



从固态变压器到构网储能 -新型电力系统下数据中心供电解决方案解析

南瑞继保 杨兵



目录

CONTENTS

- 1 需求与挑战
- 2 解决方案及装备
- 3 典型案例
- 4 总结与展望



行业特点

■ 算力中心负荷体量庞大，单机柜功率和算力中心规模持续**高密升级**

- **机柜级**：AI 算力单机柜功率迈向 **MW 级**、供电向高压化迭代，传统400V交流供电架构**不适应**，**效率低**。
- **园区级**：单个算力中心容量可达**GW级**（相当于中等规模城市需求或者中等柔直送电能力）

GB200 NVL72



GB300 NVL72



Vera Rubin NVL72



800 VDC In-Row Power Rack



- 1.5XGB200
- 150kW
- 液冷



- 3.3X GB300
- 250kW
- 液冷



- 14X GB300
- 650kW
- 液冷

■ 高比例绿电是GW级算电中心的刚需，源荷错配引发电网稳定风险

- **技术矛盾**：算力负荷毫秒级大功率骤升骤降，叠加源荷电力电子化，加剧**电网功率冲击与电压扰动**，易引发**宽频振荡**，危害电网安全稳定。
- **政策要求**：国家发改委提出基于国家枢纽节点80%绿电指标要求；



中华人民共和国国家发展和改革委员会
National Development and Reform Commission

首页 > 政务公开 > 政策 > 通知

关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知(发改能源〔2025〕650号)

发布时间：2025/05/30

来源：能源局

【打印】

微博

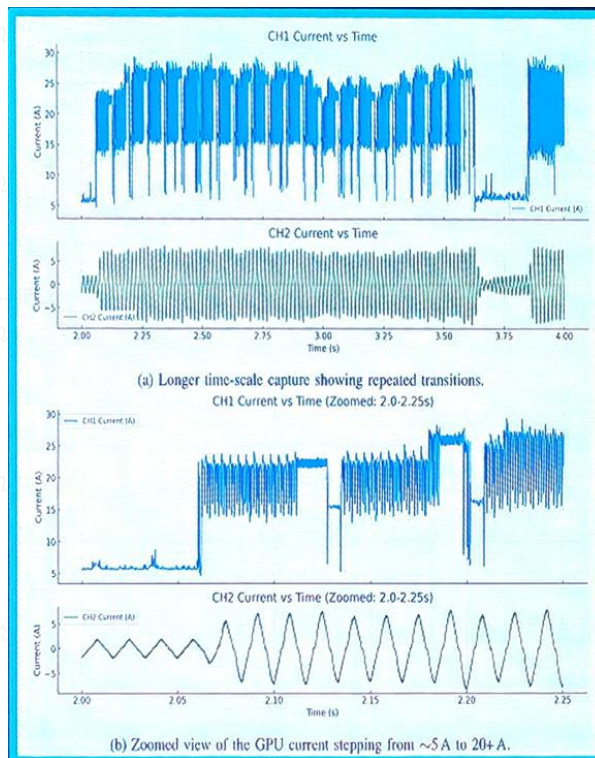
微信

国家发展改革委 国家能源局关于 有序推动绿电直连发展有关事项的通知

发改能源〔2025〕650号

各省、自治区、直辖市、新疆生产建设兵团发展改革委、能源局，北京市城市管理委员会，天津市工业和信息化局、辽宁省工业和信息化厅、上海市经济和信息化委员会、重庆市经济和信息化委员会、甘肃省工业和信息化厅，国家能源局各派出机构，国家电网有限公司、中国南方电网有限责任公司，有关中央企业：

为贯彻落实党的二十届二中全会精神和党中央、国务院关于完善新能源消纳和调峰政策措施的决策部署，探索创新新能源生产和消费融合发展模式，促进新能源就近就地消纳，更好满足企业绿色用能需求，依据《中华人民共和国能源法》等有关法律法规，制定本通知。



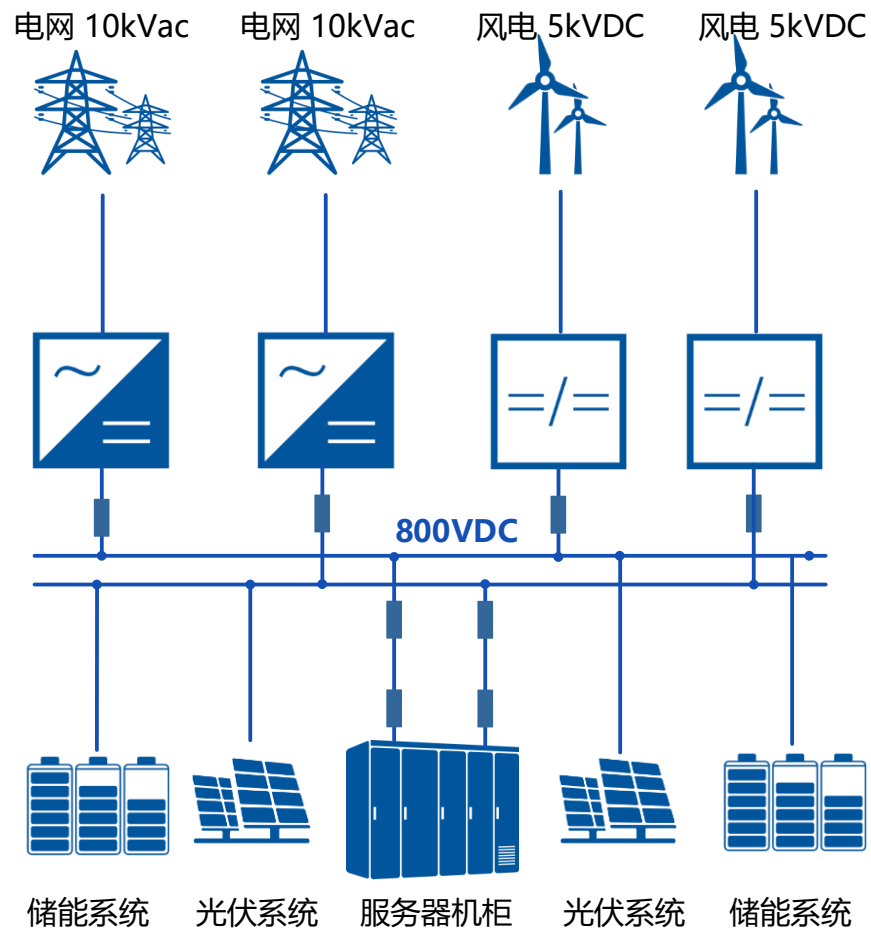
Requirements

- Load Ramp
- PFARP
- Forced Oscillation
- LVRT
- HVRT
- Phase Jump
- Active Power
- Reactive Power
- Frequency Based Load Shedding
- Voltage Window
- Frequency Window
- Harmonics
- Flicker

行业特点

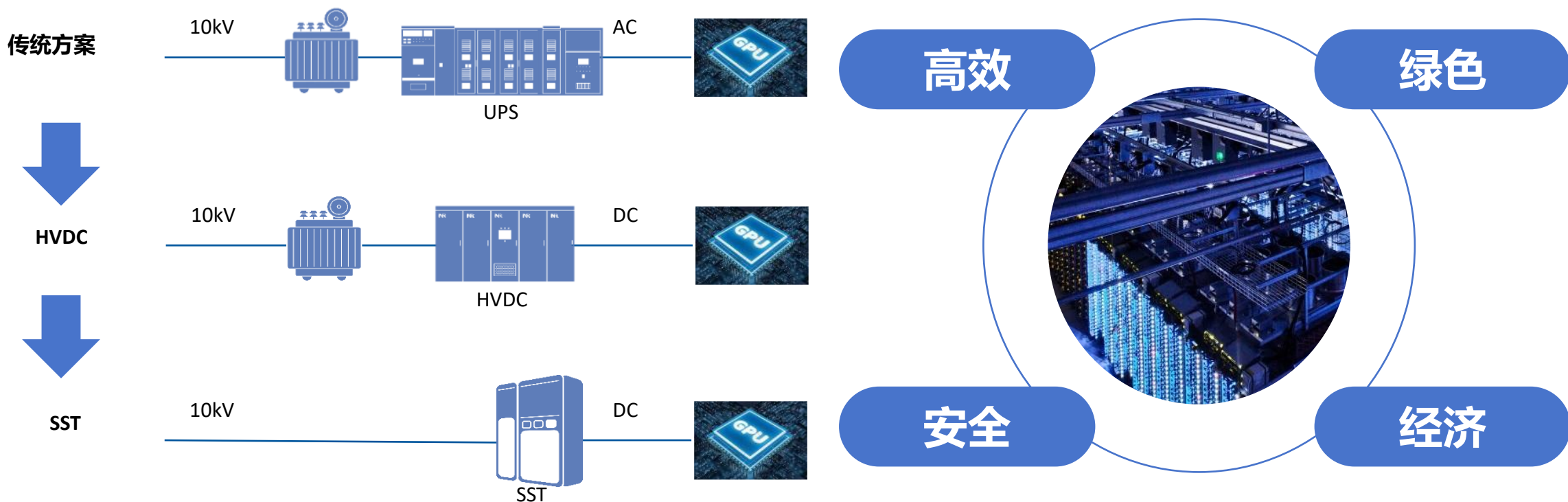
■ 算力中心必须面对安全与经济问题

- 算力中心供电可靠性需要达到99.999%
- 需要关注不同冗余供电架构和备用电源形式，投资与安全的矛盾问题。



建设目标

基于国家枢纽节点80%绿电指标要求，实现大规模绿电友好和安全接入，将传统的“电跟算走”转向算电协同优化，构建**高效、绿色、安全、经济**的大容量数据中心供电系统。



