

工信厅高新函〔2025〕21号

工业和信息化部办公厅关于组织开展 2025年未来产业创新任务揭榜挂帅工作的通知

各省、自治区、直辖市及计划单列市、新疆生产建设兵团工业和信息化主管部门、科技主管部门：

为深入贯彻落实习近平总书记关于揭榜挂帅、未来产业发展的重要指示精神，落实《关于推动未来产业创新发展的实施意见》（工信部联科〔2024〕12号），以科技创新和标志性产品打造引领量子科技、原子级制造、清洁氢产业创新发展，支撑推进新型工业化、加快培育形成新质生产力，现组织开展2025年未来产业创新任务揭榜挂帅申报工作。有关事项通知如下：

一、揭榜任务内容

面向量子科技、原子级制造、清洁氢3个未来产业，布局一批核心基础、重点产品、公共支撑、示范应用创新任务，发掘培育一批掌握关键核心技术、具备较强创新能力的优势单位，突破一批标志性技术产品，加速新技术、新产品落地应用。

（一）量子科技

围绕量子计算、量子通信、量子精密测量3大方向，拟部署

17 项揭榜任务（附件 1），加强产业共性关键技术攻关，研制核心器件与设备，提升产业公共服务能力，推动量子技术在医疗、交通、能源、金融等领域应用落地。

（二）原子级制造

围绕原子级制造工艺仿真、原子级加工、构筑和检测等 4 大方向，拟部署 19 项揭榜任务（附件 2），预期产出高效团簇离子束原子级抛光装备、200—300kV 场发射透射电镜等系列加工、检测装备，原子级金属粉体、原子级精度 X 射线反射镜等系列产品。

（三）清洁氢

围绕清洁氢制取、存储与转储、输运与配给、动力与物料利用 4 大方向，拟部署 22 项揭榜任务（附件 3），研究形成一批清洁氢制—储—输—用成套技术与装备，推动清洁氢在交通、冶金、化工等领域应用落地。

二、推荐条件

（一）申报单位须为在中华人民共和国境内注册、具有独立法人资格的企事业单位。申报单位需承诺揭榜后能够在指定期限内完成相应任务。

（二）鼓励企业、科研院所、高校、新型研发机构、金融机构等不同类型的单位联合申报。其中，牵头单位为 1 家，联合参与单位不超过 4 家。

（三）各省、自治区、直辖市及计划单列市、新疆生产建设

兵团工业和信息化主管部门、科技主管部门按照政府引导、企业自愿的原则，优先推荐创新能力突出、产业化前景好、具有明显行业带动作用的项目。

三、工作要求

（一）单位申报。申报单位登录“未来产业创新任务揭榜挂帅申报系统”（jbgs.ccidnet.com，以下简称申报系统），完成注册后填写申报信息。申报截止时间为2025年3月6日。

（二）地方推荐。各省、自治区、直辖市及计划单列市工业和信息化主管部门、科技主管部门负责组织开展本地区项目推荐工作。各推荐单位需于2025年3月20日前登录申报系统确认推荐名单，每个揭榜任务推荐项目数量原则上不超过2个。

（三）遴选与测评。工业和信息化部组织开展遴选工作并确定揭榜入围单位名单（每个揭榜任务原则上不超过5家）。揭榜入围单位需在名单确定之日起2年内完成攻关任务。工业和信息化部将在攻关任务到期后组织开展测评工作，择优确定揭榜优胜单位（每个揭榜任务原则上不超过3家）。

四、保障措施

请各推荐单位高度重视未来产业创新任务揭榜挂帅工作，充分调动企业、科研院所、高校、新型研发机构、金融机构等各类创新主体的积极性，遵循公开、公平、公正原则做好推荐工作。工业和信息化部将统筹利用各类资源对揭榜入围、优胜单位予以支持。鼓励各地方结合实际情况，在政策支持、资金投入、资源

配套等方面加大扶持力度。

五、联系方式：

（一）工业和信息化部高新技术司

白文韬（量子科技）010—68209977

柳嘉欣（原子级制造）010—68209986

程炳超（清洁氢）010—68209996

（二）申报系统技术咨询

李艺铭 010—68207903

樊炳辰 010—68207279

附件：1. 量子科技揭榜挂帅任务榜单

2. 原子级制造揭榜挂帅任务榜单

3. 清洁氢揭榜挂帅任务榜单

工业和信息化部办公厅

2025年1月14日

附件 1

量子科技揭榜挂帅任务榜单

一、核心基础

(一) 量子多进程测控

揭榜任务：面向量子计算测控系统的低信号延时、快速反馈与实时纠错能力等需求，创新量子控制系统的架构设计，研发支持量子比特扩展和量子进程级并行的底层微架构，构建支持高效量子比特利用的量子多进程测控系统，突破现有量子计算测控系统在可扩展性和效率方面的瓶颈。

预期目标：到 2026 年，构建支持至少 1000 量子比特规模的量子计算测控系统，基于测量结果的反馈控制延时小于 $1\mu\text{s}$ 。支持至少 5 个量子任务的异步并行执行，量子计算任务执行效率较现有单进程模式提升至少 4 倍。提升量子比特利用和任务调度效率，助力大规模量子计算应用性能优化。

(二) 量子纠错编码

揭榜任务：面向量子逻辑比特制备和操控等需求，研发量子计算纠错编码关键技术及系统，实现量子线路执行中的实时量子态部分测量、量子态转移及反馈控制，支持主流量子纠错编码硬件实现，提升量子计算系统处理复杂计算任务能力。

预期目标：到 2026 年，在主流技术路线量子计算原型

机系统中实现至少一种纠错编码和逻辑量子比特操控，完成高保真度量量子逻辑门实验演示。表面码方案实现码距 ≥ 5 的量子纠错及单比特逻辑门操作，或者颜色码方案完成码距 ≥ 3 的量子纠错及单比特逻辑门操作。

（三）抗量子计算密码通用芯片架构

揭榜任务：围绕抗量子计算密码中算法特性、数据处理逻辑、侧信道攻击防护等需求，研究基于格/模格上的容错学习问题和容错学习加密算法的侧信道攻击防护技术，突破共性高效运算模块等抗量子计算密码底层关键技术。完成适用于抗量子计算密码范式的格/模格密码通用芯片架构设计。

预期目标：到 2026 年，突破基于自主可控 IP 的抗量子密码芯片关键技术，原型芯片实现 40nm 及以下工艺平台验证；支持格、哈希、编码、同源等主流抗量子计算密码路径基础运算，可通过软件算法库与硬件原型芯片的协同实现 10 种以上抗量子密码算法的构造，签名性能不低于 200 次/秒。

二、重点产品

（一）大冷量稀释制冷机

揭榜任务：面向大规模超导量子计算对更大冷量、更大空间稀释制冷机的迫切需求，攻克稀释制冷机脉管制冷、热开关、极低温烧结换热、恒温器、气体处理系统、测控系统、器件有效互联及高效率热交换等技术难点，研制下一代大冷量、大功率、可互联稀释制冷机，提供保障数百到上千比特超导量子芯片运行的极低温环境。

