

科学技术进步奖公示内容

一、 项目名称：低维异质结结构精准调控及其在印染废水深度处理中的关键技术应用

二、 提名者及提名意见（包含提名等级）：陕西省教育厅，陕西省科学技术进步二等奖

三、 项目简介：

光催化技术是一种以太阳能为驱动力的绿色环保技术，在环境污染治理和能源转化领域具有重要应用价值。针对传统光催化剂存在的可见光利用效率低、光生载流子复合率高、催化剂回收困难等技术瓶颈，本项目通过产、学、研深度融合，系统开展了新型异质结光催化剂及纤维材料的研发与集成应用，在材料创新、结构设计、工艺优化及装备开发等方面取得重要突破，实现了光催化技术从基础研究到产业化应用的重要跨越。

该项目获得了国家自然科学基金、陕西省青年科技新星计划等十余项课题的支持。在研发期间，联合多家企业共同攻关，建立了完整的技术研发与产业化应用体系。项目成果已成功应用于印染废水深度处理、光解水制氢、空气净化等多个领域，展现出良好的推广应用前景和市场竞争能力。

主要技术内容与创新点

（1）多元异质结光催化剂协同创新体系构建与性能突破：项目突破传统异质结设计局限，基于能带匹配理论成功构建涵盖II型、Z型、S型及同质Z型的多元异质结光催化剂新体系；采用水热法、原位生

长法、化学沉积法等先进制备工艺，实现纳米颗粒尺寸、分布与组分的精准调控，将可见光响应范围拓宽至 650 nm 以上，光生载流子分离效率提高 35%以上；创新提出界面修饰与晶面调控协同增强机制，引入非贵金属助催化剂构建三元异质结，使界面电荷转移效率提升 40%以上，并通过溶剂热法调控半导体暴露晶面，强化内建电场与晶面极性的协同催化作用，对典型有机污染物的降解效率提升 6.5 倍。该成果为高效稳定光催化材料的设计与环境污染治理提供了关键技术支撑，具有重要的科学意义和工程应用价值。

(2) 机器学习驱动的高通量催化剂智能设计新范式：项目创新融合密度泛函理论计算与机器学习算法，建立基于随机森林回归(RFC)的催化剂性能预测模型，采用 298 组金属氧化物/硫化物组合数据进行训练，模型预测精度 R^2 达到 0.9759，均方误差(MSE)为 0.0075。该平台可实现新材料快速筛选与优化，将研发周期缩短 50%以上，降低研发成本 40%以上，为高效催化剂设计提供了新范式。

(3) 首次开发的间接 Z 型三元异质结光催化材料，通过优化配方有效突破了载流子复合的瓶颈，显著提升了印染废水处理的效率。针对传统光催化材料 AgVO_x 中光生载流子复合过快、有效反应时间不足的问题，本研究采用改良剂 MoS_2 与 Ag_2S 的特定配比，成功制备了三元异质结纤维复合材料。实验结果表明，该材料展现出更高的反应活性、更强的去除能力和更优异的吸附性能。与传统的异质结材料相比，所构建的间接 Z 型异质结在光吸收和电能转换效率方面提升了约 30%。此外，在实际应用中，该材料的用量较以往减少了 23.2%，

在印染废水处理中表现出高效、低成本的优势。

四、 客观评价：

本项目聚焦光催化技术在环境治理与能源转化领域的核心痛点，通过产学研深度融合实现材料、工艺、装备与应用的全链条创新，形成具有自主知识产权的核心技术体系，其创新性、应用效益及经济社会价值均有明确数据与权威认证支撑，具体评价如下：

创新性：技术突破显著，水平先进

（1）与国内外同类技术的核心优势对比

传统光催化技术普遍存在可见光利用效率低（多局限于 450 nm 以下）、光生载流子复合率高（分离效率不足 50%）、催化剂回收难（回收率低于 80%）、研发周期长（平均 12-18 个月）等瓶颈，且国际上多聚焦单一异质结结构（如 II 型）或单一应用场景，缺乏全链条技术整合。本项目通过多维度创新，实现关键指标的跨越式提升，其中，机器学习驱动的高通量设计平台（预测精度 $R^2=0.9759$, $MSE=0.0075$ ）与多场耦合光催化材料设计（铁电/铁磁耦合提升量子效率 25%）两项技术较为明显。

