

附件 8

“氢能技术”重点专项 2022 年度 项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“氢能技术”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2022 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：以推动能源革命、建设能源强国等重大需求为牵引，系统布局氢能绿色制取、安全致密储输和高效利用技术，贯通基础前瞻、共性关键、工程应用和评估规范环节，到 2025 年实现我国氢能技术研发水平进入国际先进行列。

2022 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕氢能绿色制取与规模转存体系、氢能安全存储与快速输配体系、氢能便捷改质与高效动力系统及“氢进万家”综合示范 4 个技术方向，拟启动 24 项指南任务，安排国拨经费 4 亿元。其中，拟部署 7 个青年科学家项目，拟安排国拨经费 2100 万元，每个项目不超过 300 万元。原则上，基础研究类（含青年科学家项目）不要求配套经费，共性关键技术类项目自筹经费与国拨经费比例不低于 2:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究任务申报。除特殊说明外，每个任务拟支持项目数为 1~2 项，实施周期不超过 4 年。

除特殊说明外，申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题不超过4个，项目参与单位总数不超过6家；共性关键技术类项目下设课题数不超过5个，项目参与单位总数不超过10家。项目设1名项目负责人，每个课题设1名课题负责人。

青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过3家。项目设1名项目负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为1984年1月1日以后出生，女性应为1982年1月1日以后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

指南中“拟支持数为1~2项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这2个项目。2个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对2个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

1. 氢能绿色制取与规模转存体系

1.1 兆瓦级电解水制氢质子交换膜电解堆技术（共性关键技术类）

研究内容：针对风电/谷电等对高弹性、大功率电解制氢系统的需求，开展宽功率适应性的高产气量电解水制氢质子交换膜（PEM）电解堆及支持系统技术研究。其中包括：低贵金属、高稳定性膜电极制备技术研究，高均一性双极板设计及制备技术研究，高导电、高耐蚀、低流阻多孔扩散层设计与制备技术研究，

大面积单池内部机械应力均衡与封装技术研究，开展单池间结构与过程偏差敏感度分析与实验验证，设计并试制兆瓦级 PEM 电解堆，开展衰减、失效成因研究与可靠性、耐久性验证。

考核指标：兆瓦级 PEM 电解堆，额定输入功率 ≥ 1 兆瓦，产氢速率 ≥ 220 标准立方米氢气/小时，直流电耗 ≤ 48 千瓦时/千克氢气，输入功率可在 5%~150% 波动，在 60°C 且 1 安培/平方厘米的电流密度工作条件下满足单池电压 $\leq 1.85V$ 且各单池之间电压偏差 ≤ 50 毫伏，在额定输入电流处连续运行 3000 小时后满足单池电压衰变率 ≤ 30 微伏/小时、堆内单池电压极差 ≤ 60 毫伏。其中，电解堆使用的膜电极活性面积 ≥ 0.3 平方米，贵金属总用量 ≤ 1.0 毫克/平方厘米。

有关说明：由企业牵头申报。

1.2 电解水制高压氢电解堆及系统关键技术(共性关键技术类)

研究内容：针对电解水制氢注入管道输送的增压效率提升需求，突破电解水制高压氢直接注入输氢管道的质子交换膜（PEM）电解堆及系统装备关键技术。具体包括：研究高压力操作对电解堆性能及安全性的影响规律；研究耐高压、低氢氧渗透及高电导率膜结构设计及制备工艺；研究高导电、高耐蚀双极板材料与结构设计技术；研究高耐压密封结构与材料，研制高压操作 PEM 电解堆；研究高压水气分离与回水安全控制技术，研制全自动电解水制高压氢系统装备。

考核指标：高气压 PEM 电解堆额定输入功率 ≥ 10 千瓦，产

气压力 ≥ 15 兆帕，压差耐受 ≥ 3 兆帕，排出氧气中氢含量 $\leq 1.5\%$ ，单池电压 2.0 伏下电解堆的电流密度 ≥ 1.0 安培/平方厘米，输入功率允许波动范围 20%~100%；全自动电解水制高压氢系统装备，压力控制精度优于 1%，压差控制精度优于 2.5%，氢气纯度不小于 99.99%，氧含量不大于 80ppm，全系统完成 1000 小时的运行试验验证。其中，电解堆和系统使用的 PEM 膜电极中铱载量 ≤ 1 毫克/平方厘米，铂载量 ≤ 0.2 毫克/平方厘米，极板贵金属总量 ≤ 0.3 毫克/平方厘米。

1.3 固体氧化物电解水蒸汽制氢系统与电解堆技术（共性关键技术类）

研究内容：针对固体氧化物电解水蒸汽制氢（SOEC）技术实用化问题，研究大功率固体氧化物电解制氢电解堆与系统集成技术。具体包括：大面积、高强度的超薄电解质设计与制备技术；高活性、长寿命电极设计与制备技术；电解池电连接、串接密封及其成堆技术；电解堆模组流场和热控设计与集成技术；水热等运行条件对电解堆性能影响规律、优化运行策略及 SOEC 系统集成技术。

