

“可再生能源技术”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“可再生能源技术”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：聚焦我国可再生能源产业升级和大规模开发的重大科学技术需求，强基础、谋前沿、重交叉，突破新型和薄膜光伏电池、可量产高效晶硅电池，新型大功率风能利用、深远海超大型风电机组以及生物质制备液体燃料等系列关键技术，解决制约产业发展的基础、前沿与瓶颈技术问题，全面提升太阳能光伏、风能、生物质燃料等可再生能源自主创新能力。推动光伏利用效率不断提升、海上风电大规模开发、生物质制备燃料实现产业化及可再生能源多元化开发利用。

2022 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕太阳能光伏、风能、生物质燃料、交叉与基础前沿 4 个技术方向，拟启动 24 项指南任务，拟安排国拨经费 4 亿元。其中，围绕太阳能光伏、风能等技术方向，拟部署 4 个青年科学家项目，拟安排国拨经费 1200 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）项目不要求配套经费，

共性关键技术类项目和应用示范类项目要求配套经费与国拨经费比例不低于 2:1。

本重点专项部分项目采用部省联动方式组织实施（项目名称后有标注）。部省联动共性关键技术类项目，各推荐渠道均可推荐申报，但申报项目中应不少于 1 个课题由江苏省有关单位作为课题牵头单位。部省联动应用示范类项目，由江苏省科技厅推荐，江苏省科技厅应面向全国组织优势创新团队申报项目，须在江苏省落地实施。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊说明外，每个方向拟支持项目数为 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；共性关键技术类和应用示范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，项目中每个课题设 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. 太阳能光伏

1.1 高效率晶硅太阳电池及其组件制备技术(共性关键技术类)

研究内容：面对大规模光伏发电对晶硅电池持续提高效率和降低成本的需求，开展大尺寸高效晶硅电池及其组件关键技术研发。具体包括：全钝化接触结构界面的电荷分离和选择性传输机制、表面/界面缺陷能级和能带结构调控及匹配方案；不同掺杂类型接触钝化材料、低成本银浆材料、新型金属化材料及电池应用；用于改善基体材料杂质和缺陷状态的先进钝化技术开发；高效晶硅电池结构设计、图形化和钝化接触融合技术，电池稳定性及其控制技术；钝化接触结构接触电阻和复合损失分布特性，适用于高效晶硅电池的低损耗金属化技术、新型组件互联技术和高可靠性组件封装技术；高产能钝化接触沉积设备和封装设备。

考核指标：晶硅电池实验室光电转换效率不小于 26.8%（面积不小于 4 平方厘米）。开发出高效晶硅太阳电池量产成套工艺、关键材料与核心设备，建立兆瓦级中试线，量产批次太阳电池光电转换效率平均不小于 25.8%（面积不小于 182×182 平方毫米）；组件光电转换效率平均不小于 24%（组件不少于 60 片电池）。

1.2 基于免掺杂钝化接触的新型晶硅太阳电池机理及关键技术（基础研究类）

研究内容：面向光伏产业进一步降低成本和工艺简化的需求，

开展基于免掺杂钝化接触的新型晶硅太阳能电池机理及关键技术研发。具体包括：高功函数的宽带隙空穴选择性传输材料体系和低功函数的宽带隙电子选择性传输材料体系的设计与实现；高、低功函数材料/晶硅异质结界面的电荷分离内动力及新机制；电荷在高、低功函数材料/晶硅界面的选择性传输机制；表面/界面缺陷能级和能带结构调控及匹配方案；具有高、低功函数的宽带隙电荷选择性传输材料大面积均匀制备技术；不同技术下实现免掺杂钝化薄膜和电池的研究；适用于免掺杂钝化接触的晶硅电池的电极金属化技术；免掺杂钝化接触晶硅电池稳定性研究及控制技术。

