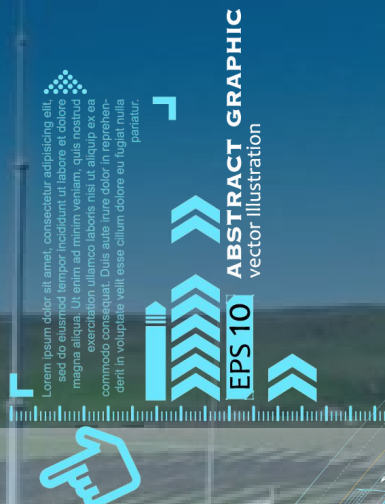
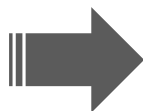




2026新型电力系统下新能源构网型储能 建设方案

政策脉络 × 产业生态 × 应用场景 × 标准化建设



01

建设背景

02

解决方案

03

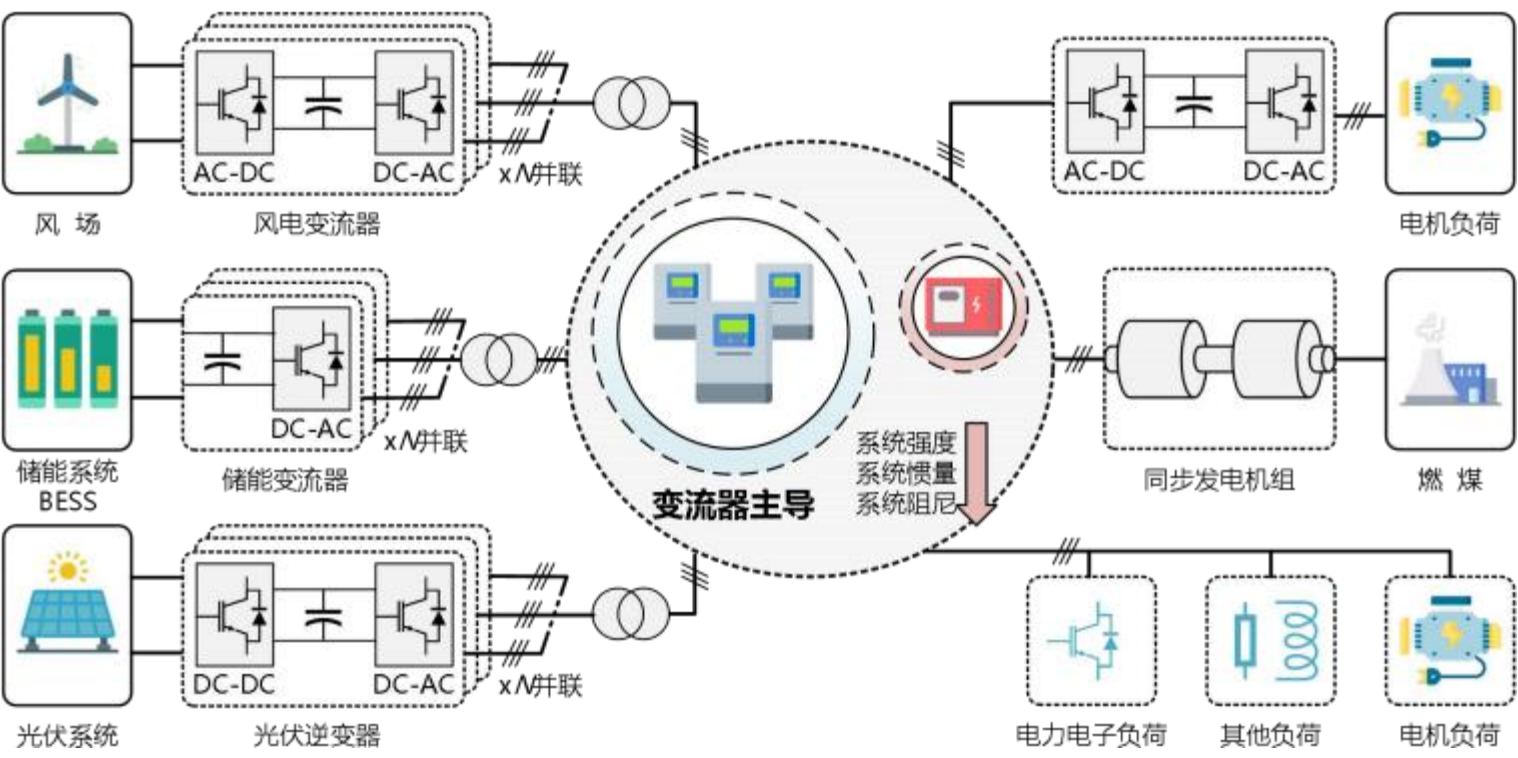
关键技术及特点

04

应用场景

背景简介-新型电力系统发展形态

《“十五五”现代能源体系规划》明确“可再生能源发电2035年将成为主体电源”。在以新能源为主体的新型电力系统中，并网变流器作为新能源发电的核心装备取代了大部分旋转式发电机组，系统呈现出“低惯量、低阻尼、弱电压支撑”的特性，导致新能源发电系统事故频发，给变流器及其主导的电网稳定运行带来了严峻挑战。为提升“双高”系统稳定性，可发挥储能变流器灵活可控的优势，补偿系统缺失的固有惯性、阻尼特性，实现电网电压、频率的可靠支撑。



西藏发改委首次提出了2023年风电光伏新能源项目配套储能需“加装构网型装置”的要求



新疆2023年独立储能建设方案：积极探索建设构网型储能

背景简介-构网型储能在国家政策支持下快速发展

- 国家发改委、国家能源局等多部门发文：支持构网型储能技术研发与工程示范；选择典型场景应用构网型控制技术；研究完善储能价格机制和财政金融政策，等
- 相关文件对于构网型储能的定位：显著提高新能源接入弱电网的电压、频率等稳定支撑能力，大幅提升风电光伏大基地项目输电通道的安全稳定送电能力；具备主动支撑电网电压、频率、功角稳定能力

2023

关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知

国家能源局

- 支持构网型风电、构网型光伏发电、**构网型储能**、新能源低频组网送出等技术研发与工程示范

2024

关于新形势下配电网高质量发展的指导意见

国家发展改革委 国家能源局

- 在具备条件地区推广**构网型储能**等新技术
- 完善财政金融政策支持新型储能建设

2025

关于做好新能源消纳工作保障新能源高质量发展的通知

国家能源局

- 探索应用**构网型新能源**、**各类新型储能**等新技术，提升新能源功率预测精度和主动支撑能力

2026

加快构建新型电力系统行动方案

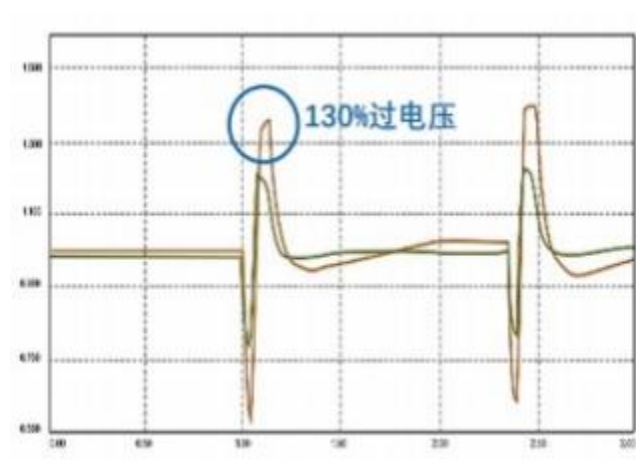
国家发展改革委 国家能源局 国家数据局

- **选择典型场景应用构网型控制技术**，具备主动支撑电网电压、频率、功角稳定能力，提升系统安全稳定运行水平

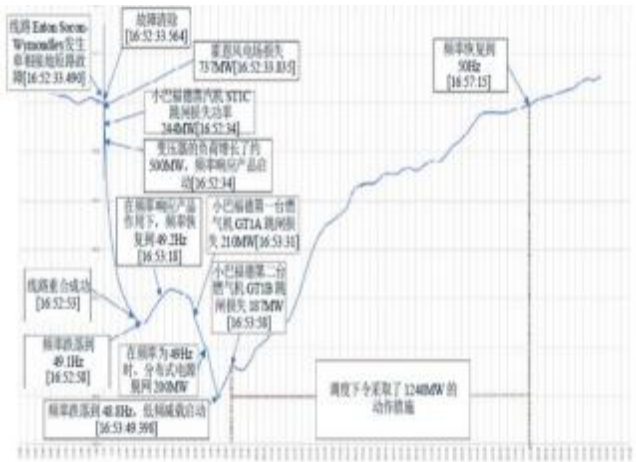
背景简介-新型电力系统分析

- 以新能源为主体的新型电力系统是实现碳达峰、碳中和目标的重要载体。与同步发电机组相比，新能源具有低可控和低转动惯量等特性，发生故障时传统新能源系统无法像同步发电机组一样，主动进行电压和频率支撑，给电力系统的安全稳定运行带来了极大挑战。
- 惯量响应是维持电网暂态频率稳定最关键的环节，其时间尺度一般在6s~10s左右

