



百兆瓦级电化学储能电站 关键技术与应用

报告人：王 伟
wangwei@sgepri.sgcc.com.cn

南瑞研究院
2019年11月



国家电网
STATE GRID

南瑞集团有限公司
NARI GROUP CORPORATION

C 目录 ontents

1

研究背景

2

应用挑战

3

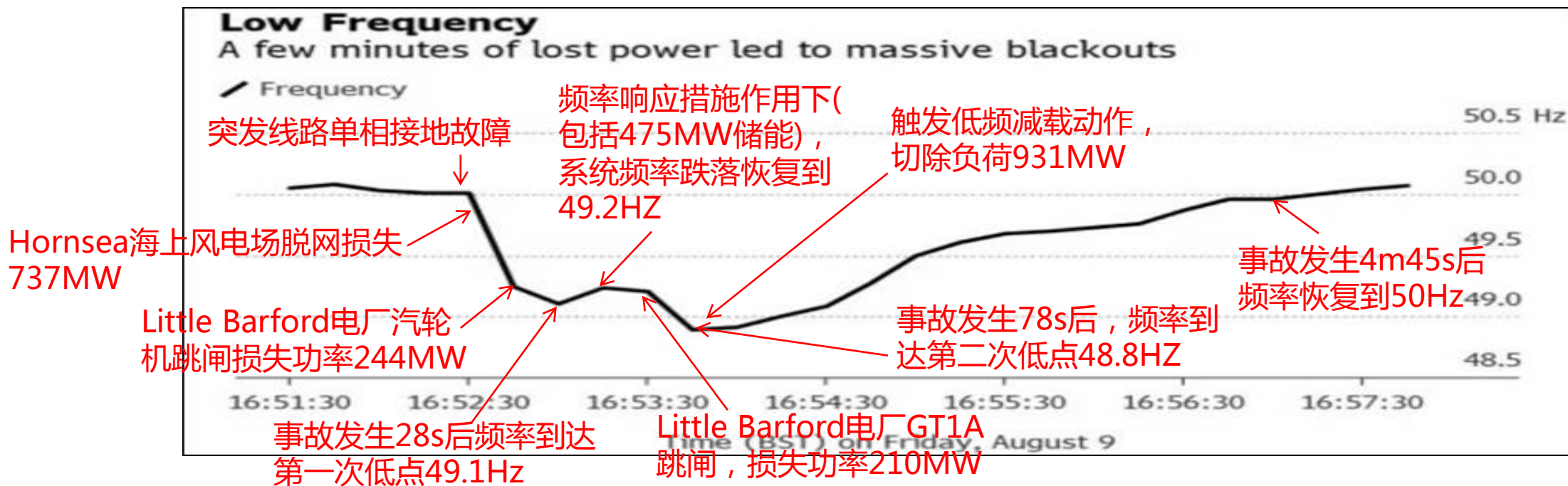
关键技术

4

工程实践

惯量调频对大规模储能需求

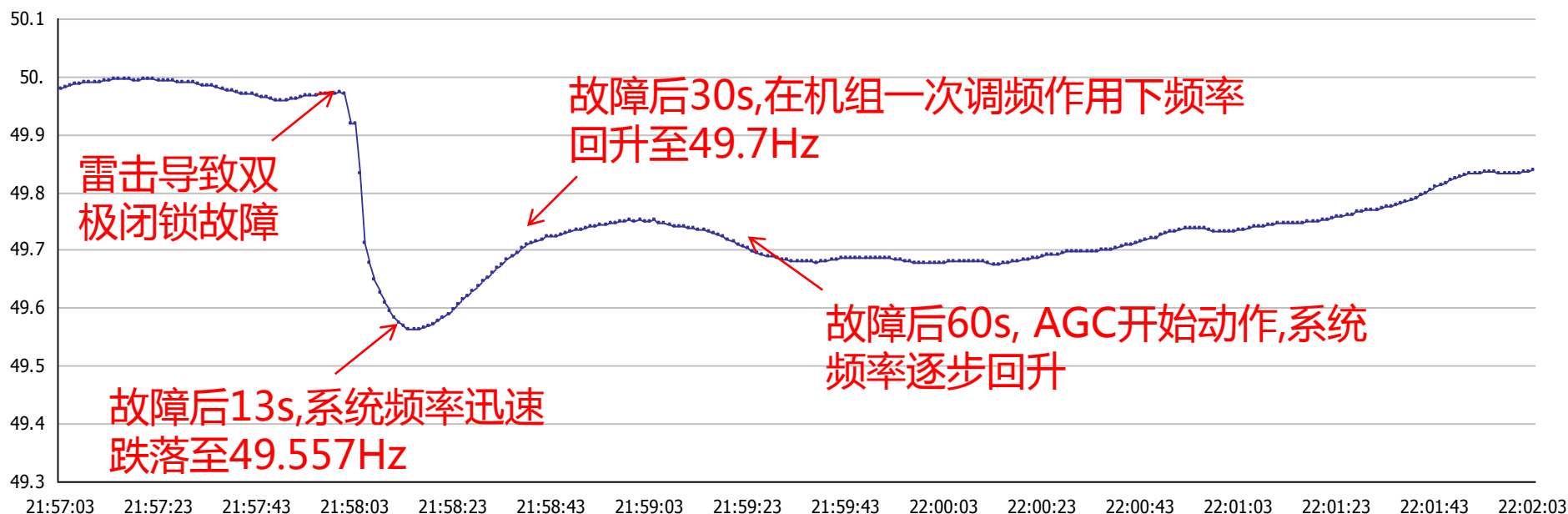
英国大停电事故期间：系统两分钟之内连续损失1630MW，约占总发电的6.43%。连接电网的电池储能系统（475MW装机）迅速向电网供电，避免电网频率继续恶化。在电池储能系统的参与下，电网频率仅4分45秒就恢复到安全运行水平，比在2008年发生的类似情况快四倍。



一次调频对大规模储能需求

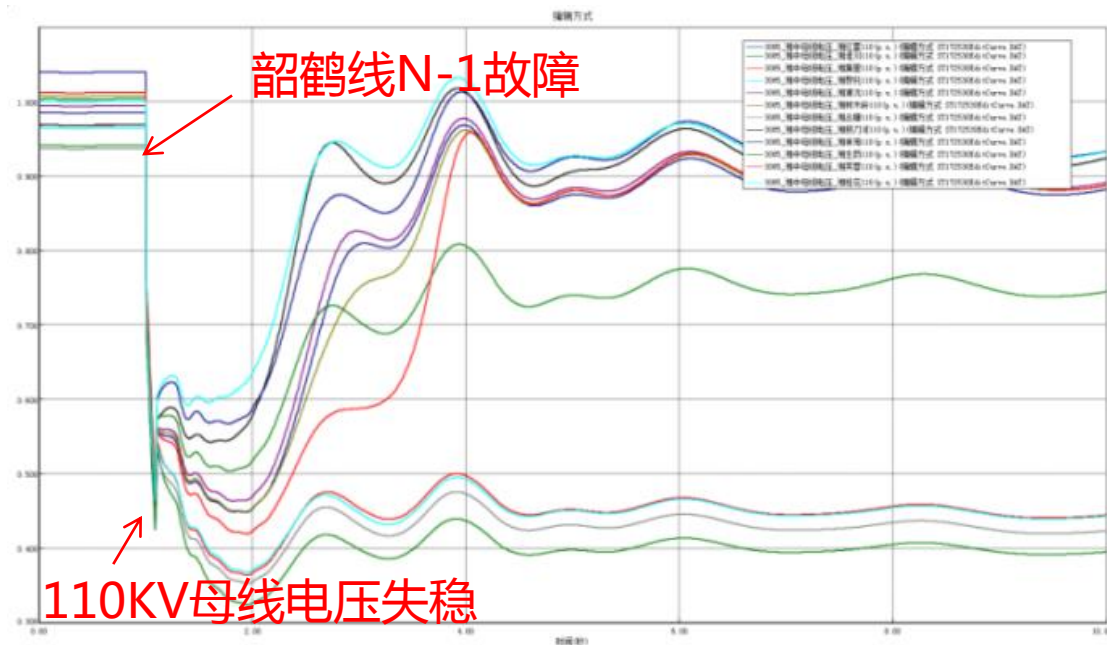
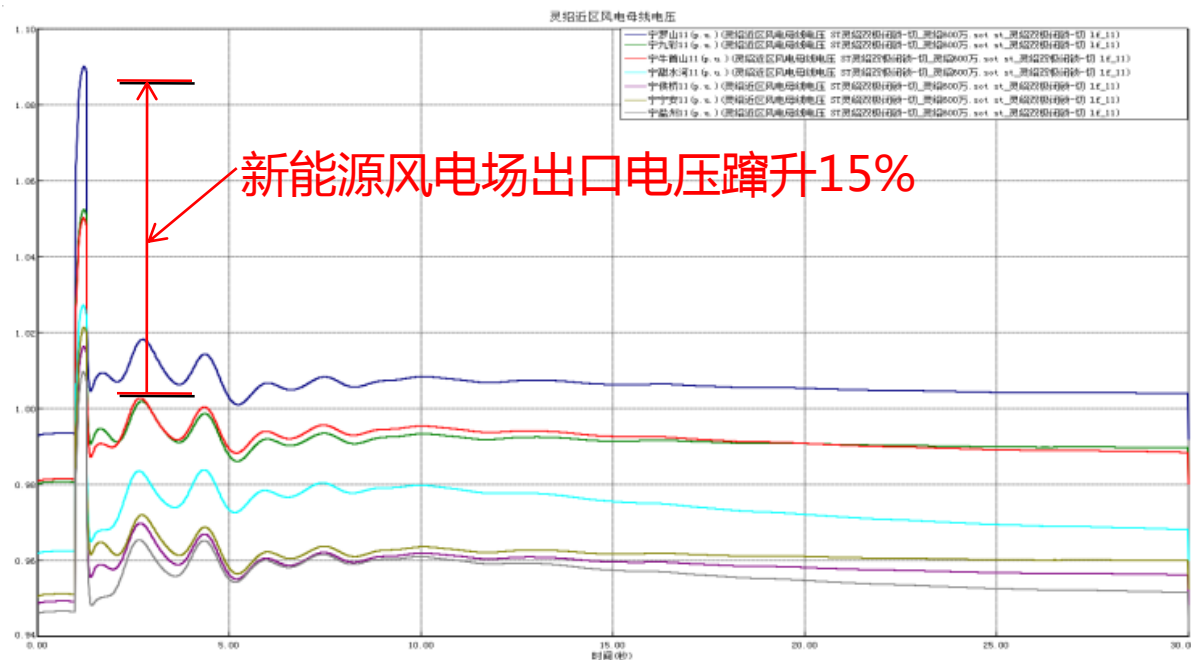
2015年9月,锦苏直流因遭雷击导致双极闭锁,损失直流功率4900MW。造成华东电网频率跌落至49.557Hz、越限运行207s。传统机组调频响应较慢,受端电网的频率缺乏快速有效支撑手段。

华东电网频率曲线



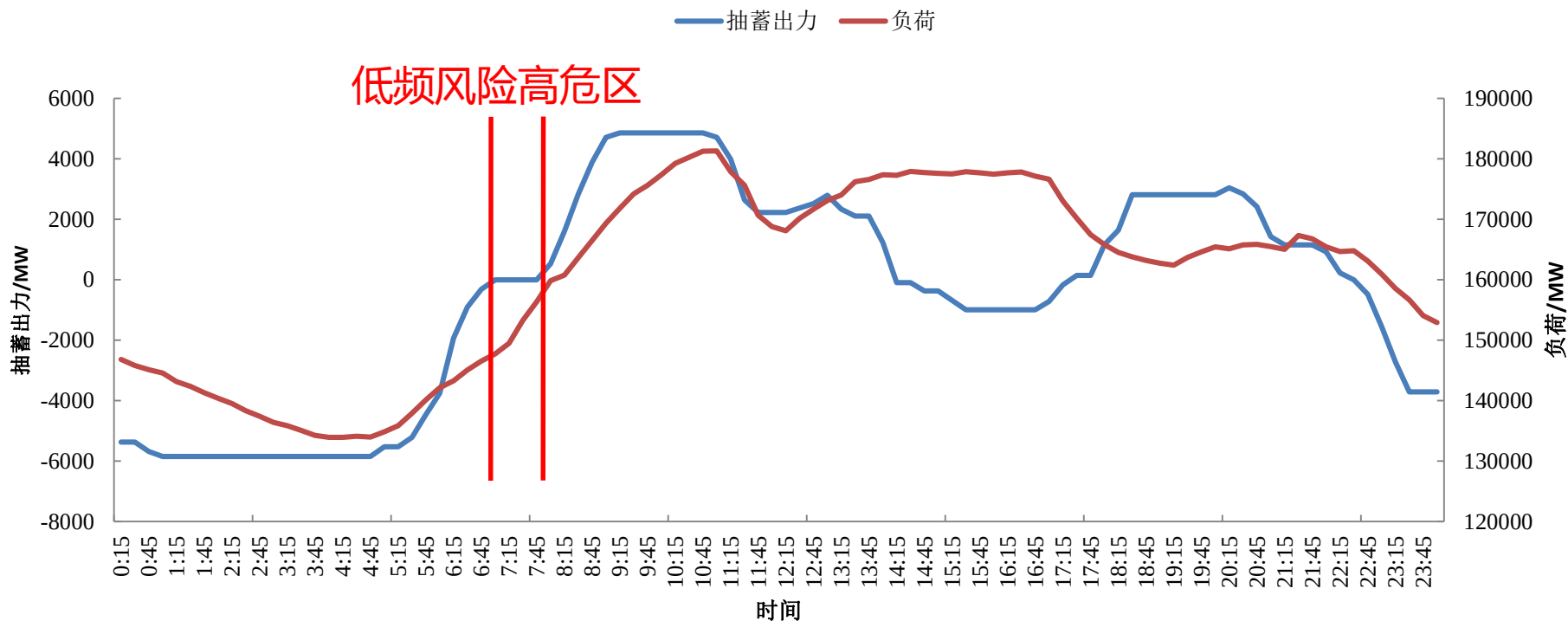
新能源送出对大规模储能需求

大规模新能源送出地区暂态电压控制问题突出。2016年3月灵绍直流单极闭锁引起宁夏大规模新能源发电送端出口电压蹿升了15%；湖南电网韶鹤线鹤侧N-1故障, 造成湘中电网电压失稳, 严重危及电网安全。传统调相机励磁调节速度难以满足快速动态无功支撑要求。



