

陕西省科学技术进步奖公示信息

(2026年度)

一、项目基本情况

项目名称	机器学习驱动氢能材料智能研发及含氢资源高效转化与应用
主要完成人	崔红、田伟志、刘桐、冯荣、袁宏宽、张养宏、刘晔
主要完成单位	陕西理工大学 西南大学 延安宏昌药业有限责任公司 陕西赛默新能科技有限公司

二、提名意见（适用于单位提名）

提 名 者	汉中市科技局	提名等级	☐ 一等奖 ☐ 二等奖 ☒ 三等奖
提名意见： 氢能是实现国家可再生能源战略的关键突破口，制氢与储氢技术的革新对推动能源结构转型意义重大。本项目紧扣陕西省氢能重点产业链发展需求，围绕氢能关键材料智能设计及含氢资源高效转化等核心技术难题，依托国家级和省部级科技项目，坚持技术攻关与推广应用并重，形成了一系列具有自主知识产权的创新成果，为制储氢领域技术进步和产业升级提供了有力支撑。 项目在氢能产业链三大关键环节取得突破性进展：（1）针对海水制氢对高纯水原料的迫切需求，创新研发基于石墨烯过滤技术的防堵塞海水淡化装置，集成三级热量梯级回收系统与自适应流量智能调控技术，实现了高效、低耗、稳定的海水淡化，为制氢系统提供可靠净水保障；（2）构建“机器学习+理论模拟+实验验证”协同研发范式，建立机器学习驱动的新型材料筛选体系，显著突破传统材料研发效率瓶颈，推动氢能材料向智能化、高效化、低成本方向跨越式发展；（3）首创企业含氢废液资源化制氢新模式，成功建成废液制乙醇生产装置，有效解决生物制氢原料供应难题，同步实现污染物减排与清洁能源产出的双重效益。 项目研究过程科学规范，创新成果扎实可信：共获国家发明专利 5 项、美国发明专利 1 项，发表 SCI 论文 36 篇；相关技术已完成转化并实现规模化应用，切实助力合作企业增收盈利，充分验证了成果的商业化潜力；同时助推合作企业获批市级重点实验室，彰显了产学研深度融合的示范效应。项目兼具突出的学术价值与显著的产业效益，有力促进了氢能领域科技创新与经济效益协同提升。 综上，该成果整体达到国内先进水平，符合陕西省科学技术进步奖提名条件，特提名该项目申报 2026 年度陕西省科学技术进步奖三等奖。 说明：省科学技术进步奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖”的评审落选项目不再降格参评三等奖。项目组与提名单位沟通后，做出提名等级意见；提名项目正式提交后，提名等级建议不得变更。 软科学标准计量科普类项目请勾选“二等奖”或者“三等奖”。			

三、项目简介

(限 2 页)

本项目面向国家可再生能源重大战略需求，以氢能全链条关键技术突破为核心目标，深度融合前沿技术研发与企业实践应用，依托国家和陕西省科技计划项目，围绕制氢原料保障、氢能转换与储存材料研发、含氢废液资源化制氢三大方向开展系统攻关，成功突破多项传统技术瓶颈，形成了从原料净制、材料创制到资源转化的系统性创新成果，有力推动了氢能领域科技进步与产业化应用进程。项目主要发现及创新点如下：

(1) 创新石墨烯基防堵塞海水淡化装置，保障制氢高纯水供应

针对海上光/电解水制氢系统对高纯淡水的刚性需求，本项目突破传统海水淡化装置能耗高、易堵塞、热效率低等固有局限，通过材料创新与系统集成，研发出可直接为制氢单元提供原料水的防堵塞海水淡化装置。

原创性：创新设计多层石墨烯导热层一体化结构，将石墨烯优异导热特性与物理过滤功能有机融合，从根源上解决了传统蒸馏装置因盐类结晶和杂质沉积引发的堵塞难题；首创构建“太阳能-水蒸气-浓海水”三级热量梯级回收系统，并结合基于热胀冷缩原理的自适应流量智能调控机制，填补了海水淡化技术在制氢应用场景中“高效防堵-低耗节能-智能运行”一体化设计的国际空白。

科学价值：石墨烯基蒸馏技术使蒸馏效率提升 30%以上；三级热量梯级回收系统降低能耗逾 60%，综合热利用率超过 85%；自适应流量调控机制使系统工况适配性提升 50%。装置产出淡水纯度达 99.9%以上，可直接作为纯净级制氢原料，为海岛及沿海制氢基地提供稳定、经济的淡水保障，兼具显著产业价值和环保效益。

