

“储能与智能电网技术”重点专项

2021 年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“储能与智能电网技术”重点专项。本重点专项总体目标是：通过储能与智能电网基础科学和共性关键技术研究的布局，推动具有重大影响的原始创新科技成果的产生，着力突破共性关键技术，增强创新能力建设，促进科技成果转化和产业化，从而保证未来高比例可再生能源发电格局下电力供应的安全可靠性、环境友好性、经济性和可持续发展能力，推动我国能源转型整体目标的实现，为实现 2030 年“碳达峰”和 2060 年“碳中和”的战略目标，提供坚实的技术支撑。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，拟围绕中长时间尺度储能技术、短时高频储能技术、高比例可再生能源主动支撑技术、特大型交直流混联电网安全高效运行技术、多元用户供需互动用电与能效提升技术、基础支撑技术 6 个技术方向，启动 21 个指南任务。

1. 中长时间尺度储能技术

1.1 吉瓦时级锂离子电池储能系统技术（共性关键技术类）

研究内容：针对高比例可再生能源并网消纳及电力供应峰谷差加剧问题，研究适用于吉瓦时级应用的新型锂离子电池规模储能技术，具体包括：研究低锂离子消耗、高能量效率的电化学体系，开发宽温区、超长寿命、高能量转换效率、低成本新型锂离子储能电池；高电压电池系统集成技术；系统级消防安全及高效液冷热管理与消防耦合的技术；吉瓦时级锂电储能系统集成技术及智能管理系统。

考核指标：锂离子电池循环寿命 ≥ 15000 次（0.5倍额定充电功率/0.5倍额定放电功率， 25°C ，100%放电深度（DOD）），支持两小时以上储能，电池系统电压 ≥ 1500 伏，系统能量转换效率 $\geq 90\%$ （含运行功耗），额定功率 ≥ 1 倍充放电额定功率，1分钟持续峰值功率 ≥ 2 倍充放电额定功率，预期服役寿命 ≥ 25 年，系统应用规模 ≥ 1 吉瓦时，等效度电成本 ≤ 0.1 元/千瓦时。

1.2 兆瓦时级本质安全固态锂离子储能电池技术（共性关键技术类）

研究内容：针对包括可再生能源接入等各类中长时间尺度的储能需求，研究具有高安全长寿命的固态锂离子储能电池技术，具体包括开发全寿命周期具有低电阻和高稳定性的固态电解质膜与电极材料；本质安全、长寿命、低内阻的界面与电极结构及储能型固态锂离子电池电芯开发；适应全气候域应用、具有高成组效率、高可靠性的模组、系统和储能电站设计；固态储能锂离子电池的失效分析、在线检测、状态预测和预警以及热失控行为研究。

考核指标：揭示离子在复合固态体系中的高速传输机制，了解固态电池的热失控、结构演化与寿命衰减行为，突破储能型固态电池的关键材料、电芯设计与系统设计，滥用下系统不发生热失控。电池单体循环寿命 ≥ 15000 次，单体成本 ≤ 0.35 元/瓦时；研制10兆瓦时级固态储能锂离子电池系统，系统循环性 ≥ 12000 次，环境适应温度 -40°C 至 60°C ，支持2小时以上储能，同时支持5C倍率放电，响应速度 ≤ 200 毫秒，综合能量效率 $\geq 90\%$ ，等效度电成本 ≤ 0.2 元/千瓦时。

1.3 金属硫基储能电池（基础研究类）

研究内容：针对中短时长大规模储能发展对于降低成本、减少资源依赖的需求，研究基于锂/钠等金属负极和含硫正极的本质安全、低成本和长寿命金属硫基储能电池。具体包括：高比容量、高面容量金属或合金负极、含硫正极、本质安全电解液或固态电解质、多功能隔膜与粘结剂等关键材料的设计与低成本规模化制备技术；力、电、热耦合条件下金属硫基储能电池界面反应热力学、动力学、稳定性行为研究；电池电芯、模组、系统的模拟仿真、原位与非原位表征以及失效机制分析；长寿命电池的电芯、模组、系统的设计、研制、智能管理控制、环境适应性和安全性的评测和改进技术。

