

陕西省科学技术进步奖提名书

(2026年度)

一、项目基本情况

项目名称	高抗毒化复合储氢材料及其高品质氢高效提纯应用
主要完成人	吴震，程光旭，赵鹤翔，张早校，尧兢，朱鹏飞，鲁杨帆，易罗财，杨福胜，许珂，李京原，范沙浪，霍天晴，彭飞
主要完成单位	西安交通大学，华陆工程科技有限责任公司，陕西氢能研究院有限公司，重庆大学，中国科学院赣江创新研究院，宁夏庆华煤化工集团有限公司，一重集团大连工程建设有限公司，陕西氢纯能源科技有限公司

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	省知识产权局	提名等级	☒ 一等奖 ☐ 二等奖及以上 ☐ 三等奖及以上
提名意见： 该项目针对传统氢纯化技术工艺流程繁琐、纯度与回收率难以兼顾、无配套储氢功能等技术痛点，项目自主研发的高抗毒化复合储氢材料及高性能透过式金属氢化物法氢纯化/储存一体化关键技术，攻克了氢气高效储存纯化的核心技术瓶颈，具备突出的技术创新性与广阔的应用前景。该成套技术已顺利完成工程化验证与落地应用，建成 50 Nm³/h 示范装置，并先后在多家行业企业投入应用，累计实现数十亿元级经济效益。项目累计获得中、美、日发明专利 40 余件，在 NC、AM、Angew、AFM 等期刊发表高水平论文 80 余篇，牵头发布 2 项团体标准。项目经行业权威机构鉴定，核心技术处于国际领先水平。 说明：省科学技术奖一、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。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖及以上”的评审落选项目不再降格参评三等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。			

二、提名意见（适用于专家提名）

姓 名			
专家类型	☐ 国家最高科学技术奖获得者 ☐ 中国科学院院士 ☐ 中国工程院院士 ☐ 国家科学技术奖获奖项目第一完成人（需注明获奖等次） ☐ 省最高科学技术奖获奖人（或 xxxx 年省科学技术最高成就奖、xxxx 年基础研究重大贡献奖获奖人） ☐ Xxxx 年省科学技术奖第一完成人（需注明获奖等次）	提名等级	☐ 一等奖 ☐ 二等奖及以上 ☐ 三等奖及以上
责任专家	☐ 是 ☐ 否		
提名意见：			
说明：省科学技术奖一、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。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖及以上”的评审落选项目不再降格参评三等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。			

三、项目简介

(限 2 页)

1、科技创新：

面向我国“双碳”战略实施与能源结构转型重大需求，紧扣工业副产氢资源化利用及高纯氢规模化供给的产业刚需，项目发明了高抗毒化复合储氢材料及其高品质氢高效纯化应用技术。项目坚持“材料-装备-工艺”全链条系统攻关，创新构建 $\text{Mg}_2\text{Ni}@\text{Ti-MgO/MgH}_2$ 多相储氢材料体系，通过内改性外包覆耦合与原位 CO 甲烷化协同策略，实现 5% CO (强毒性杂质) 浓度下的高抗中毒性能；研发 Ni-Mg、Y-Mg 中间合金配料与两段保温分批加料熔炼新工艺，建成千吨级批量制备产线，大幅降低材料生产成本；建立反应床层热-流-化-力多物理场耦合模型，研发分布式氢管耦合内列管换热立式高效储氢反应器，储放氢效率达 95%；首创具有高效氢回收率的热驱自吹扫流通透过式氢纯化/储存一体化连续工艺。项目已建成 50 Nm^3/h 高密度氢纯化/储存一体化示范装置，稳定产出纯度 $\geq 99.999\%$ 高纯氢，氢气回收率超 83%，技术已在宁夏庆华煤化集团有限公司等 5 家能源化工重点企业推广应用，近三年累计创造经济效益超 44 亿元。项目经权威学会鉴定，多项核心技术达到国际领先水平。

2、客观评价：

项目技术的原创性、性能指标与应用价值已通过多维度权威验证。经教育部科技发展中心查新，核心技术点未见国内外公开文献报道，原创性突出；经陕西省计量科学研究院第三方检测，装置产氢纯度 $\geq 99.999\%$ ，符合国家高纯氢标准；经行业专家组现场考核，示范装置运行稳定达标，具备工业化放大应用基础。项目先后通过中国有色金属学会、中国稀土学会、中国化工学会三项权威成果评价，镁基储氢材料多元掺杂与塑性制粉、Y-Mg-Ni 超晶格储氢合金批量制备、储氢合金高抗毒化与流通透过式高纯氢回收等核心技术达到国际领先水平。相关研究成果获潘复生、丁文江、严晋跃等院士团队及德国亥姆霍兹中心氢能研究所所长 Thomas Klassen 教授等国际权威学者正面引用与高度评价，为杂质毒化动力学、储氢材料热力学调控等领域提供了重要学术支撑。