(2) 创建机器学习驱动氢能材料研发新范式，实现制/储/用氢材料协同突破

创新建立“人工智能+理论模拟+实验验证”三位一体协同研发模式，突破氢能转换材料设计理论与固态储氢技术瓶颈，成功研发出系列高效非贵金属析氢催化剂及常温高密度固态储氢材料。

原创性：创新性地融合增强学习框架（EHLN）与数据驱动平台（CROSST），提出二维异质结界面价电子匹配定律及无环境变量过电位描述符，大幅提升催化剂筛选效率；首次构建数据驱动储氢材料设计框架（DDEF）与层间静电力能（ E_j ）计

算模型，首创异质结阶梯式放氢调控技术，突破传统试错法研发模式及 MgH_2 体系高温放氢的限制。

科学价值： 利用人工智能技术高效筛选出系列高性能析氢催化剂，通过揭示界面静电排斥效应与电荷重新分布规律，发现界面 10 电子匹配定律，建立热力学/动力学协同调控策略，实现 OER 过电位低至 0.26 V 的优异催化性能；预测出系列常温固态储氢材料，创新层间静电算法显著提升计算精度与储氢质量比，最高储氢密度达 8.91 wt%，有力推动氢能制取与储存技术向高效化、常温化方向跨越发展。

(3) 创建“废液-乙醇-氢气”资源化转化新模式，实现环保与能源协同增效

针对淀粉类工业废液处理成本高、资源利用率低、环境压力大等共性难题，针对超高含氢量的废液，创新提出催化原位水解乙醇技术，实现废液向生物乙醇的高效资源化转化，并为乙醇重整制氢提供优质原料。

原创性： 突破小样本学习技术瓶颈，仅需数十组数据即可激活定制化预测模型，新材料开发周期压缩至 1 个月；首创“废液制乙醇-乙醇制氢”完整技术路径，填补了废液资源化利用与氢能制备领域交叉结合的空白，为中小微企业提供了“环保治理-能源产出”一体化解决方案。

科学价值： 已为企业建成规模化生产线，日产生物食用乙醇超过 2 吨，废液综合利用率由 20% 大幅提升至 95%，处理成本降低 65%，研发成本降低 50%， CO_2 去除率不低于 99%，年新增创收超过 400 万元；同时助力合作企业获批市级重点实验室并获评科技型中小企业，实现了环保效益、经济效益与科研能力的多重突破。

项目研究成果共获国家发明专利 5 项、美国发明专利 1 项，发表 SCI 期刊论文 36 篇，相关技术已在企业废液制氢等场景中实现规模化应用。学术层面，本项目为氢能材料研发提供了“AI 预测-理论计算-实验验证”闭环研究范式；产业层面，为沿海制氢基地、生物医药企业等产业实体提供了可复制、可推广的技术解决方案，具有重要的学术价值与广阔的应用前景。

四、客观评价

（限 2 页。围绕创新性、应用效益和经济社会价值进行客观、真实、准确评价。填写的评价意见要有客观依据，主要包括与国内外相关技术的比较，国家相关部门正式作出的技术检测报告、验收意见、鉴定结论，国内外重要科技奖励，国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议公开发表的学术性评价意见等，可在附件中提供证明材料。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据。）

1. 验收意见

延安宏昌药业有限责任公司验收意见：陕西理工大学为本企业量身定制的“ α -环糊精生产废液综合治理与转化利用”项目，聚焦于环糊精生产废液的环保处理及资源转化难题。通过校企合作，项目成功实现了技术突破与产业落地的深度融合。该项目以绿色精细化工理念为核心，构建了“废液-乙醇-氢气”资源化转化新模式。这一模式不仅有效解决了高浓度有机废液（原浓度 12%-14%）的污染问题，还大幅提升了资源的高效循环利用。处理后，废液浓度降至 4% 以下，利用率从 20% 跃升至 95%，充分体现了生态效益与经济效益的协同统一。

在技术创新层面，项目亮点突出：一是突破小样本学习技术瓶颈，将新材料开发周期压缩至 1 个月，大幅提升研发效率；二是通过机器学习驱动催化剂设计，筛选出 Pt/MgO 等单原子催化剂体系，在降低重整温度的同时减少积碳，显著优化催化效能；三是构建标准化 - 定制化双通道系统，为企业量身打造的废液制乙醇产线，实现每日约 2 吨生物乙醇产出，年创收超 400 万元。

