

附件

# 国家重点研发计划“可再生能源技术”

## 重点专项 2024 年度项目申报指南

(征求意见稿)

### 1. 太阳能光伏

#### 1.1 基于数智化技术的光伏电站运维和功率预测技术 (共性关键技术类)

研究内容：提高光伏电站设计精细化、运维智能化、预测精准化水平。具体包括：多源数据融合与云、气溶胶等关键因素参数化方案，长序列、高时空分辨率的全国太阳能资源数据库；气象要素对光伏电站输出功率影响的物理机理和统计机制研究，光伏系统模型链，复杂场景、支持电站智能安装的光伏电站设计软件；基于光伏电站设计参数和数智化技术的组件隐裂等缺陷巡检定位、电站评估技术；多时间尺度太阳总辐照度和光伏发电功率预测技术，转折气象条件下的光伏发电功率爬坡事件预报方法；基于数智化技术的光伏电站智慧运维和功率预测应用服务平台，在大型光伏发电基地示范应用。

考核指标：建立全国太阳能资源数据库，空间分辨率不大于 1 公里，时间分辨率不大于 1 小时，时间跨度不小于 30 年，年总辐射量计算误差不大于 5%；光伏系统模型链包含子模型 100 个以上，设计软件适用复杂场景及新型技术不少于 5 种；组件巡检速度每晚 8 小时大于 15000 片，安装速度达

到 4 人 8 小时 1000 片；实现全国任意点位 0~90 天时间无缝隙太阳总辐照度和光伏发电功率预报，总辐照度预测均方根误差：4 小时不大于 100 瓦/平方米、24 小时不大于 110 瓦/平方米、240 小时不大于 160 瓦/平方米，转折天气下最大均方根误差不大于 200 瓦/平方米；光伏电站功率预测准确度：4 小时不小于 95%、24 小时不小于 92%、240 小时不小于 85%，转折天气下最低准确率不小于 80%；构建光伏电站智慧运维和功率预测应用服务平台，在 3 个以上不同气候区的光伏发电基地开展示范应用，建立典型光伏发电实证数据库，基地规模不小于百万千瓦。

关键词：太阳能资源，气象预报，功率预测，设计软件，数智化技术

## **1.2 高可靠晶硅组件及其电池成套制备技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对提升晶硅太阳能电池转换效率至接近理论极限的技术难题，开展兼具高短路电流密度和高开路电压的晶硅太阳能电池及高可靠组件关键技术研究。具体包括：高体寿命单晶硅材料制备技术；兼具高短路电流密度和高开路电压的晶硅太阳能电池结构设计与工作机理；高质量光管理、表面钝化、载流子选择性接触结构等集成及电池成套制备技术和核心装备；适合于不同气候的高可靠双面组件成套制备技术；组件在光、电、热、力作用下的性能变化机制及组件稳定性检测与提升方法。

考核指标：单晶硅材料体少子寿命不小于 10 毫秒；在

IEC 60904-1 测试标准下, 电池最高转换效率不小于 28% (面积不小于 4 平方厘米), 短路电流密度不低于 42 毫安/平方厘米、开路电压不低于 755 毫伏; 开发出可产业化太阳电池表面钝化介质膜及其真空沉积装备, 建立百兆瓦级示范线, 电池批次量产平均转换效率不小于 27% (电池面积不小于 182 毫米×91 毫米); 耐候双面组件全面积最高转换效率不小于 25% (组件面积不小于 2 平方米), 在 2 倍 IEC 61215 标准 (冷热循环、湿热、紫外、电势诱导衰减、机械负载) 测试下组件功率衰退率低于 5%。

关键词: 晶硅太阳电池, 超高效率, 高可靠组件, 中试

### 1.3 新型无机化合物薄膜太阳电池 (基础研究类)

研究内容: 开展铜锌锡硫硒和硒化锑两种新型无机化合物薄膜太阳电池的研究, 提高无机化合物薄膜电池的竞争力。具体包括: 硫族化合物多晶薄膜生长机制, 高质量化合物薄膜生长技术; 无机化合物的前驱体设计, 组分、掺杂、热退火和生长工艺等对硫族化合物薄膜的晶体、能带、缺陷态的调控机制; 化合物薄膜结构特性对载流子高效传输和收集的影响关系, 薄膜体和界面缺陷钝化技术; 新型化合物薄膜电池结构设计, 薄膜电池和模块低成本、可重复制备技术, 形成可产业化的技术路线。