考核指标：揭示阐明免掺杂钝化接触的新型晶硅太阳能电池载流子分离和输运机制；设计并制备出不小于 5.5 电子伏特的高功函数和不大于 4.0 电子伏特的低功函数材料。研制的免掺杂钝化接触的新型晶硅太阳能电池实验室光电转换效率不小于 25.5%（面积不小于 4 平方厘米），大面积电池光电转换效率不小于 24.2%（面积不小于 156×156 平方毫米）；在 1 个太阳辐照度连续光照 1500 小时情况下，太阳能电池光电转换效率衰退率不大于 2%。

1.3 高效钙钛矿基薄膜叠层太阳能电池器件机理及关键技术（共性关键技术类，部省联动任务）

研究内容：面向新型薄膜太阳能电池，研发低能耗、低成本的高效钙钛矿基薄膜太阳能电池，具体包括：开展薄膜型钙钛矿/钙钛矿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，包括钙钛矿材料的宽幅带隙调控及叠层电池带隙匹配设计；适于

钙钛矿/钙钛矿叠层电池的隧穿结设计和界面能级调控；叠层电池器件衰减机制及稳定性提升策略；大面积叠层电池组件制备技术及关键设备研制等。

考核指标：获得带隙宽幅调控的钙钛矿材料和制备技术，钙钛矿薄膜带隙在 1.2 至 1.8 电子伏特间可调；获得低光电损耗隧穿结设计方案，并阐明载流子复合机制；实现钙钛矿/钙钛矿两端叠层电池效率不小于 28.5%（面积不小于 1 平方厘米），小尺寸叠层电池模块效率不小于 24%（面积不小于 20 平方厘米）；叠层电池封装后在 1 个太阳辐照度连续光照 1000 小时情况下，电池光电转换效率衰退率不大于 8%；开发出可实用化的叠层电池制备技术及关键装备，并建设叠层电池研发示范线，中试线叠层电池模块转换效率不小于 22%（面积不小于 400 平方厘米）。

1.4 柔性高效高稳定有机太阳能电池及模组研究（共性关键技术类）

研究内容：面向下一代柔性、可穿戴及建筑一体化光伏技术，开展具有本征高效柔性新型有机及高分子光电转换材料、相关机理及器件关键技术研究。具体包括：高效、高稳定和低成本有机光伏材料和器件设计及制备；适用于半透明和叠层器件的有效吸光范围可达红外 II 区的高效有机电池研制；电池开路电压损失机理及控制因素；有机电池寿命决定因素及性能衰减机理；柔性太阳能电池制备关键技术及应用探索。

考核指标：刚性基板有机电池效率不小于 22%（面积不小于

4 平方毫米); 柔性有机电池效率不小于 18% (面积不小于 16 平方毫米); 柔性有机电池弯折次数不小于 10000 次、曲率半径不大于 5 毫米, 光电转换效率衰退率不大于 10%, 器件面积不小于 10 平方毫米; 在 1 个太阳辐照度连续光照 1000 小时情况下, 电池转换效率衰退率不大于 10%; 建立具有自主知识产权的千瓦级柔性有机电池研制线, 获得新型柔性高效高稳定太阳电池模组制备技术 (模组面积不小于 1 平方米, 效率大于 12%); 半透明有机电池光电转换效率不小于 11%, 可见光透过率大于 40%, 器件面积不小于 5 平方毫米。

1.5 效率 20% 以上新型高效高稳定太阳电池 (基础研究类)

研究内容: 面对大规模光伏发电对高效低成本太阳电池的需求, 开展新概念、新原理和新结构等基础理论及关键技术研究, 具体包括: 探寻突破传统理论限制的光伏新原理; 制备具有宽光谱响应、高效吸收的新型光伏材料; 研究降低光伏材料体缺陷和界面缺陷的新方法; 构建高效太阳电池的新结构、新工艺及制备技术 (“十二五” 和 “十三五” 科技部科技计划中已支持的新型电池, 本指南方向不再重复支持)。