预期目标：到 2026 年，研制满足容纳超过 1000 量子比特的大冷量、可互联稀释制冷机，可装载线缆数 ≥ 4000 条，混合室冷盘面积 $\geq 1.6 \text{ m}^2$ ；稳定实现空载最低温 $\leq 12\text{mk}$ ，空载 100mk 制冷功率 $\geq 3000 \mu \text{W}$ ；多台设备互联门接口温区从 mK 级到 300K 全覆盖。

（二）可编程光量子处理芯片

揭榜任务：面向实用化光量子计算的大规模扩展需求，研究能解决具体实际问题的专用及通用光量子芯片。开展大规模片上综合集成技术研究，基于铌酸锂基、硅基、III-V 族、氮化硅等多种非线性量子材料体系，研发混合异质集成、高效频率转换、低损耗传输、高速信号读取、器件干扰隔离等关键技术，实现芯片上高速光量子态调控和超低时间抖动单光子探测。

预期目标：到 2026 年，实现两种或两种以上材料的异质集成。制备出高性能器件单元，单端耦合损耗 $\leq 2\text{dB}$ ，片上干涉仪消光比 $\geq 30\text{dB}$ ，调制速率 $\geq 10\text{GHz}$ 。实现多种结构的单光子以及多光子制备操纵单元，集成器件数 ≥ 30 ，单比特门保真度 ≥ 0.95 ，两比特门保真度 ≥ 0.9 。

（三）多体系算力量子操作系统

揭榜任务：面向多体系量子计算机融合计算需求，研发适配多技术路线的量子操作系统。研发量子异构算力资源管理系统、基于量子计算任务特征驱动的量子异构算力调度系统、含噪声的中型量子计算任务高效编译与执行系统、面向

量子异构算力的分布式量子计算和量子多线程异步并行计算方法。

预期目标：到 2026 年，支持不少于 4 种体系量子计算机，适配 ≥ 2000 量子比特的量子计算算力，每秒电路层操作数 CLOPS ≥ 50000 ；实现大规模量子线路的超高速编译，100 个量子比特、50000 层深度线路的编译时间 $\leq 1s$ ；实现同时调用至少 3 种量子异构算力，并行执行量子计算任务数 ≥ 5 。

（四）量子绝对重力仪

揭榜任务：面向高时空分辨地球物理绝对重力网场景，突破低噪声高功率拉曼激光制备、低噪声原子干涉信号探测、宽频段振动抑制和补偿技术，研制小型集成化、光纤化的量子绝对重力仪，在地震监测、地质测绘等领域联合相关机构开展重力组网连续观测及流动重力勘查示范应用，获取区域性重力时变信息。

预期目标：到 2026 年，研制量子绝对重力仪产品可支持定点连续和流动重力测量应用。室内测量灵敏度 $\leq 15\mu\text{Gal}/\text{Hz}^{1/2}$ ，定点测量误差 $\leq 2\mu\text{Gal}$ ，30 天连续运行率 $\geq 98\%$ 且连续运行零点漂移 $\leq 3\mu\text{Gal}$ 。产品体积 $\leq 0.25\text{m}^3$ ，流动测量误差 $\leq 10\mu\text{Gal}$ ，部署时间 ≤ 2 小时。

（五）碳监测光量子雷达

揭榜任务：面向双碳战略中的碳排放和碳计量及远距离管网泄漏检测的应用需求，开展甲烷、二氧化碳气体红外单光子差分吸收算法、红外高效率量子探测器高效率低后脉冲

优化及甲烷、二氧化碳光量子雷达集成技术等方面的研究，突破高速双波长切换光纤窄线宽激光器技术、超稳光频稳频技术、红外高效低噪的量子探测技术，实现远距离甲烷、二氧化碳气体浓度分布式监测的光量子雷达设备。

预期目标：到 2026 年，研发基于 1654nm 单台双路吸收的甲烷、二氧化碳遥感光量子雷达，系统常规探测半径不低于 2km，距离分辨率不高于 60 米，时间分辨率优于 60s，单点的甲烷、二氧化碳浓度测量精度优于 5ppm，在工业园区等场景通过长期外场浓度监测测试。

（六）芯片级分子时钟

揭榜任务：面向定位导航授时、通信基站、航空航天、低空组网、水下分布式探测等领域电子设备对高精度、高稳定、适合大规模部署的新型时钟应用需求，开展多类型分子旋转谱物理特性、长稳与短稳协同、新型芯片级分子时钟架构等核心技术研究，提升新一代芯片级分子时钟性能，突破芯片级分子钟批量制造工程的核心工艺技术，解决现有高精度时钟成本昂贵、可靠性差等问题。

预期目标：到 2026 年，完成芯片级分子时钟规模化生产。时钟频率稳定性 $\leq 1 \times 10^{-11} @ 10^3s$ ，重量 $\leq 0.2kg$ ，冷启动时间 $\leq 20s$ ，具备综合性能优势和成本优势，在定位导航授时、通信基站、航空航天或低空组网等典型场景中完成验证。

三、公共支撑

（一）量子计算云平台通用架构设计

揭榜任务：面向量子计算算法研究、应用探索、用户服务等场景，突破量子计算资源动态管理调度、多模态数据高效融合、多源异构计算架构设计与协同优化、边云协同计算实时管控等关键技术，形成量子计算云平台通用技术方案，实现超导、离子阱、光量子、中性原子等多种体系量子计算系统在云平台的集成纳管和高效服务。

预期目标：到 2026 年，量子计算云平台可支持超导、离子阱、光量子、中性原子等技术体系量子计算系统纳管和服务，系统最大规模 ≥ 500 量子比特。研制量子计算云平台架构、接口、中间件等技术标准草案。量子计算云平台每月运行计算任务执行的量子线路数大于 2 万条。

（二）量子计算基准测试公共服务平台

揭榜任务：面向量子计算基准测评与产品服务测试验证场景，开展量子计算测评体系研究、多源平台综合接入、软硬件接口适配，自动化测试用例开发等关键技术攻关，构建量子计算测评验证公共服务平台，支持不同硬件技术体系、编程框架、应用软件、中间件和云平台等技术、产品和平台服务测试验证。

预期目标：到 2026 年，量子计算基准测试公共服务平台实现多云平台接入与实时监测。形成 1 套至少包含 20 个基准指标的量子计算基准测试工具集，实现比特级、线路级、系统级、应用算法级系统性能基准测试，应用算法测试场景

和用例数量 ≥ 10 个。形成量子计算相关标准草案。

（三）分布式量子密钥资源池

揭榜任务：面向量子密钥分发网络和密码服务系统的融合加密应用场景，研究集成量子随机数、抗量子密码、量子密钥分发等技术，构建广域覆盖的分布式量子密钥资源池并形成多种量子密钥源的融合管理系统；将孤岛式密码资源池通过量子密钥分发网络实现安全互联，以资源方式对外提供量子随机数、量子密钥等，对接有需求的各类安全场景；支持密钥服务层对外统一提供服务接口，实现基于量子密钥的身份认证、数据机密性和完整性保护等加密业务应用的快速对接与服务，开展一对一、一对多等不同业务应用使用分布式量子密钥资源池的密钥同步服务。

