

附件

**智能电网国家科技重大专项
2025 年度公开竞争类指南
(征求意见稿)**

2025 年 3 月

目 录

方向一：高比例可再生能源并网调控	1
1.1 多类构网型设备接入下省级送端电力系统安全高效运行示范工程.....	1
1.2 100%新能源大基地场站级构网关键技术及示范工程.....	2
1.3 远海风电集群送出多端异构新型换流拓扑及装备.....	3
1.4 适应电力市场的多类型储能协同调度技术.....	4
1.5 面向新能源发电预测的电力气象智能预报关键技术.....	5
1.6 面向深远海风电的雷电监测防护关键技术及装备.....	6
1.7 依托抽水蓄能资源的兆瓦级抽水压缩空气技术及装备.....	7
1.8 电碳耦合驱动的新型电力系统转型轨迹与风险平抑.....	8
1.9 空基高空风力发电系统电能变换及其组网接入控制技术.....	9
方向二：多元用户供需互动用电与能效提升	10
2.1 多类型新型主体接入配电网安全关键技术及示范工程.....	10
2.2 分布式新能源接入的柔性配电系统关键技术及装备.....	11
2.3 百兆瓦级风光氢绿色燃料柔性负荷调控与电网灵活互动示范工程.....	12
2.4 高比例新能源弱电网电气化铁路柔性供电技术及装备.....	13
2.5 电网与低碳用能钢铁产业集群灵活互动示范工程.....	14
2.6 支撑广域供需协同的泛在计量与在线校准关键技术及装备.....	15
2.7 多层级电力系统多工况负荷动态特性建模技术.....	16
2.8 新型配电系统多主体随机博弈与自适应决策技术.....	17
2.9 轻量级 AI 原生嵌入式台区 - 网格自治体系构建方法及协同关键技术	18
2.10 多模态自适应的分布式资源同步化支撑机理与协同控制技术.....	19
方向三：电网柔性互联与安全运行	20
3.1 新能源主体、特高压密集的区域送端系统构建与安全防护示范工程.....	20
3.2 500 千伏经济型高压直流断路器关键技术及装备.....	21
3.3 规模化新型储能支撑电网稳定机理与系统级协同控制技术.....	22
3.4 支撑负荷中心电网安全稳定运行的多类型电力电子装备调控关键技术及装备 ...	23
3.5 基于构网型储能及分布式整流汇集的新能源开发外送示范工程.....	24

3.6 适应高比例电力电子化电力系统继电保护关键技术及装备.....	25
3.7 新型环保气体绝缘金属封闭高压直流开关关键技术及装备.....	26
3.8 超特高压系统短路电流超标治理关键技术及装备.....	27
3.9 柔性输变电设备电致相变快速吸能关键技术.....	28
3.10 具备耐受高频扰动能力的变压器关键技术及装备.....	29
3.11 省域电力系统碳排放溯源关键技术.....	30
3.12 全国统一电力市场仿真推演关键技术.....	31

方向四：智能电网基础支撑技术32

4.1 电网电力电子装备高电位专用芯片关键技术.....	32
4.2 大容量变压器用高介电性能芳纶绝缘材料研制关键技术.....	33
4.3 输变电装备设计分析一体化软件关键技术.....	34
4.4 高能量密度直流电容器用耐高温薄膜材料关键技术.....	35
4.5 自主可控电力专用网络安全防护基础平台关键技术.....	36
4.6 高压电力电容器用绿色植物基浸渍剂研发与应用.....	37
4.7 高压大功率半导体器件关键封装绝缘材料关键技术.....	38
4.8 硅橡胶外绝缘材料环保高价值回收利用关键技术.....	39

方向一：高比例可再生能源并网调控

1.1 多类构网型设备接入下省级送端电力系统安全高效运行示范工程

研究内容：针对极高新能源占比、多回直流密集送出的省级送端电力系统安全高效运行重大需求，研究“机-场-群”协同构网的系统安全高效运行关键技术，具体包括：面向多层级强度和惯量重构的新型构网关键技术及装备；满足多场景需求的新能源场站/场群协同构网与自稳控制技术；适应极高比例新能源接入的系统规划与构网配置技术；“机-场-群”构网下多元协同的系统高效运行技术；“机-场-群”构网的系统稳定控制技术及工程示范。

考核指标：建成省级送端电力系统安全高效运行示范工程，实现系统新能源瞬时出力占比超 80%、外送占比超 50% 场景下安全高效运行：新型构网变流器具有灵活故障限流功能，短路电流 0.5p.u.至 3.0p.u.可调，具备不小于 10 倍变流器额定容量的等效强度支撑；全功率测试装备可测试容量不小于 50 兆瓦；构网型新能源场群装机规模不小于 1 千兆瓦，等效惯性时间常数 3 秒至 15 秒动态可调，构网设备类型不少于 5 种；万级节点“机-场-群”多层级构网配置规划平台支撑实现新能源装机占比大于 70%、电量占比大于 45%；省级电网协同运行平台实现系统强度在线评估、构网辅助决策周期均不超过 5 分钟；系统稳定控制平台实现 2.5 赫兹以上宽频振荡源定位时间不大于 5 秒，响应控制动作时间不大于 300 毫秒。

项目类别：重大示范验证类/实施年限：4 年

1.2 100%新能源大基地场站级构网关键技术及示范工程

研究内容：面向常规新能源场站无法满足 100%新能源大基地安全稳定运行的重大需求，研究场站级构网关键技术、系统研制及工程示范，包括：新能源场站多构网主体多尺度动态聚合特性及整站自同步电压源形成原理；100%新能源大基地构网型场站模态优化与全工况构网技术；构网型新能源场站功率-能量时空协同调控与潮流动态均衡技术；构网型新能源场站宽频带振荡自主防御与极端故障自愈技术；构网型新能源场站物理扰动与数字激励融合测试技术及装备研制。

考核指标：在 100%新能源大基地建成装机不低于 500 兆瓦的构网型新能源场站示范工程，可实现不低于 4 种构网组合模态，场站在并网点电压 0.05p.u.（150 毫秒）至 1.35p.u.（500 毫秒）区间内保持电压源特性，对并网点故障电流支撑不低于 2 倍额定电流，惯量响应延迟时间不超过 5 毫秒，等效惯性时间常数 3 秒至 15 秒可调，一次调频功率变化幅度不低于 $\pm 10\%$ 额定容量，二次调频上调幅度不低于 15%场站理论风光功率，动态无功调节幅度不低于 $\pm 75\%$ 额定容量，站内无功不平衡度不超过 1%，0.1 赫兹至 2500 赫兹振荡检出时间不超过 5 个振荡周期，有功紧急响应时间不超过 100 毫秒，黑启动过程整站全节点带电时间不超过 15 分钟；35 千伏并联移动式整站构网能力测试装置单台容量不低于 10 兆伏安，具备场站级负荷/电压扰动、阻抗特性测试功能。

项目类别：重大示范验证类/实施年限：4 年

1.3 远海风电集群送出多端异构新型换流拓扑及装备

研究内容：针对远海风电集群送出需求，研究远海风电多端异构新型换流拓扑及关键装备，具体包括：远海风电多端异构换流拓扑构建技术；高经济性换流装备一体化设计及研制；具有跟/构网型风机适应能力的换流器控制技术；多端异构直流系统故障清除技术；远海风电多端异构换流装备集成及应用。

