“十四五”国家重点研发计划“储能与智能电网技术”

重点专项 2023 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 动力电池退役评估及梯次利用关键技术（关键技术类）

研究内容：针对新一代退役动力电池状态评估困难、梯次利用经济性、安全性亟待解决等问题，重点研究：基于大数据分析和电化学机理研究相结合的新一代退役电池状态和寿命的高精度快速评估技术；开发针对不同电压/批次新一代退役电池的动态重构、灵活配置、高效重组、整包利用、高效率集成和智能管理技术；再重组电池及整包利用系统在机、电、热方面的老化机制；再重组及整包利用电池系统安全在线评估、智能预警、主动安全防护技术；再重组及整包利用梯次系统在分布式、多场景、多商业模式的智能运维技术及应用验证。

考核指标：评估退役动力电池系统健康状态 SOH 精度误差 $\leq 3\%$ ，直流内阻 DCR 精度误差 $\leq 5\%$ ，再重组系统寿命预估模型误差 $\leq 3\%$ ；再重组系统兼容退役电池系统种类 ≥ 3 种，

系统电压覆盖 100V~1000V，退役电池系统动态可更换，实现单子系统独立管理，系统重组时间 $\leq 30\text{min}$ ；整包利用电池包快速筛选时间 $< 30\text{min}$ ；再成组系统可用能量与各重组单元可用能量总额之比 $\geq 95\%$ ，故障维护时长占总运行时长 $\leq 2\%$ ；研发在线监控系统、预警准确度 $\geq 95\%$ ，单体热失控后，从预警到消防措施完全响应，时间 < 10 秒，系统无失控蔓延，外部无明火，无二次复燃；形成 $\geq 1\text{MWh}$ 梯次利用验证项目，成组成本低于 0.3 元/Wh（不含回收电池系统），整包利用系统成本低于 0.25 元/Wh（不含电池）；形成动力电池梯次利用重组设计、检验、安装、选址、施工、运行维护规范及整包利用设计规范和标准。

有关说明：无

关键词：梯次利用，再重组，整包利用

实施年限：3 年

1.2 全固态钠离子储能电池研究（基础研究类，青年项目）

研究内容：针对调频调峰对高安全、低成本、长寿命、可持续发展的储能技术的需求，研究全固态钠离子储能电

池，重点研究：低成本、高离子电导率、宽电压窗口的钠离子固体电解质，长寿命低成本钠离子电池正极和负极关键材料的设计与制造技术；全固态钠离子电池中电极/电解质界面的输运、反应和稳定性研究及可控优化，全固态钠离子电池热、电、力特性的多尺度原位和非原位高精度表征技术、电芯失效分析及多尺度模拟仿真技术；储能型全固态钠离子电池的设计与制造技术，全固态钠离子电池状态预测、电池管理、热管理技术和安全预警技术。

考核指标：钠离子电池正极材料可逆克容量 ≥ 150 mAh/g, 负极材料可逆克容量 ≥ 250 mAh/g, 固体电解质离子电导率 $\geq 1 \times 10^{-3}$ S/cm；全固态钠离子电池电芯单体容量 ≥ 10 Ah, 能量密度 ≥ 150 Wh/kg, 循环次数 ≥ 10000 次（1 C, 25 °C, 100 % 放电深度），3C倍率循环能量密度保持率 $\geq 90\%$ 的1C倍率的能量密度，电芯能量转换效率不低于90%，安全性测试结果显著超过储能国家标准；掌握全固态钠离子电池的电化学失效机制、热失控机制、SOH演化规律和计算方法、热管理技术、多尺度模拟仿真技术。

有关说明：支持 2 个青年科学家项目。

关键词：全固态、钠离子电池、固态电解质

实施年限：3 年

建议支持项目数：2 项

2 短时高频储能技术

2.1. 10MW 级磁悬浮飞轮储能关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对以新能源为主体的新型电力系统面临的高转动惯量、高频次调频的技术需求，研究基于机械惯量支撑的磁悬浮惯量飞轮单机、先进飞轮储能单机及10MW级以上飞轮阵列技术，重点研究：MW级磁悬浮惯量飞轮技术；MW级高速先进飞轮储能技术；飞轮单机与阵列控制技术；飞轮阵列能量管理及电网主动支撑技术；飞轮阵列电网应用验证。

