥比阻大、过滤性能差等特点, 使其处理非常困难<sup>[1-3]</sup>。

选煤废水的处理方法有生化法、电渗析法、

收稿日期: 2013-11-25 责任编辑: 孙淑君

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21203163); 陕西省教育厅科学研究项目(2010JK928); 陕西省科技厅自然科学基金基础研究计划(2012JZ2003)

作者简介: 陈碧(1982—), 女, 陕西靖边人, 讲师, 硕士, 主要从事化工废水的处理研究。E-mail: chenbi\_110@163.com

絮凝沉降法、吸附法、化学氧化法、离子交换法等<sup>[1]</sup>,目前国内选煤厂主要采用电化学处理法、絮凝沉降法、气浮法、混凝沉降法、重力浓缩沉淀法等。絮凝剂处理是一种常用选煤废水处理方法,其中,化学絮凝沉淀法是最基本的方法<sup>[1,4]</sup>。常用的化学絮凝剂分为无机盐类絮凝剂和有机高分子絮凝剂,一般将二者复配使用。如电石渣与PAM的混凝沉降法处理选煤废水具有良好的效果,处理后选煤废水的各项指标均能达到国家排放标准,且能满足选煤工艺的用水要求<sup>[5-7]</sup>。

近年来,天然高分子改性吸附剂、絮凝剂的研究取得很大发展<sup>[8-10]</sup>,中国从20世纪80年代开始重视羽毛废弃物的资源利用,且正在向水处理领域应用的方向发展,如韩庆利利用羽毛(鸡毛)作为净化油烟的过滤材料<sup>[11]</sup>,邵坚等<sup>[12]</sup>用不同方法制备改性羽毛用于 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 吸附,徐锁洪等<sup>[13]</sup>用稀碱液及 $\text{CS}_2$ 将羽毛改性,用于处理含金属离子的废水,郑庆康等<sup>[14]</sup>将改性后的水解角蛋白质用于印染废水脱色,均取得了良好的应用效果。实验前期研究了角蛋白助剂用于选煤废水处理,取得了良好的效果,但存在废水处理pH值低、处理投药量大等缺点<sup>[15]</sup>。因此,寻求将鸡毛角蛋白助剂与聚合硫酸铁组成复配体系,开发其在选煤废水处理方面的应用价值。

## 1 实验

### 1.1 实验药品及仪器

角蛋白助剂(自制);选煤废水:陕西省榆林富民选煤厂;化学试剂(盐酸、亚硫酸氢钠、氢氧化钠、冰乙酸等,均为分析纯):西安化学试剂厂生产。

GKC-11-CR2 电子恒温水浴锅(上海金桥科析仪器厂);PhS-3C 型精密酸度计(上海雷磁仪器厂);SHZ-D(Ⅲ)循环水式真空泵(巩义市予华仪器有限公司);2K-82B 电热真空干燥箱(上海实验仪器厂有限公司)等。

### 1.2 实验方法

取等量的选煤废水分别置于烧杯中,调节废水pH值,一定温度下加入助剂,搅拌一定时间后静置30 min,取上清液抽滤,抽滤后将滤纸烘干,再干燥至室温称量。

### 1.3 SS 去除率测定

按照 GB 11901—1989《水质悬浮物的测定 重

量法》测定。

SS 去除率按式(1)计算

$$\text{SS 去除率} = (m_0 - m_i) / m_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中  $m_0$  为原废水抽滤干燥后滤纸的质量,  $g$ ;  $m_i$  为经处理后废水抽滤干燥后滤纸的质量,  $g$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 角蛋白助剂与聚合硫酸铁处理选煤废水对比

室温下,对同浓度的 a、b 两组选煤废水分别调节废水 pH 值为 4, a 组投加不同量的角蛋白助剂, b 组投加不同量的聚合硫酸铁助剂,比较角蛋白助剂用量和聚合硫酸铁用量的变化对 SS 去除率的影响,结果如图 1 所示。