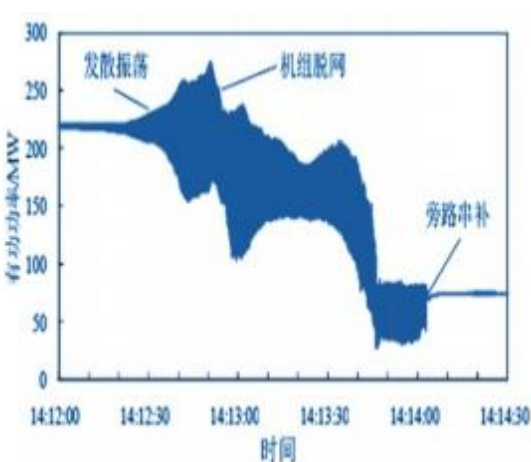
高比例新能源经特高压直流送出
加剧送端暂态过电压问题



高比例新能源送端低惯量系统
导致频率稳定控制难度加大



多种功率调节设备的共同
作用引发宽频振荡问题



背景简介-新型电力系统需要构网型储能技术支撑

科学安排储能建设：

完善合理的电源结构、柔性电网平台、灵活性负荷侧全过程
夯实新型电力系统稳定基础。提出要科学安排储能建设。

2023年4月24日，国家能源局发布了关于公开征求《**关于加强新型电力系统稳定工作的指导意见（征求意见稿）**》意见的通知，提出新型电力系统稳定发展27条。



按需建设储能，有序建设抽水蓄能，积极推进新型储能建设；

多元化储能科学配置，充分发挥电化学储能、压缩空气储能、飞轮储能、氢储能、热（冷）储能等各类新型储能的优势，

探索储能融合发展新场景，提升电力系统安全保障水平和系统综合效率。

背景简介-新型电力系统需要构网型储能技术支持

● 建立健全市场价格机制

2024年02月07日国家发改委能源局共同发文《**关于建立健全电力辅助服务市场价格机制的通知**》（发改价格〔2024〕196号）



一、优化调峰辅助服务交易和价格机制

二、健全调频辅助服务交易和价格机制

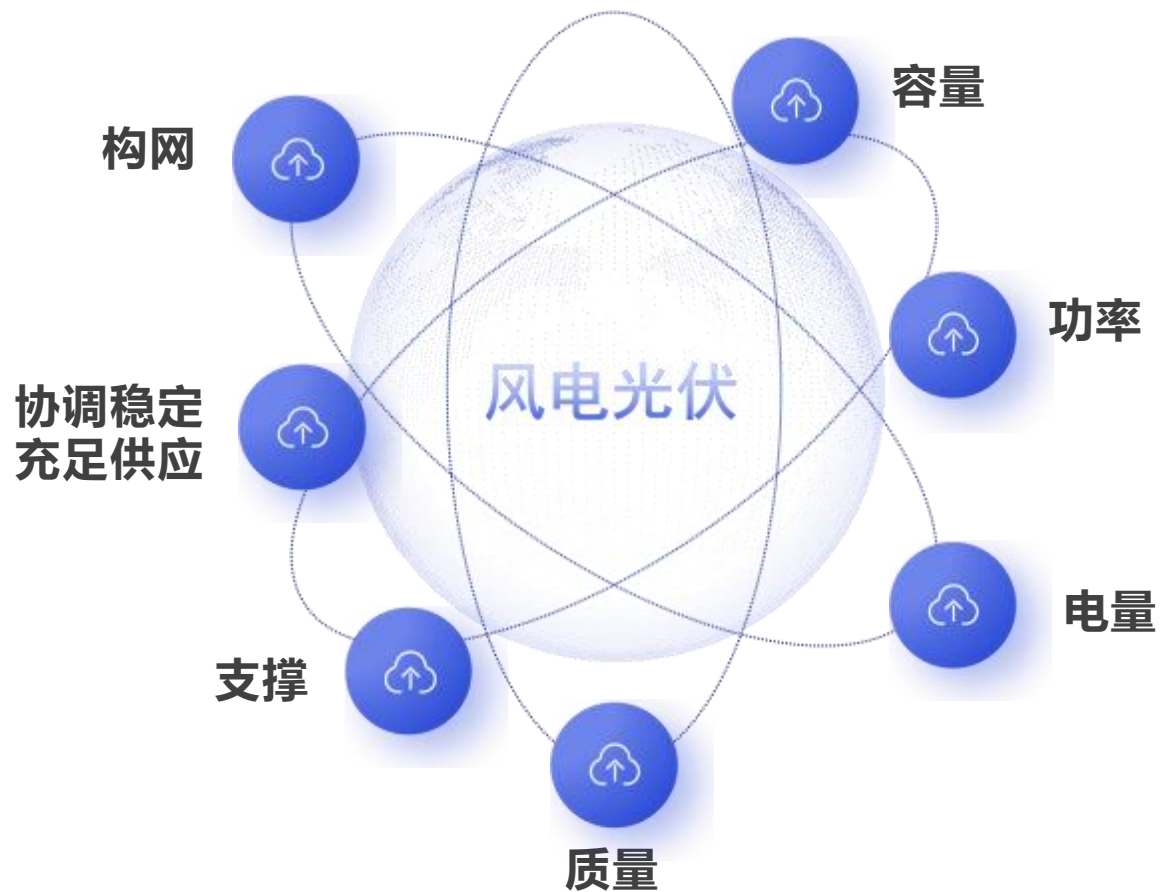
规范调频市场交易机制。调频市场原则上采用基于调频里程的单一制价格机制。

合理确定调频服务价格上限。调频性能系数由调节速率、调节精度、响应时间三个分项参数乘积或加权平均确定，分项参数以当地性能最优煤电机组主机（不含火储联合机组）对应的设计参数为基准折算。原则上性能系数最大不超过2，调频里程出清价格上限不超过每千瓦0.015元。

三、完善备用辅助服务交易和价格机制。

背景简介-新型电力系统需要构网型储能技术支持

成为主力电源吗？ 风电光伏为主的新能源持续高速发展，占比增高但尚难成为传统意义的主力电源，有量少质无支撑。



- 公司经营区新能源新增装机**2.27**亿千瓦，占各类电源新增装机的**70.7%**
- 公司经营区新能源累计装机 **8.66**亿千瓦，占总电源装机的**37.3%**
- 国家电网**28**个省级电网统计序列中，有**14**个新能源装机容量超过**3000**万千瓦。新能源装机占比远超30%，动态运行发电功率更是超过全省发电实时功率(开机容量) **50%**。集中在华北、西北、华东、华中的资源 and 经济大省。