考核指标：固体氧化物电解水蒸汽制氢系统，功率 ≥ 50 千瓦，电解电流密度在电解电压为 1.3 伏且温度不高于 800°C 的条件下 ≥ 0.8 安培/平方厘米，水蒸气转化率 $\geq 70\%$ ，电解效率 $\geq 90\%$ ，直流能耗 ≤ 3.5 千瓦时/标准立方米氢气，连续运行时间 ≥ 2000 小时，衰减率 $\leq 3\%/\text{千小时}$ ，10 次冷热循环衰减 $\leq 2\%$ ，预期寿命优于

20000 小时，其中，单热区电解堆模组功率 ≥ 20 千瓦，单电解堆功率 ≥ 3.5 千瓦，电极有效面积 ≥ 100 平方厘米，电解质面比电阻 (ASR) ≤ 0.20 欧姆·平方厘米。基于超薄电解质的电解单池在不高于 800°C 、电解电压为 1.3 伏条件下，电解电流密度 ≥ 2 安培/平方厘米。

1.4 质子交换膜电解水制氢测试诊断技术与设备研发（共性关键技术类）

研究内容：针对大规模质子交换膜（PEM）电解制氢技术发展和应用中面临的测试、诊断关键设备缺失等问题，开展大功率的 PEM 电解水制氢电解堆测试诊断技术研究与设备开发。其中包括：研究适用于 PEM 电解水制氢系统优化运行的多参量传感与高精度量测技术；气体泄漏快速检测、精准定位与安全防护技术；适应多测试工况的电解电源与调控技术；研究 PEM 电解堆状态信息提取与诊断评估技术；研制 PEM 电解单电池、电解堆和系统的性能及寿命综合测试平台。

考核指标：PEM 电解单电池、电解堆和系统的性能及寿命综合测试平台的测试功率 ≥ 1 兆瓦，最大测试电流 ≥ 6000 安培，测试范围宽于 $10\% \sim 100\%$ ，具备在线交流阻抗谱测试能力且阻抗测量精度优于 1% ，具备阴阳极独立背压调节功能且氢氧压力差控制精度优于 0.05 兆帕、背压压力 ≥ 5 兆帕，控温范围在 $25^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ ，控温精度优于 1°C ，在全测试范围内流量、电压、电流等参量测量精度优于 0.2% 且控制精度优于 1% ，氢泄漏定位精度优于 1 厘

米，氧中氢含量测量精度优于 0.1%，响应时间 ≤ 100 毫秒；提出质子交换膜电解电堆寿命评估方法，评估误差 $\leq 10\%$ 。

有关说明：由企业牵头申报。

1.5 分布式氨分解制氢技术与灌装母站集成（共性关键技术类）

研究内容：针对加氢站或加氢母站氨分解制氢面临的反应温度高、分离难等问题，开展分布式氨分解制氢关键技术研究与示范验证。其中包括：高效氨分解催化剂材料的筛选、构造与规模化制备技术研究；高性能氨吸附剂材料开发及氨脱除工艺研究；高性能氢气纯化膜材料开发及规模化制备技术研究；现场液氨存储、分解制氢、纯化增压、灌装长管拖车、加注燃料电池汽车等一体化系统设计与集成管控技术。

考核指标：加氢母站用氨分解制氢装备的产氢速率 ≥ 400 标准立方米/小时，反应温度 $\leq 480^{\circ}\text{C}$ ，氨转化率 $\geq 99.5\%$ ，获得的氢气纯度 $\geq 99.99\%$ 、氨浓度 \leq 千万分之一、其他杂质含量要求执行 GB/T37244-2018 标准；氢气制备成本 ≤ 7 元/公斤（到站氨成本不计入），装置设计寿命 ≥ 10 年，启动时间 ≤ 2 小时；分解后氮气尾排中氨气的浓度控制范围 $\leq 10\text{ppm}$ ；装备稳定运行时间不少于 3000 小时。

1.6 高温质子导体电解制氢技术（基础研究类）

研究内容：针对高温质子导体电解制氢技术的实用化需求，开展高温质子导体固体氧化物电解制氢材料、机理等基础研究，其中包括：高电化学活性和稳定性的空气极材料与制备技术；高质子电

导率固体氧化物电解质的制备和电解质薄膜烧结工艺；大面积电解池的制备与界面精确调控技术；电解堆连接、密封与成堆关键技术；电解池界面元素迁移、微观结构演变规律与性能衰减机制。