项目成果已形成显著产业价值，助力企业研发成本降低 50%、废液处理成本降低 65%，CO₂ 去除率达 99% 以上，并推动企业获批市级重点实验室，获 5 项实用新型专利授权，为淀粉类发酵与生物制药行业提供了可复制的废液资源化方案。

综上，该项目在技术创新性、产业适用性和环保贡献度方面均表现突出，其成果不仅解决了企业的实际痛点，更对推动行业绿色转型具有重要示范意义。

2. 国内外同行学术评价

2020 年 1 月至 2023 年 5 月期间，本项目在《农业工程学报》《过程工程学报》《Renewable Energy》《Nano Research》《Applied Surface Science》等国内外知名期刊发表论文 38 篇，学术影响力显著，广受国内外同行认可。据文献引用及公开学术评价，研究成果已被多所国际知名高校和研究机构引用，总引用量达 440 次。值得关注的是，成果还获《Nature Catalysis》(IF: 44.6)《Advanced Materials》(IF: 26.8)《Advanced Energy Materials》(IF: 26)《Energy Storage Materials》

(IF: 20.2) 等顶尖期刊引用。这些期刊均为相关学科的标杆性出版物,充分彰显了该成果在前沿领域的引领价值。

同时,清华大学、浙江大学、国立台湾科技大学等我国顶尖高校,以及美国加州大学洛杉矶分校、英国剑桥大学、新加坡国立大学等国际知名高校的持续引用,印证了研究在理论创新与应用探索上的跨地域、跨学科辐射力,体现了其对氢能领域研究的重要参考意义和学术推动作用。代表性评价如下:

(1) 浙江大学陈立新教授团队发表在《Advanced Materials》的文章指出:“使用机器学习方法发掘成分-结构-性质关系和为特定应用设计新型氢储存材料方面的作用。”

(2) 新加坡南洋理工大学 Zheng Liu 教授团队在《Nano Convergence》期刊发表的文章推广了课题组研究方法:“数据集收集可通过高通量实验(HTE)或基于第一性原理的计算实现,这些方法能快速筛选多种催化剂配方以生成海量数据集”

(3) 香港大学郭正晓(欧洲科学院外籍院士)团队发表在《Advanced Materials》的文章指出:“探讨局部调谐的电子结构、量子尺寸效应和最大化利用原子种类,在非对称原子双位点复杂光催化转化路径中的利用。”

(4) 山东大学冯金奎教授团队发表在《Energy Storage Materials》的文章指出:“机器学习提供了一种快速筛选高效催化剂,如帮助金属-硫/氧/二氧化碳电池阴极催化剂,并深入探讨催化机制的方法。”

(5) 天津大学刘辉副教授团队发表在《Advanced Functional Materials》的文章评价:“使用桥氧键催化剂,有助于优化反应机制和改善反应动力学。”

(6) 中国石油大学戈磊教授团队发表在《Advanced Energy Materials》的文章指出:“相较于单金属位点催化剂(M-N-C),双金属催化剂(S-Fe-Co-N5)活性位点在氧气析出反应(OER)过程中与O轴配体原位结合,形成S-Fe-Co-N5-O结构,这可以降低 $O^* \rightarrow OOH^*$ 的反应能量”。

(7) 南京信息工程大学卜云飞教授团队发表在《Advanced Energy Materials》的文章指出:“使用机器学习方法应用于电催化筛选领域提升了计算效率。”

韩国首尔大学 Jeong Woo Han 教授团队在《Small Science》期刊发文引用本课题组两篇论文并评价“工作1不仅印证了DFT与机器学习方法联用的可扩展性,更凸显了本征描述符在指导催化剂设计与优化方面的高效性;工作2结果显示虽然符号回归能识别关键内在特征,但GBR模型能更准确地预测催化活性。”

五、应用情况

1. 应用情况（限 2 页）

应用单位：延安宏昌药业有限责任公司

应用的技术：模拟计算、人工智能、材料制备、设备搭建、应用检测

应用时间：202001--202305

“ α -环糊精生产废液综合治理与转化利用”项目针对环糊精生产废液的污染治理与资源回收难题，形成了一套完整的技术应用体系，在延安宏昌药业有限责任公司实现了规模化落地，具体应用情况如下：

在废液降解处理环节，项目团队针对含低聚糖、单糖、可溶性短链淀粉等成分（浓度 12%-14%）的高浓度有机废液，开发了定制化生物降解系统。该系统通过精准调控反应环境参数，结合高效微生物菌群的协同作用，将废液浓度稳定降至 4% 以下，达到后续资源化利用的预处理标准。系统配备智能监测模块，可实时追踪废液成分变化并自动调整反应条件，确保降解效率稳定性，解决了传统处理工艺中浓度波动大、降解不彻底的问题，为后续资源转化提供了优质原料。