新型电力系统需要构网型储能技术支撑

构网型新型储能：服务于大系统(电网)、并以提升系统安全稳定支撑能力，丰富系统调节手段或能力为主。

主要包括：提供调节功能的参与系统调频调压工作、日前日内调峰和紧急事故备用。

u **三个特征：**连续并网运行**---间歇性、**统一调度（辅助服务市场）**---自调度、**日内调节支撑**---中长期存储**

- **新型储能具备功能：存储与调节**
- **应用场景：服务用户，服务电源、服务大系(电网)**
- **服务大系统（电网）分类：调峰、调频、备用**



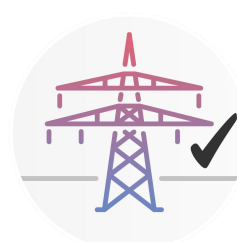
构网储能 | 构网系统优势



实现多能源
稳定地馈入电网



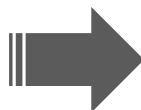
减少对备用输电线路的
使用或降低电力线路的
改造需求



实现100%
可再生能源供电



保障电力安全供应
获得稳定的投资收益



01

建设背景

02

解决方案

03

关键技术及特点

04

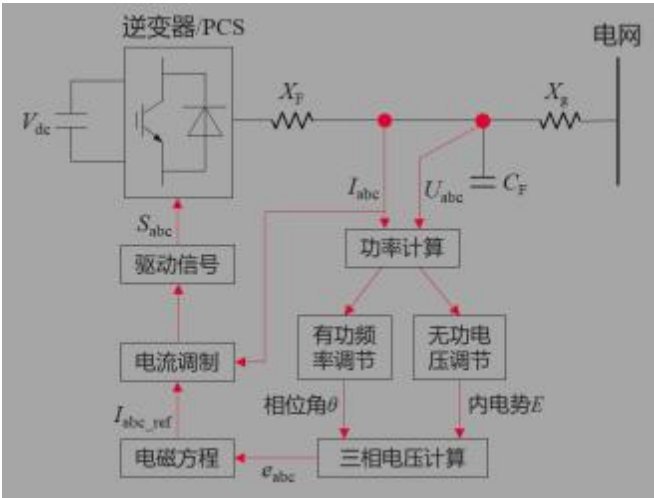
应用场景

建设方案设计|构网型储能解决方案



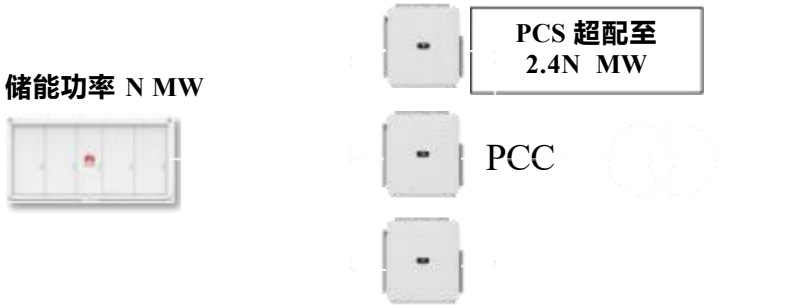
一、软件算法架构方案

- 控制算法：电流源→**电压源**
- **模拟同步发电机组**，自主产生内电势，具备虚拟惯量控制、无功电压控制能力
- **弱电网毫秒级快速功率响应**

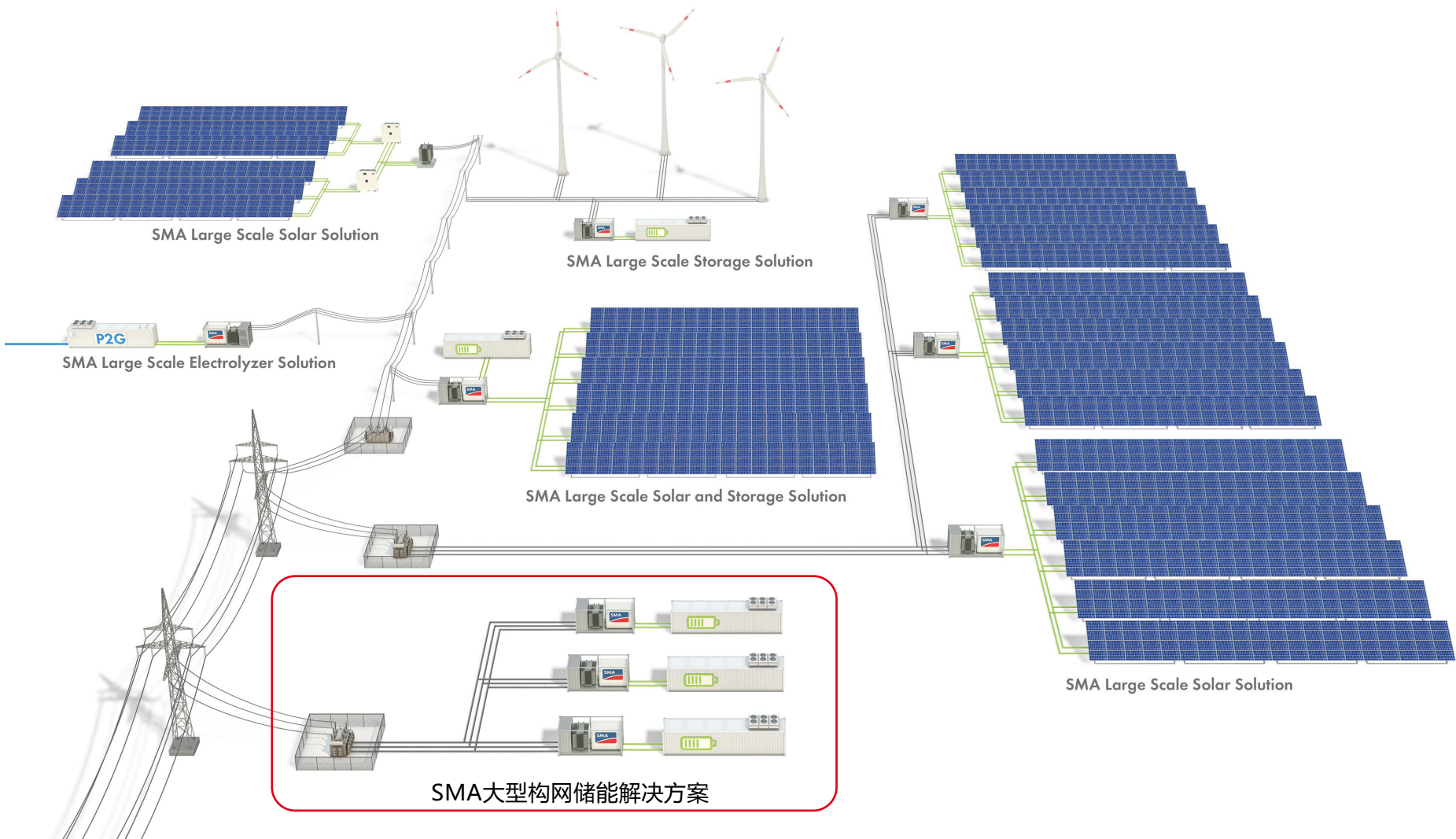


二、硬件架构方案

- 无功过载：超配PCS配置，具备3倍无功电流支撑能力。
- 有功过载：电池倍率提升，满足暂态有功输出（支持短时1.25倍，可提供 25%惯量响应功率）。

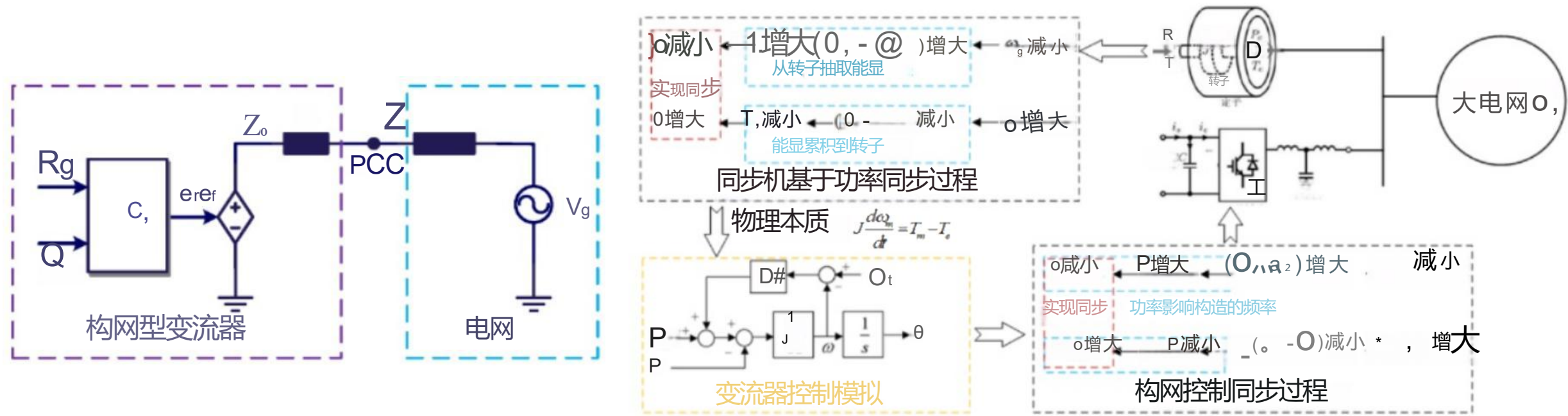


建设方案设计|构网型储能解决方案设计图



建设方案设计|构网型储能解决方案

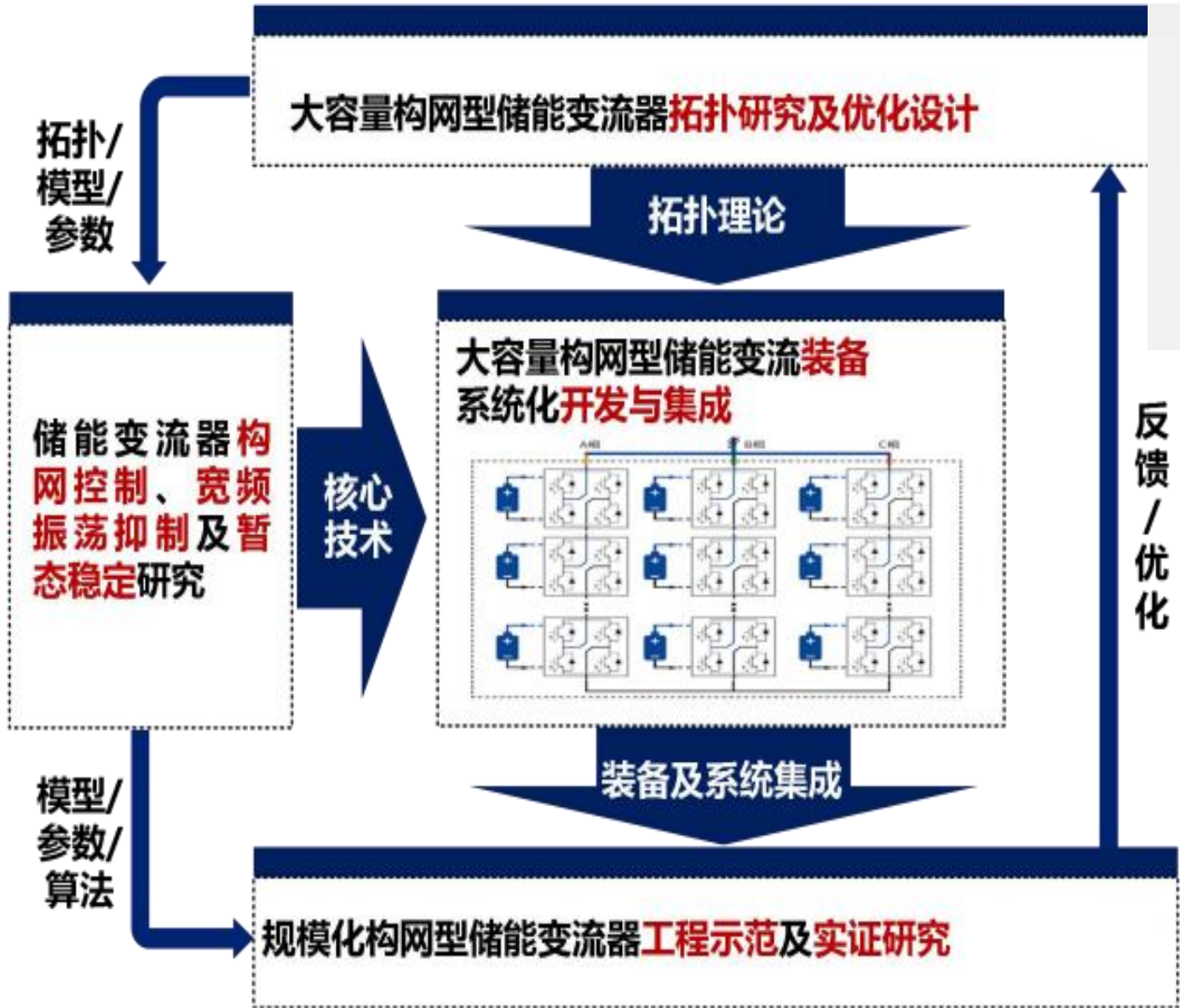
- 构网型储能通过对现有同步机制的模拟，如模拟成同步机等，可实现变流器与电网的同步，无需新的同步机制
- 构网型储能无需锁相环，可避免弱电网系统下锁相环导致的失稳问题，并可自主响应瞬时提供对电网的惯量/频率、电压支撑