抽蓄模式转换对大规模储能需求

受限于抽水蓄能的运行模式，电网频率低频风险高危区主要体现在早上抽水蓄能开始发电且负荷攀升的过程中。在这种情况下电化学储能调频、调峰性能上具有非常明显的优势。



百兆瓦级电化学储能需求场景包括：

- 参与并提供电网惯量调频服务，提升电网频率动态支撑能力；
- 参与并提供电网一次调频服务，提升电网调频稳态支撑能力；
- 提供电网快速无功支撑与调压服务，提升新能源送出端电网电压稳定性；
- 弥补抽水蓄能与负荷容量匹配空白期，参与电网调频调峰；





国家电网
STATE GRID

南瑞集团有限公司
NARI GROUP CORPORATION

C 目录 Contents

1 研究背景

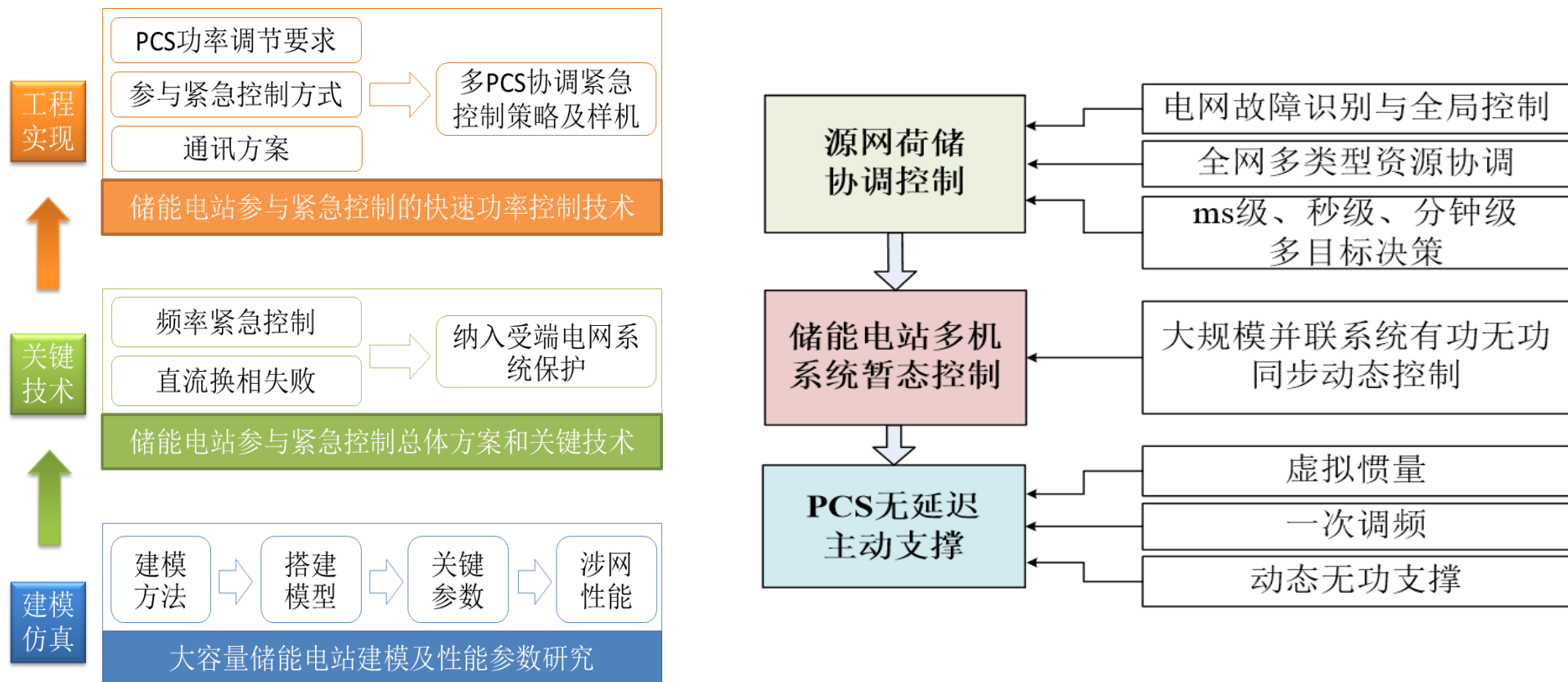
2 应用挑战

3 关键技术

4 工程实践

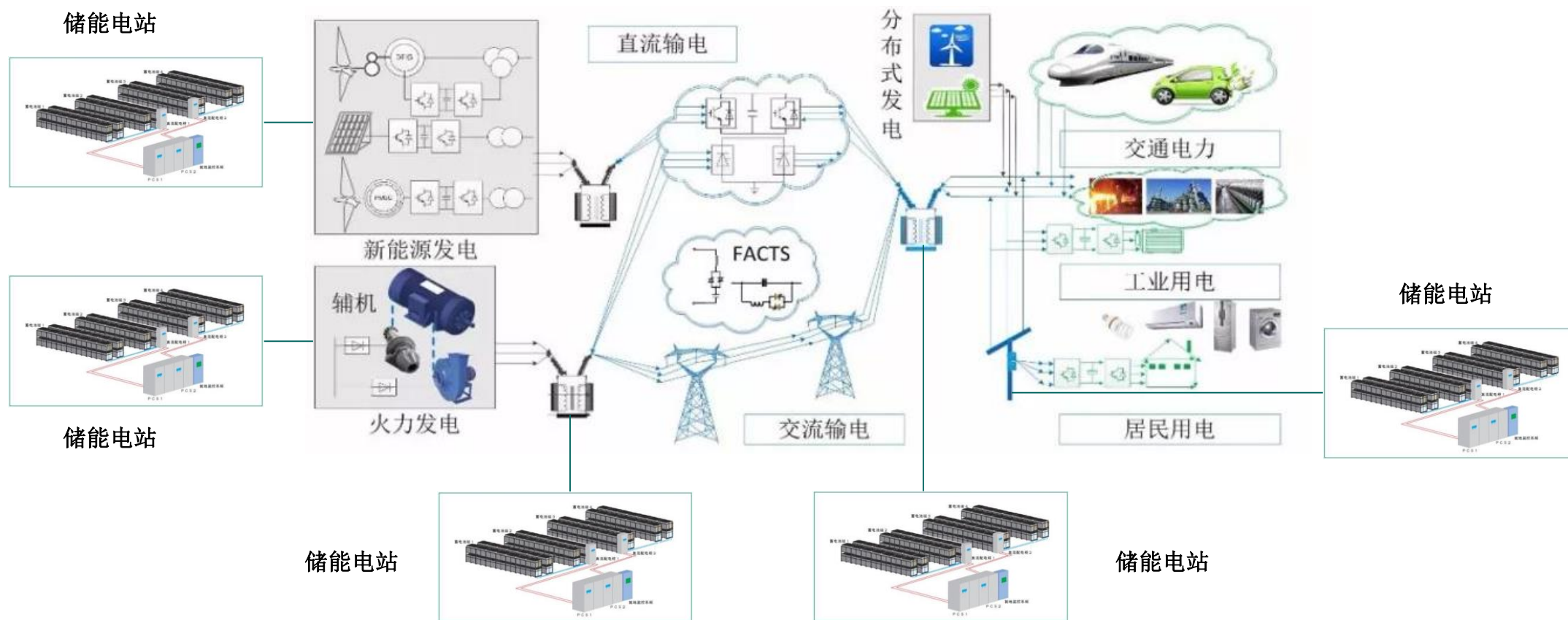
百兆瓦级电化学储能电站参与电网安全稳定控制

- 面向系统保护的源/网/荷/储协同控制技术，实现大规模储能精准控制，避免过度切负荷；
- 储能电站内大规模并联系统的暂态控制技术，实现数以百计储能单元的快速集群控制；
- 储能PCS主动惯量支撑、一次调频与动态调压技术，实现无通讯延迟的快速响应。



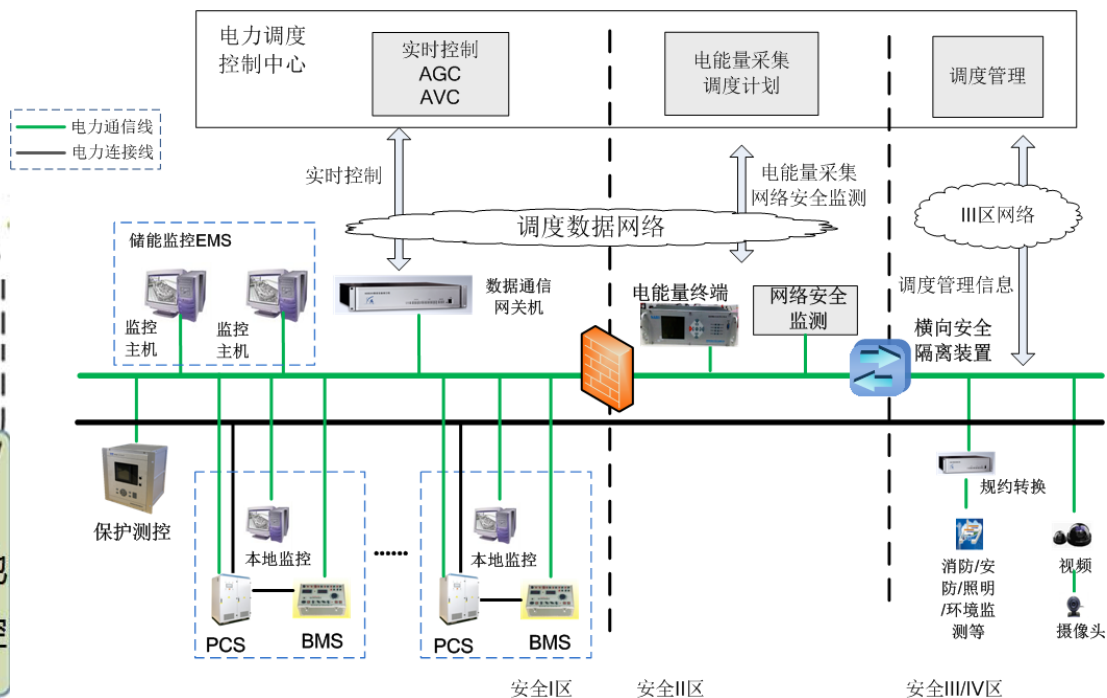
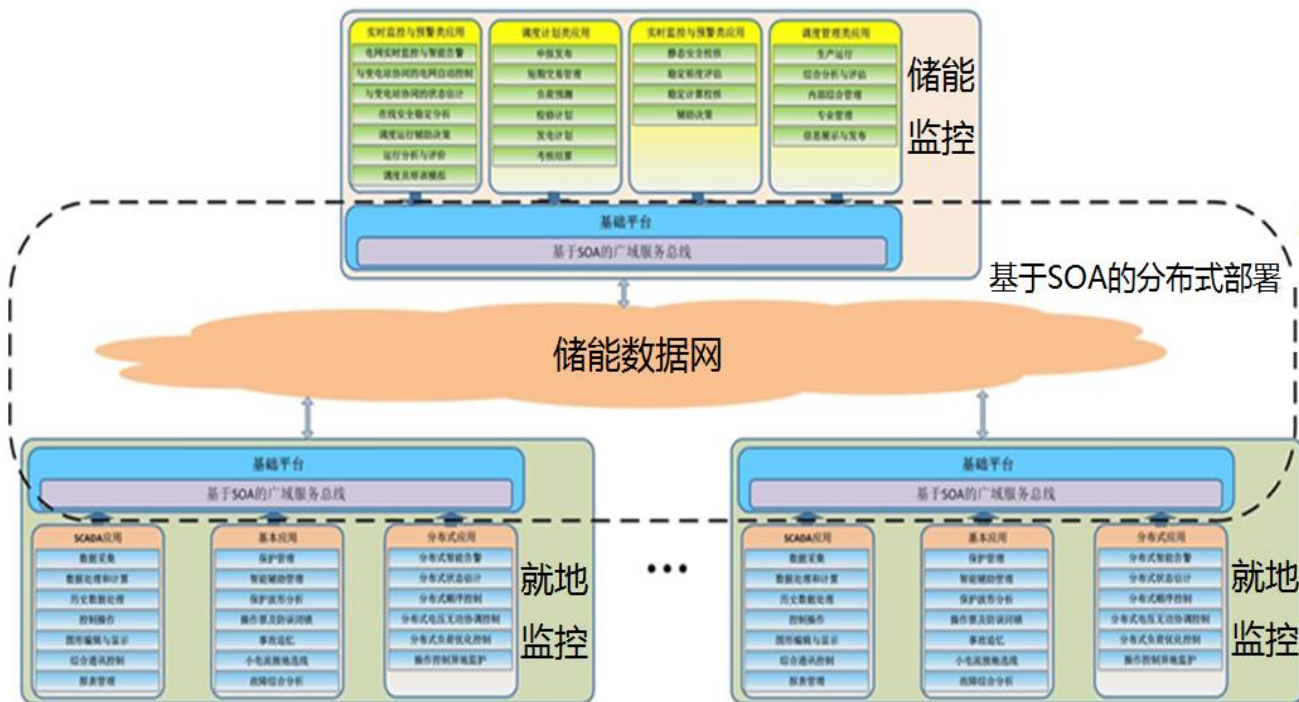
百兆瓦级电化学储能电站参与电网调控