考核指标: 提出基于新概念、新原理、新材料的原创性电池模型, 阐明其工作机理; 新型高效高稳定太阳电池转换效率不小于 20% (面积不小于 0.5 平方厘米), 在 1 个太阳辐照度连续光照 1000 小时情况下, 电池光电转换效率衰退率不大于 5%; 组件效率不小于 18% (面积不小于 400 平方厘米)。

1.6 新型高效高稳定太阳电池（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：突破已有太阳电池技术路线，提出具有原始创新的光伏新原理和新结构；制备具有高光吸收系数、光电转换和载流子输运的新型光伏材料（“十二五”和“十三五”科技部科技计划中已支持的新型电池，本指南方向不再重复支持；且与本专项指南任务 1.5 技术路线不同）。

考核指标：提出基于新原理的原创性电池模型，新型高效高稳定太阳电池光电转换效率不小于 18%（面积不小于 0.5 平方厘米），在 1 个太阳辐照度连续光照 500 小时情况下，电池光电转换效率衰退率不大于 10%，申请发明专利不少于 3 项。

1.7 近海漂浮式光伏发电关键技术及核心部件（应用示范类，部省联动任务）

研究内容：突破近海漂浮式光伏系统设计集成技术及适合海洋气候环境的电气、机械核心部件技术，为沿海经济带开发利用海上光伏提供一条创新技术路径。具体包括：在“高温、高湿、高盐雾，强降水、强雷电、强台风”环境下，近海漂浮式光伏系统形式及设计方法研究，光伏组件、关键机械结构和关键电气部件的耐候性研究；近海漂浮式光伏机械结构设计方法及支架、浮体、锚固等关键机械部件；近海漂浮式光伏高效、安全的电气系统设计及变换器、控制器；强风强浪等条件下机械与电气故障预警及海上工况下智慧运维技术；近海漂浮式光伏发电技术验证平台设计集成技术。

考核指标：完成近海水域总容量兆瓦级的漂浮式光伏发电技术验证平台，额定工况系统能效不低于 83%，考核运行时间不小于 1000 小时；正常运行适用海况：浪高不大于 2.5 米，流速不大于 1 米每秒，水深不大于 25 米；锚固系统极限抗风浪能力（设计值）：浪高不大于 5 米，风速不大于 30 米每秒（约 12 级台风）；电气系统额定功率不小于 1 兆瓦，光伏阵列到并网点电力汇集系统效率不低于 93%。

1.8 效率 98.5%以上的大功率光伏变换新技术研究（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：面向光伏变换器高效率、高功率密度、多功能的发展趋势，探索大功率高电压光伏直流变换器新拓扑理论和新设计方法，研究大功率高效率光伏逆变器新拓扑理论和高效率控制新方法，开展电工新材料、人工智能、增材制造、新散热技术在光伏变换器中的应用基础研究。

考核指标：形成新型光伏直流变换器设计理论、模型与方法并研制样机，隔离耐压不低于 35 千伏，最大效率不小于 98.5%；形成大功率、高效率新型光伏逆变器拓扑理论并研制样机，最大效率不小于 98.5%；结合典型应用场景进行新技术的功能和性能试验验证；申请发明专利不少于 3 项。

1.9 光伏器件与组件特性仿真的基础研究（基础研究类）

研究内容：针对光伏产品开发对快速低成本评估手段的需求，开展光伏器件及组件建模、可靠性仿真等研究，并提供先进

的设计平台。具体包括：光伏器件及组件性能与光学、电学、热学和力学之间的内在规律及物理机制研究及多物理场建模；光伏组件长期可靠性机理、室内可靠性评估与户外大数据关联关系、组件可靠性评估测试方法研究；基于人工智能、机器学习等智能算法的光伏器件和组件性能数据库关联系统；多类型通用的太阳电池及组件精细化设计方法，光伏材料、器件及组件仿真与设计平台，根据理论模型，围绕 2~3 种光伏体系开展器件仿真方法实验验证。