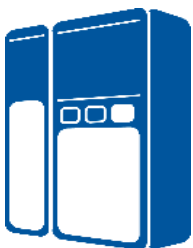
目录

CONTENTS

- 1 需求与挑战
- 2 解决方案及装备
- 3 典型案例
- 4 总结与展望



- 大容量数据中心供电是一个复杂的系统性工程，可靠的智能电力装备是基础，精准的控制保护是核心，严谨的系统分析论证是关键。需构建涵盖 “**装备级** — **数据中心级** — **电网级**” 的一体化系统，融合仿真测试完成全流程闭环论证。



设备级

- ◆ 提高供电电压，提升设备供电容量
- ◆ 减小转换环节，提升效率
- ◆ 提升设备可靠性



数据中心级

- ◆ 高可靠电网供电架构，确保99.9999%供电
- ◆ 平抑负荷快速波动
- ◆ 快速保护与故障响应



电网级

- ◆ 大规模绿电接入，快速电压和频率控制
- ◆ 多模块宽频振荡抑制
- ◆ 减低对电网扰动

整体解决方案

依托成熟的**电力系统分析与源网荷储一体化**整体解决方案能力，以**全过程电压源构网储能**和**高效固态变压器**核心，提出**城市中心**和**新能源发电基地**绿电直供等不同应用场景的算力中心方案。