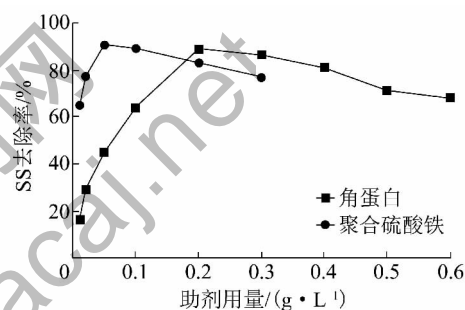


图1 角蛋白助剂与聚合硫酸铁对 SS 去除率的影响

由图 1 可知,不同用量的鸡毛角蛋白助剂和聚合硫酸铁处理选煤废水,随着投加量的增加,SS 去除率都呈先增加后逐渐下降的趋势。当鸡毛角蛋白助剂和聚合硫酸铁投加量分别为 0.01 g/L 时,SS 去除率为 16.7% 和 65.3%;当用量增加至 0.05 g/L 时,SS 去除率分别为 45.1% 和 90.2%,此时,聚合硫酸铁处理选煤废水的 SS 去除率达到最高值。当鸡毛角蛋白助剂和聚合硫酸铁投加量分别为 0.2 g/L 时,SS 去除率分别达到 89% 和 83%,这时鸡毛角蛋白助剂处理选煤废水的 SS 去除率达到峰值,随后 SS 去除率逐渐下降,这可能是由于过量助剂破坏了煤泥胶团,导致絮体太小、难以沉降,致使 SS 去除率下降。综上分析,聚合硫酸铁处理选煤废水整体用量较少,效果明显,但角蛋白助剂也具有成本低廉、效果良好的优势,因此,考虑将二者复配组成复配体系,以达到处理条件优化、用量更少、以废制废的目的。

### 2.2 角蛋白助剂与聚合硫酸铁复配

室温下,将鸡毛角蛋白助剂和聚合硫酸铁组成复配体系,分别对选煤废水(保持原废水 pH 值为

7~8) 进行处理 研究不同配比的复配体系对 SS 去除率的影响 结果见表 1。

表 1 不同配比复配体系下 SS 的去除率

| 角蛋白助剂用量/<br>( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 聚合硫酸铁用量/<br>( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | SS 去除<br>率/% |
|--|--|--------------|
| 0.1  | 0.025  | 78.9         |
| 0.1  | 0.050  | 81.2         |
| 0.2  | 0.025  | 85.5         |
| 0.2  | 0.050  | 82.1         |
| 0.4  | 0.025  | 83.3         |
| 0.4  | 0.050  | 85.1         |
| 0.6  | 0.025  | 84.1         |

由表 1 可见,在不调节选煤废水 pH 值的情况下,即碱性条件下,不同配比的复配体系对选煤废水处理,SS 去除率均在 80% 左右。当鸡毛角蛋白助剂用量为 0.2 g/L,聚合硫酸铁用量为 0.025 g/L 时,SS 去除率达到最高值 85.5%,实现了在碱性条件下高效处理废水。

### 2.3 复配体系处理选煤废水影响因素研究

#### 2.3.1 选煤废水 pH 值对 SS 去除率的影响

室温下,分别调节选煤废水 pH 值,然后加入等量角蛋白、聚合硫酸铁复配体系,研究废水 pH 值变化对 SS 去除率的影响,结果如图 2 所示。

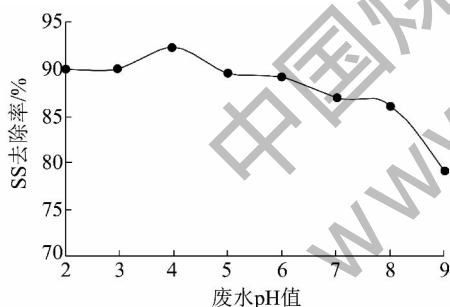


图 2 废水 pH 值对 SS 去除率的影响

由图 2 可知,当废水 pH 值从 2 增至 9 时,SS 去除率呈逐渐下降趋势,但均未低于 75%。当 pH 值为 4 时,SS 去除率最大,可达 92.2%,当 pH 值在 6~8 时,SS 去除率在 85% 左右。这可能是由于一方面角蛋白助剂是大分子絮凝剂,其大分子链具有吸附架桥作用——“桥联”作用,使煤粒脱稳、絮凝、沉降除去;另一方面在碱性条件下,角蛋白助剂逐步转化为带负电荷的大分子,与煤泥胶团负离子产生静电斥力,使分散的小絮凝颗粒无法絮凝沉降,导致 SS 去除率降低。本实验中最佳处理 pH 值为 4,但因原选煤废水出水 pH 值为 7~8,此时,SS 去