- 多场景：需适用于电力系统发电、输电及配用电等多环节
- 多目标：根据不同应用场景，应满足平滑出力、计划跟踪、辅助调频、优化潮流、削峰填谷等目标



百兆瓦级电化学储能电站监控

- 百兆瓦级储能电站电池的串并联电池数量庞大，涉及的监控点超过百万级，其监控系统数据采集、处理、存储等环节复杂；
- 电池在反复充放电全寿命周期内会出现电性能以及安全性能的退化，并表现出各种不同的运行状况，规模化应用中某些电池偏离运行状态进入亚健康异常态或者故障状态，就会给整个系统带来性能降低或者安全隐患。

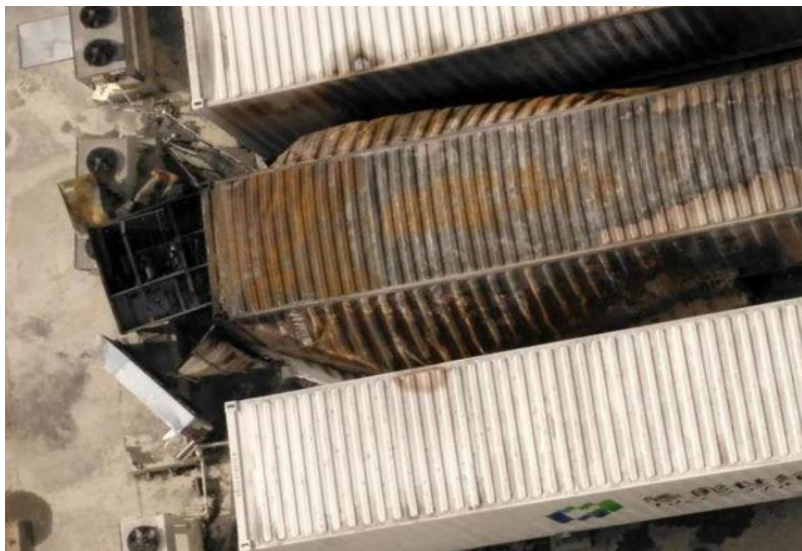


百兆瓦级电化学储能电站系统安全防护

- 如何在兼顾系统成本下实现故障点精准定位、事故的早期预警与风险防控？
- 发生热失控后，如何提高隔绝与火灾抑制可靠性？



韩国平昌风电场储能系统



山西某火电厂储能调频电站



扬中某用户侧储能电站



国家电网
STATE GRID

南瑞集团有限公司
NARI GROUP CORPORATION

C 目录 ontents

1 研究背景

2 应用挑战

3 关键技术

4 工程实践

百兆瓦级电化学储能电站稳定控制技术

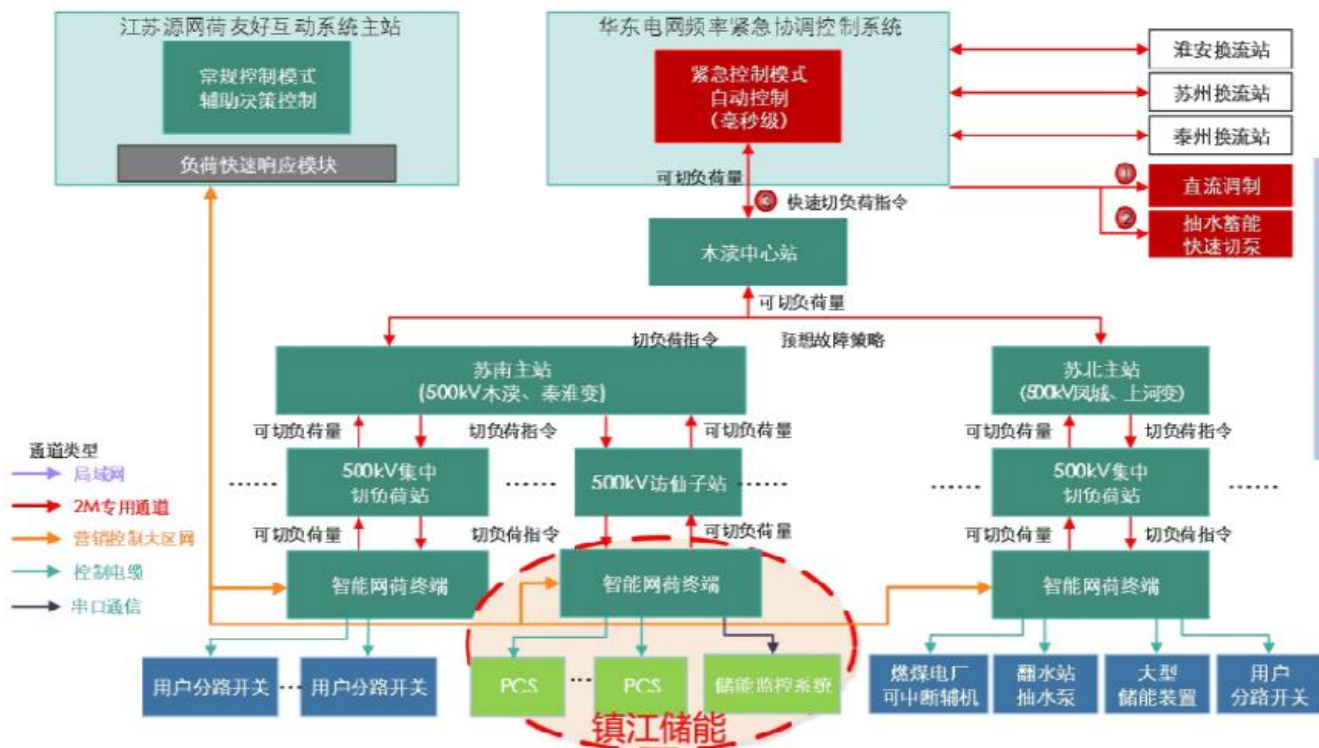
1、系统保护架构下的源/网/荷/储协同控制技术

依托系统保护控制系统对复杂故障形态的识别能力与相继故障下的决策能力，匹配“源网荷友好互动精准切负荷系统”的控制特性，实现百兆瓦级储能电站在电网故障时刻以及频率恢复过程中系统安全稳定控制。

传统“离线计算，实时匹配”模式

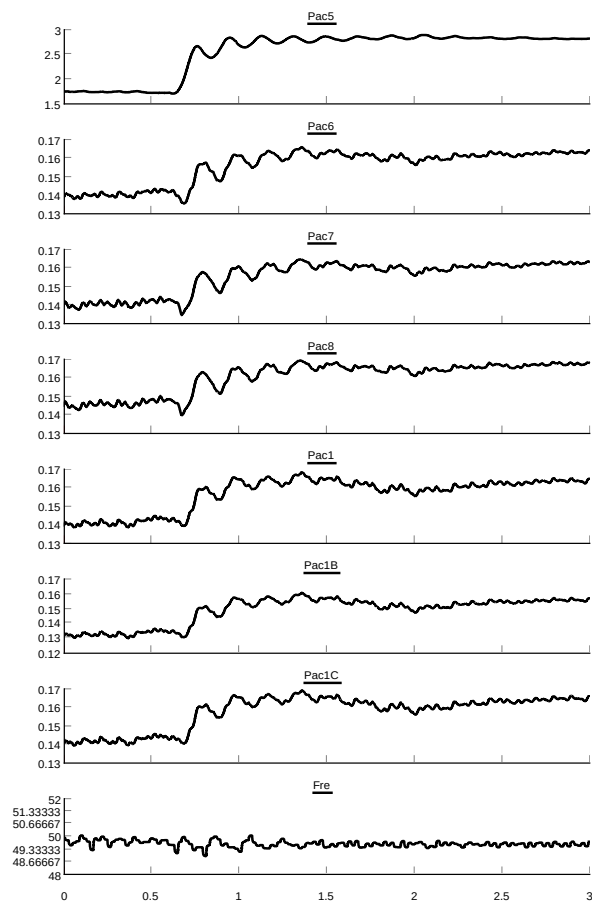
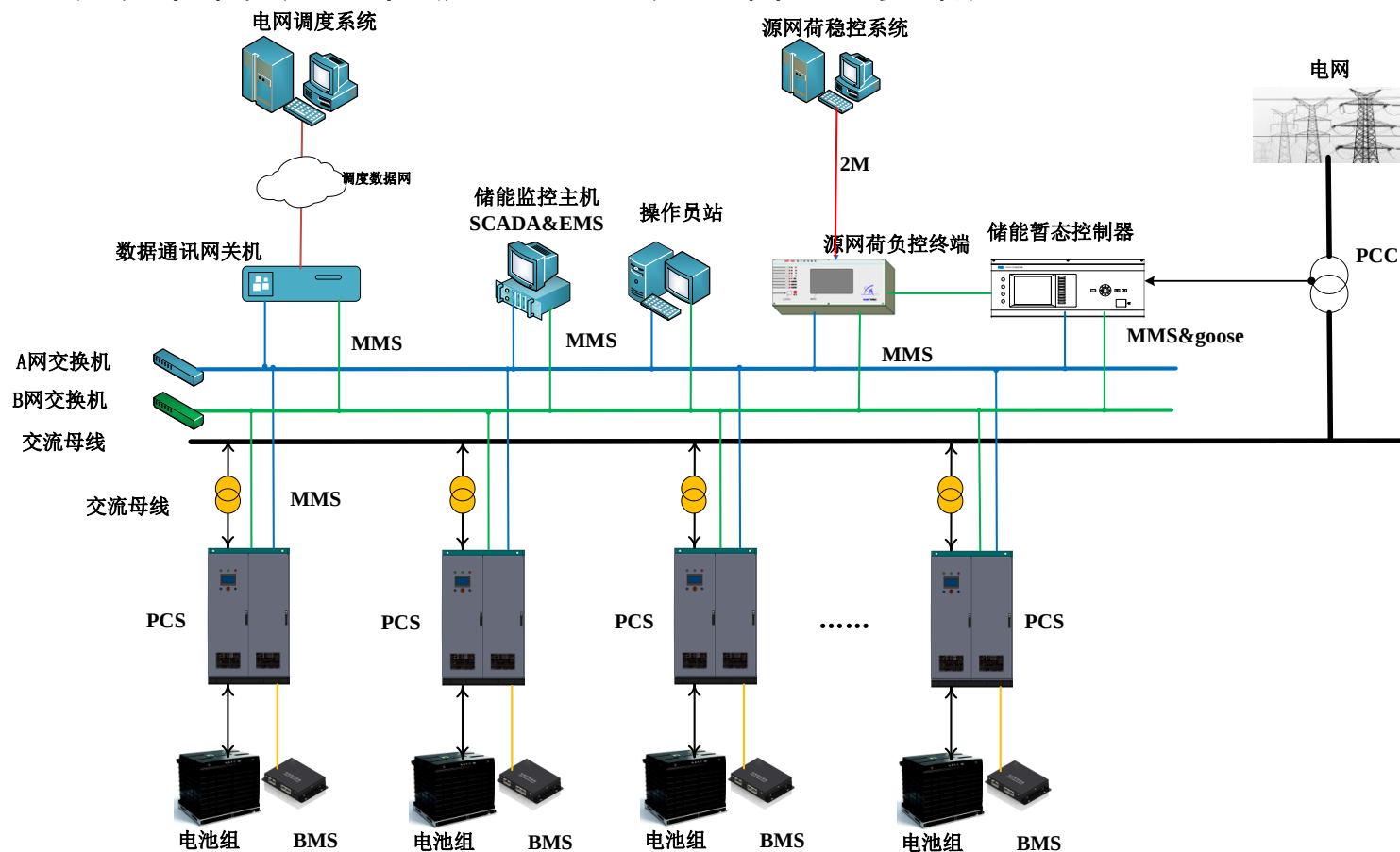


“实时滚动分析，自适应策略生成”