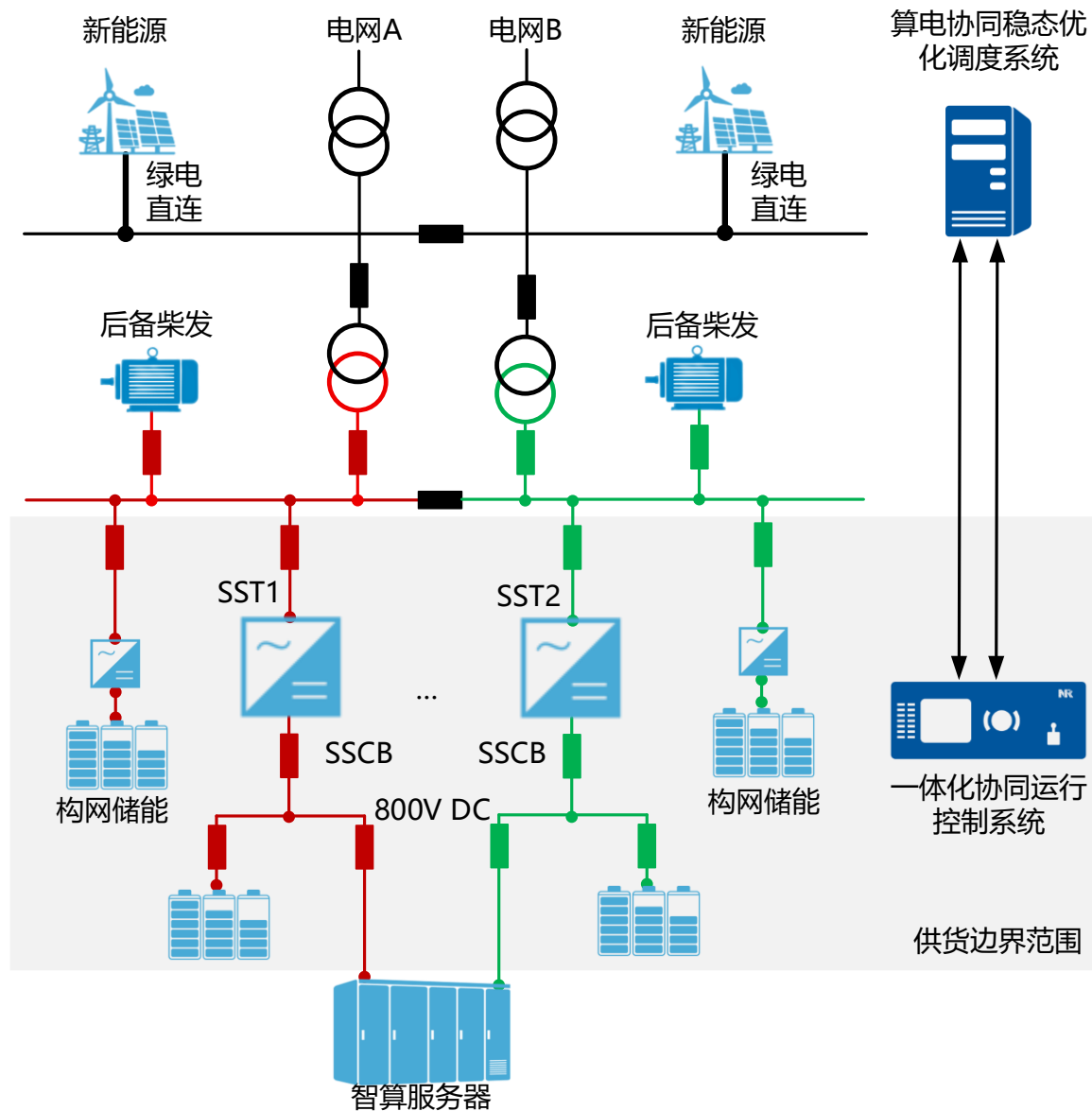
高可靠-99.999%



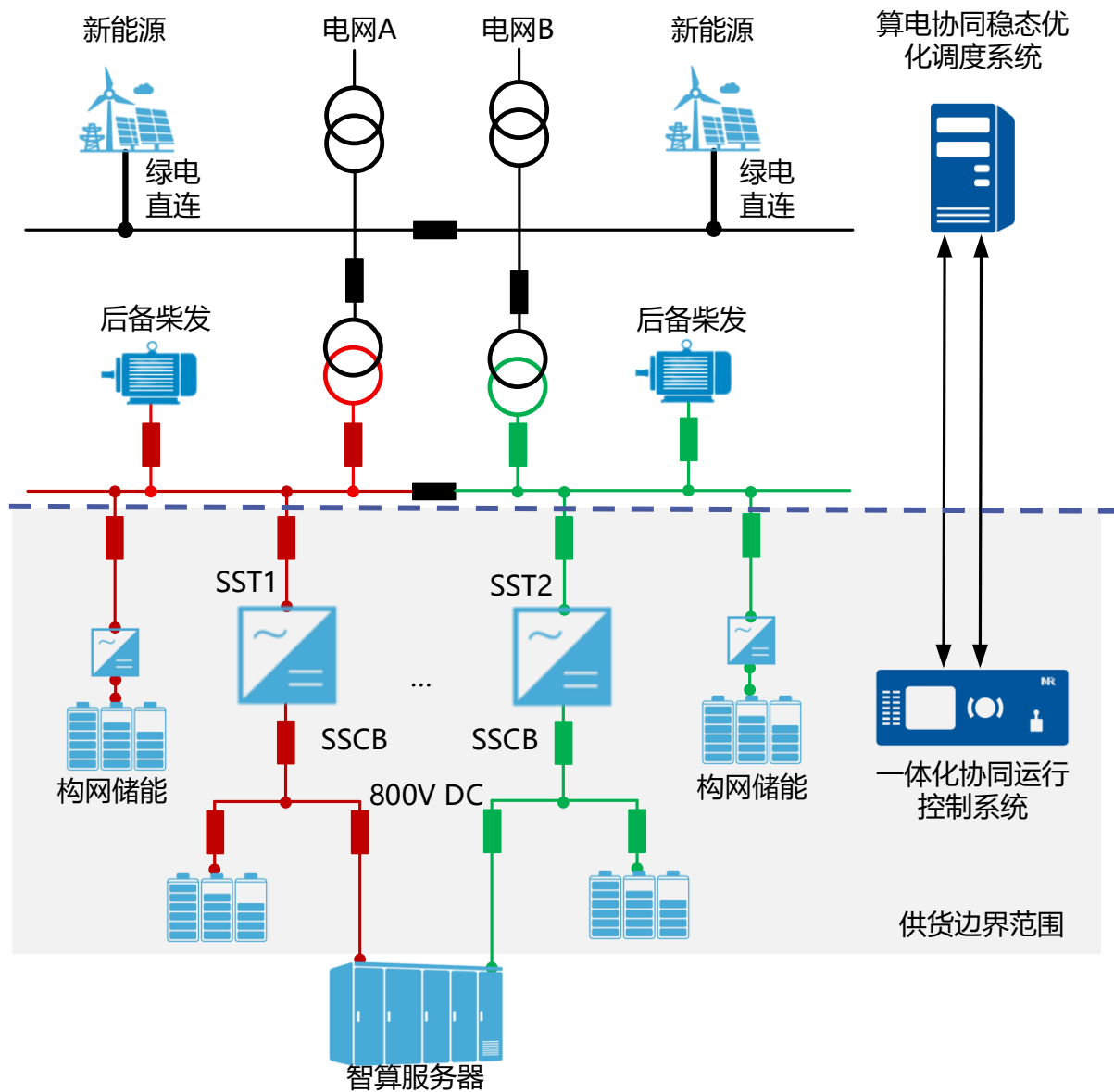
高效率->98.6%



电网友好-GW级电网接入要求



构成与功能



高效功率变换

全场景灵活适配

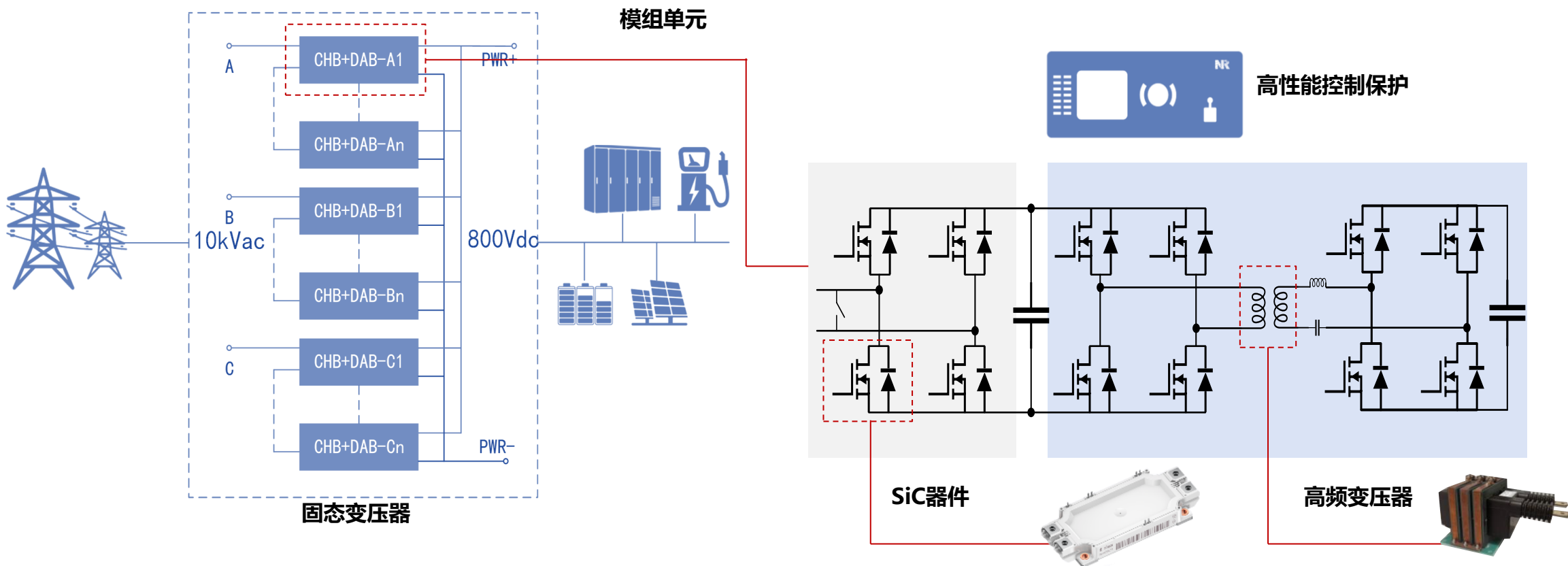
电网友好接入

高可靠全域供电

全实景仿真系统

一、高效的能量变换-固态变压器

基于电力电子变换技术，将10kV交流直接转换为800V直流，摒弃传统铜绕组变压器，推动直流供电系统实现从**铜基到硅基的革命性跨越**。



研发历程

2015

国家863计划

交直流混合配电网关键技术

- 首个1000V多端口直流配电真型系统

2018

直流配电成套装备

大江东示范工程

- 首个10kV AC/DC
- 首个固态变压器
- 首个直流断路器



2019

碳化硅固态变压器

苏州示范工程
连云港示范工程

- 首个全SiC固态变压器



2021

院士项目

高功率密度电力电子装备关键技术研究

- 首个3300V全SiC固态变压器



2026

国家重点研发计划

适应100%新能源的全直流数据中心高效可靠供用电技术及应用

2017

国家重点研发计划