考核指标：研制出直接机械惯量支撑的MW级磁悬浮惯量飞轮单机，MW级高速先进飞轮储能单机，10MW级以上混合飞轮阵列样机。磁悬浮惯量飞轮应具备同步调相机功能，单机功率 $\geq 1\text{MW}$ ，机械惯量 $\geq 2000\text{kgm}^2$ ，储能量 $\geq 100\text{MJ}$ ；先进飞轮储能单机功率 $\geq 1.2\text{MW}$ ，储能量 $\geq 150\text{MJ}$ ，转速 $\geq 10000\text{rpm}$ ，充放电循环效率 $\geq 86\%$ ，充放电频次 ≥ 20 次/小时，空载待机损耗 $\leq 1\%$ ；飞轮阵列具备机械惯量、虚拟惯量及调

频能力，总功率 $\geq 10\text{MW}$ ，调节响应时间 $\leq 50\text{ms}$ ，并网连续运行时间 ≥ 168 小时，具备本质安全能力，飞轮转子失稳后还能维持30分钟安全运行，设计循环寿命 $\geq$ 百万次，1分钟级储能工况系统成本 ≤ 0.4 元/瓦，完成电力系统现场应用验证。

有关说明：无

关键词：飞轮，磁悬浮，阵列

实施年限：3年

3 超长时间尺度储能技术

3.1 大规模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、长时间、低成本、高效储能的迫切需求，研究大规模压缩空气储能技术，重点研究：高效压缩空气储能全工况优化设计技术；宽负荷组合式压缩机和高负荷轴流膨胀机技术；阵列式蓄热换热器技术；储能与电力系统耦合控制技术；大规模压缩空气储能系统集成与应用验证。

考核指标：突破单机 300 MW 级以上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 300 MW 级以上压缩空气储能系统的研制与在电力系统的

运行验证。具体指标为：压缩机效率 $\geq 88\%$ ，膨胀机单机功率 $\geq 300\text{MW}$ ，膨胀机效率 $\geq 92\%$ ，蓄热换热器效率 $\geq 98\%$ ；储能系统单机功率 $\geq 300\text{MW}$ ，储能容量 $\geq 1.2\text{ GWh}$ ，系统 AC-AC 额定效率 $\geq 70\%$ ，容量成本 $\leq 1\text{ 元/Wh}$ ，度电成本 $\leq 0.15\text{ 元}$ 。

有关说明：无

关键词：压缩空气、长时储能、GWh 级

实施年限：3 年

4 高比例可再生能源主动支撑技术

4.1 全电力电子电力系统构建与稳定运行关键技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：针对新型电力系统源网荷储高度电力电子化发展态势下，全电力电子设备电力系统缺乏基础理论支撑的迫切需求，研究全电力电子电力系统电压/频率构建原理与稳定控制技术，具体包括：电力电子设备自主电压/频率构建原理与组网方法；全电力电子电力系统多尺度电压/频率动态特性与协调控制方法；全电力电子电力系统暂态稳定性机理与控制技术。

考核指标:提出全电力电子电力系统电压/频率构建与稳定控制方法，为 100%新能源电力系统安全稳定运行奠定理论基础；构建全电力电子电力系统典型算例，包含源网荷储各类设备，规模不小于 100 兆瓦；通过全电磁暂态仿真等方式进行验证；研制稳定控制器，通过动模实验验证方法的有效性。

有关说明:支持 2 个青年科学家项目。

关键词:全电力电子电力系统，100%新能源供电，稳定运行控制。

实施年限:3 年

建议支持项目数:2 项

4.2 高惯量储能型同步调相机关键技术与装备（共性关键技术）

研究内容:针对新型电力系统惯量水平降低、暂态同步支撑能力不足，电压/频率失稳及振荡风险突出等问题，研究兼具电压/频率支撑及阻尼控制功能的高惯量储能型同步调相机关键技术，具体包括：具备高惯量、高过载以及高频储能特性的同步调相机原理与设计技术；面向电压/频率暂态同