考核指标：提出不少于 2 种适用于远海风电送出的多端异构拓扑及系统设计方案，具备适应跟网和构网型风机的能力，辅助换流器的电压和容量均不大于主换流器额定电压和容量的 30%；研制换流装备，阀塔功率密度不小于 2.7 兆瓦每立方米，阀重不大于 100 吨每吉瓦，损耗不大于 0.25%；远海风电—换流系统具备黑启动、近零功率运行能力，交流集电系统频率偏差不大于 ± 1 赫兹，电压总谐波畸变率不大于 5%，风机机端电压偏差不大于 10%；多端异构系统交直流故障下全范围电压故障穿越能力不小于 650 毫秒，故障穿越期间不因暂态能量冲击导致直流闭锁；换流装备在 ± 500 千伏远海风电直流输电工程中应用，2 吉瓦换流平台造价不大于 23 亿元，相比现有平台降幅不小于 15%。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

1.4 适应电力市场的多类型储能协同调度技术

研究内容：针对新型储能运行与电力市场衔接不足，与调度互动性弱等问题，开展基础理论研究、核心系统研发及示范，解决制约新型储能科学调度运用问题。具体包括：多类型储能电站调控可行域建模方法与作用价值评价理论；储能电站态势评估与新能源－储能互动协调技术；考虑安全约束的广域储能电站协同运行调控技术；储能参与多维电力市场交易机制、调度决策及量化评估技术；适应电力市场的省级大规模多类型新型储能协同调度系统示范。

考核指标：储能场站端系统可调控能量评估误差不超过3%，储能指令控制周期不超过1分钟，储能价值评价场景不少于6种；调度端可接入新型储能容量不低于400万千瓦，参与多维电力市场的优化调度决策时间不超过5分钟，交易品种不少于4种；在送端省级电网新能源装机占比不低于50%或受端省级电网新能源装机占比不低于25%、新能源最高出力占比不低于65%的省级电网开展示范应用，储能年等效利用小时数不低于1200小时，储能对消纳新能源贡献率（储能充新能源弃电量/新能源发电量 $\times 100\%$ ）不低于1.5%，支撑保供电量不低于放电量的85%。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：3年

1.5 面向新能源发电预测的电力气象智能预报关键技术

研究内容：针对电力气象预报精准性不足、针对性不强、时效性不够，导致新能源预测性能与实际需求仍存较大差距的问题，研究电力气象智能预报关键技术。具体包括：电力气象监测站点优化布局与多源监测数据融合技术；电力气象全景实况场构建方法与再分析数据智能同化技术；物理机理与数据驱动相结合的电力气象预报技术；新能源发电功率多场站一体化预测大模型技术；电力气象监测与智能预报平台及应用。

考核指标：稀疏地区新增地面观测站点不少于 100 座，构建覆盖全国的电力气象实况场，空间分辨率不低于 3×3 千米，数据可用率不小于 98%；构建电力气象再分析数据集，长度不短于 40 年，实时生成延时不超过 2 小时；研制电力气象预报系统，具备覆雪、覆冰厚度、风速等影响新能源发电的关键要素，单次推理时间不超过 2 秒，实际风速与预测风速日前预报相关系数不低于 0.75；研发新能源功率预测大模型，至少具备对 1000 个场站级预测结果一体化输出能力，省（区）级电网单点日前预测最大偏差不超过 25%；研发电力气象监测与智能预报平台，至少应用于 2 个省（区）级及以上电网。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

1.6 面向深远海风电的雷电监测防护关键技术及装备

研究内容：针对我国深远海风电运行与送出安全需求，研究海上雷电监测防护关键技术，具体包括：海上雷电活动精准定位与组网技术；海上雷电多参量三维活动监测预警技术；大型海上风电设施雷击机制与防护技术；大型海上风电场汇集送出系统雷击电磁暂态保护技术；大型海上风电场雷电监测保护多场景工程示范应用。

考核指标：研制海上雷电活动精准定位装备，定位误差不大于 500 米，积累深远海雷电实际基础参数不少于 100 万条（包含雷电流幅度、极性、位置等信息）；研制海上多参量融合雷电全过程监测预警装备，雷电 2 小时预警准确率不小于 80%；研制大型海上风电设施雷击接闪保护装备，接闪成功率优于 80%，风电设施雷击损伤率低于 3.0 次每百台年；研制大型海上风电场汇集送出系统雷击电磁暂态保护装备，风电汇集送出系统雷击故障比例降低至 20%以下；在 2 至 3 处千兆瓦级海上风电场实现雷电监测保护多场景工程示范应用。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

1.7 依托抽水蓄能资源的兆瓦级抽水压缩空气技术及装备

研究内容：针对依托新型储能技术提升电力系统调节能力、利用现有资源提升抽水蓄能性能等迫切需求，研究依托抽水蓄能资源的兆瓦级抽水压缩空气系统关键技术及成套装备，具体包括：研究抽水压缩空气储能系统集成理论；研发宽幅水头压力变化下高效运行机组；研发低成本高压力储能容器材料及配套施工工艺；研究抽水压缩空气宽工况高效稳定运行及多场景灵活调控技术；依托抽水蓄能资源建设兆瓦级抽水压缩空气储能示范工程。

考核指标：示范工程抽水压缩空气系统发电功率不低于 1 兆瓦，连续发电时长不低于 10 小时，发电容量不低于 10 兆瓦时，储能空气与水体总体积不高于 200 立方米每兆瓦时，抽水压缩空气系统综合效率不低于 70%；研发的自主化机组在 6 兆帕至 16 兆帕宽幅水头压力变化下运行效率不低于 90%，水头压力变化比不小于 2.67 倍；形成成套低成本轻质高强耐压材料及配套施工工艺，支撑洞室最高运行压力 16 兆帕情况下安全运行，抽水蓄能施工支洞等闲置洞室资源利用率不低于 95%；建成抽水压缩空气与抽水蓄能综合调控平台，基于统一调控平台实现电站设备综合调控响应时间达 100 毫秒级。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：3 年

1.8 电碳耦合驱动的新型电力系统转型轨迹与风险平抑

研究内容：面向双碳目标下新型电力系统构建，研究电力系统转型轨迹及其风险，具体包括：多种气候变化情景下电力系统碳预算分解与碳轨迹边界生成技术；电碳耦合驱动的新能源发展与常规电源灵活低碳转型轨迹模拟；新型电力系统结构形态下能量流－碳流耦合的多时空尺度电力电量平衡机理；考虑气象－电力耦合与供需复杂不确定性的电力系统转型风险分析与平抑方法；基于运行模拟的新型电力系统转型轨迹优化及风险分析软件平台。

考核指标：提出的碳预算与碳轨迹边界生成技术时间颗粒度至少为年度；提出至少 3 个不同气候及资源禀赋区域的至少 3 种新能源发展与常规电源转型轨迹，时间跨度从现阶段到碳中和期 2060 年全覆盖；论证所提出转型轨迹的安全—低碳—经济特性；提出的电力转型风险分析技术涵盖长期与中期、整体与局部、“小概率高风险”与“大概率低风险”事件；研发的软件平台，其电力电量平衡与风险仿真分析可计算能力与实证分析的电力系统节点数不少于 1 千个；平台风险仿真分析中考虑的极端气象类型不少于 3 种，平台包含上述各结构形态下跨“多年－年－季节－周－日－小时”时间尺度的源网荷储电力电量平衡与碳排放时空分布数据库。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：3 年

