

# “可再生能源与氢能技术”重点专项 2020 年度项目申报指南建议 (征求意见稿)

为落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》以及《“十三五”国家科技创新规划》《能源技术革命创新行动计划（2016—2030 年）》《能源技术创新“十三五”规划》《可再生能源中长期发展规划》等提出的任务，国家重点研发计划启动实施“可再生能源与氢能技术”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2020 年度项目申报指南。

## 1. 氢能

### 1.1 离子膜批量制备及应用技术

**研究内容：**针对车用燃料电池的要求，重点突破高温低湿条件下应用的质子交换膜的产业化技术；结合酸性膜和碱性膜的发展，创新双性膜等应用技术。具体包括：开发全氟共聚功能单体合成及成套工程装备技术；高交换容量、低等效重量全氟质子聚合物制备技术；全氟质子交换树脂高纯单分散溶液制备技术；气体渗透和自由基作用机理研究；高机械强度、高化学稳定性全氟质子交换膜连续制备技术与装备。

研发高性能碱性聚电解质膜连续制备工艺，酸碱双性膜及电解水制氢，高效电化学合成氨及分解氨反应系统，直接氨燃料电池等应用技术。

**考核指标:** 质子交换树脂离子交换容量(IEC) $\geq 1.3$  mmol/g, 等效重量(EW) $\leq 730$ g/mol, 质子交换树脂分散粒径 $\leq 200$ nm; 质子交换膜厚度 $\leq 18\mu\text{m}$ 、偏差 $\leq \pm 5\%$ ，离子电导率 $\geq 0.1\text{S/cm}$ (95℃、60RH%)、 $0.04\text{S/cm}$ (120℃, 30% RH), 电子电阻率 $> 1000\Omega\text{cm}^2$ , 渗氢电流 $\leq 2\text{mA/cm}^2$ , 允许最高运行温度 $\geq 100^\circ\text{C}$ , 强度 $\geq 45\text{MPa}$ , 纵横向溶胀率 $\leq 3\%$ , OCV测试氟离子释放率 $\leq 0.7\mu\text{g/cm}^2/\text{h}$ (OCV测试)、循环OCV次数 $\geq 90$ , 产能 $\geq 20$ 万  $\text{m}^2/\text{年}$ , 成本 $\leq 500$ 元/ $\text{m}^2$ , 金属离子含量 $\leq 20\text{ppm}$ 。

酸碱双性膜水电解单体模块产氢 $\geq 10\text{Nm}^3/\text{h}$ , 制氢纯度 $\geq 99.99\%$ , 电耗 $\leq 4.1\text{kWh/Nm}^3\text{H}_2$ ; 电解制氨法拉第效率 $> 20\%$ , 实现kg级系统集成; 氨反向电化学分解效率 $> 95\%$ ; 直接氨燃料电池 $\geq 135\text{mW/cm}^2@500\text{mAcm}^{-2}$ , 常压,  $80^\circ\text{C}$ 。

## 1.2 扩散层用碳纸批量制备及应用技术

**研究内容:** 针对质子交换膜燃料电池批量、低成本需求, 突破扩散层(GDL)用碳纸及扩散介质(DM)批量制备技术与装备。具体包括: 开发碳纸用碳纤维工程化工艺与装备, 研发碳纸用改性粘合剂, 开发碳纸石墨化工艺与装备, 研发表面疏水处理等后处理材料及工艺技术, 根据“气-液-电-热”传输与支撑性能要求、开发出系列碳纸; 研发碳纸复合微孔层

(MPL) 强化传输技术, 开发可在线监测与反馈的 DM 制备工艺与装备; 开展运行工况下相关可靠性及耐腐蚀性研究。

**考核指标:** 碳纸可控厚度 80~190 $\mu\text{m}$ 、偏差 $\leq\pm 1.5\%$ , 孔隙率 $\geq 75\%$ , 密度 0.3~0.45 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 垂直向透气率 $\geq 2000\text{mL}\cdot\text{mm}/(\text{cm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{mmAq})$ 、电阻率 $\leq 65\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ 、弯曲强度 $\geq 10\text{MPa}$ , 平行向电阻率 $\leq 4\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ 、接触电阻 $\leq 5\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 、弯曲模量 $\geq 10\text{GPa}$ , 拉伸强度 $\geq 25\text{MPa}$ , 导热系数(干态): 垂直 $\geq 1.7\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、平行 $\geq 21\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , 产能 40 万  $\text{m}^2/\text{年}$ ; MPL 中孔径可控精度 $\pm 10\text{nm}$ , 表面粗糙度 $\leq 7\mu\text{m}$ ; DM 可控厚度 80~250  $\mu\text{m}$ 、偏差 $\leq\pm 1.5\%$ , 可控接触角 $\geq 145^\circ$ 。

