



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.202006007 中图分类号 X703 文献标识码 A

李魁岭, 刘泓铎, 刘烈, 等. 基于电催化疏水膜的新型膜接触臭氧氧化工艺[J]. 环境工程学报, 2020, 14(8): 2030-2036.

LI Kuiling, LIU Hongxin, LIU Lie, et al. Development of a novel membrane contact ozonation process based on electro-catalytic hydrophobic membrane[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(8): 2030-2036.

## 基于电催化疏水膜的新型膜接触臭氧氧化工艺

李魁岭<sup>1,2,3</sup>, 刘泓铎<sup>1,2,3</sup>, 刘烈<sup>1</sup>, 汪志永<sup>1,2,3</sup>, 郭菁菁<sup>1,2,3</sup>, 张勇<sup>1,2,3</sup>, 王军<sup>1,2,3,\*</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. 中国科学院生态环境研究中心, 高浓度难降解有机废水处理技术国家工程实验室, 北京 100085

3. 中国科学院大学, 北京 100049

第一作者: 李魁岭(1989—), 男, 博士研究生。研究方向: 膜及膜分离技术。E-mail: [klii\\_st@rcees.ac.cn](mailto:klii_st@rcees.ac.cn)

\*通信作者: 王军(1975—), 男, 博士, 研究员。研究方向: 功能膜制备及应用等。E-mail: [junwang@rcees.ac.cn](mailto:junwang@rcees.ac.cn)

**摘要** 膜接触臭氧氧化(MCO)工艺以疏水膜为臭氧提供丰富的气液接触界面, 具有较高臭氧传质效率。然而, MCO工艺以臭氧直接氧化为主, 对废水中有机污染物的去除有较强的选择性, 氧化能力有待提高。通过电催化疏水膜将MCO工艺与电化学技术相结合, 构建了新型的膜接触电催化臭氧氧化(ECMCO)工艺。ECMCO工艺以高级氧化过程为主, 对水中硝基苯的去除效率明显增强, 同步提高了臭氧传质效率和体系的氧化能力。ECMCO工艺对酒厂废水的生化出水进行深度处理后, 水中COD降至 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下, 色度完全脱除, 总运行能耗明显低于MCO和MCO+ $\text{H}_2\text{O}_2$ 工艺。针对臭氧工艺在水处理应用中传质效率低、矿化能力差、运行能耗高的问题, ECMCO技术提供了可行的解决方案, 有较好的研究价值和应用前景。

**关键词** 疏水膜; 膜接触器; 电催化; 臭氧; 高级氧化

臭氧的氧化还原电位(2.07 V)较高, 具有较强的氧化、杀菌、消毒等能力, 是水处理领域公认的一种绿色氧化剂和消毒剂<sup>[1-2]</sup>。然而, 臭氧氧化技术在工程应用过程中普遍存在臭氧利用率低和能耗高的问题<sup>[3]</sup>。为提高臭氧氧化功效, 可采取以下两方面措施: 1) 增大气液接触面积, 提高臭氧与液相间的传质效率; 2) 通过臭氧分解产生 $\cdot\text{OH}$ 的方法提高臭氧的反应速率和氧化能力。

为提高臭氧气液间的传质效率, 研究者将多孔疏水膜应用于臭氧传质, 开发了新型的膜接触器。多孔疏水膜既可作为气、液两相的分隔界面, 又在膜孔处提供丰富的气液接触界面<sup>[4-5]</sup>。与填充塔、鼓泡塔和射流负压投加器等传统接触工艺相比, 膜接触工艺具有以下优点: 1) 单位体积内气液接触面积可以提高1~2个量级<sup>[6]</sup>; 2) 气、液两相独立流动, 便于控制; 3) 气相中分子通过扩散方式直接溶于液相, 而不是在压力作用下以气泡形式进入液相, 避免了液泛、乳液、雾沫夹带等棘手问题; 4) 可将膜组件作为模块化组合单元, 便于工业应用放大<sup>[7-8]</sup>。

臭氧在废水处理过程中可与有机污染物直接反应。反应主要通过氧化还原、环加成以及亲电取代等途径进行, 具有选择性较强、有机污染物矿化效率低等特点。臭氧间接反应通过臭氧的分解产物(如羟基自由基,  $\cdot\text{OH}$ )进行, 具有反应速率快、无选择性和矿化程度高<sup>[9-10]</sup>等特点。膜接触

收稿日期: 2020-06-01; 录用日期: 2020-06-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51978651); 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室专项经费(18L01ESPC)