考核指标：金属硫基储能电池单体在充放电倍率 $\geq 0.5\text{C}$ 和放电深度80% DOD条件下循环寿命 ≥ 15000 次；研制出100千瓦时级金属硫基储能电池系统，系统能量转换效率 $\geq 80\%$ ，循环寿命 ≥ 12000 次， -20°C 工作环境下放电容量保持率 $\geq 80\%$ ，月自放电 $\leq 1.0\%$ ，系统成本 ≤ 0.6 元/瓦时，安全性

达到储能国标要求。

2. 短时高频储能技术

2.1 低成本混合型超级电容器关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对负荷跟踪、系统调频、无功支持及机械能回收等分钟级功率补充等应用需求，研究开发兼具高能量、高功率和长寿命的低成本储能器件，具体包括：混合型超级电容器材料体系、复合电极及器件的优化设计和关键材料国产化；“能量-功率-寿命”和“热-电-寿命”的耦合模型及寿命衰减机制的模拟仿真和试验验证；兆瓦级储能系统集成技术；不同应用场景混合型超级电容器系统服役的失效机理和改性。

考核指标：单体能量 ≥ 15 瓦时，比能量 ≥ 70 瓦时/千克，10 秒充/放电比功率 ≥ 10 千瓦/千克，实测最大比功率 ≥ 30 千瓦/千克；80 % DOD 循环寿命 ≥ 20 万次， $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ & $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 放电容量保持率 $\geq 60\%$ ，安全性满足标准；储能系统 ≥ 200 千瓦时，功率响应 ≥ 1 兆瓦，最优充/放电能效 $\geq 95\%$ ；15 分钟级储能工况系统成本 ≤ 1 元/瓦，1 分钟级储能工况系统成本 ≤ 0.4 元/瓦。

3. 高比例可再生能源主动支撑技术

3.1 光伏/风电场站暂态频率电压主动快速支撑技术（共性关键技术类）

研究内容：针对提高光伏/风电高占比电力系统运行稳定性和消纳能力的迫切需求，研究光伏/风电场站对电力系统暂

态频率电压的主动支撑技术，具体包括：光伏/风电场站实时调节能力动态评估技术；适应可再生能源资源特性的光伏/风电场站快速频率响应及支撑技术；光伏/风电场站多无功源协同暂态电压控制技术；光伏/风电场站暂态支撑多级协同优化技术；光伏/风电场站主动支撑控制系统研制开发。

考核指标：光伏/风电场站控制系统具备场站调节能力动态评估和暂态主动支撑功能，暂态电压控制响应时间不大于 50 毫秒，无功调节能力不小于场站额定容量 20%；快速频率控制响应时间不大于 200 毫秒；有功控制响应时间不大于 100 毫秒；在可用有功出力范围内上调幅度不小于 10%、下调幅度不小于 20%场站额定容量；控制系统可接入发电单元数量不小于 200 台，在装机容量不小于 100 兆瓦的光伏电站或风电场验证。

3.2 柔性直流海上换流平台轻型化关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对远海风电大规模开发和输送的需求，研究高压大容量柔性直流海上换流平台的轻型化技术，具体包括：海上风电直流输电系统拓扑及过电压与绝缘配合方法；柔性直流换流阀轻型化设计及抗震技术；高压直流气体绝缘开关（GIS）关键技术及样机研制；换流平台与电气主设备的紧凑化协同设计技术；1000 兆瓦柔性直流轻型化换流平台工程方案典型设计。

考核指标：提出柔性直流输电技术在海上风电送出并网中的适用范围；针对海上风电送出 1000 兆瓦柔性直流轻型

化换流平台，提出换流阀紧凑化设计方法，体积和重量比陆上用同参数设备减小 30%；直流 GIS 样机额定电压不小于 ± 320 千伏，操作冲击过电压耐受水平不小于 850 千伏，雷电冲击过电压耐受水平不小于 950 千伏，体积较敞开式空气绝缘布置减小 60%以上；平台设计重量不超过 1.2 万吨（不含平台桩基结构）。