### 1.3 车用燃料电池催化剂批量制备技术

**研究内容:** 针对车用燃料电池对催化剂耐久性和一致性的技术要求, 突破具备高动态工况耐受能力、兼具高性能/抗中毒特征的铂基催化剂及其公斤级批量制备技术。具体包括: 研发氧还原活性提高技术, 贵金属用量降低技术, 高电位循环耐久技术, 抗氢气杂质(CO、含硫化合物)污染技术; 开发高一致性、低污染杂质含量催化剂工艺配方及批量化制备技术, 研发可规模化生产的催化剂纳米合成工艺, 孔径分布合理、催化剂易于高分散担载、成本低廉的先进功能载体处理技术, 以及催化剂工业化制备技术与装备。

**考核指标:** 催化剂初始氧还原质量比活性 $\geq 0.35\text{A}/\text{mgPt}@0.9\text{V}_{\text{IR-free}}$ , 催化剂电化学活性面积 $\geq 60\text{m}^2/\text{g}$ ,

耐久性①0.6~0.95V ≥3 万次循环质量活性衰减率≤40%、电化  
学活性面积衰减率≤40%，耐久性②1.0~1.5V ≥5000 次循环质  
量活性衰减率≤40%、电化活性面积衰减率≤40%，氢气杂  
质耐受性①CO 导致的催化剂质量活性衰减≤30% (0.1M  
HClO<sub>4</sub> 1000 ppm CO/H<sub>2</sub>)、②硫化物导致的催化剂活性面积衰  
减≤30% (0.36ppm H<sub>2</sub>S 24h)，产能≥500g/批次、≥100kg/年，  
粒径及性能偏差≤±8%，Cl<sup>-</sup>含量小于 50ppm wt.，量产成本  
≤(Pt<sub>现货价格</sub>·PGM wt%+100)元/g。

#### 1.4 质子交换膜燃料电池极板专用基材开发

**研究内容：**针对质子交换膜燃料电池用极板的可加工性、  
耐蚀性技术要求，研发具备特殊微结构、高耐蚀、低电阻专  
用超薄基材及其批量制备工艺。具体包括：高耐蚀、低电阻、  
易于精密成型的不锈钢和钛合金基材，与高强度与弹性、高  
致密与导电性、超薄复合石墨极板，其成份设计、混合熔铸、  
组织调控与前后处理技术，及其可连续工业级制备技术与装  
置的研发；基材耐蚀、导电、可成形性综合性能评估；超薄  
基材极板试制及寿命快速评估方法研究。

**考核指标：**不锈钢与钛合金薄板基材厚度 50~150μm、  
偏差 ≤±4μm，抗弯强度 ≥25MPa，初始：接触电阻  
≤3mΩ·cm<sup>2</sup>@1.4MPa(接触碳纸)、腐蚀电流 ≤5.00×10<sup>-7</sup>  
A/cm<sup>2</sup>@80℃(0.5M 硫酸+5ppm F<sup>-</sup> 溶液)，10000 小时工况后：  
接触电阻 ≤8mΩ·cm<sup>2</sup>@1.4MPa、腐蚀电流 ≤10.00×10<sup>-7</sup>

A/cm<sup>2</sup>@80℃，湿热循环测试后无腐蚀、无变形，产能≥1000吨/年，延伸率：不锈钢≥55%、钛合金≥30%，体相电阻率：不锈钢≤0.075mΩ·cm、钛合金≤0.17mΩ·cm，成本：不锈钢 ≤25元/kg，钛合金≤150元/kg；超薄复合石墨板厚度≤1.4mm、最薄处厚度0.1-0.3mm，平面度≤10μm，电导率≥150S/cm，透气率≤2×10<sup>-8</sup>cm<sup>3</sup>(cm<sup>2</sup>·s)<sup>-1</sup>，工作压力≥1bar(g)，弯曲强度≥50MPa，接触电阻≤10mΩ·cm<sup>2</sup>，短堆工作5000h、性能降幅≤10%。

