

“十四五”国家重点研发计划“储能与智能电网技术”

重点专项 2022 年度项目申报指南

(征求意见稿)

1 中长时间尺度储能技术

1.1 低成本长寿命锰基储能锂离子电池(共性关键技术)

研究内容: 针对现有储能电池难于满足各类自然环境下未来储能系统各种应用场景需求, 研究低成本、高安全、高比能、高功率、宽环境适应性的锰基锂离子电池的关键技术, 具体包括: 低成本、高稳定的锰基氧化物或磷酸盐类正极材料的结构设计及规模化制备技术; 长寿命锰基储能锂离子电池电芯开发; 高效率、低成本、长寿命、宽环境适应性的锰基储能锂离子电池模组和系统集成技术; 锰基储能锂离子电池的安全性、环境适应性、失效机制以及寿命预测等问题研究。

考核指标: 发展出适用于中短时长应用场景的新一代低成本锰基储能锂离子电池: 高能量、长寿命锰基离子电池, 能量密度不小于 200Wh/kg, 具备室温 1C 充放电能力, 循环寿命大于 12000 次; 45°C 循环寿命大于 4000 次; 实现 MWh

级以上储能电池系统的示范应用，储能系统的安全性符合国家标准，综合能量效率 $\geq 90\%$ ， -40°C 储能系统能量保持率 $\geq 70\%$ ，循环寿命不小于10000次（1倍额定充电功率/1倍额定放电功率）；日历寿命 ≥ 20 年，等效度电成本 ≤ 0.1 元/千瓦时。

1.2 有机储能电池（基础前沿，含青年科学家项目）

研究内容：针对储能大规模应用对低成本、资源可持续性要求及部分场景极端环境运行的要求，研究有机储能电池技术，具体包括：正负极材料有机活性分子的设计、合成与规模化低成本可控制备技术；有机电极材料中离子、电子输运机制与调控规律以及电极/电解液界面作用机制；有机电极材料及界面在充放电过程中的官能团转化与晶体结构演变规律；长寿命、低温极端条件下、低成本的有机离子电池和模组集成技术。

考核指标：开发3种以上具有自主知识产权的有机电极材料和功能电解液；研制10Ah级以上的有机离子单体电池，电池循环寿命 ≥ 10000 次，容量保持率 $\geq 80\%$ ；质量能量密度 $\geq 150\text{Wh/kg}$ ；环境适应温度 -50°C 至 50°C ， -50°C 容量保持率 \geq 室温容量60%；室温下5C倍率充放电容量保持率 $\geq 1\text{C}$ 容量的80%，安全性符合国家标准；建立有机储能电池体系的评测方法并制定相关标准。

1.3. 水系金属离子储能电池（基础前沿，含青年科学家项目）

研究内容：针对规模储能对安全性、经济性和环境适应性的持续更高的要求，研发水系金属离子储能电池。具体包括：高电化学稳定水系电解液及电极材料筛选制备与性能优化；水系电池用高性能低成本隔膜、防腐蚀集流体及粘合剂研究与开发；水系电池电极结构设计制备与电芯设计开发；水系电池模组与系统设计集成及其失效分析与寿命预测技术。

考核指标：提出高安全低成本水系金属离子储能电池材料体系、电芯、模组与系统设计可行性方案与样机验证，研制安时级以上单体电芯，单体电池能量密度大于 60Wh/kg，充放电倍率不小于 1C 和 100% 充放电深度时循环寿命大于 10000 次，容量保持率不低于 80%，能量效率不低于 85%；高温 60℃ 下放电容量不低于常温的 90%，低温 -40℃ 下放电容量不低于常温的 70%；完成 kWh 级水系电池储能系统的样机验证；安全性高于储能锂离子电池国家标准。

1.4 百兆瓦时级钠离子电池储能技术(共性关键技术)