3.3 规模化储能系统集群智能协同控制关键技术研究及应用（共性关键技术类）

研究内容：针对双碳目标场景下电力系统储能应用场景，研究规模化储能系统集群智能协同控制关键技术，具体包括：研究兼顾灵活性、安全性和经济性约束的电力系统储能优化智能配置技术；研究规模化储能系统特性及其与风、光、水、火等电源联合优化运行技术和稳定支撑技术；研究规模化储能系统电网主动支撑能力和评估指标；研究多场景下储能参与调峰、调频和紧急功率支撑等电力辅助服务的成本和价值评价方法；研究规模化储能支撑新能源特高压外送技术。

考核指标：研究提出规模化储能集群智能协同控制策略；建立规模化储能系统电网主动支撑能力评价指标体系；形成规模化储能配置和调度运行导则（标准）；研发规模化储能集群智能协同控制平台，具备规模化储能与多类型电源联合优化运行、协同稳定支撑、支撑清洁能源特高压外送和辅助服务边际成本量化分析等功能，支持集群储能容量规模不小于 1 吉瓦/2 吉瓦时。

4. 特大型交直流混联电网安全高效运行技术

4.1 响应驱动的大电网稳定性智能增强分析与控制技术

（共性关键技术类）

研究内容：针对现有安全稳定控制系统无法有效保障复杂非预想故障情况下电网安全运行的问题，研究响应驱动的大电网智能增强稳定分析与控制技术，具体包括：含高比例可再生能源的交直流混联电网受扰后电气量的时空分布特性和稳定特性；关键响应特征提取及稳定性判别技术；提升响应驱动稳定性判别可信度的混合增强智能分析技术；非预案式的电力系统自主协同稳定控制技术；研发响应驱动的大电网稳定性混合智能增强分析与控制系统。

考核指标：研发稳定性混合智能增强分析与控制系统，与至少含 30 台同步电源、15 个风/光可再生能源场站、3 回直流和 1 万三相节点规模电网的全电磁暂态仿真结论进行对比测试，其中运行方式不少于 10 套典型方式及连续 30 天峰谷平实际方式，故障集覆盖范围不小于 50% 的 500 千伏及以上交直流线路，稳定判别方法对失稳样本的正确识别率达到 100%，对稳定样本的误报率小于 5%，单次判断时间小于 150 毫秒。

4.2 多馈入高压直流输电系统换相失败防御技术（共性关键技术类）

研究内容：针对多馈入直流系统发生换相失败后，可能导致连锁故障并严重影响电网稳定的问题，研究多馈入直流换相失败的多层级综合防御技术，具体包括：多馈入直流系统换相失败及其与电网相互作用机理；考虑交直流混联电网稳定约束的换相失败防御方法；可防御换相失败的新型直流

换流器样机研制及等效试验技术；多馈入直流系统数字物理仿真平台技术；防御换相失败的直流输电系统设计及控制保护技术。

考核指标：提出抵御换相失败的多层级综合防治方法，可使多馈入直流系统发生连续换相失败的概率降低 80% 以上；针对新建及在运直流工程分别提出可防御换相失败的新型换流器拓扑；研制抵御换相失败的换流阀及阀控样机，换流阀额定电流不低于 5 千安；建成包含至少 5 条直流系统详细模型的数字物理仿真平台；完成至少一种新型换流器在 ± 800 千伏/5 千安的受端换流站应用。

4.3 ± 800 千伏换流变压器有载调压分接开关技术及装备（共性关键技术类）

研究内容：针对 ± 800 千伏换流变压器用有载分接开关国产化重大应用需求，研究有载分接开关材料基础理论、拓扑结构与工艺制造等核心技术，具体包括： ± 800 千伏换流变压器有载分接开关运行应力条件及复杂工况影响机理；有载分接开关故障失效机理与防御技术；有载分接开关拓扑结构设计及多场耦合仿真技术；有载分接开关原材料及组部件设计选型与性能验证； ± 800 千伏换流变压器用有载分接开关样机研制与性能试验关键技术。

考核指标：研制 ± 800 千伏换流变压器有载分接开关样机，额定级容量 6000 千伏安，额定级电压 6 千伏，最大额定通流 1.5 千安；电气寿命不小于 30 万次，机械寿命不小于 150 万次；耐受短路电流能力（峰值/有效值/时间）不小于 51 千

安/20 千安/3 秒；满足 6 千伏/2 千安和 4 千伏/3 千安各开断 100 次；谐波切换能力满足额定电流谐波条件下（相关性不低于 85%）切换 1 万次；暂态过电压条件下（中心频率不小于 5 千赫兹、峰值倍数不小于 1.6）具备切换 1 千次的的能力。