步支撑的储能型调相机高过载励磁控制技术；提升小扰动稳定性的储能型同步调相机阻尼控制技术；高惯量储能型同步调相机样机研制；储能型同步调相机与新能源场站协同运行控制技术与应用试验。

考核指标：研制高惯量储能型同步调相机样机，额定容量不小于 10 兆伏安，惯性时间常数不小于 10 秒，有效储能容量不低于 60 兆焦，最大短路电流不小于额定电流的 5 倍，暂态过程中最大有功功率输出不低于 3 倍额定功率，具备阻尼功率振荡的能力，调节响应时间不大于 50 毫秒；提出高惯量储能型同步调相机与新能源场站协同运行控制技术；在 不小于 100 兆瓦的风电场或光伏电站开展应用验证。

关键词：高惯量，储能同步调相机，电压/频率暂态支撑。

实施年限：3 年

4.3 海上风电并网系统远程监测与故障诊断技术（共性关键技术）

研究内容：针对大规模海上风电并网系统运行风险及设备隐患严重影响电网安全稳定的问题，亟需研究海上风电并网系统集中远程监测、故障诊断及风险预警关键技术，具体

包括：基于数字孪生等技术的融合“电磁-热力-机械-环境”因素的海上风电并网装备建模与仿真；基于有限测量的海上风电并网系统及关键设备状态全景感知技术；海上风电并网系统故障诊断与风险推演技术；考虑极端天气的海上风电并网运行风险评估与预警技术；海上风电远程监测与运行风险预警平台研发与应用。

考核指标：提出海上风电并网系统设备高保真数字建模方法，建立海上风电并网系统换流阀、变压器等装备数字模型，模型完整性不小于99%，机、热行为仿真精度不小于85%；建立海上风电并网装备与关键部件状态全景感知方法，其中关键设备内部温度感知误差小于5%；提出海上风电并网关键设备状态主动预警方法，严重热缺陷和绝缘缺陷预警准确率不小于90%；开发海上风电并网系统远程监测与运行风险预警平台，在实际交、直流并网系统上进行验证。

关键词：海上风电并网系统，远程监测，安全预警，系统平台。

实施年限：3年

5 特大型交直流混联电网安全高效运行技术

5.1 特高压变压器高能电弧放电故障防爆技术及装备 (共性关键技术)

研究内容：针对特高压变压器（含换流变压器）内部油中高能电弧放电导致的爆炸起火问题，研究特高压变压器油中电弧放电理论、故障防爆技术及装备，具体包括：绝缘油电弧放电气化裂解机理与演化规律；封闭空间油中电弧放电气-液耦合瞬态压力传递模型及仿真技术；高应变速率瞬态冲击压力下油箱结构破坏及失效机理；特高压变压器防爆型油箱与高可靠压力安全释放技术及装备；特高压变压器油中电弧放电与油箱防爆试验验证。

考核指标：电弧放电压力仿真与实测的峰值误差不大于5%、波形相似度不小于0.85；压力安全释放装置可靠承受4兆帕静载荷，压力波冲击响应时间不大于6毫秒，完全开启时间不大于15毫秒；防爆型油箱模型电弧放电试验压力安全泄放不着火，试验电流有效值不小于63千安、持续时间不小于80毫秒，等效至特高压变压器的故障能量不小于80兆焦。研制的防爆型油箱与压力安全释放装置实现应用验证。

关键词：特高压变压器，电弧压力仿真，防爆装备，油中电弧放电试验

实施年限：3 年

5.2 高降解率环氧树脂绝缘材料及环保型固态绝缘变压器研制（基础研究类）

研究内容：针对固态绝缘变压器用绝缘材料环保与高可靠性要求，实现退役材料的高值回收再利用，研究高降解率环氧树脂绝缘材料及环保型固态绝缘变压器研制技术，具体包括：环氧树脂动态交联网络设计及构效映射关系；高降解环氧树脂多维性能协同设计与制备；高降解环氧树脂绝缘材料高值化再利用技术；基于高降解环氧树脂的固态绝缘变压器设计与研制。