在资源转化应用方面，建成的废液制乙醇产业化产线是核心落地成果。该产线整合了预处理、发酵优化、精馏提纯等全流程模块，采用连续化生产模式，每日可将废液转化为 30 多吨生物食用乙醇，产品纯度符合 GB 18350-2013《车用乙醇汽油用变性燃料乙醇》标准。通过优化发酵菌种配比与反应时间，产线将废液利用率从项目实施前的 20% 提升至 95%，每年可减少废液排放量超 1 万吨，彻底改变了企业“废液堆积、处理无门”的困境，实现了从“污染物”到“原料”的转变。

催化剂技术的应用为资源深度转化提供了关键支撑。项目团队运用机器学习技术筛选出的 Pt/MgO 单原子催化剂体系，以及自主研发的低成本三元铜基催化剂，已成功应用于乙醇裂解制氢环节。这些催化剂通过精准调控酶比例与金属负载量，在降低催化重整温度 30% 的同时，减少积碳生成量达 40%，显著延长了催化剂使用寿命。目前，催化剂在中试装置中已稳定运行 1200 小时，为后续氢气资源化利用（如燃料电池、精细化工合成）奠定了技术基础。

此外，项目构建的“标准化-定制化双通道系统”在企业实现深度应用。针对延安宏昌药业的生产规模与废液特性，团队定制了包含工艺参数、设备选型、操作规范在内的全套解决方案，同时保留标准化模块以确保技术稳定性。该系统通过模块化设计，实现了产线快速调试与投产（从安装到达标运行仅用 45 天），并具备灵活扩容能力，可满足企业未来 3 倍产能增长需求。这种“量身定制+标准输出”的模式，既解决了企业个性化需求，又为技术推广提供了可复制的范本。

应用单位：陕西赛默新能科技有限公司

应用的技术：基于石墨烯过滤的防堵塞海水淡化装置及热量梯级回收、自适应流量智能调控技术

应用时间：2022 年 8 月—2023 年 7 月

陕西赛默新能科技有限公司依托陕西理工大学“一种基于石墨烯过滤的防堵塞海水淡化装置”发明专利（ZL CN111777252B），完成了该成果的知识产权转化与深度技术优化，将专利核心技术—三级热量梯级回收系统和自适应流量智能调控技术—成功应用于海水/高盐废水净化高效节能集成系统，实现了从实验室技术到产业化装备的跨越。

在技术应用层面，公司对专利装置进行了系统化的工程化验证与性能优化。海水或高盐废水经雾化后与多层石墨烯导热层接触，利用石墨烯超高导热特性使蒸馏效率提升 30%以上，同时其纳米级孔隙结构有效拦截盐类结晶与杂质，从根源上解决了传统蒸馏装置因结垢导致的堵塞问题，保障了设备的长期稳定运行。在热量管理方面，公司集成了太阳能集热装置，采用倾斜凸镜聚焦技术降低能耗超 60%；高温水蒸气冷凝阶段同步预热海水（升温 20—30℃），同时使冷凝速率提升 40%；蒸馏后的浓海水余热由基于热胀冷缩原理的自适应流量智能调控系统回收利用，实现能量的全链条梯级利用，综合热利用率达 85%以上。装置产出的淡水纯度达 99.9%以上，可直接作为纯净水制氢原料。

目前，该技术已成功应用于化工废水、高盐废水处理等场景，为沿海制氢基地及工业园区提供了高效、低耗的资源化解决方案。项目执行期间，公司完成了该专利成果的转化落地，并将优化后的技术集成应用于太阳能热泵循环系统的动态调控及自适应流量智能调控系统，显著提升了整体系统的能源利用效率与运行可靠性。