4.4 基于自主芯片的变电站高可靠性保护与监控技术（共性关键技术类）

研究内容：针对变电站保护与监控系统软硬件自主可控程度低、站内设备监控水平亟待提升等问题，研究全面采用自主芯片及操作系统的高性能保护及监控技术，具体包括：安全、集约、协同、兼容的变电站保护与监控体系架构；基于自主芯片的硬件架构及内生安全的设备研制；全过程实时数据高精度统一采集及高效安全传输技术；保护系统采、传、算、控、监全环节整体可靠性提升技术；基于国产操作系统的主辅设备全景监控预警技术与多级协同的系统开发。

考核指标：提出高可靠性变电站保护与监控系统整体架构，研制基于全国产化软硬件的 35 千伏～500 千伏电压等级变电站保护设备和监控系统样机，并通过工程验证，保护设备可耐受电磁干扰性能不低于标准要求（在 A 级快速瞬变、雷电波 4 千伏冲击干扰下保护动作值误差不超过 5%），监控系统接入数据容量不低于 10 万点，单节点实时计算能力不低于 20 万次/秒，支持模拟量、累积量、同步相量、故障录波、报文、模型、图形和报告等多类型数据。

4.5 柔性低频输电关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对中、远距离海上风电高效汇集送出的迫

切需求，研究新型柔性低频交流输电系统构建与核心装备技术，具体包括：低频输电频率对输电系统和设备特性的影响规律；低频输电系统构建方案及系统控制保护技术；大容量交交流流拓扑及异频能量交互控制技术；计及各级换流器暂态特性的低频输电系统过电压特性和设备绝缘配合；低频输电系统短路开断技术及断路器等核心装备样机研制与试验检测技术。

考核指标：提出海上风电柔性低频汇集送出系统典型方案及抑制过电压用避雷器配置和高盐雾环境下外绝缘配合方案，研制柔性低频交流输电核心装备并完成工程验证：交交流流器样机容量不低于 220 千伏等级/100 兆伏安，效率不低于 98%，频率变换比不小于 2；断路器样机额定电压/电流不小于 250 千伏/3150 安，额定短路开断电流不小于 50 千安；线路快速保护装置故障检测时间不超过 3 毫秒。

5. 多元用户供需互动与能效提升技术

5.1 规模化灵活资源虚拟电厂聚合互动调控关键技术 (共性关键技术类)

研究内容：针对大规模分布式资源参与电网互动调节的重大应用需求，研究规模化灵活资源虚拟电厂聚合互动调控技术，具体包括：虚拟电厂分层分区动态构建、响应能力量化分析技术；虚拟电厂通信网络调度及业务承载时延控制技术；海量异构终端实时安全接入及用户隐私数据保护技术；基于区块链的分布式可信交易技术；虚拟电厂分布式协同互动运行控制技术。

考核指标：研发“云边协同+物联网技术+人工智能”架构的虚拟电厂协同互动调控系统，支持百万数量级智能终端即插即用安全接入，支持覆盖源、网、荷、储各环节不少于 10 个区块链交易节点，交易共识达成时间小于 1 秒；建成的虚拟电厂含分布式电源总容量不低于 300 兆瓦，可调节资源总容量 1000 兆瓦以上，其中快速调频容量不低于 50 兆瓦，快速调频指令响应时延小于 30 毫秒；可实现最高峰值负荷降低 6%以上。

5.2 配电网业务资源协同及互操作关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对配电网及海量充电桩、分布式电源等监控设备数据接入管控以及跨业务、跨应用、跨角色数据共享与业务应用需求，研究配电网业务资源协同及互操作关键技术，具体包括：跨域跨应用的配电网运行数据共享体系及互操作技术；配电网业务资源的统一数据建模及语义贯通关键技术；配电网智能设备的即插即用关键技术；配电网边缘计算平台技术及系列化软件定义智能终端；动态可伸缩的配电网云平台微服务架构及云边端协同应用技术。

