

项目名称：污水电化学高效处理新方法 with 性能调控机制

推荐单位：南开大学

奖励类别：自然科学奖

项目简介：

在全球能源紧张、资源日趋匮乏、新兴污染物威胁水生态安全的背景下，将污水处理从传统的能源消耗型向能源资源回收型转变，更高效促进难降解有机污染物的深度处理，已成为全球共识与未来发展的重要趋势。环境电化学技术以电子为媒介实现物质转化和能源转变，是公认的最具潜力的环境友好技术之一。揭示其电子传递机制和界面调控原理、构建污染物高效转化和能量定向利用新方法是该技术领域亟待突破的关键科学问题，也是国际上该领域的研究热点和难点。

项目组围绕这些关键科学问题，在低成本高性能的空气扩散自呼吸阴极制备及其性能调控、碳毡阴极改性提升电芬顿性能及其处理膜浓水应用、污染物氧化过程中微生物与阳极协同电子传输原理、高效电芬顿构建及其去除有机物原理等方面获得了一系列重要科学发现。

(1) 基于多孔活性炭材料构建了高效氧传递和局部四电子氧还原的反应微界面，揭示了局部氧还原的活性位点和三相界面的重要作用，提出了三相界面的性能调控方法，发展了一系列低成本高性能的活性炭基的空气扩散自呼吸阴极制备方法，提出了最优设计的电极结构构造方法，丰富了多孔电极氧还原催化理论与技术，有效解决了无贵金属催化阴极四电子催化效率低，废水电能转化率低的问題。

(2) 发明了化学法修饰碳毡阴极方法，发现改性增加了阴极表面含氧功能团而提升亲水性能，从而促进电子在溶液和电极界面的传递，阐释了改性提升电芬顿性能的机制，有力地推动了国际碳毡阴极处理污染物效能水平的进步。首次验证了电芬顿处理反渗透浓水可行性，阐明了浓水中共存氯离子的间接氧化促进阴阳极耦合作用去除有机物的机制，为应用日益广泛的膜浓水处理难题提供新的技术途径。

(3) 推导了氧气利用率计算方法，提出了更全面评价阴极产双氧水性能的4大指标，并以此为指标发展了综合性能优越的气体扩散电极体系，进一步发展

基于铁碳的多相电芬顿，提升近中性条件下处理的时空效率，揭示氯酚等有机物多相电芬顿高效去除原理。

(4) 发现并报道了阳极电容是微生物向电极传递电子过程的核心问题，提出了多种提升阳极电容的方法，揭示了其促进微生物放电的机理。提出了强化阳极电容增强微生物放电稳定性的方法，有效解决了高电流密度下，微生物氧化有机物放电稳定性不足的问题。

8 篇代表性论文包括 *Environ. Sci. Technol.* (IF:6.653) 1 篇, *Water Res.* (IF: 7.051) 2 篇, SCI 他引 694 次, 单篇论文最高 SCI 他引 193 次; ESI 高被引论文 3 篇。受邀在国际电化学大会上做大会主旨报告等邀请报告, 连续 5 次入选爱思唯尔发布的中国高被引学者榜单。

代表性论文专著目录:

1. Dong H, Yu H*, Wang X*. Catalysis kinetics and porous analysis of rolling activated carbon-PTFE air-cathode in microbial fuel cells. *Environ. Sci. Technol.*, 2012, 46, 13009-13015.
2. Zhou M.H.*, Tan Q. Q., Wang Q., Jiao Y. L., Oturan N., Otruan M. A. Degradation of organics in reverse osmosis concentrate by electro-Fenton process. *J. Hazard. Mater.*, 2012, 215-216: 287-293.
3. Dong H, Yu H*, Wang X*, Zhou Q, Feng J. A novel structure of scalable air-cathode without Nafion and Pt by rolling activated carbon and PTFE as catalyst layer in microbial fuel cells. *Water Res.*, 2012, 46: 5777-5787.
4. Zhang C., Zhou M.H.*, Ren G.B., Yu X.M., Ma L., Yang J., Yu F.K. Heterogeneous electro-Fenton using modified iron-carbon as catalyst for 2,4-dichlorophenol degradation: Influence Factors, mechanism and degradation pathway. *Water Res.*, 2015, 70: 414-424.
5. Peng X, Yu H*, Wang X*, Zhou Q, Zhang S, Geng L, Sun J, Cai Z. Enhanced performance and capacitance behavior of anode by rolling Fe₃O₄ into activated carbon in microbial fuel cells. *Bioresour. Technol.*, 2012, 121: 450-453.
6. Zhou M.H.*, Liu L., Jiao Y. L., Wang Q., Tan Q. Q. Treatment of high-salinity reverse osmosis concentrate by electrochemical oxidation on BDD and DSA electrodes. *Desalination*, 2011, 277, 201-206.
7. Zhou L., Zhou M.*, Hu Z., Bi Z., Serrano K.G. Chemically modified graphite

felt as an efficient cathode in electro-Fenton for p-nitrophenol degradation. *Electrochim. Acta*, 2014, 140: 376-383.

8. Yu X.M., Zhou M.H.*, Ren G.B., Ma L. A novel dual gas diffusion electrodes system for efficient hydrogen peroxide generation used in electro-Fenton. *Chem. Eng. J.*, 2015, 263: 92-100.

主要完成人情况:

1. 周明华, 排名1, 教授, 工作单位: 南开大学, 完成单位: 南开大学, 本项目负责人和主要完成人之一, 主要学术思想和总体方案的提出者。在研究方案构思、具体技术方法的确定等方面做了系统的研究工作。对《重要科学发现》中的第2、3 均做出了突出贡献。代表性论文2、4、6、7、8 的通讯作者。曾获科技奖励: 国家“万人计划”科技创新领军人才; 科技部中青年科技创新领军人才; 天津市“131”创新型人才培养工程第一层次; 教育部高等学校自然科学一等奖。

2. 王鑫, 排名2, 教授, 工作单位: 南开大学, 完成单位: 南开大学, 本项目的主要完成人之一, 在研究方法、技术理论和结果分析等方面做了全面和深入的工作。对《重要科学发现》中的第1、4 均做出了突出贡献, 代表性论文1、3、5的共同通讯作者。曾获科技奖励: 天津市创新人才推进计划-青年优秀科技人才。

3. 于宏兵, 排名3, 教授, 工作单位: 南开大学, 完成单位: 南开大学, 本项目的主要完成人之一, 在研究方法、技术理论和结果分析等方面做了全面和深入工作, 对《重要科学发现》中的第1、4 做出了突出贡献, 代表性论文1, 3, 5 的共同通讯作者。

4. 董恒, 排名4, 副教授, 工作单位: 南开大学, 完成单位: 南开大学, 本项目的主要完成人之一, 在研究方法、技术理论和结果分析等方面做了全面和深入的工作, 对《重要科学发现》中的第1、4 做出了突出贡献, 代表性论文1, 3 的第一作者。