研究内容：针对规模储能对更高技术经济性、资源可持续利用的要求，研究新型钠离子电池储能技术，以满足大规模储能、分布式储能等不同应用场景。具体包括：高能量密

度钠离子电池的低成本正负极材料设计及量产技术研究；钠离子电池电解质材料设计及优化；钠离子电池中的输运、界面反应、稳定性以及全寿命周期失效机制；单体及模块的创新设计与研制；百兆瓦级钠离子电池储能系统集成技术、环境适应性、安全性及成本构成模型与降低方法。

考核指标：开发出新型低成本正负极、电解质等关键材料；研制的钠离子电池单体能量密度 $\geq 150\text{Wh/kg}$ ， -40°C 容量保持率 80%；且 2C 以上、100%DOD 时，循环寿命大于 10000 次；储能单体成本 ≤ 0.3 元/Wh，系统成本 ≤ 0.6 元/Wh，系统能量转换效率不小于 90%，安全性符合国家标准；研制百兆瓦时级以上钠离子电池储能系统，实现在大规模储能、分布式储能、工业储能等领域的示范验证。

2 短时高频储能技术

2.1. 高功率锂离子电池储能技术（共性关键技术）

研究内容：针对新型电力系统频率稳定性问题，开发适用于调频的高功率低成本锂离子电池储能技术，具体包括：开发高功率、长寿命的储能型锂离子电池化学体系；高功率电极和电芯结构的设计及制造工艺；研究新型高效热管理及系统安全防护技术；典型储能工况下，高精度功率预测评估算法；双向大功率快响应变流装置及兆瓦级高功率储能锂离子电池系统。

考核指标：高功率储能锂离子电池室温条件下 4P 充电，4P 放电容量达到 1P 容量的 90%，电池单体能量密度 $\geq 150\text{Wh/kg}$ ；循环寿命 ≥ 8000 次（ 25°C ，2P 连续充放电，80% DOD），容量保持率 $\geq 80\%$ ， 25°C 存储寿命 ≥ 10 年；2P 工况下系统内各电池表面温差 $\leq 3^\circ\text{C}$ ，模块内各电池表面温差 $\leq 2^\circ\text{C}$ ，模块内单体热失控后，其表面峰值温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ ，达到峰值后表面温度下降速率 $\geq 10^\circ\text{C/min}$ ，系统内单体热失控后，不发生整体热扩散；15 分钟功率预测误差小于实际功率能力 20%，快速频率响应时间 $\leq 50\text{ms}$ ，建成兆瓦时级储能系统，度电成本低于 0.2 元。

2.2. 高功率双离子储能电池（基础前沿）

研究内容：针对短时高频储能对功率型储能的应用需求，研究开发兼具高功率密度、高能量密度、高安全、低成本的双离子储能电池技术。具体包括：高比容量阴离子插层型正极材料、高比容量复合负极材料、高电压高安全电解液或固态电解质等关键材料的设计及规模化制备技术；双离子电池高电压电解液稳定性研究以及电解液/电极界面反应的热力学、动力学、相容性研究；双离子电池电芯及系统的设计及开发；双离子电池的安全性、环境适应性评测及失效机理研究。

考核指标：双离子储能电池单体能量 $\geq 20\text{Wh}$ ，单体能量密

度 $\geq 150\text{Wh/kg}$ (室温, 充放电倍率不小于 0.2C), 循环寿命不小于 10000 次 (室温, 充放电倍率不小于 0.5C , 100% 放电深度), 最大功率密度 $\geq 5\text{kW/kg}$; 研制出 100kWh 级双离子储能电池系统, 系统能量转换效率 $\geq 80\%$ (室温, 充放电倍率 0.5C); 系统功率密度, -20°C 工作环境下放电容量保持率 $\geq 80\%$; 储能电池系统安全性能达到国标要求。

3 超长时间尺度储能技术

3.1 100MW 级先进压缩空气储能技术 (共性关键技术)

