



文章栏目：学术短评

DOI 10.12030/j.cjee.202007101

中图分类号 X703

文献标识码 A

王毅力. 水处理中的空间限域效应：强化物质传输[J]. 环境工程学报, 2020, 14(8): 1991-1992.

WANG Yili. Space confinement effect in water treatment: mass transfer enhancement[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(8): 1991-1992.

## 水处理中的空间限域效应：强化物质传输

王毅力<sup>1,2</sup>

1. 北京林业大学环境科学与工程学院, 北京 100083

2. 《环境工程学报》青年学术委员会, 北京 100085

作者简介: 王毅力(1972—), 男, 博士, 教授。研究方向: 环境污染控制与生态修复。E-mail: wangyilimail@126.com

空间限域效应是指当物质处于受限空间时, 因其运动受到限制而引起的物理化学性质发生明显改变的现象<sup>[1]</sup>。在具体水处理过程中, 空间限域效应可以促进传质过程, 进而提高污染物降解或分离效率。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胡承志研究员领衔的研究团队在构建空间受限结构、调控水处理工艺的传质过程方面开展了深入而卓有成效的研究, 发现通过空间限域效应可以提高氧化反应中污染物的降解速率和纳滤膜脱盐效率, 相关研究成果已分别发表在《Applied Catalysis B: Environmental》<sup>[2]</sup>以及《Journal of Membrane Science》<sup>[3]</sup>等权威期刊上。

在光电催化反应体系中, 为解决污染物在常规电极表面扩散和传质较慢的问题, 研究团队利用水热法在 3-D 多孔碳纤维布基底上制备了 ZnO 纳米线阵列, 该 ZnO 纳米线阵列可利用 ZnO 内部极化诱导静电场, 为直接电子迁移提供 1-D 通道, 从而加速光生载流子的空间分离。研究发现, 在穿透式水流模式下, 3-D 结构的碳纤维之间交错形成微孔流道, 其上负载的 ZnO 纳米线形成纳米限域空间, 因而加速有机污染物在电极表面的传质及高效光电催化降解(原理<sup>[2]</sup>见图 1)。通过微孔流道截留和空间限域效应的协同作用, 三维 ZnO 光阳极对罗丹明 B 的降解速率常数可以达到常规平板电极的 5 倍。可见, 空间限域效应利用受限空间增强了罗丹明 B 向电极表面的传质过程, 从而提高反应速率常数, 进而实现污染物高效降解。

纳滤膜脱盐过程实际上是盐离子在限域膜孔中的传输过程, 可以通过电场力作用调控盐离子在纳米孔道中的传输行为, 提高纳滤膜的截留率。研究团队构建了石墨烯纳滤膜, 并施加与过滤方向相反电场进行膜脱盐试验, 发现大部分阳离子的跨膜传输被抑制, 导致截留率提高, 其中, 硫酸钠的截留率在 1 V 的电压下提高 16.84%, 在 -1 V 的电压下降低 26.82%。该技术的原理<sup>[3]</sup>(见图 2)是石墨烯片层形成的纳米孔道在水溶液中荷负电, 使电解质离子在石墨烯片层表面形成双电层, 且该双电层在极窄的石墨烯膜的纳米孔道 (< 1 nm) 中发生重叠, 当石墨烯对孔道中离子的静电吸引和扩散作用达到平衡后, 孔道中阳离子浓度明显大于阴离子浓度。因此, 在石墨烯膜上施加与过滤方向相反电场会提升阳离子的截留率。

上述研究证明, 通过构建限域空间, 利用空间限域效应精准调控物质传输过程, 可以实现污染物降解速率的提高和膜材料的脱盐性能的提升。这些研究结果对于污染物的催化降解和膜分离过程的发展具有重要指导意义。

