

附件 3

“可再生能源与氢能技术”重点专项

2018 年度项目申报指南

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 2018 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：大幅提升我国可再生能源自主创新能力，加强风电、光伏等国际技术引领；掌握光热、地热、生物质、海洋能等高效利用技术；推进氢能技术发展及产业化；支撑可再生能源大规模发电平价上网，大面积区域供热，规模化替代化石燃料，为能源结构调整和应对气候变化奠定基础。

本重点专项按照太阳能、风能、生物质能、地热能与海洋能、氢能、可再生能源耦合与系统集成技术 6 个创新链（技术方向），共部署 38 个重点研究任务。专项实施周期为 5 年（2018-2022 年）。

按照分步实施、重点突出的原则，2018 年拟在 6 个技术方向启动 32~64 个项目，拟安排国拨经费总概算为 6.565 亿元。凡企

业牵头的项目须自筹经费，自筹经费总额与国拨经费总额比例不低于 1:1，应用示范类项目自筹经费总额与国拨经费总额比例不低于 2:1。

项目申报统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向进行。除特殊说明外，拟支持项目数均为 1~2 项。项目实施周期不超过 4 年。申报项目的研究内容须涵盖该二级标题下指南所列的全部考核指标。项目下设课题数原则上不超过 5 个，每个课题参研单位原则上不超过 5 个。项目设 1 名项目负责人，项目中每个课题设 1 名课题负责人。

指南中“拟支持项目数为 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分评价相近、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. 太阳能

1.1 钙钛矿/晶硅两端叠层太阳能电池的设计、制备和机理研究（基础研究类）

研究内容：为探索新型高效低成本叠层太阳能电池技术，开展钙钛矿/晶硅两端叠层太阳能电池的结构设计、器件制备及其机理的基础研究。具体包括：叠层电池能带匹配设计与光电特性优化；

叠层电池载流子输运机制及稳定性机理研究；叠层电池低光电损耗隧穿结和高效陷光结构设计与实现；低温低离子轰击透明导电薄膜沉积机理及制备技术；叠层电池模块与百瓦户外系统设计与验证。

考核指标：获得低光电损耗隧穿结设计方案，阐明叠层电池载流子输运机制；获得可实用化的钙钛矿/晶硅叠层电池制备技术途径；钙钛矿/晶硅两端叠层太阳电池效率 $\geq 23\%$ （面积 $\geq 0.5\text{cm}^2$ ）、 $\geq 18\%$ （面积 $\geq 10\text{cm}^2$ ）；透明钙钛矿太阳电池效率 $\geq 16\%$ （面积 $\geq 0.5\text{cm}^2$ ）；建成百瓦级叠层电池户外验证系统。

1.2 柔性衬底铜铟镓硒薄膜电池组件制备、关键装备及成套工艺技术研发（共性关键技术类）

研究内容：为解决柔性衬底薄膜电池及组件产业发展的技术瓶颈，开展基于柔性衬底高效率铜铟镓硒薄膜电池组件关键装备及共性关键技术研究。具体包括：大面积均匀铜铟镓硒有源层及其功能层薄膜制备和工艺优化；柔性衬底元素扩散及其对电池性能影响；铜铟镓硒薄膜电池封装工艺及产品研发；铜铟镓硒薄膜电池和组件的成套工艺技术，柔性组件光衰机制及对长期可靠性影响研究；大面积柔性铜铟镓硒薄膜电池卷对卷关键装备。

考核指标：实现铜铟镓硒薄膜电池卷对卷柔性衬底清洗、有源层和功能层制备等关键装备国产化，完成成套工艺技术研发和

示范线建设，实验室柔性电池效率 $\geq 21\%$ （面积 0.5cm^2 ），示范线量产柔性薄膜电池组件平均效率 $\geq 16.50\%$ （面积 0.5m^2 ），建成年产能 10MW 柔性衬底铜铟镓硒薄膜电池示范生产线，设备国产化率达到 80%，原材料国产化率达到 90%，建立 100kW 组件示范电站。

1.3 高效 P 型多晶硅电池产业化关键技术（共性关键技术类）

研究内容：为解决高效率低成本多晶硅太阳电池产业发展的技术瓶颈，开展高效 P 型多晶硅电池产业化关键技术研究。具体包括：高效多晶硅电池结构设计和仿真技术、高陷光多晶硅电池绒面制备技术；电池表面低复合钝化技术、新型 PN 结/背场结构的设计和制备技术；高效 P 型多晶硅电池效率衰减控制技术；研制先进高陷光制绒等关键装备；高效 P 型多晶硅太阳电池和组件量产成套工艺检测技术和标准。

