氢能行业资讯与研究

HYDROGEN ENERGY INDUSTRY NEWS AND RESEARCH

2026 年第 7 期(总刊第 31 期)　2026-4-30出版

本期推荐>>>

■工信部等五部门：印发《工业产品绿色设计指南（2026 年版）》

■国务院：发布《关于更高水平更高质量做好节能降碳工作的意见》

■央视新闻：全球首台重型商用车高压直喷纯氨内燃机成功点火

■杭州网：首批 74 辆醇氢新能源清运车投用

■山东省：10 万户级天然气掺氢应用项目在潍坊启动

■西安交通大学：高传博团队研发超稳定金属析氧催化剂

一、政策要闻

1.工信部等五部门：4月17日，工业和信息化部办公厅 国家发展改革委办公厅 教育部办公厅 生态环境部办公厅 市场监管总局办公厅关于印发《工业产品绿色设计指南（2026年版）》的通知。《设计指南》中提到：开发绿色设计解决方案。围绕汽车、工程机械、机床、轴承、风电装备、氢能装备、光伏、锂电池、家用电器、包装、洗涤用品、纺织、生物制造、甲醇、轮胎等行业，针对绿色设计重点方向，开发技术先进、经济可行、供需适配的绿色设计解决方案，形成一批可复制可推广的绿色设计解决方案典型示例。培育专业水平高、服务能力强的绿色设计解决方案供应商，构建“需求牵引—方案开发—产业应用”的良性生态。

来源：工业和信息化部

2.中办、国办：4月22日，中共中央办公厅、国务院办公厅发布《关于更高水平更高质量做好节能降碳工作的意见》，其中提到：推进交通运输节能降碳。大力发展铁路、水路运输，持续提升公路运输效率和绿色化水平，提高民航空管运行效率，积极发展多式联运。持续推进绿色交通基础设施建设，提升交通场站、高速公路等设施设备绿色化智能化水平，健全充换电站、岸电等设施网络。建设零碳运输走廊。推广节能低碳运输工具，合

理优化车辆能耗限值要求，积极发展电动（氢能）重型卡车和绿色燃料船舶，支持清洁低碳燃料掺混替代。

来源：国务院

3.河北省：4月13日，河北省发展和改革委员会等四部门关于印发《河北省推进能源装备高质量发展实施方案（2026-2030年）》的通知。文件指出，加快发展氢能装备，完善“制储输用”全链条布局。不断巩固河北省在碱性电解槽领域领先地位，加快突破质子交换膜（PEM）电解槽核心技术，积极布局阴离子交换膜（AEM）、固体氧化物电解池（SOEC）等前沿技术。攻关加氢站压缩机、智能加氢机等加注核心装备及关键零部件，构建氢能储运加全链条装备配套体系。（来源：河北省发展和改革委员会）

来源：河北省发展和改革委员会

4.山西省：4月14日，山西省人民政府办公厅关于印发《山西省加快能源绿色低碳转型发展实施方案》的通知。文件指出，推进煤化工与绿氢、生物质等产业耦合示范，研发可再生能源发电与制氢设施、用氢负荷的自适应、自调节系统，开发合成氨柔性生产工艺，加快清洁低碳氢替代应用。开展煤化工产业二氧化碳规模化捕集、封存和制化学品等示范项目建设。拓展新能源发电与非电利用多元路径，稳步发展风电、光伏制取氢能和绿色燃

料项目。因地制宜推广地热能、太阳能光热等多能耦合清洁供热技术，推动新能源向工业原料、热力供应等非电领域延伸应用。力争每年新增并网规模2000万千瓦左右，“十五五”期间新增风光规模1亿千瓦。拓展氢能与绿色燃料应用场景。聚焦太原、长治、吕梁等集中应用区域和场景，科学布局高纯氢制备项目。利用好焦炉煤气、化工尾气等制氢资源，不断提升工业副产氢产能，推进工业副产氢规模化提纯，降低工业领域制氢用氢成本。积极探索氢能在制造业领域的应用，在太原、临汾等地区，探索推动氢冶金项目谋划布局，推广高炉富氢喷吹等氢在冶金领域示范场景。加快促进氢在煤化工领域替代，不断攻克绿氢技术成熟度低、生产成本高、能源资源保障难度大等难题，适时开展清洁低碳氢冶金试点项目。通过物流园区、干线运输等多场景开拓，实现氢能重卡规模化与商业化运营。实施氢能货车高速公路通行费全额补贴等政策措施，降低氢能应用成本。结合绿色“电氢氨醇”项目布局，探索覆盖氢能和绿色燃料全生命周期的认证机制。加强与“一带一路”共建国家和地区的能源领域合作，探索可再生资源、氢能、储能等先进技术的合作路径，实现优势互补与协同发展，在全球能源绿色低碳转型中发出山西声音。

来源：山西省人民政府

5.吉林省：近日，吉林省人民政府关于印发《吉林省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》的通知。文件指出，到2030年，绿氢产能力争达到80万吨/年，展望100万吨/年。完善氢能“制储输用”产业链条，壮大绿氢产业集群。加快以绿氢项目为主的化工园区建设，提升园区承载能力和服务保障水平。推进“长春松原白城”国家能源领域氢能区域试点以及松原绿色氢氨醇、洮南风电耦合生物质绿色甲醇一体化、大安规模化风光直流离网制氢等3个国家氢能项目试点建设，实施梨树甲醇等项目。