研究内容: 针对电力削峰填谷、可再生能源消纳对大功率、超长时间、低成本、高效储能的迫切需求, 研究 100MW/GWh 高效压缩空气储能技术, 具体包括: 高效压缩空气储能全工况优化设计技术; 宽负荷压缩机和高负荷膨胀机技术; 蓄热换热器技术; 储能与电力系统耦合控制技术; 100MW/GWh 系统集成与示范验证。

考核指标: 突破 100MW 级先进压缩空气储能系统的关键技术, 形成完善自主知识产权研发设计体系, 完成 100MW 级压缩空气储能系统的研制与在电力系统的示范运行。具体指标为: 压缩机效率 $\geq 88\%$, 膨胀机效率 $\geq 92\%$, 蓄热换热器效率 $\geq 98\%$; 系统功率 $\geq 100\text{MW}$, 容量 $\geq 1\text{GWh}$, 系统 AC-AC 额定效率 $\geq 75\%$, 容量成本 ≤ 1 元/Wh, 等效度电成本 ≤ 0.15 元。

3.2. 新一代液流电池储能技术 (共性关键技术, 含青年

科学家项目)

研究内容：针对可再生能源大规模接入，传统电力系统调峰提效的重大需求，突破新一代 100MW 级、本质安全、高效、超长时间液流电池储能关键技术；包括：高性能、宽温区关键电极与电解质材料技术；电解液稳定技术、容量及能量效率恢复技术；50 千瓦以上高功率密度单体电堆设计、集成和自动化装配技术；高可靠性系统集成与智能控制技术；100MW 级系统集成与示范验证。

考核指标：突破新一代 100MW 级液流电池关键技术；实现膜材料国产化、批量化、膜成本低于 800 元/m²，宽温区电解液稳定化控制技术，单电池工作温度 -20-70°C，在 300mA/cm² 条件下，能量效率≥80%，循环>15000 次，电堆能量密度≥60Wh/L；发展高可靠、高功率密度电堆的自动化装配技术，单堆功率≥30kW，电流密度≥300mA/cm² 条件下，能量效率≥80%，系统 AC-AC 能量效率≥75%；通过容量及能量效率恢复技术，电堆 1000 圈能量效率和容量恢复率≥95%和≥90%；单元模块功率≥500kW，系统功率≥100MW，系统容量≥400MWh，储能时长≥4 小时，系统效率≥75%。

3.3 宽液体温域高温熔盐储热技术（共性关键技术）

研究内容：针对电/热泵储热发电调峰电站、火电厂深度调峰、新一代太阳能热发电、多能互补综合能源系统等对大

容量超长时间高温储热的要求，研究低熔点、宽温域、高温大容量熔盐储热关键技术，具体包括：低熔点、高分解温度、低成本、低腐蚀性的混合熔盐材料；大容量高温熔盐储罐及其地基的设计制造与技术；高温高压大温差熔盐换热器技术；高电压熔盐电加热器技术；高温熔盐储热系统集成与控制技术；10MWh 高温熔盐储热系统工程验证。

考核指标：研发出熔点 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ 、分解温度 $\geq 650^{\circ}\text{C}$ ，储热密度 $\geq 1\text{GJ}/\text{m}^3$ 的低熔点宽液体温域高温熔盐配方，在 600°C 和空气气氛情况下对不锈钢腐蚀速率 $\leq 0.05\text{mm}/\text{年}$ ；研制出高电压电加热器样机，电加热器工作电压 $\geq 6\text{KV}$ ，可将熔盐由 200°C 加热至 620°C 以上；研制出熔盐-水/蒸汽换热器，换热器水/蒸气侧工作压力 $\geq 10\text{MPa}$ ，熔盐侧进出口温差大于 420°C ；提出大容量高温熔盐储罐及其地基的设计方法和制作工艺；进行高温熔盐储热系统的工程验证，验证系统储热容量 $\geq 10\text{MWh}$ ，热盐罐温度 $\geq 620^{\circ}\text{C}$ ，储热效率 $\geq 92\%$ 。