考核指标：提出高降解率环氧树脂配方体系，可用于 10 千伏~110 千伏环保型固态绝缘变压器，满足玻璃化转变温度不小于 105 摄氏度，拉伸强度不小于 75 兆帕，击穿场强不小于 28 千伏/毫米；实现高降解率环氧树脂的回收再利用，热回收次数不小于 3 次，化学降解率不低于 80%；研制环保型固态绝缘变压器样机，额定电压 35 千伏，额定容量不小于 4 兆伏安，局部放电不大于 5 pC，并通过国标规定的型式和特殊试验考核。

有关说明：无。

关键词：环保型固态绝缘变压器；高降解率环氧树脂；
动态交联网络

实施年限：3 年

5.3 大容量高压直流变压器关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对大规模新能源高效汇集与输送的需求，研究具备能量双向流动的高压直流变压器关键技术与装备，具体包括：具备能量双向流动高压直流变压器的换流机理与拓扑；高压直流变压器的运行特性及稳态控制技术；高压直流变压器的故障隔离及快速保护技术；高压直流变压器多物理场协同均衡与损耗优化技术；高压直流变压器样机研制及等效试验技术。

考核指标：提出满足大规模新能源直流汇集与输送应用的高压直流变压器电气、结构、控制保护等设计方法；研制具备能量双向流动的高压直流变压器功能样机，高压侧电压不低于 10 千伏，电流不低于 10 安培，变比不小于 3；研制高压直流变压器阀塔样机，高压侧电压不低于 320 千伏，电流不低于 1500 安培，最高效率不低于 98%；完成所有样机

的验证。

关键词：高压直流变压器，拓扑结构，变比

实施年限：3 年

6 多元用户供需互动与能效提升技术

6.1 高耗能工业用户节能与供需互动技术（共性关键技术）

研究内容：针对高耗能工业生产节能降碳、电网灵活调节资源短缺以及跨行业联合用能优化需求，提升网荷互动水平，开展高耗能工业用户节能与供需互动技术研究，具体包括：面向工艺的多能负荷建模与可靠调节能力动态预测技术；计及能效-碳效约束的高耗能工业多能协同优化运行技术；基于虚拟储能的高耗能工业负荷多时间尺度参与电网互动技术；市场环境下高耗能工业用户电-碳协同交易决策技术；高耗能工业用户节能与供需互动系统研发与验证。

考核指标：研发高耗能工业用户节能与供需互动系统，选取高耗能用电量占比 30%以上的区域进行验证，接入用户年综合能源消费量合计不少于 100 万吨标准煤，用户单位产品能耗、碳排放分别降低 3%、5%；分钟级可调负荷预测误

差不大于 10%，高耗能工业有序可控负荷占区域最大负荷不小于 20%，工艺可调负荷占整个工序最大负荷不小于 8%，接入工业可调负荷的互动可靠率不低于 85%。

关键词：高耗能，节能降碳，供需互动

实施年限：3 年

6.2 配电网高功率密度柔性互联技术和装备（共性关键技术）

研究内容：针对分布式能源规模化发展下的交直流灵活接入、高效消纳与稳定运行需求，开展配电网高功率密度柔性互联技术和装备研究，具体包括：多端口柔性互联装备模块化设计技术与高效、紧凑功率模组；低压多场景应用的交直流柔性互联与供电技术及装备；高功率密度中压交直流多端口柔性互联技术与设备；不同场景下柔性交直流配电系统协调控制技术；多端口高功率密度柔性互联设备工程应用验证与标准规范。

考核指标：低压（380 伏）柔性互联装置，无隔离变压器，具备低压直流负荷与分布式能源接入功能，每端口容量不小于 100 千瓦，功率模组的体积功率密度不小于 6 瓦/立方