考核指标：阐明光伏组件长期可靠性物理机制；提出器件与组件可靠性评估测试方法；建立包含 10 种以上太阳电池和组件性能关联数据库；研制光伏材料、器件及组件仿真与设计平台，软件仿真结果均方根误差不大于 10%，提出指导器件实验可靠性的方法，优化得到的实验制备器件可靠性均方根误差不大于 10%；开发具有自主知识产权的仿真软件，并获得软件著作权不少于 5 项。

1.10 建筑光伏系统仿真与设计软件（共性关键技术类）

研究内容：针对光伏系统与建筑电气、载荷、保温、美观等一体化集成设计要求，开展建筑光伏系统精细化仿真与设计软件研制。具体包括：建筑光伏系统对建筑功能、安全、效益影响的综合量化评价方法，建筑光伏系统典型设计方案；考虑建筑环境太阳辐照分布、电气、载荷、环境温度等多物理场的建筑光伏建模技术；建筑光伏系统多物理场耦合仿真、长时间序列模拟及与高性能计算联合仿真技术；建筑光伏系统精细化设计方法、虚拟

现实辅助设计技术；支持多用户并发访问的建筑光伏系统云边协同设计软件技术。

考核指标：建筑光伏系统综合评价量化指标至少包括经济性、安全性、建筑节能性、屋面利用率、日照遮挡；建筑光伏系统机械载荷和发电功率预测值与原型系统测试值的误差不大于5%，与 PVsyst 等国外同类仿真设计软件的计算结果偏差不大于5%；建筑光伏系统仿真模块支持仿真时长不小于 25 年，长时间序列模拟时间颗粒度不大于 1 小时。建筑光伏系统设计软件可设计的最大系统规模不小于 100 兆瓦，最大并发访问数不小于 2000，覆盖嵌入式、壁挂式、瓦片式、遮阳式等技术路线；在至少 3 家光伏企业进行示范应用，设计千瓦级、兆瓦级、10 兆瓦级等不同规模等级的建筑光伏系统不少于 3 个；获得软件著作权不少于 5 项，制定建筑光伏系统应用与评价相关国家标准不少于 1 部。

2. 风能

2.1 风电机组用滑动轴承关键技术及应用（共性关键技术类）

研究内容：针对采用滚动轴承风电机组传动系统的功率密度低、成本高、轴承故障失效率高且过度依赖进口等问题和瓶颈，探索具有高紧凑性、低成本、高可靠性的国产化大型风电机组主轴和增速齿轮箱用滑动轴承构型、设计、仿真及试验关键核心技术。具体包括：风电机组主轴和增速齿轮箱用滑动轴承高效高可靠构型设计技术；滑动轴承轴瓦面修型及低速启动宽载荷润滑设计技术；应用滑动轴承的风电机组主轴和增速齿轮箱动态优化设

计技术；滑动轴承和应用滑动轴承增速齿轮箱的试验与综合性能评价技术。

考核指标：掌握风电机组主轴和增速齿轮箱用滑动轴承构型、设计、仿真及试验技术；研制风电机组主轴用滑动轴承，启、停次数不小于 4 万次；研制应用滑动轴承增速齿轮箱，设计寿命不小于 20 年（陆上）或 25 年（海上）；研制的主轴用滑动轴承和应用滑动轴承增速齿轮箱分别在额定功率不小于 5 兆瓦的风电机组中进行应用验证，主轴（含主轴承）重量减少 10% 以上，增速齿轮箱扭矩密度不小于 200 牛米每千克、传动效率不小于 97%。

2.2 风电机组整机仿真设计软件技术（共性关键技术类）

研究内容：研制自主可控的风电机组整机仿真设计软件。具体包括：适用风电机组整机动力学仿真的各种复杂风况、海况、地质以及地震等工况模型；风电机组整机气动—结构—电气—控制等子系统非线性耦合仿真技术；满足漂浮式机组需求的风—浪—流联合作用下的风电机组整机刚柔耦合动力学仿真技术；风电机组整机动力学仿真模型快速求解算法；研制风电机组整机仿真设计软件并测试验证。