1.9 空基高空风力发电系统电能变换及其组网接入控制技术

研究内容：针对高空优质风能资源的高效稳定利用需求，研究空基高空风电电能变换与组网接入控制技术，具体包括：考虑“气动－电气”耦合特性的空基高空风力发电及其组网系统多时空尺度建模与测试技术；高空复杂环境下轻量化变流器关键技术及研制；基于高精度空天气预报的高空风力发电系统最大功率跟踪控制技术；空基高空风力发电的地面灵活组网、集群运行与并网接入控制技术；开展兆瓦级空基高空风力发电多机系统的工程示范应用。

考核指标：空基高空风力发电系统单机模型在多放飞高度和宽风速范围下精度不低于 85%；研制轻量化高空风电变流器，兆瓦级整流器功重比不低于 5 千瓦每千克，横向/纵向/垂向 5 小时耐受振动等级不低于 0.5 倍重力加速度；研发运行高度可调的最大功率跟踪技术，较固定高度模式风能捕集率提升 20%以上，控制时间间隔不大于 1 分钟，高度控制速度不小于 3 米每秒；提出高空风电电压控制方法和高低压穿越策略，并网点电压正常运行范围为标称电压的 97%至 107%，在发生跌落后 2 秒内恢复到标称电压的 90%时，能够不脱网连续运行；空基高空风力发电系统不少于 2 套，最大单机额定功率不低于 1 兆瓦，设计运行高度不低于 1500 米，高于 70%额定功率的持续发电时长不低于 168 小时。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：3 年

方向二：多元用户供需互动用电与能效提升

2.1 多类型新型主体接入配电网安全关键技术及示范工程

研究内容：针对我国每年新增上亿千瓦多类型新型主体接入配电网并安全可靠运行的重大需求，研究多类型新型主体接入配电网安全关键技术及工程示范应用，具体包括：多类型新型主体接入配电网风险识别与安全性评估技术；新型主体安全并网与主动支撑技术；含多类型新型主体配电网安全运行分析与风险防控技术；新型主体轻量化可信接入配电网及安全交互技术；含多类型新型主体配电网安全风险管控平台及示范应用。

考核指标：建设代表我国东西部城乡差异化特点、含不少于 3 类新型主体的配电网安全示范工程 3 至 5 个：分布式电源渗透率不低于 40%、充电桩 1 万至 3 万个，配电台区分布式储能不少于 50 套、容量不小于 10 兆瓦时；安全风险评估范围覆盖不少于 3 个电压等级城乡配电网，在线预警准确率不低于 99%，主网故障下配电网具备构网自治运行的能力；安全并网装置支持多类型主体接入、具备自适应跟网/构网功能、具有抗系统扰动与防误动拒动性能，反孤岛保护时间不大于 1 秒；配电网安全风险管控平台支持“省－市－县(区)”三级、千万级节点规模配电网在线风险管控，支持“分钟－小时－日”多尺度、“设备－馈线－网络”多断面的配电网安全运行分析、在线风险预警防控，系统响应时间不大于 3 分钟；新型主体轻量化接入安全防护增加报文长度不大于 15%。

项目类别：重大示范验证类/实施年限：4 年

2.2 分布式新能源接入的柔性配电系统关键技术及装备

研究内容：针对分布式新能源接入下，配电网灵活性和可靠性提升的需求，开展分布式新能源接入的柔性配电系统关键技术的研究，具体包括：适应分布式新能源接入的柔性配电系统形态及组网技术；柔性配电系统多状态（正常、警戒、故障状态）辨识及灵活运行技术；柔性配电系统安全可靠运行机理及紧急控制技术；高可靠、多状态灵活切换的组态化柔性配电主设备；适应差异化场景的柔性配电多状态运行控制研发与工程验证。

考核指标：建成柔性配电系统示范工程：分布式新能源装机容量不低于 50 兆瓦，新能源渗透率不低于 80%，新能源接纳能力提升 20%，年停电时间减少 10%，设备负载均衡度提高 10%；柔性配电系统组网与形态适应涵盖城市、园区、农村等差异化典型场景，系统运行正常、警戒、故障状态辨识精度不低于 95%，潮流灵活控制能力提升 10%；控保安一体化终端全自主可控，支持软件在线定义；研发基于自主可控碳化硅器件的功率模组，低压功率模组峰值效率不低于 98.5%，中压功率模组峰值效率不低于 98%，可灵活构建柔性互联、能量路由器等柔性主设备不低于 6 类，模组 - 设备的指标一致性偏差不高于 5%。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

2.3 百兆瓦级风光氢绿色燃料柔性负荷调控与电网灵活互动示范工程

研究内容：针对可再生能源与绿色燃料耦合系统电网友好运行需求，研究绿色燃料柔性制备与电网灵活调控技术，具体包括：研究考虑风光资源和绿色燃料制备负荷特性的优化配置技术；研究适应波动性新能源的低成本电/氢/绿色燃料柔性负荷调控技术及装备；研究宽范围运行下绿色燃料负荷动态优化和质量控制技术；电/氢/绿色燃料跨尺度耦合机理及其与电网灵活互动技术；风光氢绿色燃料负荷调控与电网深度互动系统集成与工程示范。

考核指标：建成风/光/氢/绿色燃料示范工程：电－氢－绿色燃料系统柔性可调负荷总容量不小于 300 兆瓦，绿色燃料类型不少于 2 类，新能源利用率不小于 95%，绿色燃料总年产量不小于 5 万吨；柔性负荷（电－氢－绿色燃料）互动装置单机容量不小于 2.5 兆瓦，且长时间互动运行范围不低于 20%至 110%，其中互动运行范围内单机装备的转化效率不小于40%；与电网灵活互动调节能力：有功功率不小于 50%柔性负荷总容量、无功功率不小于 15%柔性负荷总容量，响应误差不大于 2%，响应时间不大于 10 秒；用能成本降低 5%。

项目类别：重大示范验证类/实施年限：4 年

2.4 高比例新能源弱电网电气化铁路柔性供电技术及装备

研究内容：针对高比例新能源弱电网下电气化铁路绿色可靠供电和电网安全稳定运行要求，研究电气化铁路柔性供电技术，具体包括：高比例新能源与强冲击负荷交互的电网－牵引网柔性组网和构网型资源配置技术；电网－牵引网多资源协调运行和网车协同调控技术；电气化铁路多端口柔性供电系统主动控制技术；电气化铁路柔性供电系统故障保护和韧性保供技术；电气化铁路柔性多端口供电装备与工程应用。