经教育部科技查新工作站中心检索（参照行业同类评价标准），围绕“多元异质结光催化剂协同体系”“光催化纤维规模化制备技术”“静电纺丝复合纺丝针头”等核心创新点，除本项目已公开的 15 项发明专利、8 项实用新型专利及 36 篇 SCI 论文外，国内外公开文献中未见相同技术方案报道，项目技术具备显著新颖性。完成的国家自然科学基金、陕西省基金项目等，认为项目突破传统光催化技术局限，

构建了“材料设计-工艺优化-装备开发-产业化应用”的完整体系，解决了可见光利用、载流子分离、催化剂回收三大核心难题，整体技术水平先进，其中多元异质结协同创新与机器学习辅助设计技术处于领先地位。

五、 应用情况：

本项目技术以低维异质结结构精准调控为核心，通过多元异质结光催化剂协同创新体系、机器学习驱动的高通量催化剂智能设计、三元复合光催化材料设计、光催化纤维规模化制备及静电纺丝制膜工艺等关键技术突破，构建了从材料开发、工艺优化到装备集成的完整技术链条。经过多年的研发与产业化推广，该技术已在纺织印染、化工、制药、市政污水、新能源、皮革、电镀、食品加工、石化等多个行业实现规模化应用，形成了涵盖废水深度处理、空气净化、光解水制氢等领域的系统解决方案。

近三年来，本项目技术与产品已在全国 10 余省市实现广泛应用，与 10 余家企业建立合作关系，在应用过程中，技术表现出优异的处理效果和稳定的运行性能，为企业节省综合处理成本 30%以上，同时带来显著的环境效益和社会效益。特别是在印染、化工等高污染行业，该技术有效解决了难降解有机物处理难题，大幅削减污染物排放，为行业绿色转型提供了关键技术支撑

六、 主要知识产权和标准规范等目录：（限 10 条，所列专利证书颁发日期、标准规范发布日期、论文发表日期应在 2024 年 12 月 31 日之前。填写论文专著时请注意按原文中英文填写）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
----	--------	----------	------	-----	------	------	-----	-----

			区)					
1	发明专利	一种磁性自 清洁性能纤 维的制备方 法	中国	ZL 2020 1083183 1.9	2022 年 8 月 9 日	第 5374234 号	西安工 程大学	卢定泽; 曾宜梅; 张育豪; 吴琼; 计 恩坤; 马 龙; 文毅
2	发明专利	处理印染废 水的三元等 离子体光触 媒纤维及其 制备方法	中国	ZL 2020 1124642 3.3	2022 年 12 月 9 日	第 5635545 号	西安工 程大学	卢定泽; 曾宜; 张 育; 张勃 宇; 吴 琼; 顾文 举; 惠海 峰
3	发明专利	一种二氧化 铈-石墨相 氮化碳光触 媒纤维的制 备方法	中国	ZL 2020 1083186 6.2	2022 年 12 月 23 日	第 5662427 号	西安工 程大学	卢定泽; 曾宜梅; 吴琼; 张 勃宇; 张 育豪; 潘 玖存; 秦 成; 汪昊
4	发明专利	一种含有二 氧化铈/钨 酸铋复合光 触媒纤维及 其制备方法	中国	ZL 2020 1098666 1.1	2023 年 1 月 17 日	第 5700178 号	西安工 程大学	卢定泽; 吴琼; 曾 宜梅; 张 育豪; 秦 成; 郭少 凯; 郝红 娟
5	发明专利	硫化镍-石	中国	ZL	2023 年 1	第	西安工	卢定泽;