4 高比例可再生能源主动支撑技术

4.1 无常规电源支撑的大规模新能源发电基地稳定运行及直流送出关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对我国大量风/光资源富集地区由于就地常规水火电源支撑不足影响新能源发展问题，突破大规模风光新能源发电基地稳定运行及直流送出关键技术，具体研究：

无常规电源支撑的新能源发电基地运行特性及稳定机理分析；计及稳定性与经济性的规模风光发电组网与送出系统优化配置技术；提升系统运行稳定性的新能源单元及场站新型并网控制技术；新能源发电单元及场站与直流输电协调稳定控制技术；大规模新能源发电基地运行风险在线评估、预警及防控技术。

考核指标：提出就地无常规水火电源支撑的风光新能源发电基地配置组网方案和新能源单元/场站新型控制技术，能够在短路比小于 1.3 的电网条件下稳定运行；提出新能源发电单元/场站与直流输电系统稳定控制方案，满足各类故障下光伏/风电机端过电压水平不超过 1.3 标幺值，系统频率偏差不超过 ± 0.5 赫兹；开发大规模新能源发电基地运行风险决策支持系统，实现 15 分钟滚动在线风险评估，决策计算周期不超过 1 分钟；在装机容量不小于 10000 兆瓦的就地无常规电源支撑大型新能源基地应用验证，新能源最大出力不低于直流输电系统额定容量的 80%。

4.2 大容量海上风电机组全工况模拟及并网试验关键技术和装备（共性关键技术）

研究内容：针对大容量海上风电机组在不同汇集和送出方式下的并网安全及并网性能试验研发需求，研究大容量海上风电机组全工况地面模拟及并网特性地面试验技术，具体

包括：风-浪-流等联合作用下的海上风电机组多参量耦合作用机理及动态响应特性模拟技术；海上风电交流/直流/混合并网下的复杂电网故障/扰动特性全工况动态模拟技术；不同汇集和送出方式下海上风电机组交互作用机理及量化补偿技术；海上风电机组全工况场景的多子系统联合仿真与虚拟测试技术；基于虚拟测试与全尺寸地面并网试验相结合的并网性能试验评价技术。

考核指标：研制大容量海上风电机组全工况动态特性模拟装置，可模拟风-浪-流耦合作用下机组运行特性，测试范围覆盖不低于 20 兆瓦的风电机组；研制电网运行和故障模拟试验装置，容量不低于 20 兆伏安，频率调节范围 45-65 赫兹，故障电压范围 0-1.5 标么值。完成至少 1 台不低于 10 兆瓦的海上风电机组全尺寸地面并网试验。

4.3 极高渗透率分布式光伏发电自适应并网与主动同步关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对分布式光伏发电爆发式增长所带来的海量设备边缘计算分析、功率预测及运行控制的需求，研究极高渗透率分布式光伏自适应并网控制与主动同步技术，具体包括：支持海量分布式光伏数据接入的智能感知、边缘计算及安全可信传输技术；区域分布式光伏发电集群功率预测技术；提升支撑电网能力和供电质量的分布式光伏发电自适应

控制技术；分布式光伏发电主动同步控制及集群自治运行技术；广域分布式光伏协同主动支撑与优化运行技术。

考核指标：研发融合智能感知和边缘计算功能的分布式光伏并网变流器，包括故障预警、安全认证、主动支撑控制等功能，支持功率自适应控制响应时延不大于 200 毫秒；区域分布式光伏集群日前功率预测精度不低于 90%；研发广域分布式光伏协同优化运行平台，可支持百万数量级分布式光伏并发接入，数据协同处理过程周期不大于 10 秒，协同优化运行决策时间不大于 5 秒，在分布式光伏装机容量不小于 50 万千瓦地区示范，接入不少于 1 万个分布式光伏，其中需包括渗透率不低于 100%的县域。