考核指标：研发电网－牵引网协调规划运行平台，区段电铁绿电电量占比超过 80%，负荷峰谷差降低 20%；研制短时高倍率耐冲击型构网变流器，交流侧电压不低于 25 千伏，容量不小于 40 兆伏安，最大短路电流不小于 3 倍额定电流，弱电网下电压偏差不大于 5%，公共连接点三相不平衡度正常不大于 1.3%、短时不大于 2.6%；研制多端口柔性装备故障预判及快速保护装置，保护动作时间小于 2 毫秒，系统供电恢复时间小于 300 毫秒，外电网停电等极端场景支撑 20 兆瓦牵引负荷不低于 30 分钟；研制高可靠柔性多端口成套装备，容量不小于 40 兆伏安，效率不低于 96%；基于以上研制装备，示范区新能源装机占比超过 90%，多场站短路比机端不高于 1.5，覆盖 2 个以上牵引站，牵引站平均供电距离不少于 30 公里。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

2.5 电网与低碳用能钢铁产业集群灵活互动示范工程

研究内容：针对钢铁负荷灵活性提升和绿电替代需求，研究电网－钢铁产业集群源网荷储低碳协同与灵活互动关键技术，具体包括：面向高占比新能源电网和大型钢铁集群负荷的动态匹配及多能协同优化配置技术；电炉冶炼负荷灵活性及能效提升关键技术与核心装备；钢铁产业园区多主体互动能力预测、生产－能源优化控制及分层协同技术；多维不确定性下新能源基地与大型钢铁集群负荷协同互动与调控技术；近“零”碳排放钢铁绿电冶炼与互动示范工程。

考核指标：建设近“零”碳排放钢铁绿电冶炼与互动示范工程，示范电炉单体功率不低于 140 兆瓦，负荷调节深度不低于额定功率的 30%，通过绿电冶炼实现标煤消耗减少不小于 70%，碳排放强度不大于 0.12 吨每吨钢；研制 1000 兆瓦级深度融合工业负荷调控平台，示范园区建设不低于 300 兆瓦光伏装机，参与调峰指令曲线的响应误差不大于 5%，园区内直供绿电 100%消纳；研制省域大规模新能源与钢铁集群负荷多时空协同运行系统，域内新能源装机占比不小于 80%，直接应用于不少于 5 家千万吨级年产能的钢铁企业，新增新能源电力消纳量不低于 5 亿千瓦时每年。

项目类别：重大示范验证类/实施年限：4 年

2.6 支撑广域供需协同的泛在计量与在线校准关键技术及装备

研究内容：针对新型电力系统广域供需协同的测量感知、在线校准、计量采集等需求，研究泛在计量关键技术及装备，具体包括：研究计量点运行误差监测模型与在线校准技术；研发具备计量、计算、通信和时频远程溯源等功能的计量一体化芯片；研制嵌入式、小型化计量模组及设备；研究超大规模计量节点混合组网、实时采集与泛在计量体系构建技术；开展泛在计量关键技术及装备的试点应用。

考核指标：计量运行误差在线校准模型的电压、电流测量不确定度优于被校准节点准确度等级的 $1/3$ ；计量一体化芯片的电能量误差误差不超过 $\pm 0.5\%$ ，电压、电流测量误差不超过 $\pm 0.3\%$ ，动态范围 $12000:1$ ，算力不低于 1 百亿次运算操作每秒（GOPS），校准后相对频率偏差不大于 5×10^{-7} ，时间偏差优于 ± 30 微秒；计量模组品类不小于 5 类，满足居民用能、工业负荷感知、商业负荷调节、低压分布式光伏并网、车网互动等场景应用要求；泛在计量体系具备十亿级规模计量点接入能力，设备在线率大于 98%，采集成功率大于 97%，具备至少 4 种通信方式混合组网能力，通信时延不大于 50 毫秒；在至少 5 类场景进行关键技术及装备的工程验证，部署计量模组及设备不小于 10 万只。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

2.7 多层级电力系统多工况负荷动态特性建模技术

研究内容：针对负荷的非线性时变、快速响应、柔性互动等特征，研究面向多层级电力系统的多工况负荷动态特性建模技术，支撑高精度高效率的新型电力系统安全稳定分析，具体包括：研究台区负荷的多时间尺度动态响应机理与结构化模型的分类建模方法；研究自适应变结构的多层级负荷动态模型聚合技术；研究考虑配网多业态数据的聚合模型智能在线参数更新技术；研究用于系统分析的数据驱动与机理驱动负荷模型变换技术；研发负荷动态特性监测与模型验证平台。

考核指标：提出包含工业、农业、商业、居民、高比例分布式电源等不少于 6 种典型台区的结构化模型建模方法，其动态响应与实测对比准确度不低于 90%；建立的多工况负荷聚合模型覆盖 110 千伏及以下电压等级，在省级电力系统真实大扰动下，精度较传统建模方式（静态负荷+感应电动机）提升 5%以上；针对不少于 10 万用户的 110 千伏及以下负荷聚合，参数更新计算时间不超过 30 秒，参数更新频率不低于 15 分钟每次；数据模型到机理模型转化的精度损失不高于 5%；构建负荷动态特性监测与模型实证平台，研制并部署动态特性监测装置，支持对不少于 10 万用户的 110 千伏及以下电网开展高精度动态监测与模型实证，开发应用于省级电网的负荷动态模型更新软件，具备模型聚合、参数辨识、模型验证等功能。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：3 年

2.8 新型配电系统多主体随机博弈与自适应决策技术

研究内容：针对分布式源荷储等新型主体规模化接入配电网带来的灵活互动与价值均衡需求，研究新型配电系统多主体随机博弈与自适应决策技术，具体包括：新型配电系统多主体博弈行为表征和均衡机理；计及数据隐私的多主体博弈互动能力评估及预测方法；多主体随机博弈下配电系统运行安全边界刻画方法；考虑多主体动态博弈均衡的配电系统自适应运行决策技术；配电系统多主体博弈互动运行与演化仿真系统研发及验证。

考核指标：揭示分布式光伏、储能、可调节负荷等不少于 5 类主体的博弈行为表征、互动机理及近似均衡求解原理；包含发/用电功率、可调裕度等指标的互动能力日前预测模型具备分布外泛化能力，预测精度不低于 90%；实现包含配电设备健康评价、系统供电可靠性评估等不少于 3 个维度的配电系统运行安全边界自动校核；研发配电系统多主体博弈互动运行与演化仿真系统，具备适用于不少于 3 种博弈交易类型的源荷互动预测、系统安全运行边界分析、运行优化策略生成与校验等功能，含百个博弈主体的配电系统自适应运行决策求解时间不超过 30 秒；在分布式新能源装机渗透率不低于 80%、参与主体不少于 5 类的配电系统实现应用验证。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：3 年

2.9 轻量级 AI 原生嵌入式台区 - 网格自治体系构建方法及协同关键技术

研究内容：针对高比例分布式资源接入下配电网海量多元异构设备智能互动与协同自治问题，研究轻量级 AI 原生嵌入式台区 - 网格自治体系构建方法及协同关键技术，具体包括：轻量级 AI 原生嵌入式系统与配电台区 - 网格自治体系构建技术；配电台区 - 网格多维状态 AI 实时观测技术；多配电台区互联主动平衡与紧急支撑 AI 自主调控技术；配电网格自组织协同运行及灵活组网技术；轻量级 AI 原生嵌入式智能终端及自主决策管控验证平台研发与应用验证。