考核指标：兼容智能断路器、智能换相开关、无功补偿装置、电动汽车充电桩及分布式电源并网点监控 5 种关键装置的即插即用；边缘计算平台的内核自主化率 100%，支持 ARM、MIPS 架构处理器，支持至少 10 款不同终端 APP 同时运行，APP 可兼容不同硬件平台；软件定义馈线终端、站所终端、台区终端采用国产 CPU 和边缘计算平台；智能终

端管控平台实现百万级智能终端并发接入与管理；支持 5 类以上应用场景，末端应用响应时间不超过 1 分钟。

6. 基础支撑技术

6.1 新型环保绝缘气体研发与应用（基础研究类）

研究内容：针对电力系统中大量设备使用的 SF₆（六氟化硫）绝缘气体带来温室效应的问题，研究探索新型环保绝缘气体及其应用技术，具体包括：新型环保绝缘气体分子结构与理化特性；新型环保绝缘气体批量制备与精制提纯技术；新型环保绝缘气体工程用绝缘、灭弧特性与气固相容性；基于新型绝缘气体的 110 千伏环保输电管道（GIL）样机研制。

考核指标：研发并制备出 10 公斤级新型环保绝缘气体，全球变暖指数不超过 SF₆ 的 5%，0.1 兆帕下绝缘强度高于 SF₆，液化温度低于相同压力下的 C₄F₇N、C₅F₁₀O、C₆F₁₂O、CF₃I 和 c-C₄F₈ 气体，研制基于新型绝缘环保气体的 110 千伏环保 GIL 样机，并通过型式试验。

6.2 干式直流电容器用电介质薄膜材料（基础研究类）

研究内容：针对干式直流电容器用绝缘材料及其批量化生产的应用需求，研究超净聚丙烯粒料及电介质薄膜批量化制备、干式直流电容器应用及其可靠性评估技术，具体包括：电工级超净聚丙烯粒料关键参数调控与批量化制备技术；薄膜材料双向拉伸、电极蒸镀工艺及批量化制备技术；交直流电压叠加作用下薄膜材料绝缘、热稳定及自愈特性；基于国产化薄膜的干式直流电容器设计和研制；薄膜材料及直流电容器试验与可靠性评价技术。

考核指标： 单次批量化聚丙烯粒料不小于 18 吨，等规度不小于 98%、灰分不大于 35ppm；批量化双向拉伸聚丙烯薄膜不小于 10 吨，厚度不大于 8 微米，常温下直流击穿强度不小于 550 千伏/毫米、拉伸强度不小于 155 兆帕；研制的干式直流电容器，电压不低于 2.8 千伏、容量不小于 7.5 毫法，并通过换流阀组级工况验证。

6.3 高压大功率可关断器件驱动芯片关键技术（共性关键技术类）

研究内容： 针对高比例电力电子装备智能电网发展需求，研究高压大功率可关断器件驱动技术及自主化驱动芯片，具体包括：高压大功率可关断器件电压型和电流型驱动技术；高压大功率绝缘栅双极型晶体管（IGBT）用低功耗模拟驱动芯片设计；高压大功率 IGBT 用数字驱动芯片设计；高压大功率集成门极换流晶闸管（IGCT）电源与信号管理驱动芯片设计；基于自主驱动芯片的可关断器件驱动器开发与应用。

考核指标： 研制适用于 3300 伏及以下 IGBT 器件的模拟驱动芯片，功耗不超过 0.8 瓦；研制适用于 4500 伏和 6500 伏 IGBT 的数字驱动芯片，控制步长不超过 200 纳秒；研制适用于 4500 伏 IGCT 的电源与信号管理驱动芯片，关断换流时间小于 1 微秒；研制基于自主化芯片的 IGBT 和 IGCT 驱动器并进行应用验证。

6.4 高压电力装备多物理场计算方法及软件（基础研究类）

研究内容： 针对高压电力装备多物理场计算软件严重依

赖国外的问题，研究自主可控的多物理场计算方法及软件，具体包括：变压器、套管等典型电力装备的多场耦合机理及精确模型；适应复杂部件和拓扑结构的几何模型预处理和修复技术；适应场量非线性和大梯度变化的网格生成技术；平衡计算精度和效率的耦合场求解技术及显性自定义表达技术；变压器、套管和桥臂电抗器的多参数优化设计及可视化性能评估技术。

