



文章栏目：“废水中抗生素的去除技术研究”专题

DOI 10.12030/j.cjee.202002078

中图分类号 X703

文献标识码 A

马茜茜, 吴天威, 赵明月, 等. ATP@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 复合材料催化过硫酸盐降解四环素[J]. 环境工程学报, 2020, 14(9): 2463-2473.  
MA Xixi, WU Tianwei, ZHAO Mingyue, et al. Catalytic degradation of tetracycline by ATP@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> composite material activated persulfate [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(9): 2463-2473.

## ATP@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 复合材料催化过硫酸盐降解四环素

马茜茜<sup>1</sup>, 吴天威<sup>1</sup>, 赵明月<sup>1</sup>, 侯建华<sup>1,2</sup>, 王圣森<sup>1,2</sup>, 封克<sup>1,2</sup>, 王小治<sup>1,2,\*</sup>

1. 扬州大学环境科学与工程学院, 扬州 225127

2. 江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 南京 210095

第一作者: 马茜茜(1995—), 女, 硕士研究生。研究方向: 环境新材料的开发与应用。E-mail: 501664156@qq.com

\*通信作者: 王小治(1975—), 男, 博士, 教授。研究方向: 水土环境修复。E-mail: xzwwang@yzu.edu.cn

**摘要** 通过共沉淀法将四氧化三铁(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)纳米粒子负载于凹凸棒土(ATP)制备出兼具吸附与催化性能的非均相类芬顿催化剂 ATP@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>。采用 SEM(扫描电子显微镜)、XRD(X射线衍射)、XPS(X射线光电子能谱)、VSM(振动磁强计)等对材料的结构进行了表征分析, 并研究了其对催化过硫酸盐(PS)降解四环素(TC)的效果。结果表明, ATP@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 复合材料是活化过硫酸盐(PS)生成硫酸根自由基(SO<sub>4</sub><sup>-</sup>)强有力的催化剂, 可大幅提高 PS 对水溶液中四环素的降解能力。当 PS 浓度为 10 mmol·L<sup>-1</sup>、ATP@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 投加量为 1.5 g·L<sup>-1</sup>, 其对 pH=3.9 的 80 mg·L<sup>-1</sup> 四环素溶液的降解率在 90 min 可达 98.75%。负载于 ATP 表面的 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 粒子和部分溶解于水中的 Fe<sup>2+</sup> 共同催化 PS 生成 SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 将 TC 氧化为 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 和中间体, 是 ATP@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/PS 体系去除四环素的主要机理。以上研究结果可为催化材料的应用提供参考。

**关键词** ATP; Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; 共沉淀法; 催化剂; 过硫酸盐; 降解四环素

基于羟基自由基反应的高级氧化技术(AOPs)已被广泛应用于去除持久性有机污染物<sup>[1]</sup>。然而, 均相催化体系有许多缺点, 且所生成的铁泥会对环境造成二次污染<sup>[2]</sup>。与均相类芬顿催化剂相比, 非均相类芬顿催化技术越来越受到青睐, 特别是纳米磁铁矿(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)被认为是一种有潜力的催化剂<sup>[3-4]</sup>。为了克服 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 磁性纳米粒子的团聚, 提高催化降解性能, 有研究学者将 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 磁性纳米粒子与多孔载体材料, 如沸石<sup>[5]</sup>、石墨烯<sup>[6]</sup>、多壁碳纳米管<sup>[7]</sup>、活性炭<sup>[8]</sup>等进行结合。

凹凸棒土(ATP)是一种天然的水合铝镁硅酸盐矿物, 具有棒状形态以及较大的比表面积和较强的吸附性能<sup>[9]</sup>。尽管 ATP 对水中的金属和有机污染物有良好的吸附能力<sup>[10]</sup>, 但却不具备催化性能。本课题组已成功地将 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 与 ATP 结合制备出 ATP@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 复合材料, 并证实其是 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 强有力的催化剂, 不仅同时具有吸附和催化性能, 且因其具有磁性, 从而便于从溶液中分离回收<sup>[11]</sup>。

随着高级氧化技术的不断发展, 硫酸根自由基(SO<sub>4</sub><sup>-</sup>)有替代羟基自由基(·OH)的趋势, 其主要由过硫酸盐(PS)分解而来, 因此, 简便易得。相比于·OH, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>具有更高的氧化还原电位, 且 SO<sub>4</sub><sup>-</sup>与难降解的有机物之间发生的是电子转移反应, 所以在体系中的寿命比·OH 更长<sup>[12]</sup>。到目前为止, 有关 ATP@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/PS 体系降解有机污染物的研究鲜见报道。

收稿日期: 2020-02-15; 录用日期: 2020-05-03

基金项目: 江苏省现代农业项目(BE2018328); 江苏省六大人才高峰创新团队项目(2018-TD-JNHB-012); 扬州大学优秀教学团队项目