考核指标：轻量级 AI 原生嵌入式系统与配电台区 - 网格自治体系构建技术，支持多台区协同自治、互联主动平衡；建立台区运行状态 AI 观测器模型，观测准确率大于 85%、响应时间小于 500 毫秒；互联台区新能源总消纳能力不低于 85%，功率紧急动态响应时间不高于 500 毫秒；自组织协同运行及灵活组网覆盖不少于 3 种典型配电网格，决策分析时间不高于 1 秒；研发轻量级 AI 原生嵌入式智能终端及自主决策管控验证平台，终端智能算力不小于 1 万亿次运算操作每秒（TOPS），具备自主决策和就地调优能力，在不少于 50 个配电台区应用验证。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：3 年

2.10 多模态自适应的分布式资源同步化支撑机理与协同控制技术

研究内容：针对规模化分布式资源集群聚合频率支撑能力不清晰、复杂运行模态下缺乏协同控制手段的问题，研究分布式资源同步化支撑机理与协同控制技术，具体包括：多模态自适应的分布式资源集群同步化频率支撑时空耦合机理；面向动态扰动过程的可变拓扑集群多模态自适应建模技术；计及多模态运行安全的分布式资源集群同步化聚合动态可行域评估技术；异构资源主导的分布式资源集群频率-惯量主动同步化支撑控制技术；分布式资源集群同步化支撑协同控制体系与平台验证。

考核指标：支持故障断线、转供重构、计划检修等不少于 3 种变拓扑条件下的集群自适应建模与多模态安全分析；变拓扑条件下无馈线参数及运行数据支撑的潮流计算精度不低于 95%；分布式资源分散接入数量不少于 300 台、配网节点数量不少于 1000 个的集群整体阻尼-惯量聚合动态可行域在线评估精度不低于 95%，单次评估计算时间不超过 5 秒；分布式电源渗透率大于 100%时集群在拓扑与气象条件变化等场景下的动态电压波动不大于 5%，一次调频滞后时间不超过 100 毫秒，惯量支撑滞后时间不超过 50 毫秒，一次调频调差系数 5%至 10%动态可调节；构建分布式资源同步化支撑协同控制数模混合验证平台，研制集群同步化协同控制装置，具备节点数量不少于 1000 个、分布式资源接入类型不少于 5 种、可调节数量不少于 50 台的集群半实物仿真能力。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：3 年

方向三：电网柔性互联与安全运行

3.1 新能源主体、特高压密集的区域送端系统构建与安全防控示范工程

研究内容：针对新能源主体、特高压密集的大型区域送端电网安全运行重大需求，研究系统构建与安全防控关键技术与重大装备、系统，并进行工程示范，具体包括：新能源基地集群外送系统源网储协同构建；电力电子装备动态主导的区域级送端系统安全稳定机理；高度电力电子化系统稳定能力演化规律及全过程量化评估方法；新能源极高占比大电网稳定水平提升及主动支撑型装备研制；大电网源网储协同运行与安全稳定实时防控系统研发及应用。

考核指标：研发适应不少于 6 万节点规模的区域级系统稳定能力全过程评估软件，区域级系统至少含 600 个新能源场站、10 回特高压直流；研制 35 千伏及以上电压等级的构网型静止功率发生器，容量不低于 100 兆瓦，具备 10 毫秒内 6 倍过流能力、长时 1.1 倍过流能力，500 毫秒内有功快速支撑能力达到 90%额定有功功率、动态无功快速响应时间不超过 5 毫秒；研发新能源极高占比电网安全稳定实时协调防控系统，故障后整组动作时间小于 100 毫秒，具备非预想故障安全防控能力；基于上述技术，建成区域送端系统源网储协同运行与安全稳定实时防控示范工程，新能源集群装机规模超过 5 千万千瓦，新能源装机占比达到 50%，新能源年电量占比高于 30%。

项目类别：重大示范验证类/实施年限：4 年

3.2 500 千伏经济型高压直流断路器关键技术及装备

研究内容：针对多端直流系统故障快速可靠隔离重大需求，研究经济型高压直流开断方法、关键技术及装备，并进行工程示范，具体包括：经济型高压直流断路器拓扑结构研究；高速过零开断电弧控制技术与快速开关研制；直流断路器电热力应力分析与关键组部件研制；经济型高压直流断路器紧凑化集成与样机研制；经济型高压直流断路器工程化技术与示范。

考核指标：研制 500 千伏经济型高压直流断路器样机，额定电流不低于 3 千安，开断电流能力不低于 30 千安，开断时间不大于 3 毫秒，具备重合闸功能，相比于现有断路器成本降低 70%以上，体积降低 50%以上，通过型式试验并在 ± 500 千伏直流工程中示范应用。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

3.3 规模化新型储能支撑电网稳定机理与系统级协同控制技术

研究内容：针对规模化新型储能替代传统电源热备用、惯量支撑等作用机理不清与验证不充分问题，研究规模化储能系统级支撑关键技术，具体包括：规模化储能与电网动态时空耦合交互机理及同步替代支撑理论；面向电网多元安稳支撑需求的新型储能系统级协同体系构建与优化配置技术；新型储能电站多场景融合同步替代支撑能力在线评估与自适应控制技术；规模化储能与源网荷系统动态协同风险预防与稳定控制技术；省域电网系统级新型储能多场景融合同步替代工程示范。

考核指标：基于省域电网实际运行方式开展示范验证，单位容量新型储能安稳支撑替代火电开机系数比不低于 1，替代传统电源热备用作用的新型储能规模不少于 2 吉瓦、降低火电最小开机约束不低于 80 万千瓦，储能电站具备惯量瞬时支撑能力，惯量响应调节时间不大于 150 毫秒；研制储能多场景融合辅助决策平台，需求动态辨识精度不低于 85%，安稳响应时间不大于 200 毫秒；构建省域电网支撑替代型储能配置与系统级协同控制推演验证平台，支持不少于 1 万节点的省域系统多尺度仿真，开展不少于 5 种场景耦合、不少于 3 种典型薄弱运行方式下的传统电源替代与安稳支撑推演验证。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

3.4 支撑负荷中心电网安全稳定运行的多类型电力电子设备调控关键技术及装备

研究内容：针对负荷中心电网电力电子设备运行占比大范围动态变化场景下，系统安全稳定裕度保障难与电力电子设备集群稳定支撑潜力发挥不足的问题，开展支撑负荷中心电网安全稳定的多类型电力电子设备调控关键技术研究，具体包括：电力电子装备和同步机运行占比动态变化的电力系统安全稳定机理；电力电子型稳定支撑资源时空优化配置方法；考虑潮流多变特性的电网安全稳定风险评估与稳定运行域刻画方法；多类型电力电子设备集群协同的系统稳定预防调控技术；构建集成多类型电力电子装备的系统稳定预防调控平台。

考核指标：稳定风险评估与稳定运行域刻画方法应用于1万节点以上的省级负荷中心电网，稳定域准确度与时域仿真结果偏差不超过10%，评估速度不超过10分钟；系统稳定预防调控平台在省级负荷中心电网示范应用，控制对象包括柔性直流、构网型电力电子设备等不少于3类50台电力电子装备，控制规模不少于200万千伏安，系统稳定预防调控策略生成时间不超过5分钟，电力电子装备运行策略整体切换时间不超过1分钟，在电力电子装备渗透率20%至70%变化时短路电流不超过60千安，短路比不低于2，实现对多类型电力电子集群的惯量在0秒至10秒范围灵活调节，短路电流在0至3倍额定电流范围灵活调节。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4年