考核指标: 开发铜锌锡硫硒和硒化锑无机化合物前驱体, 以及相应的薄膜制备工艺, 掌握多晶薄膜晶界钝化以及界面钝化修饰技术; 铜锌锡硫硒电池转换效率不小于 19% (面积不小于 1 平方厘米), 电池模块效率不小于 15% (面积不小

于 10 平方厘米); 硒化锑电池转换效率不小于 15% (面积不小于 1 平方厘米), 电池模块效率不小于 11% (面积不小于 10 平方厘米); 铜锌锡硫硒和硒化锑电池模块通过 IEC 61215 标准稳定性测试; 完成铜锌锡硫硒和硒化锑薄膜电池的关键技术产业化可行性报告。

关键词: 无机化合物薄膜太阳电池, 新电池结构, 光电转换效率

#### 1.4 新型高效叠层太阳电池设计与关键技术 (基础研究类)

研究内容: 开展新型叠层太阳电池研究, 探索高效率、高稳定性、低成本的叠层电池新型技术途径 (不含钙钛矿电池、有机电池和 III-V 族电池)。具体包括: 新型高效叠层太阳电池结构设计, 子电池带隙与电流匹配、隧穿结结构等仿真模拟; 吸光层薄膜的生长动力学, 组分可控的多晶薄膜生长技术; 缺陷态密度和分布等对载流子收集的影响关系, 多晶薄膜晶界和表面钝化技术; 新型透明导电薄膜制备及其生长机理分析, 新型高效电池可规模化制备及测试技术; 在不同气候下, 高效叠层电池的可靠性评估。

考核指标: 完成新型高效叠层电池结构及技术研究报告, 论证理论效率不低于 40%; 开发不少于 2 种高性能电荷选择传输材料; 宽禁带 (带隙大于 1.60 电子伏特) 薄膜电池效率不低于 18%; 新型两端叠层电池效率不低于 28% (面积不小于 1 平方厘米), 两端叠层电池模块效率不低于 24% (面积不小于 10 平方厘米); 叠层电池成本不高于 2 元每瓦; 叠层

电池模块通过 IEC 61215 标准稳定性测试。

关键词：低成本，高稳定，效率，叠层电池，效率衰退率

### 1.5 钙钛矿基薄膜叠层太阳电池设计与关键技术（基础研究类）

研究内容：为满足分布式光伏、BIPV 等快速发展的需求，开展钙钛矿与其他薄膜电池组成薄膜型叠层太阳电池及其关键技术的研究。具体包括：钙钛矿与其他薄膜电池构成叠层太阳电池的新结构设计；新型宽和窄带隙的光吸收层、宽禁带载流子传输层和缓冲层的材料设计和薄膜制备技术；两端叠层电池用高复合低光吸收的中间复合层制备技术；钙钛矿和其他薄膜在叠层电池中元素互扩散对各子电池性能的影响机制和失效机理，各子电池的内应力调控和耐机械应力的技术，薄膜叠层电池的稳定性评估；低成本、工艺匹配和具有产业化潜力的薄膜叠层太阳电池成套技术。

考核指标：设计两端和四端钙钛矿基薄膜叠层太阳电池的新结构；高性能串联子电池的复合层，电阻率不大于  $5 \times 10^{-4}$  欧厘米；两端叠层电池效率不低于 29%（面积不小于 1 平方厘米），两端模块效率不低于 24%（面积不小于 10 平方厘米）；四端叠层电池效率不低于 30%（面积不小于 1 平方厘米），四端模块效率不低于 25%（面积不小于 10 平方厘米）；在  $50 \pm 10^\circ\text{C}$ 、AM1.5G（1000 瓦每平方米）模拟太阳光条件下，钙钛矿子电池效率在最大功率点持续输出 3000 小时后衰减率不高于 5%，两端和四端叠层电池模块效率在最大功