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	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
1	发明专利	一种基于石墨烯过滤的防堵海水淡化装置	中国	CN111777252B	20220715	5308182	陕西理工大学	崔红、刘桐、王亚洲
2	发明专利	一种沼气发酵加热系统	中国	CN109266526B	20191231	5886169	陕西理工大学	冯荣、翟任何、孟欣
3	论文	Machine learning accelerates design of bilayer-modified graphene hydrogen storage materials	中国	DOI: 10.1016/j.seppur.2024.128229	20240531	Separation and Purification Technology	陕西理工大学	贾泽鹏、卢森、宋沛、彭体人、高志凯、王治国、蒋祺、白雪、崔红*、田伟志*、冯荣、康芹、梁志永、袁宏宽
4	论文	Heterojunction of MXenes and MN4-graphene: Machine learning to accelerate the design of bifunctional oxygen electrocatalysts	中国	DOI: 10.1016/j.jcis.2024.03.073	20240311	Journal of Colloid and Interface Science	陕西理工大学	白雪、卢森、宋沛、贾泽鹏、高志凯、彭体人、王治国、蒋祺、崔红*、田伟志*、冯荣、梁志永、康芹、袁宏宽
5	论文	Bilayer MN4-O-MN4 by bridge-bonded oxygen ligands: Machine learning to accelerate the design of bifunctional electrocatalysts	中国	DOI: 10.1016/j.renene.2022.12.059	20221217	Renewable Energy	陕西理工大学	单鹏悦、白雪、蒋祺、陈芸剑、卢森、宋沛、贾泽鹏、肖太洋、韩阳、王亚洲、刘桐、崔红*、冯荣、康芹、梁志永、袁宏宽
6	论文	Dynamics of non-metal-regulated FeCo bimetal microenvironment on oxygen reduction reaction activity and intrinsic mechanism	中国	DOI: 10.1007/s12274-022-4982-2	20220929	Nano Research	陕西理工大学	崔红、刘桐、陈芸剑、单鹏悦、蒋祺、白雪、王亚洲、梁志永、冯荣、康芹、袁宏宽
7	论文	Hydrogen evolution from MoSe ₂ /WO ₃ (001) heterojunction by photocatalytic water splitting: A density functional theory study	中国	DOI: 10.1016/j.apusc.2021.150117	20210517	Applied Surface Science	陕西理工大学	刘桐、王亚洲、单鹏悦、陈芸剑、赵星辰、田伟志、张颖、冯荣、袁宏宽、崔红*
8	论文	Enhanced learning loop framework accelerates screening of bimetallic catalysts with high oxygen reduction properties in different coordination environments	中国	DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.06.040	20240608	International Journal of Hydrogen Energy	陕西理工大学	宋沛、贾泽鹏、卢森、王治国、彭体人、高志凯、白雪、蒋祺、崔红*、田伟志*、冯荣、梁志永、康芹、袁宏宽
9	论文	Novel NLi ₄ -BGra/MgH ₂ -based heterojunctions for efficient hydrogen storage and modulation of hydrogen-desorption temperature ranges	中国	DOI: 10.1016/j.ceramint.2024.04.028	20230403	Ceramics International	陕西理工大学	蒋祺、贾泽鹏、卢森、宋沛、高志凯、王治国、彭体人、白雪、崔红*、田伟志*、冯荣、康芹、梁志永、袁宏宽
10	论文	太阳能辅助闭式热源塔热泵系统冬季制热性能	中国	DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.11.024	20200608	农业工程学报	陕西理工大学	冯荣、刘晔、方俊飞、孟欣

七、主要完成人情况表

姓 名	崔红	排 名	1
行政职务	陕西理工大学培源书院院长		
技术职称	教授		
工作单位	陕西理工大学机械工程学院		
完成单位	陕西理工大学机械工程学院		

对本项目技术创造性贡献：

对第 1、2、3 项科技创新做出了创造性贡献：（2）开发了基于石墨烯的防堵高效海水淡化技术，有力缓解了海水制氢的原料供给难题；创新提出“人工智能-理论计算-实验验证”的制氢储氢材料协同研究新范式，成功实现材料智能设计，同步推出非贵金属制氢催化剂及高性能常温固态储氢材料开发方案，优化传统制氢/储氢材料设计模式；为企业构建了一种将含氢废液转化为生物乙醇制氢的资源化新模式，通过利用人工智能技术，成功开发了非贵金属催化剂，有效解决了生产过程中反应迟缓和转化效率低的技术难题，实现了环保与能源的协同增效，还为生物制氢提供了稳定的原料保障。（3）佐证附件：附件 1-38。

姓 名	田伟志	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	讲师		
工作单位	陕西理工大学机械工程学院		
完成单位	陕西理工大学机械工程学院		

对本项目技术创造性贡献：

对第 2、3 项科技创新做出了创新性贡献：（2）融合“人工智能-理论计算-实验验证”的制氢储氢材料协同研究新范式，成功实现了氢能转换及存储材料的智能设计。设计并制备的高性能常温固态储氢材料已完成吸放氢测试，并进入产业化洽谈阶段。此外，优化了含氢废液转化为生物乙醇的资源化模式，实现了环保与能源的协同增效，为生物制氢提供了稳定的原料保障。（3）佐证附件：附件 2、4-7、11、14、15、19-21、26-29、32、34。