考核指标：完成基于先进结构的 P 型多晶硅电池关键技术研究 and 示范线建设，实验室电池（面积 400mm^2 ）最高正面效率 $\geq 22.50\%$ ；示范线量产电池（尺寸 $> 156\text{mm} \times 156\text{mm}$ ）正面平均效率 $\geq 21.50\%$ 、年产能 $\geq 80\text{MW}$ ，电池成本 ≤ 1.4 元/Wp；先进高陷光制绒等关键装备实现国产化并应用于示范线，示范线设备国产化率超过 80%；建成容量不小于 500kWp 示范电站；形成不少于 2 项技术标准草案，申请发明专利 5 项以上。

1.4 可控衰减的 N 型多晶硅电池产业化关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对进一步提升多晶硅电池转化效率、降低成本的需求，开展可控衰减的 N 型多晶硅电池产业化关键技术研究。具体包括：N 型多晶硅电池衰减机制和衰减控制技术；N 型多晶硅锭均匀掺杂和缺陷控制技术；N 型多晶硅电池双面钝化材料、结构和工艺技术、低接触电阻金属化技术；研制高效均匀掺杂 N 型硅铸锭炉等关键装备；可控衰减的 N 型多晶硅太阳电池和组件量产成套关键工艺检测技术和标准。

考核指标：完成可控衰减的高效 N 型多晶硅电池关键技术研究 and 示范线建设，实验室电池（面积 400mm^2 ）最高正面效率 $\geq 22.50\%$ ；示范线量产电池（尺寸 $> 156\text{mm} \times 156\text{mm}$ ）正面平均效率 $\geq 21.50\%$ 、年产能 $\geq 45\text{MW}$ 、电池成本 ≤ 1.5 元/Wp；N 型硅铸锭炉等关键装备实现国产化并应用于示范线，示范线设备国产化率超过 80%；建成容量不小于 500kWp 示范电站；形成不少于 2 项技术标准草案，申请发明专利 5 项以上。

1.5 双面发电晶硅电池产业化关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对我国光伏发电对高功率组件的需求，开展高效双面发电同质晶硅电池产业化关键技术研究。具体包括：先进双面电池结构设计和仿真技术，可同时实现双面高效率的电池前/背面

钝化技术；适合于高效双面电池 PN 结/背场形成的精密掺杂技术；电池前/背面低接触电阻金属化技术；研制双面电池用高效硼掺杂等关键装备；双面发电晶硅电池和组件量产成套工艺技术。

考核指标：完成高效双面发电晶硅电池产业化关键技术研究 and 示范线建设，实验室晶硅双面电池最高效率（正面效率，面积 400mm^2 ） $\geq 24\%$ ；示范线双面电池平均效率（正面效率，尺寸 $156\text{mm} \times 156\text{mm}$ 准方形） $\geq 23\%$ 、电池双面效率比 $\geq 90\%$ 、年产能 $\geq 45\text{MW}$ 、电池成本 ≤ 1.7 元/Wp；高效硼掺杂等关键装备实现国产化并应用于示范线，核心设备国产化率达到 80%；建成容量不小于 500kWp 示范电站，相比单面组件发电量增益 $\geq 20\%$ ；形成不少于 2 项技术标准草案，申请发明专利 5 项以上。

1.6 晶硅光伏组件回收处理成套技术和装备（共性关键技术类）

研究内容：针对我国晶硅光伏组件寿命期后大规模退役问题，研究光伏组件环保处理和回收的关键技术及装备，实现主要高价值组成材料的可再利用。具体包括：各种组件低成本绿色拆解技术、构成组件各种材料的高效环保分离技术；新型材料及新结构组件的环保处理技术和实验平台；组件低损拆解及高价值组分材料高效分离等关键装备；晶硅光伏组件环保处理成套工艺技术；光伏组件回收政策、标准和评价体系。

考核指标：分别建成基于物理法和化学法的晶硅光伏组件环保处理的成套工艺示范线，每条示范线产能 $\geq 10\text{MW}/\text{年}$ 、质量回收率 $\geq 92\%$ ，能耗 $\leq 27\text{kWh}/\text{kW}$ 组件，银回收率 $\geq 93\%$ 、硅回收率 $\geq 95\%$ 、铜回收率 $\geq 97\%$ ；形成光伏组件环保处理技术路线图、绿色评价方法、标准和政策机制建议。

1.7 新型光伏中压发电单元模块化技术及装备（共性关键技术类）

研究内容：为突破高效率、低成本大型光伏电站新型模块化系统及装备技术瓶颈，开展光伏中压发电单元模块化技术及装备研究。具体包括：新型光伏中压电力电子装置拓扑结构、电磁兼容及建模仿真技术；高效直流升压 MPPT（最大功率点跟踪）控制器关键技术；中压并网逆变器关键技术；新型光伏中压发电单元模块化设计及系统集成优化技术；新型光伏中压发电单元示范及实证研究。

考核指标：MPPT 控制器额定功率 $\geq 80\text{kW}$ ；中压并网逆变器单机额定功率 $\geq 5\text{MW}$ ，并网电压 $\geq 35\text{kV}$ ，最高效率 $\geq 98\%$ ；示范工程容量 $\geq 10\text{MW}$ 。