4.4 大规模海上风电新型汇集组网送出拓扑技术（基础前沿，青年科学家项目）

研究内容：针对深远海风电大规模开发、集群送出重大需求，研究海上风电汇集组网及送出的新型拓扑技术及其经济性、适用性，重点研究：不同类型交直流升压汇集和组网送出方式的经济性、适应性；大规模海上风电升压汇集和组网送出的新型拓扑技术；适用于新型升压汇集拓扑的海上风电机组并网接口技术及运行特性优化方法。

考核指标：提出各类海上风电汇集组网方案的经济性和适用性评价方法；提出海上风电升压汇集及组网送出的新型

拓扑，适用于单机容量不小于 5 兆瓦，离岸距离不小于 80 千米，总装机容量不小于 200 万千瓦的海上风电集群；提出与新型升压汇集拓扑匹配的海上风电机组并网接口技术及运行特性优化方法，并完成至少 1 份研究报告。

4.5 大规模风电/光伏多时间尺度供电能力预测技术（共性关键技术）

研究内容：针对高比例新能源电力系统在不同场景下可靠供电的迫切需求，研究大规模风电/光伏多时间尺度供电能力预测技术及其应用，具体包括：1-15 天风电/光伏供电保障能力预测技术；极端与转折性天气下风电/光伏功率爬坡预测技术；数值天气预报高频更新与风电/光伏日内供电能力不足风险预测技术；提升新能源供电能力的跨省跨区风光储容量配比优化与容量置信度评估技术；考虑多时间尺度供电能力的风电/光伏主体主动参与多级电力市场交易决策技术。

考核指标：实现对省级及以上电网 1-15 天风电/光伏发电功率和供电能力的预测，第 7 天的预测准确率提升至 80% 以上，8-15 天预测准确率不低于 70%，供电能力预测的可靠性大于 90%；实现对极端和转折性天气下的爬坡功率预测，省级极大预测偏差在 30% 以内；数值天气预报日内更新次数不少于 4 次，省级风电/光伏日内 4-24 小时的预测精度达到 95% 以上；风电/光伏在交易电量中的占比不低于 30%。

5 特大型交直流混联电网安全高效运行技术

5.1 面向碳达峰碳中和的新型电力系统结构形态及演进路径（基础前沿，青年科学家项目）

研究内容：针对碳达峰、碳中和目标下高比例新能源高效消纳和新型负荷的安全可靠接入需求，研究新型电力系统结构形态及演进路径，具体包括：考虑新能源时空分布特性的风光发电置信容量评估与并网特性重构；市场驱动下的供需互动模式与灵活性资源特性；保障能源消费需求及系统安全稳定双重约束的新型电力系统结构形态及演进路径。

考核指标：提出考虑新能源时空分布特性的风光发电置信容量计算方法及并网特性指标体系；提出适应 50%以上新能源电量占比的电力系统结构形态；提出新能源电量占比从 10%增加到 50%以上情况下技术经济性合理的电力系统结构形态演进路径。

5.2 支撑 20%新能源电量占比场景下的电网智能调度关键技术（共性关键技术，赛马争先项目）

研究内容：针对大规模风光发电强随机性和波动性导致的电力系统平衡和供应保障难题，研究 20%新能源电量占比场景下的电网智能调度关键技术。具体包括：计及多重随机因素的年-月-周-日平衡能力分析与预警技术；适用于电力系统调度运行的全自主可控优化引擎构建技术；考虑一次能源

供给的源荷综合平衡协同优化技术；模型数据交互驱动的电网前瞻调度优化决策技术；不确定场景下电力电量平衡预警与智能调度系统设计与研发。

考核指标：研发不确定场景下电力电量平衡预警与智能调度系统，在风光新能源电量占比不低于 20% 的省级或以上电网进行应用验证；电网规模不少于 2000 个计算节点，全自主可控调度运行优化引擎支撑决策变量不少于 10 万个；日前 96 时段系统平衡优化调度计算时间小于 15 分钟，电力电量平衡裕度计算精度不低于 90%；每 15 分钟滚动开展未来 4 小时的前瞻优化调度，前瞻调度计算时间小于 1 分钟。