考核指标：研制出千瓦级高温质子导体型电解堆，运行温度 $\leqslant 650^{\circ}\text{C}$ ，产氢率 $\geqslant 0.4$ 标准立方米/小时、能耗 $\leqslant 3.5$ 千瓦时/标准立方米，运行电流密度 $\geqslant 0.5$ 安培/平方厘米，连续运行时间不少于1000小时，每1000小时的平均衰退率 $\leqslant 3\%$ ，室温至工作温度的热循环 $\geqslant 3$ 次。其中，单体电解池有效面积 $\geqslant 80$ 平方厘米，1.3V稳态制氢 $\geqslant 3000$ 小时（实测），每1000小时的平均衰退率 $\leqslant 2\%$ ；阳极对称电池测试（水蒸汽含量 $\geqslant 20\%$ ）500小时后在 650°C 下面比电阻（ASR） $\leqslant 0.1$ 欧姆·平方厘米，10次循环平均衰减率 $\leqslant 1\%/\text{次}$ ；质子导体电解质在 650°C 下的质子导电率 $\geqslant 0.01$ 西门子/厘米。

1.7 新型中低温固体电解质氨电化学合成与转化技术（基础研究类）

研究内容：针对固体电解质氨电化学合成与转化效率低的问题，开展兼具氨合成与转化功能的新型中低温电解质材料与电化学器件前沿研究。其中包括：中低温条件下具有高质子电导率的新型电解质材料及其制备技术；中低温条件下高效稳定的氨转化与合成催化剂；氨/氢电化学反应竞争机理与氨反应选择性强化方法；电解质和催化剂的匹配技术及界面调控方法；研发基于中低温电解质的高效氨电化学转化器件。

考核指标：电化学合成氨的验证性电堆功率 $\geqslant 500$ 瓦，稳定

运行时间 ≥ 1000 小时，运行温度 $\leq 400^{\circ}\text{C}$ ，每平方米电池的电化学合成氨产率 ≥ 0.1 摩尔/小时，法拉第效率 $\geq 80\%$ ；固体电解质直接氨燃料电堆功率 ≥ 500 瓦，稳定运行时间 ≥ 1000 小时，运行温度 $\leq 400^{\circ}\text{C}$ ，使用的单池峰值功率密度 ≥ 0.1 瓦/平方厘米，氨转化效率 $\geq 95\%$ ；电解质相对质量密度 $\geq 90\%$ 。

1.8 耦合高附加值氧化产物的电解水制氢技术(基础研究类，青年科学家项目)

研究内容：针对提升可再生能源电解水制氢系统运行经济性的重大需求，开展电解水制氢耦合阳极选择性氧化制取大宗（市场需求千万吨以上）、高附加值含氧化学品（如环氧乙烷、乙酸等）技术研究。其中包括：探索阳极氧化过程中有机分子高选择性转化机理，结合理论分析、开发出高性能催化材料；改进电极结构，强化多相反应界面传质，减少极化；以低值有机资源为原料，通过电化学选择性氧化制备易分离的高附加值化学品；开发阴极产氢耦合阳极选择性氧化电解装置，完成大电流类工业反应环境中的稳定性和能耗验证。

考核指标：开发出不小于1千瓦的电解制氢耦合高附加值氧化产物的原型器件，贵金属催化剂用量 ≤ 1 毫克/平方厘米、质量比活性 ≥ 1 安培/毫克，制氢电耗 ≤ 3.5 千瓦时/标准立方米氢气；在电流密度 ≥ 100 毫安/平方厘米的条件下阳极选择性氧化法拉第效率 $\geq 90\%$ 、阴极制氢法拉第效率 $\geq 99\%$ 且氢气纯度 $\geq 99.9\%$ ，稳定连续运行时间超过1000小时。

2. 氢能安全存储与快速输配体系

2.1 液氢加氢站关键装备研制与安全性研究(共性关键技术类)

研究内容：基于商用液氢增压气化加氢站的大容量、高效及安全加注需求，突破关键装备、核心零部件的制备技术，解决液氢站运行的氢安全问题。具体内容包括：研制液氢高压泵；建立液氢加注过程热力学和动力学模型，研究液氢气化过程高效传热特性，研制高压液氢气化器；开展液氢增压气化加注的液氢加氢站试验验证，形成液氢加氢站安全预警和完整性技术。

考核指标：研制液氢高压泵、液氢增压气化器等关键装备。其中，高压泵在 80 兆帕条件下，流量 ≥ 60 千克/小时；高压液氢气化器设计压力 ≥ 100 兆帕，满足安全预警的国家/行业规范要求，常温下爆破试验压力不低于 2 倍设计压力，且理论预测误差 $\leq 15\%$ ；气化器调温组件出口温度 \geq 零下 40℃；开发高压液氢气化器设计仿真软件，传热量预测偏差 $\leq 15\%$ 。研发液氢增压气化加氢站，并对所研制的液氢高压泵和气化器进行实验验证。其中，加氢站设计总加氢量 ≥ 2000 千克/日，全站整体峰值耗电功率 ≤ 150 千瓦；加氢机额定加注压力 ≥ 70 兆帕，最大加注速度 ≥ 7.2 千克/分钟，使用温度满足零下 40℃~零上 85℃；形成液氢加氢站安全预警、完整性管理行业/国家规范或标准（草案）1~2 项。