1.8 分布式光伏系统智慧运维技术（共性关键技术类）

研究内容：针对分布式光伏规模化发展所面临的运维难度大、成本高、效率低等问题，开展分布式光伏智慧运维关键技术研究。

具体包括：大规模分布式光伏系统、部件运维数据及电能质量、故障录波数据实时采集及存储技术；光伏支路、逆变器实时监测、故障诊断、异常状况预警和系统火灾预警技术；光伏组件热斑、隐裂等缺陷诊断分析技术；分布式光伏智能运维、巡检技术、安全生产可穿戴智能巡检装备；分布式光伏智慧运维大数据云平台研制。

考核指标：智慧运维大数据云平台可接入分布式光伏系统 ≥ 1000 个，可用率 $\geq 99\%$ ；智慧运维示范系统接入分布式光伏系统 ≥ 100 个，总容量 $\geq 20\text{MW}$ ，异常预警准确率 $\geq 80\%$ ，组件缺陷诊断有效率 $\geq 80\%$ 。

1.9 典型气候条件下光伏系统实证研究和测试关键技术（共性关键技术类）

研究内容：开展典型气候条件下光伏系统及部件高性能仿真、户外测试和实证平台集成研究，为我国建立国际互认的第三方公共平台提供支撑。具体包括：关键气候因素对光伏系统影响研究和建模技术；考虑多物理场（辐照、温度、风速、载荷等）的大型光伏系统高性能仿真和虚拟现实设计技术；典型气候条件下光伏系统实证平台模块化设计集成和灵活重构技术；典型气候条件下光伏组件、逆变器及系统能效测试技术；典型气候条件下光伏组件、逆变器及系统实证技术规范 and 标准体系研究。

考核指标：大型光伏系统仿真设计平台可设计系统规模 $\geq 1\text{GW}$ ，可仿真物理场 ≥ 4 种；典型气候条件（湿热、亚湿热、干热、暖湿、海洋、寒湿、高原）下光伏系统实证平台 ≥ 7 个，每个平台实证测试容量 $\geq 5\text{MW}$ 并包括光伏组件、新型逆变器户外测试平台；光伏组串伏安特性测试电压等级 $\geq 1500\text{V}$ ，光伏组件能效测试不确定度 $\leq 2.5\%$ ，光伏系统能效测试不确定度 $\leq 5\%$ ，不确定度分量 ≥ 6 个；形成光伏关键部件及系统实证技术规范 and 测试标准体系。

1.10 超临界 CO_2 太阳能热发电关键基础问题研究（基础研究类）

研究内容：针对太阳能热发电提高效率与降低成本的需求，研究超临界 CO_2 太阳能热发电的聚光/集热/储热/发电部分关键器件及系统集成理论和方法。具体包括：与聚光场耦合的非均匀能流下高温高可靠吸热器工作原理及设计方法；高温储热方法、储热装置动态失效与可靠运行机理；非稳态变物性超临界 CO_2 与储热介质的湍流换热特性及换热器设计方法；适于超临界 CO_2 太阳能热发电系统的压气机与透平工作原理及设计方案；超临界 CO_2 太阳能热发电系统的光热耦合原理与集成优化。

考核指标：提出超临界 CO_2 太阳能热发电的集热/储热/换热/发电系统设计方法；研究超临界 CO_2 太阳能热发电技术，高效聚光器/聚光场在吸热器表面能流密度达到 600kW/m^2 以上，太阳能

吸热器输出吸热介质温度大于 700℃，集热功率不低于 800kW，系统可连续运行产生 550℃ 以上超临界 CO₂，建成发电功率不小于 200kW 的超临界 CO₂ 太阳能热发电实证平台。

2. 风能

2.1 风力发电复杂风资源特性研究及其应用与验证（基础研究类）

研究内容：研究我国典型地形和台风影响地区的风资源特性及其数值分析方法，为风电设计软件提供合理的输入条件。具体包括：典型地形和台风影响地区距地面 300 米高度内湍流风特性时空变化特征及其形成机理；大型风电机组和风电场设计湍流风参数分类及测量方法；典型地形的风电场风资源计算流体力学（CFD）模式；台风影响下的风电场极端风况 CFD 模式；风电场非定常湍流风场的多尺度耦合数值模拟方法。

考核指标：典型地形和台风影响地区的湍流风特性分类指标库及其测量与计算方法指南；典型地形风电场选址风资源评估软件，并选取至少 4 种典型地形风电场进行验证；台风影响地区风电机组风险评估软件预测值与观测最大风速对比误差小于 10%，并选取已建沿海风电场进行验证。