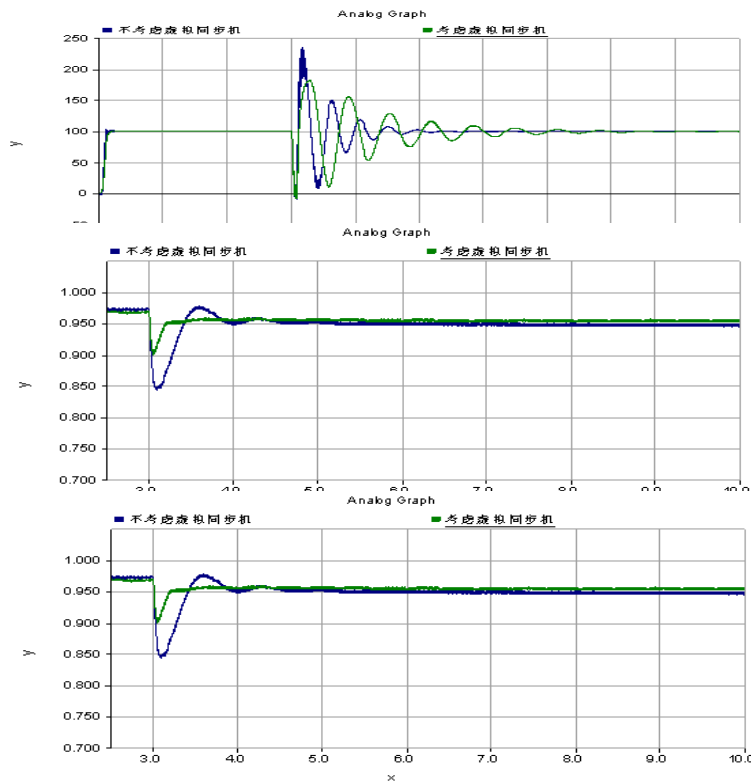
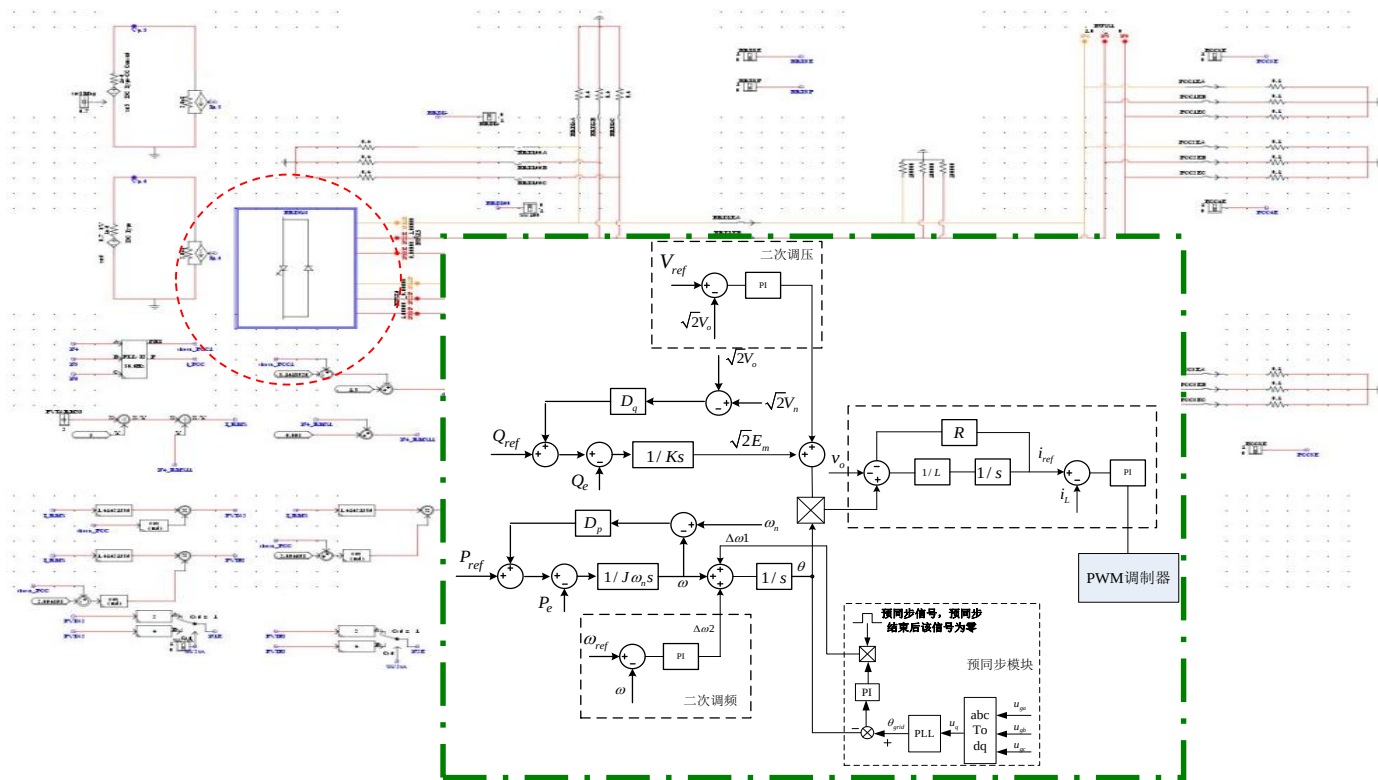
2、大规模储能多机并联系统暂/稳态控制技术

接受电网调度指令，实现分钟级的稳态控制；接受源网荷储稳控指令，实现秒级的快速控制；基于虚拟同步发电机技术，实现毫秒级的电压与频率暂态同步响应。



3、储能PCS自同步电压源控制

电网发生直流闭锁或大电源跳闸等故障下，采用自同步电压源控制的储能PCS，通过内建的“等效旋转惯量”，延缓系统频率下降速度，弥补了同步机组频率响应慢的缺点；结合一次调频与自动调压控制策略，加快系统恢复稳定。



1、发电侧储能并网运行控制技术（改善新能源发电品质）

针对风光等新能源出力波动性特征，利用储能快速响应特性，面向平滑出力与计划跟踪目标，在兼顾储能系统合理荷电状态下对多类型能源进行协同控制，提出基于储能荷电状态（SOC）反馈的平滑控制方法和协调跟踪控制策略，实现接近常规电源的发电品质，功率波动 $<5\%/10\text{min}$ ，计划跟踪偏差 $<3\%$ 。

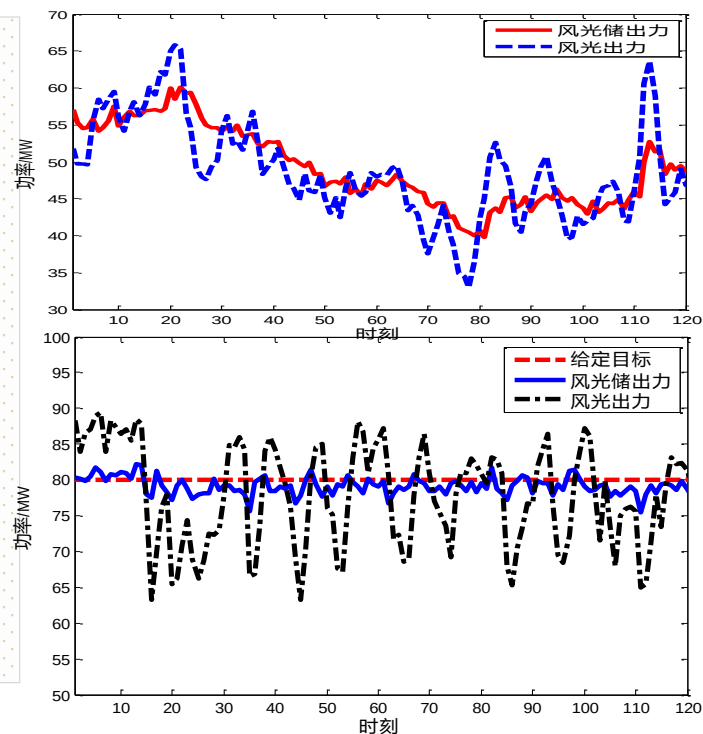
基于SOC反馈的平滑控制

$$P_b(k) = \frac{(1 - K \cdot \alpha T)}{T + T_c} P_{com}(k - 1) - \frac{T(1 + K \cdot \alpha T_c)}{T + T_c} P_{w-pv}(k) + K \cdot SOC(k) - K \cdot offset$$

“风光捆绑、储能解耦”跟踪协调控制

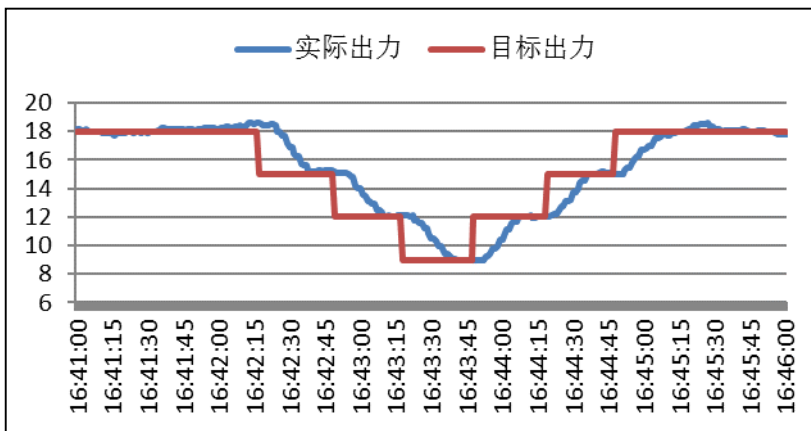
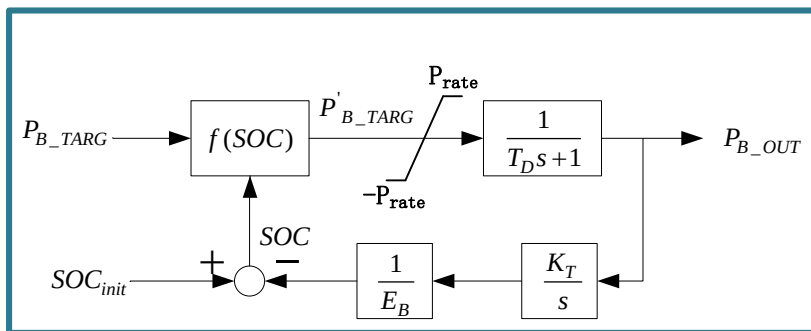
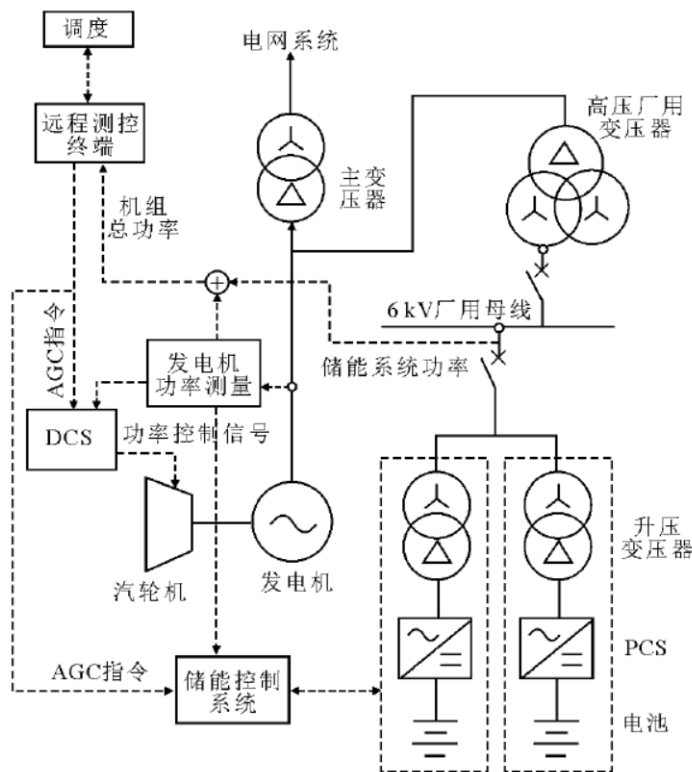
$$P_{wp_des}(t) = P_{ref}(t) + \Delta P_{b\max}(t)$$

$$\Delta P_b(t) = P_{ref}(t) - P_{wpb}(t)$$



1、发电侧储能并网运行控制技术（辅助火电调频）

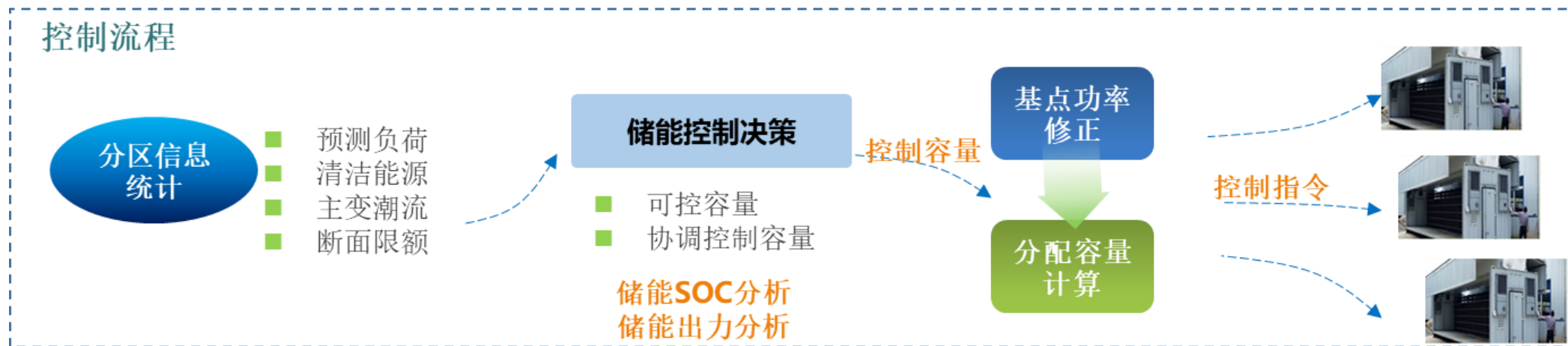
面向电网调控调频需求，基于储能的有功控制特性，提出了储能与常规机组共同参与主站有功自动控制策略。结合储能精确、快速的功率控制特性，提出了比例分配、储能优先、常规优先、分频控制等计及储能SOC的快、慢速调节资源协调控制策略，适应不同的控制需求，改善火电调频性能。



百兆瓦级电化学储能电站并网调控技术

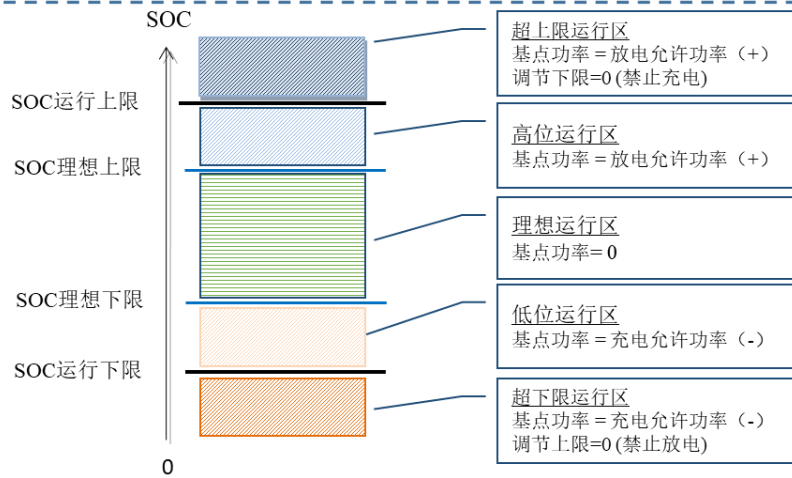
2、电网侧储能并网运行控制技术（优化潮流分布）

针对电网局部尖峰负荷问题，利用储能充电、放电双向特性，对储能进行分区级的聚合控制，并考虑不同时段的不同协同配合，动态优化电网潮流分布，缓解电网传输通道拥塞，增强电网“柔性”和“智能化”水平。