智能配网柔性多状态开关技术、装备及示范应用

2018

国家重点研发计划

中低压直流配用电系统关键技术及应用

2020

紧凑型固态变压器

苏州庞东变电站

- 首个三电平固态变压器



2024

固态直流断路器

绵阳项目



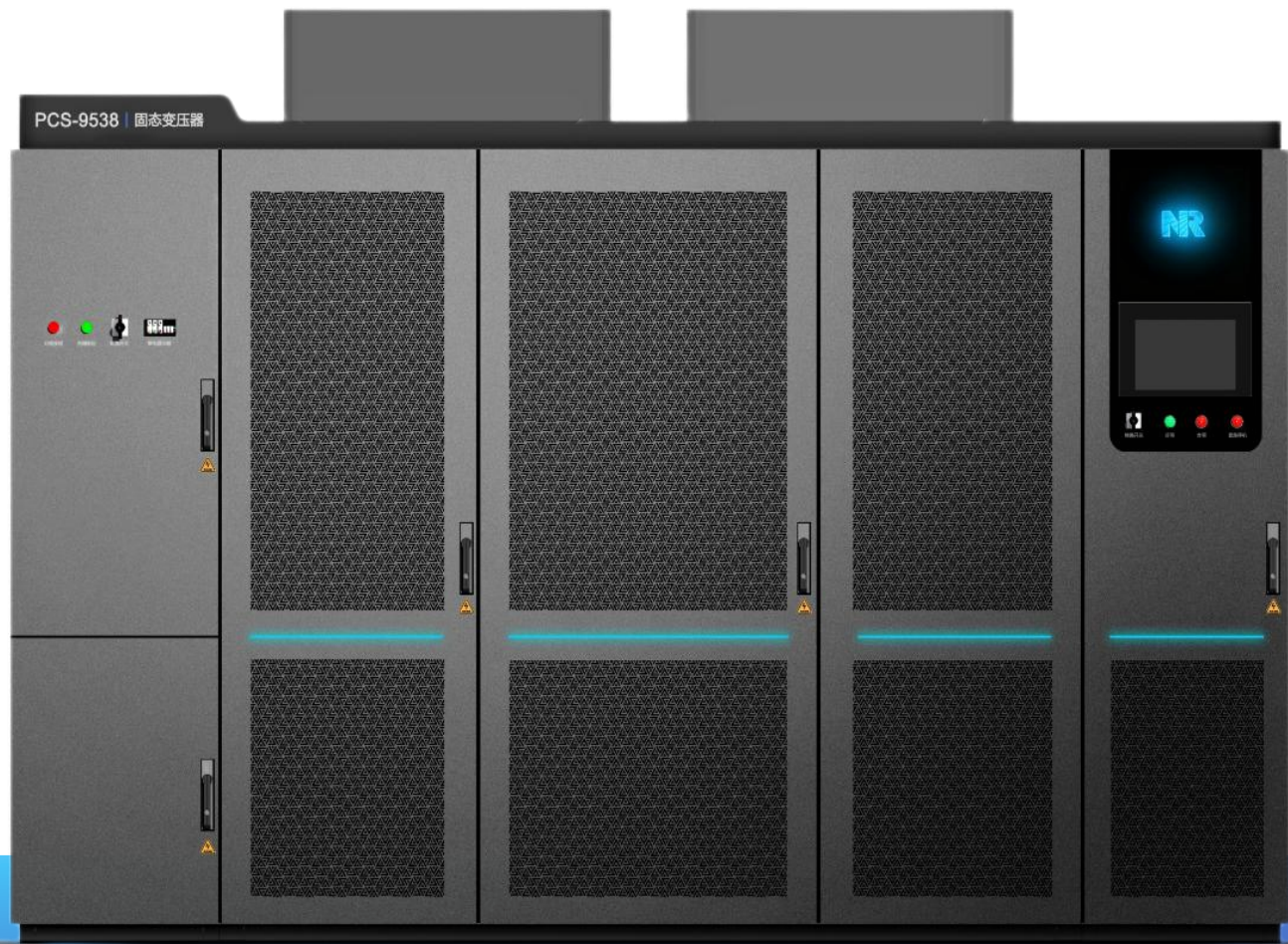
兆瓦级固态变压器

特点

高可靠
高效率
紧凑化
方便运维
快捷交付

功能

宽电压范围输入
多端口能量路由
电网稳定支撑
谐波治理
宽频振荡抑制



输入电压：10kV

输出电压：800V

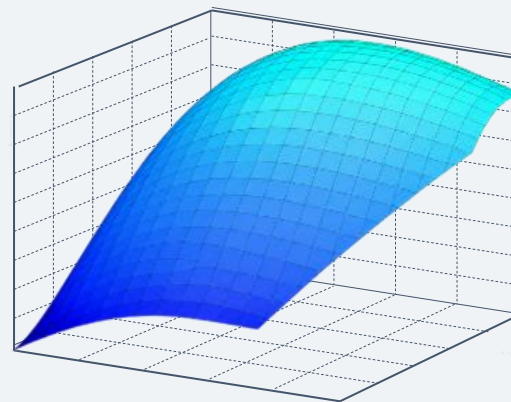
单柜容量：2.5MW

高效节能



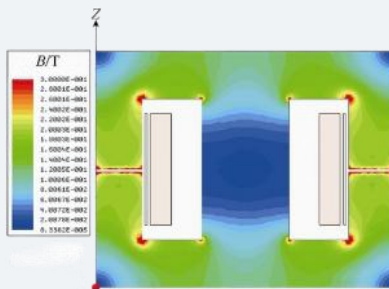
自研高效数字化驱动技术

调教SiC器件最佳运行效率



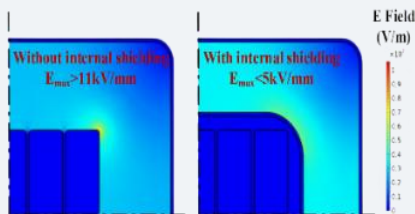
高集成高频变压器技术

实现磁路高度集成与局放控制



智能动态功率分配技术

确保始终运行在高效率区间



最大转换效率 > 98.6%

与特高压柔直 相同控制保护平台

多核处理器集中运算单元
高速采集、千兆高速通信
双重化冗余配置

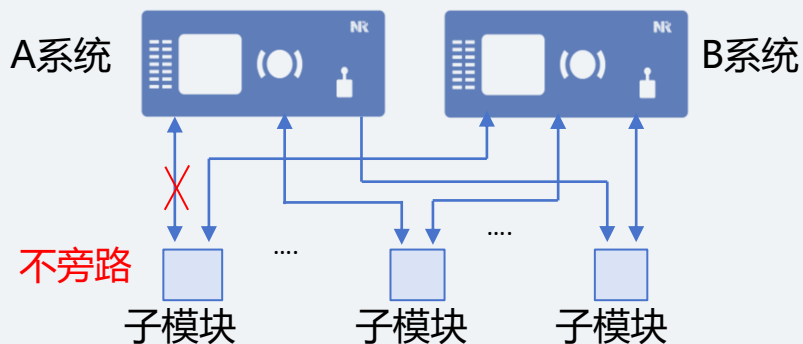


冗余可靠



