

一、项目名称

光电催化降解污染物新型电极体系装置的关键技术及应用

二、提名奖项和等级

天津市科学技术进步奖二等奖

三、主要完成单位

天津城建大学、石家庄铁道大学、中电建生态环境集团有限公司、中铁七局集团郑州工程有限公司、科兴建工集团有限公司

四、主要完成人

刘志锋、阮梦楠、平扬、吴湘锋、史磊、李纪龙、潘飞、姚巍

五、提名单位

天津城建大学

六、项目简介

项目所属技术领域：项目主要开展光电催化降解污染物新型电极体系装置的关键技术及应用研究，属于新材料制造领域。

项目主要内容与特点：能源有效利用和环境保护成为关乎国计民生的突出问题之一，其中有机污染物的深度去除一直是水污染中的技术难点和发展瓶颈。本成果针对污水中有机污染物的深度去除问题，将电化学与光化学氧化法相结合，并依托天津市杰出青年基金等项目，从相调控双离子掺杂同质结电极体系—空间分离双助催化剂电极体系—热-光-电催化电极体系三个层级开展研究，取得了一系列原创性突破成果。主要创新如下：

（1）提出了基于相调控理论和双离子掺杂理论的光电催化降解污染物材料制备方法。研发了六方相/立方相 ZnIn_2S_4 和 $\text{Mg:ZnIn}_2\text{S}_4/\text{Co:ZnIn}_2\text{S}_4$ 光电催化同质结电极材料体系，揭示了载流子分离改善和光电催化降解污染物效率提升的作用机制，与单一 ZnIn_2S_4 光电催化电极材料相比，在 120 s 时间内对污染物降解率分别达到 91%和 95%。

（2）构筑了“空间分离”双助催化剂改性光电催化异质结电极材料体系。研发了 $\text{BiVO}_4/\text{Bi}_2\text{S}_3$ 光电催化异质结电极材料，揭示了“空间分离”双助催化剂改善 $\text{BiVO}_4/\text{Bi}_2\text{S}_3$ 电极材料体系载流子分离效率的作用机理，进一步解决了光电催化降解污染物效率低的关键难题，在 120 s 内 $\text{BiVO}_4/\text{Bi}_2\text{S}_3$ 双助催

化剂复合电极体系的光电催化降解率可达 97%。

(3) 开发了基于“热-光-电”协同作用下光电催化降解污染物材料关键制备技术。研发了 BaTiO3 和 CdS 等热释电材料体系，揭示了热释电效应改善光电催化电极降解污染物催化活性新机制，120 s 内 BaTiO3/CdS 在“热-光-电”协同作用下的光电催化降解率可达 98%。

(4) 研究光电催化降解污染物新型电极大面积、简单易操作的制备技术与工艺参数，解决了电极高质量、大面积成膜制备等问题，组装光电催化降解污染物体系，为污水中对苯二甲酸、乙二醇、对二氨基联苯、四环素、螺旋霉素、磺胺等有机物的深度去除提供绿色的新材料、新技术和新方法。

本项目共发表 SCI 论文 39 篇；授权发明专利 9 项；出版专著 2 部；完成技术成果转化 5 项；出版计算机软件著作权 1 部。项目成果应用于中电建生态环境集团有限公司、科兴建工集团有限公司、中铁七局集团郑州工程有限公司等单位参建的污水处理工程项目，近十余年已累计实现利税 2.87 亿元，社会、环境、经济效益显著。

七、主要支撑材料

(一) 知识产权和标准规范

附件 编号	知识产权 (标准) 类 别	知识产权 (标准) 具体名称	国家 (地区)	授权号 (标准编号)	授权 (标准发 布) 日期	证书编号 (标准批准 发布部门)	权利人 (标准起草单位)	发明人 (标准起草人)	有效 状态
1	发明专利	一种 Ag ₂ S 量子点敏化的纳米叶状 InVO ₄ 薄膜的制备方法	中国	ZL201910535628.4	2023-5-12	5960672	天津城建大学	刘志锋、兰亚尧	是
2	发明专利	一种 Fe ₂ O ₃ (Ti)@NH ₂ -MIL-101(Fe)复合光电催化剂及其制备方法	中国	ZL202111194836.6	2023-3-14	5768638	石家庄铁道大学	吴湘锋、刘旭涛、王惠、王泽宏、李岩、刘金鹏、王晨旭	是
3	发明专利	一种 Ag 纳米颗粒修饰的 MgFe ₂ O ₄ 纳米棒复合薄膜的制备方法	中国	ZL201910535545.5	2023-5-2	5929535	天津城建大学	刘志锋、兰亚尧	是
4	发明专利	一种 ZnO/Ag/Sb ₂ S ₃ 光触媒材料的制备方法	中国	ZL201710892584.1	2020-8-7	3925625	湖北工业大学	刘志锋、韩长存、童正夫、马重吴、蔡齐军	是