预期目标：到 2026 年，完成分布式量子密钥资源池系统验证；建成不少于 3 个跨省节点的分布式量子密钥资源池，可支持不少于 5 个业务应用，具备 100 万用户总量和 1 万并发接入的服务能力；量子密钥资源池可对并发的资源请求按服务质量等级完成密钥资源分配。

（四）量子精密测量产业测试验证服务平台

揭榜任务：面向量子精密测量产品工程化开发和测试验证场景，开展量子场强仪、量子电流传感器、量子磁传感器等量子精密测量产品工程化研发，建设功能性能、环境适应性、可靠性等测试试验系统，在计量、电力检测等领域开展应用验证，推动量子精密测量产业技术攻关、测试、应用的

协同发展。

预期目标：到 2026 年，完成 2 项及以上量子精密测量产品工程化研发，并在计量、电力检测等领域实现应用。完成功能性能、环境适应性、可靠性测试试验系统建设，开展量子精密测量产品测试验证服务 5 项以上。形成量子精密测量相关标准草案。

四、示范应用

（一）量子+医疗检测

揭榜任务：面向心脑血管磁场研究与医疗诊断等应用需求，研发基于量子磁场传感技术和原子磁力计的高灵敏度心磁图仪和脑磁图仪，实现对心磁、脑磁信号高时间分辨率，高空间分辨率测量，以及心磁图和脑磁图的精准成像，服务于重大心、脑疾病的无创诊断，同时为脑科学研究提供有力工具，在医疗机构、科研院所等典型场景开展示范应用。

预期目标：到 2026 年，实现原子磁力计灵敏度优于 $8\text{fT/Hz}^{1/2}$ 。心磁图仪支持 ≥ 128 通道，对典型心脏疾病实现自动诊断，准确率超过 90%。脑磁图仪支持 ≥ 256 通道，4 人同时进行超扫描脑磁图成像。心磁图仪、脑磁图仪在 50 家以上医疗机构或科研院所开展示范应用。

（二）量子+智能网联汽车

揭榜任务：面向智能网联汽车座舱隐私数据脱敏、加密传输、安全存储、受控访问等需求，研究融合量子通信与国密算法的量子密钥协商与量子加密通信技术，研究基于量子

密钥与属性的隐私数据访问控制技术，研发智能座舱隐私数据防控系统，实现智能网联汽车座舱隐私数据的量子安全采集存储、加密传输和受控共享。

预期目标：到 2026 年，完成量子安全可信执行环境模组、量子安全网关、量子密钥监管平台的设计开发。量子安全可信执行环境模组远程加解密视频传输速率 $\geq 200\text{Mbit/s}$ 。量子安全网关单机接入量子终端最大并发数不小于 60000 个、端口吞吐率 $\geq 5\text{Gbit/s}$ 、消息转发速率不小于 70000 条/秒。

（三）量子+新能源

揭榜任务：面向新型储能系统、新能源汽车电池装置等应用场景，开展跨尺度、多物理场、跨平台量子传感器融合技术等方面研究，实现低丰度高灵敏磁性量子检测敏感元件及传感器产品制备，突破高灵敏度量子磁测量、磁杂信号反演分析、复杂工况环境下的高效信号处理等关键核心技术，研发低丰度高灵敏磁性量子检测传感器，并实现在储能、新能源汽车等领域的示范应用。

预期目标：到 2026 年，完成低丰度高灵敏磁性量子检测传感器的设计与集成制造，对磁性物质含量的检测分辨率达 1ppb；在线检测反馈时间间隔 $\leq 10\text{s}$ ；电流测量范围：1mA-1000A；测量精度：0.01%FS；温漂：5ppm；测量重复性和一致性达到 99.9%，至少应用于 2 个领域或行业。

（四）量子+科技金融

揭榜任务：面向多类金融风险检测及分析的复杂计算场

景，研究基于量子计算架构的金融风险分析控制新范式，研发风险模型相关的量子机器学习、随机模拟、组合优化、图计算等算法，突破金融风险算力瓶颈，完成理论优势论证及端到端资源分析，实现真机部署上线。

预期目标：到 2026 年，研发量子金融专用算法及量子启发式算法不少于 5 种，实现典型风控应用 5 种以上，提出不少于 5 种相比传统算法具有多项式级复杂度加速功能的算法，并实现理论证明。基于金融机构真实场景数据在硬件上部署验证不少于 3 种。

附件 2

原子级制造揭榜挂帅任务榜单

一、核心基础

(一) 原子层沉积工艺仿真平台

揭榜任务：原子层沉积是能源、化工和高端电子器件领域的关键核心工艺。当前新工艺摸索周期长成本高，材料生长质量难以控制。因此需发展高精度仿真技术，耦合各原子尺度与介观尺度仿真方法，模拟真实生长/刻蚀过程中前驱体分子与基底的反应过程，沉积/刻蚀过程及后退火过程。通过仿真研究不同前驱体、反应温度和压力等工艺参数对薄膜沉积质量的影响，优化工艺参数。利用仿真结果预测沉积薄膜的结构、电子性质和机械性能，为新工艺探索提供指导。

预期目标：到 2026 年，面向 Si/SiO₂ 等衬底的高介电常数氧化物的原子级沉积，如 Hf(Zr)O₂，Al₂O₃，开发 ALD 仿真平台，包含吸附、脱附模块，材料生长模块，薄膜质量评估模块等。平台能够实现 10nm 厚 10 万原子秒级时间材料生长模拟，模拟的关键工艺参数不少于 3 个。对 ALD 生长速度的计算准确度达到 90%以上，大深宽比（10:1）沉积的台阶覆盖度预测准确度达到 90%以上。

(二) 异质多晶材料的原子级平坦化工艺研究

揭榜任务：面向微电子元器件异质互连结构、多晶材料

等的原子级精度制造需求，建立能量限域调控作用下异质、多晶材料表面原子级抛光和亚表面损伤层控制技术，发展原子尺度制造过程的原位动态表征方法，形成宏观尺度互连异质表面原子层去除一致控制的抛光工艺、技术与装备，实现4英寸及以上尺寸的典型材料原子级抛光和亚表面近零损伤控制。

考核指标：到2026年，实现4英寸及以上尺寸的典型材料表面原子级精度及亚表面近零损伤制造与原位动态表征，针对典型异质、多晶材料的原子级抛光，实现表面粗糙度Ra小于2Å，亚表面损伤层≤20层原子，单次制造幅面10×10μm内面形精度优于10Å，原位动态观测与表征的空间分辨率优于1Å。

（三）面向原子级对准的原子层沉积工艺研究

揭榜任务：面向先进节点的对准结构制造套刻误差比重增大、可靠性下降问题，发展表面区域选择性钝化与活化改性的选区沉积技术，突破非生长区表面形核缺陷选择性去除技术，形成先进互连介电层表面电介质材料高可靠性、精简步骤选区沉积工艺与技术。