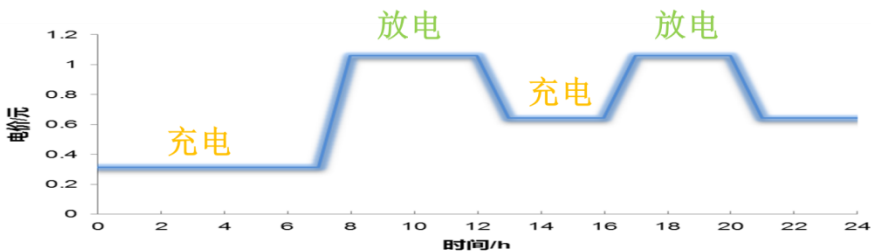
ACE处于紧急区或次紧急区，与充放电行为反向，基点功率自动调整为0，其余情况基点功率为最大充电或放电功率

实时预测未来电池充放电进度，若不满足SOC控制要求，则不考虑基点自动修正

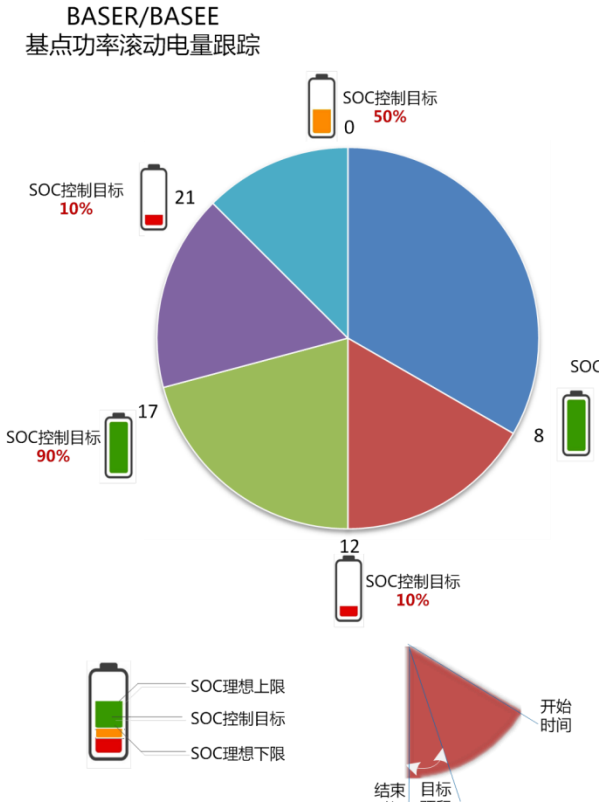


3、用电侧储能并网运行控制技术（削峰填谷）

用户侧储能根据峰谷价差“两充两放”，在满足商业园区供电的基础上，通过预设时段电量和充放电状态控制，面向储能经济化运行目标，通过有序充放电参与电网辅助控制及负荷削峰填谷。



序号	电站类型	时段	充放状态	SOC目标 (%)	目标预留时间 (min)	充放基点 (MW)
1	用户侧储能	0-8	只充不放	90%	30min	-5MW
2	用户侧储能	8-12	不可控	10%	20min	0MW
3	用户侧储能	12-17	只充不放	90%	30min	-5MW
4	用户侧储能	17-21	不可控	10%	20min	0MW
5	用户侧储能	21-24	可充可放	50%	30min	0MW



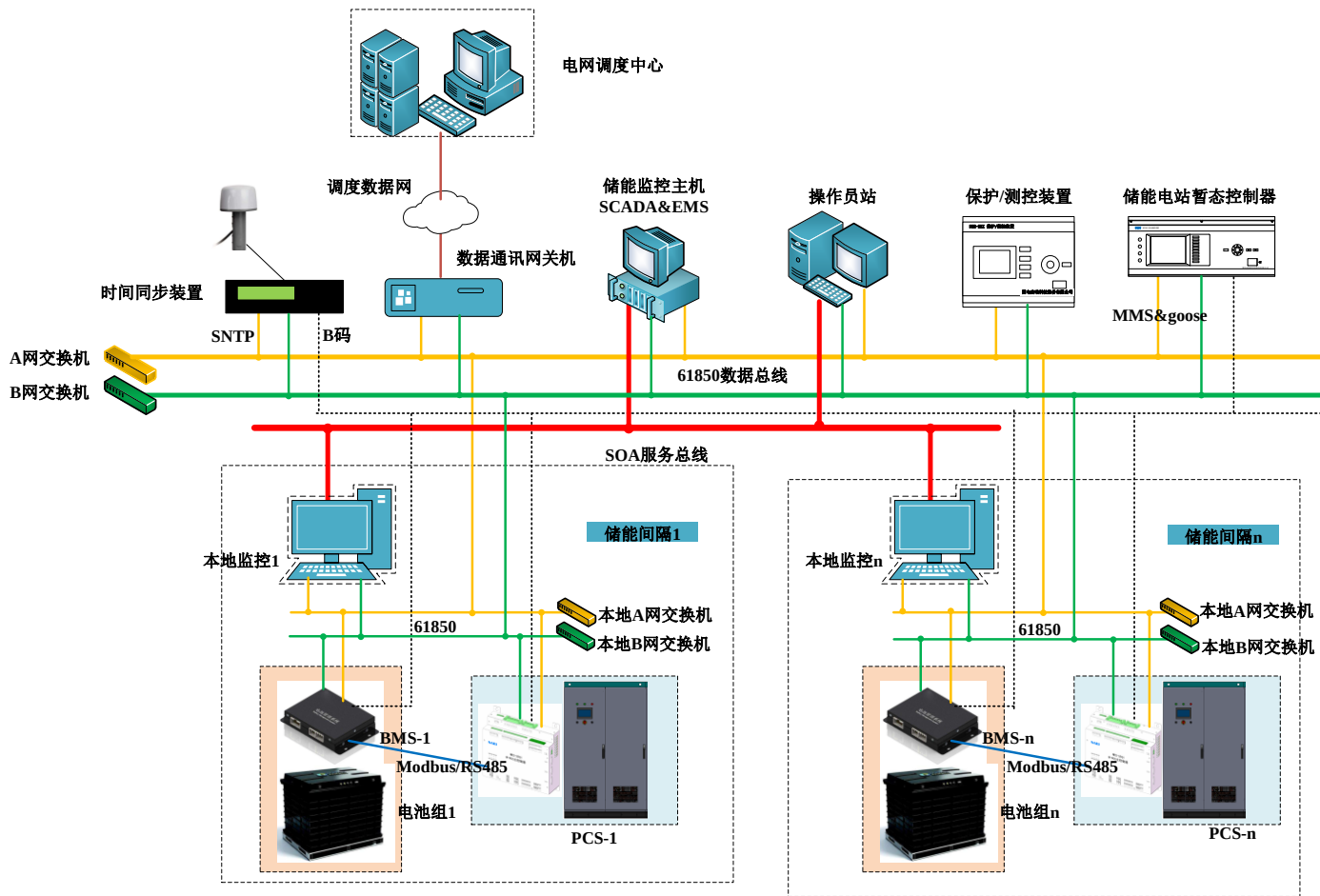
百兆瓦级电化学储能电站监控技术



国家电网
STATE GRID

南瑞集团有限公司
NARI GROUP CORPORATION

面向百兆瓦级储能电站的监控需求，统一采用站内通信服务总线，实现关键数据实时上送，详细数据分层存储，跨层数据按需调阅；统一站内通信协议，遵循IEC61850构建全站设备模型，全站无规约转换器，采集及控制速率快，效率高；计及SOC的放电策略，动态分配响应资源。



界面布局

电站概览
运行监控
参数配置
分析诊断
安全管理

人机界面

储能专用界面设计
&现场应用配置

平台基础功能

信息采集
数据存储
告警统计
通讯管理

平台

基于智能化变电站监控
NS5000平台

软件

模块化编程及应用定制
理念

基本功能

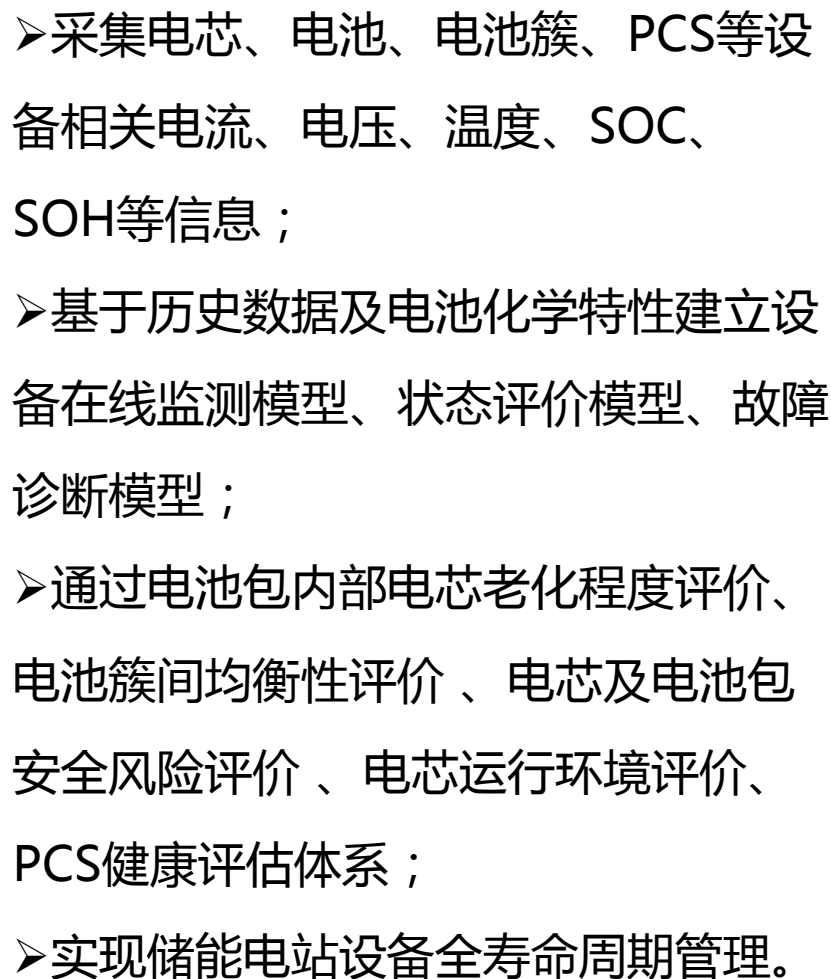
电池SOC管理
PCS功率控制
环境管控
调度管理

定制功能

电网调频
平滑输出
电价管理
热备用

构架

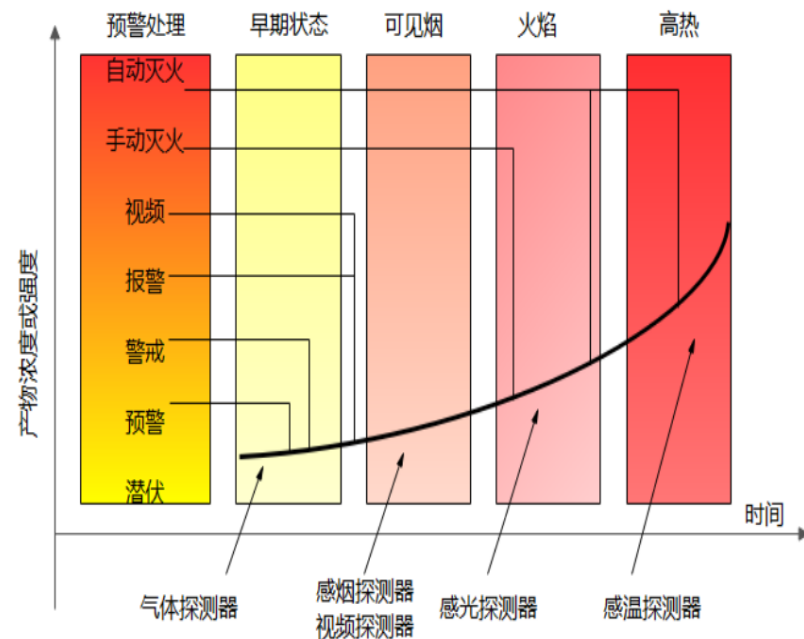
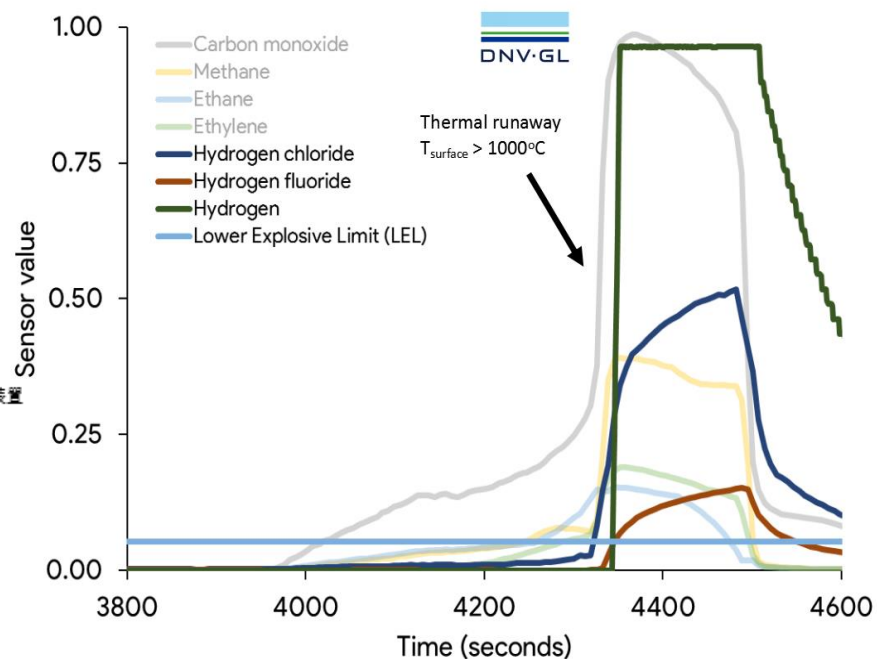
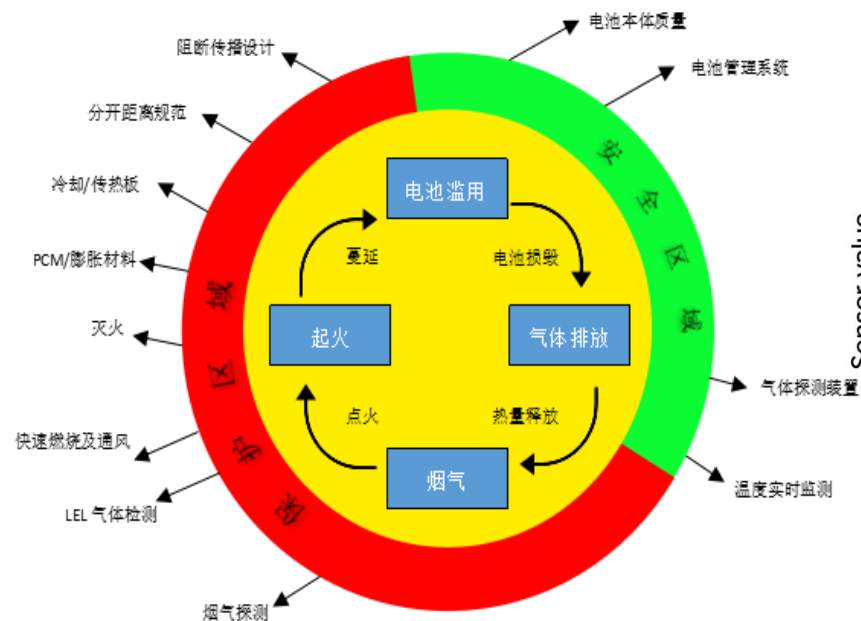
集中式解决方案
分层分布式解决方案