功率模组冗余通讯技术

杜绝单一通讯故障引发旁路



N+x

冗余架构

X内模组故障
不影响整机运行

产品特点

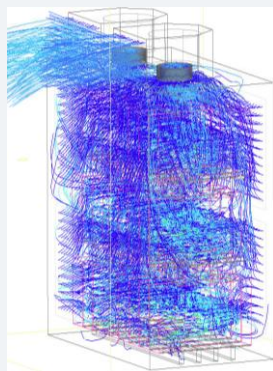
2.5MW整机尺寸
3800*1400mm



整机功率密度: 0.2 MW/m^3

占地减小: $>90\%$

占地紧凑



高功率紧凑化功率模组设计

一二次融合深度设计

全链路热管理仿真

高功率密度下温度均衡与长期运行可靠性

产品特点

4700

成品装配生产面积
 m^2

12

生产线
条

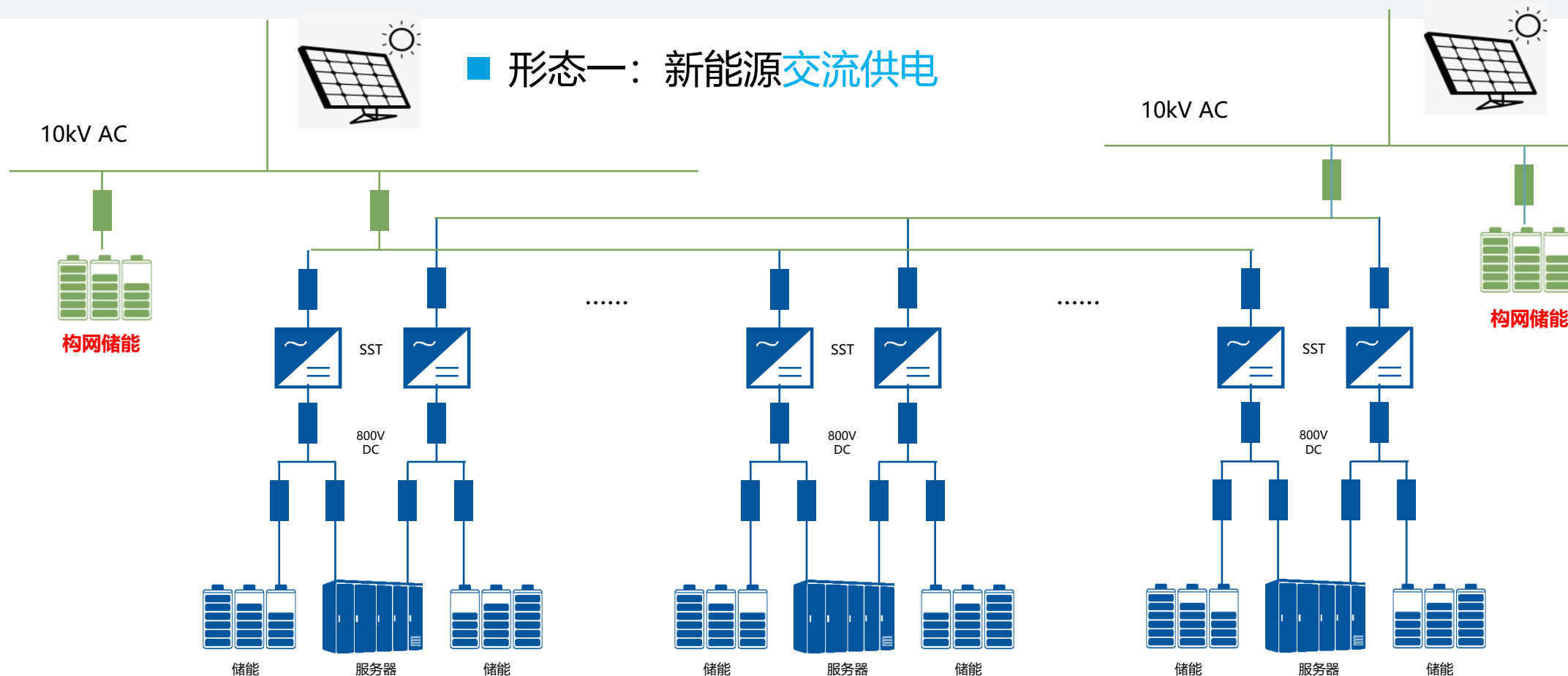
快捷交付



高集成设计
厂内预组装
整体交付
施工量最小

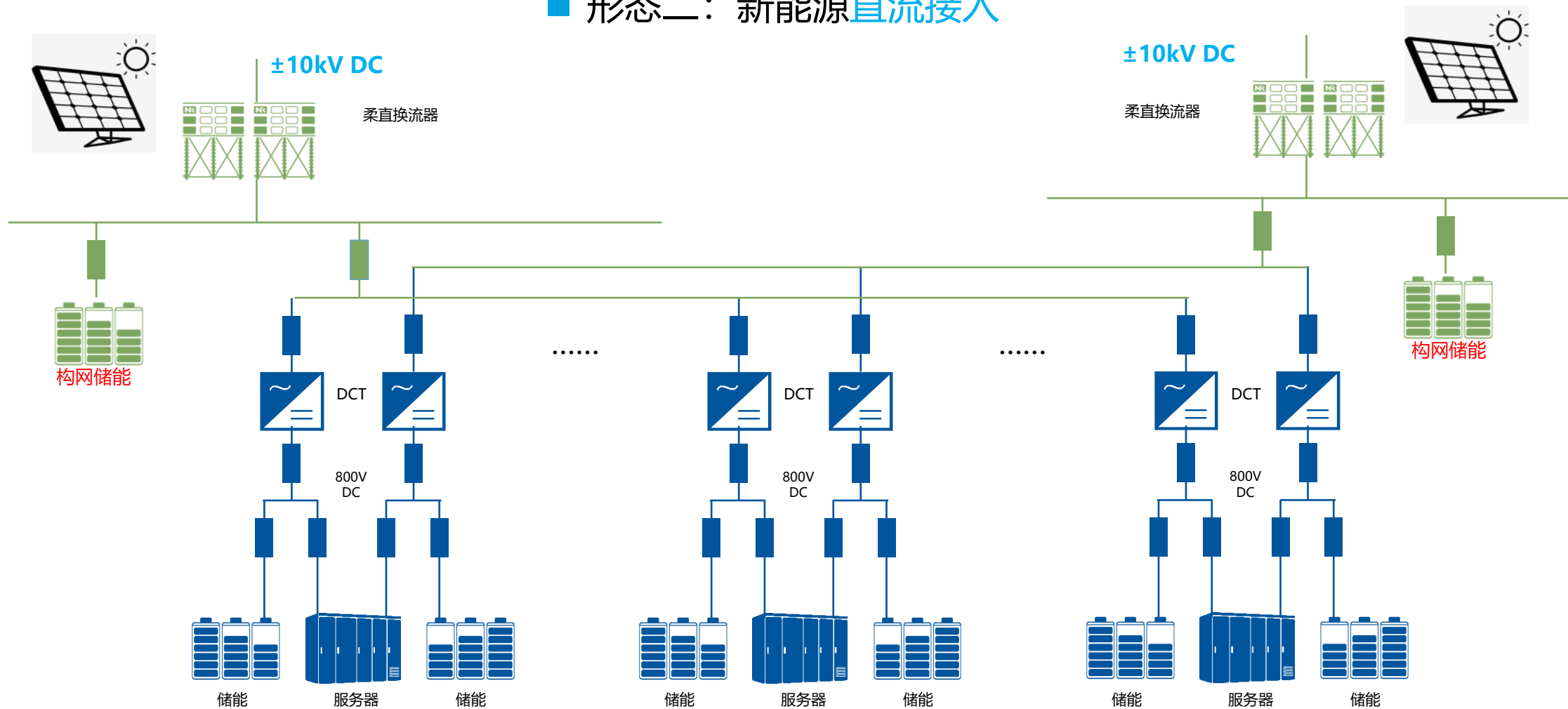
二、全场景灵活适配

- 依托多层次全过程电压源构网储能及一体化协同控制技术，可全面支撑城市算力集群、新能源基地绿电直供核心场景，同时兼容超级充电站、新能源并网等多元应用。



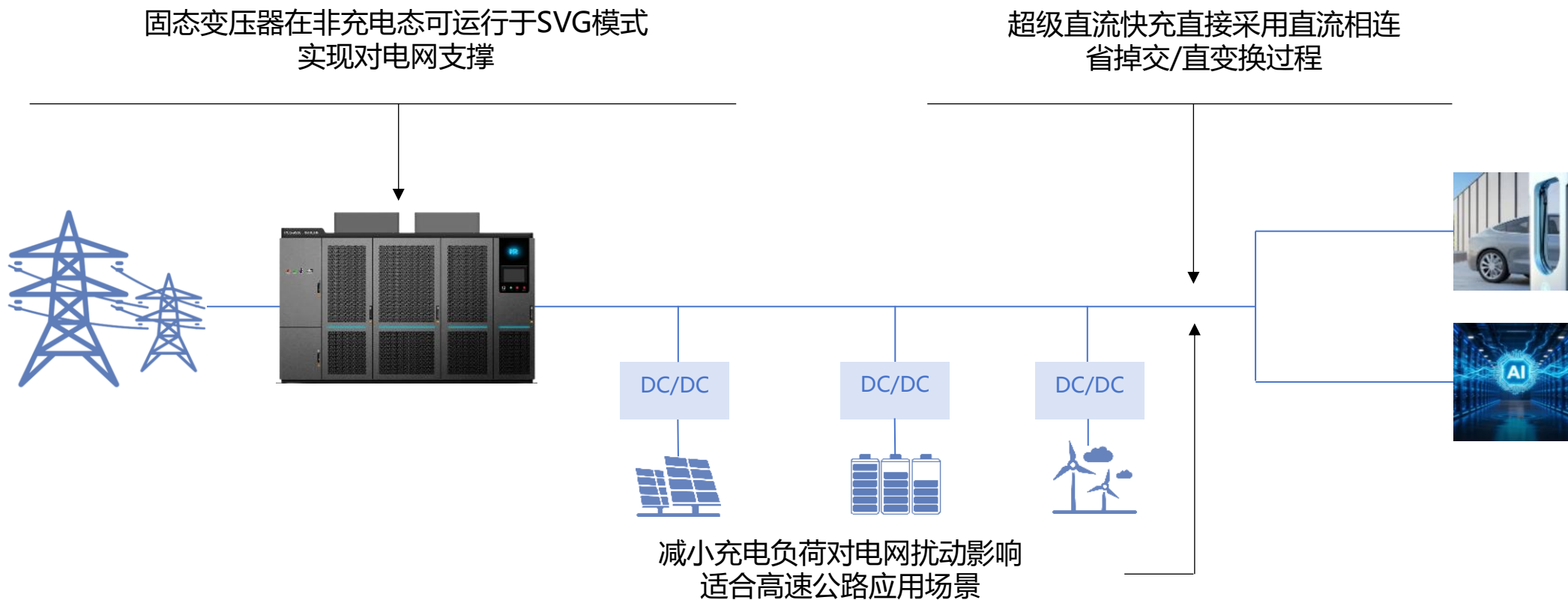
二、全场景灵活适配

■ 形态二：新能源直流接入



二、全场景灵活适配

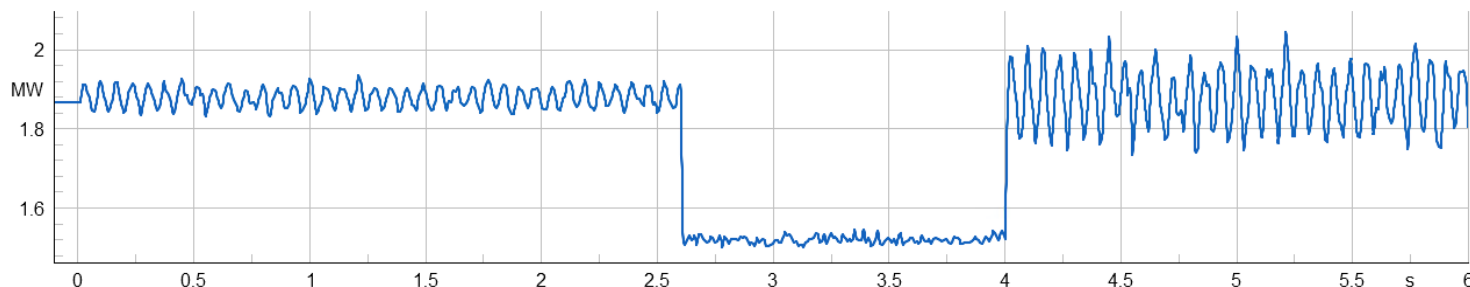
固态变压器兼做**高效能量路由**端口，支撑光、储、充一体化集成