### 1.5 车用燃料电池堆及空压机的材料与部件耐久性测试技术及规范

**研究内容：**针对质子交换膜燃料电池的产业化过程质量控制的需求，开展电堆关键材料及系统部件耐久性、电磁兼容性测试技术及规范研究。具体包括：研究电堆运行过程中的健康诊断方法，进行实际验证；研究电堆关键材料（催化剂、膜、碳纸、极板基材、防腐涂层等）理化参数及核心部件（膜电极、双极板、密封件等）特性参数的测量方法、等效加速老化方法，建立关联数据库、并形成规范；研发燃料电池系统用空压机关键性能、环境适应性、耐久性等加速测试技术，形成寿命预测与验证方法；研发车用燃料电池系统的电子控制单元离线电磁兼容辐射发射、传导发射、电磁场抗扰度、瞬态抗扰度、静电放电等测试技术，形成规范方法。

**考核指标：**车载电堆健康诊断装置对电堆氢渗检出

率>90%；在 5000 小时测试的基础上，建立的性能与耐久性评测方法、流程规范，包括：催化剂、质子膜、扩散介质、膜电极、双极板、密封件及短堆，形成的特性/理化参数及其测量方法集合≥10 类，基于工况衰变规律的寿命模型预测偏差≤10%；空压机耐久性测试方法加速系数≥15、偏差≤3%，研制的综合测试设备适应系统功率范围 45-150kW；建立电磁兼容离线性能测试方法、流程规范，至少包括电子控制单元(ECU)、节电压巡检(CVM)、空压机控制器；建成的电磁兼容性能测试平台在燃料电池工作情况下、辐射发射测试能力达到 18GHz，辐射抗扰度能力实现 400MHz 至 3000MHz 达到 200V/m。

### **1.6 公路运输用高压、大容量管束集装箱氢气储存技术**

**研究内容：**针对国内现有 20MPa 管束车储氢量小、运输成本高等问题，开展更高储存压力下的公路运输用大容量管束集装箱氢气储存技术研究。具体包括：高长径比、高压储氢瓶碳纤维缠绕设计与工艺；大容量内胆成型技术；使用工况下高压储氢瓶的失效机理研究与测试技术；满足道路运输法规要求的高压大容量管束集装箱体设计与集成技术；大容量高压储氢瓶试验方法和标准研究。

**考核指标：**储氢瓶工作压力≥50MPa（20℃），单瓶水容积≥300L，单瓶储氢密度≥5.5wt%，循环寿命≥15000 次（水压充放循环试验 15%~150%工作压力）；管束集装箱储氢量

≥1000kg(符合道路运输法规要求),使用环境温度-40~60℃;形成相关高压管束集装箱标准送审稿。

### 1.7 液氢制取、储运与加注关键装备及安全性研究

**研究内容:** 针对千辆级商用车集中运行对氢燃料制备、输配及加注的需求,开展氢气液化工艺、液氢贮/运和液氢存储-气氢加注站的相关研究。具体包括:高效正仲氢转化、液氢温区高真空多层绝热技术研究;液氢贮罐和运输用液氢槽罐的研制;大规模氢气液化工艺流程开发和优化;氢气液化过程量化风险分析、安全防护、预警和应急分析;液氢加注站工艺流程开发及布局优化;气氢与液氢加注站风险、安全及经济性量化对比分析。

**考核指标:** 液化能力≥5吨单套装备,仲氢含量(Para-hydrogen,体积分数)≥95%,氢气液化能耗≤13kWh/kg,液氢纯度(摩尔分数)≥99.97%;储存用液氢储罐容积≥300m<sup>3</sup>,液氢静态日蒸发率≤0.25%/天,维持时间≥30天;运输用液氢槽罐≥40m<sup>3</sup>,液氢静态日蒸发率≤0.73%/天,维持时间≥12天,真空寿命≥5年;开发具备35MPa和70MPa加注能力液氢储存气态加注站工艺包,站内液氢储量≥500kg,峰值加氢能力≥400kg/天,氢气加注能耗≤2.50kWh/kg-H<sub>2</sub>;完成两种氢气储存类型加注站的泄漏监测、安全运行和经济性评价示范项目。

### 1.8 醇类重整制氢及冷热电联供的燃料电池系统集成技

术

**研究内容：**针对高效、环保、长寿命分布式供能系统应用需求，开展燃料电池冷-热-电联供系统的关键技术研发。具体包括：用于分布式供能的醇类重整制氢系统技术；质子交换膜燃料电池的空气在线净化技术；质子交换膜燃料电池冷-热-电联供系统技术；固体氧化物燃料电池发电系统技术；燃料电池冷-热-电联供系统模拟仿真、系统集成优化及能量管控技术。