百兆瓦级电化学储能电站安全防护技术

1、基于温度场分布与特征气体浓度判据的热失控早期预警技术

提出了将视频、图像（含红外）、温感、烟感、可燃气体（主要CO、H₂探测）等非电气量与实时控制保护（BMS、PCS、EMS）系统里的电气量（V、I、dV/dt、dI/dt）综合，通过信息协同机制进行综合判断，防止误判或拒判，**实现电池热失控早期预警及故障定位。**

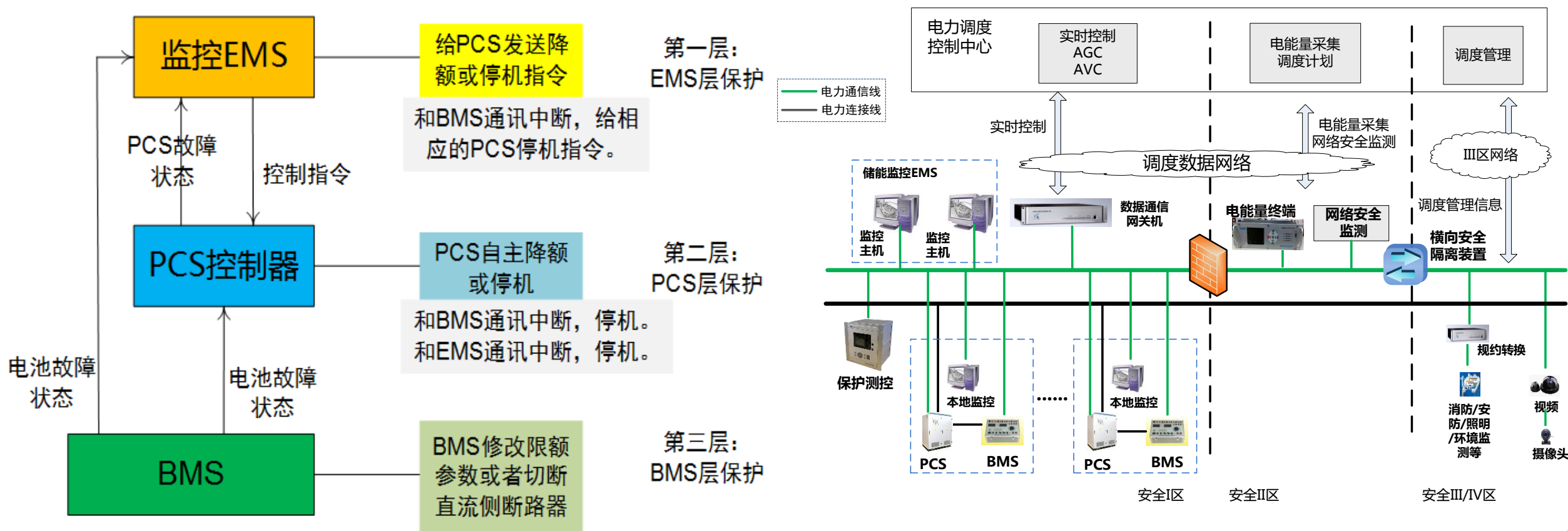


百兆瓦级电化学储能电站安全防护技术



2、基于分层分级的保护联动与故障快速隔离技术

提出了EMS/BMS/PCS、动环监控与消防系统的分层保护架构，后台监控全局判别、动环系统分区分组、故障分级，BMS/PCS实时启动，快速隔离故障。





国家电网
STATE GRID

南瑞集团有限公司
NARI GROUP CORPORATION

C 目录 ontents

1 研究背景

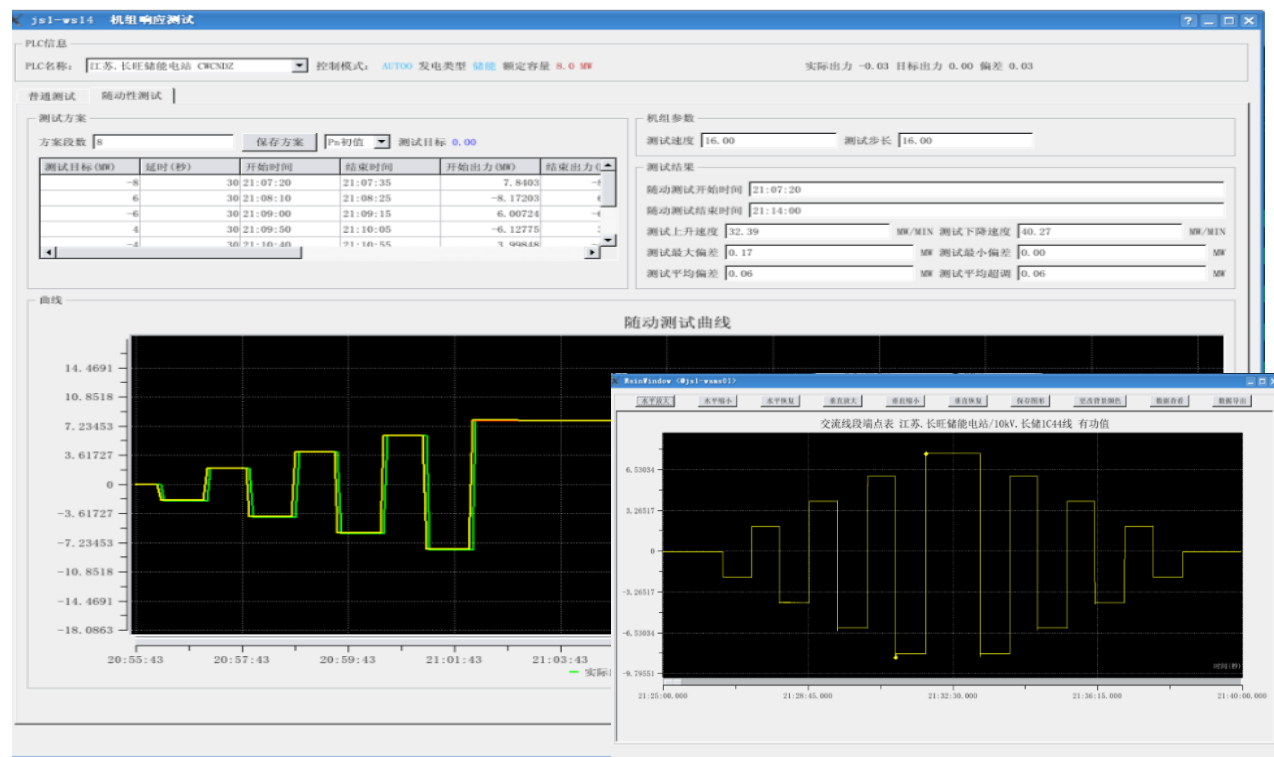
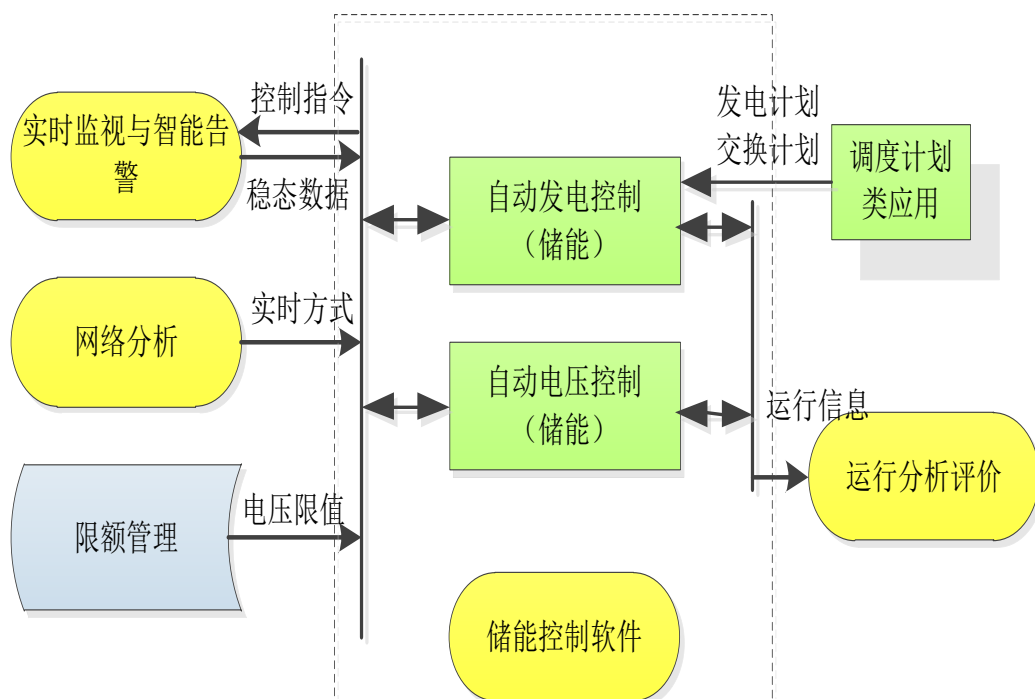
2 应用挑战

3 关键技术

4 工程实践

1、江苏电网储能

江苏镇江东部建设101MW/202MWh电网侧储能示范项目，采用“分散式布置、集中式控制”方式在镇江大港新区、丹阳市和扬中市新建8个储能电站，总装机101MW/202MWh。



1、江苏电网储能

在镇江储能电站群的调度控制系统中，通过开展主动控制和有序管理，充分利用储能的快速调节优势，用以缓解负荷高峰电力供需缺口、分区断面潮流控制和电网平衡控制的难题，实现储能参与电网调峰、调频等多目标协调控制。该系统也应用于河南、湖南电网，实现对储能调度控制。