3、项目专利、论文情况：

项目已构建体系化的知识产权与学术成果矩阵。专利层面，累计获授权中、发明专利等 40 余件，覆盖储氢材料制备改性、储氢反应器优化、氢能装备集成、氢纯化一体化工艺开发等技术链条，形成严密专利布局；其中 5 件核心专利已完成技术转让，累计转化金额超 500 万元，推动科研成果高效落地产业端。累计发表高水

平论文 80 余篇，多篇代表性成果刊载于 Nat. Commun. (2 篇)、Adv. Mater. (2 篇)、Angew. Chem. Int. Ed. (2 篇)、Chem. Rev. (1 篇) 等国际顶级期刊，深入阐明了储氢材料动力学调控、储氢材料抗毒化、反应器多场耦合等核心机理。研究成果先后获国际应用能源大会优秀论文奖 (2 次，全球评选)、第十七届国际传热大会优秀论文奖 (四年一届，国内仅 2 篇)。据储能领域权威期刊 Journal of Energy Storage 综述统计，团队金属氢化物反应器数值模拟方向成果数量位列全球机构第二，相关研究被国内外同行广泛引用，学术影响力位居国际前列。

4、应用情况、近三年经济效益：

本项目高抗毒化复合储氢材料及其高品质氢高效纯化应用技术已实现多场景规模化落地。项目依托华彬能源集团陕西润中清洁能源有限公司煤制甲醇尾气场景，建成 50 Nm³/h 氢纯化与储存示范装置，稳定产出纯度 $\geq 99.999\%$ 高纯氢，兼具高效储氢能力。研究成果先后入选国家能源局能源领域首台（套）重大技术装备推荐项目、陕西省科技创新优秀案例以及陕西省重点新产品开发项目，获批秦创原“科学家+工程师”队伍称号。项目参与单位获评“中国新能源产业创新示范基地”。核心氢纯化/储存一体化技术已在宁夏庆华煤化、四川科新机电等多家能源化工骨干企业推广应用，支撑企业实现高纯氢低成本规模化生产。经企业应用验证，在 2023-2025 三年，新增销售额 44.83 亿元，新增利润 9.56 亿元，产业赋能效果突出，经济效益显著。

5、项目获奖情况：

- [1] 陕西省能源局，2022 年度能源领域首台（套）重大技术装备推荐项目，2022。
- [2] 陕西省科技厅，陕西科技创新“技术变革”优秀案例，2024.04。
- [3] 陕西省科技厅，陕西省重点研发计划“科学家+工程师”队伍建设项目，2023.01。
- [4] 陕西省科技厅，陕西省重点新产品开发项目，2024。
- [5] 陕西省科技厅，陕西科技创新“技术变革”优秀案例，2024.04。
- [6] 陕西省科技厅，陕西省重点研发计划“科学家+工程师”队伍建设项目，2023.01。
- [7] 陕西省科技厅，陕西省重点新产品开发项目，2024。

四、客观评价

本项目技术经济指标达到国内领先水平，研发的氢纯化/储存一体化装置核心指标优异，产品氢纯度可达 99.999%，CO 杂质含量小于 0.1 ppm，高纯氢回收率大于 83%，操作压力 1~2 MPa，体积储氢密度 40 kg/m³，可同步实现氢分离纯化与储存功能，能够高效处理变压吸附法难以处理的低氢含量、含难吸附杂质的工业含氢气体，大幅降低工业副产氢纯化成本与能耗，经查新报告验证，项目核心技术具有显著创新性和先进性，综合技术性能处于国内领先水平。详细客观评价如下所示：

（1）技术检测报告、验收报告、鉴定报告：

① 项目研究团队委托中国化工学会对本项目研发的技术先进性进行评价。成果评价报告显示（报告编号：202627）：项目设计的高密度氢纯化及储存一体化装置可大幅提高工业副产氢纯度（≥99.999%），高纯氢（≥99.999%）回收率大于 83%。成果评价结果表明，本项目首创金属氢化物法回收纯化/储存氢技术在煤制甲醇非渗透气等副产氢回收纯化与储存领域的应用，可实现低成本副产氢高值化利用，具有广阔的应用前景。评价委员会一致认为，该项目成果整体达到国际先进水平，其中储氢合金高抗毒化技术与流通透过式高纯氢回收工艺处于国际领先水平。

② 项目研究团队将经氢纯化/储存一体化装备纯化后的氢气送至第三方陕西省计量科学研究院检测。检测结果显示送样受检氢气含量≥99.999%，检测报告如下。这表明，含氢混合气经本项目研发的纯化/储存一体化装备纯化后，氢气纯度可达 99.999%以上(即“5 个 9”标准)，充分验证了本项目开发的氢纯化设备性能可靠性。

（2）查新报告

① 项目研究团队于 2025 年委托西安交通大学图书馆查新咨询中心对本项目成果进行查新鉴定。查新鉴定结果表明，未发现与本项目创新点及关键技术完全相同的文献报道，最终判定本项目具有新颖性。

（3）国内外同行在重要学术刊物（专著）和重要国际学术会议公开发表的学术行评价意见：

① 中国工程院潘复生院士团队在综述论文（*Journal of Magnesium and Alloys*, 2021, 9: 1922）中高度评价我们的工作：“提出的轻质非金属 N 掺杂使镁基氢化物形成焓和脱氢能分别降低了 98%和 59%”。原文：（Wu et al. [33] used first-principle calculations to investigate the influences of N concentration on the hydrogen absorption/desorption thermodynamics of the Mg₂NiN_x system. It was found that the formation enthalpy and dehydrogenation energy of Mg₂NiN_{0.5} reduce by 98% and 59%

respectively, due to the strong hybridization between the or-bits of N and H.)