除率也在 85% 以上,因此实际应用中,可以不调废水 pH 值直接进行处理。

#### 2.3.2 选煤废水温度对 SS 去除率的影响

保持选煤废水原水 pH 值,然后加入等量复配体系,分别调节温度,研究温度对 SS 去除率的影响,结果如图 3 所示。

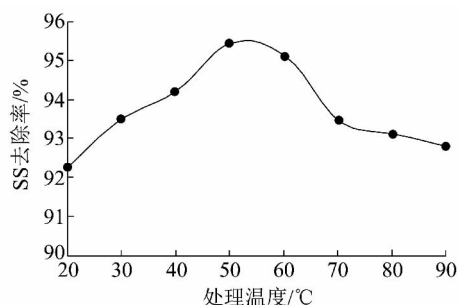


图 3 处理温度对 SS 去除率的影响

由图 3 可知,随着温度的升高,SS 去除率先增大而后略有下降。20℃ 时,选煤废水的 SS 去除率为 92.3%,30℃ 时,SS 去除率为 93.5%,在温度升至 50℃ 时,SS 去除率达到最大 94.5%,而后随着温度的升高,SS 去除率略微下降。这是因为在低温状况下,聚合硫酸铁水解速度慢,水黏度变大,布朗运动减弱,煤泥粒子与絮凝剂不能充分接触,导致絮体不易形成。而温度过高又导致角蛋白助剂中大分子的肽链部分断裂,致使角蛋白助剂对煤泥胶团的吸附、絮凝等作用减弱。本实验中最佳处理温度为 50℃,实际处理时,因选煤废水出水温度在 20~30℃,可以不考虑废水温度,直接处理。

#### 2.3.3 搅拌速度对 SS 去除率的影响

保持选煤废水原水 pH 值,在室温 20℃ 左右时,分别加入等量复配体系,控制选煤废水处理的搅拌速度,研究搅拌速度对 SS 去除率的影响,结果如图 4 所示。

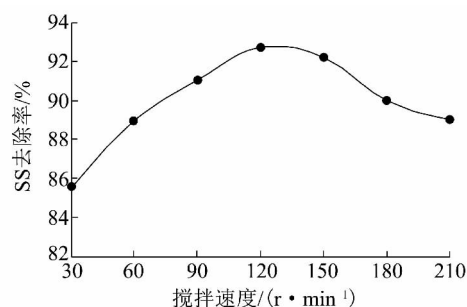


图 4 搅拌速度对 SS 去除率的影响

由图 4 可知,随着搅拌速度的增大,SS 去除率呈

先增大后逐渐减小的趋势。当搅拌速度为 30 r/min 时,SS 去除率为 79.5%,当速度为 120 r/min 时,SS 去除率达到最高 86.6%,随着搅拌速度的加快,SS 去除率逐渐降低。这可能是由于搅拌速度太慢,煤泥胶团与复配助剂不能充分接触,不利于絮体的形成,而搅拌速度过大,则会导致煤泥胶团与絮凝剂被解析甚至破坏絮体,使絮体无法顺利沉降,导致 SS 去除率降低。本实验选取最佳搅拌速度为 120 r/min。

### 2.3.4 处理时间对 SS 去除率的影响

保持选煤废水原水 pH 值,室温 20 °C 左右时,加入等量复配体系对选煤废水进行处理,调节搅拌速度为 120 r/min,研究沉降时间对 SS 去除率的影响,结果如图 5 所示。