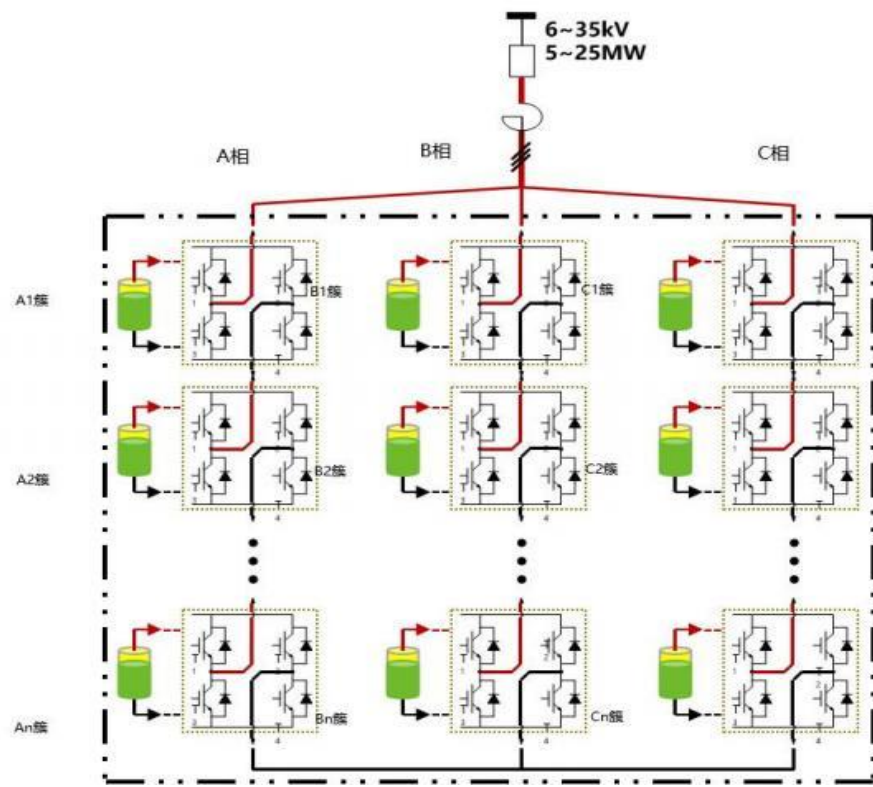
构网型变流器并网系统简化等效电路

构网型变流器同步机制

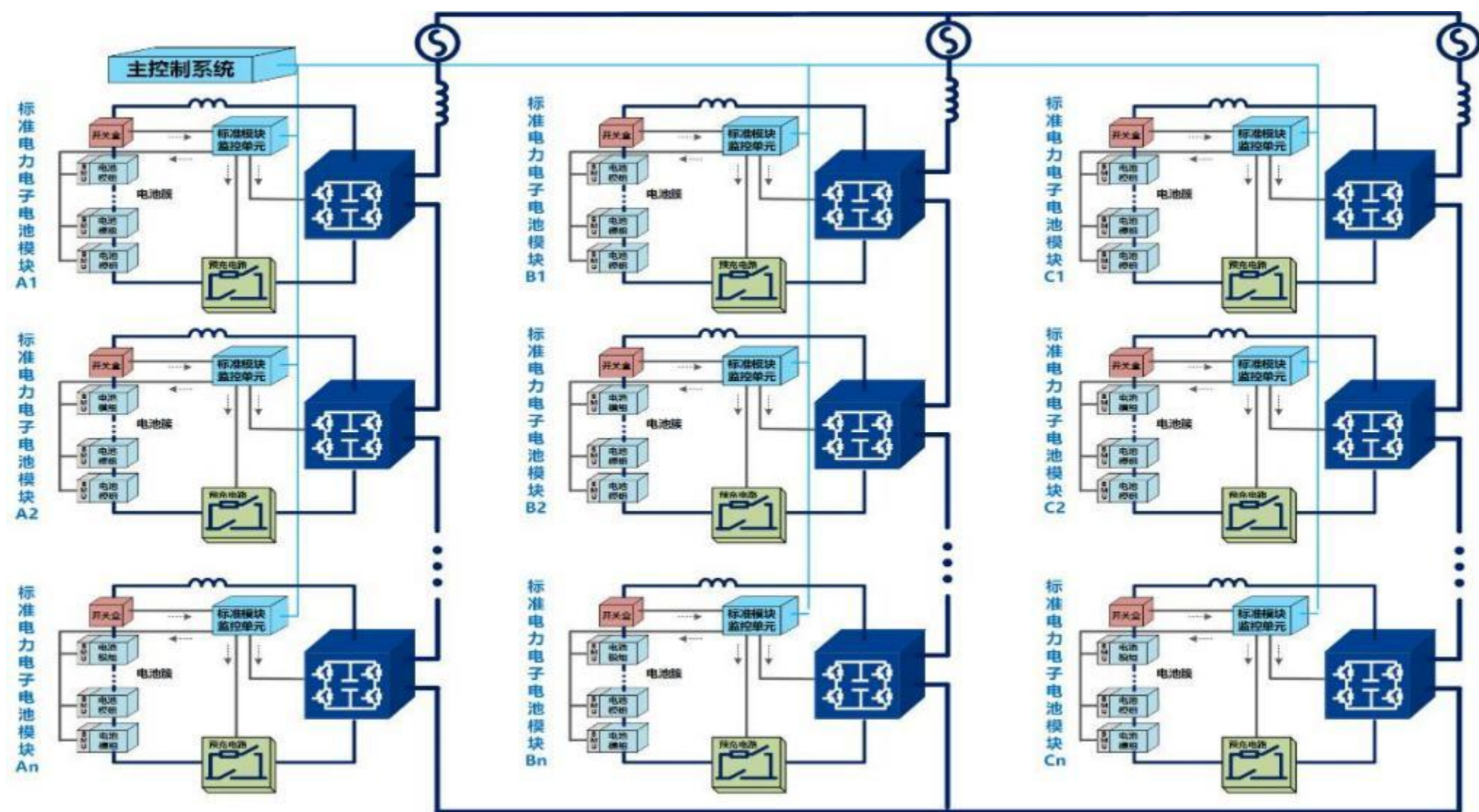
建设方案设计|构网型高压储能系统



突破构网型储能系统中的高短路耐受能力变流器拓扑、宽频振荡抑制与暂态稳定控制和装备工程优化设计等关键技术。



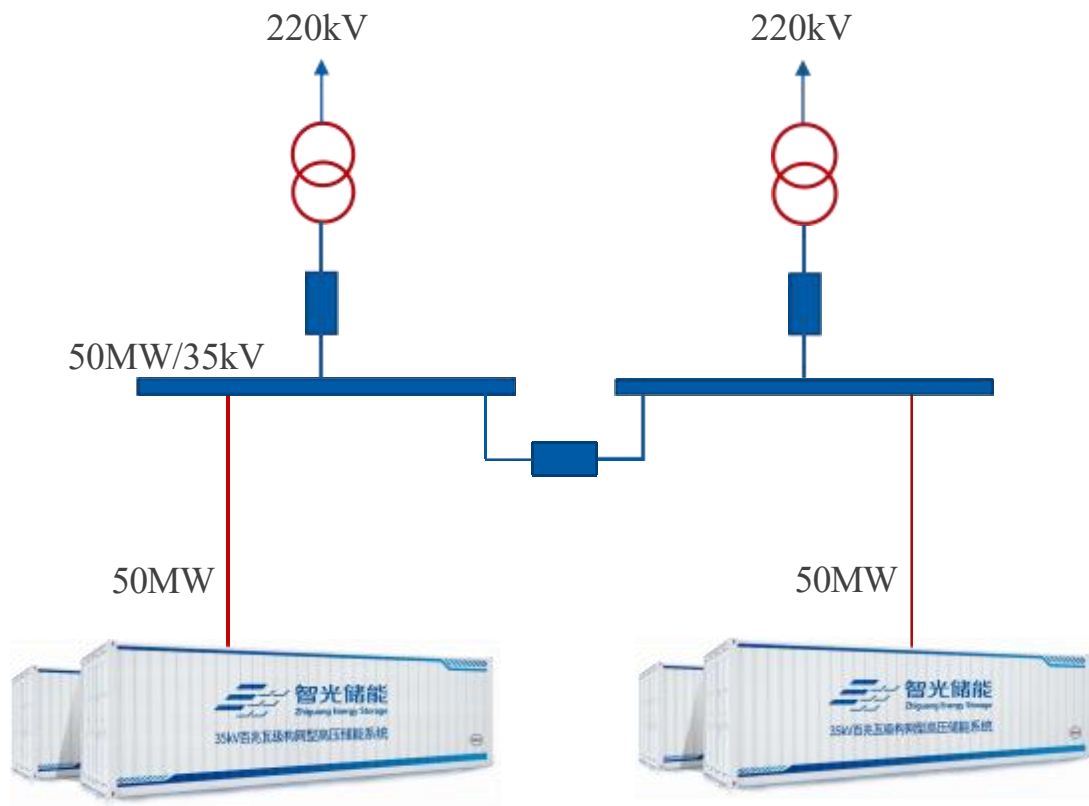
建设方案设计|大容量储能系统模块化结构设计



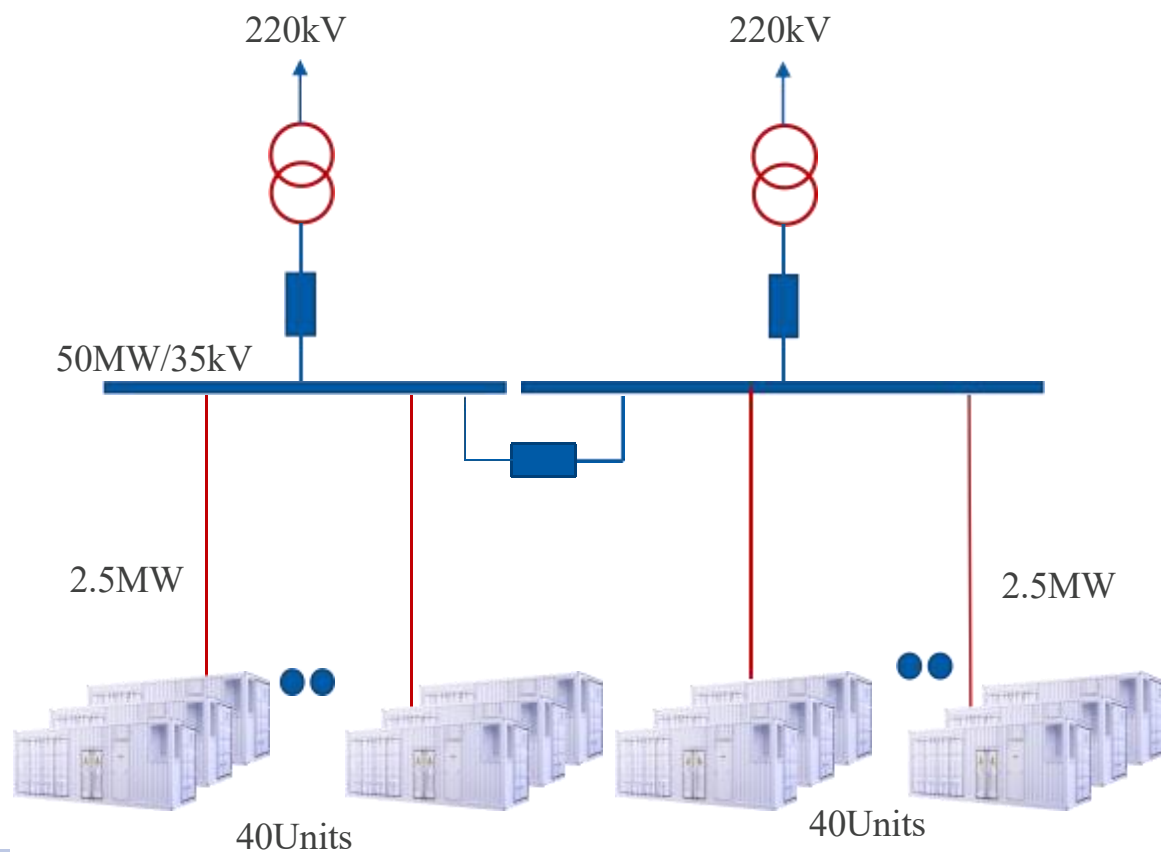
模块化高压储能装备的构建示意图

建设方案设计|大容量储能系统系统组成

