

项目名称：水中污染物微生物电化学转化与能源回收方法及机理

推荐单位：中华人民共和国教育部

推荐意见：

该项目围绕微生物电化学系统用于有机废水处理中的关键科学与技术问题，在国际上率先提出了系统中有机污染物高效降解与电子定向转移机制研究，提出了有机物梯级转化能源化新路径，取得了一系列创新性研究成果，实现了水中有机物梯级转化与能源资源回收，并揭示了微生物学与电化学耦合调控机制，并针对系统放大过程，提出了放大方法与原则。申请人提出了通过材料表面改性获得较高电荷传递效率的研发思路，获得了低成本、可规模化使用的新材料，阐明了若干有机物在MES中的转化机制，建立了系统方法策略与方法。这些研究成果为MES理论发展与技术应用提供了重要的理论依据和技术基础。

项目团队创新能力强，相关成果发表在 *Energ. Environ. Sci.*、*Environ. Sci. Technol.*、*Water Res.*等环境、能源领域著名期刊上，受到了广泛关注和认可。该团队组织召开了首届该领域亚太地区会议，多次在全球及区域性重要国家会议上作大会特邀报告，项目负责人担任国际微生物电化学学会理事会理事及国际水协会会士，对推动微生物电化学系统技术理论研究及实现其在污水处理中的能源化利用发挥了重要的引领作用。

项目申报书内容详实、数据真实可靠。

基于此，荐该项目申报国家自然科学奖二等奖。

项目简介：

该项目属于环境科学技术领域，主要涉及废水微生物电化学处理过程中电子传递及能源转化技术的基础研究。

现行的污水处理技术的应用已超过 100 年，为解决全球水污染做出了重要贡献，但处理能耗高、污泥量大、水中资源未得到回收利用等问题一直没有得到有效解决，已成为世界性难题。污水处理不再是仅仅将污染物从水中去除或转移，而是将污水看做是一种“使用过的资源”，在完成水体高效净化的同时实现水中资源、能源回收，这一转变已成为国际上废水处理的重要趋势。但废水中有机物含量低、水质复杂，资源回收难度大，是制约该方向发展关键难题。本团队研发出了微生物电化学废水处理及能量回收技术，围绕系统电子转移机制及能量回收原理，系统开展了如下的研究工作：（1）多尺度界面电子转移及微界面调控机制；（2）电能微生物胞外电子转移与调控机制；（3）有机质能量转化方法与系统构建。主要科学发现点如下：

发现点 1：创新了污水生物质中的电子转移方式和能量流向，提出了微生物电化学强化水中有机物高效转化同步产能的学术思想，为微生物电化学技术实现污水处理能源化奠定了重要基础

人类活动排放了大量污染物，其分解需要补充大量的电子受体，消耗了大量能源。在污染物的氧化还原过程中，电子向最终受体的迁移过程释放了大量能量，而这部分能量最终转化为剩余污泥。前者是污水处理能耗，后者是剩余污泥的二次污

染，是目前污水处理行业中两大核心难题。本项目基于电化学原理创新了生物电子转移方式，从而调控了污染物中能量的最终流向，实现了能量分配的本质改变。

发现点 2：阐明了微生物电子界面转移与传递机制，建立了微界面的综合调控策略，大幅提高了污染物向电能的转化能力

MES 系统中，厌氧生物膜内的电子需经过外电路传递至阴极，完成电子在呼吸量中的传递过程，生物膜载体兼具着传递电子的功能，尤其是电极微界面是联系微生物和电极的“桥梁”，直接影响电子传递效率。该项目提出了从材料、化学、生物学原理上深入探索微生物电极微界面特性及调控方法的新思路，为阐明系统结构与效能关系提供了有效工具。

发现点 3：发现了电极活性微生物胞外电子传递规律和互作机制，为生物电化学系统应用和发展提供了重要理论支撑和技术依据

微生物将电子向胞外传递是与经典生理生化过程不同的代谢过程，目前这一过程中电子传递过程尚没有高度一致的理解和认知。该团队从基因、细胞、群落多尺度入手，建立和宏观因素与微观结构的半定量关系。

发现点4. 揭示了内阻在放大过程中的变化规律，突破了几何放大造成的功率衰减瓶颈，为大型化MES的构建和整体性能提升指明了方向

面向建造成本低、能耗少、占地小的污水处理的国家重大需求，本项目在上述研究基础上，开展了 MES 处理实际废水的工程实践。系统阐明了系统内阻在放大过程中的变化规律，提出了非理想内阻因子 f 概念，阐明了 f 受接界面面积和电流分布影响的基本规律，提出了系统放大方法。构建出了目前国际上最大的 MES 中试装置、突破了传统生物处理过程中复杂底物细菌发酵产氢普遍存在的“代谢障碍”，提出了“乙醇型发酵—微生物电解”耦合废水处理同步产氢模式，实现了系统内驱动、能量自平衡与资源回收，大幅度提高了有机物转化率和能源回收效率，为微生物电化学系统的发展提供了重要理论支撑。