2.2 液氢转注、输运和长期高密度存储技术(共性关键技术类)

研究内容：针对大规模液氢转运和长期存储过程中的经济性和安全性需求，开展液氢高效转注、输运过程绝热与安全性评价

研究，具体内容包括：液氢储罐充装和灌注过程中热管理与安全技术；大流量低闪蒸液氢输送泵；液氢转注管道低温绝热技术；液氢槽罐低温绝热技术，研制低蒸发率的运输用液氢槽罐和固定式液氢加注站用液氢储罐；研制液氢转注成套设备，开展液氢储罐充装和灌注试验验证，形成操作规程。

考核指标：液氢泵，流量 ≥ 20 立方米/小时，扬程 ≥ 100 米，效率 $\geq 70\%$ ；液氢转注低温管道，使用压力 0.6 兆帕，长度 ≥ 20 米，液氢温区漏热率 ≤ 2 瓦/米（管路内径 ≥ 80 毫米），使用寿命 ≥ 5 年；液氢转注过程的热力学仿真软件，蒸发率预测偏差 $\leq 15\%$ ；储氢罐低温绝热材料选型及绝热性能设计仿真软件，漏热量预测偏差 $\leq 15\%$ ；液氢运输槽罐，容积 ≥ 50 立方米，液氢静态日蒸发率 $\leq 0.7\%$ ，维持时间 ≥ 20 天，真空寿命 ≥ 5 年；站用液氢储罐，容积 ≥ 30 立方米，液氢静态日蒸发率 $\leq 0.5\%$ ；完成液氢储罐充装和灌注试验验证，形成相关行业/国家规范或标准（草案）2 项。

2.3 高可靠性高压储氢压力容器的设计制造技术（共性关键技术类）

研究内容：针对制氢工厂、加氢母站的高安全、高密度、低成本氢气储存重大需求，开展大容量高压储氢压力容器可靠性设计制造技术研究。具体内容包括：超高强度、高韧性压力容器用钢的氢相容性试验与评价、材料成分组织及性能调控技术；钢质储氢压力容器基于风险与寿命的设计技术、低泄漏率高压密封技术；大壁厚钢质储氢压力容器高可靠性建造技术；大容积大壁厚

储氢压力容器缺陷无损检测与安全评估技术。

考核指标：研制出 25 兆帕以上钢质储氢压力容器，单罐储氢容量 ≥ 700 千克氢气，泄漏率 $\leq 10^{-7}$ (帕·立方米)/秒 (检测方式：GB/T 15823-2009 标准)，并进行工程示范应用；开发出超高强度、高韧性、可焊接钢板材料，抗拉强度 ≥ 800 兆帕、零下 40℃时的冲击吸收能量 ≥ 100 焦耳；开发出与钢板配套的锻件和焊接材料，达到焊缝和钢板在高压氢气环境下具有同等性能；形成大容积钢质高压储氢压力容器材料开发、结构设计、制造工艺控制、缺陷无损检测与安全评估等新技术方法不少于 10 项，储氢容器焊缝内表面裂纹深度检测灵敏度小于等于 0.5 毫米，焊缝内部体积性缺陷检测灵敏度小于等于直径 0.5 毫米；制修订相关技术标准（送审稿）2 项。

有关说明：由企业牵头申报。

2.4 基于液态载体的可逆储放氢关键材料与应用技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：为利用现有液态燃油输送管道或运输车辆，实现高效、安全和大规模氢运输，达到降低氢储运成本的目的，研发可循环的高密度液态载体的储放氢技术。具体内容包括：新型高密度无机液态或有机液态、浆态储氢载体的规模制备技术；释放氢气中杂质的抑制/过滤方法；高效脱/加氢催化剂的研制；基于液态载体的移动式储氢系统的储放氢工艺控制技术及试验验证。

考核指标：液态载体储氢系统的可循环储氢密度按质量计 $\geq 5.5\%$ ，储氢压力 ≤ 1 兆帕，液态载体经 200 次循环的利用效率 \geq

80%；在站制氢反应器工作温度 $\leq 250^{\circ}\text{C}$ ，储氢和放氢速率均 ≥ 3 克/分钟，单次循环制氢量 ≥ 600 克氢气，出口端氢气纯度按质量计 $\geq 99.99\%$ ；储氢和放氢用催化剂能稳定运行 ≥ 200 次循环；掌握储放氢过程中储氢系统的质能传递特性，并提出高密度储氢装置的氢—热耦合设计方法。

2.5 基于固态新材料的可逆储放氢技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：针对高效、高安全和大规模氢储运的需求，探索固态储氢新材料/新体系及其储放氢技术。具体内容包括：新型金属有机骨架（MOFs）、共价有机骨架（COFs）、层状结构化合物等高密度储氢材料及其规模制备技术；不低于液氮温度下的储氢热力学与动力学性能及储放氢机制；建立储氢性能的理论预测模型；释放氢气中杂质的种类、含量和抑制/过滤方法。