率点持续输出 2000 小时后衰减率不高于 5%；柔性薄膜叠层电池弯折次数不小于 10000 次，曲率半径不大于 5 毫米，效率衰减率不高于 10%。

关键词：低成本，高稳定，效率，叠层电池，效率衰退率

### **1.6 先进铜铟镓硒薄膜太阳能电池关键技术(基础研究类)**

研究内容：开展铜铟镓硒薄膜太阳能电池的新型电池结构和关键技术的研究，提高铜铟镓硒电池的市场竞争力。具体包括：制备铜铟镓硒薄膜用前驱体设计，在各衬底上铜铟镓硒多晶薄膜生长机理、相关高质量生长技术；铜铟镓硒薄膜组分与带隙、施受主浓度和分布的关系，以及铜铟镓硒组分（镓、铜等）的精确调控技术；薄膜晶界、缺陷态、界面能级与电池载流子收集效率的关系，铜铟镓硒薄膜体和界面缺陷钝化技术；新型高效铜铟镓硒电池结构，具有规模化潜力的铜铟镓硒薄膜太阳能电池制备技术。

考核指标：完成新型铜铟镓硒电池结构设计及技术研究报告，开发不少于 2 种新型铜铟镓硒前驱体；铜铟镓硒薄膜太阳能电池效率不小于 23.6%（面积不小于 0.5 平方厘米）；模块效率不小于 20%（面积不小于 10 平方厘米）；铜铟镓硒电池模块通过 IEC61215 标准稳定性测试。

关键词：铜铟镓硒，薄膜太阳能电池，光电转换效率

## **2. 风能**

### **2.1 大功率海上漂浮式垂直轴风电机组关键技术与装备（共性关键技术类）**

研究内容：面向新型风力发电实现机理和关键技术需求，研制大功率海上漂浮式垂直轴风电机组。具体包括：探索海上漂浮式垂直轴风电机组高效风能捕获及转化技术；海上漂浮式垂直轴风电机组构型设计、传动机理与载荷特性分析技术；垂直轴风电机组与漂浮式基础一体化优化设计技术；海上漂浮式垂直轴风电机组气动与水动耦合试验工况下缩比模型高保真验证技术；海上漂浮式垂直轴风电机组样机研制、安装和测试验证技术。

考核指标：提出 20 兆瓦级海上漂浮式垂直轴风电机组设计方案，气动与水动耦合试验工况下缩比模型载荷对整机仿真载荷的复现准确度不小于 90%；研制额定功率不低于 2 兆瓦的海上漂浮式垂直轴风电机组样机，最大风能利用系数不低于 0.40，设计寿命不低于 25 年，发电工况时漂浮式基础最大倾斜角不大于 10 度，极端工况时最大倾斜角不大于 15 度，通过第三方机构认证，并进行应用验证。

关键词：大功率海上漂浮式垂直轴风电机组，高保真，轻重量，低重心

## **2.2 大功率前端调速高电压海上风电机组关键技术与装备（共性关键技术类）**

研究内容：面向大型海上风电机组对低损耗、高效率及高经济性发电系统的重大需求，突破前端调速高电压海上风电机组关键技术。具体包括：前端调速高电压大功率海上风电机组集成设计技术；具备前端调速功能的传动链构型、设计及制造技术；高电压发电机结构与电磁、绝缘及冷却技术；

调速系统及整机控制技术；前端调速高电压海上风电机组样机研制及实验技术。

考核指标：提出前端调速高电压海上风电机组设计方案，额定功率不小于 20 兆瓦，传动链的前端调速系统额定功率不大于 20%机组额定功率，高电压发电机额定输出电压不低于 35 千伏；研制具备前端调速功能的传动链和高电压发电机，传动链输出转速精度不大于 1%，发电机额定输出电压不低于 35 千伏、绝缘等级不低于 H 级；研制额定功率不小于 6 兆瓦的海上风电机组样机进行实验验证，整机并网精度满足  $50 \pm 0.5$  赫兹。

关键词：高电压海上风电机组，前端调速，高电压发电机，发电机直连并网

### **2.3 风电机组叶片覆冰灾害数值模拟与主动除冰技术（共性关键技术类）**

研究内容：面向风电机组叶片对低温、高湿环境适应性发展的需求，突破风电场覆冰灾害模拟、风电机组叶片高效、微能耗智能主动除冰关键技术。具体包括：复杂气象与环境条件下风电机组叶片覆冰增长机理与数值模拟方法；覆冰长柔叶片气弹颤振与整机失谐的特征辨识与监测技术；叶片高效、微能耗快速主动除冰装置及智能控制策略；抗冰冻型风电机组叶片防冰/除冰/防雷系统优化与叶片结构一体化设计技术；抗冰冻型风电机组叶片与智能除冰装备研制及风电场应用示范。