考核指标：开发具有自主知识产权的风电机组整机仿真设计软件；风电机组整机集成仿真设计模型考虑风—浪—流、地震及地质条件等外部复杂环境，覆盖叶片、传动链、发电机、塔架、基础及控制系统，符合 IEC、DNVGL 等标准规范所涉及的所有标准工况，通过第三方机构认证；整机关键部件动态载荷和发电

功率预测值与原型测试值误差不大于 10%，与 Bladed 和 HAWC2 等国外同类仿真设计软件的计算结果偏差不大于 5%；在至少 3 家风电企业进行示范应用，覆盖直驱、双馈、半直驱的技术路线，设计不同功率等级机型数量不小于 6 个，其中海上机型数量不小于 3 个。

2.3 10 兆瓦级深远海漂浮式风电机组关键技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向深远海风资源开发应用场景，突破海上漂浮式风电系统及其部件关键技术。具体包括：漂浮式基础设计技术，系泊及锚固系统、动态电缆设计技术；漂浮式风机—塔架—基础—系泊—锚固—控制系统的一体化建模与仿真计算技术；适应漂浮式风电系统大幅度摇摆和多自由度运动的动静态载荷平衡及智能监测与整机稳定性控制技术；风洞和水池模型试验与整机工况一致性技术；深远海漂浮式风电机组研制，运输安装及测试验证技术。

考核指标：形成适应我国水深不小于 50 米条件的 10 兆瓦级漂浮式风电机组设计制造与安装试验全套技术；研制额定功率不小于 10 兆瓦的海上漂浮式风电机组，设计寿命不小于 25 年，漂浮式基础重量不大于 500 吨每兆瓦，抗风能力满足 IEC I 类，抗浪能力不小于 10 米有义波高；发电工况时漂浮式基础最大倾斜角不大于 5 度、最大加速度不大于 0.3 倍重力加速度，极端工况时最大倾斜角不大于 10 度；风洞和水池模型试验工况对整机工

况复现准确度不小于 95%；完成机组试验研究，并进行应用示范。

2.4 15 兆瓦级海上风电机组关键技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向深远海环境及风资源特性，突破大功率海上风电机组及关键部件核心技术。具体包括：高雷诺数风电叶片翼型气动设计及失速与颤振风险规避技术，超长柔性叶片气动—结构及整机载荷一体化设计技术，超长叶片先进制造及运输安装技术；高功率密度发电机与变流器、直流升压变换器设计及控制技术；大功率海上风电机组整机—支撑结构一体化设计技术；超大风轮气动效率、载荷优化及超低频稳定性控制技术；大功率海上风电机组样机研制及测试技术。

考核指标：形成 15 兆瓦级海上风电机组整机及关键部件设计制造与安装试验技术；研制额定功率不小于 15 兆瓦的大功率海上风电机组，风轮直径不小于 240 米，设计寿命不小于 25 年；叶片最大风能利用系数 C_p 不小于 0.48，整机能量综合利用效率不小于 46%，单支叶片重量不大于 4 吨每兆瓦，机舱（含发电机）重量不大于 35 吨每兆瓦，轮毂系统（不含叶片）重量不大于 11 吨每兆瓦；低速发电机转矩密度不低于 70 千牛米每吨或中速发电机转矩密度不低于 10 千牛米每吨；变流器功率密度不低于 1.4 兆瓦每吨；直流升压变换器的直流输出电压不小于 ± 50 千伏；整机平均故障间隔时间（MTBF）不小于 3800 小时；完成机组试验研究，并进行应用示范。

