

# PAC处理垃圾渗滤浓缩液中PAM投加量影响研究

张睿思<sup>1\*</sup>, 毛霖<sup>1</sup>, 余夏<sup>1</sup>, 徐辉<sup>2</sup>

<sup>1</sup>重庆远达烟气治理特许经营有限公司科技分公司, 重庆

<sup>2</sup>武汉天源环保股份有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年7月17日; 录用日期: 2022年8月16日; 发布日期: 2022年8月25日

## 摘要

本文采用PAC + PAM混凝沉淀处理垃圾渗滤液浓缩液。研究了不同PAM投加量下, 对沉降性、COD与TP去除率的影响, 为后续工艺正常进行提供保障。研究表明, PAM对TP去除率影响不大, 在PAC投加量为1.5 g/L时, PAM投加量为10~15 mg/L时, 沉降性与COD去除率较好。

## 关键词

垃圾渗滤液, 聚丙烯酰胺, 浓缩液

# Study on the Effect of PAM Dosage on PAC Treatment of Landfill Leachate Concentrate

Ruisi Zhang<sup>1\*</sup>, Lin Mao<sup>1</sup>, Xia Yu<sup>1</sup>, Hui Xu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chongqing Yuanda Flue Gas Treatment Franchise Co., Ltd. Science & Technology Branch, Chongqing

<sup>2</sup>Wuhan Tianyuan Environmental Protection Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: Jul. 17<sup>th</sup>, 2022; accepted: Aug. 16<sup>th</sup>, 2022; published: Aug. 25<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Landfill leachate concentrate was treated by PAC + PAM coagulation-sedimentation. The effects of different PAM dosages on sedimentation, COD and TP removal rates were studied to provide guarantee for the normal operation of subsequent processes. The results showed that PAM had little effect on the TP removal rate. When the dosage of PAC was 1.5 g/L and the dosage of PAM was 10~15 mg/L, the sedimentation and COD removal rate were better.

\*通讯作者。

## Keywords

### Landfill Leachate, PAM, Concentrated Liquid

Copyright © 2022 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

垃圾渗滤液是垃圾填埋厂在填埋过程中,因垃圾自身水分、自然降水、有机物分解水等形成的成分复杂的有机废水[1][2]。目前,我国主要通过生化处理+纳滤/反渗透膜工艺对垃圾渗滤液进行处理[3]。该系统在保证出水的稳定达标排放的同时,通常会在纳滤/反渗透阶段产生20%~30%的浓缩液[4]。浓缩液的处理问题已是膜分离技术在渗滤液处理应用上的一个重要瓶颈。

浓缩液的水质极为复杂,主要表现为以下特点:1)COD值较高,一般在1000~2000 mg/L,主要为难降解有机物;2)可生化性较差,微生物难以代谢浓缩液中的有机物;3)高色度;4)高含盐量,浓缩液TDS一般在10,000 mg/L以上。浓缩液若直接回灌至填埋场或回流至生化系统,会造成难降解有机物与盐分的累计,影响渗滤液系统的正常稳定运行,因此需对浓缩液进行进一步的处理。目前主要的浓缩液处理方法包括高级氧化、混凝沉淀、膜蒸馏、焚烧、吸附等方法。其中,混凝沉淀作为一种简单、经济的水处理技术,它能很好地去除浓缩液中溶解的有机污染物,并且还可以提高浓缩液的可生化性[5]。因此,混凝沉淀法广泛应用于垃圾渗滤液膜浓缩液的预处理中。聚合氯化铝(PAC)是一种介于 $\text{AlCl}_3$ 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 之间的一种水溶性无机高分子聚合物,对水中胶体和颗粒物具有高度电中和及桥联作用,是目前混凝预处理中广泛使用的水处理药剂;聚丙烯酰胺(PAM)是丙烯酰胺均聚物或与其他单体共聚而得聚合物的统称,由于其具有良好的桥连网捕的作用,在对高悬浮物及高浊度的废水处理中有着广泛应用。

本文采用PAC、PAM混凝预处理作为光芬顿高级氧化-生化法处理垃圾渗滤液浓缩液的前置工艺对浓缩液进行处理,主要研究了混凝预处理过程中,PAM投加量对于浓缩液PAC絮凝的沉降性、COD、总磷等影响,以确保预处理后续高级氧化及生化工艺的正常进行,为后续实验提供指导。