考核指标：结冰工况下风电机组叶片结冰的三维动态数

值仿真精度不低于 90%；研制叶片微能耗快速高效智能除冰系统装置，功率不大于 100 瓦，单支叶片除冰时间不超过 20 分钟；开发长度不低于 100 米的低温、高湿环境适应性风电机组叶片；防冰/除冰有效率不小于 90%，叶片表面结冰厚度检测精度不低于 1 毫米；除冰叶片需要满足风电机组防雷设计国家或国际标准要求；抗冰冻型叶片与微能耗除冰装置在不少于 3 个不同海拔、不同叶片长度的严重覆冰风电场进行应用示范。

关键词：风电机组叶片，覆冰机理，微能耗，防/除冰，防雷，抗冰冻型

#### **2.4 多场景风电场规划设计关键技术及软件开发（共性关键技术类）**

研究内容：面向我国陆地、海上多场景，以及气候环境、风资源、装机规模等差异化因素下风电场高质量开发的需求，突破多场景风电场规划设计关键技术。具体包括：陆地、海上多种典型开发场景下风电场流场测量与数据处理技术；数据驱动与物理模型融合的多场景风电场群宏观规划设计技术；多场景下风电场流场及其尾流效应的高精度计算流体动力学快速降阶与人工智能高效高保真仿真技术；多场景下风电场机组选型、微观选址、道路与集电系统等多目标一体化协同优化设计技术；多场景风电场规划设计及微观选址软件开发与应用示范。

考核指标：开发多场景风电场规划设计及微观选址软件，通过第三方专业机构认证；在不少于 5 个陆上或海上风电场

进行应用验证，覆盖平坦地形、复杂地形等不同地形，平均风速计算值与实测值误差不大于 5%，湍流度计算值与实测值误差不大于 15%；风电场正常发电条件下，海上风电场年发电量计算值与实测值误差不大于 5%，复杂地形风电场年发电量计算值与实测值误差不大于 10%，1000 兆瓦级风电基地年发电量计算值与实测值误差不大于 10%；软件在不少于 10 家单位、100 个风电项目上进行推广应用。

关键词：多场景风电场，尾流测试，风电场规划设计，自主软件

## 2.5 大功率海上风电机组高转矩密度发电机设计理论与技术（基础研究类）

研究内容：面向海上风电机组大功率发展需求，突破发电机转矩密度提升关键技术，探索新的导电导磁材料、励磁结构及冷却方式等技术方案，掌握高转矩密度、高效率、轻量化大功率海上风电机组新型发电机设计理论及关键技术。具体包括：大功率发电机新型结构形式及转矩密度提升与高效能量转换机理；高品质励磁新技术与新型拓扑设计方法；发电机功能结构、高效冷却与可靠绝缘一体化协同优化设计技术；大功率海上风电机组新型高转矩密度发电机样机研制与测试技术。

考核指标：提出 25 兆瓦级高转矩密度发电机技术路线及全套设计方案，通过设计认证评估；研制额定功率不小于 10 兆瓦的发电机样机，额定转速不低于 200 转每分钟，转矩密度不低于 15 牛米每千克，温升不超过 95 开尔文，功率因

数不低于 0.9，额定效率不低于 95%；完成样机的功能和性能测试。

关键词：大功率海上风电机组，发电机，高转矩密度，高品质励磁，高效冷却

### **3. 生物质燃料**

#### **3.1 非食用油脂制备烃类燃料联产高附加值化学品关键技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对非食用油脂价值低、应用范围窄等瓶颈，开展油脂高值化利用新技术研究。其中包括：油脂分子结构定向设计及功能化，基于可控催化反应的高效催化剂制备与应用技术；油脂催化加氢异构化制备低冰点生物航空燃料关键技术；可控链结构油脂基二元酸制备关键技术；油脂结构重整转化胺化技术；油脂基高品质航空燃料示范验证。