本研究共发表 SCI 论文 78 篇， 8 篇主要论文 SCI 他引总数 1363 次，最高影响因子 33.25，授权国家发明专利 4 项。第一完成人获国家杰出青年科学基金、入选科技部万人计划、科技部重点领域创新团队负责人，是国际生物电化学学会理事、国际水协会会士，2014、2018 年连续 5 年被 Elsevier 评选为高被引学者。团队成员主办过三次生物电化学领域国际学术研讨会，受邀在国内外学术会议做大会及特邀报告 20 余次。

代表性论文（专著）目录（不超过 8 篇）

序号	论文（专著） 名称/刊名 /作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时 间(年月 日)	通讯 作者(含 共同)	第一 作者(含 共同)	国内作者	引用 总次 数	检索 数据 库	论文署名单位 是否包含国外 单位
1	The effect of flow modes and electrode combinations on the performance of a multiple module microbial fuel cell installed at wastewater treatment plant /Water Research/ He Weihua, Wallack Maxwell J., Kim Kyoung-Yeol, Zhang Xiaoyuan, Yang Wulin, Zhu Xiuping, Feng Yujie, Logan Bruce E.	2016, 105, 351-360	2016-11 -15	冯玉杰 布鲁斯· 罗根	何伟华	何伟华、 张潇源、 朱秀萍、 冯玉杰	37	SCI	包含
2	Electricity Generation and Pollutant Degradation Using a Novel Biocathode Coupled Photoelectrochemical Cell /Environ. Sci. Technol./ Du Yue, Feng Yujie*, Qu Youpeng, Liu Jia, Ren Nanqi, and Liu Hong	2014, 48, 7634-7641	2014-05 -27	冯玉杰	杜月	杜月, 冯 玉杰, 曲 有鹏, 刘 佳, 任南 琪, 刘洪	51	SCI	否
3	Pyrosequencing reveals highly diverse microbial communities in microbial electrolysis cells involved in enhanced H ₂ production from waste activated sludge /Water Research/ Lu Lu, Xing Defeng*, Ren Nanqi*	2012, 46, 2425-2434	2012-02 -11	邢德峰, 任南琪	路璐	路璐, 邢 德峰, 任 南琪	211	SCI	否
4	Enhanced hydrogen production from waste activated sludge by cascade utilization of organic matter in microbial electrolysis cells /Water Research/ Lu Lu, Xing Defeng*, Liu Bingfeng, Ren Nanqi	2012, 46, 1015-1026	2011-12 -08	邢德峰	路璐	路璐, 邢 德峰, 刘 冰峰, 任 南琪	96	SCI	否
5	Hydrogen production, methanogen inhibition and microbial community structures in psychrophilic in single-chamber microbial electrolysis cells	2011, 4, 1329-1336	2011-02 -11	任南琪, 邢德峰	路璐	路璐, 任 南琪, 赵 鑫, 王欢,	94	SCI	否

	/Energy and Environmental Science/ Lu Lu, Ren Nanqi*, Zhao Xin, Wang Huan, Wu Di, Xing Defeng*					吴迪, 邢德峰			
6	Use of carbon mesh anodes and the effect of different pretreatment methods on power production in microbial fuel cells /Environmental Science & Technology/ Wang Xin, Cheng Shaoan, Feng Yujie*, Merrill Matthew, D.Saito Tomonori, Logan Bruce E.*	2009, 43, 6870-6874	2009-06-17	冯玉杰 布鲁斯·罗根	王鑫	王鑫, 成少安, 冯玉杰	356	SCI	包含
7	Accelerated start-up of two-chambered microbial fuel cells: Effect of anodic positive poised potential /Electrochimica Acta/ Wang Xin, Feng Yujie*, Ren Nanqi, Wang Heming, Lee He, Li Nan, Zhao Qingliang	2009, 54, 1109-1114	2008-08-12	冯玉杰	王鑫	王鑫, 冯玉杰, 任南琪, 王赫名, 李贺, 李楠, 赵庆良	156	SCI	否
8	Brewery wastewater treatment using air-cathode microbial fuel cells /Applied Microbiology and Biotechnology/ Feng Yujie*, Wang Xin, Logan Bruce E., Lee He	2008, 78, 873-880	2008-02-02	冯玉杰	冯玉杰	冯玉杰, 王鑫, 李贺	362	SCI	否
合 计							1363		

主要完成人：冯玉杰、任南琪、邢德峰、王鑫、何伟华

申报单位：哈尔滨工业大学