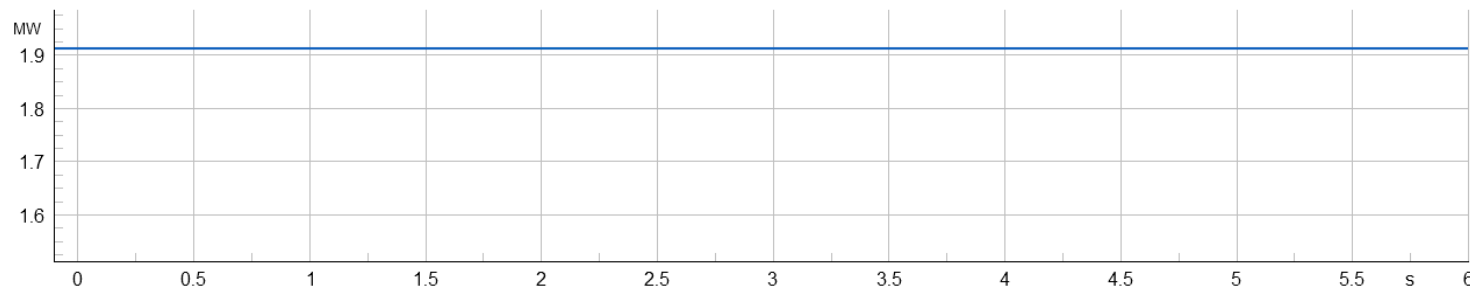
三、电网友好接入

- 依托交直流一体化稳定协同运行控制系统和全过程电压源构网储能技术，实现多时间尺度电力电量平衡，实现 AIDC 供电系统安全可靠与经济高效协同提升。

负荷功率波动

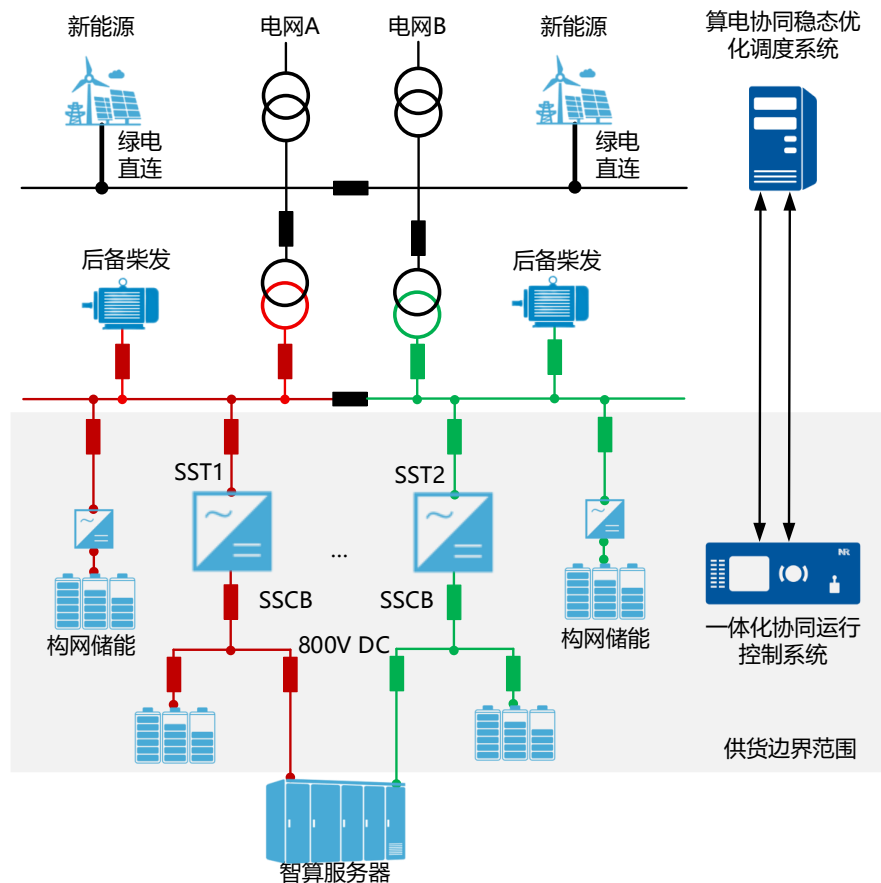


并网点功率波动抑制



— active power at POC with strategy

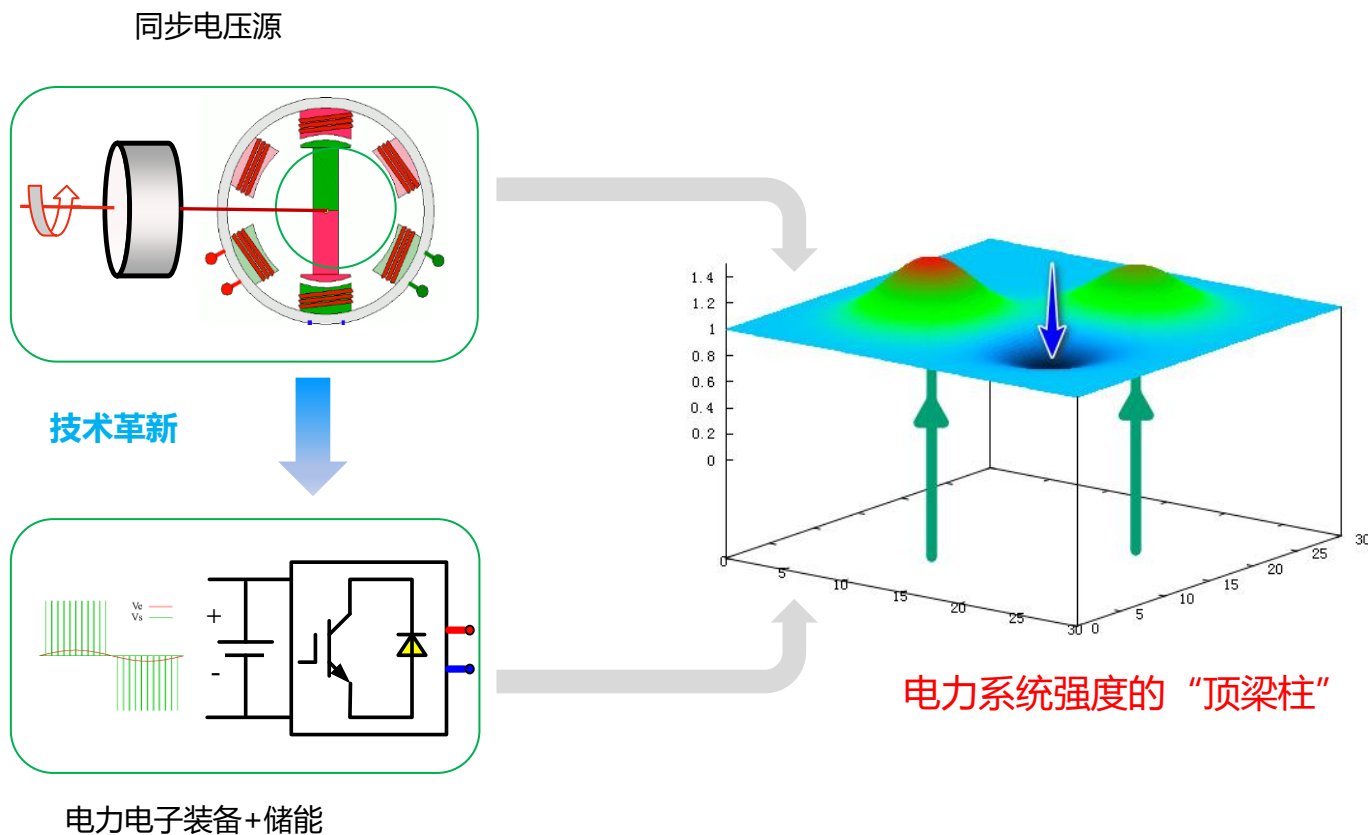
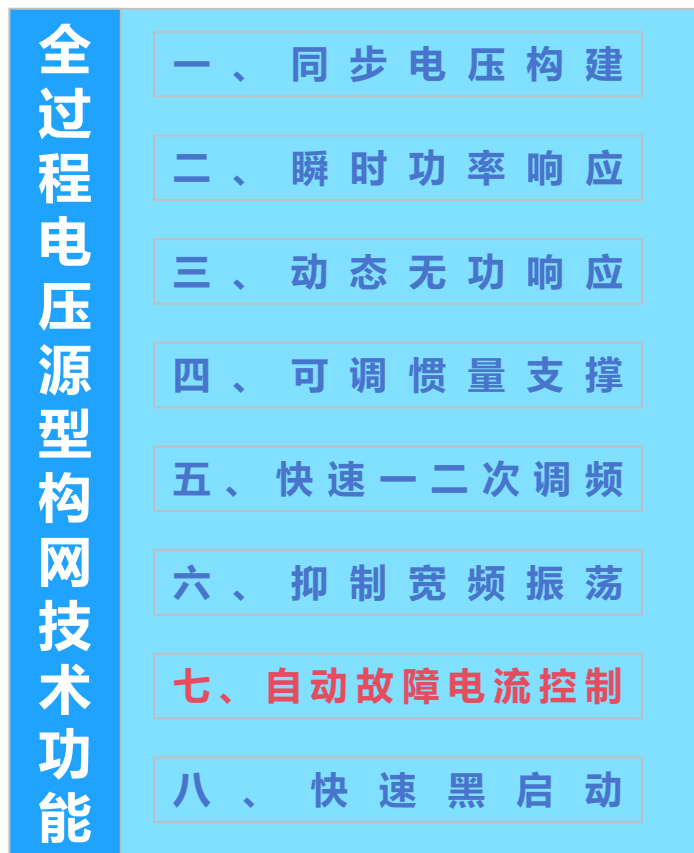
多时间尺度功率波平衡控制方案图



- 2021年南瑞继保率先提出基于储能打造理想同步电源的理念，完成全面技术验证定名为构网型技术 (NR-ISGrid)，目前已实现大电网批量应用。



- 构网型技术通过电力电子变流器构网控制算法，在变流器输出阻抗后生成一个近乎恒定的自同步内部电压源特性。继承了常规同步机核心功能，同时避开了常规机组物理特性的缺陷，部分性能超过常规同步机。核心技术功能包括：

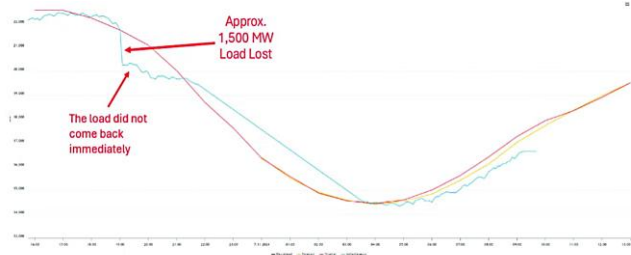
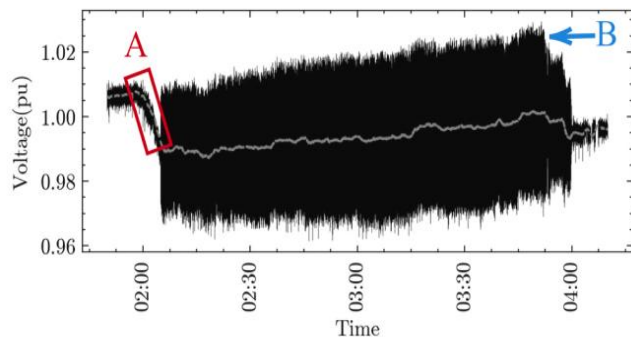