考核指标：研制可逆固态储氢新材料/新体系及其储氢装置，实现百克级/批次的材料制备，储氢装置在不低于液氮温度下的储氢密度按质量计 $\geq 7\%$ ，储氢压力 ≤ 10 兆帕，释放的氢气纯度按质量计 $\geq 99.99\%$ ，200次循环利用效率 $\geq 90\%$ ；储氢性能理论预测数值与实验数值的偏差率 $\leq 10\%$ 。

2.6 加氢站用新型氢压机核心理论及关键技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：为实现管网及液氢供给场景下加氢站内高效、安全、紧凑的氢气增压工艺，降低增压成本，围绕新型离子液体氢

气压缩机核心理论及关键技术展开研究。具体内容包括：离子液体热物理特性、离子液体与氢气相互作用机理、气一液界面形态演变规律研究；离子液体—氢气两相增压过程微观热力特性及宏观工作过程研究；高效离子液体分离特性及装置设计技术；离子液体压缩机能量匹配策略及整机设计技术；离子液体压缩机关键部件及整机研发。通过本项目研制满足 70 兆帕加氢站需求的离子液体氢气压缩机。

考核指标：建立离子液体压缩机压缩过程热力学和动力学模型，全工况范围内效率平均预测误差 $\leqslant 5\%$ ，最大预测误差 $\leqslant 10\%$ ；构建离子液体压缩机设计方法，研制离子液体压缩机原理样机：排气压力 $\geqslant 90$ 兆帕，进气压力 $\geqslant 0.5$ 兆帕，在 1 兆帕处的排气流量 $\geqslant 200$ 标准立方米/小时，效率 $\geqslant 65\%$ ；进行稳定运行试验 $\geqslant 200$ 小时（惰性气体介质）；研制离子液体分离器，分离效率 $\geqslant 88\%$ ；与离子液体压缩机相关的标准规范不少于 2 项。

2.7 纯氢与天然气掺氢长输管道输送及应用关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对氢气长距离、大规模安全输送需求，重点突破高压力纯氢与天然气掺氢管道输送关键技术、形成纯氢/掺氢长输管道科技试验平台，增强纯氢与天然气掺氢管道输送安全运行保障能力。具体内容包括：不同压力等级、不同管材与焊缝对纯氢/掺氢输送的相容性，服役环境对管材及焊缝性能与损伤的影响规律，临氢管道焊接等连接技术；天然气管道与关键设备掺氢适

应性，纯氢/掺氢长距离管输工艺，大流量掺氢与分离装备；高压纯氢及掺氢管道和关键设备的监测检测、动态风险评价与寿命预测方法；纯氢及掺氢管道和关键设备的事故演化规律、完整性管理和安全防范技术；研制纯氢/掺氢管道输送应用科技试验平台。

考核指标：研发大流量掺氢装备：掺混比例 5%~20%，氢气组分控制精度 $\leq 1\%$ ，研发大流量分离装备：流量 ≥ 100 标准立方米/小时，氢气分离纯度 $\geq 99.999\%$ ；开发管输工艺、寿命预测和完整性管理软件各 1 套；建成可适应于纯氢/掺氢服役工况的内检测技术装备，裂纹检测精度 ≤ 0.5 毫米，裂纹检出率 $\geq 90\%$ ；形成纯氢/掺氢管道长距离输送相关材料、管输工艺、检验检测、安全评价、完整性管理等国家/行业规范或标准（送审稿）不少于 6 项；实现纯氢/掺氢管道输送应用的科技试验平台：输气压力 ≥ 6.3 兆帕，长度 ≥ 10 千米，管径 ≥ 500 毫米，可同时开展至少三类不同规格管道的测试，测试温度范围零下 40°C~零上 60°C，具备测试管路典型部位裂纹和氢泄漏在线检测（快速定位）功能，输氢能力 ≥ 10 万吨/年（纯氢管道），掺氢比例 5%~20%（掺氢管道），气密性试验在 1.1P（设计压力）下泄漏率 $\leq 0.3\%/\text{小时}$ （试验时间 24 小时），安全运行 90 天。

3. 氢能便捷改质与高效动力

3.1 兆瓦级发电用质子交换膜燃料电池堆应用关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对质子交换膜燃料电池在发电领域兆瓦级应用

需求，突破关键材料国产化、零部件和电堆批量化制造一致性和制造效率瓶颈，开展高效率、大功率质子交换膜燃料电池电堆设计、工程化制造技术研究。其中包括：面向大功率单体电堆的国产化自主材料，开发膜电极、双极板等关键零部件及其工程化制造技术；研究大功率电堆结构设计、工作条件和装配工艺对电堆效率、寿命及水热管理的影响规律，设计具有高效燃料分配、热管理能力和高燃料利用率电堆，适应发电等领域兆瓦级应用的高效率、大功率运行工况；研究高一致性、高效率电堆组装集成工艺及装备，满足批量化制造需求，为商业化应用奠定基础。