5.3 高压大容量发电机快速断路器关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对百万千瓦级大容量发电机出口短路故障快速清除、保护发电机安全运行的重大需求，突破高压大容量发电机快速断路器关键技术，具体包括：断路器在系统应用及保护特性；断路器拓扑结构及控制策略；超大容量故障电流开断方法；大容量开关稳态发热、磁场优化和动热稳定提升技术；断路器样机研制与等效试验技术。

考核指标：研制适用于百万千瓦机组系统，额定电压 31.5kV、额定电流 28.5kA、额定短路电流 250kA 的发电机快速断路器样机；额定短路电流 250 千安，峰值耐受电流 685

千安，具备短路电流延迟过零的故障开断能力，可在故障后两个周波内开断最大故障电流；提出适用于百万千瓦级发电机快速断路器的试验方法，并进行工程应用验证。

5.4 252 千伏大容量真空开断型全封闭组合电器关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对降低碳排放，实现电力系统设备绿色环保的发展需求，研究 252kV 大容量真空环保型全封闭组合电器（GIS）关键技术，具体包括：真空灭弧室电弧控制、散热、绝缘优化方法；环保型 GIS 绝缘、动热稳定设计技术；环保型 GIS 操动机构设计技术；环保型 GIS 关键部件研制与集成技术；环保型 GIS 工程应用技术。

考核指标：研制出 252 千伏大容量真空环保型全封闭组合电器（GIS）样机，额定电流 3150 安培；大容量开断采用单断口真空灭弧技术，额定开断电流不小于 50 千安；全封闭组合电器采用环境友好型气体进行绝缘；研制的 GIS 样机通过性能验证试验。

5.5 应对极端事件的大型城市电网韧性提升技术（青年科学家项目）

研究内容：针对遭受超出现有设防标准的严重自然灾害、人为蓄意攻击等小概率高风险事件的电网安全防御问题，研究大型城市电网极端事件韧性提升技术，具体包括：考虑公

共安全影响的大型城市电网韧性评估指标和方法；极端事件下保障重要负荷供电的大型城市电网极限生存技术；考虑海量异构分布式资源参与的大型城市电网快速应急恢复技术。

考核指标：提出大型城市电网韧性评估指标体系和评估方法，至少涵盖超出现有设防标准的严重自然灾害、网络攻击、物理攻击等 1 类不同场景；提出大型城市电网极限生存方案与快速应急恢复策略，有效提升极端事件下的电网韧性。

6 多元用户供需互动与能效提升技术

6.1 海量电力用户多参量广域感知量测关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对高比例新能源大规模接入电网带来的高准确度计量、多参量广域感知、量测数据应用等需求，研究海量电力用户多参量广域感知量测技术，具体包括：计及新能源接入时频域宽动态、多特征量的高准确度电能计量算法；适用于宽动态信号获取的电压电流传感技术；基于海量量测数据的电能表运行误差机理、计算模型及失准预测评价方法；海量电力用户的电能表、互感器、电动汽车充电桩等设备在线量测数据可信采集与数据质量保证技术；支撑新型电力系统“源网荷”高效互动的海量电力用户量测数据融合应用技术。

考核指标：研发适用于新能源并网下动态电能计量需求的电能表样机，计量准确度达到有功 E 级、无功 0.5S 级、谐

波 1 级、电能质量 A 级，小电流低功率因数误差优于 $\pm 0.5\%$ ，有功计量误差优于 $\pm 0.2\%$ ；研制用于动态特征参数标定的标准电压、电流传感装置，电压测量范围： $10\text{kV}\sim 220/\sqrt{3}\text{ kV}$ 、方波响应时间 80ns，电流测量范围 100A~2000A、方波响应时间 200ns；模型计算得到的误差超差电能表准确率不小于 95%，评价校准结果的相对扩展不确定度不低于 0.7%；研发支撑新型电力系统的量测数据融合应用平台，可覆盖超过 2 亿用户的量测数据，应用场景不少于 10 个。