考核指标：催化反应温度不高于 320℃，异构烃选择性不低于 60%；生物航空燃油产品冰点不高于-47℃、热值不低于 40 兆焦/公斤；油脂基二元酸收率不低于 60%，酸值不低于 180 毫克氢氧化钾/克；油脂基二元胺含量不低于 95%，胺值为 600~1200 毫克氢氧化钾/克；建成万吨级生物航空燃料产品示范线，其中二元酸和二元胺产品中试示范线的规模分别为 1000 吨/年和 600 吨/年。

关键词：非食用油脂，生物航油，中长链二元酸

#### **3.2 水热多途径耦合制备液体燃料技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对生物质资源全组分高效利用和交通运输

行业燃料等替代需求，开展木质纤维素生物质水热催化等多途径耦合制备液体燃料关键技术研发。其中包括：木质纤维素生物质三组分低成本绿色水热分离技术；半纤维素与纤维素水热解聚技术；解聚产物氢化脱氧制备 C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub> 一元醇技术；木质素催化解聚 - 加氢制备烷基 C<sub>6</sub>-C<sub>9</sub> 环己醇技术；全流程系统物质、能量优化与各单元技术系统集成。

考核指标：生物质拆解后综纤维素和木质素收率分别不小于 85% 和 90%；解聚产物（糖衍生物平台分子）收率不小于 60%；糖衍生物平台分子制备 C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub> 一元醇收率不低于 70%；单酚平台分子收率不低于 35%，单酚平台分子制备烷基 C<sub>6</sub>-C<sub>9</sub> 环己醇收率不低于 70%；建立千吨级 C<sub>5</sub>-C<sub>9</sub> 一元醇中试系统，生物质全组分间接液化制液体燃料综合收率不低于 50%，催化剂寿命不低于 1000 小时。

关键词：生物质，含氧液体燃料，水热催化

### **3.3 生物质化学链气化合成汽柴油关键技术（共性关键技术类）**

研究内容：以建立百吨级生物质化学链气化合成汽柴油中试系统为目标，研究生物质热化学转化制备汽柴油的关键技术。其中包括：催化剂、工艺及反应气氛的协同作用机制及其高性能长寿命载氧体/催化剂的定向设计方法和规模化制备技术；双流化床反应器间高温物料循环技术及其核心反应器设备；合成气组份调控技术；绿色汽柴油合成技术；生物质化学链气化合成汽柴油关键技术集成验证。

考核指标：形成高活性长寿命载氧体/催化剂的设计和制备

关键技术，载氧体生产规模不低于 100 吨/年，载氧体对合成气选择性不低于 70%；生物质质量转化率不小于 90%；不使用外界氢源，反应氢压低于 2 兆帕，合成气转化率不低于 60%，二氧化碳选择性不高于 20%，烃中汽柴油选择性不低于 75%；生物质热化学转化制备汽柴油过程汽柴油能量效率不低于 35%；完成百吨级生物质化学链气化合成汽柴油中试验证，连续热态运行不低于 72 小时，形成热力计算软件包及万吨级成套工艺包。

关键词：生物质，化学链气化，汽柴油合成，百吨级热态运行

### **3.4 可再生能源驱动的生物质制备液体燃料技术（共性关键技术类）**

研究内容：面向可再生能源高效存储和生物质基液体燃料重大需求，开展可再生能源热驱动生物质精准热解、电催化选择性加氢制备烃类液体燃料关键技术研发。其中包括：可再生能源（太阳能等）热驱动纤维素乙醇精准热解制取醛酮类羰基类化合物关键技术与装备；光热驱动生物质纤维素乙醇供氢技术；热解气电催化加氢缩合技术；加氢产物催化深度加氢脱氧制备汽柴油和航油组分可调的烃类液体燃料技术；可再生能源驱动的生物质制备烃类液体燃料系统集成与示范验证。

考核指标：热解醛酮类羰基化合物产率不低于 30%；光热驱动制氢每摩尔纤维素乙醇产出不低于 5.4 摩尔氢气；醛酮类羰基化合物电催化 C<sub>7</sub>-C<sub>18</sub> 加氢产物选择性不低于 80%；