② 中国工程院丁文江院士团队在论文 (Interdisciplinary Materials, 2025, 4: 480-501.) 中评价我们的工作“为中毒氛围下金属氢化物内部杂质传输与分离行为阐释提供了深刻的学术洞察 (deeper insight) ”。(原文: For example, Guo et al [36]. proposed a flow-through metal hydride reaction model for hydrogen purification and a theoretical hydrogen absorption efficiency of 93.75% was achieved with LaNi₅. Further study gave a deeper insight into the behaviors of the impurity transport and separation process inside metal hydride operating under poisoning conditions.)

③ 香港理工大学严晋跃院士团队多次引用并评价本工作为“先进能源转换技术” (Appl. Energy, 2014, 130: 447; Appl. Energy, 2020,278:115682; Appl. Energy, 2021, 299:117255; Renew. Energy, 2021,180: 734)。(原文: Advanced conversion technologies cover wide varieties of innovation solutions. Optimization of boiler combustion process in a coal-fired power plant was investigated [29]. A supersonic air ejector was both experimentally and numerically studied [30]. PEMFC (proton exchange membrane cell) [31,32]water adsorption chiller [33] and metal hydride reactor incorporating helical coil heat exchanger [34], and new saturation tower in humid air turbine (HAT) [35])

④ 浙江大学陈立新教授团队在研究论文 (Int. J. Hydrogen Energy, 2021, 46: 23737) 中重复了我们之前的部分实验, 得到的实验结果与之吻合, 充分认可了本工作的研究成果。(原文: Huang et al. used density functional calculations to study the effects of transition metal additives on the hydrogen desorption kinetics of Mg(BH₄)₂. They found that the hydrogen desorption kinetics of Mg(BH₄)₂ can be tailored by adding electrically active impurities into Mg(BH₄)₂. Our results accord well with this research.)

⑤ 德国亥姆霍兹中心氢能研究所所长 Thomas Klassen 教授等在论文 (Acta Materialia, 2025, 298: 121398) 中评价我们的工作为“发展了一种改良 (modified) 的 JMA 方法描述杂质毒化对动力学的影响, 肯定了杂质氛围下复杂的 (complicated) 动力学方面的工作”。(原文: For the kinetic behavior of the sample exposed to other gases, the case will be a bit complicated. Wu et al. [16–45] have developed a modified JMA method to describe the effects of the impurities.)

⑥ 南非氢能计划首席科学家 Mykhaylo Lototsky 教授在论文 (Energies, 2019, 12:3949) 中评价我们的工作为“少数成功解决内热回收集成促进氢化物释氢增量问题的研究工作之一”, 充分认可我们团队工作的独特性和有效性, 肯定了该工作成功攻克余热回收协同强化释氢的难题, 具有实际参考价值。(原文: For this purpose, only a small amount of studies addressed the problem. An analysis of metal hydride heat pump integrated with a heat exchanger for internal heat recovery was conducted by Yang et al.

[42].)

五、应用情况

1. 应用情况（限 2 页）

（1）宁夏庆华煤化集团有限公司推广应用

宁夏庆华煤化集团有限公司应用了项目研究团队开发的固态储氢材料与批量制备装置、氢纯化储存装置、副产氢回收纯化工艺、换热强化技术等。应用报告显示：自 2022 年以来，公司应用西安交通大学研发的副产氢回收纯化装置、高效储氢装置、换热强化装置等先进技术到我司年产 8 万吨副产氢回收纯化与应用项目，公司已建立完整的高回收率高效副产氢回收纯化工艺与生产线，累计回收 20 多万吨副产氢并纯化高值化应用，2022 年-2025 年累计产值达到 41.49 亿元，取得了显著的经济效益。

（2）四川科新机电股份有限公司推广应用

四川科新机电股份有限公司应用了本团队开发的“高密度高效固态储氢装置”、“流通式氢储存/纯化装置”、“高效高通量传热”等先进技术。公司为中国石油工程建设有限公司西南分公司、包头稀土研究院、江苏集萃安泰创明先进能源材料研究院有限公司等企业的氢能项目提供了固态储氢装置。与传统液/气态储氢相比，全属固态储氢安全高效且装置体积小，且可同时纯化氢气为高附加值的高纯氢，具有显著经济性。通过应用固态储氢新技术，公司已建立完整固态储氢装备工艺技术体系，近五年销售固态储氢装置及项目技术转化产品 80 余台（套），新增销售收入 10.26 亿元，新增毛利 2.59 亿元经济与社会效益显著。