分区断面控制

- ◆ 控制目标分解到分区下储能电站，完成SOC的比例和优先级功率分配

一键控制

- ◆ 一键紧急充放电控制

辅助决策

- ◆ 控制目标的可用时间
- ◆ 设定时间的建议充/放电功率

时段电量控制

- ◆ 考虑SOC控制目标的电量跟踪跟踪

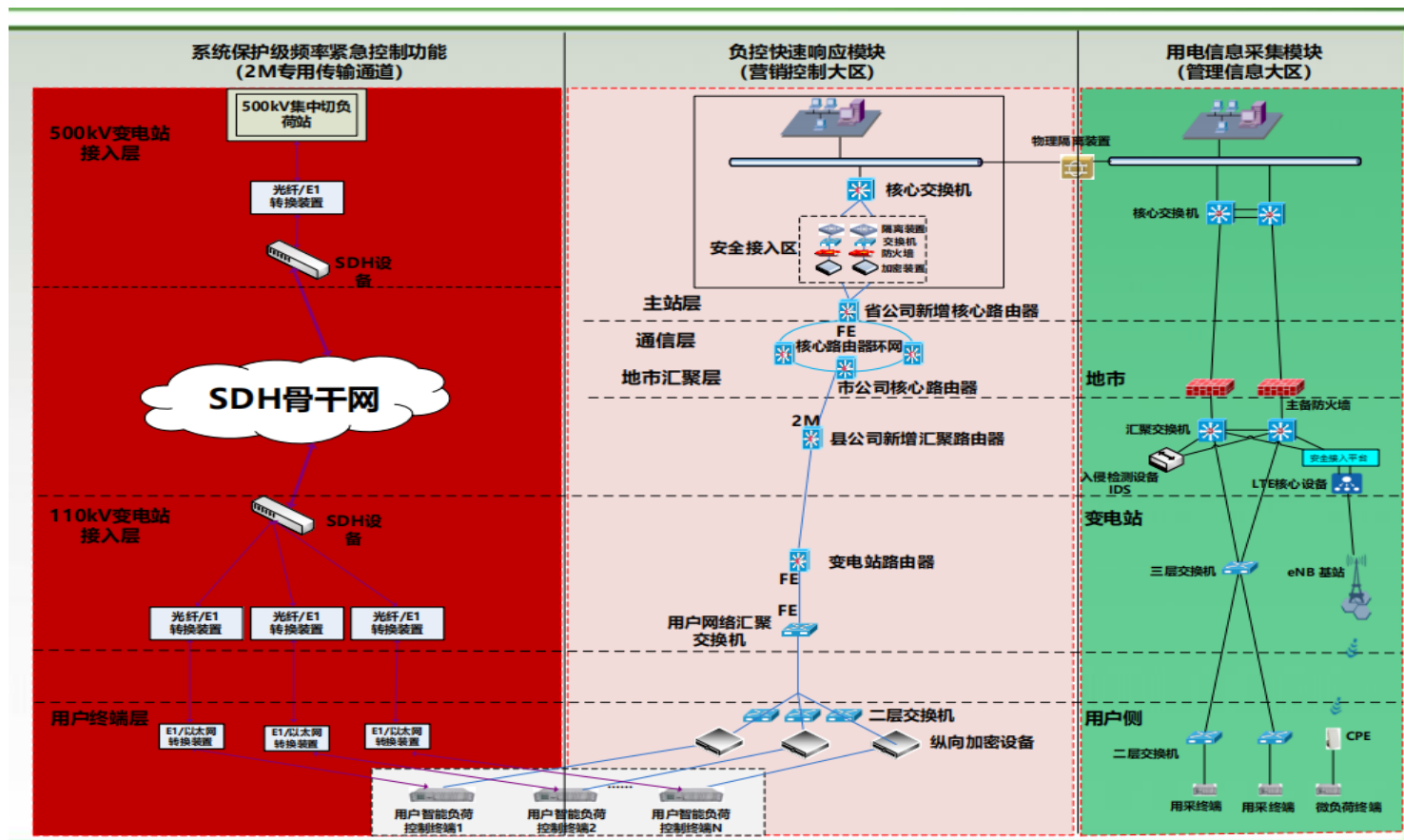
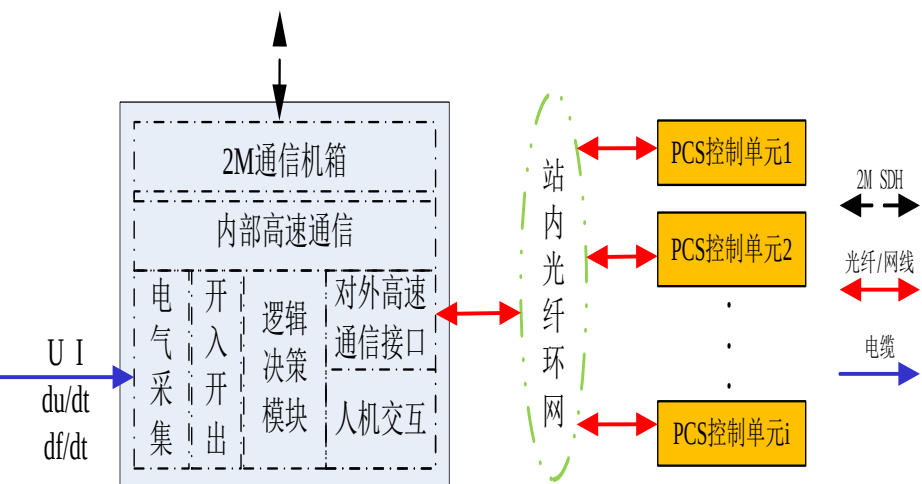
2、河南电网储能

河南电网处于华中电网与华北电网、西北电网互联枢纽位置，电网峰谷差约占最高负荷的40%，新能源发展迅速，电网安全运行、调峰手段和投资建设面临巨大挑战，在信阳等9个地市选取16个变电站，采用“分布式布置、模块化设计、标准化接入、集中式调控”技术方案，利用空余场地和间隔，总规模为100.8MW/125.8MWh的河南电网电池储能示范工程。



2、河南电网储能

河南电网安全稳定控制系统，采用分层分布设计思想，采用调度中心站/控制主站、控制子站以终端执行站三层控制架构。储能电站为稳控系统的执行终端，在储能电站侧布置快速功率控制装置，实现储能电站双向快速功率控制功能。



3、湖南长沙储能电站

- ◆ 湖南长沙储能电站的建设，破解长沙市核心区、榔梨工业园区难以新增变电站难题，有效缓解城区供电压力，提升长沙电网的调峰能力，提升湖南省内新能源消纳能力，提升特高压祁韶直流送电湖南电网能力。
- ◆ 长沙储能电站一期60MW/120MWh，分芙蓉、榔梨、延农三个站建设。其中芙蓉站为国内单体容量最大室内站（26MW/52MWh），采用南瑞变流器及升压设备。榔梨储能电站24MW/48MWh，采用南瑞智能总控舱（EMS）。



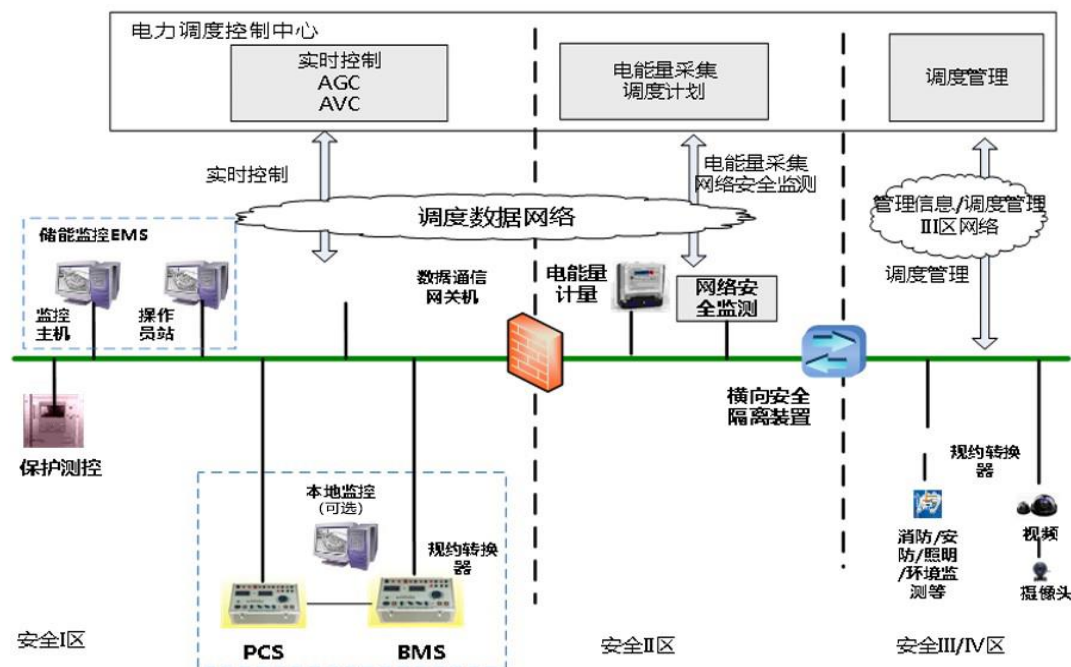
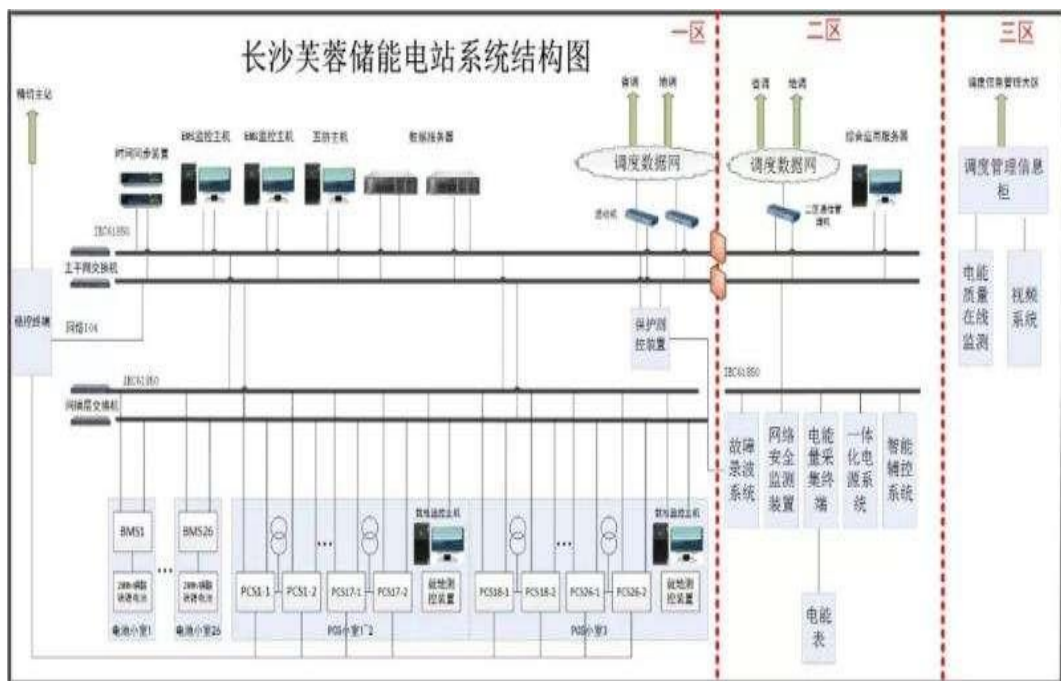
湖南长沙榔梨储能站



湖南长沙芙蓉储能站

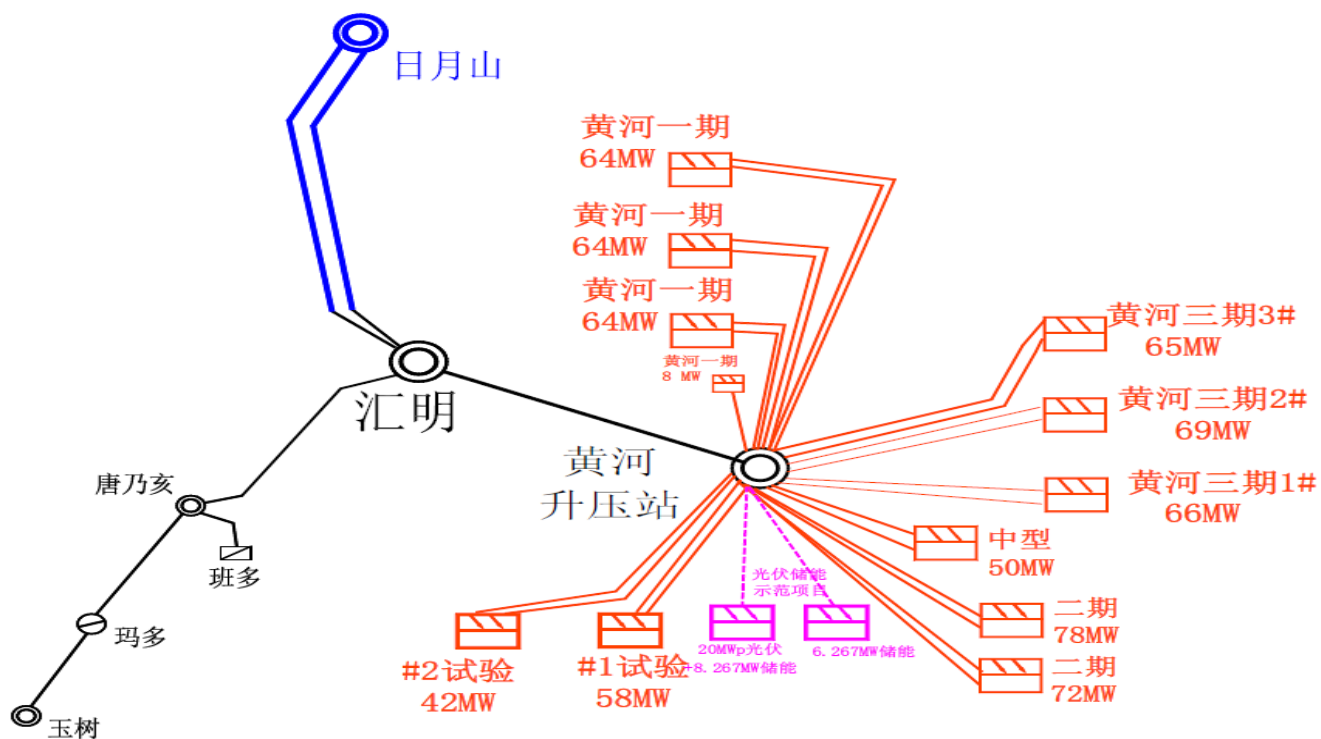
3、湖南长沙储能电站

- ◆ 监控系统采用开放式分层分布结构，由站控层、间隔层和设备层三部分组成。整体技术应用，相比常规电站，储能在响应时间、调节速率和控制精度上具有明显优势。
- ◆ 监控一键顺控，同时对48台PCS控制。从0到最大充放电功率转换，1秒内调整到位，指令跟踪偏差在0.2MW以内。PCS具虚拟同步机功能，为系统提供惯性支撑。