级联型高压大容量储能技术方案



低压升压技术方案

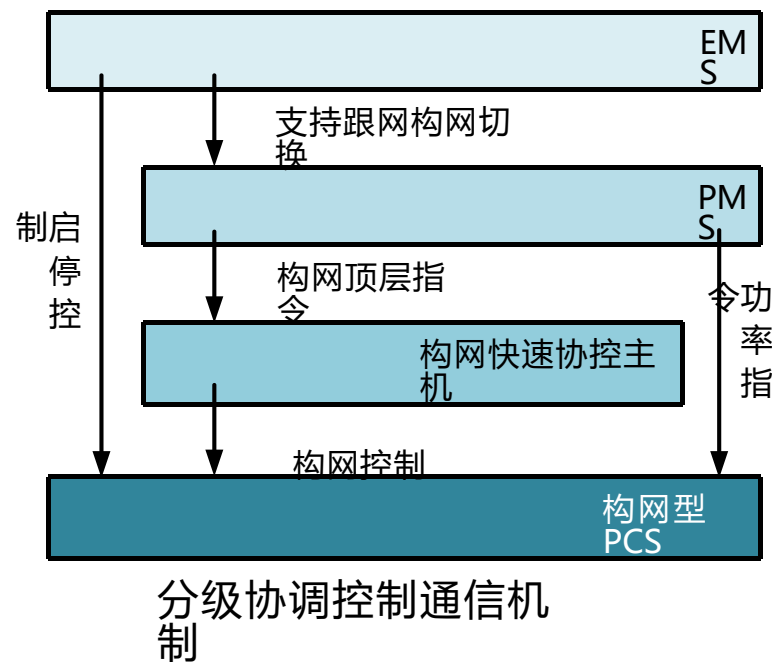


单机容量大50MW~100MW，构网，黑启动，快速频率响应
可具备虚拟同步机兼容无功SVG功能，提供有功、无功支撑

构网型储能

- 构网型储能系统集成了构网型PCS、电池、PMS、二级协控、同期装置、防孤岛装置等, 可以实现场站级

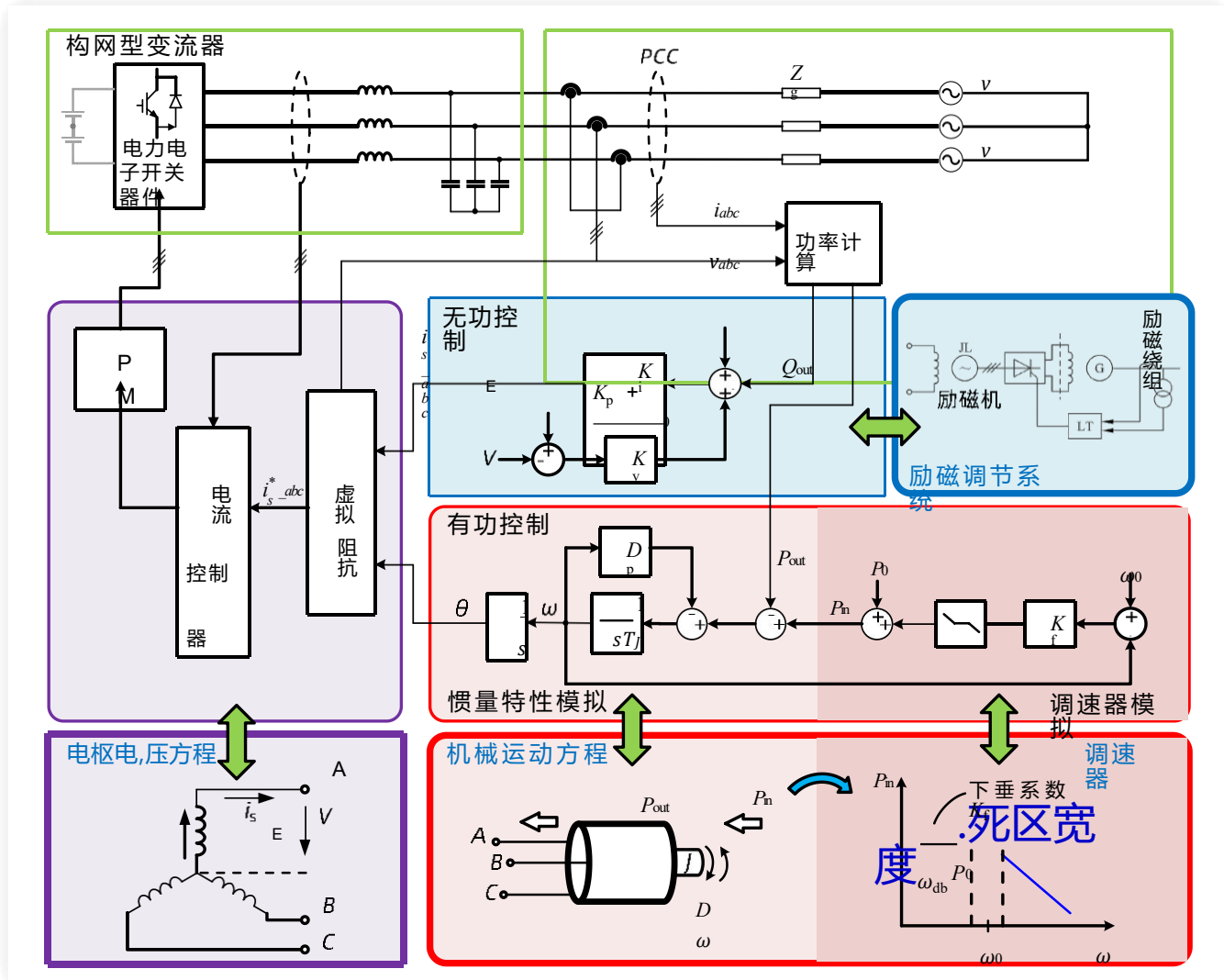
构网运行、黑启动等功能。



典型控制方式

- 构网型变流器的有功功率环和无功功率环分别模拟同步发电机的转子运动方程、调速和励磁环节，控制输出内电势，相位和幅值参考值再经过虚拟阻抗计算及电流控制环生成调制波。
-