**考核指标：**全自动甲醇重整制氢集成系统产氢能力 $\geq 30\text{Nm}^3/\text{h}$ 、效率 $\geq 85\%$  LHV,氢气中  $\text{CO} \leq 0.2\text{ppm}$ 、总硫 $\leq 4\text{ppb}$ ,冷态自启动时间 $\leq 30\text{min}$ ，动态负荷调节能力 $\geq 50\%$ ；空气在线净化系统  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、VOC、甲醛、 $\text{O}_3$ 脱除率 $\geq 95\%$ ， $\text{NH}_3$ 脱除率 $\geq 80\%$ （污染物基准浓度  $1\text{ppm}$ ）， $\text{PM}_{10}$  以下大气气溶胶脱除率 $\geq 99\%$ ，无故障运行时间 $\geq 1500\text{h}$ ；冷热电联供的质子交换膜燃料电池系统额定发电功率 $\geq 30\text{kW}$ ，发电效率 $\geq 50\%$ ， $70^\circ\text{C}$ 余热条件下、制冷效率 $\geq 40\%$ ，系统供电制冷效率 $\geq 70\%$  LHV，连续运行 $\geq 3000\text{h}$ ；基于重整合成气为燃料的固体氧化物燃料电池发电系统额定发电功率 $\geq 30\text{kW}$ 、发电效率 $\geq 55\%$ ，连续运行 $\geq 1000\text{h}$ 。

## 2. 太阳能

### 2.1 万小时工作寿命的钙钛矿太阳电池关键技术

**研究内容：**针对高稳定性钙钛矿太阳电池技术要求，开



展电池性能退化机制与评价方法、电池关键功能层和器件的设计与制备研究。具体包括：高性能钙钛矿光吸收层稳定化设计与制备；高性能电荷传输层稳定化设计与制备；加速老化条件下器件退化机制与评价方法；高稳定性器件制备工艺和技术；稳定器件一致性控制技术。

**考核指标：**器件最高效率 $\geq 20\%$ ，在 $50\pm 10^\circ\text{C}$ 、AM1.5G( $1000\text{ W/m}^2$ )模拟太阳光条件下最大功率点持续输出10000小时，器件效率衰减 $\leq 20\%$ ；开发出具有高稳定性的钙钛矿光吸收层和电荷传输层，在 $85^\circ\text{C}$ 、AM1.5G( $1000\text{ W/m}^2$ )加速老化1000小时条件下，主要光电性能衰减 $\leq 5\%$ ；在 $85^\circ\text{C}$ 、AM1.5G( $1000\text{ W/m}^2$ )加速老化1000小时条件下，器件效率衰减 $\leq 10\%$ ；在光照/黑暗交替加速老化条件下循环1000次，循环周期 $\geq 20$ 分钟，器件效率衰减 $\leq 10\%$ ；在 $-40\sim 80^\circ\text{C}$ 之间冷热交替、极端温度下保持 $\geq 10$ 分钟的加速老化条件下循环200次，器件效率衰减 $\leq 10\%$ ；小批量器件样品数 $\geq 20$ ，以在 $85^\circ\text{C}$ 、AM1.5G( $1000\text{ W/m}^2$ )加速老化1000小时条件下器件效率衰减 $\leq 10\%$ 为标准，不合格率 $\leq 20\%$ 。

## 2.2 铸造类单晶硅及高效太阳能电池关键技术

**研究内容：**面向太阳能电池高效率、强稳定性和低成本的需求，进行晶体硅电池新材料与结构技术和相关核心设备的开发。具体包括：开发满足高效铸造类单晶硅材料生长的热场技术及设备；研究硅衬底中杂质和缺陷的形成机理及对稳

定性的影响；PN 结形成方式和特性对电池效率及稳定性的影响关系；高效电池成套制备技术及接触钝化沉积等核心装备技术；全套的材料与电池检测技术和标准。

**考核指标：**开发出满足大尺寸铸造类单晶稳定生长的热场，单硅锭投料量 $\geq 1300$  公斤，有效抑制硅锭中孪晶的产生，整铸锭中单晶占比 $\geq 90\%$ ，平均位错密度 $\leq 1 \times 10^5/\text{cm}^2$ ，平均少数载流子扩散长度 $\geq 500\mu\text{m}$ ；批次稳定大面积（ $156 \times 156\text{mm}^2$  以上）电池正面光电转化效率 25% 以上，在  $75^\circ\text{C}$  下电池的热辅助光致衰减（LeTID） $\leq 1\%$ ；开发出产能 $> 50\text{MW}$  的核心电池装备；形成全套的相关材料与电池检测方法，以及不少于 2 项技术标准草案。