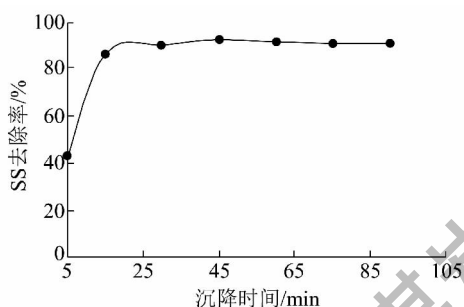


图5 沉降时间对 SS 去除率的影响

由图 5 可知,随着沉降时间的增加,SS 去除率先增大而后趋于平缓。当沉降时间为 5 min 时 SS 去除率仅为 42.3%,当沉降时间为 15 min 时 SS 去除率为 86%,而当沉降时间达到 45 min 时,SS 去除率达到最高 92.9%,之后随着沉降时间的延长,SS 去除率变化不大。这是因为合适的沉降时间可以保证絮凝剂与煤泥胶团充分接触反应,使形成的大絮体带着小絮凝体充分沉降,最终使 SS 达到良好的去除效果。本实验中选择最佳沉降时间为 30 min。

## 3 结 论

1) 当复配体系中鸡毛角蛋白助剂为 0.2 g/L,聚合硫酸铁为 0.025 g/L 时,将该角蛋白聚合硫酸铁复配体系直接用于选煤废水处理,SS 去除率达到 85.5%,实现了在碱性条件下高效处理废水。该复配体系处理选煤废水最佳工艺条件为:室温条件下,不考虑出水温度和废水 pH 值,即保持选煤废水原水 pH 值(7~8),投加角蛋白、聚合硫酸铁复配体系并搅拌,搅拌速度为 120 r/min,反应后沉降 45 min,

此时,SS 去除率达到 92.9%。

2) 选煤厂处理选煤废水时,考虑到设备、能耗等问题,可以不考虑出水温度和废水 pH 值,直接投加角蛋白复配体系反应沉降 15~30 min 即可达到良好的 SS 去除效果。

3) 角蛋白、聚合硫酸铁复配体系用于选煤废水处理,减少了助剂用量,处理条件由酸性转变为中性、碱性条件,缩减了处理工艺步骤,既达到了高效处理选煤废水,又实现了以废治废的研究目的。

### 参考文献:

- [1] 李亚峰. 高浓度洗煤废水处理与回用技术研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2006: 4-14.
- [2] 李亚峰, 苏永渤, 朱龙, 等. 高浓度洗煤废水治理方法的研究[J]. 环境保护科学, 1997, 23(4): 11-14.
- [3] 张志凡, 罗根祥. 絮凝法处理洗煤废水的实验研究[J]. 广东化工, 2009, 36(2): 70-72.
- [4] 张崇森, 张大伦, 罗运军. 聚酰胺胺(PAMAM) 树形分子在洗煤废水处理中的应用研究[J]. 能源环境保护, 2003, 17(4): 20-23.
- [5] 蒋白懿, 戴进, 张佩泽. 投加电石渣和 PAM 处理洗煤废水的效果及作用机理[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2007, 23(6): 1009-1011.
- [6] 李亚峰, 胡筱敏, 陈健. 电石渣处理洗煤废水影响因素研究[J]. 工业安全与环保, 2004, 30(12): 6-9.
- [7] 李亚峰, 胡筱敏, 陈健, 等. 电石渣处理洗煤废水的效果及作用机理研究[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(6): 45-49.
- [8] 刘明华. 有机高分子絮凝剂的制备及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 7-8.
- [9] 甘光奉, 甘莉. 高分子絮凝剂研究的进展[J]. 工业水处理, 1999, 19(2): 6.
- [10] 陈丽. 废羽毛生物水解技术的研究[D]. 上海: 东华大学, 2006: 1-3.
- [11] 韩庆利. 鸡毛用作油烟净化过滤材料的实验研究[J]. 环境保护科学, 2004, 30(126): 5-7.
- [12] 邵坚, 李海华, 李森, 等. 改性羽毛对工业废水中  $Cr_2O_7^{2-}$  的吸附性能研究[J]. 河南科学, 2006, 24(1): 122-124.
- [13] 徐锁洪, 严滨. 改性羽毛对重金属吸附性能的研究[J]. 工业水处理, 1999, 19(6): 27-29.
- [14] 郑庆康, 程莉萍, 朱谱新. 改性水解蛋白质对染料废水的脱色处理[J]. 四川联合大学学报: 工程科学版, 1998, 2(2): 18-21.
- [15] 陈碧, 闫龙, 马向荣, 等. 角蛋白助剂处理洗煤废水研究[J]. 应用化工, 2013, 42(2): 239-241.