来源：吉林省人民政府

6.辽宁省：4月16日，按照辽宁省政府工作部署，为促进能源消费结构优化，推动全省汽车产业高质量发展，辽宁省发改委研究起草了《辽宁省甲醇汽车推广应用实施方案(征求意见稿)》，现向社会公开征求意见。

来源：辽宁省发展和改革委员会

7.湖北省：4月23日，《湖北省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》发布，文件指出，重点开发阴离子交换膜电解水制氢、固体氧化物电解水制氢、生物质耦合柔性离网制氢等关键技术，研制石墨烯、高活性轻金属等固态储氢材料，加快大规模长距离输氢技术攻关，加快氢燃料电池关键部件与系统研发

应用。加强氢能“制储输用”全链条发展布局，积极发展绿电制氢、绿色氢氨醇，协同推进武汉、黄石、潜江国家氢能区域试点，打造全国重要的氢能枢纽基地。

来源：湖北省人民政府

8.广东省：4月28日，广东省人民政府印发《广东省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》，其中提到：推动未来产业成形成势。实施未来产业梯度化培育行动，立足技术优势、产业基础、资源禀赋，前瞻布局并推动未来产业加快发展，争创国家未来产业研究院和概念验证中心，积极争取在科教资源优势突出、产业基础雄厚的地区建设未来产业先导区。围绕未来网络、通用智能、生命与健康、低碳能源、未来空间等重点领域，大力发展第六代移动通信、具身智能、细胞与基因治疗、脑科学与脑机接口、氢能、先进核能、深海探测、量子科技等重点产业，积极打造新的经济增长点。完善培育发展未来产业新赛道政策体系，探索多元技术路线、可行商业模式、市场监管规则，更好牵引新技术新产品加速落地、迭代升级。

来源：广东省人民政府

二、行业资讯

1.前沿技术

（1）中国石油首套兆瓦级 PEM 制氢系统顺利通过 CNAS 权威测试认证。4 月 15 日，由深圳院自主研制的中国石油首套兆瓦级质子交换膜（PEM）电解水制氢系统，顺利通过第三方权威机构 CNAS 测试认证，标志着中国石油在绿氢制备核心装备自主化、高端化、规模化领域取得标志性突破，为集团公司加快构建“油气氢电非”综合能源新格局、服务国家“双碳”战略注入强劲动能。

来源：深圳新能源研究院

（2）我国首个重载铁路加氢站累计加氢量突破 10000 公斤。截至 4 月 16 日，我国首个重载铁路加氢站——国华投资蒙西分公司巴图塔加氢站累计加氢量突破 10000 公斤大关，标志着我国氢能在重载铁路领域的规模化应用取得阶段性成果，为氢能产业高质量发展奠定坚实基础。该加氢站位于内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗境内海勒斯壕南站，日加氢能力 500 千克，为国内大功率氢能源动力调车机车和“氢燃料电池+锂电动力电池”零排放接触网作业车提供加氢服务。作为国华投资氢能产业布局的重要示范项目，该加氢站站内装备了建设规模为三级加氢站，配备了 45MPa 撬装压缩机、大流量加氢机、冷水机组、15 立方氢气储气瓶组等设备，总储氢能力为 800kg，最大加氢流量达 7.2 千克/分

钟，同时配合智慧站控系统实现自动复位、故障报警等功能，以数智化手段提升精益管理效能，筑牢安全生产防线。

来源：国华投资

（3）国内首个岩洞储氢库主体结构顺利完成特种混凝土浇筑。4 月 20 日，中冶武勘投资建设的国内首个岩洞储氢项目核心工程——储氢库特种混凝土浇筑任务圆满完成。作为国家重点研发计划示范工程，本次浇筑的成功，是我国岩洞储氢技术实现从“0”到“1”重大跨越的关键一步，为深地氢能储输体系建设奠定关键基石。

来源：中冶武勘

（4）全球首台重型商用车高压直喷纯氨内燃机成功点火。4 月 26 日，国家重点研发计划“重型商用车混合动力专用氨内燃机关键技术开发及应用”项目中期会议在江苏常熟召开。项目开发的首台纯氨（单一氨燃料内燃机）样机实现成功点火并稳定运行，标志着项目取得里程碑式进展。

来源：央视新闻

（5）国内首款搭载 50 千瓦级氢转子发动机多旋翼无人机成功首飞。近日，国内首款搭载 50 千瓦级氢转子发动机的 400 公斤级多旋翼无人机在经开区（杨舍镇）成功首飞，标志着江苏国富氢能技术装备股份有限公司在低空氢动力方向取得阶段性突

破，也意味着企业在低空经济新赛道上迈出了关键一步。本次项目采用“转子引擎+氢能燃料”组合，重点围绕动力系统与无人机平台的适配能力开展验证，覆盖动力输出、系统匹配、供氢协同、运行稳定性、飞行工况响应等关键环节。飞行过程面向真实平台和真实工况展开，进一步打通了从方案设计、系统集成到平台应用的关键链路，为后续产品优化和场景拓展奠定了基础。