考核指标：质子交换膜燃料电池单体电堆功率 ≥ 1 兆瓦、电效率 $\geq 60\%$ ，年产能 ≥ 200 台。其中，气体扩散介质抗纵向弯曲模量 ≥ 10000 兆帕，电导率 ≥ 1600 西门子/米，接触电阻 ≤ 5 毫欧姆·平方厘米；在空气端压力不高于150千帕绝对压力的情况下，膜电极在0.4安培/平方厘米电流密度处的电压 ≥ 0.80 V、额定工作点电压衰减率在40000小时内 $\leq 10\%$ （实际测试8000小时，性能衰减 $\leq 4\%$ ）；密封件成型精度偏差 ≤ 0.02 毫米，氢气外泄漏率每秒 $\leq 5 \times 10^{-8}$ 帕·立方米；双极板平面厚度差 ≤ 20 微米，电导率 ≥ 200 西门子/厘米，在200千帕氦气检测条件下的气体渗透率 ≤ 0.2 微升/(平方厘米·分钟)，在0.6兆帕压力下的接触电阻 ≤ 5 毫欧姆·平方厘米；电堆最高工作温度 $\geq 95^{\circ}\text{C}$ ，支持零下30°C低温启动，电堆寿命 ≥ 40000 小时（实际测试10000小时，性能衰减 $\leq 5\%$ ）。

有关说明：由企业牵头申报。

3.2 百千瓦级固体氧化物燃料电池热电联供系统应用关键技术（共性关键技术类）

研究内容：面向以天然气及掺氢天然气为燃料的大功率固体氧化物燃料电池热电联供系统的应用需求，针对大功率电堆批量制造、衰减过快、系统热管理困难等问题，开展高可靠性固体氧化物电堆工程化技术与大功率系统集成研究。其中包括：高可靠、长寿命电堆及其批量生产工艺及装备；电堆模块化放大策略与技术；集成燃料重整器、燃烧器、换热器和蒸发器等关键部件的高紧凑热平衡系统；大功率系统集成，运行安全控制策略与在线运行优化控制方法。

考核指标：使用掺氢天然气的固体氧化物燃料电池系统，采用掺氢浓度为 0%~15%（体积分数）的天然气作为燃料时交流输出功率 ≥ 100 千瓦，在不超过 750°C 运行条件下初始发电效率在 0.4 安培/平方厘米电流密度处 $\geq 65\%$ （直流净效率），热电联供低热值效率 $\geq 85\%$ ，长期稳定运行时间 ≥ 3000 小时（实测），测试后在 750°C 运行条件下发电效率在 0.4 安培/平方厘米电流密度处 $\geq 60\%$ （直流净效率），设计使用寿命 ≥ 40000 小时。其中，单热区模组功率 ≥ 25 千瓦；单电堆多样本（至少 3 个）在大于 0.4 安培/平方厘米的电流密度下长期稳定运行时间不少于 4000 小时（实测），每 1 千小时衰减率 ≤ 15 毫欧姆·平方厘米、衰减率偏差 ≤ 5 毫欧姆·平方厘米；年产能 ≥ 10 兆瓦，成品率 $\geq 95\%$ 。

有关说明：由企业牵头申报。

3.3 质子交换膜燃料电池与氢基内燃机混合发电系统技术 (共性关键技术类)

研究内容：针对重载装备和分布式供电设备的高效灵活电源需求，开展质子交换膜燃料电池—氢基燃料内燃机混合发电系统关键技术研究。其中包括：单一现场氢基燃料（氨、醇、掺氢天然气等）的在线改质、纯化与实时调控技术及现场氢源总成研制，富氢和/或纯氢燃烧与循环调控技术及其内燃机研制，燃料电池系统一内燃机能量耦合机制及核心器件研制，现场氢源—燃料电池—氢内燃机全系统联合热力循环设计及建模仿真，发电系统各单元内部状态识别及动态工况调控策略，燃料电池—内燃机混合动力系统结构集成设计方法。

考核指标：质子交换膜燃料电池—氢基内燃机混合发电系统，单个模块发电额定功率 ≥ 150 千瓦、总功率 ≥ 220 千瓦，发电效率 $\geq 45\%$ ，0%~100%负荷响应时间 ≤ 1 分钟，连续运行 ≥ 1000 小时；燃料电池—热机混合发电系统设计仿真软件1套，满足质子膜燃料电池—氢内燃机混合发电系统模拟与仿真需求，模型预测燃料电池性能与实验结果误差 $\leq 10\%$ 。

3.4 燃料电池测试技术及关键零组件研制(共性关键技术类)

研究内容：针对长寿命燃料电池工作状态的高精度诊断需求，开发燃料电池综合诊断技术，突破测试用关键零部件及测试装备成套技术。其中包括：燃料电池单体、电堆、系统的性能及寿命综合测试台；测试台压力、流量、温湿度等多物理量耦合规律及