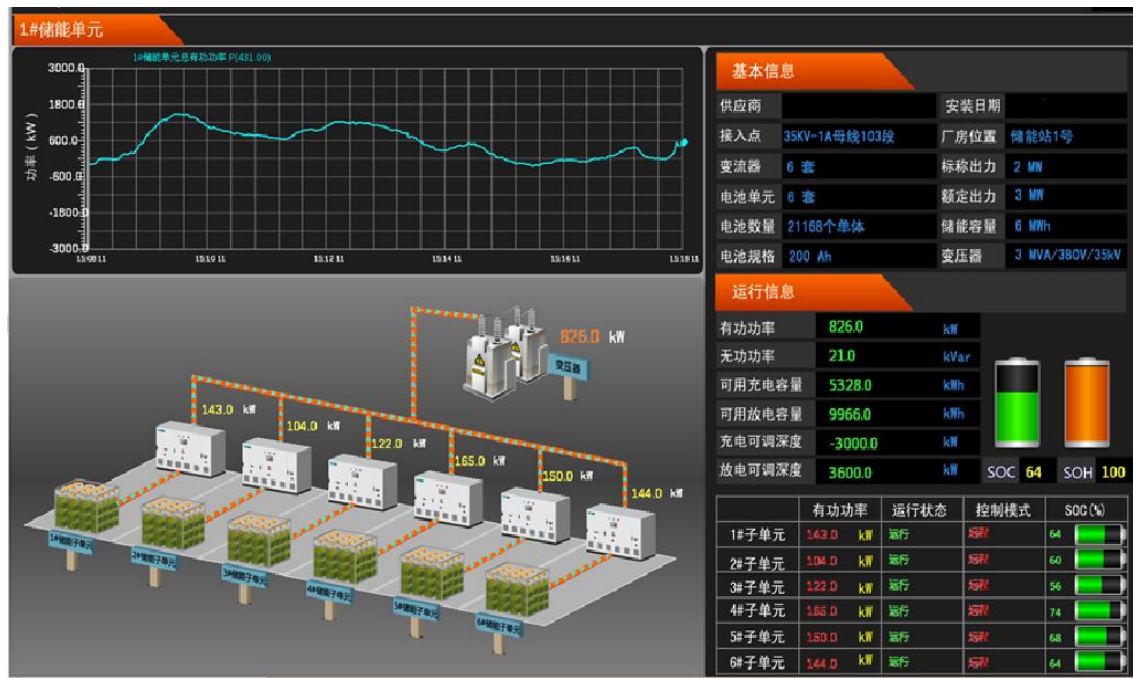
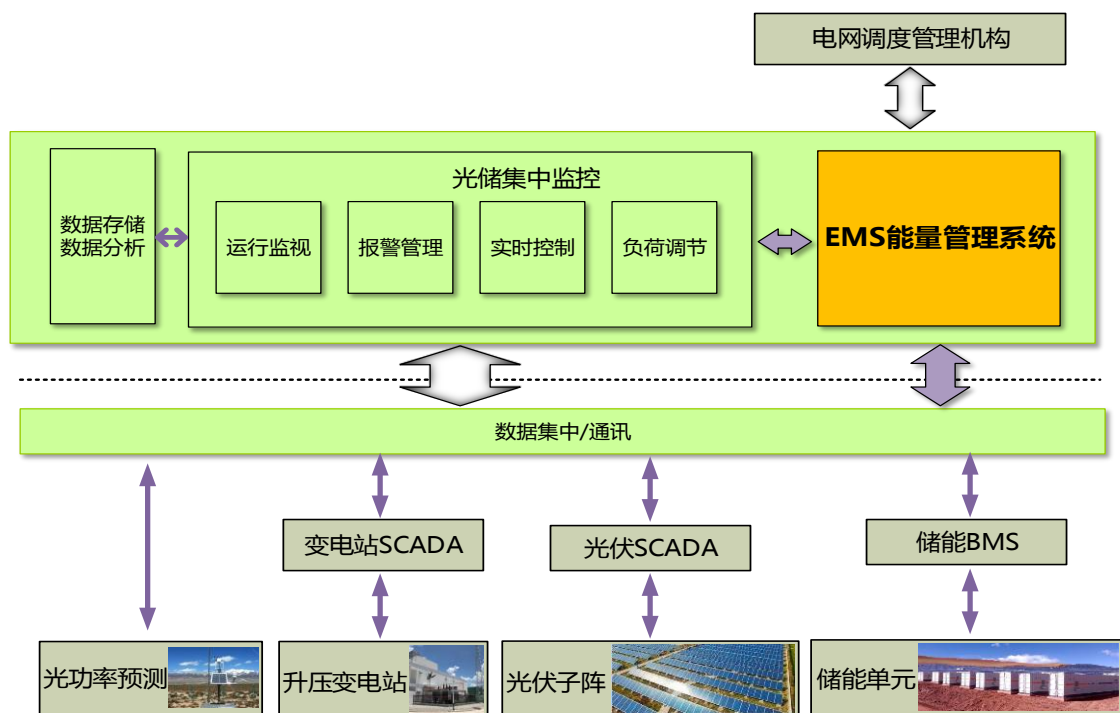
4、青海共和光伏+储能电站

黄河上游水电公司在青海共和建设水/光/风/储多能互补基地，在大规模智能调度、风、水、光伏发电联合控制技术应用方面开展创新与实践。其中共和 100MWp 试验测试基地配置储能容量为14.662MWh。该电站群数据量大，电站分期建设，系统扩展性要求高，运维压力大。



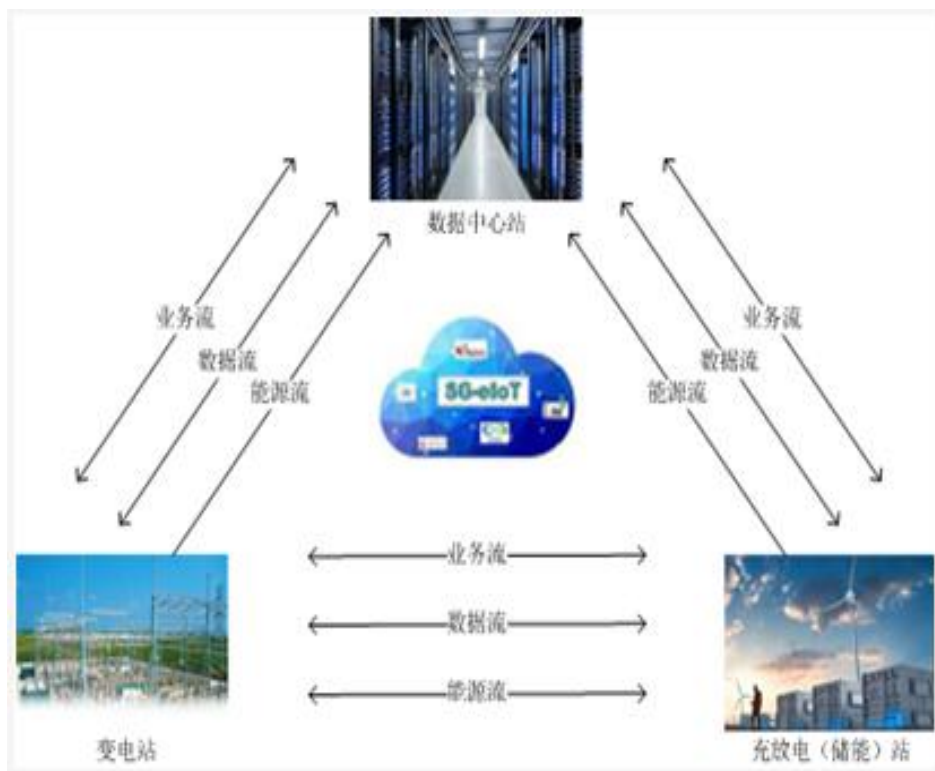
4、青海共和光伏+储能电站

南瑞研制的新能源集控系统对风电场、光伏电站和储能站等运行设备进行实时监控、联合运行及调度管理。该系统采用分布式体系构架，在统一管控平台基础上，设计规范的交互协议，采用虚拟化技术、分布式实时数据库和时序数据库技术等，实现“调控一体化”，较好的解决弃光限电问题。



5、上海多站合一试点示范项目

南瑞集团参与了上海多站融合数据中心站及储能站建设；结合新一代科创型国际大都市的建设环境特点，在殷家浜35kV变电站基础上进行改造，开展“多站融合”试点建设工作。

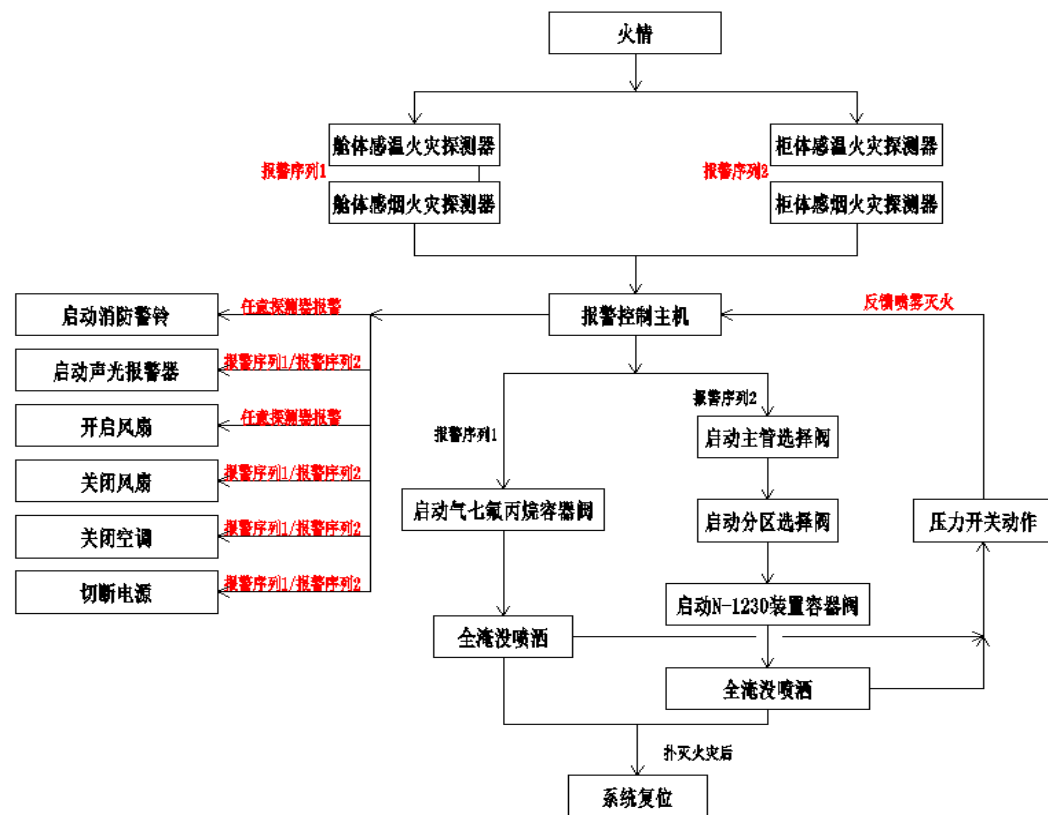
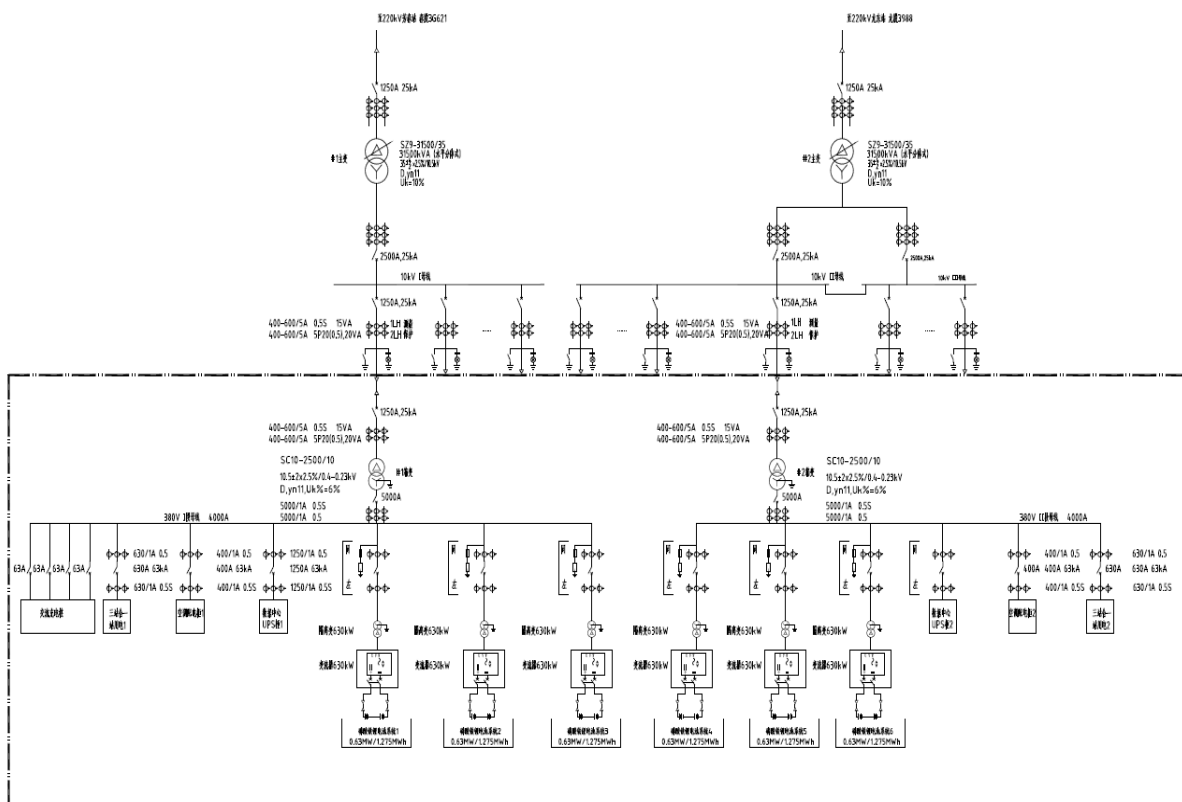


- 基于建设环境特点，上海“多站融合”的建设模式为基于成熟电网的物理紧凑型3+X（充电站、无线基站...）模式，该模式具备可复制、可推广和可持续的特性；
- 利用储能站将数据中心UPS电池、站内交流用电、站内直流用电进行融合；
- 纵向实现源-网-荷-储的协调运行分析与控制，横向实现冷-热-电多能互补联合运行控制；
- 协同变电、储能、数据中心运维主体，构建面向“多站合一”站点的一体化管理模型；
- 开展多站合一的应用场景与数据服务研究，提高资源利用率、供电可靠性、拓展客户服务价值。

5、上海多站合一试点示范项目

上海殷家浜35KV变电站内配置磷酸铁锂电池集装箱式储能系统，储能电池容量3.78MW/7.65MWh。

该站储能电池给数据中心提供UPS电源，设计两套独立灭火装置，分级启动，实现分区（RACK级）消防。安装CO和H₂探测器，综合判断，提前预警，3S（PCS/BMS/EMS）联动，快速隔离故障。





谢谢！