2.2 15MW 风电机组传动链全尺寸地面试验系统研制（共性关键技术类）

研究内容：针对我国缺乏大型风电机组第三方全尺寸公共试验系统以及海上风电机组研发测试的迫切需求，研制 15MW 风电机组传动链全尺寸地面试验系统。具体包括：风电机组传动链全尺寸地面试验系统多参量耦合机理及典型工况提取方法；大型风电机组全工况仿真及虚拟测试技术；传动链全尺寸地面试验系统运行控制与数据采集分析技术；传动链全尺寸地面试验系统研制与集成；大型风电机组传动链全尺寸试验技术。

考核指标：传动链全尺寸地面试验系统可测试的风电机组最大额定容量 15MW，可模拟 6 自由度风载荷并具备传动链及关键部件的功能、性能及疲劳寿命试验能力；地面试验系统全工况仿真和虚拟测试平台；全尺寸地面试验系统运行控制系统；选取至少 1 台不低于 6MW 的风电机组进行传动链全尺寸地面试验验证；形成大型风电机组全尺寸、全工况试验测试标准及规范。

2.3 大型海上风电机组叶片测试技术研究及测试系统研制（共性关键技术类）

研究内容：针对大型海上风电机组第三方叶片测试需求，开展 120 米级风电叶片全尺度结构力学测试技术体系研究。具体包括：叶片全尺度静力测试与双自由度疲劳测试技术；叶片破坏评价与分析技术；叶片运行工况实时仿真技术及双自由度加载控制技术；叶片全运行周期内结构安全性验证测试技术要求与准则；

满足 120 米级叶片全尺度结构力学测试系统研制。

考核指标：建立 120 米级叶片测试技术体系，其中静态载荷协同加载技术可实现载荷偏差率 $\leq 5\%$ ；双自由度疲劳加载技术可实现叶片挥舞、摆振方向的耦合疲劳测试；建立适用于大型海上风电机组 120 米级叶片的公共测试系统，具备多点协同静力加载能力与双自由度疲劳加载能力；可实现极限载荷 $\geq 120000\text{kNm}$ 和疲劳载荷 $\geq 60000\text{kNm}$ ；形成叶片全运行周期内结构安全性验证测试相关标准；完成 1 项 100 米级叶片测试工作。

2.4 大型海上风电机组及关键部件优化设计及批量化制造、安装调试与运行关键技术（共性关键技术类）

研究内容：为满足海上规模开发风电的需求，基于已经安装运行的 5MW 及以上风电机组样机及国内自主研发的关键部件，开展大型海上风电机组及关键部件优化设计、制造、安装调试运行全链条关键技术研究，并应用验证。具体包括：大型海上风电机组优化设计技术，整机批量组装专用工艺、台架试验技术；主控、变流器、变桨、监控系统协同优化控制及批量化制造工艺技术 and 检测装备；叶片及传动链关键部件的优化设计及批量制造工艺和检测技术；机组及部件智能运输、现场批量安装调试运行工艺技术和检测装备；海上风电机组及主要部件相关标准规范。

考核指标：海上直驱和增速型 2 种风电机组（ $\geq 5\text{MW}$ ）取得

整机型式认证，所用叶片、电控（主控、变流器、变桨距）、发电机、增速型风电机组的齿轮箱等主要部件实现国产化；整机及电控等主要部件至少在 10 万千瓦以上风电场实现技术验证，并网运行时间 1 年以上，平均故障间隔时间>3000h；完成整机集成全套工艺及台架试验平台研发；完成现场安装调试运行相关工艺及检测平台研制；形成大型海上风电机组及关键部件相关技术规范 and 测试标准体系。

3. 生物质能

3.1 纤维素类生物质生物、化学、热化学转化液体燃料机理与调控（基础研究类）

研究内容：针对制约纤维素类生物质转化液体燃料效率的基础性问题，开展纤维素类生物质生物、化学、热化学转化机理与调控机制研究。具体包括：纤维素混合糖共代谢机制与基因调控；纤维素乙醇（丁醇）高产机理与动力学模型；纤维素类生物质化学催化转化液体燃料机理及调控；生物质气化调变、合成气催化净化、重整催化制备液体燃料的转化机制；分子层面的纤维素类生物质多组分耦合热分解机理及产物定向调控机制。

考核指标：揭示纤维素类生物质混合糖发酵乙醇（丁醇）机理，提出高效转化新途径。纤维素混合糖乙醇（丁醇）转化率 $\geq 90\%$ ；纤维素类生物质转化为车用液体燃料能量转化率 $\geq 37\%$ ，转化为航

空用液体燃料能量转化率 $\geq 28\%$ 。

3.2 纤维素类生物质催化制备生物航油技术（共性关键技术类）

研究内容：针对纤维素类生物质生物航油转化效率低、经济性差的问题，开展纤维素类生物质转化生物航油技术工艺研究。具体包括：纤维素类生物质高效水热定向解聚技术；解聚产物碳链调控与加氢催化制备长链烷烃技术；木质素水热液化加氢提质制取芳烃及环烷烃技术；纤维素类生物质制取生物航油关键技术工程验证；生物航油全生命周期评价。