2.5 20 兆瓦级海上新型风力发电实现机理及关键技术（共性关键技术类）

研究内容：面向海上尤其是深远海等应用场景，针对常规水平轴风电机组单机容量增大带来的尺寸重量大、重心高及制造、安装难度加大等问题，探索新型高效率、低成本海上风力发电实现机理及关键技术，提出未来大功率新型海上风电机组解决方案。具体包括：新型海上风电机组高效气动与传动机理及新型结构形式；新型海上风电机组整机及其风轮、传动链、支撑结构等关键部件设计技术；适合新型海上风电机组载荷、疲劳、控制特性分析的一体化数字建模、半实物仿真技术，先进控制与高效电能变换技术；新型海上风电机组集成试制、状态监测与试验测试技术。

考核指标：提出具有自主知识产权的 20 兆瓦级海上新型风力发电技术路线，具有高效率、单位功率重量轻、重心低、低成本等潜力，最大风能利用系数 C_p 不小于 0.52，整机能量综合利用效率不小于 46%，风轮与机舱总重量不大于 45 吨每兆瓦，设计寿命不小于 25 年，完成总体设计方案；建立适合新型海上风电机组原理与特性分析的数字仿真模型及运行控制半实物仿真平台；研制额定功率不小于 2 兆瓦的新型海上风电机组样机，并进行应用验证。

2.6 风电机组主控系统关键技术及应用（共性关键技术类）

研究内容：研制自主可控风电机组主控系统，并进行应用示范。具体包括：开发基于国产处理器的主控硬件、主控软件系统

及编译环境、自主可控的主控网络安全防护系统、自主可控的主控数据存储系统；开发风电安全及运行控制参数函数库；研究主控系统评价方法及标准；研制主控系统样机，并进行应用验证。

考核指标：研制主控系统样机，PLC 硬件国产化率 100%，其余硬件国产化率不低于 95%，编译环境支持 IEC 61131-3 标准和 NB/T 31043 标准的工业语言；在零下 40 摄氏度~70 摄氏度的环境下稳定运行，可利用率不低于 99%，通过 EMC 测试；研制的主控系统样机在额定功率 5 兆瓦以上的风电机组中并网示范运行，并通过 240 小时运行验证；形成国产风电主控系统的设计规范与评价标准。

2.7 新型高效风力发电设计基础前沿（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：围绕高效风能捕获、低损耗传动、高效发电与友好并网等问题开展研究，突破具有原始创新的新型高效风能捕获及转换理论、新型风力发电低损耗传动原理、全过程能量传递协同作用机制、宽频域机—网柔性协调控制策略、风—机—电—网多时间尺度耦合系统仿真与一体化设计等（“十二五”和“十三五”科技部科技计划中已支持的新型风力发电技术，本指南方向不再重复支持）。

考核指标：形成新型高效风力发电装备的创新设计、理论方法和支持工具；开发具有自主知识产权的新型高效风力发电装备原理样机，整机能量综合利用效率不小于 46%，完成样机的功能和性能试验验证，并通过第三方机构评估；申请发明专利不少于 3 项。

有关说明：同时支持 2 项。

3. 生物质燃料

3.1 木质纤维素制备特种航空燃料联产乙醇关键技术（共性关键技术类）

研究内容：为实现木质纤维素生物质高值化规模化利用，契合液体燃料领域碳减排的需求及高性能飞行器对特种航空燃料的需求，开展木质纤维素生物质制备高性能特种航空燃料（高密度低冰点）联产乙醇的关键技术研究。具体包括：生物质三组分分离与综纤维素转化制备羰基化合物；基于羰基化合物的高密度低冰点航空燃料基础组分制备技术；木质素转化制备高热沉组分关键技术；纤维素水相催化制备乙醇关键技术；生物质制备特种航空燃料联产乙醇关键技术的系统集成与放大验证。

考核指标：每生产 1 吨特种航空燃料联产 2.4 吨乙醇，消耗木质纤维素生物质原料（绝干）不超过 10 吨，系统能耗不超过 2 吨标准煤；非贵金属加氢脱氧催化剂寿命不低于 6000 小时；特种航空燃料产品密度不小于 0.93 克/毫升，热值不小于 39.0 兆焦耳/升，冰点不高于零下 73 摄氏度，其它指标达到大比重喷气燃料规范（GJB 1603-1993）要求；建成并运行千吨级特种航油联产乙醇中试系统。