多模态宽频振荡防控

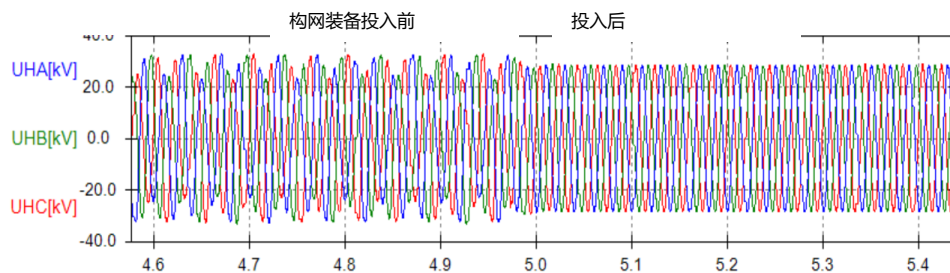
- 基于宽频振荡机理分析和系统研究，配置全过程电压源构网储能，保障系统基本强度、实现振荡毫秒级主动抑制，降低宽频振荡风险。

数据中心-电网交互耦合问题

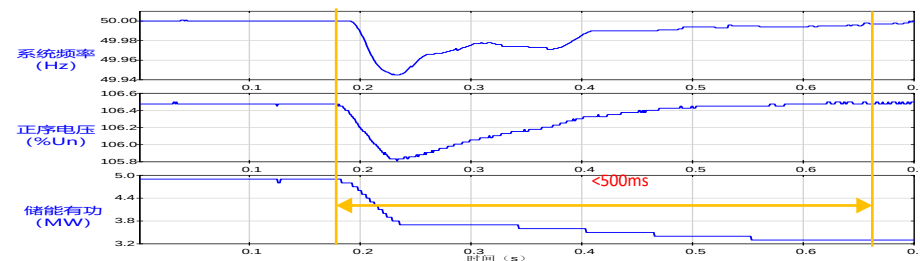
- 数据中心负荷的大容量瞬时冲击，诱发115kV电网宽频振荡（美国）
- 交流电网故障，数据中心切备电系统，主网等效产生大容量负荷损失，约7min恢复正常用电（美国）



振荡抑制：自身宽频无负阻，系统级振荡主动抑制



快速恢复：30%负荷功率冲击下，500ms内交流电压恢复至正常水平



110+ 个构网项目

10GW+ 构网变流器容量



27 个离网和离并网
无缝切换系统

25 次人工短路试验
覆盖各类构网产品

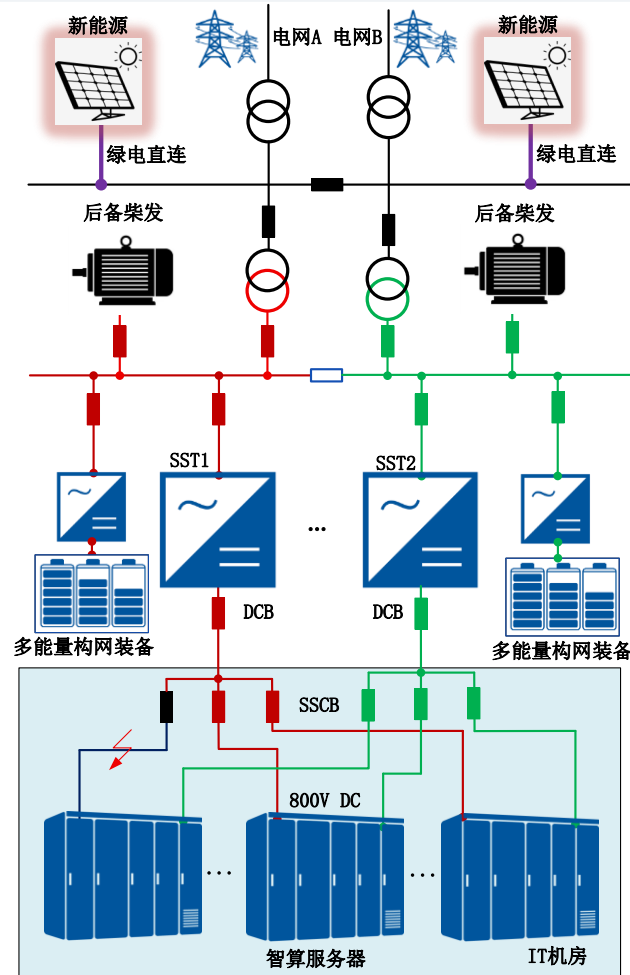
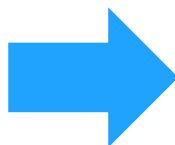
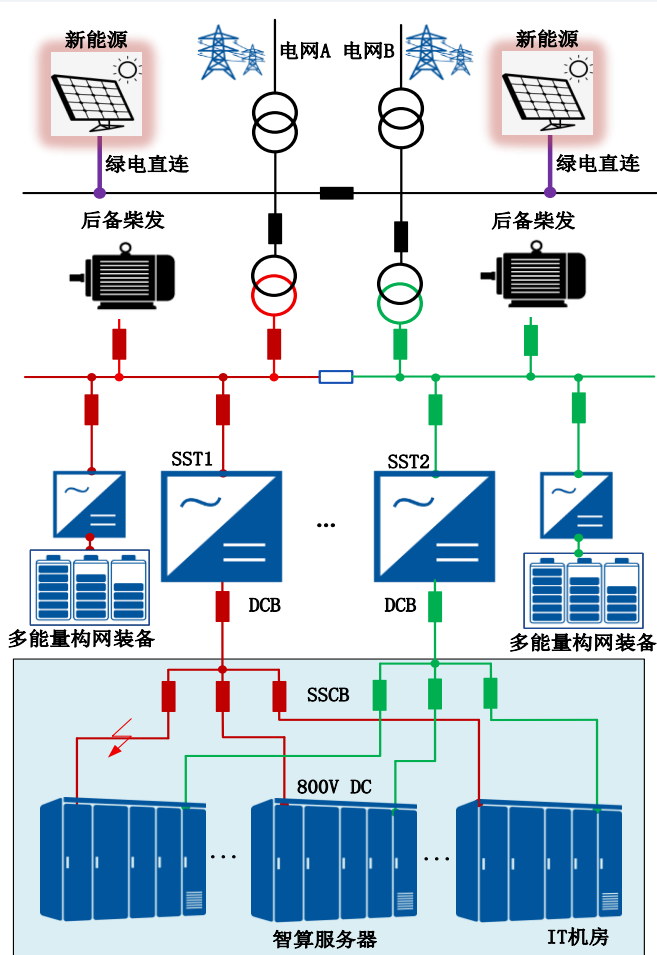
23 次快速黑启动

行业**唯一**通过百兆瓦级构网型储能站黑启动试验

行业**唯一**通过百兆瓦构网型储能站**纯离网短路试验**

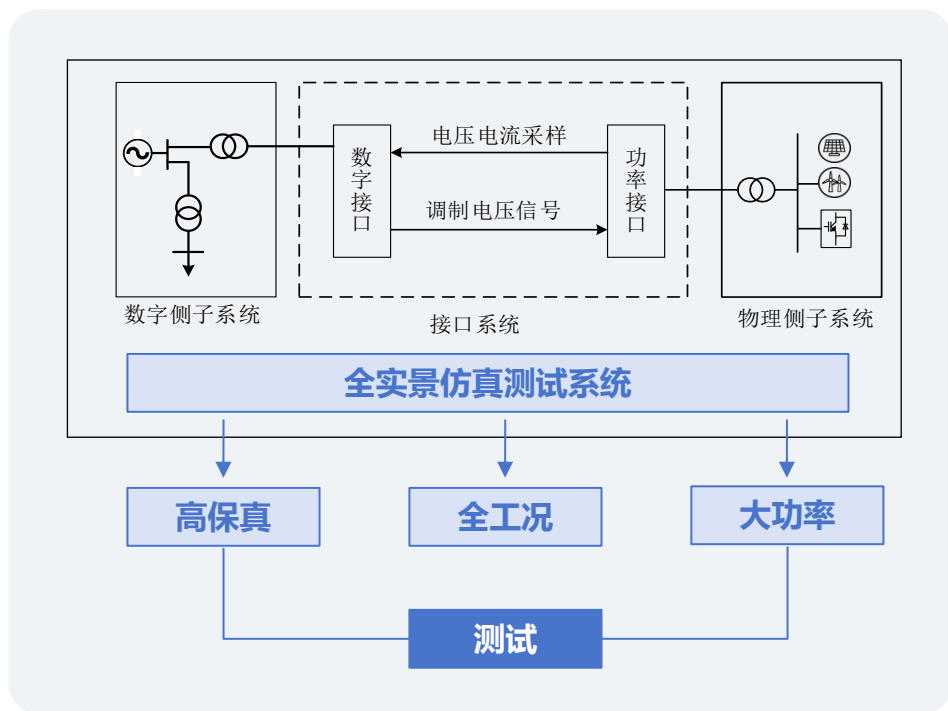
四、高可靠全域供电

- 创新打造设备、直流配电、电网三级全域协同保护架构，搭建全方位全域容错保障体系，为算力中心提供超高稳定、极致可靠的供电保障。



五、全实景仿真系统

覆盖**微秒至小时级**全时间控制尺度，还原**SST**等核心装备物理特性，模拟大容量数据中心接入**电力系统的交互特征**，建立一套数据中心**全实景仿真系统**，实现厂内做**全面的闭环仿真验证**。