## 2. 实验材料与方法

### 2.1. 实验用水与实验材料

实验所用垃圾浓缩液取自重庆市合川某垃圾填埋场渗滤液膜处理浓缩液储存池。其水质数据如表1所示。

**Table 1.** Concentrated water quality indicators of landfill leachate

**表 1.** 垃圾浓缩液水质指标

序号	水质	数值	单位
1	色度	178	-
2	pH	6.81	-
3	COD	1629	mg/L
4	TP	246.1	mg/L

Continued

5	TN	1187	mg/L
6	氨氮	111.3	mg/L
7	TDS	25115	mg/L

聚合氯化铝(PAC), 天津鼎盛鑫化工有限公司生产;  
聚丙烯酰胺(PAM, 阴离子型), 天津致远化学试剂有限公司生产。

## 2.2. 实验方法

本次试验中, 主要考察助凝剂 PAM 投加量对于浓缩液预处理对混凝沉降性、COD 及 TP 去除的影响。

### 1) PAM 投加量对沉降性影响实验

取浓缩液 2000 mL 于烧杯, 加入 1.5 g/L 的 PAC 粉末与不同量 PAM 溶液(1%浓度), 磁力快速搅拌 10 min, 反应完成后将混合液移至 1 L 量筒中静置沉降, 记录不同时刻的沉降体积。

### 2) PAM 投加量对 COD 去除效果影响实验

取浓缩液 2000 mL 于烧杯, 加入 1.5 g/L 的 PAC 粉末与不同量的 PAM 溶液, 磁力快速搅拌 10 min, 反应完成后静置沉降一定时间后, 取上清液抽滤, 消解后测定 COD 值。

### 3) PAM 投加量对 TP 去除效果影响实验

取浓缩液 2000 mL 于烧杯, 加入 1.5 g/L 的 PAC 粉末与不同量的 PAM 溶液, 磁力快速搅拌 10 min, 反应完成后静置沉降一定时间后, 取上清液抽滤, 消解后测定 TP 值。

## 2.3. 分析方法

预处理后的浓缩液废水, 需经过自然沉降后, 其上清液进入后续光芬顿单元进行处理。若沉淀不完全, 会导致部分絮体进入光芬顿, 影响紫外光照效率, 从而对高级氧化过程造成一定影响。因而, 为确保后续处理工艺稳定运行, 需对混凝处理后浓缩液的沉降性进行评价。

本文借鉴污泥沉降比(sludge settling velocity, 简称 SV 值)来对预处理后的废水进行沉降性评估分析。SV 值是指废水好氧生物处理中曝气池混合液在量筒内静置后所形成的沉淀污泥容积占原混合液容积的比例, 以%表示。由于 SV 值测定简单快速, 故常用于评定活性污泥浓度及质量。SV 值反映了污泥量和污泥的凝聚、沉降性能, SV 值越小, 污泥的沉降性能越好。

SV 值按下式进行计算[6]:

$$\text{污泥沉降比(SV)} = \frac{\text{污泥沉降体积}}{\text{混合液体积}} \times 100\%$$

COD 采用重铬酸钾法进行测量[7] [8]: 将 2 ml 过滤稀释后的上清液移入预制管中, 摇晃均匀后 165℃ 消解 20 分钟, 完全冷却后测量 COD 值。

TP 采用过硫酸钾消解 - 钼钒酸盐比色法进行测量[8]: 将 5 ml 过滤稀释后的上清液移入预制管中, 加入过硫酸钾预制剂, 摇晃均匀后 150℃ 消解 30 分钟, 冷却后依次加入氢氧化钠与钼钒酸盐预制剂, 等待 7 分钟后测量 TP 值。

其中测量仪器为哈希 DR900 便携式多功能水质测量仪及 DRB200 消解器, 测试试剂为哈希公司生产的预制剂。

### 3. 结果与讨论

#### 3.1. PAM 投加量对沉降性影响

控制 PAC 投加量为 1.5 g/L、PAM 溶液投加量分别为 0 mg/L、5 mg/L、10 mg/L、15 mg/L、20 mg/L，搅拌反应后，移入量筒静置沉降 0.5 h、1 h、1.5 h、2 h、20 h 后分别记录污泥沉降体积。实验结果如图 1 所示。