3.2 多元生物质醇类原料定向解聚增效预处理技术（共性关键技术类）

研究内容：突破能源林草类多元生物质原料收储运模式落

后、拆解分离难、预处理成本高等能源化技术瓶颈，形成可持续保障生物质醇类燃料规模化生产的多元林草原料高效低碳预处理技术体系。具体包括：多元林草原料智能收储运模式技术；多元林草原料抗降解屏障解除及差异化拆解分离策略；多元林草原料高效低碳可控预处理技术及装备；多元林草原料解离半纤维素和木质素增值转化技术；多元林草原料预处理过程集成优化与智能控制技术。

考核指标：形成适配醇类燃料的林草原料智能收储运模式（规程）及预测模型 1 套，收储运成本低于 120 元每吨原料；明确 2 种模式林草（各 1 种）原料高效低毒预处理机制；优先分离组分（半纤维素优先或木质素优先策略）去除率 90%，能耗低于 2.5×10^6 千焦每吨原料；拆解副产物增值利用效益抵消预处理成本 40% 以上，木质素制备功能材料过程碳利用率大于 60%；完成预处理技术与装备工艺集成验证，以纤维素乙醇为导向，预处理成本占总成本低于 30%。

3.3 煤与生物质耦合发电技术（共性关键技术类）

研究内容：面对燃煤机组节能低碳发电的需求，开展煤与生物质直接耦合发电关键技术研发。具体包括：生物质燃料预处理及汽尘超洁净排放技术；煤与生物质直接耦合发电系统集成运行规律和混烧比例容纳极限；煤与生物质高效混合燃烧及对锅炉受热面沾污腐蚀、传热影响及防控技术；基于烟气碳 14 检测分析的生物质耦合燃烧比例高精度测定技术；煤与生物质耦合发电环

保适应性研究及污染物控制、灰渣无害化处理技术。

考核指标：开发煤与生物质燃料直接耦合发电技术和污染控制技术成套工艺与核心设备；在 600 兆瓦以上等级锅炉上完成煤与生物质耦合发电技术工业验证，CO₂ 减排量不低于 50 克/千瓦时，每年稳定运行 5000 小时以上。

4. 交叉与基础前沿

4.1 大规模太阳能风能系统与青藏高原生态环境协同发展技术（共性关键技术类）

研究内容：面向青藏高原大规模太阳能风能发展需求，突破与青藏高原戈壁沙漠区生态环境协同发展的太阳能风能系统设计、集成和运维关键技术。具体包括：光伏、光热及风能发电系统与青藏高原生态环境分区的匹配研究、在“高辐射、高温变、高风侵”条件下关键材料的生态环境风险量化评估方法；青藏高原戈壁沙漠区的光伏风能系统与生态环境协同设计集成方法，水资源循环再利用技术和防风固沙技术；光伏风能系统与生态环境协同运维技术，包括清洗、植被恢复和土壤改良技术；光伏风能系统地表、地上、地下生态环境要素监测技术，考虑空间代表性和测点数量的现场监测系统方案研究；青藏高原戈壁沙漠区光伏风能系统与生态环境协同发展技术验证性平台设计集成技术。

考核指标：形成针对青藏高原典型生态环境分区的太阳能风能发电系统规划布局方案、水资源再利用和防风固沙系统集成设计方案，开发至少包括 3 种可再生能源类型的多要素耦合环境影

响评价模型；光伏风能生态协同运维系统，实现土壤含水率提升10%；光伏风能系统生态环境要素监测系统，监测因子（地表、地上、地下）不少于8个，监测布点数不少于10个，可覆盖10万千瓦以上的光伏风能系统；在青藏高原戈壁沙漠区建立10万千瓦以上的技术验证性平台，与平台以外区域相比，植被覆盖率提升不少于10%，形成适用于青藏高原戈壁沙漠区光伏风能系统的生态协同工程技术导则。