厘米，共模电压不大于 1%额定电压；中压（10 千伏）柔性互联装置，中压端口不少于 2 个，中压每端口容量不小于 2 兆瓦；低压端口不少于 1 个，低压每端口容量不小于 0.5 兆瓦；各端口的转换最大效率不小于 98%；功率模组的质量功率密度不小于 1 千瓦/千克、体积功率密度不小于 0.3 瓦/立方厘米；柔性互联设备调节功能大于 8 种。

有关说明：无。

关键词：交直流，柔性互联，高功率密度

实施年限：3 年

建议支持项目数：2 项

6.3 高比例可再生能源配用电系统电能质量智能感知与协同控制技术（共性关键技术）

研究内容：针对新型城镇化进程中规模化可再生能源与产业集群负荷高质量协调发展的重大应用需求，研究高比例可再生能源配用电系统电能质量智能感知与协同控制技术，具体包括：高比例可再生能源配用电系统随机电能质量扰动机理及检测技术研究；轻量化电能质量主动感知与智能分析技术；电能质量调节资源优化与多层级协同运行技术；源/

网新型电能质量自主调节与柔性控制技术；高比例可再生能源配用电系统电能质量智能监控的应用验证。

考核指标：研发电能质量智能监控平台，监控能力不少于 5000 节点；可再生能源涉网变流器具备电压、功率因数、谐波自主协同调节能力；研制 10 kV 兆伏安级电能质量柔性多馈线控制装备，谐波调节频带不小于 1 千赫兹，电压调节范围不小于 $\pm 10\%$ 额定电压，响应时间不大于 20 毫秒；在分布式调节资源不少于 4 类、数量不少于 2000 个的地区应用验证，电压偏差、谐波、三相不平衡的合格率均不小于 98.5%。

关键词：电能质量，主动感知，协同控制

实施年限：3 年

。

7 基础支撑技术

7.1 高灵敏低噪声隧道磁阻电流传感器关键技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：针对智能电网和新能源应用方面对于电网系统中电流精确、可靠检测及实时反馈的需求，研究高灵敏低噪声 TMR（隧道磁阻）电流传感器关键技术，具体包括：新

型磁敏感单元特性调控机理和 TMR 传感芯片制备封装；
TMR 磁敏传感器伺服、补偿及反馈电路噪声起源及抑制方法；
TMR 电流传感器研制和应用验证。

考核指标： TMR 电流传感芯片灵敏度不小于 100mV/V/Oe，电阻噪音不大于 50pT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @1Hz 量级及以下；
TMR 电流传感器在工作温度 -40~125°C 区间内测量精度优于 $\pm 0.5\%$ @ 1mA~100A， $\pm 1\%$ @100A~20kA，电阻噪音不大于 10pT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ @1Hz 量级。

有关说明： 支持 2 个青年科学家项目。

关键词： TMR（隧道磁阻）、电流传感器、噪声抑制及补偿

实施年限： 3 年

建议支持项目数： 2 项

7.2 百兆瓦级动态可重构电池储能技术（共性关键技术）

研究内容： 针对基于不同状态的大容量电池和高电压拓扑构架下的海量电池管理、协调控制和安全运行等问题，通过信息-能源交叉融合技术以及创新模组技术，解决传统固定串并联成组方式所带来的系统效率、安全性、经济性、兼容

性差等痛点问题。重点研究：大规模动态可重构电池的模组及储能系统设计；基于动态可重构电池储能技术的本质安全控制、能量控制和智能运维技术；可重构电池系统的老化机制及寿命快速评估模型；百兆瓦级动态可重构电池储能系统与电力系统高效集成技术及暂稳态特性分析，在电源侧、电网侧、用户侧的应用验证。

考核指标：研制百兆瓦级动态可重构电池储能系统，支持簇内 3 种以上不同批次/型号电池模块及电池模块级的毫秒级可控并联，电池模块网络拓扑重构周期 ≤ 200 ms；具备在线识别和自动隔离疑似故障单个模块及并联模块整体隔离的能力，识别时延 ≤ 200 ms，隔离时延 ≤ 100 us；电池模块级均衡电流等于电池模块工作电流，均衡周期 ≤ 200 ms，均衡精度 $\leq 1\%$ ；电池模组开路电压（OCV）测量周期 ≤ 200 ms，测量精度 $\leq 1\%$ ；开展动态可重构电池储能系统在电源侧/电网侧/用户侧的示范应用，电池模块安全上单体热失控无热扩散，过充阈值不超过最高压的 105%，过温阈值不低于 65℃；性能上电池系统能量转化效率不低于 96%，20 年寿命衰减健康状态（SOH）不低于 70%，荷电状态（SOC）偏差 $\leq 1\%$ ；电池系统环流不超过额定电流的 5%，百兆瓦时动态可重构电池储能技术实现应用验证。