预期目标：到2026年，建立选择性原子层沉积形核模型，完成基于互连对准结构介质层表面选择性沉积工艺体系；在两类以上金属与介电材料体系内开发出选择性>99.9%，实现单层可控生长，生长区膜厚>6nm，非生长区检测无缺陷，并在12寸原子层沉积机台完成验证，推广产业化应用。

（四）强光光学元件原子级缺陷调控及修复技术

揭榜任务：面向极端服役强光光学元件原子级缺陷和损伤控制需求，突破原子级缺陷形性参量表征、复合能场选择性精准调控、缺陷环簇/点位高效可控修复及抗激光损伤性能评价等关键技术，研发原子级缺陷精确表征与可控修复原理样机，实现强光光学元件制造过程中的缺陷调控和修复，提升高精度光学元件在强激光极端服役条件下的抗损伤能力。

预期目标：到 2026 年，完成原子级缺陷高效可控修复原理验证平台的开发工作，具备原子级缺陷高置信度表征、局域选择性可控修复及抗激光损伤性能评估等能力，可有效修复原子级缺陷类型 ≥ 5 种，能够在口径大于 300mm 的尺寸范围内实现原子级缺陷损伤的修复，修复后元件激光诱导损伤阈值提升 50%以上，并在损伤测试平台上进行实验验证。

（五）原子级金属粉体宏量开发

揭榜任务：通过自主研发精密设备，将原料金属制备成比当前纳米粉体更细的原子级粉体，可实现粉体的熔点大幅下降和表面原子占比的大幅提高，这使得该粉体可以支撑更低温的工件焊接。

预期目标：到 2026 年，原子级金属粉体可在金属焊接、粉末冶金、3D 打印、医疗器械、一体成型等领域应用。每天提供公斤级粉体，粉体中 90%以上的颗粒，单颗粒包含原子数少于 1000，部分高档原子级粉体少于 200，验证多种焊接和加工场景温度的急剧下降（下降 20%以上），建立原子

级金属粉体的工艺评价指标体系和相关标准。

（六）粉体原子级包覆技术与装备

揭榜任务：面向粉体含能材料表面原子级致密钝化层的制造需求，开展粉体原子层包覆工艺研究，突破材料颗粒解团聚、前驱体定量输出和反应原位监测等关键技术，形成批量化粉体表面原子级制造工艺、技术与装备。

预期目标：到 2026 年，完成批量化粉体表面原子级制造装备研制，实现粉体表面厚度 $<1\text{nm}$ 薄膜沉积，粉体比表面积保持率大于 95%，批处理能力大于 $10\text{kg}/\text{批次}$ ，一致性大于 95%，推动原子级制造技术在核能、氢能等绿色能源的产业化应用。

二、重点产品

（一）多场辅助化学机械原子级抛光装备

揭榜任务：面向半导体衬底原子尺度抛得光、纳米尺度抛得平、微米尺度抛得快的高质高效加工需求，研究电、光、声、等离子体等多场辅助化学机械原子级去除工艺，突破多场辅助协同调控、超低压力分区加压、测量反馈智能控制等关键技术，开发多场辅助化学机械抛光装备，实现原子级精度抛光，满足半导体衬底应用需求。

预期目标：到 2026 年，研制模块化的多场辅助化学机械原子级抛光装备，可以集成电、光、声、等离子体等多场，抛光压力调控精度 0.1psi ，抛光压力分区数量 6 个，利用该设备对单晶硅衬底进行抛光，表面起伏小于 10 个原子层，

满足先进制程需求。

（二）高效团簇离子束原子级抛光装备的研发及在大径厚比金刚石光学窗口的加工应用

揭榜任务：面向高功率激光系统、中长波红外探测器等对原子级表面精度的金刚石窗口需求，突破气体原子团簇束流中和关键技术，建立原子级超光滑金刚石表面制造方法，研制超硬金刚石团簇离子束原子级抛光装备，实现大径厚比金刚石光学窗口的原子级制造，并应用验证。

预期目标：到 2026 年，高性能、低成本的束流中和器自主可控，具有较高的中和效率，对 Ar_{100} 团簇中和效率 $>50\%$ ，研制金刚石材料团簇离子束原子级抛光装备，建立金刚石光学窗口纳米级精度及原子级表面质量制造工艺，加工金刚石光学窗口直径 $\geq 75\text{mm}$ 、径厚比 ≥ 100 、表面面形精度 $\text{PV} \leq \lambda/4$ 、表面粗糙度 $\text{Ra} \leq 1\text{nm}$ ，设备支持 Ar/SF_6 等多种气体团簇离子束、束流强度 $\geq 100\ \mu\text{A}$ 、团簇束斑直径 $0.5\text{-}10\text{mm}$ 可调、团簇离子能量 $\geq 60\text{keV}$ ，能够支撑 3 英寸级金刚石光学窗口原子级可控制造。

（三）原子级精度 X 射线反射镜

揭榜任务：面向 X 射线掠入射反射镜对表面全频段误差的极端精度需求，突破 X 射线反射镜原子级精度加工关键技术；研发以等离子体加工和弹性发射加工为核心技术的原子级精度 X 射线反射镜加工工艺；研制等离子体与弹性发射加工装备，并开发误差高效收敛算法；推动自主加工的高精度

X 射线反射镜在同步辐射和自由电子激光装置的应用。

预期目标：到 2026 年，完成 400mm 尺寸 X 射线反射镜加工装备的研制，满足面型精度 RMS 优于 2nm，斜率误差优于 RMS 0.2 μ rad，表面粗糙度 RMS 优于 0.1nm。自主加工的 X 射线反射镜在同步辐射和自由电子激光装置上得到应用。

（四）原子级分散的金属制剂

揭榜任务：针对传统植保制剂的药害风险高、与其他农药混配难度高、以及金属残留严重和橡胶制备使用过量氧化锌的污染问题，采用原子级分散工艺，降低金属的用量，实现相关领域产品国产化。

预期目标：到 2026 年，分别实现三款以上原子级分散金属制剂/助剂用于植保制剂、橡胶制备等领域。制剂中金属的原子级分散率高于 95%；用于植保的杀菌铜制剂铜用量降低 80%以上，施用后铜残留降低 90%以上；完成实验室验证与大田实验，实验面积不低于 100 万亩；用于橡胶硫化助剂的金属锌用量降低 70%以上，生产成本降低 50%以上。

（五）原子台阶电镀高纯单晶铜板与靶材

揭榜任务：针对 6G 通信、新能源等领域对高性能磁控溅射铜薄膜的需求，开展大尺寸高纯单晶铜板/靶材制备的关键技术研究。重点开发原子台阶调控技术，实现高纯、高质量铜板材的单晶制造；发展先进电镀制造工艺，实现单晶铜板材的连续增厚；基于单晶铜板材开发单晶铜靶材，优化磁