来源：国富氢能

（6）美青化工深度参与攻克绿氨制备核心技术，全球首套十万吨级示范项目成功落地。近日，由美青化工参与的国家重点研发计划项目“十万吨级可再生能源电解水制氢合成氨示范工程”顺利通过综合绩效评价。由清华四川能源互联网研究院、四川大学牵头，美青化工深度参与的“适应柔性生产的合成氨工艺流程优化与调控技术”课题获专家组高度认可，认为该技术攻克了绿电耦合制绿色合成氨多项世界级难题，产出了一系列具有引领性的原创科技成果，是合成氨低碳技术的一次历史性跨越。

来源：四川美青化工有限公司

2.市场概况

（1）明阳氢能与西班牙 KT 公司正式签署 1MW AEM 及 25MW ALK 制氢系统销售合同。2026 年 4 月 16 日，北京明阳氢能科技有限公司在西班牙安达卢西亚自治区首府城市韦尔瓦与西班牙

KT 公司正式签署一系列制氢装备销售合同。根据销售合同，明阳氢能将作为核心氢能设备与解决方案供应商，为 KT 公司提供 1MW AEM 和 25MW ALK 制氢成套系统产品及相关服务，双方携手开启中西绿氢产业深度合作新篇章。明阳氢能在 2026 年已经签署约 80 MW 合同订单，本次合作的达成，既是明阳氢能与西班牙 KT 公司在绿氢产业深度协同的务实成果，也是国内首个符合欧盟（CE）认证标准的单堆兆瓦级 AEM 电解槽的实际交付，具有重大的标志性意义。

来源：明阳氢能

（2）首批 74 辆醇氢新能源清运车投用。4 月 20 日上午 10 点，一辆挂着绿色新能源牌照的 5 吨清运车缓缓驶入上城区富春路，驾驶员马忠元和搭档张洪亮刚刚完成钱塘印象小区的清运工作，正驶往春江花月小区。他们驾驶的是杭州首批醇氢新能源生活垃圾清运车，相比传统车辆，它的运行更安静，尾气排放也更清洁。醇氢新能源车是一种“烧醇产氢，氢发电，电驱动”的增程式电动汽车。与目前主流的国六柴油清运车相比，它最大的特点就是“清洁、低碳、安静”。车辆排放的细微颗粒物（PM）降低了 98%，一氧化碳减少 88%，氮氧化物减少 82%。能有效减少大气污染物排放，持续改善城区空气质量。同时，新能源车辆在

起步和低速行驶时噪音更小，减少了清晨或夜间清运作业对市民休息的可能影响。

来源：杭州网

（3）希倍优氢能100Nm³集装箱制氢系统顺利出厂发运。4月20日，希倍优氢能自主研发的100Nm³集装箱式一体化制氢系统顺利完成全项出厂检测、装车收尾工作，整装启程发运四川。本次交付设备采用高度集成模块化设计，深度融合电解制氢、气液分离、氢气纯化、智能安全管控全链条工艺，一体集成于标准集装箱体内。整机结构布局紧凑规整、转运灵活便捷、现场快速落地安装，大幅缩减现场土建施工工程量，有效压缩项目整体建设周期，真正实现“到场即安装、安装即投产”的高效建设模式。

来源：希倍优氢能

（4）成都新研一批氢能重卡正式投放成渝氢走廊。近日，成都新研新一批搭载大功率燃料电池系统的氢能重卡完成调试，正式交付并投入成渝氢走廊运营。成都新研氢能重卡的持续投放，将加速沿线加氢站等基础设施的完善与运营模式创新，带动氢能制、储、运、加、用全产业链协同发展。

来源：新研氢能

（5）玉柴交付中国首台氨双燃料发动机。近日，玉柴船动在珠海工厂成功交付中国首台6X52DF-A-1.0氨双燃料低速发动

机，本次交付的氨双燃料机，将应用于 25000 立方米系列 LPG/液氨运输船。该发动机采用高压液氨直喷技术，在氨模式和柴油模式下均可实现与同等柴油发动机相当的负荷响应能力和动态性能。主机配备 HPSCR 系统，在满足低碳排放要求的同时，亦能满足国际海事组织 Tier III 排放标准。

来源：玉柴集团

3.行业热点

（1）广州争取率先实现燃料电池汽车推广突破 10000 辆。4 月 15 日，广州市人民政府印发《广州市优化营商环境措施三十条（2026 年）》，其中提到：加快产业绿色低碳发展。以氢能产业发展为着力点，充分发挥燃料电池等氢能装备制造优势，争取率先实现燃料电池汽车推广突破 10000 辆，在物流、工业制造、工程建设等方面持续推广绿色能源替代。在工业领域大规模运用绿色工艺与循环生产技术，创建一批国家级绿色工厂。推进实施碳排放总量和强度双控制度，建立碳排放考核制度和碳预算管理体系，积极打造零碳园区。锁定碳核算管理落脚点，进一步健全碳足迹管理体系，制定重点产品碳核算规则标准，积极参与粤港澳大湾区碳标签合作互认。