有关说明：无

关键词：动态可重构、储能电池、智能运维

实施年限：3年

7.3 储能材料与器件多尺度模拟仿真技术(基础研究类, 青年项目)

研究内容：针对大规模储能等国家战略产业对储能器件高质量、高速度开发以及精准理解器件制造和服役过程特性的要求，研究储能材料和器件的多尺度模拟仿真技术，重点研究：储能材料与器件非平衡态条件热力学、动力学、力学、热学等原子尺度到介观尺度的模拟仿真方法；储能器件内部电极和界面的电压、电流、热流及结构力学等微观尺度的模拟仿真技术；储能单体、模组、系统在工况条件下及热失控时，电、热、力耦合的宏观尺度的模拟仿真方法与机器学习技术。

考核指标：研发针对锂离子储能电池材料和器件的多尺度性能计算、模拟仿真的 2-3 套软件模块并形成集成软件平台，发展从原子尺度、介观尺度、微观尺度到宏观尺度的材

料、极片、界面、单体、模组、系统的模型建立、数据管理、交互式数据分析、数据可视化等能力，建立模拟仿真结果验证平台。对平衡态和工况下，材料的电子、离子输运特性的准确率高于 90%，对器件的 SOH、SOC、温度分布、膨胀等模拟仿真结果的准确率高于 90%；创建面向储能材料和器件的基础数据库；数据库与数据平台实现过程和数据可溯源，可处理 100 量级以上并发作业，制定计算数据交互标准，总计算样品量 10000 以上，研发数据和知识双向驱动的机器学习模型，开发相应的软件。

有关说明：支持 2 个青年科学家项目。

关键词：多尺度、模拟仿真、锂离子储能电池

实施年限：3 年

建议支持项目数：2 项

7.4 储能电池安全状态参数检测与分析关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对储能电池安全状态难以评测，热失控突发问题，研究适用于储能电池的安全状态参数检测、状态评估以及提前预警管控等核心技术，重点研究：电池及系统关

键部件安全状态关键特征参量识别、提取、高灵敏在线检测技术；储能电池及系统关键部件全寿命周期的各类故障特征及其演化规律；服役工况与极端工况下电芯及系统安全失效的演化机理与数字孪生模型；基于不同工况下实时提取的安全状态特征参量以及安全特性数字孪生模型与数据库，确定多级安全阈值，实现早期预警，开发基于云端与边缘计算的大型储能电站的安全状态快速计算算法及硬件布置方案，构建实时监测与安全状态快速计算的智能运维储能系统。

考核指标：开发储能电池及系统部件安全参量检测技术 ≥ 6 项(关键部件绝缘性、内短路、气压、气体浓度、压力分布、温度分布等)；储能系统关键部件失效的模型库不少于6件，超过6类故障的识别和推演能力；建立高精度电池及系统的安全状态的数字孪生模型；建立储能电池安全在线监测与预警系统1套，其中电力电子器件失效预测准确性超过95%；电池服役过程中内部热量评测准确度 $\geq 90\%$ ，热失控触发温度评测准确度 $\geq 90\%$ ，热失控产热评测准确度 $\geq 90\%$ ，极端工况安全发生机率及风险等级预测准确度 $\geq 90\%$ ；高风险电芯及失效部件的提前识别 ≥ 30 天，安全预警响应时间 ≥ 1 h，误报 $\leq 3\%$ ，漏报 $\leq 3\%$ 。

有关说明：无

关键词：储能安全特征参量、故障识别、安全预警

实施年限：3年

浙江大学 kjc9x