通过上述控制方式，构网型变流器可以获得与同步发电机类似的响应过程和输出特性。



输



核心功能

构网型
变流器

01

弱系统适应性

低短路比稳定运行，提升弱系统稳定裕度

02

惯量支撑和一次调频

对电网频率变化无延迟响应

03

电压支撑能力

故障时快速输出高额无功功率支撑电压

04

继电保护适应性

提供一定短路电流并保

05

并离网切换

快速、平滑、无冲击的并离网

06

黑启动能力

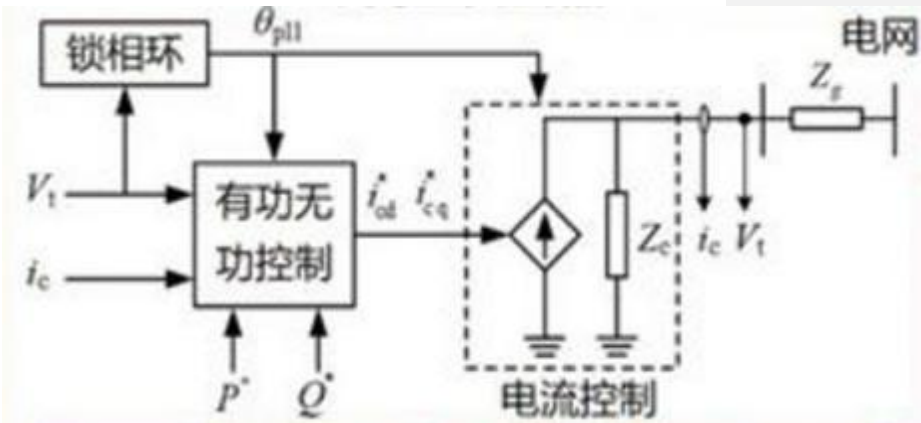
不依赖外界电源支持，自主建立电压和频率，恢复系统供电

留故障特征

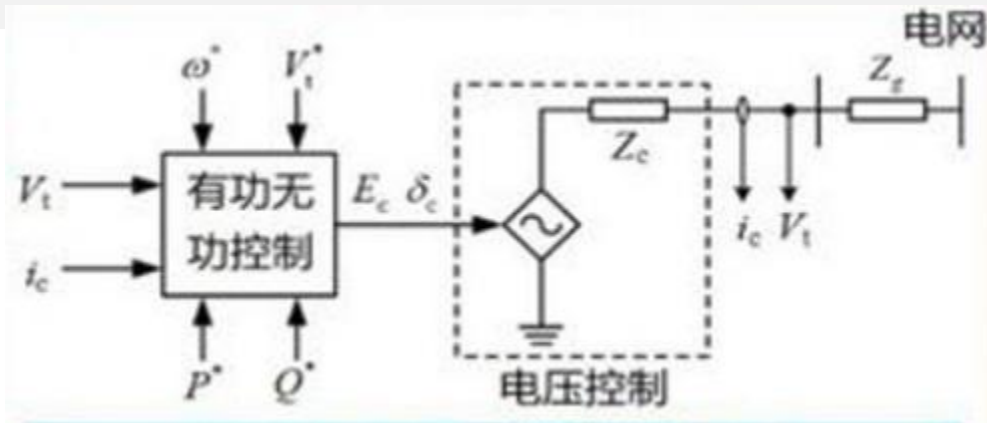
构网控制技术

- 变流器的同步动态特性完全由其控制算法决定，可分为跟网型(grid-following, GFL)和构网型(grid-forming, GFM)
- 同步发电机的构网特性：**顶梁柱**，可在扰动前-中-后，构建电力系统稳定运行的必须内电势，具有转动惯量，稳定频率。

跟网型变流器 (GFL)



构网型变流器 (GFM)



电流源，功率与无功解耦	电压源，功率与无功耦合
锁相跟随，强电网稳定	独立构网，弱电网稳定
无惯量支撑能力	具有主动惯量支撑能量
弱电网易失步	强电网易失步

构网型储能技术

- 国家能源局发布《电力系统安全稳定导则》明确提出新能源场站短路比应达到合理水平；同时电力系统需具备惯量和短路容量支撑能力。
- **构网型储能应运而生**，可以提高变流器的电压、频率支撑能力,增强电力系统稳定性，新型电力系统中有广阔的应用前景。

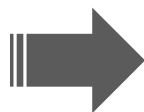
“双高” 电网构网解决方案



构网型储能在系统中作用

构网型储能在新型电力系统中作用





01

建设背景

02

解决方案

03

关键技术及特点

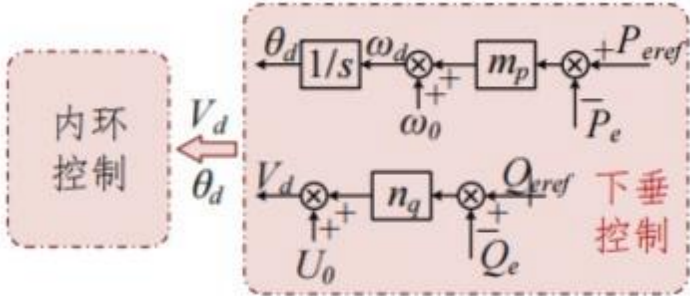
04

应用场景

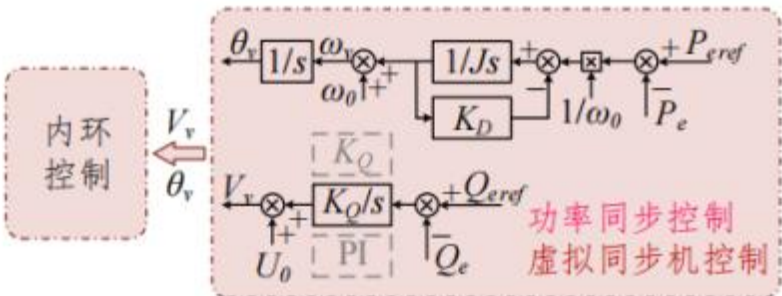
构网型储能关键技术 构网型控制策略

- 构网网控制策略：下垂特性，虚拟同步机控制，匹配控制，虚拟振荡器控制。
- 关键控制技术：
 - 1、如何提升多电压源同步稳定性问题，解决强电网下，干扰稳定裕度降低，易失步问题。
 - 2、如何解决限流保护，避免短路电流危害变流器安全，以及限流引起的暂态稳定性降低问题。
 - 3、如何在系统动态特性复杂的条件下实现变流器的协同控制，多台电压源并列运行，容易带来环流和抢功率问题。