### 3. 风能

#### 3.1 新型高效风能转换装置关键技术

**研究内容：**面向我国高空、海上等风资源多元化利用需求，研发不同电网连接方式下兆瓦级创新型高效风能转换装置。具体包括：风能转换装置的新概念、新机理和高效能量转换关键技术；开展关键系统及设备可行性研究，提出概念设计方案；微网、离网和并网条件下新型风力发电系统智能控制和能量综合利用关键技术。

**考核指标：**完成兆瓦级创新型高效风能转换装置概念设计，建立虚拟仿真模型，理论最大风能转换效率  $\text{CP}_{\text{max}} \geq 0.5$ ；设计寿命 $\geq 25$  年，系统和设备配置可行性研究通过第三方评

估；能量综合利用效率 $\geq 40\%$ 。

### 3.2 大型柔性叶片气动弹性设计关键技术

**研究内容：**针对大型风电叶片的设计需求，研究大型柔性叶片气动弹性设计关键技术，自主建立大型柔性叶片动态仿真模型和设计方法。具体包括：湍流风况下大型柔性风电叶片气动-结构耦合动态响应模拟和测试技术；大型柔性叶片气弹稳定性机理和破坏性颤振预测技术；大型柔性风电叶片被动降载和颤振控制技术；基于气弹耦合效应的大型叶片高效、低载、轻量化设计技术。

**考核指标：**自主开发风电叶片动态仿真软件 1 套，通过测试验证，动态变形和动态载荷计算误差 $\leq 15\%$ ；提出适用于大型柔性风电叶片颤振的工程判据，通过实验或测试验证并形成工具包 1 个，颤振速度预测误差 $\leq 15\%$ ；叶根疲劳载荷降低 $\geq 3\%$ ，叶根极限载荷降低 $\geq 5\%$ ，颤振边界 $\geq$ 风轮额定转速的 120%；耦合气动弹性关键技术，自主开发大型柔性叶片设计软件 1 套，满足 90m~120m 叶片设计需求，并应用于 100m 级风电叶片设计，所设计叶片最大风能吸收效率  $C_{Pmax} \geq 0.49$ ，相对于同级别叶片减重 $\geq 2\%$ 。

## 4. 可再生能源耦合

### 4.1 可离网型风/光/氢燃料电池直流互联与稳定控制技术

**研究内容:** 针对风能、太阳能与氢能多元耦合独立微网, 着重突破氢能支撑的可离网型风/光/储/氢燃料电池直流互联系统安全、稳定、经济运行的关键技术。具体包括: 氢能支撑的可离网型风/光/储/氢燃料电池直流互联系统部件参数优化匹配设计技术; 规模高效制氢、储氢及燃料电池汽车供氢技术; 高效燃料电池发电技术; 微网废热综合利用技术; 复合储能技术; 直流微网变流技术, 包括并网双向直流变换器、储能双向直流变换器、光伏直流变换器、制氢直流变换器、燃料电池直流变换器、风电交直流变换器; 波动性发电与无序快充、规模制氢动态负载下, 直流微网功能安全、能量管理、电压支撑及电压波动平抑技术。

**考核指标:** 形成离网技术示范平台: 满足不少于 10 辆氢能燃料汽车加氢、50 辆纯电动车直流快充需求, 发电能力  $\geq 1.5\text{MW}$ , 可离网连续运行  $\geq 168\text{h}$  (7 天), 供热能力  $\geq 100\text{kW}$ , 制氢、供氢规模  $\geq 100\text{kg/天}$ ; 氢气纯度  $\geq 99.99\%$ ; 储氢能力  $\geq 200\text{kg}$ ; 氢燃料电池  $\geq 150\text{kW}$ ; 热电综合利用效率  $\geq 80\%$ ; 电池储能  $\geq 1\text{MW}/500\text{kWh}$ ; 双向直流变换器  $-90\% \sim 90\%$  电流响应时间  $\leq 15\text{ms}$ ; 单向变换器  $0 \sim 90\%$  电流响应时间  $\leq 10\text{ms}$ ; 直流微网电压纹波  $\leq 5\%$ ; 微网监控与能量管理系统: 可支持监测点  $\geq 100$  个, 数据采集频率  $\geq 1\text{Hz}$ , 控制指令响应时间  $\leq 100\text{ms}$ 。