来源：广州市人民政府

（2）国家发展改革委提出开展绿电制氢氨醇等重大技术研发攻关。4 月 17 日，国务院新闻办公室举行“开局起步‘十五五’”系列主题新闻发布会，国家发展改革委有关负责人介绍“十五五”时期推动经济社会高质量发展有关情况。会上，国家发展改革委副主任王昌林在回答记者提问时表示，要开展绿电制氢氨醇等重大技术研发攻关。王昌林表示，到“十四五”末，我国已经初步搭建起新型能源体系的基本框架，能源生产总量突破 50 亿吨标准煤，年用电量突破 10 万亿千瓦时，建成全球最大的清洁低碳能源体系，非化石能源消费占比达到 21.7%，为社会主义现代化建设提供了“量足质优价稳”的能源支撑。面对国际形势变化对我国油气进口的影响，国家采取综合措施，有力保障国内油品供应充足、市场运行平稳，充分体现了我国新型能源体系的建设成效。王昌林指出，“十五五”时期，将按照党中央、国务院决策部署，统筹发展和安全，统筹支撑经济社会发展和实现碳达峰目标，加快推进新型能源体系建设。**一是加快非化石能源高质量发展。**统筹集中式和分布式清洁能源开发，高质量推进雅下水电和“沙戈荒”新能源基地等重大工程建设。统筹新能源开发与消纳，优化调节资源布局，提升电网接纳、配置、调控新能源的能力，全力增加非化石能源电力生产和消费规模，积极推进非化石能源非电利用。通过上述努力，预计到 2030 年，非化石能

源供应规模将比2025年显著增长，2035年比2025年实现倍增。**二是推动化石能源安全可靠有序替代。**扩大国内能源生产，做好石油、天然气等能源储备能力建设，不断夯实传统能源保供基础作用。持续推进交通、工业、建筑等重点领域电能替代，加快新能源重卡推广应用，推动石油和煤炭消费达峰。**三是大力推进能源科技创新。**推进新能源发电技术迭代更新，加快新一代煤电、电网柔性直流输电等技术研发应用，开展长时储能、绿电制氢氨醇、可控核聚变等重大技术研发攻关，推进能源科技创新与产业创新深度融合。**四是持续深化能源体制机制改革。**健全绿色能源消费促进机制。优化能源项目投资机制，引导各类所有制企业特别是民营企业参与重大项目建设。用好新能源入市、绿电直联等政策。**五是稳步扩大高水平能源国际合作。**积极参与全球气候治理，推动绿证、绿电等标准国际互认，鼓励企业开展能源国际合作。持续推进能源进口多元化。

来源：国务院新闻办公室

（3）10万户级天然气掺氢应用项目在潍坊启动。我国首个10万户级天然气掺氢规模化应用项目4月19日在潍坊正式启动。从当日起，潍坊中心城区10万户城镇居民及商户的厨房灶台，将用上掺入氢气的天然气。这标志着氢能在我国城镇燃气领域应用的“最后一公里”正式被打通。该项目依托潍坊现有城镇燃气

管网基础设施，全面覆盖居民日常生活、商户餐饮等各类民生用气场景。项目采用 3 万立方米天然气掺氢装备，掺氢比例可在 0 至 10%之间灵活调节。居民无需更换家中任何燃气设备，即可正常使用掺氢天然气。

来源：山东新闻

（4）2026 年一季度工业和信息化发展情况公布。4 月 21 日，国新办举行新闻发布会，介绍 2026 年一季度工业和信息化发展情况。工业和信息化部副部长张云明表示，一季度，工业和信息化发展总体实现良好开局。开展氢能综合应用试点，新发布绿色工厂 2038 家、绿色工业园区 128 家，全国规模以上工业单位增加值能耗持续下降。同时，依托国家科技重大项目等加大未来产业支持力度。围绕量子科技、清洁低碳氢等重点赛道，已累计部署 100 多项未来产业创新“揭榜挂帅”攻关任务。

来源：国务院新闻办公室

4.项目进展

（1）深能鄂托克旗风光制氢一体化合成绿氨项目进入调试关键期。近日，在鄂尔多斯市鄂托克高新技术产业开发区棋盘井产业园东项目区，深能鄂托克旗风光制氢一体化合成绿氨项目现场一派繁忙，包含专业技术人员、调试工程师、一线工人在内的 400 多人奋战在项目一线，全力投入到工程调试工作中，确保项

目如期投产。据悉，该项目于2025年4月开工建设，是国家能源局能源领域首批氢能试点项目，全国首批大型零碳绿色化工示范项目，也是内蒙古自治区第二批风光制氢示范项目。项目总投资39亿元，建设500MW风电、220kV输电线路、5MW光伏发电站，以及年制氢约2万吨的电解水制氢站、年产15万吨的绿氢合成氨工厂。目前，220kV输电线路已全线贯通，风光发电工程完成送电调试，已具备发电条件；制氢工程已进入全面调试阶段。

来源：内蒙古日报

（2）制氢制甲醇SAF项目落地内蒙古赤峰市。4月22日，内蒙古岳铭科技有限公司赤峰分公司制氢制甲醇及SAF一体化项目获备案。该项目建设地点在赤峰市--红山区--高新区红山产业园区100102地块，项目单位为内蒙古岳铭科技有限公司赤峰分公司，总投资600000万元。建设规模及内容：1.建设电解水制氢生产线一套，包括电解水制氢设备、气液分离设备、净化提纯设备等，年产绿氢6.25万吨；2.建设绿色甲醇合成生产线一套，包括生物质气化设备、联合净化设备、甲醇合成设备等，年制备绿色甲醇50万吨；3.建设SAF合成生产线一套，年生产SAF10万吨。