（3）浙江爱力浦科技股份有限公司推广应用

浙江爱力浦科技股份有限公司应用了项目研究团队开发的固态储氢材料和高密度氢纯化装置。应用报告显示：浙江爱力浦科技股份有限公司的氢能相关装置技术应用西安交通大学研发的稀土固态储氢材料及其设计的氢气纯化装置，相关氢气纯化装置技术具有氢气纯度高、回收率高以及综合能耗低等优势，在高纯氢制取与应用领域，2022 年-2025 年累计销售额达到 1.4 亿元以上。

（4）氢启能源技术（成都）有限公司推广应用

本项目研发的新型含镁储氢合金，已成功应用于氢启能源技术（成都）有限公司等企业的氢能二轮车领域，产品综合性能相较于同类产品具备显著竞争优势。氢启能源技术（成都）有限公司依托本项目自主开发的储氢合金，研制出适配小型燃料电池车的固态储氢系统。该系统装机应用后，可使氢能二轮车综合续航里程突破 80 km，使用性能优异、实际应用效果良好。目前，搭载该储氢系统的氢能二轮车已在成都地区累计投放数百台，实现产值 2414.54 万元，产业化应用成效显著。

（5）淄博安泽特种气体有限公司推广应用

安泽特种气体有限公司引入本团队研发的紧凑型高效高安全氢净化储存集成设备关键技术。应用报告显示：采用的金属氢化物净化储存法有效提升了储氢过程中的安全系数。可实现混合气体中氢气组分的高效分离与纯化，使纯化所得氢气产品纯度高达 99.999%。通过优化设计抗杂质中毒的透过式纯化器，以及设计纯化工艺，降低了纯化成本与运营能耗。而且，该装置所使用的储氢材料，循环 8000 次以上未见明显衰减，保障了长寿命长周期储氢。

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	Integrated system and method for hydrogen purification, storage and pressurization	美国	US118732 21 B1	2024-01-16	/	XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY	Zhen Wu; Zaoxiao Zhang; Fusheng Yang; Yuchen Yang
2	发明专利	一种氢纯化、储存和增压一体化系统和方法	中国	ZL202210 853095.6	2023-04-28	5920 383	西安交通大学	吴震，张早校，杨福胜，杨宇宸
3	发明专利	一种尾气连续提氢和再利用系统及方法	中国	ZL2020111 40391.9	2022-02-01	4916 401	西安交通大学	吴震，郭磊磊，张早校，杨福胜
4	发明专利	一种复合压块式相变储热的气固储氢反应器	中国	ZL201711 483565.X	2020-07-28	3907 836	西安交通大学	吴震，张早校，尧兢，朱鹏飞，任佳伟
5	发明专利	一种基于热量自平衡型固态氢源反应器的氢动力系统	中国	ZL201810 189758.2	2020-07-28	3905 318	西安交通大学	吴震，朱鹏飞，尧兢，张早校
6	发明专利	一种翅片与螺旋盘管式热交换器耦合的储氢反应器及系统	中国	ZL201510 681013.4	2017-12-15	2740 525	西安交通大学	吴震，张早校，杨福胜，冯鹏辉
7	发明专利	利用余热为 HCNG 发动机动系统供氢的方法及系统	中国	ZL201911 007653.1	2020-11-10	4082 366	西安交通大学	吴震，张早校，郭磊磊，钱晨辉
8	发明专利	一种利用燃料电池尾气水分再利用	中国	ZL201910 410678.X	2021-01-19	4211 232	西安交通大学	吴震，尧兢，朱鹏飞，张早

	利	的轻型固态 储氢动力装 置						校
9	团 体 标 准	《固态储氢 净化技术规 范》	中国	T/CIET 462—2024	2024-0423	/	/	吴震、王 利、许永 燕、张 凯、卢彦 杉、李 军、杨福 胜、杨庆 远，谭宏 亮、赵玉 园等
10	团 体 标 准	《固态储氢 一体化设备 技术要求》	中国	T/CIET 463—2024	2024-04-23	/	/	吴震、王 利、杨 雪、吕志 辉、许永 燕、陈海 涛、唐孝 宗、卢彦 杉、李 军、郑 欣、张建 红等

七、主要完成人情况表

姓 名	吴震	排 名	1
行政职务	化机所所长		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 作为成果总负责人,提出了“材料-反应器-成套装备”一体化研发路径，主持设计了氢纯化/储氢一体化系统,美发明专利双授权（ZL202210853095.6、US11873221B1）。主导开发了抗 CO 中毒的核壳式储氢合金材料，完成了氢纯化-储存一体化装置设计优化，主持开展了氢纯化-储存一体化示范装置建设。主持多项国家级项目，推动 50 Nm³/h 中试装置在华彬能源集团示范应用,实现氢气纯度≥99.999%，回收率≥83%。项目入选国家能源局首台（套）重大技术装备推荐、 陕西技术变革优秀案例等多项奖励。			

姓 名	程光旭	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 对氢纯化/储氢一体化装置进行了安全可靠分析，确保示范设备能够安全稳定运行，参与了本项目示范装置的设计优化以及建设过程，对创新点 3 中大型立式反应器的力学分析以及安全稳定运行做出了贡献。			