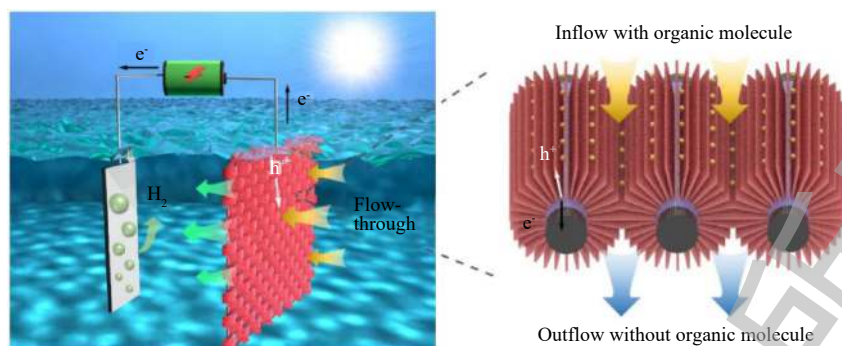


图1 限域空间中光电催化污染物降解的原理

Fig. 1 Photoelectrocatalytic degradation mechanism of pollutants in confined space

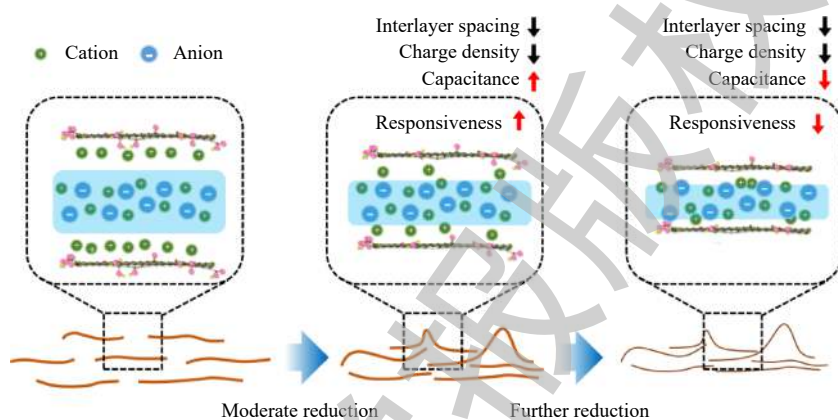


图2 石墨烯限域空间中电场对离子传输的调控机制

Fig. 2 Regulation mechanism of electric field on ion transport in graphene-based confined space



胡承志 (1976—), 中国科学院生态环境研究中心研究员, 兼任中国科学院大学岗位教授、中国科学院-发展中国家科学院 (CAS-TWAS) 水与环境卓越中心教授。现任环境水质学国家重点实验室副主任, 生态环境部“十四五”科技发展规划编制组、科技部环境领域技术预测专家组成员, 中国工程院全球工程前沿环境领域工作组副组长。主要从事水质净化和资源回收技术原理与应用方面的研究, 重点关注电动分离水处理技术, 在水处理电吸附、电凝聚和电控膜分离方面开展了富有成效的研究工作。技术成果在 20 余个水处理工程中成功应用, 特别是电控膜分离反应器技术, 已成功应用于农村分散型供水处理工程, 可实现无药剂、低维护、高效率的水处理过程。相关技术获授权发明专利 12 项, 并获国家技术发明奖二等奖、生态环境部环境保护科学技术奖一等奖、教育部科技进步奖一等奖等。担任《Environmental Research》和《土木与环境工程学报》编委及《环境工程学报》特邀学术编辑; 在《Advanced Functional Materials》和《Environmental Science & Technology》等期刊发表论文 100 余篇。

## 参考文献

- [1] 包信和. 纳米限域及能源分子的催化转化[J]. 科学通报, 2018, 63(14): 1266-1274.
- [2] GU Z, AN X, LAN H C, et al. Microfluidic-enhanced 3-D photoanodes with free interfacial energy barrier for photoelectrochemical applications[J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2019, 244: 740-747.
- [3] SUN J, HU C, WU B, et al. Improving ion rejection of graphene oxide conductive membranes by applying electric field[J]. *Journal of Membrane Science*, 2020, 604: 118077.

(本文编辑: 靳炜, 张利田, 郑晓梅)