

推荐国家技术发明奖项目公示

项目名称	基于高能效纳晶薄膜电极的工业废水电催化深度处理技术及应用
推荐单位	教育部
<p>推荐单位意见：</p> <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>该项目发明了基于高能效纳晶电极的工业废水电催化深度处理技术，实现了高性能电极的工业化批量生产，发明了基于超溶氧技术的高效电化学反应装置，发明了工业废水电催化深度处理强化新工艺。该成果已在多个工业废水深度处理工程中成功应用，取得了显著的经济效益、社会效益、环境效益和生态效益。</p> <p>该成果已在 7 种行业工业废水深度处理工程中成功应用，已获授权发明专利 28 项；发表 SCI 收录 162 篇，被 SCI 他引 4090 次，牵头单位研发团队作为核心成员入选“国家创新研究群体”；成果核心技术获教育部技术发明奖一等奖 2 项（2012、2016）和教育部专利奖二等奖 1 项（2014）。研究成果引领了我国工业废水电催化深度处理科学与技术的发展，实现了跨学科、跨领域的集成创新，带动了行业废水深度净化的技术进步，提升了我国在工业废水电催化深度处理领域的国际影响力。</p> <p>对照国家技术发明奖授奖条件，推荐该项目申报 2017 年度国家技术发明奖一等奖。</p>	

项目简介:

本项目属于水污染防治工程的科学技术领域。

我国日趋严重的水环境污染问题导致工业废水处理标准不断提高，由此对工业废水深度处理达标排放提出了十分迫切的要求。近年来，我国对工业废水深度处理已经做了大量工作，但迄今为止，缺乏能够大范围推广应用的达标处理实用技术。

项目组经过 20 年的攻关，通过深入研究揭示了高密度强氧化态活性位点及高活性氧团簇对污染物的电子电离及多位解离机理，发明了纳晶薄膜电极瞬时产生高密度强氧化态活性位点的新技术方法，研发解决了氧端供给不佳的工业废水电催化高效深度处理集成装备，创新了系列高效低耗工业废水深度处理集成新工艺，大幅提升了工业废水深度处理工程技术水平。

主要技术发明点如下：

【1】发明了纳晶高效电极瞬时产生高密度强氧化态活性位点（SOAS）和高活性氧团簇（HROC）新技术方法，显著提升了难降解工业废水深度处理效率。率先揭示了以 SOAS 诱导难降解有机污染物电子电离、继而以 HROC 攻击实现多位分解的瞬态反应过程机理，发明了具有纳晶多孔结构能瞬时产生高密度 SOAS/HROC 的高效电极材料，比传统电极的析氧过电势提高 0.25 V，SOAS/HROC 产率提高 70 倍，突破了传统电化学技术难以彻底分解有机污染物的技术瓶颈，实现了工业废水深度处理技术的跨越式提升。

【2】发明了具有限域增强效应的阵列式超溶氧工业废水电催化深度处理新装备。揭示了限域增强效应作用下纳米微气泡稳态过饱和溶氧机理，发明了具有限域增强效应和过饱和溶氧能力的阵列式电催化高效反应集成新装备，突破了电催化技术工程实践中反应器难以有效匹配高性能超敏电极的技术难题，大幅提升了工业废水深度处理工程装备技术水平。

【3】发明了系列高效低耗工业废水深度处理集成新工艺，开拓了以新型电催化技术为核心的多行业工业废水深度处理的工程应用。阐明了以光解均裂自由基过程破坏可逆过渡态定向调控污染物分解途径的反应机理，发明了以电催化为核心的抗负荷冲击力强、出水水质稳定的工业废水高效低耗深度处理集成工艺，将工业废水电催化深度处理及回用工程成功拓展应用至焦化、皮革、化工、制药等十余个行业，显著提升了工业废水深度处理技术的工程应用水平。

该成果已在 7 种行业工业废水深度处理工程中成功应用，已获授权发明专利 26 项；发表 SCI 收录 162 篇，被 SCI 他引 4090 次，牵头单位研发团队作为核心成员入选“国家创新研究群体”；该成果核心技术获教育部技术发明奖一等奖 2 项（2012、2016）和教育部专利奖二等奖 1 项（2014）。成果引领了我国工业废水电催化深度处理科学与技术的创新发展，显著推动了工业废水深度处理的技术进步，提升了我国在工业废水电催化深度处理领域的国际影响力。

客观评价：

5.1 科技成果鉴定

中国环境科学学会于2016年12月18日在河北邢台组织并主持召开了“煤化工园区污染综合治理与资源化回用技术及工业化应用”科技成果鉴定会，以曲久辉院士为组长的由4名院士组成的鉴定委员会考察了项目现场，对该项目评价认为：该成果整体处于国际先进水平，在纳晶多孔电极制备技术、传质强化电催化反应装备研制方面处于国际领先水平。

5.2 科技查新

本项成果主要创新包括：（1）纳晶多孔薄膜电极制备技术；（2）具有限域增强效应的超溶氧电催化反应装备；（3）以电-光、及零价金属耦合工业废水深度处理技术。成果经中国化工信息中心以关键词“纳米；棱晶；超稳；纳米气泡；超溶氧；…… 薄膜；电极；废水；处理；装备”等查新，除查新项目委托人和合作单位发表的文献外，国内外未见与查新项目查新点完全相同的文献报道。