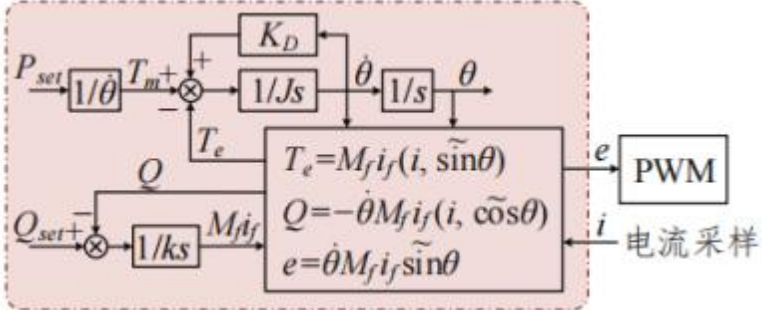
模拟下垂特性的构网型控制



模拟摇摆方程的构网型控制



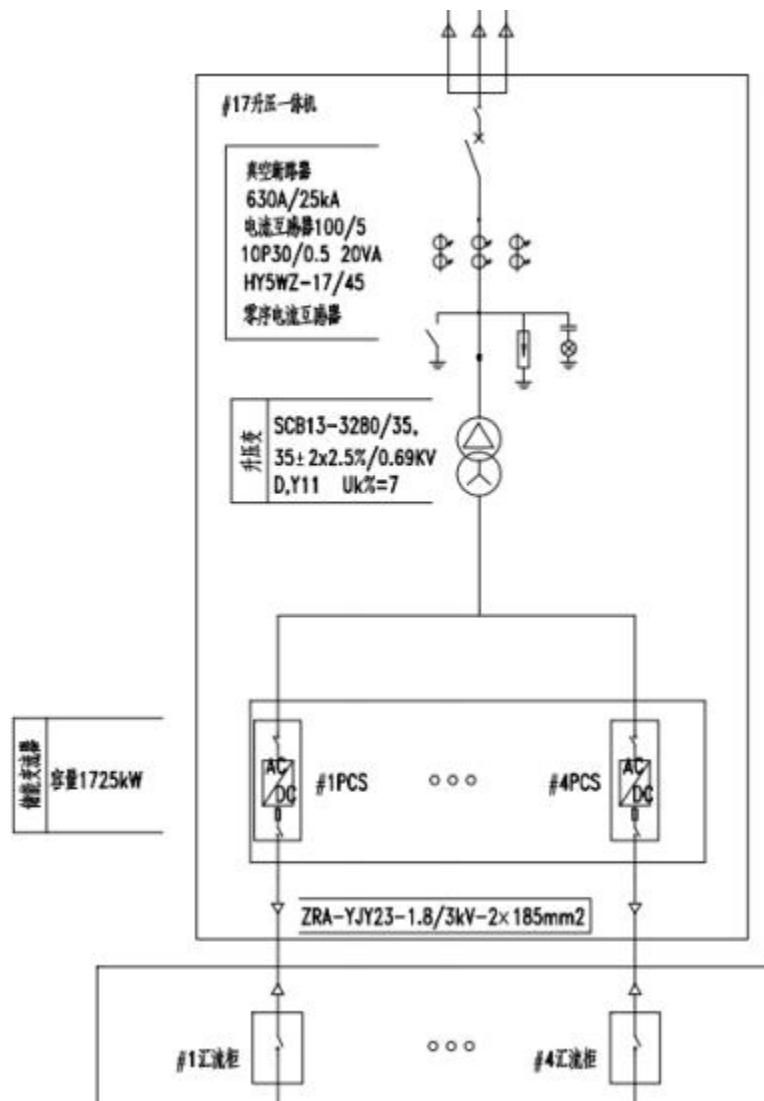
考虑电磁暂态特性的构网型控制



构网型储能关键技术 高过载能力实现

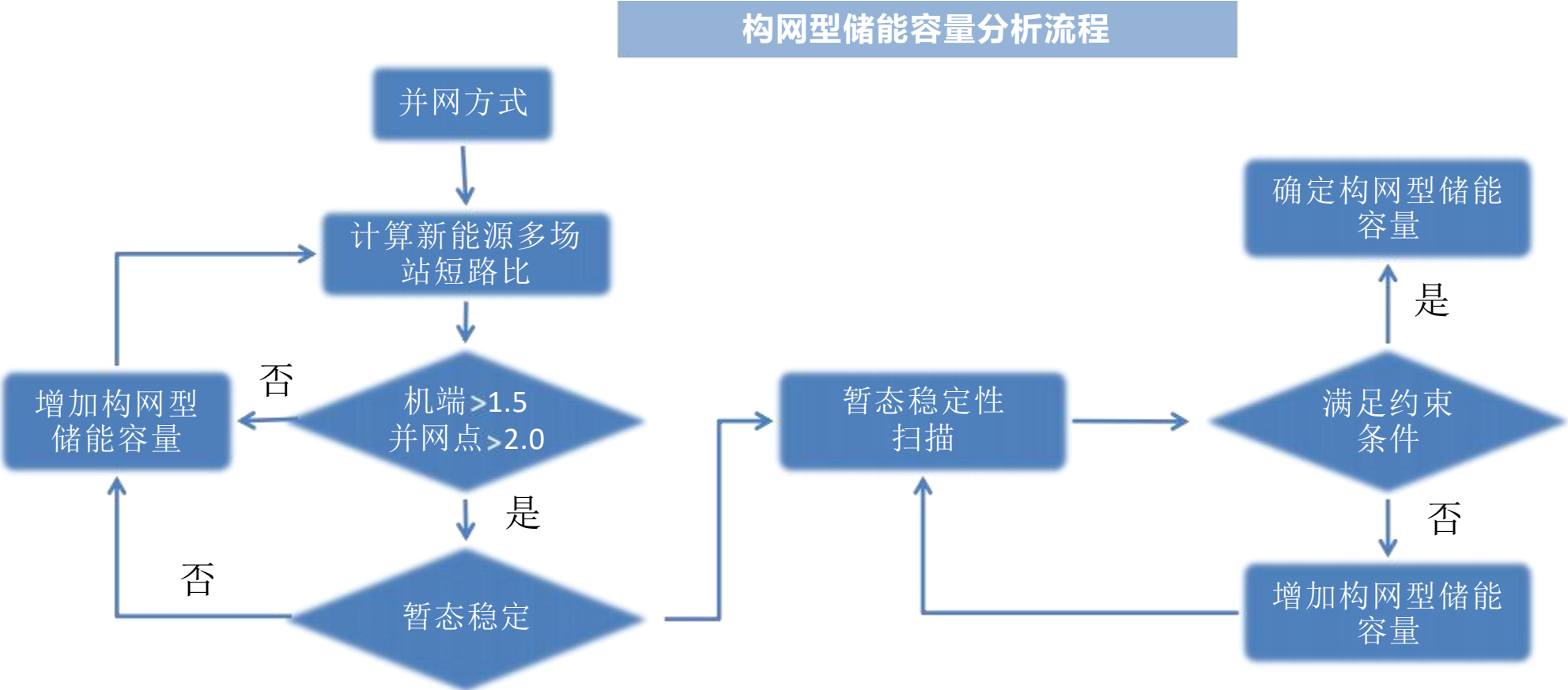
- 国内尚无构网型储能过载能力的明确规范要求，新疆自治区《关于组织上报2023年独立新型储建设方案的通知》要求，构网型储能具备300%额定电流10秒短时过载能力。
- 现阶段，一般通过**超配PCS数量**达到过载要求。例如，某50MW/100MWh构网型储能项目，PCS单机过载能力为1.25倍，配置数量为跟网型的2.4倍，实现3倍过载能力。
- PCS成本急剧提高，如何降本？

构网型变流器配置框图



构网型储能关键技术 系统仿真 + 定容分析

根据基地建设规划，建立整个发电系统仿真模型。在考虑电源侧、负荷侧曲线以及送出通道约束的条件下，开展电力电量平衡分析，暂态稳定计算分析，来明确灵活可调的构网型储能需求。



构网型储能关键技术 主动电压、短路电流支撑能力

□ 主动电压支撑能力:

构网型储能系统具备类似同步发电机有功功率调节特性，具备内电势和无功调压能力，其调压公式满足：

$$K_v = \pm \frac{\Delta Q / S_N}{\Delta U / U_N}$$

ΔQ 为构网型储能电站无功功率变化量， ΔU 为并网点电压幅值变化量， S_N 为构网型储能变流器的视在功率

构网型储能无功启动时间不应超过 5ms、无功响应时间不应超过 10ms，最大无功电流能力应不低于 3 倍额定电流。

□ 短路电流支撑能力

提升弱电网地区新能源厂站的短路容量比，构网型储能应提供一定的短路电流。**其过载能力应不低于 3 倍，过载持续运行时间应不低于10s。**

构网型储能的短路支撑能力可通过变流器器件的能力提升以及多机并联等多种方式实现。**多机并联运行时，并机环流小于 5%。**

构网型储能关键技术 主动频率支撑能力

□ 惯量支撑能力：

构网型储能系统具备类似同步发电机有功功率调节特性，等效惯量时间常数应灵活可设，按照《虚拟同步机第1部分：总则》，其惯量公式满足：

$$P_{\text{inertia}} = -T_J \frac{df/dt}{f_N} P_N$$

储能惯量响应启动时间不应超过50ms，响应时间不应超过150ms，调节时间不应超过500ms，控制偏差应在 $\pm 1.0\%P_n$ 以内。

□ 一次调频能力：

构网型储能系统具备主动一次调频能力。其一次调频系数应满足下式：

式中： ΔP 为构网型储能电站有功功率变化量， Δf 为系统频率变化量。

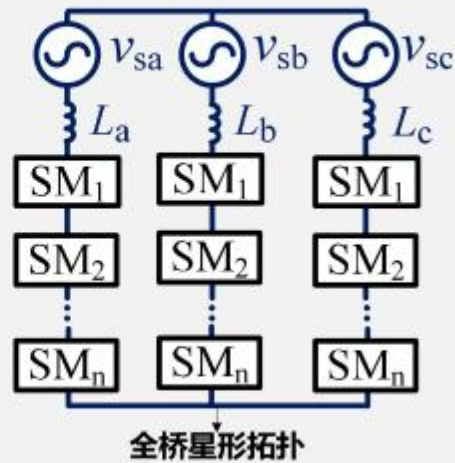
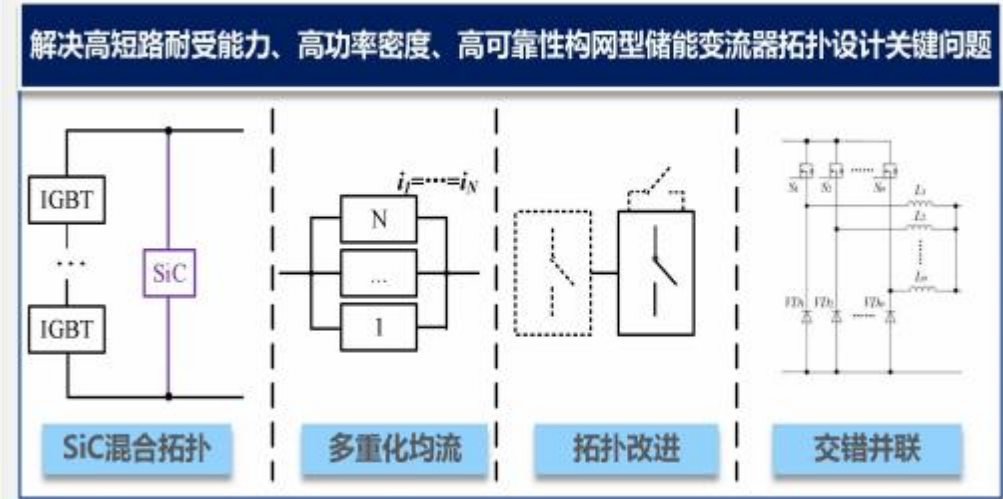
一次调频功能在与惯量响应、AGC 等功能协调，宜设定一定的死区（0.033HZ~0.1HZ），控制偏差应在 $\pm 1.0\%P_n$ 以内。