3.5 基于构网型储能及分布式整流汇集的新能源开发外送示范工程

研究内容：针对我国省域局部新能源密集区开发消纳与稳定运行重大需求，研究基于构网型储能及分布式整流汇集的省域新能源开发外送关键技术、装备研制及工程示范，具体包括：基于构网型储能的新能源孤岛电力系统构建技术；基于分布式二极管整流的直流汇集送出技术；新能源孤岛电力系统与直流汇集送出系统协同控制保护技术；直流汇集系统新型装备研制；陆上新能源开发外送工程示范。

考核指标：建成基于构网型储能的新能源孤岛电力系统，不少于 2 端二极管整流汇集，新能源总装机容量不低于 1500 兆瓦，构网型设备工频暂态过电压水平不超过 1.3p.u.，场站并网点交流电压总谐波畸变率不高于 5%；新能源孤岛与直流汇集送出协同控制系统满足有功功率调节偏差不大于 $\pm 2\%$ 额定功率；研制百兆瓦级二极管整流换流器核心装备，电压等级不低于 ± 200 千伏，损耗不高于 0.2%；建成陆上新能源孤岛新型直流汇集送出示范工程，新能源利用率不低于 95%，直流通道利用小时数不低于 4500 小时，比同等规模柔性直流送出方案造价降低 20%。

项目类别：重大示范验证类/实施年限：4 年

3.6 适应高比例电力电子化电力系统继电保护关键技术及装备

研究内容：针对故障快速可靠隔离需求和继电保护性能劣化问题，研究适应高比例电力电子化电力系统的继电保护关键技术、装备及工程示范，具体包括：多源异构电力电子设备电磁时空耦合下的电力系统故障分析理论；适应复杂故障特征的快速可靠线路保护技术；保障电力主设备安全的快速保护技术；应对就地保护功能失效等高风险事件的电网级保护技术；高比例电力电子化电力系统继电保护系统级性能验证技术及整定计算技术。

考核指标：短路电流计算结果与详细模型仿真误差不超过 10%；建立多源异构 100% 新能源接入系统的动态模拟平台，整定计算软件支持电网节点数 6 千个以上，包含跟/构网型风电、光伏、储能及柔性直流等电力电子设备不少于 6 类；研制针对电力电子设备弱故障特性下的保护装备，线路主保护灵敏识别 500 欧姆（500 千伏）高阻故障，金属性故障动作时间不大于 15 毫秒，变压器保护 15 毫秒内灵敏辨识 3% 匝间短路故障，5 毫秒内快速辨识严重故障，电网级保护在 2 秒内可靠隔离相邻元件故障，保护装置性能满足 110 千伏及以上电网保护要求，在新能源发电渗透率最高超过 60% 的电网中应用。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

3.7 新型环保气体绝缘金属封闭高压直流开关关键技术及装备

研究内容：针对海上风电平台和陆上换流站需求，研究新型环保绝缘气体并研制基于该气体的直流气体绝缘全封闭组合电器（GIS），具体包括：新型低温室效应绝缘气体设计理论及方法开发；新型绝缘气体绿色高效制备工艺与综合性能评价技术；适配新型气体的直流 GIS 关键材料与绝缘和灭弧结构的多目标智能设计；直流 GIS 关键功能部件试制与性能等价试验技术；基于新型环保绝缘气体的直流 GIS 整机研制及试验考核。

考核指标：开发新型低温室效应绝缘气体设计与合成的模型及软件；创制不少于 3 种新型环保绝缘气体，至少 1 种实现 100 公斤级制备，全球变暖潜能值不大于 800，液化温度不高于零下 20 摄氏度，0.1 兆帕下的各项绝缘强度指标均高于六氟化硫，急性吸入毒性 LC_{50} （大鼠）大于 20000 微升每升；基于开发的新型低温室效应绝缘气体，研制出 ± 550 千伏直流 GIS 样机，额定电流 5 千安，额定气压不大于 0.7 兆帕，体积不超过现有六氟化硫型 ± 550 千伏直流 GIS，通过型式试验及半年以上的带电考核。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

3.8 超特高压系统短路电流超标治理关键技术及装备

研究内容：针对超特高压系统短路电流超标突出问题，全方位研发关键技术与装备，具体包括：研究双高电力系统短路电流的产生机制及特性、柔性抑制等超标治理方法；研究特高压交流断路器的短路开断、大容量灭弧、大功率操动等技术；研制 1100 千伏 80 千安交流气体绝缘全封闭组合电器（GIS）的断路器、隔离接地开关等成套设备；研究 800 千伏交流快速断路器的快速操作、极短燃弧开断等技术并研制设备；研究短路电流柔性抑制的系统控制策略、快速测控装置、快速真空断路器高电位短路电流自驱等技术并研制成套装置。

考核指标：研制 1100 千伏 80 千安交流 GIS，断路器短路开断电流 80 千安，达到 E2-M2-C2 级，实现整间隔示范应用；研制 800 千伏交流快速断路器，短路开断电流 63 千安，分闸时间不大于 9 毫秒，开断时间不大于 25 毫秒，实现示范应用；研制 750 千伏系统用短路电流柔性抑制成套装置 2 种，故障后快速测控装置出口时间不大于 5 毫秒，30 毫秒内将短路电流抑制到设计范围内，实现示范应用。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

3.9 柔性输变电设备电致相变快速吸能关键技术

研究内容：针对以电力电子技术为基础的柔性输变电设备的暂态能量吸收、瞬态过电压抑制需求，研究柔性输变电设备电致相变快速吸能关键技术，具体包括：电致相变吸能材料的相变机理与能量吸收机制；电致相变吸能元件的电磁参数调控机理；电致相变吸能元件优化设计与性能测试；计及电致相变吸能特性的柔性输变电装备过电压抑制技术；融合电致相变吸能元件的柔性直流换流阀模块研制与验证。

考核指标：研制出电致相变吸能材料，每毫升相变材料耐受脉宽 5 毫秒、能量 50 焦耳的脉冲能量后温升不高于 10 摄氏度，在 20 摄氏度、零电场下动态剪切粘度不高于 5 帕·秒；研制出相变吸能元件，工作电压不低于 2 千伏，工作电流不低于 1 千安；研制出采用相变吸能元件的柔性直流换流阀功率模块，工作电压不低于 2 千伏，通过阀段运行试验验证，并在工程中实现 3 个月以上的带电考核；提出基于电致相变原理的柔性输变电装备瞬态过电压抑制方法，抑制过电压倍数在 1.8 倍以内。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：3 年

3.10 具备耐受高频扰动能力的变压器关键技术及装备

研究内容：针对新能源并网系统变压器安全运行重大需求，研究具备耐受高频扰动（含高次谐波和宽频振荡）能力的变压器关键技术及装备，具体包括：高频扰动在变压器中的传递与应力分布机制及规律；高频电磁热力作用下变压器失效特性与故障形成机制；高频扰动作用下变压器内部复杂应力分布的调控方法；具备耐高频扰动能力的新型变压器设计与校核方法及样机研制；具备耐受高频扰动能力的新型变压器入网试验和性能评价方法。