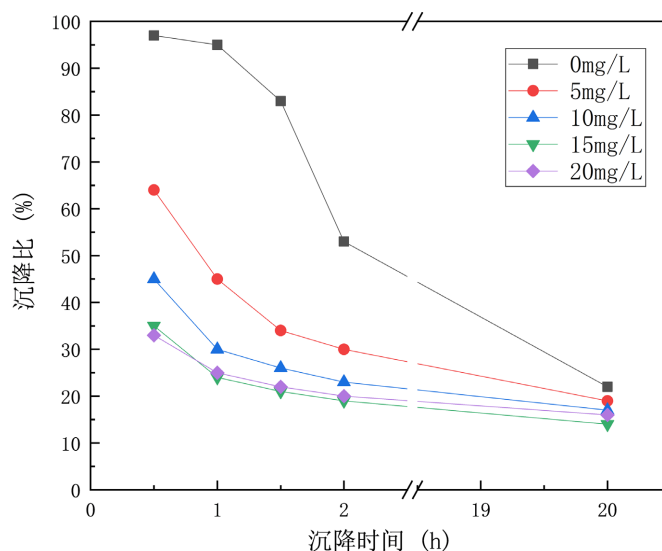


Figure 1. Variation of sedimentation ratio with time under different PAM dosage  
图 1. 不同 PAM 投加量条件下沉降比随时间变化图

由图 1 可以看出，随着 PAM 投加量的增加，混凝后浓缩液沉降比显著降低，当 PAM 投加量为 15 mg/L 时，沉降性最好，随着 PAM 投加量继续上升，沉降比略有上升。另一方面，随着沉降时间的增加，沉降比越低，经过 20 小时沉淀后，最终沉降比差别较小，均在 25% 以下，可见 PAM 的投加加快了絮体的沉降，但对最终沉降体积影响较小，这是因为 PAM 具有巨大的吸附表面积和优良的架桥能力，能使反应生成的絮凝体体积增大，比重增加，沉降速度加快，使得沉降能力提高。此外，随着沉降时间的增加，沉降比曲线逐渐变缓，当 PAM 投加量为大于 10 mg/L 时，静置 2 h 后已基本沉降完成，与完全沉降 20 h 的沉降比差别不大。综合实际情况考虑，沉降时间不宜过长。因此，当 PAC 投加量为 1.5 g/L 时，PAM 沉降时间 2 小时为宜。

#### 3.2. PAM 投加量对 COD 去除效果影响

控制 PAC 投加量为 1.5 g/L、PAM 溶液投加量分别为 5 mg/L、10 mg/L、15 mg/L、20 mg/L，搅拌反应后静置 2 h，取上清液测定 COD，结果如表 2 所示。

由表 2 可以看出，混凝阶段对 COD 的去除率均在 30% 以上，随着助凝剂 PAM 投加量的增加，PAM 投加量为 10 mg/L 时，COD 去除效果最好，去除率达 41.56%，当助凝剂浓度进一步提升时，COD 去除率反而下降。这是因为 PAM 作为一种高分子有机絮凝剂，其分子上存在大量活性基团，PAM 适量投加有助于胶体粒子的吸附架桥作用，从而增强混凝效果，从而提高 COD 去除率。但投加量较大时，高分子链包围颗粒颗粒，使得吸附架桥难以进行，使得 COD 去除率降低。综上，在 PAC 投加量为 1.5 g/L 时，PAM 对 COD 的去除率存在一定的影响，但总体影响不大，因此 PAM 投加量应控制在 10 mg/L 左右。

**Table 2.** Effect of PAM dosage on COD removal  
**表 2.** 不同 PAM 投加量对 COD 去除率的影响

编号	PAM 投加量 (mg/L)	沉淀时间 (h)	剩余 COD 浓度 (mg/L)	COD 去除率 (%)
1	0	2	1119	31.3
2	5	2	1086	33.33
3	10	2	952	41.56
4	15	2	1120	31.25
5	20	2	1107	32.05