姓 名	刘桐	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	讲师		
工作单位	陕西理工大学物理与电信工程学院		
完成单位	陕西理工大学物理与电信工程学院		
对本项目技术创造性贡献： （1）对第 1、2、3 项科技创新做出了部分贡献；（2）设计了基于石墨烯的防堵高效海水淡化装置关键器件；参与制氢材料模拟仿真研究，基于第一性原理开展材料基础设计；长期聚焦氢能转换材料结构的可控构筑及其热力学与动力学性能，参与非贵金属制氢催化剂材料方案的开发，优化传统制氢材料设计路径。同时，参与生物医药企业含氢废液资源化转化装置中热能控制部分的设计工作。（3）佐证附件：附件 1-8。			

姓 名	冯荣	排 名	4
行政职务	陕西理工大学机械学院副院长		
技术职称	副教授		
工作单位	陕西理工大学机械工程学院		
完成单位	陕西理工大学机械工程学院		
对本项目技术创造性贡献： （1）对第 2、3 项科技创新做出了部分贡献；（2）参与了基于石墨烯的高效防堵海水淡化技术验证及优化工作，优化了海水净化装置中三级热量梯级回收系统与自适应流量智能调控技术，将其有效应用于太阳能热泵循环系统调控及自适应流量智能调控系统。参与了人工智能辅助的氢能材料研究工作，重点进行了热力学性能研究。设计了含氢废液-乙醇-氢气装置的热泵循环及制冷系统，为生物制氢提供了稳定的原料保障。（3）佐证附件：附件 4-6、11-16、18-20、22、23、25-27、30、32、35、36、39、40。			

姓 名	袁宏宽	排 名	5
行政职务	西南大学科技处副处长		
技术职称	三级教授		
工作单位	西南大学物理科学与技术学院		
完成单位	西南大学物理科学与技术学院		
对本项目技术创造性贡献： （1）对第 2 项科技创新做出了创新性贡献；（2）融合高通量计算与第一性原理方法，探索出氢能材料协同研究新范式，成功实现材料的智能设计与系统性理论研究。在此基础上，研发出非贵金属制氢催化剂与高性能常温固态储氢材料，并深入揭示其物性演化规律，阐明核心反应机理。（3）佐证附件：附件 11-16、18-23、25、27、28、30、32、33。			

姓 名	张养宏	排 名	6
行政职务	总经理		
技术职称	工程师		
工作单位	延安宏昌药业有限责任公司		
完成单位	延安宏昌药业有限责任公司		
对本项目技术创造性贡献： （1）对第 3 项科技创新做出了创造性贡献；（2）主导参与环糊精含氢废液制取生物乙醇及转换制氢生产装置的设计工作，并主导组织实施，成功在企业建成该装置并推动量产。项目期间，全面负责设备运行管理与工艺优化，有效达成环保效益与能源效益的协同提升，同时为生物制氢产业提供了稳定的原料供应保障。（3）佐证附件：附件 5、10、41-45。			

姓 名	刘晔	排 名	7
行政职务	系主任		
技术职称	高级工程师		
工作单位	西安交通大学能源与动力工程学院		
完成单位	陕西赛默新能科技有限公司		
对本项目技术创造性贡献： （1）对第 1 项科技创新做出了创造性贡献；（2）主导基于石墨烯过滤技术的防堵塞海水制氢系统淡化装置的搭建与验证工作，并成功完成知识产权转化。优化了三级热量梯级回收系统与自适应流量智能调控技术，将其有效应用于太阳能热泵循环系统调控及自适应流量智能调控系统。基于该项目，联合指导了 2026 届硕士研究生王治国，该生荣获国家奖学金并考取西安交通大学博士研究生。（3）佐证附件：附件 5、35、39、46、47。			

七、主要完成单位情况表

单位名称	陕西理工大学
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 陕西理工大学作为本项目第一完成单位，牵头承担主要科技创新工作，核心贡献覆盖创新点 1、创新点 2 及创新点 3 的关键部分：一是提出海水制氢用水净化防堵技术，构建融合石墨烯技术与太阳能集热系统的海水淡化装置，研发热量循环利用与精准流量控制技术方案，为海上光/电解水制氢产业化提供稳定的原料来源支撑；二是深入研究氢能材料领域反应机理与计算精度特征，构建“人工智能+理论计算+实验验证”协同研究新范式，建立氢能材料智能设计与研发效率提升的评估方法，同时提出融合迁移学习与小样本学习的技术路径，创新双通道研发系统与数据瓶颈突破技术；三是设计并搭建含氢废液转化为生物乙醇制氢的资源化新模式，助力企业实现环保与能源协同增效，为生物制氢提供稳定原料保障。此外，学校在项目实施期间，还发表与本项目相关的 SCI 论文 36 篇，获授权国家发明专利 5 项、美国发明专利 1 项。	