催化深度加氢脱氧率不低于 85%，异构烃比例可在 0~70%内可调；建成年产百吨级可再生能源驱动的生物质制备烃类液体燃料示范系统，生物质到烃类液体燃料收率不低于 40%。

关键词：生物质热解，羰基类化合物，脱氧，液体燃料

### 3.5 光电强化木质纤维素制备液体燃料关键技术（基础研究类）

研究内容：针对木质纤维素转化制备液体燃料选择性差及能耗高等问题，开展光电强化促进木质纤维素制备液体燃料的基础研究。其中包括：光电催化转化元件技术；光电化学催化木质素制备生物航煤前体技术；光电-酶/全细胞催化木质纤维素水解糖衍生物产液体燃料或前驱体技术；光电强化微生物发酵木质纤维素水解糖产生物基燃料醇技术；光电催化制备木质纤维素基液体燃料炼制系统构建。

考核指标：阐明光电协同的界面电荷转移机制和生物质化学键重构机制。创制 3 种光电催化生物质新体系；光电催化制高碳液体燃料前驱体(C<sub>8</sub>-C<sub>20</sub>)每克木质素的收率不低于 0.25 克；构建适用于光电-酶/细胞催化耦合液体燃料前驱体制备的酶或全细胞催化剂 2 种，光电-酶/全细胞催化木质纤维素水解糖产液体燃料或前驱体（如糠醇等呋喃化合物）的质量收率不低于 0.45 克每克秸秆水解单糖；光电强化微生物发酵制乙醇和丁醇的每克秸秆水解糖得率分别不低于 0.45 克和 0.30 克；基于光电催化的木质纤维素制液体燃料炼制系统的液体燃料综合质量收率不低于 30%（液体燃料产物自绝干秸秆），液体燃料所含能量不低于干基秸秆所含能量的

40%。

关键词：木质纤维素，光电催化，化学 - 生物协同催化，液体燃料

### 3.6 生物质高效分离并解聚制备结构单元关键技术（青年科学家项目）

研究内容：针对木质素利用率低和附加值低以及生物质综合利用质量利用率低等问题，研究木质纤维素类生物质组分选择性分离和定向转化关键技术。具体包括：生物质组分选择性分离新技术；木质素高效解聚制备酚类结构单元技术；纤维素和半纤维素高效解聚制备结构单元技术；木质素酚类结构单元制备高值化学品技术；生物质分离和解聚的技术路线的试验验证。

考核指标：分离后木质素醚键保留率不低于 90%；木质素的酚类结构单元（松柏醇、芥子醇和对香豆醇）收率不低于 80% 的理论收率（基于木质素中的  $\beta$ -O-4 键含量）；六碳糖和五碳糖收率分别不低于 95% 和 90%；木质素基高值酚类化学品的质量收率不低于 85%（基于结构单元）；单次进料 50~100 公斤生物质的选择性分离和组分解聚制备结构单元的技术验证。

关键词：生物质，木质素，分离，解聚，结构单元

## 4. 交叉与基础前沿

### 4.1 分布式可再生综合能源系统设计和能量管理一体化平台技术（共性关键技术类）

研究内容：针对多元场景下分布式可再生能源综合利用

系统的设计与能量管理需求，研发通用化、智能化、平台化的系统设计软件与能量管理装置。具体包括：面向分布式可再生能源综合利用的系统设计与能量管理一体化平台架构及通用信息模型；融合电/热/燃料多能转化与动态平衡的综合优化设计技术；可定制协调控制策略的轻量化智能能量管理技术；支撑电/热/燃料全工况精细化模拟的闭环测试技术；一体化平台与能量管理装置的研制及工程验证。

考核指标：支持分布式可再生能源综合利用的场景数（指可再生能源类型与负荷类型的组合）不低于 10 种；可再生能源电/热/燃料联产系统的多能转化类型不少于 5 种，动态平衡的时间分辨率不大于 15 分钟；日前 24 小时优化策略的求解时间不大于 3 分钟，实时优化控制指令的求解时间不大于 1 秒；可根据设计需求生成测试场景集，支持电/热/燃料全工况运行的硬件在环测试，时间精度为毫秒级到分钟级动态可变；研发设计与能量管理一体化平台，构建模型库和算法库，研制通用能量管理装置，控制指令响应时间不大于 3 秒，可支撑数千瓦级到百兆瓦级的系统优化设计与能量管理，节点数不低于 100，在 3 类具有不同可再生能源或用户类型的工程进行应用验证。