### 3.3. PAM 投加量对 TP 去除效果影响

控制 PAC 投加量为 1.5 g/L、PAM 溶液投加量分别为 5 mg/L、10 mg/L、15 mg/L、20 mg/L，搅拌反应后静置 2 h，取上清液测定 TP，结果如表 3 所示。

**Table 3.** Effect of PAM dosage on COD removal  
**表 3.** 不同 PAM 投加量对 TP 去除率的影响

编号	PAM 投加量 (mg/L)	沉淀时间 (h)	剩余 TP 浓度 (mg/L)	TP 去除率 (%)
1	0	2	19	92.28
2	5	2	10.4	95.62
3	10	2	17.8	92.6
4	15	2	20.1	91.83
5	20	2	21	91.46

由表 3 可以看出，PAC 投加量为 1.5 g/L 时已经对 TP 有较高的去除率，均在 90% 以上，最高可达 95.62%，继续添加 PAM 助凝剂并不会进一步增加 TP 去除率。PAC 除磷主要原理为 PAC 水解生成三价的铝离子，与废水中的可溶性磷酸盐结合生成非溶解性的磷酸盐沉淀，从而去除了浓缩液中的磷酸根离子。该去除机理主要为化学作用而非混凝作用，因此助凝剂 PAM 的投加量不是 TP 去除率的主要影响因素。

## 4. 结论

本文采用 PAM + PAC 混凝沉淀对垃圾浓缩液进行处理，研究了 PAC 投加量对混凝后沉降率、COD 去除率及 TP 去除率的影响。结果表明：

- 1) PAM 的投加极大地加快了混凝后的沉降速率，投加量大于 10 mg/L 时，沉降时间 2 h 为宜。
- 2) PAM 投加量为 10 mg/L 时，COD 去除效果最好，去除率为 41.56%。
- 3) PAM 投加量对 TP 去除率影响不大。

综合实验结果，并对比以往文献资料[5] [9] [10]，在采用 PAM-PAC 混凝处理垃圾渗滤液、PAC 投加量为 1.5 g/L 时，PAM 投加量应控制在 10~15 mg/L，此时浓缩液混凝沉降性较好，COD 去除率较高。

## 参考文献

- [1] 郭涛, 张媛媛. 絮凝-Fenton 氧化 - 电催化氧化法处理垃圾渗滤液膜浓缩液工艺研究[J]. 环境与发展, 2020, 32(12): 83-84+86. <https://doi.org/10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2020.12.041>
- [2] 刘婷, 赵长盛, 陈庆锋, 司国瑞, 李磊, 冯优, 李金业. 垃圾渗滤液膜后浓缩液混凝预处理[J]. 山东科学, 2022, 35(1): 115-119.
- [3] 魏云梅, 赵由才. 垃圾渗滤液处理技术研究进展[C]//中国城市环境卫生协会. 第二届固体废物处理技术与工程设计全国学术会议专辑. 南昌: 《有色冶金设计与研究》编辑部, 2007: 176-181+186.
- [4] 代晋国, 宋乾武, 张玥, 秦琦. 新标准下我国垃圾渗滤液处理技术的发展方向[J]. 环境工程技术学报, 2011, 1(3): 270-274.
- [5] 王洪庆, 乐晨. 混凝沉淀-Fenton 氧化法处理垃圾渗滤液纳滤浓缩液的研究[J]. 广东化工, 2016, 43(6): 116-117.
- [6] 唐受印, 戴友芝. 水处理工程师手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [7] 国家环境保护总局水和废水检测分析方法委员会. 水和废水检测分析方法[M]. 第四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 211-213, 243-247.
- [8] 哈希公司. 水质分析实用手册[M]. 第五版. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [9] 崔甜甜. 垃圾渗滤液膜浓缩液混凝沉淀预处理技术研究[D]: [硕士学位论文]. 中国地质大学(北京), 2021. <https://doi.org/10.27493/d.cnki.gzdzy.2021.000303>
- [10] 乔如林, 陈兰花, 张庆芳, 贾小宁, 孔秀琴. 复合絮凝剂 + PAC + PAM 处理浓缩液的研究[J]. 化学与生物工程, 2015, 32(5): 58-60.