5	发明专利	一种可施加反压的出流收集装置	中国	ZL201911365802.1	2022-5-10	5142342	哈尔滨工业大学（深圳）、深圳市水务规划设计院股份有限公司	陈锐、平扬、谭润锵、张华、李兆锋、张亮亮	是
6	发明专利	一种用于光电催化降解罗丹明 B 的 TiO ₂ /Ce-BaTiO ₃ 复合薄膜材料的制备方法	中国	ZL202110344206.6	2022-6-3	5202432	天津城建大学	刘志锋、乔祯祥	是
7	发明专利	一种用于光电催化产氢的薄膜复合材料的制备方法	中国	ZL201710635723.2	2020-4-28	3775806	天津城建大学	刘志锋、鲁雪、王新华	是
8	发明专利	一种市政水务工程冲孔围栏装置	中国	ZL202220197276.3	2022-9-6	17358026	中国水利水电第十四工程局有限公司	赵建敏、庞林军、姚巍、王准、龚超、田泽民、唐培硕、杨小天、余爱国、杨超、潘宜蕾、吴世华、普肚鸿、范仲元	是
9	发明专利	一种核壳型活化过硫酸盐电催化剂的制备方法	中国	ZL202211704027.X	2024-7-19	7214008	石家庄铁道大学	吴湘锋、马啸野、张学凤、王惠、王俊川、李岩、康业玮、杨贵梅、贾国亮、李晓冰	是
10	计算机软件著作	污水净化实时监测处理系统	中国	2023SR1185033	2022-4-26	11772206	天津城建大学、科兴建工集团有限公司、中建三局集团有限公司	刘志锋、潘飞、童伟猛	是

（二）代表性论文（专著）

附件编号	论文（专著）名称/刊名/作者	影响因子	年卷页码	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	他引次数	检索数据库	署名是否含国外单位
11	氧化物基光电极的构筑及光电催化性能./中国石化出版社./刘志锋、郭振刚		2020	2020-11		刘志锋	刘志锋、郭振刚		中国知网	否

12	Enhancement in the charge transport and photocorrosion stability of CuO photocathode: the synergistic effect of spatially separated dual-cocatalysts and p-n heterojunction. Chemical Engineering Journal/ Journal of Sol-Gel Science and Technology/ Haiyang Xing, Lei E, Zhengang Guo, Dan Zhao, Zhifeng Liu.	16.74 4	2020, 394: 124907.	2020-04	Zhifeng Liu	Haiyang Xing	邢海洋、鄂磊、郭振刚、赵丹、刘志锋	51	SCI	否
13	3D branched Ca-Fe ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃ decorated with Pt and Co-Pi: improved charge separation dynamics and photoelectrochemical performance/ ChemSusChem/ Dong Chen, Zhifeng Liu, Zhengang Guo, Mengnan Ruan, Weiguo Yan.	9.14	2019, 12: 3286-3295	2019-06	Zhifeng Liu	Dong Chen	陈东、刘志锋、郭振刚、阮梦楠、闫卫国	60	SCI	否
14	Efficient WO ₃ photoanode modified by Pt layer and plasmonic Ag for enhanced charge separation and transfer to promote photoelectrochemical performances/ ACS Sustainable Chemistry & Engineering/ Yanting Li, Zhifeng Liu, Zhengang Guo, Mengnan Ruan, Xifei Li, Yilin Liu.	9.224	2019, 7: 12582-12590	2019-06	Zhifeng Liu	Yanting Li	李艳婷、刘志锋、郭振刚、阮梦楠、李喜飞、刘玮琳	77	SCI	否
15	Hexagonal phase/cubic phase homogeneous ZnIn ₂ S ₄ n-n junction photoanode for efficient photoelectrochemical water splitting/ Journal of Alloys and Compounds/ Hongxia Qian, Zhifeng Liu, Zhengang Guo, Mengnan Ruan, Jianli Ma.	6.371	2020, 830: 154639.	2020-07	Zhifeng Liu	Hongxia Qian	钱红霞、刘志锋、郭振刚、阮梦楠、马建丽	45	SCI	否
16	Oxygen vacancy and pyroelectric polarization collaboratively enhancing PEC performance in BaTiO ₃ photoelectrodes/ Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects/ Zhenxiang Qiao, Chengyi Wang, Yongjin Zou, Xiangfeng Wu, Zhifeng Liu.	5.2	2022, 647: 129073.	2022-04	Chengyi Wang, Yongjin Zou, Zhifeng Liu	Zhenxiang Qiao	乔祯祥、王成亿、邹勇进、吴湘锋、刘志锋	4	SCI	否

17	Pyro-photo-electric catalysis in Bi ₂ WO ₆ nanostructures for efficient degradation of dyes under thermal-assisted visible light irradiation/ Journal of Alloys and Compounds/ Zhenxiang Qiao, Zhifeng Liu, Weiguo Yan, Mengnan Ruan, Zhengang Guo, Xiangfeng Wu.	6.371	2022, 892: 162203.	2020-10	Zhifeng Liu	Zhenxiang Qiao	乔祯祥、刘志锋、闫卫国、阮梦楠、郭振刚、吴湘锋	12	SCI	否
18	ZnO/CdS 光电极的制备及降解亚甲基蓝研究/广州化工/张彬，童伟猛，史磊，李纪龙，艾天锋，胡国昌，阮梦楠，荣辉，刘志锋	0.54	2023,51:69-72	2023-05	刘志锋	张彬	张彬、童伟猛、史磊、李纪龙、艾天锋、胡国昌、阮梦楠、荣辉、刘志锋	0	中国知网	否