



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（二）

DOI 10.12030/j.cjee.202006178

中图分类号 X703

文献标识码 A

林明, 韩京龙, 安焯辰, 等. 面向废水深度净化的氧化石墨烯膜过滤技术[J]. 环境工程学报, 2020, 14(9): 2378-2393.

LIN Ming, HAN Jinglong, AN Yechen, et al. Graphene oxide membrane filtration technology for deep purification of industrial wastewater and its development trend[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(9): 2378-2393.

## 面向废水深度净化的氧化石墨烯膜过滤技术

林明<sup>1</sup>, 韩京龙<sup>2</sup>, 安焯辰<sup>2</sup>, 任瑞昀<sup>3</sup>, 王爱杰<sup>3,\*</sup>

1. 广船国际有限公司, 广州 511462

2. 哈尔滨工业大学(深圳)土木与环境工程学院, 深圳 518055

3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

第一作者: 林明(1975—), 男, 博士, 工程师。研究方向: 污水与固废处理及资源化。E-mail: 57009307@qq.com

\*通信作者: 王爱杰(1971—), 女, 博士, 研究员。研究方向: 污染物定向转化与资源化。E-mail: ajwang@rcees.ac.cn

**摘要** 膜过滤技术作为一种高效、低能耗、二次污染少的技术, 已广泛用于工业废水的深度净化与再生中。传统有机膜在工业废水深度净化处理中存在着耐氧化性不足、使用条件苛刻、膜污染控制困难等问题。同时, 膜过滤过程中产生的有机物/无机盐混合浓水也阻碍了浓水的资源化利用。氧化石墨烯膜作为下一代的膜材料具有更好的耐氧化性、亲水性, 且制备成本低廉, 对有机物与无机盐的分离性能优异, 有望在工业废水的深度净化与回用中得到广泛应用。在阅读文献资料的基础上, 梳理了氧化石墨烯膜的制备、性能特点, 采用氧化石墨烯膜过滤技术进行工业废水深度净化的研究现状及尚待解决的问题, 如材料的稳定性能及膜污染控制等。最后指出氧化石墨烯膜过滤技术在未来应逐步实现应用放大, 并在工业废水深度净化、实现水与资源回用, 达到近“零排放”的水处理过程中发挥重要作用。

**关键词** 氧化石墨烯膜; 工业废水深度处理; 膜技术; 无机交联化; 膜污染控制

随着人类社会的飞速发展, 水资源的利用程度日益提升, 水资源短缺问题受到了人们的广泛关注<sup>[1]</sup>。工业生产过程会消耗大量的洁净水, 并相应排出大量难降解废水, 出于经济方面的考虑, 这些废水的处理方法仍以生物处理为主<sup>[2-10]</sup>。然而, 生物处理出水中会残余一定量的有机物<sup>[9,11-14]</sup>。出水有机物 (effluent organic matter, EfOM) 中包括有难降解物质、降解残余物、中间产物、终产物、复杂的有机物, 以及溶解性微生物代谢产物 (soluble microbial products, SMP)。生物处理二级出水中 EfOM 或 SMP 的存在及其特点对于生物处理的出水水质及深度处理的效率会有较大的影响。同时这些有机物中的一部分在后续氯化消毒过程中可被转化为消毒副产物<sup>[15]</sup>, 与其他难降解的毒性组分一起排放到环境中, 会带来水污染及其他水环境问题<sup>[16]</sup>。因此工业废水深度净化与资源化对于提升我国水环境质量、缓解我国水资源短缺具有重要意义。

膜过滤技术是一种污水处理及深度净化回用技术, 具有出水水质好、能耗低、占地小、副产物少、易于升级改造等诸多优点, 已逐渐成为该领域的主导技术<sup>[17-18]</sup>。然而, 实际应用中, 膜过滤技术存在浓水处理与资源化困难、膜污染严重、对进水水质要求严苛等诸多问题。这些问题加大

收稿日期: 2020-06-29; 录用日期: 2020-07-28

基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (21906173)