单位名称	西南大学
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 西南大学作为本项目的第二完成单位，主要负责建立第一性原理 DFT 计算方法，并对关键物理机制开展深入剖析，完成了制、储、用氢二维纳米材料的结构构建，以及该类材料电子结构、热力学稳定性和反应路径的高精度计算，为机器学习模型提供了高质量训练数据集；深入开展态密度、d 带中心、COHP、ELF 和 Bader 电荷等分析，系统阐明了异质结界面电荷重排与轨道杂化对催化活性的调控机制；参与层间静电力能概念的物理定义与数学表达式的推导验证。袁宏宽教授在多篇代表性论文中担任通讯作者，西南大学为 36 篇 SCI 论文的第二署名单位，并且在 DFT 计算资源和高性能计算平台方面为项目提供了有力支撑。	

单位名称	延安宏昌药业有限责任公司
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 作为本项目的第三完成单位，延安宏昌药业有限责任公司深度参与了主要科技创新中创新点 3 的核心工作，具体贡献如下：针对生物医药企业环糊精废液处理成本高、资源利用率低及环保压力突出的行业痛点，公司通过系统的废液成分分析，精准锁定其淀粉类物质特性，创新性搭建催化原位水解乙醇装置，成功实现废液向生物乙醇的高效资源化转化。在技术突破层面，采用“AI-理论计算-实验验证”的协同研发模式加速材料创新，突破传统酶催化剂不可重复使用的技术瓶颈，研发的催化剂使用寿命超 10 次，反应时间从 72 小时大幅压缩至 24 小时，同时产出的乙醇可为制氢工艺提供优质原料。此举不仅帮助企业实现环保效益与能源利用的协同提升，更为生物制氢产业提供了稳定的原料保障。在产业升级与平台建设方面，项目有力推动延安宏昌药业获批“延安市淀粉类微生物发酵与生物制药创新重点实验室”，并成功认定为“科技型中小企业”，为区域生物医药产业构建了重要的创新载体与技术高地。	

单位名称	陕西赛默新能科技有限公司
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 作为本项目的第四完成单位，陕西赛默新能科技有限公司深度参与了本项目主要科技创新中创新点 1 的部分工作，实现了该成果的专利转化，并进行了深度优化及应用。将专利技术应用于海水/高盐废水净化高效节能集成系统。海水或高盐废水雾化后接触扩散层，利用其超高导热性提升蒸发效率 30%以上，同时通过纳米孔隙拦截污染物结晶，根治传统设备堵塞问题，保障长效运行。太阳能集热装置以倾斜凸镜聚焦技术降低能耗超 60%；水蒸气冷凝阶段同步预热盐水（升温 20-30℃）并加速冷凝 40%；热胀冷缩控制阀回收浓液余热，综合热利用率达 85%。研发自适应流量智能调控系统，基于热力学原理驱动膨胀囊体伸缩，通过阀体滑动自动调节进水量。装置产出水质纯度超 99.9%，可直接作为制氢原料用于化工废水、高盐废水处理，为沿海制氢基地及工业园区提供高效资源化解解决方案。	

完成人合作关系说明

1.第一完成人崔红与第二完成人田伟志的合作关系说明：双方建立了长期深入的合作关系，共同的研究方向聚焦于开发“人工智能+第一性原理计算+实验验证”三位一体的创新方法，以此探索氢能领域关键技术，具体涵盖制氢与储氢新材料研发、废液制氢系统设计及优化等核心内容。目前，双方已合作发表 30 篇 SCI 收录论文，相关合作成果荣获陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖三等奖（第二人）和汉中市自然科学优秀学术论文奖三等奖（第二人）。同时，田伟志以第二完成人参与了第一完成人主持的陕西省科技厅面上项目 2 项和陕西省教育厅重点实验室项目，共同参与了国防基础科研计划项目子课题研究。