		墨相氮化碳 异质结光触 媒纤维及其 制备方法		2020108 51820.7	月 24 日	5709327 号	程大学	张育豪; 张勃宇; 曾宜梅; 吴琼; 秦 成; 郭少 凯; 郝红 娟
6	发明专利	一种硫化镉 锌-钛酸纳 米管复合光 触媒制备方 法	中国	ZL 2020 1079092 7.5	2023 年 2 月 3 日	第 5724445 号	西安工 程大学	卢定泽; 吴琼; 张 勃宇; 张 育豪; 曾 宜梅; 黄 驰; 潘玖 存; 秦成 ; 郝红娟
7	发明专利	一种处理高 色度印染废 水的复合光 触媒材料及其制备方法	中国	ZL 2020 1076255 2.1	2023 年 4 月 7 日	第 5856625 号	西安工 程大学	卢定泽; 张新语; 张勃宇; 曾宜梅; 吴琼; 张 育豪; 计 恩坤 马 龙; 文毅
8	发明专利	一种杀菌自 清洁光触媒 纤维及其制 备方法和应 用	中国	ZL 2020 1124079 6.X	2023 年 8 月 1 日	第 6201813 号	西安工 程大学	卢定泽; 吴琼; 曾 宜梅; 张 育豪; 秦 成; 郭少 凯; 郝红

								娟
9	发明专利	一种铌酸钾钠基压电催化材料及其制备方法和应用	中国	ZL 202211294258.8	2023 年 10 月 3 日	第 6383553 号	西安工程大学	周敏;梁来军;卢定泽
10	实用新型	一种应用光催化技术的污水处理装置	中国	ZL 2022 2281766 8.8	2023 年 6 月 9 日	第 19134929 号	西安工程大学, 陕西省水务集团智能数据有限公司	张倩;卢定泽;谢礼豪;赵邦;薛周利;井力冉;胡冰冰 崔景逸;吴芳颖

承诺：上述知识产权无争议且为本项目独有，未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年其他省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖提名项目中作为支撑材料出现。用于提名陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的权利人（专利指发明人）的同意，有关知情证明材料均存档备查。

七、 主要完成人情况：

主要完成人：（依次列写完成人姓名）

排名	姓名	技术职称	行政职务	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	卢定泽	教授	物理实验教学中心主任	西安工程大学	西安工程大学	作为核心材料的实验研发主导者，主持了间接 Z 型三元异质结光催化材料（如 MoS ₂ /Ag ₂ S/AgVO _x 体系）的配方设计、制备工艺优化与性能验证工作。通过大量实验确定了各组分的最佳配比与合成路

						径，成功解决了光生载流子复合过快的关键瓶颈，是创新点三中“首次开发间接Z型三元异质结材料”的核心完成人，并对创新点一的实验验证做出了主要贡献。
2	李连碧	教授	物理学科主任	西安工程大学	西安工程大学	负责将实验室制备的材料和组件集成为可工程应用的成套技术与装备。主持完成了基于项目催化纤维的污水处理系统的集成设计、中试验证与优化升级，确保了系统COD降解率、菌去除率等指标达到国际领先水平。在创新点四的系统实现和整体技术的产业化落地、示范工程建设方面做出了创造性贡献。
3	夏蔡娟	教授	副校长	西安工程大学	西安工程大学	作为项目的总体负责人，提出了“多元异质结构建”与“机器学习驱动”相结合的核心研发理念，确立了项目的总体技术路线与攻关方向。主持完成了多元异质结协同创新体系的顶层设计，指导了间接Z型三元异质结等关键材料的理论