控溅射薄膜的高质量沉积技术，制备高性能溅射铜薄膜；同时，建设高纯单晶铜板/靶材生产线，推动产业化示范应用。

预期目标：到 2026 年，实现原子台阶电镀高纯单晶铜板的尺寸达到 $\geq 25\text{cm} \times 30\text{cm}$ ，纯度达到 6N 级，厚度 $\geq 3\text{mm}$ ；基于单晶铜板制备的单晶铜靶直径达到 2-8 英寸；在相同条件下，溅射薄膜电阻率较多晶铜靶降低 15% 以上；建立大尺寸高纯单晶铜板生产示范线，年产 $25\text{cm} \times 30\text{cm}$ 高纯单晶铜板 ≥ 5000 块。

（六）基于石墨烯原子制造技术制备高导热低热阻石墨烯热界面材料

揭榜任务：面向高功率器件的热管理解决方案，基于原子制造技术，发展更高效的热界面材料。以结构原子级精准的石墨烯材料，构筑器件热源本体与散热构件本体之间的热通道，提高热量传递效率，解决器件受力形变等核心关键技术问题，在高功率器件上验证可靠性，并探索实现高效热电转换的可能。

预期目标：到 2026 年，实现高导热低热阻的石墨烯热界面材料规模生产，垂直导热系数大于 $300\text{W/m} \cdot \text{K}$ ，热阻小于 $0.05\text{K} \cdot \text{cm}^2/\text{W}$ ，压缩残余应力小于 30PSI（50%压缩量），回弹率大于 50%，系列产品在不少于 10000 个高功率器件上示范应用。

（七）高密度原子团簇传感阵列打印技术

揭榜任务：开展基于团簇墨水的柔性传感阵列打印制造

技术研究，突破高稳定原子团簇墨水可控制备及印刷电子“墨水”化过程中材料物化性能和界面性质调控，结合高精度、大面积打印制备工艺技术，突破高性能、高效率、高分辨率打印制造技术难题。针对人体或机械装备穿戴需求，制备基于原子团簇功能材料的柔性薄膜阵列传感器，实现应用验证。

预期目标：到 2026 年，开发出基于团簇墨水的柔性传感器打印技术，团簇墨水材料不少于 3 种，传感物理量不少于 3 种，传感器阵列密度 >100 个/ cm^2 ；其中压力传感范围优于 5kPa-50MPa，弯折柔性薄膜性能变化小于 $\pm 10\%$ @ >10 万次，柔性温度传感器响应范围 10°C - 80°C ，精度 $\leq 0.5^\circ\text{C}$ 。

三、公共支撑

（一）高分辨透射电子显微镜

揭榜任务：面向原子级加工中结构演变的动态表征和原子级制造产物性能及可靠性的综合评测需求，突破高相干性场发射电子源稳定发射、200-300kV 高压电子枪发和低纹波高压电源等技术难题；发展亮度更高、发射更稳定和相干性更优的场发射电子源；发展低像差系数高分辨率物镜；实现低电子剂量下原子级分辨能力；助力原子级制造评价体系的建立。

预期目标：到 2026 年，完成 120kV 场发射透射电镜的稳定量产，实现 200-300kV 场发射透射电镜系列的自主研制和商业化，仪器采用场发射电子枪；加速电压 30-200/300kV

连续可调；信息分辨率优于 $1.4\text{\AA}$ ，点分辨率优于 $3\text{\AA}$ 。

（二）基于面域扫频光学相干的超分辨高通量原子级形貌检测新方法 with 装备

揭榜任务：面向高端电子器件制造、三维微纳超材料结构等场景的检测需求，突破光学干涉检测分辨极限，创新跨尺度三维空间结构的时-空光学信号同步调制及解调方法，形成面域扫频光学相干的三维结构及形貌超分辨高通量检测新技术及装备，实现原子级精度形貌的高效测量与表征，并实现应用验证。

预期目标：到 2026 年，研制面域扫频光学相干的超分辨高通量原子级检测设备，检测精度优于 0.1nm ，表面三维形貌及内部结构的同步测量，实现 1000000points/s （每点同时包含表面及内部结构信息）的测量效率，能够支撑 12 英寸晶圆的原子级检测可控，并在高端电子器件制造、三维微纳超材料等领域进行应用验证。

（三）面向原子级制造的多探针操控平台

揭榜任务：针对原子级精密操控需求，研发一套高性能的多探针操控平台，具备四个独立的探针模块，能够实现对微小结构的高精度操作与测量，突破当前探针间距、噪声控制和温度调节等技术，推动原子制造技术的发展。

预期目标：到 2026 年，完成具备四套扫描探针模块的多探针操控平台。该平台的 Z 方向机械噪声控制在 $<5\text{pm}$ ，探针最小间距 $\leq 50\text{nm}$ ，变温区间为 $10\text{K}-420\text{K}$ 。通过引入先进

的控制算法与材料技术，包括多探针协调控制、原子结构构筑智能优化算法、原子跟踪技术等，实现高效的原子级精密操控，为材料科学、纳米技术等领域的研究提供强有力的支持，推动相关技术的产业化应用。

（四）分子束外延超薄薄膜厚度原位探测器

揭榜任务：面向埃米至纳米厚度超薄薄膜生长可控问题，突破超薄薄膜生长过程的原位光学测量、超薄至薄膜形态的光学模型构建、薄膜厚度与光学常数有效动态解析、长时低漂移高信噪比测量系统研制、高真空系统原位集成设计等关键技术。形成分子束外延工艺下超薄薄膜厚度原位探测方法与探测器样机研制，在分子束外延薄膜生长平台上进行实验验证。

预期目标：到 2026 年，完成分子束外延工艺下超薄薄膜厚度原位探测方法与探测器样机研制，可支持金属膜、氧化膜、有机膜等多类型超薄薄膜的原位探测能力，支撑分子束外延工艺超薄薄膜的可控生长。厚度测量范围：1nm-50nm，测量分辨力达到亚单原子层，每小时信号漂移 $< 5 \times 10^{-3}$ ，信噪比 $> 1000:1$ ，单次厚度最快测量时间 $< 10\text{ms}$ 。

四、示范应用

（一）高灵敏原子团簇无创唾液传感器

揭榜任务：为满足多样化医疗服务场景的迫切需求，实现近距邻接耦合团簇阵列精确制备，攻克复杂基质中对痕量物质高特异性识别的技术难题，开发基于金团簇等离激元即

时检测（POCT）唾液智能分析系统。

预期目标：到 2026 年，搭建 1 套唾液 POCT 能智能分析仪，其中金团簇原子数的误差控制在绝对值小于 100。系统具备同时检测唾液中的葡萄糖、尿酸和皮质醇三种关键生物标志物的能力，检测时间缩短至 10 分钟以内。

（二）面向高效稳定太阳能电池的钙钛矿薄膜原子级缺陷钝化技术

揭榜任务：针对面积大于 $30 \times 30\text{cm}^2$ 商用钙钛矿太阳能电池产品的迫切需求，发展原子级沉积新方法，生长大面积高品质钙钛矿薄膜，突破钙钛矿薄膜均匀化原子级缺陷钝化关键技术，研制电池电极和封装材料的原子层沉积集成技术，提升钙钛矿太阳能电池的寿命和可靠性，推动产业化应用。