2.第一完成人崔红与第三完成人刘桐的合作关系说明：双方建立了长期且深入的合作关系，双方聚焦氢能领域关键技术研发，共同确立的研究方向涵盖制氢系统淡水装置开发、制氢新材料研发等内容。双方已合作发表 SCI 收录论文 12 篇，授权国家发明专利和美国专利各 1 项。参与了第一完成人主持的国家自然科学基金青年基金项目及陕西省科技厅面上项目。

3.第一完成人崔红与第四完成人冯荣的合作关系说明：双方建立了长期且深入的合作关系，双方聚焦氢能领域关键技术研发，共同确立的研究方向涵盖制氢系统淡水装置开发、制储氢新材料研发及废液制氢转化技术研究等核心内容。双方已合作发表高层次论文 36 篇，授权中国发明专利 5 项，相关合作成果获得过陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖三等奖。

4.第一完成人崔红与第五完成人袁宏宽的合作关系说明：双方建立了长期且深入的合作关系，以第一性原理计算方法与材料物理性质研发为核心，共同确立研究方向为制、储、用氢新材料的第一性原理模拟计算以及氢能转换过程中材料物理机制的研究。已合作发表 SCI 收录论文 34 篇，双方合作获批国家自然科学基金面上项目和国防基础科研计划项目各 1 项，双方共同完成陕西省工业自动化重点实验室开放课题 1 项。

5.第一完成人崔红与第六完成人张养宏的合作关系说明：双方建立了长期深度合作关系，围绕氢能领域关键技术瓶颈展开联合攻关，共同将生物制氢技术及含氢废液制氢转化研究确立为核心研究方向。合作期间，双方已顺利完成校企联合技术开发项目，相关成果成功应用于企业生产实践，有效助力企业提升经济效益、实现盈利增长；双方联合获批延安市重点实验室，为后续氢能领域技术研发搭建了重要平台。

6.第一完成人崔红与第七完成人刘晔的合作关系说明：刘晔与第一完成人和第三完成人建立了长期且深入的合作关系，三方聚焦氢能领域关键技术研发，共同确立以制氢用水系列净化装置开发为核心研究方向，围绕该方向开展了系统实验研究，相关成果已通过校企合作实现科技成果转化。双方已合作发表 EI 收录论文 1 篇，授权国家发明专利 1 项，与第一完成人联合指导研究生 1 名，该生荣获研究生国家奖学金并成功考取西安交通大学博士研究生。

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	证明材料
1	共同立项	崔红 1/10 田伟志 2/10 刘桐 5/10	2021 年	2022 年	陕西省科技厅面上项目：稀土金属修饰 N 掺杂多孔石墨烯的构筑及其储氢性能研究	附件 2
2	共同获奖	崔红 1/7 田伟志 2/7 冯荣 5/7	2018 年	2024 年	陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖：高容量固态储氢结构可控构筑及其吸放氢机理研究	附件 6
3	共同获奖	崔红 1/3 田伟志 2/3	2018 年	2021 年	汉中市自然科学优秀学术论文奖： Study on the hydrogen storage performance of graphene (N) - Sc-graphene (N) structure	附件 7
4	共同知识产权	崔红 12/16 冯荣 13/16 袁宏宽 16/16	2020 年	2022 年	论文：Bilayer MN4- O- MN4 by bridge- bonded oxygen ligands: Machine learning to accelerate the design of bifunctional electrocatalysts	附件 13
5	共同知识产权	崔红 9/14 田伟志 10/14 冯荣 11/14 袁宏宽 14/14	2021 年	2024 年	论文：Heterojunction of MXenes and MN4 - graphene: Machine learning to accelerate the design of Bifunctional oxygen electrocatalysts	附件 14
6	共同知识产权	崔红 1/11 田伟志 2/11 冯荣 9/11 袁宏宽 11/11	2019 年	2022 年	论文：Dynamics of non-metal-regulated FeCo bimetal microenvironment on oxygen reduction reaction activity and intrinsic mechanism	附件 12
7	共同知识产权	崔红 1/3 刘桐 2/3	2019 年	2022 年	发明专利：一种基于石墨烯过滤的防堵海水淡化装置	附件 37
8	产业合作	崔红 1 张养宏 2	2020 年	2023 年	技术合作： α -环糊精生产废液综合治理与转化利用	附件 5、10
9	共同知识产权	冯荣 1/4 刘晔 2/4	2019 年	2020 年	论文：太阳能辅助闭式热源塔热泵系统冬季制热性能	附件 35
10	技术转让	崔红 1 刘晔 2	2019 年	2023 年	专利权转让：一种基于石墨烯过滤的防堵海水淡化装置	附件 8