来源：内蒙古自治区投资项目在线审批办事大厅

（3）总投资 20 亿元风电制氢项目获批。4 月 28 日，兴安盟金风科技风电制氢（三期）项目获备案。项目位于兴安盟--乌兰浩特市--内蒙古兴安盟经济开发区，项目单位为金风绿能氢能科技（兴安盟）有限公司，总投资 200000 万元。该项目主要建设制氢装置、压缩装置、储气装置、空分装置及配套设施，制氢规模为 16 万 Nm^3/h。计划 2026 年 9 月开工，2028 年 9 月竣工。据了解，2025 年 11 月 10 日，兴安盟金风科技风电制氢（二期）项目获备案，项目位于兴安盟--乌兰浩特市--兴安盟-乌兰浩特市-内蒙古兴安盟经济技术开发区呼和路东，项目单位为金风绿能氢能科技（兴安盟）有限公司，总投资 50000 万元，该项目主要建设制氢装置、气液分离、氢气压缩、储氢及配套设施，制氢规模为 3.2 万 Nm^3/h。计划 2025 年 12 月开工，2027 年 12 月竣工。2025 年 5 月 20 日，兴安盟金风科技风电制氢（一期）项目获备案，项目位于兴安盟--乌兰浩特市--内蒙古兴安盟经济技术开发区呼和路东，项目单位为金风绿能氢能科技（兴安盟）有限公司，总投资 60000 万元。该项目主要建设制氢装置、气液分离、氢气压缩、储氢及配套的空压机、冷却水等附属系统，制氢规模为 3.2 万 Nm^3/h，项目全部建成投产后，年产绿氢 1 万吨。计划 2025 年 7 月开工，2027 年 5 月竣工。

来源：内蒙古自治区投资项目在线审批办事大厅

（4）总投资 13.26 亿元内蒙古一绿氨项目获批。4 月 29 日，鄂托克前旗风光制氢一体化合成绿氨项目电解水制氢站工程获备案。该项目建设地点鄂尔多斯市--鄂托克前旗--电解水制氢站位于鄂托克前旗上海庙经济开发区能源化工区，东至长城电厂，西至尚东大道，北至纬五路，南至深能一期电解水制氢站。项目单位为深能北方（鄂托克前旗）能源开发有限公司，总投资 132 648 万元。本项目拟建设年产绿氢约 2 万吨的电解水制氢站，制氢系统采用质子交换膜（PEM）电解槽作为主力制氢设备，同时配置碱性（ALK）电解槽电解槽和阴离子交换膜（AEM）电解槽，以融合多技术路线优势并适配可再生能源波动性电力，配套建设气液分离装置、氢气纯化装置、降压站、储氢设施、水处理设施（含纯水和循环水系统）、进站道路、消防及安防等附属设施，项目建成后按可再生能源制氢产业安全相关规范运行。

来源：内蒙古自治区投资项目在线审批办事大厅

三、专题研究

西安交大高传博团队研发超稳定金属析氧催化剂

——西安交通大学

一、研究背景与内容

质子交换膜水电解（PEMWE）是绿氢制备的核心技术，但阳极析氧反应（OER）长期依赖 Ru/Ir 氧化物催化剂。这类材料在

强酸、高电位下极易过度氧化溶解（Ru 生成 RuO_4、Ir 生成 IrO_3），导致寿命短、成本高。学界普遍认为金属催化剂不耐氧化，不适合酸性 OER，这成为行业瓶颈。

团队打破传统认知，首次设计并制备出耐氧化的 AgRuIr 合金纳米笼金属催化剂。采用空位扩散辅助合金化策略，解决 Ag 与 Ru/Ir 本征不相容问题，合成亚稳态均匀合金空心结构。利用 Ag 满 d 轨道降低合金亲氧性，抑制氧进入金属晶格，让催化剂在高电位下仍保持金属态。在 PEMWE 器件中实现高活性+超长效稳定，性能显著优于商用 RuO_2、IrO_2。

二、研究要点

材料创新：亚稳态 AgRuIr 合金纳米笼，空心结构、元素均匀分布。核心机制：Ag 降低亲氧性→弱化氧吸附→阻止过度氧化→保持金属活性相。关键性能：1Acm^{-2} 时槽压仅 1.73V，稳定运行 1500 小时，电压衰减率 0.93μVh^{-1}，金属溶解率极低，每千小时仅损失 0.5%－0.7%理论突破：颠覆“金属不适合酸性 OER”的传统结论，为金属型 OER 催化剂提供新设计范式。