预期目标：到 2026 年，产出面积 $>900\text{cm}^2$ 的钙钛矿薄膜，实现薄膜的原子级缺陷钝化且缺陷态密度 $<10^{14}\text{cm}^{-3}$ ，结合原子层沉积技术完成相应太阳能电池模组的批量化生产。在此面积下实现光电转换效率 $\geq 20\%$ 。连续光照 2000 小时后，效率衰减 $<5\%$ ；通过 IEC “双 85” 湿热测试认证。

附件 3

清洁氢揭榜挂帅任务榜单

一、核心基础

（一）低成本兆瓦级质子交换膜电解堆

揭榜任务：面向可再生能源制氢对低能耗、宽功率波动、高动态响应的应用需求，突破兆瓦级质子交换膜（PEM）电解水制氢电解堆的关键技术；研制出低能耗、轻量化、高可靠性的兆瓦级 PEM 电解堆；实现适应性宽功率波动 MW 级 PEM 电解水制氢系统集成与应用；掌握标准化、规模化、低成本的电解堆生产制造方法，推动 PEM 电解堆在制氢领域的应用。

预期目标：到 2026 年，量产兆瓦级 PEM 电解堆具备可再生能源波动工况下的长时间工作能力，单电解堆制氢能力大于 $400\text{Nm}^3/\text{h}$ ，直流电耗不高于 $4.4\text{kWh}/\text{Nm}^3$ ，成本低于 240 万元/MW。

（二）可量产阴离子交换膜电解堆

揭榜任务：面向可再生能源电解水制氢的规模化和低成本需求，研究大功率阴离子交换膜制氢电解堆的零部件与整堆结构设计及批量制造技术，研究电解堆运行控制策略，完成大功率阴离子交换膜制氢电解堆的开发与测试验证，提升电解堆产氢电流密度与功率波动适应性。

预期目标：到 2026 年，阴离子交换膜制氢电解堆产品技术水平达到国际领先水平。单堆额定功率 $\geq 200\text{kW}$ ，额定产氢电流密度 $\geq 10000\text{A/m}^2$ ，直流能耗 $\leq 4.5\text{kWh/Nm}^3$ ，功率运行范围 10~120%，寿命达到 5000h 以上。

（三）低温低压、宽氢氮比合成氨催化剂

揭榜任务：面向低能耗、高柔性绿氢合成绿氨装置的产业需求，针对氨合成催化剂高温高压高能耗和氢氮比适应范围窄，难适应风、光等可再生能源电力电解制氢工况波动等问题，研发新型高效非铁基、低温、低压及宽氢氮比的合成氨催化剂及其规模化制备技术，支撑我国低温低压柔性绿色高效合成氨技术的产业化发展。

预期目标：到 2026 年，新型高效非铁基合成氨催化剂经 500°C 耐热 20 个小时后，在压力 $\leq 6.5\text{MPa}$ 、温度 $\leq 390^\circ\text{C}$ 、氢氮比 ≤ 2.0 和空速 $\geq 10000\text{h}^{-1}$ 条件下，反应出口氨浓度 $\geq 17.0\%$ ；催化剂适应在氢氮比为 1.0~3.5 之间调控使用；催化剂制造能力 ≥ 100 立方/年。

（四）氢冶金高温氢气安全控制系统

揭榜任务：面向氢气大流量输送、高温加热、高压喷吹等过程中可能出现的氢气泄漏、燃爆等安全问题，突破氢气在线检测与报警、气体温度及压力的实时检测与报警、设备外氢气红外图像识别与监测、氢气安全预警及自动响应等关键技术，建立氢冶金安全管理体系系统，并在工业化氢冶金产线上进行应用与验证。

预期目标：到 2026 年，形成具有自主知识产权的氢冶金安全管理体系系统，气体浓度检测误差小于 $\pm 0.5\%$ ，温度及流量误差小于 $\pm 2\%$ ，系统检测与实时响应速度 $< 0.1s$ ，系统连续稳定运行时间不小于 3 个月。

（五）纯氢冶金高效还原技术

揭榜任务：面向纯氢还原铁矿过程中氢气高温加热和竖炉气固高效还原需求，开发氢气高温电加热、竖炉高温氢气多维喷吹、纯氢高效还原铁、高温氢直接还原铁冷却、过程动态控制等核心工艺技术，形成纯氢冶金氢气加热和高效还原工艺技术及应用装备。

预期目标：到 2026 年，形成具有自主知识产权的纯氢冶金技术中试平台，实现氢气一次加热温度大于 950°C ，氢直接还原铁金属化率 $\geq 93\%$ ，竖炉氢直接还原铁冷却后温度 $< 110^{\circ}\text{C}$ ，球团粉化率 $< 8\%$ ，氢气最大消耗量可达 $80000\text{Nm}^3/\text{天}$ ，实现连续稳定运行 2000h 以上。

（六）新型高效二氧化碳加氢制甲醇催化剂

揭榜任务：面向二氧化碳加氢制甲醇产业需求，针对目前催化剂选择性差、催化剂易失活等突出问题，研发出新型高活性、高选择性、高稳定性二氧化碳加氢制甲醇催化剂；根据可再生能源制氢工况波动等新需求，研发出可适应工艺条件变化的二氧化碳加氢制甲醇催化剂，提升二氧化碳加氢制甲醇效率与风光制氢波动适应性。

预期目标：到 2026 年，新型高效二氧化碳加氢制甲醇

催化剂在 $\text{H}_2/\text{CO}_2=3$ 、压力 5MPa、空速 8000h^{-1} 、温度 $\leq 250^\circ\text{C}$ 条件下，二氧化碳单程转化率 $\geq 28\%$ 、甲醇选择性 $\geq 78\%$ 、催化剂连续工作 1000 小时、甲醇时空产率衰减率 $\leq 15\%$ ；催化剂可在 30%~120% 负荷范围内调控使用。

（七）二氧化碳加氢制甲醇高效反应器

揭榜任务：面向二氧化碳加氢制甲醇产业需求，针对目前二氧化碳加氢制甲醇反应器的催化剂床层局部过热、传热不均、传质效率低等问题，研制催化剂床层结构合理、内部换热均匀、流体分布均匀的二氧化碳加氢制甲醇高效反应器，支撑绿色甲醇产业化发展。

预期目标：到 2026 年，完成高效二氧化碳加氢制甲醇反应器研发，实现床层温升在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 以内，床层压降不超过 50kPa，传质效率提升至少 30%，催化剂寿命延长 30% 以上，适用于 30%~120% 负荷波动范围。

（八）可跨温区工作的燃料电池全氟磺酸树脂

揭榜任务：面向氢能转化向高能效、大功率的发展需求，突破跨温区全氟共聚功能单体批量合成及纯化技术、结构设计及可控合成技术、复杂多相共聚合体系的工程放大技术。实现氢能转化装置跨温区、低能耗工作，提升我国氢能产业发展技术水平。