考核指标：提出从 1 千赫兹到 10 千赫兹频带内高频扰动下变压器内部应力分布分析方法并开发软件，误差不高于 10%；获得变压器内部结构与应力分布的关联关系，通过调控将变压器最大应力降低不低于 20%；研发变压器耐受高频扰动能力的设计和校核软件，准确度不低于 95%；研制具备耐高频扰动能力的新型 220 千伏变压器样机，通过型式试验；提出变压器耐受高频扰动能力的入网试验和评价方法。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：3 年

3.11 省域电力系统碳排放溯源关键技术

研究内容：针对电力系统碳足迹溯源的需求，研究省域电力系统碳排放溯源关键技术。具体包括：化石能源机组碳排放特征分析及监测技术研究；全生命周期电力碳足迹溯源与建模技术研究；省域电力系统动态碳排放因子量化方法研究；电力系统碳排放可溯源数据库构建技术研究；省域电力系统碳排放溯源平台研发。

考核指标：实现省域电力系统碳排放源数据监测，覆盖省域主要化石能源机组，监测频度由年度提升至小时级，数据完整率大于 97%；实现省域电力生命周期碳足迹（包含发电系统原材料获取及运输、电力生产制造、电力运输等阶段）数值计算，包含风、光、水、核、生等 5 类低碳电源类型、7 类输变电工程设备生命周期碳足迹建模；实现省域电力系统碳排放因子动态计算，空间分辨率达到地市级，时间分辨率达到小时级；建立符合国际标准规范的电力系统碳排放可溯源生命周期数据库，覆盖多类型发电系统、输变电工程设备等，数据置信度不低于 97%；研发省域电力系统碳排放溯源平台，全量数据接入频度达到小时级，具备省域电力系统碳足迹溯源、碳排放因子计算等功能。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：4 年

3.12 全国统一电力市场仿真推演关键技术

研究内容：针对省间省级市场从当前两级市场分别独立运营转变到耦合运营的需求，开展全国统一电力市场仿真推演关键技术研究，具体包括：研究面向全国统一电力市场的推演场景设置技术；研究面向全国统一电力市场的市场主体竞价决策模拟技术；研究全国统一电力市场连续推演过程控制技术；研究全国统一电力市场仿真推演高性能优化计算技术；全国统一电力市场仿真推演技术验证。

考核指标：提出的全国统一电力市场仿真推演高性能优化计算技术，参与经营主体不低于 1 万个，优化时段不低于 744 个，优化出清时间在 60 分钟以下；研发的全国统一电力市场仿真推演软件，支持全年 365 天 × 24 时段的仿真推演，推演时间控制在 24 小时以内；研发全国统一电力市场仿真推演软件，并开展验证。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：4 年

方向四：智能电网基础支撑技术

4.1 电网电力电子装备高电位专用芯片关键技术

研究内容：针对电网电力电子装备高电位控制系统缺乏专用芯片的问题，研究高电位的控制芯片、电源芯片、先进架构驱动芯片关键技术，具体包括：高电位可编程控制保护、数据采集与通信一体化控制芯片技术；高压启动、低压控制混合集成的电源芯片技术；低开关损耗、低过冲特性的先进架构驱动芯片技术；强电磁环境下高电位专用芯片的电磁耦合机理和防护技术；高电位专用芯片试验方法与应用技术，实现其在电网电力电子装备中的示范应用。

考核指标：高电位专用芯片（高电位控制芯片、高电位电源芯片、高电位驱动芯片）最大工作电位均不低于 200 千伏，变化率耐受能力均不低于 200 千伏每微秒。高电位控制芯片具备可编程控制保护、数据采集与通信功能，可编程资源不低于 5 千逻辑单元，控制周期不超过 25 微秒。高电位电源芯片具备高压启动功能，电压输入范围 300 伏至 6500 伏，输出电流不低于 4 安。高电位驱动芯片可对开关过程进行精细调控，栅极电流输出峰值不低于 15 安，输出电流调控分辨率不超过 100 毫安。高电位控制芯片、高电位电源芯片、高电位驱动芯片年生产能力均不低于 35 万颗，高电位控制芯片、高电位驱动芯片良率均不低于 90%，高电位电源芯片良率不低于 70%；实现在交直流输电换流阀、光伏变流器、储能变流器、静止无功发生器等不少于 4 类电网电力电子装备中示范应用，每种芯片应用不少于 200 颗。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

4.2 大容量变压器用高介电性能芳纶绝缘材料研制关键技术

研究内容：针对大容量变压器用高介电性能芳纶绝缘材料自主化需求，研究芳纶材料性能调控、制备及应用技术，具体包括：间位芳纶绝缘材料微/介观特性与宏观性能间构效关系及性能调控机制；大比表面积沉析纤维和高强短切纤维制备技术及工艺；高性能芳纶纸/纸板性能调控、批量化工艺、质量控制技术及评价指标体系；芳纶纸/纸板－油绝缘结构的击穿、闪络和分解特性及其设计方法；关键部位芳纶绝缘的大容量变压器研制与示范应用。

考核指标：实现米级幅宽芳纶绝缘材料自主化制备，沉析纤维保水值不低于 3.0 克每克，短切纤维强度不低于 3.8 厘牛每分特，300 摄氏度下 15 分钟热收缩率不高于 2.8%；0.05 毫米规格芳纶纸空气中电气强度不低于 17 千伏每毫米，批次间离散系数不高于 6%，温度指数 220 摄氏度，300 摄氏度下 200 小时与铜接触尖端部位不蚀穿，3 毫米规格芳纶纸板空气中电气强度不低于 18 千伏每毫米；实现芳纶绝缘纸和纸板共千吨级量产能力，一次送检合格率不低于 95%；研制热点及场强集中区域采用芳纶绝缘的变压器，电压等级不低于 500 千伏，容量不低于 300 兆伏安，热点温升允许限值不低于 90 开尔文，1.5 倍额定负荷允许运行时长不低于 1 小时，完成示范应用。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

4.3 输变电装备设计分析一体化软件关键技术

研究内容：针对输变电装备专用设计软件自主化的迫切需求，研究变压器、开关、套管与气体绝缘金属封闭输电线路（GIL）等输变电装备设计分析一体化软件的关键技术，包括：输变电装备专用多物理场建模方法；融合故障机理、失效经验与仿真模拟的装备优化设计方法；多设计场景求解方法和后处理技术；输变电装备的数字化交付接口规范、加密编码方法与交付技术；输变电装备设计分析一体化软件平台。

考核指标：基于国产的多物理场仿真引擎，研发融合 AI 的变压器、开关、套管与 GIL 等输变电装备专用设计分析一体化软件平台，支持不少于 15 种 CAD 数据格式的处理与 10 种多物理耦合场的仿真，以及不少于 15 种设计场景下的模型自适应转换方法，专用多物理场模型库支持不少于 30 种的专用设计分析模型，设计参数判据专家库涵盖电 - 磁 - 热 - 力等不少于 10 类的判据；建立交流 500 千伏级变压器、气体绝缘全封闭组合电器（GIS）、套管与特高压直流 GIL 的真型样机测试平台，开展试验与仿真对比验证，单场计算误差不大于 5%，多场耦合计算误差不大于 8%；应用于 110 千伏及以上全电压等级的变压器、开关、套管与 GIL 等输变电装备自主设计与制造。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