高精度、快速响应加湿系统、热管理系统；测试台用高精度湿度传感器、流量传感器、质量流量控制器及背压阀制造技术；燃料电池高低压交流阻抗在线测试技术；大功率电子负载的电压电流精确测量及控制技术；测试台主控系统的工况模拟、自动流程控制、实验数据管理、云数据服务、大数据分析等模块集成技术。

考核指标：质子交换膜燃料电池、固体氧化物燃料电池单体测试台功率 ≥ 100 瓦，气体质量流量控制器精度偏差 $\leq 0.6\%$ ；质子交换膜燃料电池电堆测试台功率 ≥ 300 千瓦，质量流量控制器精度优于 0.5% ，控温范围在零下 40°C ~零上 150°C 、控制精度优于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；固体氧化物燃料电池电堆测试台功率 ≥ 25 千瓦，气体质量流量控制器精度偏差 $\leq 0.5\%$ ，最高测试温度 $\geq 1200^{\circ}\text{C}$ 、控制精度优于 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，具备固体氧化物电解池测试功能；质子交换膜燃料电池系统测试台功率 ≥ 300 千瓦，质量流量控制器精度偏差 $\leq 0.5\%$ ，热管理系统控温范围在零下 40°C ~零上 150°C 、控制精度优于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；大功率电子负载功率 ≥ 200 千瓦、效率 $\geq 96\%$ ；上述测试台的电压及电流精度偏差 $\leq 0.5\%$ ；大功率交流阻抗在线测试装备可覆盖电堆与系统测试台全功率范围，精度偏差 $\leq 0.5\%$ ，应用 ≥ 10 套。

3.5 掺氢/氨清洁高效燃烧关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对发电深度减碳与清洁供暖的需求，研究氢、氨等富氢燃料与含碳燃料掺烧的清洁高效燃烧关键技术。主要包括两条技术路线：

(1) 氢、氨、天然气掺混燃气燃烧特性、反应机理及诊断方法；富氢掺混燃料的燃烧器动态工况燃烧特性、污染物生成特性与预测模型；掺混燃料燃烧强化机制与宽范围调节、低 NO_x 排放燃烧器优化设计策略与高效清洁燃烧技术；基于不同掺混比例稳燃的掺氢/氨燃气高效清洁燃烧技术及设备兼容性；掺氢和掺氨燃气兆瓦级燃烧器工业试验；氢、氨等富氢燃气供暖系统模拟与能量管控平台。

(2) 氢、氨、煤掺混燃料的多相混合、多场耦合燃烧特性与反应机理；富氢掺混燃料的气固两相燃烧器稳燃特性与操作参数优化、污染物生成特性及预测模型；气固两相掺混燃料燃烧强化机制、低 NO_x 排放燃烧器改进设计策略与高效清洁燃烧工艺包；基于不同掺混比例、掺混方式的掺氢、氨燃煤高效清洁燃烧技术及设备兼容性；掺氢、氨燃煤燃烧技术在大容量锅炉的工程验证。

考核指标：两条技术路线分别对应以下考核指标，

(1) 兆瓦级掺氢、掺氨燃气燃烧器，热负荷 ≥ 1.0 兆瓦，在尾气中 3.5% 氧气浓度条件下、当最高掺氢比例不低于 70% 时燃烧器出口 NO_x 排放 ≤ 50 毫克/标准立方米，在尾气中 3.5% 氧气浓度条件下、当最高掺氨比例不低于 30% 时燃烧器出口 NO_x 转化率 $\leq 5\%$ ；掺氢天燃气锅炉验证性工程，掺氢比 $\geq 20\%$ ，锅炉负荷 ≥ 1.0 兆瓦，NO_x 排放低于 30 毫克/标准立方米，N₂O 低于 10 毫克/标准立方米，CH₄ 低于 5 毫克/标准立方米，稳定运行大于 168

小时；形成 1~2 项国家或行业标准（征求意见稿）；建立掺氢、掺氨燃料的燃烧活性中间产物及稳定产物实验诊断方法，测量误差 $\leq 10\%$ ；建立掺氢、掺氨燃气燃烧生成 CO、NO_x、有机污染物的预测模型，预测误差 $\leq 20\%$ 。

（2）兆瓦级掺氢/氨气固两相燃烧器累计运行不低于 1000 小时，热负荷 ≥ 1.0 兆瓦；30 兆瓦级掺氢/氨气固两相燃烧器，热负荷 ≥ 30 兆瓦，实现氢/氨掺烧比例（热量比） $\geq 25\%$ ，燃烧器出口氨的 NO_x 转化率 $\leq 0.5\%$ ；完成蒸发量每小时 600 吨等级以上燃煤锅炉工程验证，实现掺氨比例（热量比）5%~20% 连续可调，炉膛出口氨的 NO_x 转化率 $\leq 0.5\%$ ，NO_x 排放低于 50 毫克/标准立方米（按 6% 基准氧含量折算），锅炉尾部烟气氨逃逸浓度 $\leq 3\text{ppm}$ （摩尔比），锅炉效率 $\geq 91\%$ ，20% 掺氨工况稳定运行大于 168 小时；建立掺氢/氨燃煤燃烧生成 CO、NO_x 的预测模型，预测误差 $\leq 20\%$ 。