6.2 大规模电动汽车安全充放电与车-网智能互动关键技术 (共性关键技术)

研究内容：针对电动汽车大规模发展对电网安全、充放电安全、信息安全带来的巨大挑战和新型电力系统对灵活性资源互动支撑的迫切需求，研究大规模电动汽车安全充放电与车-网智能互动关键技术。具体包括：研究大规模电动汽车充放电配电网友好接入与智能控制技术；研究电动汽车充放电过程车-网协同状态监测与安全预警、处置技术；研究大规模充放电设施灵活性资源精准预测、聚合响应与优化调控技术；研究车-桩（站）-网互动信息安全防护技术；研发大规模电动汽车与电网互动管控支持系统。

考核指标：在不增容和不影响电网安全的情况下，充电桩的总容量可达到所接入配电台区总容量的 2 倍以上，并能

保证有序充电；研发 2 兆瓦以上具备灵活性资源聚合能力快充站系统，具备电网运行支撑与分布式资源协同管控能力，可削减充电峰值负荷 20%以上；研发桩（站）用安全智能交互终端，支持多种国际标准加密算法与国密算法，加解密速率不低于 40 兆字节/秒，智能交互终端内核国产化率 100%；桩（站）本地及远程安全预警准确率不低于 95%；互动管控支持系统分钟级远程集中功率响应能力达到 ± 100 兆瓦、其中快充站分布式储能响应达到 ± 10 兆瓦，整体持续时间不低于 30 分钟，放电参与比例不低于 5%。

6.3 促进系统调节能力提升的城市级电-气-热-储多能协同调控关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对双碳目标与能源双控背景下电力送端电网城市级多能流协同提升电力系统调节能力与新能源利用率，保障新型电力系统能源供应与安全稳定运行的迫切需求，研究城市级电-气-热-储等多能协同调控关键技术，具体包括：城市级电-气-热-储耦合安全机理与建模；电-气-热-储多能系统的灵活性量化评估与提升技术；面向城市级多能系统耦合安全的多主体协同态势感知技术；电-气-热-储多能系统协同优化控制与韧性提升技术；城市级电-气-热-储多能系统安全协同调控系统研制及应用。

考核指标：城市级电-气-热-储耦合建模精度 $\geq 90\%$ ；灵活

性量化评估准确度 $\geq 95\%$ ；多主体协同安全态势感知准确率 $\geq 90\%$ ；多能系统能源利用效率 $\geq 70\%$ ，系统灵活性与韧性提升 $\geq 10\%$ ；安全协同调控系统的控制决策时间 ≤ 60 秒、控制决策周期 ≤ 5 分钟；在百万级人口城市中进行应用验证，覆盖燃气发电、集中供热、分散式电制热、电动汽车和储电储热等5种以上能源利用形式，燃气发电量占城市用电总量 $\geq 10\%$ ，新能源发电量占城市用电量 $\geq 50\%$ ，电制热、电动汽车、电储能等可控负荷用电量占城市用电量 $\geq 10\%$ 。

7 基础支撑技术

7.1 低损耗高频软磁材料及兆伏安级高频变压器研制 (共性关键技术)

研究内容：针对大规模新能源发电、灵活交直流输电等领域对高频软磁材料及其相关设备的需求，研究低损耗高频软磁材料及兆伏安级高频变压器关键技术，具体包括：宽幅、超薄低损高频软磁材料设计及磁性调控方法；宽幅、超薄低损高频软磁材料制备技术；高频大容量、低损耗变压器设计技术；大容量高频变压器铁芯与本体研制技术；大容量高频变压器试验技术。

考核指标：研制出的高频软磁带材带宽不小于100毫米、厚度不超过16微米，损耗 $P_{0.5T/10kHz}$ 不超过2.5瓦/千克， $P_{0.5T/20kHz}$ 不超过6.5瓦/千克；研制出基于宽幅带材的高频变