预期目标：到 2026 年，开发跨温区全氟共聚功能单体合成及纯化装置，完成聚合级功能单体规模化制备，实现结构可控跨温区全氟磺酸树脂批量制备。跨温区全氟磺酸树脂

及质子交换膜工作温度 $\geq 120^{\circ}\text{C}$ ，电导率 $\geq 0.15\text{S/cm}$ ，使用寿命 ≥ 20000 小时。

（九）氢燃料电池用炭纸与气体扩散层

揭榜任务：面向高性能、低成本的质子交换膜燃料电池电堆应用需求，开发高性能、高一致性炭纸和气体扩散层（GDL）。重点突破：高一致性炭纸制备技术，特别是超薄炭纸的工程化制造方法；高导电、高传质的气体扩散层，提高气体扩散层在大电流密度下的输出性能。

预期目标：到 2026 年，实现自主研发的炭纸和气体扩散层在两轮车及商用车电堆上的批量应用，并满足氢空燃料电池高温发电、氢氧燃料电池发电的多场合应用需求。GDL 厚度在 $140\sim 230\mu\text{m}(@25\text{kPa})$ 、GDL 厚度一致性偏差 $\leq \pm 5\%$ ，GDL 法向电阻 $\leq 6.0\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2(@1.0\text{MPa})$ ；炭纸法向电阻 $\leq 5\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2(@1\text{MPa})$ ，孔隙率 $\geq 80\%$ ，拉伸强度 $\geq 16\text{MPa}$ 。

二、重点产品

（一）大功率碱水电解制氢成套装备

揭榜任务：面向风光消纳对大功率碱水电解制氢成套系统的迫切需求，研究高性能电极与隔膜、流场与进液/排气通道优化设计、高效密封与可靠组装、高精度热/质均衡控制技术；开发适应波动工况下大功率电解槽、高效气液分离、自适应碱液循环等集成控制技术，实现大型碱性电解水制氢系统的产品研发与产业化应用。

预期目标：到 2026 年，完成单台套 15MW 碱性电解水

制氢成套装备研制与工程应用，实现：单电解槽实测产氢量 $\geq 3000\text{Nm}^3 \text{H}_2/\text{h}$ ，额定电流密度下电解槽直流能耗 $\leq 4.25\text{kWh}/\text{Nm}^3 \text{H}_2$ 、电解系统交流能耗 $\leq 4.45\text{kWh}/\text{Nm}^3 \text{H}_2$ （基于实测产氢量），稳定运行功率范围 35%~120%（稳定运行时间 $\geq 2\text{h}$ ）。

（二）纤维缠绕金属内胆高压气氢储氢容器

揭榜任务：面向固定式储氢容器大容量、低成本、高安全需求，突破基于强度、寿命及材料成本等多优化目标的储氢容器结构优化设计、高压氢气环境下金属内胆材料及非金属密封材料氢致损伤测试及评价、大壁厚金属无缝内胆可靠性旋压成型和调质处理、临氢侧金属内表面处理、纤维缠绕精确控制及固化工艺优化、大容量储氢容器性能测试及调控等关键技术，研发纤维缠绕金属内胆储氢高压容器，并在加氢站等固定式储氢场景中应用。

预期目标：到 2026 年，建立大容量纤维缠绕金属内胆储氢高压容器可靠性设计制造方法并研制出产品不少于 2 台，支撑 70MPa 加氢站等固定式场景的大容量、低成本、高安全储氢及运营需求。储氢容器设计压力达到 99MPa，单只容器水容积达到 1000L，单只容器储氢量达到 45kg。

（三）大容积高压气态储氢球罐

揭榜任务：面向大容积高压气态储氢装备缺失，不能满足产业链需求的问题，研究高压大容积储氢球罐失效模式与损伤机理；提出材料选择原则，研究基于本质安全的高压储

氢球罐优化设计关键技术；研究大厚度球壳板材料成型工艺及材料焊接工艺，研制高压气态储氢球罐并完成性能测试，在制氢站等固定式储氢场景中应用。

预期目标：到 2026 年，完成高压气态储氢容器结构设计、开发满足氢相容性、氢脆敏感度、以及强度要求的材料，形成高压气态储氢球罐压制成型工艺，开发高压储氢球罐临氢材料焊接工艺，完成高压气态储氢球罐研制，其中储氢球罐设计压力 $\geq 12\text{MPa}$ ，设备容积 $\geq 300\text{m}^3$ ，储氢密度不小于 9.22kg/m^3 。

（四）L360 钢级高压高比例掺氢输送管

揭榜任务：面向我国氢气大规模高效安全输送用高压、高比例掺氢输送管道工程需求，突破高压输氢管材成分设计、钢管低应力成型及焊缝高洁净化、低偏析和低扩散氢含量控制等关键技术；研制基于高氢分压环境下高断裂韧性设计的高韧性、低硬度、低强度波动的新型输氢管材；研究建立含缺陷管材的失效评估方法和管道完整性技术规范，提升长距离高压掺氢管道输送效率和服役安全性，推动我国氢能产业快速发展。

预期目标：到 2026 年，完成高可靠性 L360 钢级高压高比例掺氢输送管的设计与制造；在高氢分压下管材的相对断面收缩率 $(Z_{\text{H}_2}/Z_{\text{Ref}}) \geq 0.80$ 、断裂韧性 $K_{\text{IH}} \geq 70\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，具备高压 6.3MPa 、高掺氢比例 20%、年输量 1 万吨及以上氢气的输送能力；实现 5000 吨以上 L360 钢级、D406mm 及以上

管径掺氢输送管的工业化生产。

（五）汽车用低成本大容量IV型储氢气瓶

揭榜任务：面向商用车长续航、低成本、轻量化的迫切需求，研究大容积IV型储氢气瓶一体化内胆成型技术，研究储气瓶形/性协控缠绕与固化制造技术，提升大容积气瓶产品批量制造一致性，并在商用车上进行示范验证。

预期目标：到 2026 年，完成大容积车用IV型储氢气瓶研制，并取得型式试验证书；储氢气瓶水容积 $\geq 300\text{L}$ ，储氢密度 $\geq 6.5\text{wt}\%$ （含瓶阀），规模化制造成本 ≤ 2200 元/kg H_2 （含瓶阀），示范车辆不少于 10 辆。

（六）两轮车用固态储氢材料储氢瓶

揭榜任务：面向氢燃料电池两轮车领域对安全性和便捷性的应用需求，突破便携型固态储氢罐高效换热结构优化、自动化成型装备与技术开发；建立储氢罐跌落、振动等安全评价平台，形成完备的安全标准与技术规范；开发储氢罐氢量监测技术，及两轮车用运行监控平台，实现两轮车加氢与运维的智能化，推进氢燃料电池两轮车的批量应用。

预期目标：到 2026 年，完成安全、低成本的便携型固态储氢罐自动化产线和氢燃料电池两轮车安全运维智能平台建设，便携型储氢罐寿命超 5000 次，且储氢罐的气密性要求氢气泄漏速率 $<0.02\text{L/h}$ ，固态储氢材料储氢瓶具有足够的抗跌落、热循环、氢气循环、气密性、安装强度要求，具备紧急情况下立即自动关断氢气供应的能力。实现十万辆级