电网稳定分析



电力电量平衡计算



设备选址定容

目录

CONTENTS

- 1 需求与挑战
- 2 解决方案及装备
- 3 典型案例**
- 4 总结与展望



供电系统特征：矿用新能源电力系统vs数据中心

■ 均为极高比例新能源供电场景，均存在源荷双向随机波动与极高供电可靠性的矛盾，技术复杂度高。

对比维度	数据中心源网荷储系统	矿用新能源电力系统
绿电比例	国家枢纽节点新建数据中心绿电占比不低于80%	位置偏远，以新能源为主体，离网或弱联系并网运行，极端天气燃机/柴发补电，绿电占比近100%
源荷随机性	源：新能源出力间歇性、波动性显著； 荷：AI训练负荷毫秒级30%-100%剧烈波动	源：新能源出力间歇性、波动性显著； 荷：重载挖掘设备、电加热负荷，启停过程负荷波动超30%
年利用小时数	连续供电，年利用小时约7000h，中断导致算力损失与数据风险	高可靠连续供电，中断导致熔炼设备损坏，与数据中心高度契合

矿用新能源电力系统

海外首例矿用新能源电力系统——该地区电网薄弱、停电、限电情况严重，每年停电时间约30天，平均每月停电100次。项目一期配置20MW/60MWh构网型储能+75MWp光伏，保障55MW矿用负荷不间断供电。

项目采用**弱网限电不限产、停电不停供和孤网长周期高质量供电**矿用一体化解决方案，实现了针对海外矿区**频繁停电、限电**场景的**并离网无缝切换**，为海外矿用新能源电力系统的大规模应用奠定了核心技术基础，助力海外矿用新能源电力系统长期安全稳定运行。



凯鹏矿业鸟瞰图

苏州国重示范工程

苏州国重中压直流示范工程位于江苏省苏州市吴江区，覆盖约176平方公里区域，是全国首个多电压等级直流配用电示范区

- **2座中压柔直换流站**

实现10kV 交流 $\rightarrow$ ± 10 kV 直流转换

- **19套直流变压器**

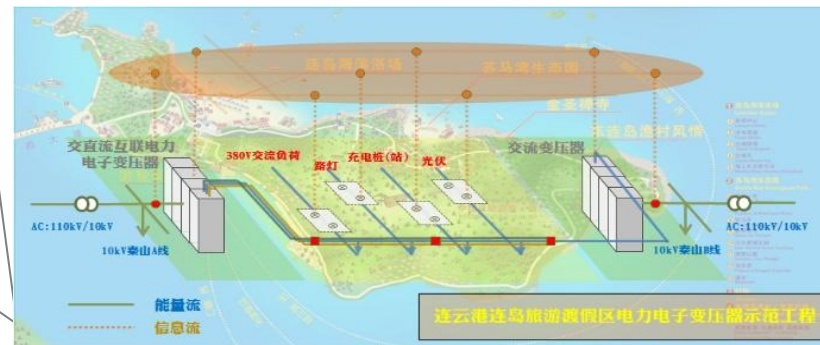
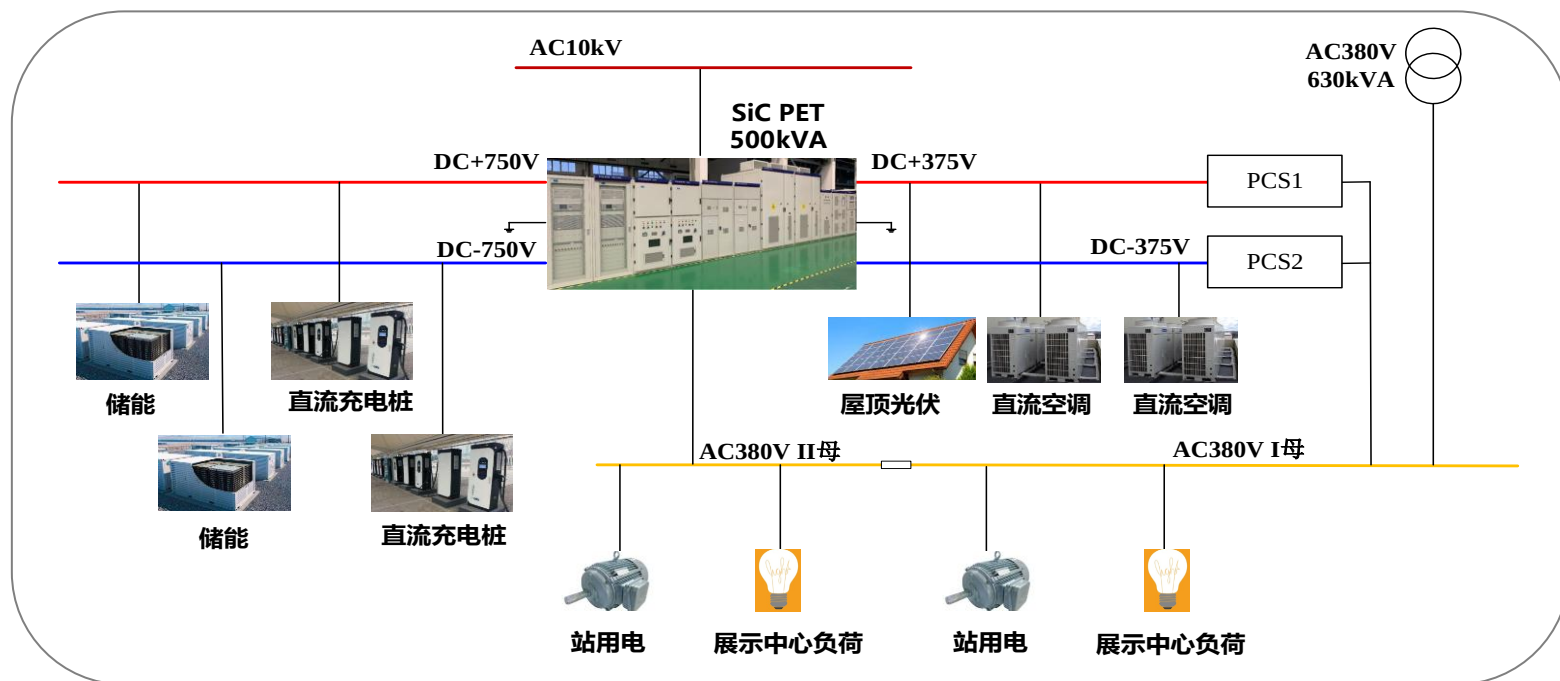
实现 ± 10 kV $\rightarrow$ ± 750 V、 ± 375 V变换，包含对数据中心的直流供电



连云港示范工程

□ 连云港连岛旅游度假区-多端口电力电子变压器示范项目

- 首次应用于[海岛交直流配网工程](#)，接入负载涵盖分布式光伏、储能系统、直流负载等
- 500kVA四端口电力电子变压器（[进线电压：交流10kV](#)、[出线电压：交流380V以及直流 \$\pm 375V\$ 、 \$\pm 750V\$ 输出](#)）
- SiC器件首次应用于中压电网



目录

CONTENTS

- 1 需求与挑战
- 2 解决方案及装备
- 3 典型案例
- 4 总结与展望



- **采用一体化解决方案**：南瑞继保完全掌握固态变压器（SST/DCT）、固态直流断路器和一体化控制保护等设备研制能力，形成了“**装备级—数据中心级—电网级**”供电需求的有机整体，可以支撑数据中心供电方案的装备需求。
- **全实景仿真支撑项目规划建设与运行**：方案可行性必须要经过真实的仿真系统来检验，南瑞继保具备构建大容量新型电力系统的全实景仿真系统成熟经验，**目前缺少新一代数据中心项目的实际验证**，补齐工程现场特性和仿真特性的对比验证，支撑后续大规模数据中心供电方案规划实施。

谢谢!
www.nrec.com