考核指标：构建纤维素类生物质制取生物航油工艺技术体系。催化剂寿命 $\geq 4000\text{h}$ ，纤维素和半纤维素制备生物航油转化率 $\geq 85\%$ ，生物航油成本 ≤ 9000 元/吨，完成纤维素类生物质制取生物航油千吨级示范生产线运行验证；生物航油油品质量达到生物航油标准（ASTM-D7566）要求，完成生物航油发动机台架试验。

3.3 纤维素类生物质水（醇）解制备酯类燃料联产化学品技术（共性关键技术类）

研究内容：针对纤维素类生物质转化酯类燃料过程中全组分高效利用的关键问题，研究清洁高效酯类燃料制取联产高附加值化学品的共性技术与工艺途径，实现纤维素类生物质全组分高效利用。具体包括：纤维素类生物质组份清洁分离预处理技术；分

离组分催化水（醇）解制备酯类燃料联产高附加值化学品技术；水（醇）解酯化产物低能耗高效分离技术；纤维素类生物质水（醇）解制备酯类燃料联产化学品关键技术工程验证；酯类燃料复配汽油或柴油技术及全生命周期评价。

考核指标：构建纤维素类生物质组分清洁分离以及催化水（醇）解制备酯类燃料联产高附加值化学品工艺技术体系。纤维素类生物质清洁预处理分离过程不使用二次污染化学品，木质素脱除率 $\geq 80\%$ ，纤维素水（醇）解酯类燃料转化率 $\geq 85\%$ ，纤维素酯类燃料联产化学品综合成本 ≤ 7000 元/吨，完成纤维素酯类燃料联产化学品千吨级示范生产线运行验证；在国六汽油或柴油中复配 10%酯类燃料，其主要污染物排放下降 15%以上。

3.4 农业秸秆酶解制备醇类燃料及多联产技术与示范（应用示范类）

研究内容：针对纤维素醇类燃料经济性差的问题，开展农业秸秆制备醇类燃料及多联产的生物炼制技术与示范。具体包括：农业秸秆原料高效清洁预处理及低成本纤维素酶制剂的制备与复配技术；酶解糖化与乙醇、丁醇发酵耦合工艺，同时代谢五碳糖和六碳糖技术；酶解糖液直接发酵乙醇、丁醇与分离耦合工艺，超低能耗乙醇、丁醇膜法分离集成技术；农业秸秆制备燃料乙醇、丁醇多联产生物炼制千吨级示范生产线；农业秸秆制备燃

料乙醇、丁醇，以及沼气、复合肥多联产万吨级示范生产线。

考核指标：吨燃料乙醇的酶制剂成本不高于 850 元，吨秸秆燃料乙醇得率不低于 170kg，纤维素水解混合糖产丁醇、乙醇等得率不低于 0.42g 溶剂/g 总糖，燃料乙醇综合成本 ≤ 7000 元/吨，建立膜法分离集成的千吨级生物炼制示范生产线；建立农业秸秆制备乙醇、丁醇年产 3 万吨以上示范生产线。

4. 地热能与海洋能

4.1 干热岩能量获取及利用关键科学问题研究（基础研究类）

研究内容：针对我国干热岩资源开发利用的需求，重点研究干热岩能量获取及转换与高效利用中的关键科学技术问题。具体包括：干热岩储层能量评价方法与靶区优选；干热岩能量获取（现场压、控裂）方法与测井技术；现场微震监测及数据反演与人工储层裂隙网络评价方法；流体在人工储层多物理场耦合流动传热机理与取热速率优化方法；干热岩发电及综合利用技术方案与经济性评价。

考核指标：优选 1~2 个地层温度 $\geq 180^{\circ}\text{C}$ 的干热岩开发靶区；人工压裂体积 $\geq 1 \times 10^6 \text{m}^3$ ，储层渗透率提高 10 倍以上；人工压裂后反演的裂隙网络尺度误差 $\leq$ 井深的 0.2%；多场耦合模型能量获取的预测不确定度 $\leq 20\%$ ；干热岩人工储层的产热率 $\geq 2000 \text{kW}_{\text{th}}$ 。

4.2 海洋能资源特性及高效利用机理研究（基础研究类）

研究内容：针对自主创新海洋能技术的需求，研究海洋能资源特性评估方法及高效利用机理。具体包括：重点海域海洋能资源特性，海洋能装置与海洋环境耦合机制；低水头潮汐水力转换机理，新型双向全贯流式潮汐发电原理；潮流能转换机理，新型高效潮流能发电技术；波浪能转换机理，新型高效波浪能发电技术；波浪能与潮流能装置和模型实验室及实海况测试技术方法与验证；我国海洋能发展战略。