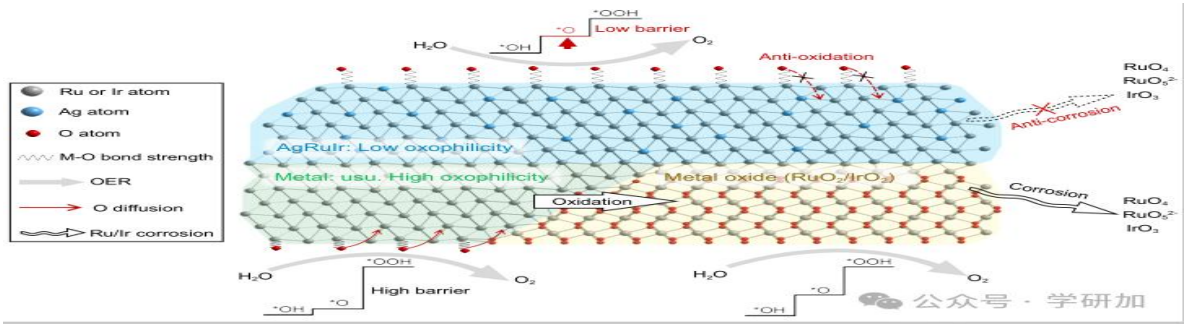


图 1.高效耐腐蚀金属析氧反应（OER）催化剂设计原理示意图。绿色区域：具有高亲氧性的金属纳米晶通常呈现高能垒，导致 OER 动力学缓慢。黄色区域：金属纳米晶在 OER 过程中通常会转化为金属氧化物（如 RuO_2 和 IrO_2）。这些金属氧化物会持续发生过氧化并腐蚀为可溶的高价含氧物种，导致使用寿命短。蓝色区域：AgRuIr 合金催化剂。将 Ag 合金化到 RuIr 中可以降低金属纳米晶的亲氧性。这种降低的亲氧性使 O 不稳定，并降低了 OER 的能垒。更重要的是，它能有效阻止 O 进入金属晶格，使 AgRuIr 纳米晶在整个 OER 过程中保持其金属态，可靠地防止过氧化为可溶的高价含氧物种。

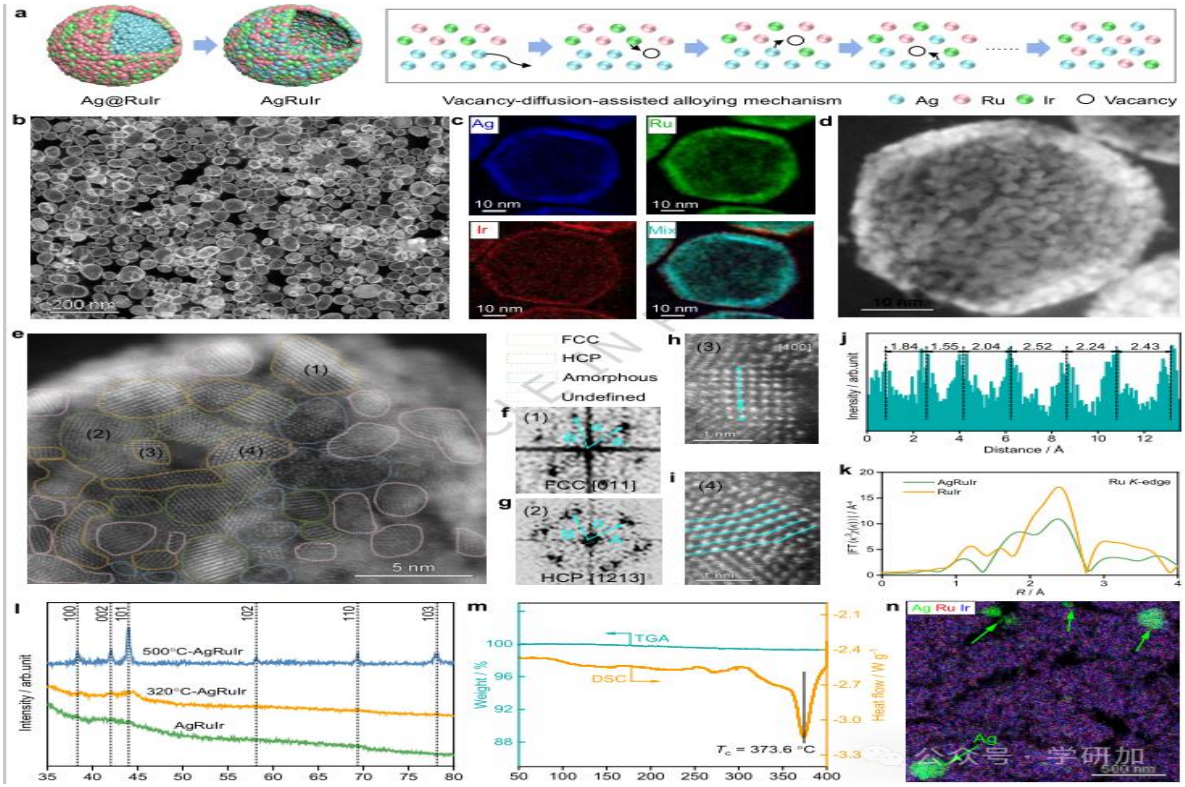


图 2.亚稳态 $Ag_{0.19}RuIr_{0.48}$ 合金纳米笼的表征。(a)空位扩散辅助合

金化机理示意图。(b)低倍率 HAADF-STEM 图像。(c)Ag、Ru 和 Ir 的 EELS 元素分布图。(d,e)单个纳米笼的 Cs 校正高分辨率 HAADF-STEM 图像。(e)中黄、绿、蓝、粉虚线所围区域分别对应 FCC、HCP、非晶和未解析结构微晶。(f,g)(e)中编号(1)和(2)微晶的傅里叶衍射图，分别对应 FCC 相（B/A=1.156, α =54.7°）和 HCP 相（B/A=1.139, α =64.0°）。(h,i)(e)中编号(3)和(4)微晶的放大 HAADF-STEM 图像。(j)沿(g)中箭头的强度分布图，显示沿[001]方向原子间距的变化。(k)AgRuIr 合金纳米笼和 RuIr 合金纳米颗粒的 Ru FT-EXAFS 谱。R，径向距离。(l)AgRuIr 合金纳米笼的变温 XRD 图谱，扫描速率 $5^{0}min^{-1}$。(m)AgRuIr 合金纳米笼的 DSC 和 TGA 曲线，扫描速率 $10^{0}Cmin^{-1}$。(n)500℃煅烧 4 小时后纳米笼的 EDS 元素分布图（Ag 绿色、Ru 红色、Ir 蓝色），显示 Ag/RuIr 发生相分离。源数据以源数据文件形式提供。