4.2 紧凑型可再生能源电热氢联产系统模块关键技术（共性关键技术类）

研究内容：为填补我国分布式可再生能源电热氢联产技术空白，重点研发紧凑型可再生能源电热氢联产系统模块设计、控制、安全防护技术及关键设备。具体包括：分布式可再生能源发电、产热、水电解制氢联产系统集成设计方法，机械、电气等核心模块高集程度工艺设计方法；适合可再生能源供电、储电、制氢的高功率密度多端口电力电子变换器技术；以氢安全为核心的电热氢联产系统安全预警与快速保护技术；高效率可靠的电、热、氢能量管理技术；紧凑型可再生能源电热氢联产系统模块研制。

考核指标：提出高体积能量密度、高质量能量密度的可再生能源电热氢联产系统设计方法；可再生能源供电/储电/制氢多端口变换器功率密度不小于2瓦/立方厘米，单端口最大转换效率不小于97%；氢安全保护装置快速联动响应时间不大于100毫秒；紧凑型可再生能源电热氢联产系统模块可接入可再生能源容量不

小于 1 兆瓦，制氢能力不小于 100 立方米（标准大气压）/小时，水电解制氢装置单位制氢电耗不大于 4.5 千瓦时/立方米（标准大气压），燃料电池发电单位耗氢量不大于 0.7 立方米（标准大气压）/千瓦时。

4.3 风电和光伏发电系统稳定控制与灵活性提升机理与方法（基础研究类）

研究内容：面向构建以新能源为主体的新型电力系统需求，深入挖掘新能源发电侧动态调节能力，突破风电和光伏发电系统稳定控制和灵活性提升理论及方法。具体包括：研究风电和光伏发电系统灵活性主要影响因素及变化规律，灵活性提升的新型电路拓扑结构及控制结构设计方法；风电和光伏发电单元故障短路电流计算及扰动在多机间传播规律分析，不同电网故障下发电系统故障暂态可控边界分析及协同控制方法；风电和光伏发电系统多模式小扰动失稳机理与分析方法，源网阻抗智能感知的风电和光伏发电系统主动阻尼方法；风电和光伏发电系统有功和无功灵活调节资源评估及挖掘，频率快速响应及电压主动支撑协同优化方法；基于控制器硬件在环实时仿真的风/光机组和场站稳定控制与灵活性校验与参数整定方法。

考核指标：提出风电和光伏发电系统稳定控制与灵活性提升的理论方法，为大规模风电和光伏发电系统安全稳定并网发电奠定理论研究基础。提出至少 2 种灵活性提升新型电路拓扑；建立风电和光伏发电系统故障分析模型，故障稳态电流计算误差不大

于 5%；提出风电和光伏发电系统源网阻抗智能感知和主动阻尼控制新方法，适应系统短路比 SCR 不大于 1.1；快速频率响应时间不大于 100 毫秒，快速无功响应时间不大于 20 毫秒；1 套全场景风电和光伏协同运行验证半物理系统，实时仿真步长不大于 50 微秒。

4.4 煤与光热耦合发电技术（共性关键技术类）

研究内容：面对燃煤发电绿色低碳转型和新能源优化发展需求，开展煤与光热耦合发电关键技术研发。具体包括：实现光热高比例耦合的系统集成设计优化技术；煤与光热耦合发电系统关键单元（储能）与关键设备（太阳能集热系统）设计与制造技术；煤与光热耦合发电系统全工况动态特性及控制策略；煤与光热耦合发电系统调峰性能和灵活性运行技术；煤与光热耦合发电系统工业验证。

考核指标：掌握煤与光热耦合发电技术，在 300 兆瓦等级（含 300 兆瓦）以上煤电机组上，完成煤与光热耦合发电系统工业验证；耦合光热 30 兆瓦（热功率）以上，煤与光热耦合发电系统调峰速率达到 4%额定电功率/分钟。