考核指标：建立海洋能资源评估方法体系，海洋能装置与海洋环境耦合模型及验证；20kW 等级双向全贯流潮汐发电原理样机，正向发电效率 $\geq 85\%$ ，反向发电效率 $\geq 75\%$ ；1kW 以上新型高效潮流能发电技术，整机转换效率 $\geq 35\%$ ；1kW 以上新型高效波浪能发电技术，整机转换效率 $\geq 18\%$ ；波浪能和潮流能装置实验室及实海况测试方法，针对多种模型和装置开展测试及验证；2025 年我国海洋能发展路线图。

5. 氢能

5.1 太阳能光催化、光电催化和热分解水制氢基础研究（基础研究类）

研究内容：面向高效低成本绿色制氢需求，研究太阳能光催化、光电催化和热分解水制氢的理论与方法。具体包括：光催化剂微结构对光吸收、光生载流子分离、运输的影响机制及高效光

吸收、宽光谱响应光催化制氢材料体系的构建；光催化制氢反应器催化反应动力学及其与太阳能聚光系统耦合优化设计方法；光电催化制氢多层复合界面间的协同作用和光生电荷在各层间的传输机制及水分解反应动力学；高效聚焦太阳能催化光电分解水制氢系统的构建及光热能综合利用；直接太阳能聚焦光热耦合分解水制氢机理、制氢反应体系设计及系统构建。

考核指标：揭示光催化、光电催化分解水制氢构效关系和多界面能量传递与损失机制；建立太阳能光催化、光电催化和热分解水制氢反应器设计理论与方法；太阳能分解水制氢转化效率 $\geq 10\%$ ，稳定性 $\geq 3000\text{h}$ 。

5.2 基于储氢材料的高密度储氢基础研究（基础研究类）

研究内容：面向高密度安全储氢需求，研究基于储氢材料的高密度储氢理论和方法。具体包括：可逆氢化物吸/放氢热力学和动力学调控机理及其双向催化对吸放氢动力学的改良机制；不可逆氢化物可控催化放氢动力学及高集成度放氢系统的构建；储氢新材料的创制及其吸/放氢新机理；储氢系统吸/放氢过程中的氢热耦合机理及高密度设计方法；氢的高密度储运技术路线战略研究。

考核指标：阐明储氢材料吸放氢热力学和动力学调控机理及其构效关系，建立高密度储氢系统设计理论及方法；研制的高密度可逆储氢系统重量储氢密度 $\geq 5.0\text{wt}\%$ ；高集成的不可逆氢化物

可控放氢系统最大放氢密度 $\geq 6.0\text{wt}\%$ ；新一代高容量储氢材料重量储氢密度 $\geq 7.0\text{wt}\%$ 。

5.3 高效固体氧化物燃料电池退化机理及延寿策略研究（基础研究类）

研究内容：针对固体氧化物燃料电池（SOFC）发电过程的长寿命运行关键科学问题开展研究。具体包括：多相、多组分、多尺度、多物理场的燃料电池传热、传质过程及电化学过程；单电池材料（电解质和电极）劣化和单电池性能衰减机理，单电池结构和运行条件对单电池寿命影响及延寿策略；电堆中高温密封、金属连接体和界面接触材料的退化机理及稳定性研究；千瓦级电堆的多物理场耦合模型以及电池温度场—应力场耦合效应与低内应力长寿命电池结构设计；辅助系统（BOP）动静态分析与效率优化的热电管控策略。

考核指标：提出电池传热、传质过程及电化学过程建模和仿真方法；建立千瓦级电堆的多物理场耦合模型；完成长寿命电池的结构设计和验证，单电池性能 $0.6\text{W}/\text{cm}^2@0.7\text{V}$ ，短堆（500W）发电效率 $\geq 60\%$ （以天然气或合成气为燃料，在 $300\text{mA}/\text{cm}^2$ 电流密度条件下），电效率衰减 $\leq 0.5\%/千小时$ （不小于 5000h 测试）；完成 BOP 建模和动静态模拟仿真，提出效率优化与热电管控方法。

5.4 基于低成本材料体系的新型燃料电池研究（基础研究类）

研究内容：针对现有燃料电池成本高技术瓶颈，开展低成本材料体系燃料电池探索。具体包括：质子交换膜燃料电池离子导体内高通量传输通道的可控构筑及化学稳定性影响机制；碱性离子交换膜的阴离子传输机制与结构稳定性；高效氢氧化和氧还原非贵金属催化剂的可控制备及电催化动力学；膜电极微纳结构设计、可控构筑规律和界面演化机制；千瓦级廉价燃料电池堆的结构设计、集成及性能验证。