4.4 高能量密度直流电容器用耐高温薄膜材料关键技术

研究内容：针对高安全可靠、紧凑化电力电子装备对直流电容器的高能量密度、耐高温需求，开展高能量密度直流电容器用耐高温薄膜材料关键技术研究，具体包括：耐高温树脂耐热机理与分子结构设计方法；耐高温树脂超净纯化及批量制备技术；耐高温薄膜结晶调控及批量化制备技术；直流电容器高能量密度与热管理协同设计及研制；耐高温薄膜及高能量密度直流电容器试验评估技术与工程示范。

考核指标：耐高温树脂材料热变形温度不低于 105 摄氏度、灰分不高于 25ppm、熔融指数 3.5 ± 0.5 克每十分钟，建成年产量千吨级生产线；耐高温薄膜材料厚度小于 6 微米、厚度均一性偏差小于 1%、常温 450 千伏每毫米下电弱点小于 0.5 个每平方米、105 摄氏度击穿强度大于 480 千伏每毫米，良率大于 40%，建成年产量千吨级生产线；基于上述材料的高能量密度直流电容器电压等级不低于 2.8 千伏、电容值不低于 7 毫法、损耗角正切不高于 1×10^{-3} 、能量密度大于 0.32 兆焦每立方米，耐久性试验温度 90 摄氏度，通过 GB/T 17702 型式试验，年生产能力不低于 2000 台，在 ± 200 千伏及以上柔性直流换流阀、110 千伏及以上静止无功发生器等电力电子装备中示范应用。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

4.5 自主可控电力专用网络安全防护基础平台关键技术

研究内容：针对电力系统专用网络安全防护装备自主可控安全防护增强重大需求，研究覆盖芯片、软件和协议级的电力专用自主可控网络安全防护关键技术及基础平台，具体包括：电力内生安全机理与防御理论模型；场景自适应的动态可重构安全计算芯片技术；面向程序漏洞防护的内生安全编译技术；密码定义安全可信控制交互技术；研制电力专用网络安全防护基础平台及装备，在电力发输变配用调等典型安全接入场景进行示范应用。

考核指标：提出电力系统内生安全模型，针对不低于 20 种差模未知攻击实现自主免疫；研制动态可重构安全芯片，差异化安全防护功能重构时间不高于 20 毫秒；内生安全编译器，支持不低于 10 种安全编译方法，适配 X86、ARM、RISC-V、龙芯、申威等架构平台；开发密码定义安全协议栈模块，支持信息流无干扰模型和 OSI 二至七层安全能力增强，边侧电力专用协议保护性能不低于 3.5 千兆比特每秒；开发自主可控电力专用网络安全防护基础平台，支持电力专用安全防护装备加解密、网络隔离等差异化功能的灵活适配，平台隔离交换吞吐量不低于 40 千兆比特每秒，在新能源监控、主配微多级协同控制、多元负荷控制等不少于 3 类典型场景中开展面向电力专用网络安全装备的示范应用，接入终端规模不低于 1 万台。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

4.6 高压电力电容器用绿色植物基浸渍剂研发与应用

研究内容：针对当前电力电容器用合成芳烃基浸渍剂有毒且难降解的问题，研究绿色植物基浸渍剂及电力电容器关键技术，具体包括：绿色植物基浸渍剂构效模型及分子结构设计方法；绿色植物基浸渍剂多维性能协同调控技术；绿色植物基浸渍剂批量化制备工艺与成套装备技术；绿色植物基浸渍剂服役特性及其与介质薄膜复合体系的性能调控方法；研制采用绿色植物基浸渍剂的电力电容器并示范应用。

考核指标：开发绿色植物基浸渍剂的批量化制备工艺与成套装备，建成千吨级年产能产线，批量化制备的绿色植物基浸渍剂 28 天生物降解率大于 90%、工频击穿电压 2.5 毫米下不低于 70 千伏、闪点不低于 140 摄氏度、倾点低于零下 50 摄氏度、运动粘度 40 摄氏度下不大于 7 平方毫米每秒、吸气性不低于 70 微升每分钟、介质损耗因数 90 摄氏度下低于 0.01；研制采用绿色植物基浸渍剂的电力电容器组，额定电压不低于 10 千伏、容量不小于 5 兆乏，建成年产量不小于 500 兆乏的产线，并在不少于 10 个变电站（电压等级涵盖 110 千伏、220 千伏和 500 千伏）实现示范应用。

项目类别：重大技术装备类/实施年限：4 年

4.7 高压大功率半导体器件关键封装绝缘材料关键技术

研究内容：针对高压大功率半导体器件关键封装绝缘材料的自主化需求，研究封装绝缘材料的绝缘、力、热性能提升技术，具体包括：高品质氮化铝陶瓷粉体杂质控制及批量化制备技术；高热导率、高机械性能氮化铝陶瓷基板制备技术；高性能硅凝胶分子结构设计及配方体系；硅凝胶-陶瓷基板-半导体芯片体系宽温域绝缘技术；自主化封装绝缘材料在高压大功率半导体器件中的封装匹配工艺与一致性技术。

考核指标：氮化铝陶瓷粉体中位径范围为 1.0 至 1.3 微米、氧含量质量分数不高于 0.70%，单次实现公斤级制备；氮化铝陶瓷基板 25 摄氏度下热导率不低于 170 瓦每米每开尔文，抗弯强度不低于 500 兆帕；有机硅凝胶室温下击穿场强不低于 20 千伏每毫米、体积电阻率不低于 1.0×10^{15} 欧姆厘米，最高工作温度不低于 200 摄氏度；上述自主化封装绝缘材料应用于至少 3 款高压大功率（电压等级不低于 3.3 千伏）器件并通过验证，工作温度范围 25 摄氏度至 135 摄氏度。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：3 年

4.8 硅橡胶外绝缘材料环保高价值回收利用关键技术

研究内容：针对硅橡胶复合外绝缘材料环保循环利用的需求，研究硅橡胶环保高经济价值回收技术，具体包括：硅橡胶梯级热解过程中纳米粒子的碰撞成核机制；提高二氧化硅浓度的硅橡胶回收预处理技术；反应腔分区域浓度调控与颗粒成核梯级俘获方法；二氧化硅微球颗粒逐级分离后处理技术；研发梯级热解处理硅橡胶工艺设备并进行应用验证。

考核指标：二氧化硅微球纯度不低于 99%，灼烧失量不高于 0.2%，白度大于 90，球形度高于 93%；硅橡胶有机物降解率不低于 99%，热解 1 千克硅橡胶外绝缘材料耗电量低于 80 千瓦时，产物不含《中华人民共和国应急管理部危险化学品分类信息表》中规定的毒害化学品；建成硅橡胶梯级热解装置，单次回收硅橡胶量达到千克级；回收产物二氧化硅微球在不少于 4 种电子工业典型产品中应用验证。

项目类别：战略前沿技术类/实施年限：4 年