有关说明：同时支持 2 个项目。两种技术路线各支持 1 项。

3.6 基于固体电解质的直接氨燃料电池技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：面向紧凑可靠耐久的氨燃料电池系统应用需求，研发高功率密度、耐冷热循环的中温或低温直接氨燃料电池。具体包括：开发高性能、非铂催化剂及可直接转化氨的电极结构，研究电极特性对氨转化与电极性能的影响规律；开发耐冷热循环的电池及其低成本制备技术，研究电极与电解质特性、运行条件

对电池性能、寿命与冷热循环性能的影响规律。

考核指标：开发出活性区面积 ≥ 25 平方厘米的单电池，采用纯氨为燃料、在 $\leq 700^{\circ}\text{C}$ 的条件下电池峰值功率密度 ≥ 0.7 瓦/平方厘米，电池耐冷热循环次数 ≥ 30 次，连续稳定运行 ≥ 500 小时。

3.7 聚合物膜燃料电池非贵金属催化的电极设计与应用关键技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：针对聚合物膜燃料电池低成本应用需求，探索高性能非贵金属催化剂及催化层设计、制备技术及评价方法，实现非贵金属催化电极性能验证。具体包括：非贵金属燃料电池阴极催化剂原子、分子尺度活性中心解析及高一致性宏量制备技术；非贵金属催化膜电极三相界面优化与制备技术；非贵金属催化膜电极结构强化及寿命保障技术，非贵金属催化膜电极测试评价体系。

考核指标：单批次产量 ≥ 10 克，不同批次电性能偏差 $\leq 5\%$ ；验证性非贵金属催化电堆功率不低于 1 千瓦。其中，非贵金属氧还原催化剂在 0.9 伏电压处（相对于 RHE 电位，不计欧姆损失）的活性 ≥ 0.044 安培/平方厘米；膜电极氧还原催化剂载量 ≤ 4 毫克/平方厘米，氢一空条件下在 0.9 安培/平方厘米电流密度对应的单池电压 ≥ 0.675 伏，在 0.7 伏恒电位下测试超过 500 小时后、电流密度保持率不低于初始值的 75%。

3.8 燃料电池系统用先进空气压缩机技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：针对氢能重型载运、分布式发电用的燃料电池系

统对高效率、长寿命的稳定供氧器件需求，探索适用于大功率燃料电池系统的先进空气压缩机设计及制造技术。具体包括：高效率、大流量、低波动的压缩结构设计；耐磨蚀、长寿命、无杂质的压缩腔室材料工艺；高工况适应性的系统机电耦合控制方法；全工况的系统噪声抑制技术。

考核指标：研制出适用于燃料电池系统的大流量空压机样机：额定流量 ≥ 150 克/秒，最高压缩比 ≥ 3.5 ，出口压力波动偏差在10毫秒内 $\leq 1\%$ ，常用工况最高等熵效率 $\geq 90\%$ ，全工况最高噪声 ≤ 70 分贝，空压机排气不含有异于吸气的杂质组分（测试标准符合ISO 8573），启停次数 ≥ 2 万次（实测），预期寿命 ≥ 10000 小时。

4. “氢进万家”综合示范

4.1 中低压氢气管道固态储氢系统及其应用技术（共性关键技术类）

研究内容：针对以灰氢和蓝氢为主要氢源的高碳排放生产过程，研发基于低成本储氢材料的大容量储放氢系统，实现对管输绿氢的高效储存和特定用氢场景的供氢匹配，达到降低碳排放的目的。具体内容包括：以低成本储氢材料为工质的高密度高安全储氢床单体的设计和均一化制备技术；储氢系统的传质传热特征与优化集成技术；储氢系统循环性能的衰减原因及稳定化方法；储氢系统在中低压氢气管道的增压和减压响应特性；搭建可在化工、冶金两种典型用氢生产过程中储氢系统应用的验证平台。

考核指标：储氢系统：储氢量 ≥ 500 千克，储存1千克氢气的成本 ≤ 10000 元，储氢压力 ≤ 5 兆帕，输入氢气纯度为95%时输出氢气纯度 $\geq 99.97\%$ ，吸氢速率最大值 ≥ 5.0 千克氢气/分钟，吸氢压力在1兆帕~5兆帕，供氢速率最大值 ≥ 1.0 千克氢气/分钟，供氢压力在0.2兆帕~4兆帕范围内连续可调，经2000次吸/放氢循环后储氢容量保持率 $\geq 90\%$ 。其中，储氢材料：储氢密度 ≥ 70 千克氢气/立方米，材料成本 ≤ 100 元/千克，在低于100°C时材料的储氢密度 $\geq 2.0\%$ ，可逆放氢量 $\geq 95\%$ 。