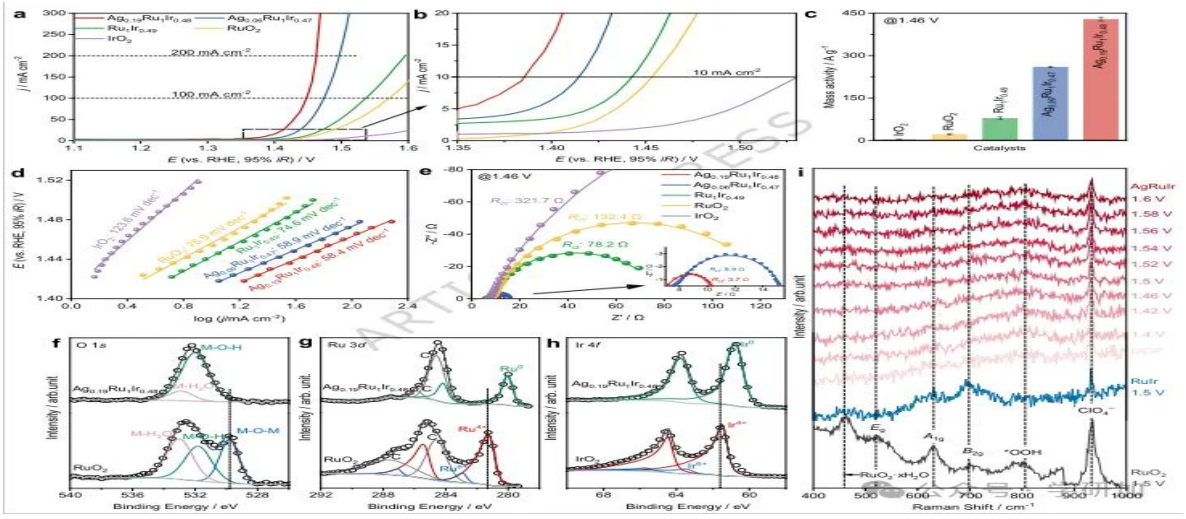


图 3.亚稳态 $Ag_{0.19}Ru_1Ir_{0.48}$ 合金纳米笼的电化学 OER 活性。对比催

化剂：$Ag_{0.06}Ru_1Ir_{0.47}$合金纳米笼、$Ru_1Ir_{0.48}$合金纳米颗粒以及商业RuO_2和IrO_2。(a)在O_2饱和的0.1M$HClO_4$（pH=1.0±0.01）、25℃下的LSV曲线，扫描速率：10mVs^{-1}。iR补偿水平：95%。未进行iR补偿的曲线见图S52。催化剂载量：0.134$mgcm^{-2}$（IrO_2为0.3 $mgcm^{-2}$）。电极面积：0.36cm^2。溶液电阻：5.0±0.01Ω。(b)低电流密度区域的LSV曲线，如(a)中矩形框所示。(c)催化剂在1.46 V下的质量活性对比。误差线表示三次平行测量的标准差。(d)Tafel图，包含各催化剂的Tafel斜率。球形符号为实验Tafel数据点，实线为拟合的Tafel曲线。(e)Nyquist电化学阻抗谱图，球形符号为实验EIS数据点，线为拟合的EIS曲线。插图：低Z'和Z"区域的放大图。(f–h)$Ag_{0.19}Ru_1Ir_{0.48}$与RuO_2、IrO_2在1.74V下计时电流测试2小时后的O1s、Ru 3d和Ir 4f XPS谱图对比。(i)$Ag_{0.06}Ru_1Ir_{0.47}$合金纳米笼在0.1M$HClO_4$中不同OER电位（OCP–1.6V）下的原位拉曼光谱，并与RuIr合金和RuO_2在1.5V下的光谱对比。ClO_4^-的拉曼峰来自电解质。原位拉曼光谱电化学池由GaossUnion定制（型号：031；装置见图S53）。源数据以源数据文件形式提供。