氢燃料电池两轮车的应用规模，累计行驶里程超 10 万公里；其中，续航 100km 的氢两轮车用储氢与燃料电池系统成本低于 5000 元/套。

（七）两轮车用氢燃料电池系统

揭榜任务：面向两轮车用微型氢动力的高安全、低成本需求，研发集成储氢的燃料电池微型氢燃料电池系统。重点突破：包括催化剂、质子交换膜及炭纸的空冷电堆技术，包括固态储氢材料的可更换储氢瓶、可满足充氢与放氢过程的热力需求，构建氢燃料电池两轮车智能化运维管理系统，实现在电动自行车等两轮车上的批量应用。

预期目标：到 2026 年，实现 1.5 万台燃料电池共享自行车的投放。单个氢燃料电池系统的额定功率 $\geq 180\text{W}$ ，其中，电堆的额定功率 $\geq 200\text{W}$ ，储氢瓶的可用储氢量 $\geq 50\text{g}$ ；使用自主研发的质子交换膜、催化剂、炭纸、极板、固态储氢材料等。燃料电池系统的寿命 $\geq 3000\text{h}$ ，燃料电池系统绝缘电阻 $> 1\text{M}\Omega$ 、泄漏检测点允许最大氢气浓度 $< 50\text{ppm}$ 。研制出专用储氢瓶氢气充装装置，每批次可充装储氢瓶数 ≥ 24 ，泄漏点允许最大氢气浓度 $< 300\text{ppm}$ ；开发出氢燃料电池共享自行车的运维软件和监控平台。

三、示范应用

（一）耦合工业余热的固体氧化物电解制氢系统

揭榜任务：面向波动性可再生能源大规模制氢及工业余热利用需求，研究耦合工业余热的固体氧化物高效电解制氢

技术，突破大功率开放式固体氧化物电解堆一致可靠设计、组装与高温原位故障诊断技术，开发模组“气-热-电-力”协同控制与集成技术，研究波动工况下系统响应特性和宽功率调节方法，掌握系统热电管理与平衡技术，研究系统安全控制策略，实现大功率耦合工业余热的固体氧化物高效电解制氢系统的产品研发与示范应用。

预期目标：到 2026 年，完成固体氧化物高效电解制氢电堆、模组及大功率耦合工业余热系统的产品研发与示范应用。电堆功率 $\geq 3.5\text{kW}$ ，预期寿命 1 万小时；单模组功率 $\geq 50\text{kW}$ ，运行时间 ≥ 5000 小时；系统功率 $\geq 200\text{kW}$ 。

（二）液氢“制-储-运”产业链示范应用

揭榜任务：面向氢气高密度、大容量存储需求，开展民用液氢工厂、液氢储罐、液氢汽车罐车研制与示范应用，支持液氢加氢站的运行，建立液氢“制-储-运”等产业链环节技术经济性模型、获得评价指标体系。

预期目标：到 2026 年，民用液氢工厂液化能力 ≥ 5.5 吨/天，氢气液化能耗 $\leq 12.5\text{kWh/kg}$ ；液氢储罐容积 $\geq 400\text{m}^3$ ，民用液氢汽车罐车容积 $\geq 40\text{m}^3$ ，维持时间 ≥ 12 天；加氢站内液氢储量 $\geq 1000\text{kg}$ 。各环节示范运行总括时长 ≥ 3000 小时，建立技术经济性评价导则。

（三）车用燃料电池电堆制造工艺及装备

揭榜任务：面向车用大功率燃料电池高质量、高一致性、低成本制造的迫切需求，突破燃料电池电堆高效批量化制造

的“卡脖子”关键核心技术，聚焦燃料电池膜电极、双极板、电堆批量化工艺与连续化装备的研究；围绕量产核心工艺，研制燃料电池电堆连续化生产装备；集成燃料电池电堆批量化制造成套装备产线，形成燃料电池电堆批量化生产全链工艺规范。

预期目标：到 2026 年，研发新一代燃料电池批量化工艺和连续化装备设计方法，开发自主知识产权的批量化成套量产装备线，形成燃料电池批量工艺与装备能力，使得膜电极、双极板产能不低于 20 万平/年，电堆产能不低于 2 万台/年，制造精度、可靠性及寿命达到行业领先水准。

（四）费托合成工艺制绿色航煤用高选择性油品加工催化剂

揭榜任务：面向可持续航空燃料产业需求，针对传统油品加工催化剂对航煤组分选择性低的问题，研究费托合成路线制绿色航煤所需的高活性、高选择性油品加工催化剂，开发最大化生产航煤组分的反应工艺，推动清洁氢制绿色航煤技术路线多元化发展。

预期目标：到 2026 年，实现加氢异构和加氢裂化工业催化剂技术验证，具备百公斤级催化剂工业制备能力，完成万吨级工艺包开发。以 150~300℃馏分范围的费托合成油为原料，加氢异构反应实现航煤收率 $\geq 85\%$ ；以大于 300℃馏分的费托合成油为原料，加氢裂化反应实现航煤收率 $\geq 65\%$ ，催化剂在千吨级试验装置上稳定运行 1000 小时以上。

(五) 氢能耦合低品位燃料煅烧水泥技术及成套装备

揭榜任务：面向水泥工业利用清洁氢减污降碳的迫切需求，研究氢能与替代燃料、劣质燃料等低品位燃料的耦合促进机制，研究水泥制造“碳-氢-能”燃烧调控技术，开发适应热值 $\leq 3500\text{kcal}$ 低品位燃料大比例使用的分解炉、预燃炉、燃烧器、智能安全控制等技术装备，实现水泥工业氢能耦合替代燃料/劣质燃料的高效利用和减污降碳。

预期目标：到 2026 年，完成氢能耦合低品位燃料煅烧水泥技术及成套装备研发，水泥烧成系统氢能耦合劣质燃料比例 $\geq 30\%$ ，低品位燃料在窑炉系统内基本燃烧，实现分解炉出口 $\text{CO} \leq 0.2\%$ ，系统热效率提升 1% 以上，智能控制关键温度参数波动 $\leq 5\%$ 。

(六) 大功率 SOEC/SOFC 氢储能发电系统成套装备

揭榜任务：面向工业绿色微电网建设应用需求，研究储氢、大功率制氢/发电系统的“氢-电”高效耦合调控技术，开发固体氧化物电解水制氢/固体氧化物燃料电池（SOEC/SOFC）可逆系统和储氢系统的模块化设计和一体化集成方案，研究宽温度范围内具有高电导率的电解质材料、良好电解质界面相容性的空气电极材料、良好导电性的金属陶瓷燃料电极，实现大功率氢储能发电系统在分布式可再生能源和备用电源领域的示范应用。

预期目标：到 2026 年，完成峰值功率达 60kW 的氢储能发电系统开发，额定工况下系统循环能量效率达到 40%，

最高工作效率达到 50%；额定工况下，每日一充一放工况下，系统循环寿命达到 500 次。

信息公开属性：主动公开