考核指标：研制的软件支持多种模式和功能模块的集成与定制开发，可实现 5000 万网格单元的电场、热场与机械应力的稳定计算，与主流商业软件相比，基准测试集的求解精度相当，计算效率提升 30%。

6.5 储能电池加速老化分析和寿命预测技术（共性关键技术类）

研究内容：针对锂离子电池储能系统全寿命周期对健康状况可知可控的要求，研究储能电池加速老化评估和寿命精准预测技术，具体包括：电池材料、电极、界面和单体在力、热、电、气、反应等多衰减因素耦合下的衰减机理；储能材料和器件的多尺度模拟仿真方法；储能单体、模组、系统在工况条件下寿命自然衰减的预测模型与模拟仿真；储能单体、模组、系统在加速老化条件下的寿命衰减预测模型和模拟仿真。

考核指标：开发高精度电池热力学状态评估方法，开路电压-充电状态（OCV-SOC）曲线预测电池绝对容量误差低于 1%；建立电解液消耗/浸润/残余、电池膨胀模量、电池原

位产气等关键衰减因子的量化评估方法及评估装置/平台，测试相对偏差低于 2%；对器件的电池健康状态（SOH）、充电状态（SOC）、温度分布、膨胀等模拟仿真结果的准确率高 于 90%；建立基于电化 学耦合算法的寿命预测机理模型，实现基于 1.5 个月的评估数据预测 30 年可靠性衰减图谱；基于对电池寿命衰减机理的理解，提出有效的改进方法，电池全生命周期运行总体效能提升 20%。

6.6 储能锂离子电池智能传感技术（基础研究类）

研究内容：针对储能锂离子电池提高运行效率、安全性、稳定性的迫切要求，研究基于单体电池内部和外部的在线数据实时准确监测方法，建立从单体锂离子电池到储能系统的智能管理系统。具体包括：研究锂离子电池单体内部温度、应力、气压和气体浓度、种类等传感技术；研究锂离子电池单体外部温度、应力、气压和气体浓度、种类等传感技术；研究储能电池单体植入式或外置式智能传感一体化集成技术；研究传感器监测信号通信技术；基于单体电池信息实时监测控制的储能系统管理技术及其典型应用。

考核指标：植入式传感器对储能锂离子电池容量（500 次循环）影响 < 5%；电解液环境对植入式传感器影响 < 5%；多种信号传输采样频率 > 100Hz；内部温度测量量程：-40 °C 至 60 °C，精度 ± 0.2 °C；内部应变测量量程：3000 $\mu\epsilon$ ，示值误差 < 5 $\mu\epsilon$ ；内部气压测量量程 2 MPa，精度 0.1 MPa；内部气体测试多于 2 种，精度 0 ~ 100 %（体积百分比）；内部电压测量范围 2.3 ~ 6.0 伏，误差 < 5%，内部电流测量误差 < 5%。

外置式传感器检测精度高于内置式；传感信号能实现有线或无线传输，并能实时采集、分析并发出预警指令。

6.7 锂离子电池储能系统全寿命周期应用安全技术（共性关键技术类）

研究内容：针对规模化电化学储能中面临的安全问题，开展锂离子电池储能器件的灾害演化机制及灾害防控技术研究，具体包括：研究不同装置层级锂离子电池热失控触发机理及动态扩散演变机制，研究全尺寸储能系统火灾特征及致灾危害综合评价技术，研究电池储能安全性能等级评价体系及标准；发展储能电池热失控阻隔技术，开发高效、主动安全的储能电池模块及电池簇；建立电池热失控征兆集，发展基于大数据分析的故障检测诊断技术，研发高效、可靠的全生命周期分级预警方法；开发清洁高效灭火技术，研究分等级应急处置技术。

考核指标：建立电池储能安全性能等级评价体系，研发的热失控阻隔技术实现电池模块内不发生热失控扩散，且电池簇内不产生冒烟现象；开发的全寿命周期电池故障诊断技术诊断准确率 $\geq 85\%$ ；开发一套适用于吉瓦时级的储能大数据监控系统，实现提前 1 天隐患预警，提前 15 分钟事故预警；研发出锂离子电池储能系统先进灭火技术，5 秒内扑灭电池初期火灾，24 小时不复燃，覆盖范围 ≥ 1 兆瓦时。