姓 名	赵鹤翔	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		
工作单位	华陆工程科技有限责任公司		
完成单位	华陆工程科技有限责任公司		

对本项目主要学术贡献： 完成了氢纯化/储存一体化示范装置设计校核,开展了氢纯化/储存一体化技术工艺包开发,参与了氢纯化/储存一体化示范装置现场建设,是本项目技术转移转化的核心人员。			
姓 名	张早校	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 发展了固态储氢装置吸放氢过程氢-热耦合传输强化理论,参与了本项目示范装置的设计优化以及建设过程,对项目创新点 3 和创新点 4 做出了重大贡献,是本项目关键论文和发明专利的主要作者,推动了固态储氢材料在氢气纯化领域的应用。			
姓 名	尧兢	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	无		
工作单位	讲师		
完成单位	重庆大学		
对本项目主要学术贡献： 参与高性能储氢材料改性和研制工作,参与构建了氢纯化反应器热-流-化（毒）-力多物理场耦合模型,对氢纯化/储存一体化装置进行了优化设计,是本项目关键论文和发明专利的主要作者,对创新点 1 和 3 作出贡献。			
姓 名	朱鹏飞	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	助理教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		

对本项目主要学术贡献： 深入参与了本项目的研发过程，发展了氢纯化反应器热-流-化（毒）-力多物理场耦合模型，对氢纯化反应器进行了优化设计，推动了氢纯化反应器多场耦合模型在其设计开发中的应用，对创新点 3 做出了重大贡献，是本项目关键论文和发明专利的主要作者。			
姓 名	鲁杨帆	排 名	7
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	重庆大学		
完成单位	重庆大学		
对本项目主要学术贡献： 参与开发高性能储氢合金，为项目中氢气纯化/储存奠定核心材料基础；是本项目关键重要论文的主要完成人，对创新点 1 中高性能储氢材料的催化改性研究作出贡献。			
姓 名	易罗财	排 名	8
行政职务	无		
技术职称	副研究员		
工作单位	中国科学院赣江创新研究院		
完成单位	中国科学院赣江创新研究院		
对本项目主要学术贡献： 负责高性能储氢材料批量化制备工艺研发，严控产品性能一致性，实现材料低成本量产，为其规模化应用提供核心支撑，为创新点 2 储氢合金稳定批量制备提供了关键保障。			
姓 名	杨福胜	排 名	9
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	陕西氢纯能源科技有限公司		
完成单位	陕西氢纯能源科技有限公司		

对本项目主要学术贡献： 开展了储氢合金的循环中毒实验，发现升高温度 CO 杂质对材料毒化作用减弱的现象；提出了焦炉煤气氢组分回收的分段工艺并获中国发明专利；通过数值模拟研究了工业规模透过式氢纯化反应器的吸氢过程，对项目创新点 3 和创新点 4 做出贡献，是本项目关键论文和发明专利的作者。			
姓 名	许珂	排 名	10
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		
工作单位	华陆工程科技有限责任公司		
完成单位	华陆工程科技有限责任公司		
对本项目主要学术贡献： 参与了本项目中氢纯化/储存一体化装置的设计，校核以及建设。作为技术骨干参与了氢纯化/储存一体化技术工艺包开发，为本项目应用落地提供了重要技术支撑。			
姓 名	李京原	排 名	11
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		
工作单位	宁夏庆华煤化工集团有限公司		
完成单位	宁夏庆华煤化工集团有限公司		
对本项目主要学术贡献： 作为本项目氢纯化/储存一体化装置示范单位负责人，主要统筹推进项目技术在煤化工领域的示范落地，完成相关配套接口的改造优化，保障该技术适配煤化工工况条件下的工程应用。			
姓 名	范沙浪	排 名	12
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		
工作单位	华陆工程科技有限责任公司		
完成单位	华陆工程科技有限责任公司		

对本项目主要学术贡献： 参与本项目氢纯化/储存一体化示范装置的安全分析工作，系统论证了项目现场示范工况的安全性及可靠性，为示范装置的建设及施工实施提供了重要支撑。			
姓 名	霍天晴	排 名	13
行政职务	无		
技术职称	工程师		
工作单位	陕西氢能研究院有限公司		
完成单位	陕西氢能研究院有限公司		
对本项目主要学术贡献： 参与了本项目中氢纯化反应器热-流-化（毒）-力多物理场耦合模型的构建，推动西安交通大学相关研发成果在华彬能源集团中试项目落地，参与氢纯化/储存一体化示范装置的开发与建设与长周期运行，对创新点 3 和 4 作出了贡献。			
姓 名	彭飞	排 名	14
行政职务	副总经理		
技术职称	工程师		
工作单位	一重集团大连工程建设有限公司		
完成单位	一重集团大连工程建设有限公司		
对本项目主要学术贡献： 参与了本项目氢纯化/储存一体化示范装置的制备及现场建设、调试、数据测试和运行，推动了该项目从研发走向中试示范，对创新点 4 作出了贡献。			