关键词：分布式可再生能源，系统设计，能量管理，通用平台

#### **4.2 海上可再生能源对海洋生物环境影响研究（基础研究类）**

研究内容：面向我国东部海上生态环保重点区域，开展

大规模海上可再生能源与生态环境协同发展的基础研究，探索生态环境友好型的海上低碳能源技术方案。具体包括：海上风电系统建设和运行期间水下辐射噪声对海洋生物生存环境影响机理、噪声控制机制；海上光伏系统布置对近海表面水体、潮汐潮流等海洋动力环境以及海床/潮间带冲淤的影响机制；潮流能、波浪能发电系统连续运行对水下流场、声场、电磁场耦合环境的扰动机理及对海洋生物的影响；海上可再生能源发电系统环境影响因素的监测识别方法验证及海上低碳能源技术方案生态友好性评估；提出生态环境友好型的海上低碳能源技术方案。

考核指标：揭示海上风电、海上光伏、潮流能/波浪能发电系统对海洋环境交互作用机理，建立精细化预测模型，形成多种海上可再生能源与海洋生态环境协同发展成套理论方法；构建海上风电噪声的海洋环境影响评估模型，提出风电施工打桩引起的水下辐射噪声控制技术，模型试验噪声降低不少于 5 分贝（100 赫兹 ~ 1000 赫兹）；形成不同结构形式海上光伏阵列对近海表面光照、初级生产力、海洋动力环境、海床/潮间带冲淤以及生物群落影响的精确评估方法；建立潮流能/波浪能发电系统对水下流场、声场、电磁场耦合影响机制的评估模型；建立面向海上可再生能源的海洋生态环境多要素实证监测平台，环境与生物多样性监测因子不少于 10 个，监测周期不少于 1 年；建立海上可再生能源发电系统生态环境友好性的评价体系，形成生态环境友好型的海上低碳能源技术方案。

关键词：海上风电，海上光伏，潮流能，波浪能，海洋生物环境影响

### **4.3 集群式中（深）层闭式取热系统开发地热能关键技术（基础研究类）**

研究内容：以拓宽中（深）层地热能开发利用途径为目标，研究集群式闭式取热系统高效开发中（深）层地热能关键技术。具体包括：集群式闭式取热系统内热质传输特性研究；集群式闭式取热系统在不同地质条件下的适应性及传热机制；地热赋存条件与集群式闭式取热系统间的交互作用机制及协同控制方法；集群式闭式取热系统地热开采与地面用热系统的匹配技术及验证。

考核指标：集群式闭式取热系统热传输效率不小于 90%；形成不同地质条件下的地热增强传热方案至少 2 套；形成至少 2 种不同地热赋存条件下集群式闭式取热系统结构设计与参数优化方法；实现集群式闭式取热系统在每个采暖季稳定取热功率大于 5 兆瓦，并且地热利用焓效率不小于 65%。

关键词：集群式闭式取热系统，稳定取热功率，焓效率

### **4.4 中低温地热磁悬浮发电技术（青年科学家项目）**

研究内容：以提高中低温地热资源的热电转换效率为目标，研究中低温地热磁悬浮 ORC（有机朗肯循环，Organic Rankine Cycle）发电技术，具体包括：中低温地热高效 ORC 发电系统循环工质材料的多指标评价和优化筛选；中低温地热高效 ORC 发电系统径向透平和轴向透平膨胀机协同高效优化设计技术；径向透平和轴向透平膨胀机协同运行下磁悬

浮轴系设计技术，中低温地热磁悬浮轴承动静间隙控制技术；中低温地热磁悬浮复合梯级发电系统多层次耦合优化技术。

考核指标：完成不少于 3 种中低温地热高效 ORC 发电系统循环工质材料的评价和筛选；磁悬浮电机转速达到 20000 转/分钟；形成单台 5 兆瓦中低温地热磁悬浮复合梯级发电装置方案，热电效率提升至 20%；研制中低温地热磁悬浮径向和轴向透平耦合的复合梯级发电装置原理样机，功率不小于 15 千瓦。

关键词：ORC 发电系统，径向透平和轴向透平，磁悬浮