压器铁心，损耗 $P_{0.5T/10kHz}$ 不超过 6 瓦/千克；研制出工频耐压 35 千伏高频变压器，频率 10 千赫兹，容量 1 兆伏安，效率不低于 99%；开发出高频变压器试验平台，频率 20 千赫兹，容量 1.5 兆伏安（测试温度 -30~140 摄氏度）。

7.2 面向超大规模电网设备节点的图计算分析与优化软件（共性关键技术类）

研究内容：针对新型电力系统中亿级设备节点和万级电气节点规模的快速分析计算需求，研究电网图计算分析与优化软件关键技术，具体包括：统一电网数据模型及全景电网拓扑构建技术；超大规模网络混合数据存储及高性能处理技术；多时态、超大规模电网设备节点的快速拓扑分析技术；大规模新能源接入下交直流混联电网安全约束机组组合建模及其优化算法；电网图计算分析与优化软件开发。

考核指标：研制面向超大规模电网节点的图计算分析与优化软件，支持亿级电网设备节点图模型的实时拓扑分析，规划、建设、运行三态电网同源的设备拓扑分析时间不超过 1 秒；支持万级电网电气节点图模型的实时优化计算，交直流混联电网安全约束的机组组合优化计算时间不超过 1200 秒。研制的软件在含多电压等级的省级电网进行应用验证。

7.3 储能电池高精度先进测试表征和失效分析技术（关键技术类）

研究内容: 针对储能电池使用寿命长, 故障发生时间短, 失效特征变化快等问题, 研究储能电池先进测试表征和失效分析技术。具体包括: 研究电池生命周期材料衰变、内阻演化、模量变化等核心因素的高精度在线和离线测试方法; 开发材料-电极-电池多层级的系统失效分析技术与联用装置; 研究针对大容量储能电池工艺缺陷的快速识别筛查技术; 研究电池多物理场传感在线无损监控测试方法。

考核指标: 开发一套储能电池多层级原位实验分析系统, 实现工况下电池的表征: 电解液空间分布分辨率 $\leq 100 \mu\text{m}$; 电解液组分消耗量检测误差 $\leq 2\%$; 极片三维结构分辨率 $\leq 20 \text{ nm}$; 应力分布空间分辨率 $\leq 1 \text{ mm}$; 模量测量误差 $\leq 5\%$; 产气探测极限 $\leq 100 \text{ ppm}$, 响应速度 $\leq 5 \text{ s}$; 界面与阳极析锂三维结构表征统计, 分辨率 $\leq 50 \text{ nm}$; 晶粒/颗粒跨尺度化学信息表征, 分辨率 $\leq 1 \mu\text{m}$ 。开发储能电池电-热-空间-应力-超声的多物理场传感与无损检测系统, 建立服役储能电池实时安全评估模型, 实现对电池老化、漏液、产气、工艺缺陷的快速诊断, 诊断耗时 $\leq 5 \text{ s}$ 。

7.4 储能电池全寿命周期的大数据和人工智能分析技术 (基础前沿, 青年科学家项目)

研究内容: 针对储能系统全寿命周期智能运维和安全预警的迫切要求, 研究储能电池及系统 AI 技术。具体包括:

研究基于边缘大数据智能算法的智能 BMS 系统；研究储能电池性能快速预测及智能标定算法；研究基于人工智能算法的储能电池失效行为和安全评估模型；建立适用于储能电池全寿命周期的大数据和人工智能分析平台。

考核指标：建立具有 10^9 量级数据秒级处理数据库技术框架和平台架构；建立 2 个以上电池性能人工智能算法模型，预测误差 $\leq 5\%$ ，预测用时 $\leq 5s$ ；建立 2 个以上电池安全性能人工智能算法模型，异常点识别率 $\geq 95\%$ ，异常点识别准确率 $\geq 50\%$ ；形成数据管理与智能分析集成平台。