八、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
科技创新、推广应用情况: (限 800 字) 西安交通大学项目团队在固态储氢与氢能利用领域进行一系列科技创新。团队开发出抗杂质毒化的高性能储氢合金,设计出了高密度氢纯化及储存一体化装置。该装置能够从各类工业含氢尾气中高效回收并纯化氢气,获得纯度高达 99.999%以上的高纯氢,是工业副产氢领域氢回收纯化与固态储存技术的首个工程化应用范例。该技术获国家重点研发计划、陕西省重点研发计划等 5 个国家与省部级项目支持,并入选国家能源局 2022 年度能源领域首台(套)重大技术装备评审推荐项目。在推广应用方面,西安交通大学项目团队与陕西润中清洁能源有限公司等企业合作,推动技术产业化。完成了国内首台 50 m³/h 级“高密度氢纯化及储存一体化装置”中试示范项目。中试示范项目及应用推广,在氢能交通、电子气、新能源储能与消纳、氢化工等多个领域展现出巨大的应用潜力和市场空间。	
单位名称	华陆工程科技有限责任公司
对本项目主要学术贡献: 华陆工程科技有限责任公司作为本项目核心参与单位,深度参与氢纯化/储存一体化示范装置研发与落地,为项目产业化实施提供关键工程技术支撑。公司技术骨干完成示范装置的整体设计与专业校核,严格把控装置设计的科学性、安全性,保障装置后续稳定运行。团队协同开展氢纯化/储存一体化工艺包开发优化,完善工艺技术体系,补齐工程化应用短板;同时参与示范装置现场建设,依托工程实践经验保障装置顺利落地。在技术转移转化过程中,公司充分发挥工程研发优势,推动项目技术由研发走向工程示范,为本技术在煤化工场景落地实施、成果产业化转化提供了坚实的工程保障。	
单位名称	陕西氢能研究院有限公司
对本项目主要学术贡献: 陕西氢能研究院有限公司作为项目重要合作单位,参与氢纯化-储存一体化装置多物理场耦合模型开发工作,通过数值仿真分析优化装置运行方案,完成示范装置性能强化与运行工况优化,有效提升了系统稳定性与吸放氢效率。研究院协同参研单位联合谋划,共同组织申报陕西省及国家重点研发计划项目,助力项目成果向上级科技平台凝练升级。同时充分发挥科研平台育人优势,依托本项目开展科研实践,在项目研	

发过程中积极开展创新人才培养工作，开放科研资源创造就业实践条件，为项目长效推进与氢能领域人才队伍建设提供有力支撑。	
单位名称	重庆大学
对本项目主要学术贡献： 针对催化剂在吸放氢服役过程中的变质问题，开发出化学稳定的 Ti-MgO 体系催化剂，并引入 Mg₂Ni 的形核与“氢泵”效应，开发出 Mg₂Ni@Ti-MgO 多相催化剂，证实了 Ti 基组分与 Mg₂Ni 在提升吸放氢动力学方面的显著协同作用。申报单位利用 Ti、Ni、Cu 间强金属键作用，通过调控 Mg-Ni-Y 前驱体的熔炼参数，实现 Ti 在镁基合金中的纳米级分散，实现了含 Ti 镁合金的公斤级制备；同时，开发出基于 PMMA 涂层的材料表面稳定化技术，提高了镁基储氢材料对 H₂O 等杂质的抵抗力，材料腐蚀速率降低了 71~89 %，为低纯工业副产氢储存与纯化应用提供了材料支撑。重庆大学作为第二完成单位，在新型储氢材料的设计制备做出了贡献，并与宝钢金属有限公司、南京云海特种金属股份有限公司等企业建成了中试示范线。	
单位名称	中国科学院赣江创新研究院
中国科学院赣江创新研究院系统开展 Y-Mg-Ni 超晶格稀土储氢材料结构特征、相组成及储氢性能之间“构效关系”研究，为材料成分设计、组织调控和性能优化提供了重要理论依据和技术支撑。同时，聚焦制约稀土储氢材料工程化应用的关键问题，深入揭示 Y-Mg-Ni 超晶格稀土储氢材料在含氢气氛下循环使用过程中的容量衰减机制，提出针对性的性能提升策略，推动材料储氢容量、循环稳定性及综合服役性能提升。在此基础上，协同合作单位开展稀土储氢合金的研发、制备和应用验证，促进关键技术成果转化，支撑高性能稀土储氢材料在氢气提出等应用场景中的规模化推广与示范应用。	
单位名称	宁夏庆华煤化工集团有限公司

对本项目主要学术贡献：

宁夏庆华煤化集团有限公司作为高性能透过式金属氢化物法氢提纯 / 储存一体化技术的实施与应用单位，充分依托煤化工副产氢资源优势，负责技术落地、装置建设、工况适配及产业化推广，统筹推进系统集成、现场调试与稳定运行。企业聚焦煤化工尾气含杂质多、提纯难度大、回收率偏低等痛点，依托抗毒化核壳储氢材料、高效换热反应器及连续化纯化工艺，实现副产氢高效提纯与安全储存。通过优化运行策略，有效抑制材料衰减，提升装置长期可靠性，形成稳定的高纯氢制备与供给能力。