考核指标：阐明新型高通量质子交换膜和碱性离子交换膜的可控构筑规律；实现单张膜面积 $\geq 1\text{m}^2$ 、厚度均一的可控制备。新型高通量质子交换膜离子电导率 $\geq 0.15\text{Scm}^{-1}$ （ 25°C ），碱性离子交换膜离子电导率（ 25°C ） $\geq 0.06\text{Scm}^{-1}$ ；新型质子膜单电池寿命 $\geq 2000\text{h}$ （工作温度 $\geq 80^\circ\text{C}$ ），碱性离子交换膜单电池稳定工作时间 $\geq 1000\text{h}$ （ 80°C ，以空气为氧化剂）。完成以新型离子膜和非贵金属催化剂构建的千瓦级电堆和验证（以空气为氧化剂）。

5.5 MW 级固体聚合物电解质电解水制氢技术（共性关键技术类）

研究内容：面向燃料电池汽车绿色氢源和利用可再生能源制氢的应用需求，开展高效 MW 级固体聚合物电解质电解水制氢技术研究。具体包括：高活性低成本长寿命电解水制氢催化剂、催

化电极微结构与制氢效率的构效关系；大面积高电流密度膜电极制备技术；适于高工作压力双极板及高导电性、低流阻、抗腐蚀的集电器制备技术；高压、低电耗、高功率密度制氢模块集成技术；适应宽功率波动的制氢系统及控制技术。

考核指标：形成高效固体聚合物电解质电解水制氢样机，样机制氢功率 $\geq 1\text{MW}$ ，额定工况下电解槽直流电耗 $\leq 4.1\text{kWh/m}^3$ ，系统功率调节范围 20-150%，出口氢压 $\geq 3.5\text{MPa}$ 。

5.6 质子交换膜燃料电池长寿命电堆工程化制备技术（共性关键技术）

研究内容：针对质子交换膜燃料电池长寿命需求，研究长寿命电堆工程化制备技术。具体包括：关键材料、膜电极以及双极板理化参数对电堆寿命影响；电堆结构和组装工艺对电堆寿命的影响及失效模式；电堆高耐久性密封组件的高精度原位快速成型技术；系列电堆模块的极板流场、堆型设计及工程化装备制造技术；电堆模块快速在线活化、气密性快速在线检测与装备制造技术。

考核指标：车辆应用电堆额定功率 $\geq 60\text{kW}$ ，电堆功率密度 $\geq 2.5\text{kW/L}$ ；电堆低温冷启动环境温度 -30°C ；电堆在车载工况下实测运行 3000h 后电压下降 $\leq 3\%$ ，电堆预期寿命 $\geq 10000\text{h}$ ，电堆成本 ≤ 1500 元/kW（按产量 10MW/年测算）。发电应用电堆平均单片

电压 $\geq 0.7\text{V}$ ($1\text{A}/\text{cm}^2$), 电堆单片电压(额定功率)标准偏差 $<15\text{mV}$; 电堆额定功率下实测运行 10000h 后电压下降 $\leq 5\%$, 电堆预期寿命 $\geq 20000\text{h}$; 电堆生产能力 ≥ 1000 台/年; 电堆成本 ≤ 3500 元/kW(按产量 10MW/年测算)。

5.7 固体氧化物燃料电池电堆工程化开发(共性关键技术类)

研究内容: 针对固体氧化物燃料电池(SOFC)单电池和电堆的一致性和寿命等技术难题, 开展 SOFC 单电池和电堆的批量生产技术和工艺装备等工程化开发。具体包括: 单电池的结构优化设计以及批量生产工艺技术和装备; SOFC 电堆高温稳定的连接体和密封件结构设计以及批量制备工艺技术; 长寿命电堆结构设计和性能验证; SOFC 电堆小批量制备技术及装备; 单电池、连接体、密封件以及电堆的检测规范。

考核指标: 建立长寿命 SOFC 设计开发体系, 电堆功率 $\geq 1.0\text{kW}$, 初始电效率 $\geq 60\%$, 实测运行 10000h, 10000h 后发电效率 $\geq 55\%$; 预期寿命 $\geq 20000\text{h}$; 电堆冷热循环实测 ≥ 10 次, 冷热循环电效率衰减 $\leq 0.5\%/c$ 次, 可冷热循环次数 ≥ 100 次; 形成 SOFC 单电池和电堆的工程化技术, 电堆产能 $\geq 500\text{kW}/\text{年}$ 。

5.8 燃料电池电堆及辅助系统部件测试技术(共性关键技术类)

研究内容: 针对长寿命燃料电池系统测试要求, 开展电堆及

辅助系统部件测试技术研究。具体包括：大功率燃料电池电堆性能、寿命测试技术和设备，电堆单片电压巡检、内阻测量、健康诊断以及数据分析技术；氢气循环泵、燃料电池电控单元等关键辅助系统部件测试设备；应用工况采集和燃料电池系统寿命试验评价测试方法。