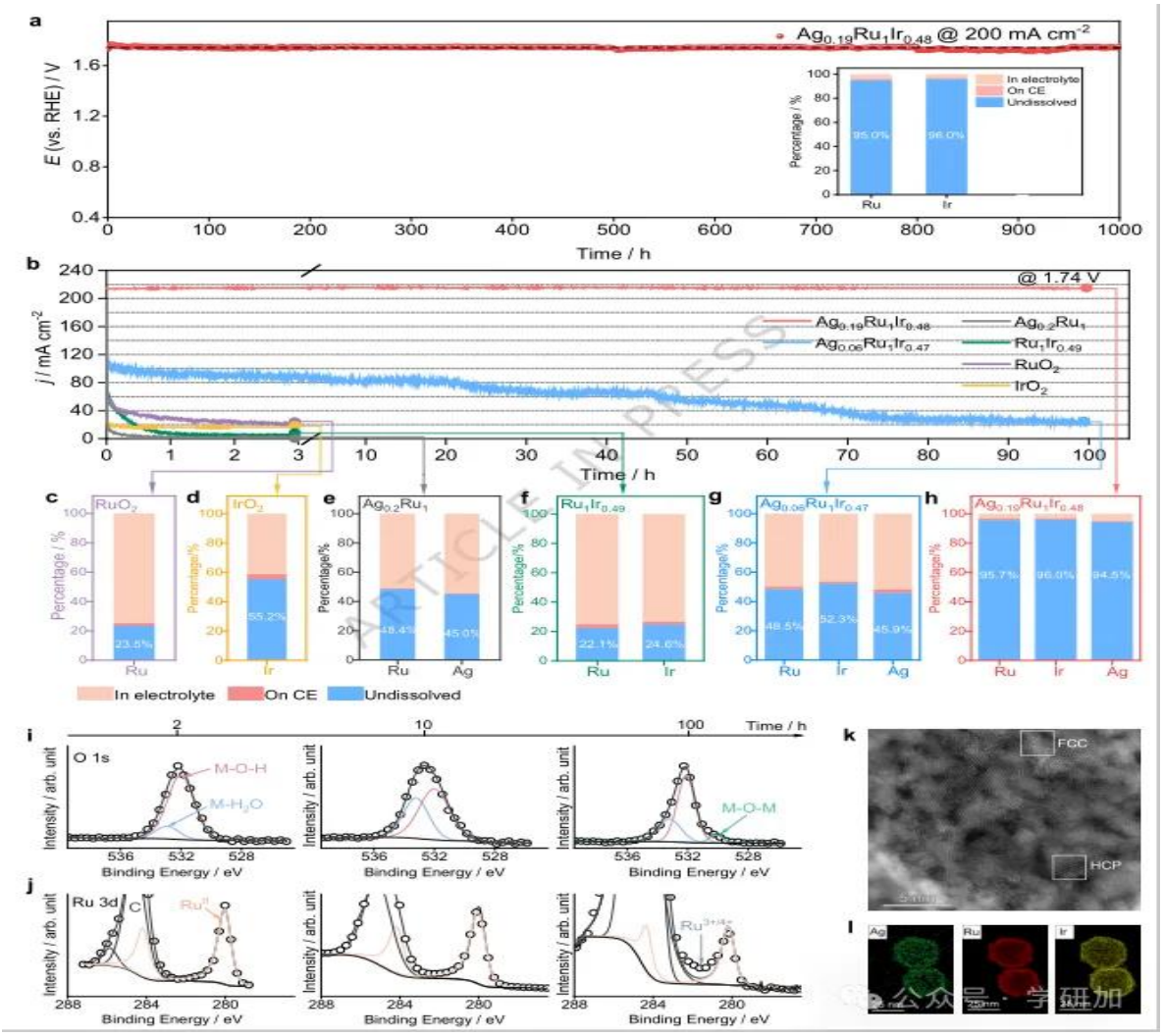


图 4.亚稳态 $Ag_{0.19}Ru_1Ir_{0.48}$ 合金纳米笼在 OER 过程中的抗氧化和抗腐蚀性能。(a)$Ag_{0.19}Ru_1Ir_{0.48}$ 催化剂在 0.1M $HClO_4$（pH=1.0±0.01）、25℃、200mAcm^{-2} 下的计时电位曲线。催化剂载量：0.934mgcm^{-2}。未进行 iR 校正。插图：计时电位测试 1000 小时后 Ru 和 Ir 的溶解百分比。(b)$Ag_{0.19}Ru_1Ir_{0.48}$ 催化剂在 0.1M $HClO_4$（pH=1.0±0.01）、25℃、1.74V 下的计时电流曲线，并与 $Ag_{0.06}Ru_1Ir_{0.47}$、$Ru_1Ir_{0.49}$、RuO_2 和 IrO_2 对比。催化剂载量：0.536mgcm^{-2}。未进行 iR 校正。(c－h)

不同催化剂在计时电流测试后的金属溶解百分比。测试时长：$Ag_{0.19}Ru_1Ir_{0.48}$和$Ag_{0.06}Ru_1Ir_{0.47}$为100小时；$Ru_1Ir_{0.49}$、RuO_2和IrO_2为3小时。(a,c－h)中的黄、粉、蓝色柱分别表示溶解在电解液中的金属百分比、重新沉积在对电极上的金属百分比以及未溶解的金属百分比。(i,j)$Ag_{0.19}Ru_1Ir_{0.48}$催化剂在1.74V下计时电流测试2、10和100小时后的01s和Ru 3d XPS谱图。(k,l)$Ag_{0.19}Ru_1Ir_{0.48}$催化剂在200mAcm^{-2}下计时电位测试200小时后的Cs校正高分辨率HAADF–STEM图像和EDS元素分布图。源数据以源数据文件形式提供。

主　　办：内蒙古自治区氢能产业发展促进会
承　　办：华电内蒙古能源有限公司规划发展部
内 容 编 辑：张　蕾　李特日根　郭　嘉
编 辑 指 导：赵毅峰　程树鑫
编 辑 审 核：焦　佳
联　系　人：张　蕾
邮　　箱：hdnmgqn2024@163.com