目前，该技术已在企业成功应用，氢气纯度达 99.999%，回收率超 80%，储放氢效率超 90%，实现了副产氢就地高效利用。项目不仅降低企业用氢成本、提升资源利用率，还推动煤化工产业低碳转型。相关成果为区域副产氢规模化利用提供示范，有力支撑氢能产业高质量发展。

单位名称	一重集团大连工程建设有限公司
------	----------------

对本项目主要学术贡献：

一重集团大连工程建设有限公司作为项目重要参建单位，深度参与氢纯化-储存一体化示范装置的设计、校核与安全运维方案编制工作。严格完成各类设备制造图纸的校核与复验，从图纸源头把控设备设计质量与安全指标。项目实施期间全程参与示范装置的现场调试工作，实时排查运行风险，优化调试工况，保障示范装置安全、稳定、可靠投运。依托自身工程领域丰富的安全设计与运维经验，为本套氢纯化/储存一体化装置长期安全运行提供了有力的工程技术保障。

单位名称	陕西氢纯能源科技有限公司
------	--------------

对本项目主要学术贡献：

陕西氢纯能源科技有限公司作为本项目核心参与单位，充分发挥产学研协同的桥梁纽带作用，成功推动西安交通大学相关研发成果在华彬能源集团中试项目落地，打通了关键技术从实验室基础研究走向工程化应用的对接通道。企业全程参与氢纯化/储存一体化技术及配套示范装置的现场安装调试、系统联调与长周期运行测试工作，有效保障了示范装置工况稳定运行，确保各项核心性能指标达标，为该技术的工业化示范与产业化落地提供了重要工程支撑。同时，企业积极推进技术市场推广与应用拓展，为项目成果规模化产业落地起到了良好的推动作用。

完成人合作关系说明

本项目共计 14 名研究人员参与研究工作，完成人合作关系说明如下：

创新点 1：高性能储氢材料创制以及高抗毒性开发改性，由吴震、杨福胜、鲁扬帆、尧兢、易罗财共同完成。其中，鲁扬帆、易罗财、尧兢负责高性能储氢材料创制；吴震解析固态储氢材料抗毒化作用机理；杨福胜完成外包覆-内改性复合型抗毒化固态储氢材料的结构设计；上述人员协同开展新型抗毒化固态储氢材料的性能测试与配方优化工作。

创新点 2：高性能储氢材料低成本、一致性规模化制备，由易罗财、吴震、朱鹏飞、杨福胜共同完成。其中，易罗财、吴震重点攻克储氢材料批量制备过程中性能一致性难以保障的行业共性难题；朱鹏飞、杨福胜开发储氢合金大批量熔炼新工艺；四人协同完成高性能储氢材料低成本、一致性规模化批量制备工作。

创新点 3：高效透过式氢纯化/储存装置优化设计，由吴震、朱鹏飞、张早校、程光旭、赵鹤翔、范沙浪、许珂协同攻关。其中，吴震、朱鹏飞、张早校建立杂质氛围下材料毒化吸/放氢动力学新模型，构建热-流-化（毒）-力多物理场耦合模型；吴震、朱鹏飞、张早校提出分布式氢管-内构件换热耦合优化方案，重构反应器内部热、流传输路径；并针对强热效应工况，完成大尺寸反应器床层内气体流场、温度场、应力场三场均匀性优化。程光旭、范沙浪开展大尺寸立式氢纯化反应器力学性能分析，完成结构疲劳寿命校核工作；赵鹤翔、许珂、彭飞编制氢纯化 / 储存一体化示范装置工程设计图纸，完成主反应器设计校核，实现了从装置优化设计到规范化工程应用的转变。

创新点 4：高纯氢高回收率提纯/储存一体化连续工艺，由吴震、李京原、霍天晴、赵鹤翔、范沙浪联合研发完成：吴震、李京原提出流通透过式氢纯化/储存一体化连续工艺；霍天晴、赵鹤翔、范沙浪提出自吹扫耦合自增压高回收率氢纯化工艺，并完成工艺全流程模拟分析；赵鹤翔、李京原、彭飞开展氢纯化/储存一体化技术在煤化工领域的接口改造工作；全体人员共同完成示范装置整机调试与性能试验工作。

在知识产权成果方面，项目全体研究人员协同开展学术论文发表、发明专利申报、行业/团体标准编制等成果凝练工作。论文合著、共同立项、共有知识产权、共同参与标准编制等合作详情详见《完成人合作关系情况汇总表》。