						<p>计算与能带结构设计。全面负责项目的组织实施、产学研资源整合与产业化推广布局，是项目所有核心技术创新点的首要贡献者和决策者。</p>
4	张国青	教授	理学院副院长	西安工程大学	西安工程大学	<p>主要负责光催化纤维的规模化制备工艺与核心装备的研发。创新性地集成原子转移自由基聚合、紫外光引发聚合与等离子体预处理技术，解决了催化剂在纤维表面稳固接枝的工艺难题，主持设计了新型双循环污水处理系统装置。是创新点四“光催化纤维规模化制备核心技术及装备首创”和创新点五“静电纺丝制膜工艺与装备自主研发”的主要贡献者</p>
5	薛周利	高级工程师	技术总监	陕西省水务集团智能数据有限公司	陕西省水务集团智能数据有限公司	<p>主持建立了项目的全套材料性能评价体系和应用测试标准，负责所有创新材料及系统的催化效率、稳定性、力学性能等指标的测试验证与数据分析工作。其提供的精确测试数据为材料优化、工艺改进和系</p>

						统效能评估提供了关键依据，是各项技术经济指标得以科学验证的主要贡献者，支撑了所有创新点的可靠性证明。
6	苏耀恒	副教授	应用物理系主任	西安工程大学	西安工程大学	主要负责理论计算与机器学习模型的构建。创新性地将密度泛函理论（DFT）计算与机器学习算法融合，主持开发了基于随机森林回归的高通量催化剂智能预测平台，实现了新材料性能的精准、快速预测，显著缩短了研发周期，是创新点二中“机器学习驱动新范式”的核心贡献者。同时，参与了多元异质结的能带匹配理论计算与验证工作。
7	郝红娟	工程师	无	西安工程大学	西安工程大学	设计并开发了一系列基于新能源的磁性可回收的光催化剂，该复合材料能够高效处理印染废水并且有效提升催化剂的回收效果，为新型光催化剂在光催化降解污染物领域提供了一种可控的技术途径和理论依据。
8	周敏	讲师	无	西安工程大学	西安工程大学	

八、 主要完成单位及创新推广贡献：

主要完成单位：（依次列写单位名称）

排 名	完成单位	创新推广贡献
1	西安工程大学	该成果得益于本校在"纺织+"交叉优势学科领域的支持, 依托功能性纺织材料及制品教育部重点实验室、陕西省功能性服装面料重点实验室、陕西省产业用纺织品工程技术研究中心、陕西省 2011 产业用纺织品协同创新中心及院士基地等科研基地, 为本成果的顺利实施提供了学科及科研基地支撑的同时, 也为本成果的顺利开展提供了充足的设备保障和技术支持。
2	陕西省水务集团智能数据有限公司	陕西省水务集团智能数据有限公司作为本项目的重要参与单位, 充分发挥其在数据智能与智慧水务领域的专业优势, 牵头构建了光催化材料性能预测与污水处理智能运维平台, 为机器学习驱动的高通量催化剂设计提供了核心算法与数据支撑; 开发了集远程监控、智能诊断与能效优化于一体的系统管理平台, 显著提升了催化处理系统的自动化水平和运行稳定性; 积极推动项目成果在多个省市示范工程中落地应用, 通过智能运维大幅降低处理成本, 为技术推广和产业化提供了关键支撑, 有效促进了项目从科研向产业的高效转化。

九、 完成人合作关系说明：（**合作方式**包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。下表中的“项目排名”指在本次报奖中的完成人排序。）

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	合作起始时间	合作完成时间	合作成果名称
1	共同获奖	卢定泽/2 郝红娟/7	2017.6	2023.5	陕西高等学校科学技术一等奖
2	共同立项	夏蔡娟/1 张国青/3 李连碧/4	2014.6	2023.5	陕西省青年科技新星项目

		苏耀恒/6			
3	共同 知识 产权	卢定泽/2 郝红娟/7 周敏/8	2017.1	2022.5	共同知识产权
4	共同 立项	卢定泽/2 郝红娟/7	2019.01	2022.12	国家自然科学基金 基金
5	共同 知识 产权	卢定泽/2 周敏/8	2015.01	2017.12	共同知识产权
6	共同 知识 产权	卢定泽/2 薛周利/5	2014.01	2022.05	共同知识产权
7	共同 立项	卢定泽/2 苏耀恒/6	2014.01	2022.05	服务企业项目