



文章栏目：“工业废水处理及资源化”暨环境水质学国家重点实验室30周年纪念  
专辑（一）

DOI 10.12030/j.cjee.202005178 中图分类号 X703 文献标识码 A

刘梦洁, 李硕, 桑华俭, 等.  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{AlCl}_3$  协同絮凝去除焦化废水中氟和有机物[J]. 环境工程学报, 2020, 14(8): 2048-2056.  
LIU Mengjie, LI Shuo, SANG Huajian, et al. Simultaneous removal of fluoride and organic matters from coking wastewater by coagulation[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(8): 2048-2056.

## $\text{FeCl}_3$ 和 $\text{AlCl}_3$ 协同絮凝去除焦化废水中氟和有机物

刘梦洁<sup>1,2</sup>, 李硕<sup>1</sup>, 桑华俭<sup>3</sup>, 何立娟<sup>4</sup>, 徐磊<sup>1</sup>, 俞文正<sup>1,\*</sup>

1. 中国科学院生态环境研究中心, 环境水质学国家重点实验室, 北京 100085
2. 中国科学院大学, 北京 100049
3. 柏中环境科技(上海)有限公司, 上海 518048
4. 山东中交路通规划设计有限公司, 济南 250013

第一作者: 刘梦洁(1998—), 女, 博士研究生。研究方向: 絮凝技术。E-mail: liumengjie191@mailsucas.cn

\*通信作者: 俞文正(1982—), 男, 博士, 研究员。研究方向: 污水分离净化与资源回收。E-mail: wzyu@rcees.ac.cn

**摘要** 氟是焦化废水中的待去除的主要污染物。采用  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{AlCl}_3$  作为絮凝剂, 研究了絮凝对焦化废水中氟和有机物的去除效果, 并考查了不同剂量和 pH 条件下氟和有机物的去除率。结果表明:  $\text{AlCl}_3$  和  $\text{FeCl}_3$  对 F 的最高去除率分别为 94.4% 和 27.3%; 在投量为  $20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{AlCl}_3$  的 TOC 去除率分别达到 27.6% 和 23.9%。因此,  $\text{AlCl}_3$  对氟的去除率比  $\text{FeCl}_3$  的更高, 但  $\text{FeCl}_3$  对有机物的去除率相对更高。加入  $\text{Ca}^{2+}$  可以促进氟的去除, 但有机物的去除率会下降。另外, 通过考察不同 pH 和铁铝比对去除率的影响, 探讨了同时加入  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{AlCl}_3$  的去除效果。结果表明, 最适合去除有机物和氟的工作条件是 pH 为 6.5,  $\text{AlCl}_3$  和  $\text{FeCl}_3$  的比值为 8:2。本研究探索了  $\text{FeCl}_3$  和  $\text{AlCl}_3$  对焦化废水中氟和有机物的去除机理, 实验结果可为焦化废水的深度处理提供参考。

**关键词** 焦化废水; 氟; 有机物; 絮凝

世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 指出氟存在于水中会导致大规模健康问题。适量的氟有助于人类的健康, 但过量氟摄入会导致骨质疏松、脑损伤等许多疾病。WHO 建议饮用水中氟浓度应低于  $1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 我国规定工业废水中 F 浓度应低于  $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (GB 5749-2006), 饮用水中 F 浓度应低于  $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在自然界中, 矿石中的氟元素通过地质风化作用释放到地下水中, 但人类活动已经成为更加主要的氟污染来源。

煤炭是我国的主要能源, 每年相关产业会产生约  $3 \times 10^8 \text{ t}$  焦化废水<sup>[1]</sup>。焦化废水组分十分复杂, 其中就包括高浓度的氟及难降解的有毒有机物, 如喹啉、吡啶、吡啶等<sup>[2-4]</sup>。除了焦化废水, 玻璃陶瓷工艺、半导体制造、电镀等工业废水中也含有高浓度的氟。焦化废水的处理主要采用活性污泥法, 如 A/O 或 A/A/O 法。活性污泥法具有成本低、运行和维护简单等优点<sup>[3,5]</sup>。然而, 由于焦化废水中还存在大量难生物降解的有机物, 活性污泥法出水往往难以达到我国的焦化废水排放标准 (GB 16171-2012)。因此, 需要进一步处理相关工艺出水。

目前, 絮凝沉淀<sup>[6-7]</sup>、吸附<sup>[2]</sup>、高级氧化<sup>[4,8-10]</sup>、膜滤<sup>[11-12]</sup>, 以及这些方法的组合<sup>[13]</sup> 都已被应用于

收稿日期: 2020-05-27; 录用日期: 2020-06-10

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFD1100104, 2019YFC1906501)