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	吴震, 杨福胜, 易罗财	2025.01	2026.06	共同申报并参与国家重点研发计划: 面向产氢端的氢储存、纯化及增压一体化装备及工况条件下储氢材料寿命衰减机理合作研发项目(项目编号: 2024YFE0207500)	/
2	共同立项	朱鹏飞, 吴震, 杨福胜	2024.04	2026.06	共同申报并参与陕西省科学技术厅三项改革-以演代评项目: 高密度氢纯化及储存一体化装置(项目编号: 2025ZC-YYDP-02)	/
3	共同立项	吴震, 程光旭	2021.10	2023.06	共同申报并参与陕西煤业化工技术研究院有限责任公司科研项目: 基于金属氢化物的氢回收/纯化/储存一体化技术研究(项目编号: 2021QL-RQ-吴震-HG-002)	/
4	共同立项	吴震, 朱鹏飞, 张早校	2025.07	2028.06	共同申报并参与国家科技重大专项: 低成本常温型稀土储氢材料在规模储能中的应用(项目编号: 2025ZD0617302)	/
5	共同立项	鲁杨帆, 尧兢	2023.11	2026.10	共同申报并参与国家重点研发计划: 中温释氢镁基复合储氢材料研发(项目编号: 22023YFB3809100)	/
6	论文合著	尧兢, 朱鹏飞, 吴震	2026.05	2026.05	Fast dehydrogenation of Mg-Ni-Y hydrogen storage alloy bed driven by induction-type distributed heat sources	/
7	论文合著	霍天晴, 杨福胜, 吴震, 张早校	2026.06	2026.06	A review of the application status and technical optimization of the intelligent transportation platform in hydrogen refueling stations	/
8	论文合著	霍天晴, 杨福胜, 吴震, 张早校	2024.02	2024.02	平准化成本的加氢站供氢路径分析比较研究	/
9	论文合著	朱鹏飞, 尧兢, 吴震	2026.06	2026.06	Optimization oriented design framework for magnesium-based metal hydride beds to enhance hydrogen storage performance	/
10	论文合著	吴震, 朱鹏飞, 杨福胜,	2022.06	2022.06	Absorption of poisoned hydrogen from metal hydride under CO+H ₂ mixture gas for the production of clean, high purity	/

		张早校			hydrogen	
11	论 文 合 著	吴震, 杨福胜, 程光旭, 张早校	2023.02	2023.02	Efficient hydrogen recovery and purification from industrial waste hydrogen to high-purity hydrogen based on metal hydride powder	/
12	论 文 合 著	吴震, 杨福胜, 张早校	2024.01	2024.01	New insights into the impurity transport and separation behaviours during metal hydride dehydrogenation for ultra-pure hydrogen	/
13	论 文 合 著	杨福胜, 张早校	2022.11	2022.11	Energetic, economic and environmental (3E) optimization of hydrogen production process from coal-biomass co-gasification based on a novel method of Ordering Preference Targeting at Bi-Ideal Average Solutions (OPTBIAS)	/
14	论 文 合 著	杨福胜, 张早校	2022.05	2022.05	Multi-strategy Ensemble Non-dominated sorting genetic Algorithm-II (MENSGA-II) and application in energy-enviro-economic multiobjective optimization of separation for isopropyl alcohol/diisopropyl ether/water mixture	/
15	论 文 合 著	杨福胜, 张早校	2021.05	2021.05	Energetic, economic and environmental (3E) multi-objective optimization of the back-end separation of ethylene plant based on adaptive surrogate model	/
16	论 文 合 著	杨福胜, 张早校	2019.11	2019.11	Prediction of liquid ammonia yield using a novel deep learning-based heterogeneous pruning ensemble model	/
17	论 文 合 著	杨福胜, 张早校, 吴震	2024.10	2024.10	基于固态稀土储氢的储罐与重卡底盘一体化设计	
18	共 同 知 识 产 权	尧兢, 鲁杨帆	2026.05	2026.05	一种轻质高效换热储氢罐	/
19	共 同 知 识 产 权	尧兢, 鲁杨帆	2026.06	2026.06	一种储热/储氢材料耦合低能耗快速启动装置	/
20	共 同 知 识 产 权	尧兢, 鲁杨帆	2026.06	2026.06	一种基于储热/储氢材料耦合的低能耗快速启动方法	/
21	共 同 知 识	吴震, 张早校, 杨福胜	2022.07	2022.07	一种氢纯化、储存和增压一体化系统及方法	/

	产权					
22	共 同 知 识 产 权	吴震，杨福 胜，张早校	2024.01		Integrated system and method for hydrogen purification, storage and pressurization	/
23	共 同 知 识 产 权	吴震，张早 校，杨福胜	2022.02	2022.02	一种尾气连续提氢和再利用系统及方 法	/
24	共 同 知 识 产 权	吴震，张早 校，尧兢， 朱鹏飞	2020.07	2020.07	一种复合压块式相变储热的气固储氢 反应器	/
25	共 同 参 与 制 订 标 准 规 范	吴震，杨福 胜	2024.04	2024.04	固态储氢净化技术规范	/
26	共 同 参 与 制 订 标 准 规 范	吴震，杨福 胜	2024.04	2024.04	固态储氢一体化设备技术要求	/
27	共 同 参 与 制 订 标 准 规 范	吴震，杨福 胜	2023.12	2023.12	焦炉煤气转化制高纯氢单位产品能耗 限额及计算方法	/
28	共 同 参 与 制 订 标 准 规 范	吴震，杨福 胜	2023.12	2023.12	焦炉煤气制高纯氢转化工艺安全技术 要求	/