考核指标：燃料电池电堆和辅助系统部件测试设备样机；燃料电池电堆测试系统可测试容量 $\geq 100\text{kW}$ ，测试台动态响应需要模拟实际应用的响应时间，湿度调节响应时间 ≤ 10 秒、流体调节响应时间 ≤ 3 秒、阳极实现主动供氢、氢循环和间断排放供能，提交电堆单片电压分布、具备在线内阻测试功能和健康诊断方法，单片电压测试精度 $\leq 0.1\%$ ，内阻测试精度 $\leq 1\%$ ；建立燃料电池寿命试验评价规范并形成标准建议稿。

6. 可再生能源耦合与系统集成

6.1 风电场、光伏电站生态气候效应和环境影响评价研究(基础研究类)

研究内容：针对我国可再生能源开发利用的生态气候环境影响，开展风电场、光伏电站生态气候效应和环境影响评价研究。具体包括：风电场局地生态气候效应事实、机理及参数化方法研究；光伏电站局地生态气候效应事实、机理及参数化方法研究；大规模风能、太阳能资源开发的气候情景预估及不确定性研究；

风电、光伏行业生命周期环境影响评价研究；气候环境约束下我国风电和光伏产业健康发展对策研究。

考核指标：揭示海陆风电场、不同下垫面光伏电站局地生态气候效应事实和机理，发展参数化方法；提交我国大规模开发风能、太阳能资源的 10km 分辨率区域气候情景预估；提出风电和光伏行业生命周期环境影响评价方法，建立至少 15 种风电、光伏行业产品生命周期清单数据库；建立气候环境约束下风电光伏区域优化布局模型，提出产业健康发展对策。

6.2 特色小镇可再生能源多能互补热电联产关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对我国特色小镇绿色低碳发展的需求，形成西部和东部特色小镇完全依赖可再生能源的热电联产系统解决方案。具体包括：多时空多类型可再生能源热电耦合利用系统结构和规划设计方法；基于可再生能源的小镇热电联产能源站设计集成、控制及储能技术；与绿色低能耗建筑结合的可再生能源热电联产系统设计集成及能量管理技术；镇级可再生能源热电联产系统先进控制和高效能量管理技术；西部和东部特色小镇可再生能源热电联产系统示范。

考核指标：系统规划设计软件包含可再生能源 ≥ 5 种；建立西部 500 户以上和东部 1500 户以上特色小镇的可再生能源热电联

产示范系统，总装机 $\geq 20\text{MW}$ ，其中东部和西部小镇能源站各 1 座、包含可再生能源 ≥ 3 种，建设可再生能源热电联产系统 ≥ 3 个，可再生能源多能互补系统 100%满足小镇能源需求。

6.3 独立运行的微型可再生能源系统关键技术研究（共性关键技术类）

研究内容：针对我国海岛（礁）、极区、边远地区资源和气候特点，开展独立运行的微型可再生能源系统关键技术研究及装备研制。具体包括：独立运行的微型可再生能源系统资源分析、规划设计和性能评估通用方法及软件；海岛（礁）光伏/风电/海洋能等多能互补发电系统；适应极区高寒、极昼/夜且可实现与柴油发电系统兼容的极区科考站可再生能源发电系统，极区可再生能源移动供电平台；边远地区离网光伏系统剩余性能评估、扩展重构和互联技术；高耐候性光伏组件、储能装置及电力电子装备。

考核指标：海岛（礁）微型可再生能源发电系统 $\geq 100\text{kW}$ ；极区科考站发电系统 $\geq 50\text{kW}$ ，考核运行 0.5 年以上；移动供电平台 $\geq 500\text{W}$ ；改造西部离网光伏电站 ≥ 10 座，总装机 $\geq 500\text{kW}$ ；极区科考站可再生能源发电系统和移动供电平台部件及系统的长期工作最低温度 -50°C ，海岛多能互补发电部件及系统最大湿度 $\geq 90\%$ 。

6.4 大规模风/光互补制氢关键技术研究及示范（应用示范类）

研究内容：针对冬奥赛区对绿色、低碳能源的重大需求，开展风/光互补制氢系统关键技术研究及示范。具体包括：基于直流微网的离/并网风电/光伏制氢、储氢系统设计集成、运行控制与能量管理技术；适应离/并网运行及直流微网接入的大功率风电机组、光伏控制/逆变关键技术和设备；适应宽功率波动环境下的高适应性电解水制氢关键技术及设备；风/光互补制氢系统数据采集及监控、安全保护技术和设备；大规模风电/光伏互补制储氢系统应用示范。

考核指标：张家口冬奥赛区大规模风/光互补制储氢示范系统，风电场、光伏电站总容量不小于 100MW；其中用于制氢、适应离/并网运行及直流微网接入的大功率风电机组和光伏电站，风电机组总容量 $\geq 6\text{MW}$ ，光伏电站容量 $\geq 2\text{MW}$ ；高适应性、模块化电解制氢设备，制氢纯度 $\geq 99.995\%$ ，制氢量 $\geq 800\text{Nm}^3/\text{h}$ ，产氢量调整范围 20-135%；建成风/光制氢系统多能源监控中心。