5.3 专利、引用和评价

该成果共申请中国发明专利 53 项、实用新型专利 3 项、美国/韩国发明专利 1 项，其中，有效中国发明专利 26 项。这些专利主要围绕工业废水的深度处理技术工作开展，涉及新材料制造技术的占 30%、电化学装置研制技术的占 35%、废水处理技术占 45%，有力地促进了我国工业废水电化学深度处理技术的科技进步。

本成果在 *Environ Sci Technol*、*Water Res* 等 SCI 收录期刊发表论文 162 篇，被 SCI 他人正面引用 4090 次。成果原创性和先进性受到了国际同行的高度评价；40 余篇文章被美国科技媒体 VerticalNews 正面报道，被认为具有高度原创性和新颖性；1 篇论文（*Water Res*, 2009）被中国信息情报研究所评为“2009 年中国百篇最有影响的国际学术论文”，迄今被他人正面引用 608 次，该论文也被列入 SciVerse ScienceDirect (SSD) 次季度该期刊的 Top 25 Hottest Articles（排名第 1）；该成果引发了国际相关领域科技界的高度关注，产生了重要国际影响。

根据美国汤森路透最近更新的基本科学指标（Essential Science Indicators, ESI）数据显示，前三位完成人在环境/生态学领域的学术影响力进入了全球相应学科领域的前 1%。

该成果关于新型电极材料的制备及其应用的相关内容发表于环境领域国际著名期刊 *Environ Sci Technol* (2012, 2013) 上，匿名审稿人评价认为：“这是一项关于采用电化学技术处理废水方面的非常有意义的研究主题，该研究是废水处理领域中开展几十年的电化学技术的拓展（…… This is a quite interesting topic in the electrochemical technology applied in treatment of wastewater. …… a new significant finding has been observed …… This research work is an extension of electrochemical technology that has been done for decades in the field of wastewater treatment）。例如：University of Illinois at Chicago、Kuvempu University 和 Nanyang Technological University 等单位的著名电化学专家发表在 SCI 期刊上的多篇综述文章对我们的工作进行了整段的引用和综述。

关于电化学处理技术方面的论文（*Water Res*, 2012, 46:2281）被美国科技媒体 VerticalNews 报道，认为“Research Reports from Beijing Normal University Provide New Insights into Science”；发表在 *Environ Sci Technol* (2012, 2013) 上的文章为美国科技媒体 VerticalNews 报道，认为“Scientists at Beijing Normal University Release New Data on Environmental Science and Technology”和“Reports from Beijing Normal University Advance Knowledge in Environmental Science and Technology”。

推广应用情况：

该成果所发明的电催化装备已实现了工业化批量生产，并销售到国内外多个省市，已在我国焦化、化工、石化和农药等行业 70 余个工业废水深度处理工程中推广应用，客户评价认为该技术在工业废水深度处理方面效果稳定、自动化程度高。此外，技术应用后，深度净化后的指标低于国家相关行业新排放标准。在有毒有害污染物去除效果方面，该成果研发的以电催化为核心技术的水处理工艺具有出水水质稳定、抗负荷冲击力强、处理效率高等优势。所涉及的技术已在国内难降解有机工业废水深度处理方面广泛推广应用。在我国重大污染防治计划《水污染防治行动计划》，即“水十条”提出的“污染物再削减 30%~50%”目标的背景下，该成果显示出更广的应用前景和市场潜力。近三年，工业废水处理量约 2175.78 万 m³/年，累计减排 COD 约 7235.62 吨、有毒有机物 1790.89 吨。

主要知识产权证明目录:

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
发明专利	一种多孔纳晶电极的制备方法及其应用	中国	ZL201210172442.5	2014年8月6日	1455898	北京师范大学	牛军峰, 林辉	有效专利
发明专利	一种制备氮掺杂纳米金刚石的方法及其电催化应用	中国	ZL201310164418.1	2015年6月24日	1704444	大连理工大学	全燮, 刘艳明, 陈硕, 于洪涛	有效专利
发明专利	一种负载型 FeOOH 催化剂的制备方法及其电类芬顿废水处理体系	中国	ZL201110091284.6	2013年7月10日		大连理工大学	杨凤林, 张国权, 徐晓晨, 付磊, 王帅	有效专利
发明专利	多孔纳晶 Ti/SnO ₂ -Sn/Ce-PbO ₂ 电极的制备方法	中国	ZL201410279964.4	2016年3月2日	1968453	北京师范大学	牛军峰, 林辉	有效专利
发明专利	上流式电催化反应器	中国	ZL201410659921.9	2016年8月	2205296	北京师	牛军峰, 殷立	有效专利

利				24 日		范 大 学	峰	
发 明 专 利	用于污水处理的波轮 式电化学反应器	中国	ZL201410658518.4	2016 年 7 月 27 日	2148595	北 京 师 范 大 学	牛 军 峰, 殷 立 峰	有 效 专 利
发 明 专 利	一种电解气浮设备	中国	ZL201210263832.3	2013 年 10 月 23 日		江 苏 江 华 水 处 理 设 备 有 限 公 司	汤 顺 良, 乔 治. 王 陶, 汤 秋 霞, 郑 巍	有 效 专 利
发 明 专 利	用于有机工业废水深 度处理的多孔 PbO ₂ 电极的制备方法	中国	ZL201410798991.2	2016 年 8 月 17 日	2187291	北 京 师 范 大 学	牛 军 峰, 徐 泽 升	有 效 专 利
发 明 专 利	酱油酿造工业废水的 处理方法及处理系统	中国	ZL201210039089.3	2012 年 7 月 11 日		东 莞 理 工 学 院	吕 斯 濠, 梁 志 辉, 范 洪 波, 曾 燕 艳, 罗 群	有 效 专 利

发明专利	一种用于高效评价光电催化反应效率的水力波轮盘反应器	中国	ZL201210332427.2	2014年11月19日	1521319	北京师范大学	牛军峰, 代云容, 殷立峰, 丁士元, 包月平, 沈珍瑶	有效专利
------	---------------------------	----	------------------	-------------	---------	--------	------------------------------	------

主要完成人情况:

1. 姓名: **牛军峰**, 排名 1, 教授, 工作单位: 北京师范大学, 完成单位: 北京师范大学, 是该项目主要负责人, 对发明点 1、2、3 均有重要贡献, 具体: (1) 全面负责纳晶薄膜电极材料制造、电化学设备研发、电催化技术工程示范和推广应用; (2) 是 9 项授权发明专利 (ZL201410798991.2、ZL201410658518.4、ZL201210332427.2、ZL201210173605.1、ZL201210233028.0、ZL2012103324160.3、ZL201210172442.5、ZL201410659921.9、ZL201410279964.4) 的第一发明人; (3) 占本人工作量的 80%。
2. 姓名: **全夔**, 排名 2, 教授, 工作单位: 大连理工大学, 完成单位: 大连理工大学, 是该项目主要负责人, 对发明点 1、3 均有重要贡献, 具体: (1) 高性能电催化电极设计制备及工程化的主要实施者; (2) 是 3 项授权发明专利 (ZL201310244643.6、ZL201310164418.1、ZL201110090220.4) 的第一发明人; (3) 占本人工作量的 70%。
3. 姓名: **杨凤林**, 排名 3, 教授, 工作单位: 大连理工大学, 完成单位: 大连理工大学, 是该项目主要负责人, 对发明点 3 有重要贡献, 具体: (1) 工业废水深度处理工艺的开发者和工程应用的主要实施者; (2) 是 7 项授权发明专利 (ZL201410842728.9、ZL201110097831.1、ZL201110091284.6、ZL201410225231.2、ZL200810012047.4、ZL201310432108.3、ZL201110043759.4) 的第一发明人; (3) 占本人工作量的 70%。
4. 姓名: **殷立峰**, 排名 4, 副教授, 工作单位: 北京师范大学, 完成单位: 北京师范大学, 是该项目主要负责人, 对发明点 2、3 均有重要贡献, 具体: (1) 电化学设备研发及工程化应用的主要实施人之一; (2) 是 4 项授权发明专利 (ZL201210480522.7、ZL201210480525.0、ZL201210492831.6、ZL201210413835.0) 的第一发明人; 3、占本人工作量的 70%。
5. 姓名: **吕斯濠**, 排名 5, 教授, 工作单位: 东莞理工学院, 完成单位: 东莞理工学院, 是该项目主要负责人, 对发明点 2、3 均有重要贡献, 具体: (1) 电化学设备的研发及工程化推广应用的主要实施人之一; (2) 是 2 项授权发明专利 (ZL201210039089.3、ZL201410272029.5) 的第一发明人; (3) 占本人工作量的 80%。
6. 姓名: **汤顺良**, 排名 6, 经济师, 工作单位: 江苏江华水处理设备有限公司, 完成单位: 江苏江华水处理设备有限公司, 是该项目的主要负责人, 对发明点 2、3 均有重要贡献, 具体: (1) 为电化学设备的研发及工程化推广应用的主要实施者; (2) 是 1 项授权发明专利 (ZL201210263832.3) 的第一发明人; 3、占本人工作量的 80%。

完成人合作关系说明（与第一完成人）：

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者 (项目排名)	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	论文合著	全燮/1 牛军峰/2 杨凤林/6	1999年9月	Effects of Fe ₂ O ₃ , organic matter and carbonate on photocatalytic degradation of lindane in the sediment from Liao river, China	论文	Chemosphere, 2003, 52(10), 1749-1755
2	共同知识产权	牛军峰/1 殷立峰/2	2007年9月	上流式电催化反应器	专利	ZL201410659921.9
3	共同获奖	牛军峰/1 汤顺良/3 殷立峰/4 吕斯濠/6	2006年9月	基于纳晶薄膜电极的工业废水电催化氧化深度处理装备及应用	获奖	2016年度教育部技术发明一等奖