$$K_f = \pm \frac{\Delta P / P_N}{\Delta f / f_N}$$

构网型储能技术特点

解决大容量构网型储能系统的关键问题1——大容量构网型储能变流器拓扑研究及优化设计

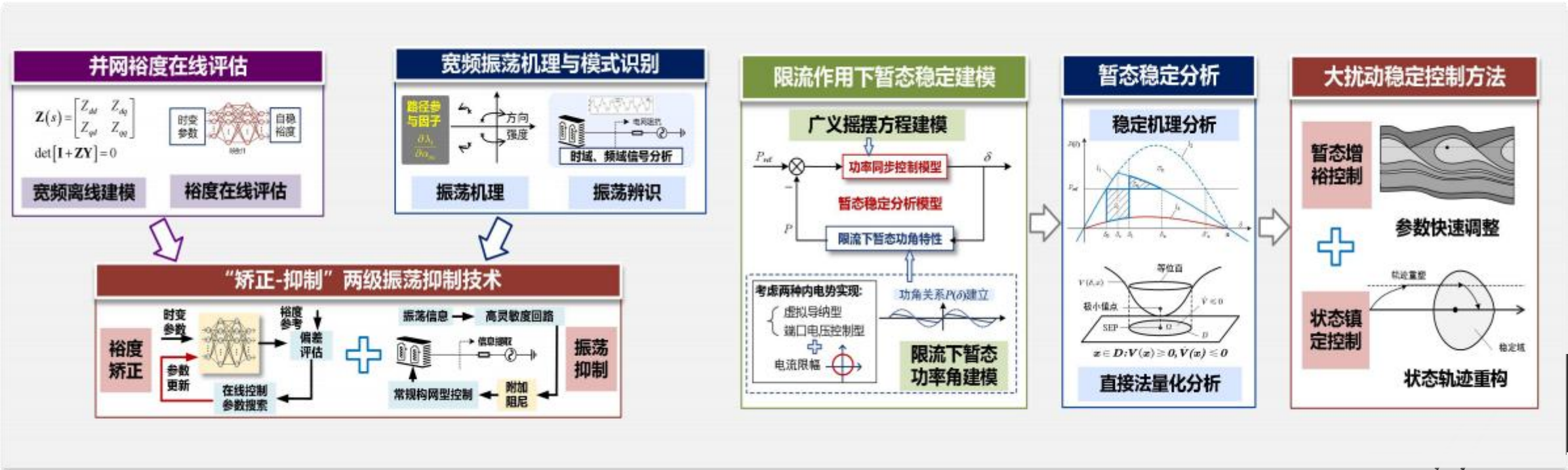
- 结合**混合拓扑**、**多重化均流**、**器件复用**等手段，解决高短路耐受能力、高功率密度、高可靠性构网型储能变流器拓扑设计关键问题；
- 研究基于**图论和人工智能算法**的构网型储能变流器拓扑优化设计方法，建立优化**拓扑搜索空间**，并利用**环路特性筛选算法**获取优化拓扑；结合人工智能算法，设计**多目标优化函数**进行参数迭代，获取普适性参数组合，形成系统化构网型储能变流器参数优化方法。



构网型储能技术特点

解决大容量构网型储能系统的关键问题2——储能变流器构网控制、宽频振荡抑制及暂态稳定研究

- “**矫正-抑制**”两级振荡抑制方法，实现对**并网振荡风险**的**主动控制**和对**异常起振**情况的**自适应抑制**，解决构网型储能变流器宽频振荡主动风险控制与抑制技术难题；
- 限流作用下构网型储能变流器**暂态稳定的机理**，构建基于**参数调整**和**状态轨迹重构**的稳定控制方法，实现对暂稳特性的**递进式控制**，解决涉及限流作用的构网型储能变流器暂态稳定控制技术难题。

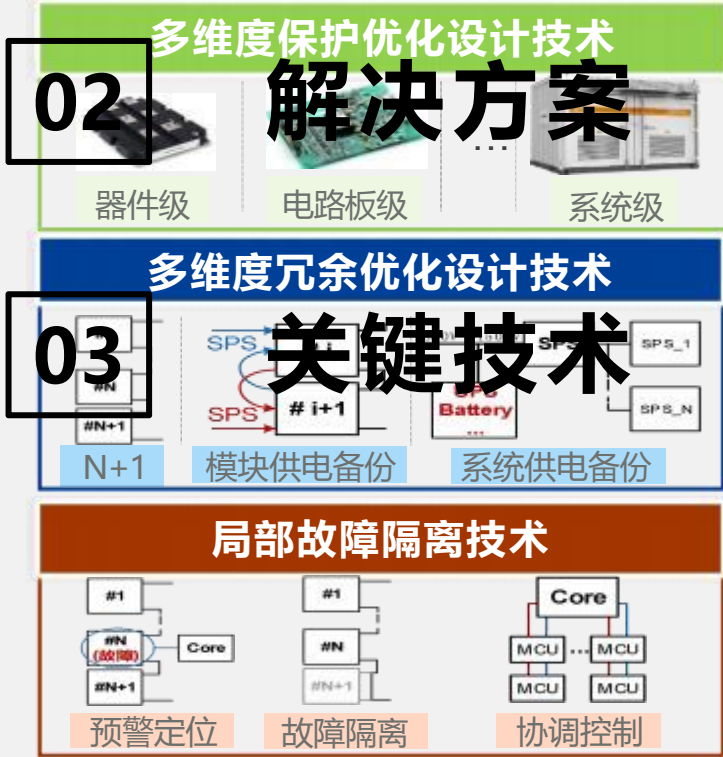
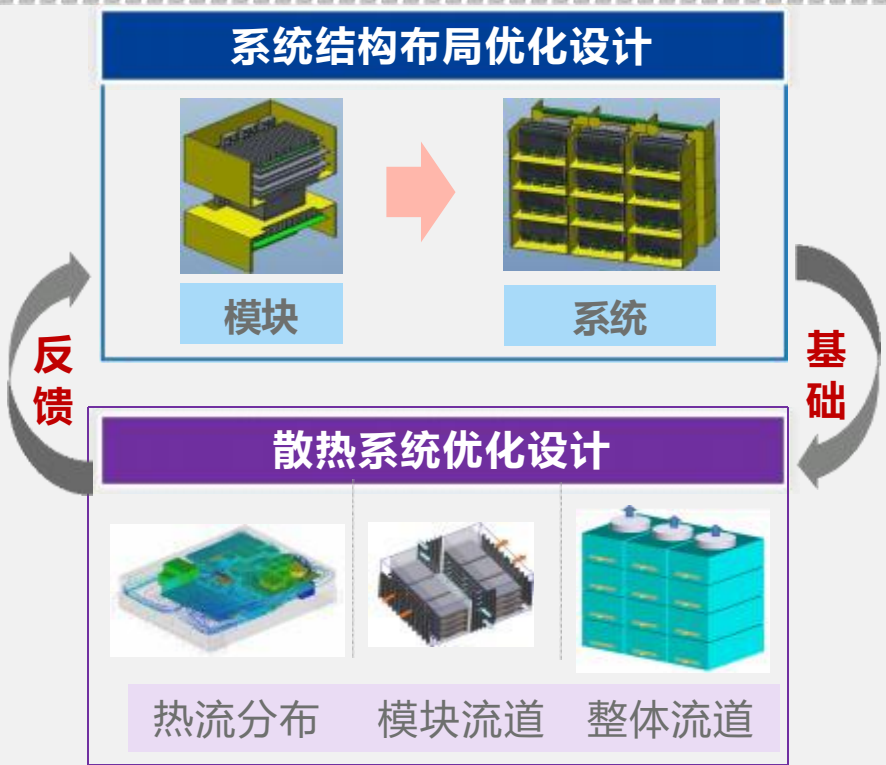


构网型储能技术特点

解决大容量构网型储能系统的关键问题3——大容量高压液冷储能变流装置系统化开发与集成

- 研究**多维度**统一结构优化布局设计，优化**整体散热布局**及**单元散热设计**，解决适配高短路耐受能力的构网型储能变流器结构与散热设计难题；
- 从保护、冗余和故障隔离三个方面出发，解决大容量构网型储能变流装备的高可靠性设计技术难题。

01 建设背景





01

建设背景

02

解决方案

03

关键技术及特点



04

应用场景

应用场景的优势

单机百兆瓦级构网型储能系统

- 并网场景下：能提供虚拟惯量、提升短路容量、提高系统强度、虚拟输电、实现系统快速响应；
- 微网场景下：能实现黑启动，可用于离网孤岛微电网，也可作为备用电源及UPS不间断电源。

孤岛供电

新能源并网

黑启动功能

柔性直流输电



**无工频升压变压器损耗，
损耗降低30%，效率提
升6-10%以上**

效率高，无工频升压变压器损耗，高压直挂储能系统比低压储能系统效率提高6-10%以上。

**具备与常规同步发电机相
似的运行特性**

构网型控制策略能主动支撑系统频率和电压，提供惯量，具备与常规同步发电机相似的运行特性，是大型能源基地规模化并网接入的关键技术之一。

**对电网支撑能力强，控制
实现难度更低**

相比低压储能PCS系统，高压直挂大容量储能构架简单、控制一致性高，对电网支撑能力强，控制实现难度更低。

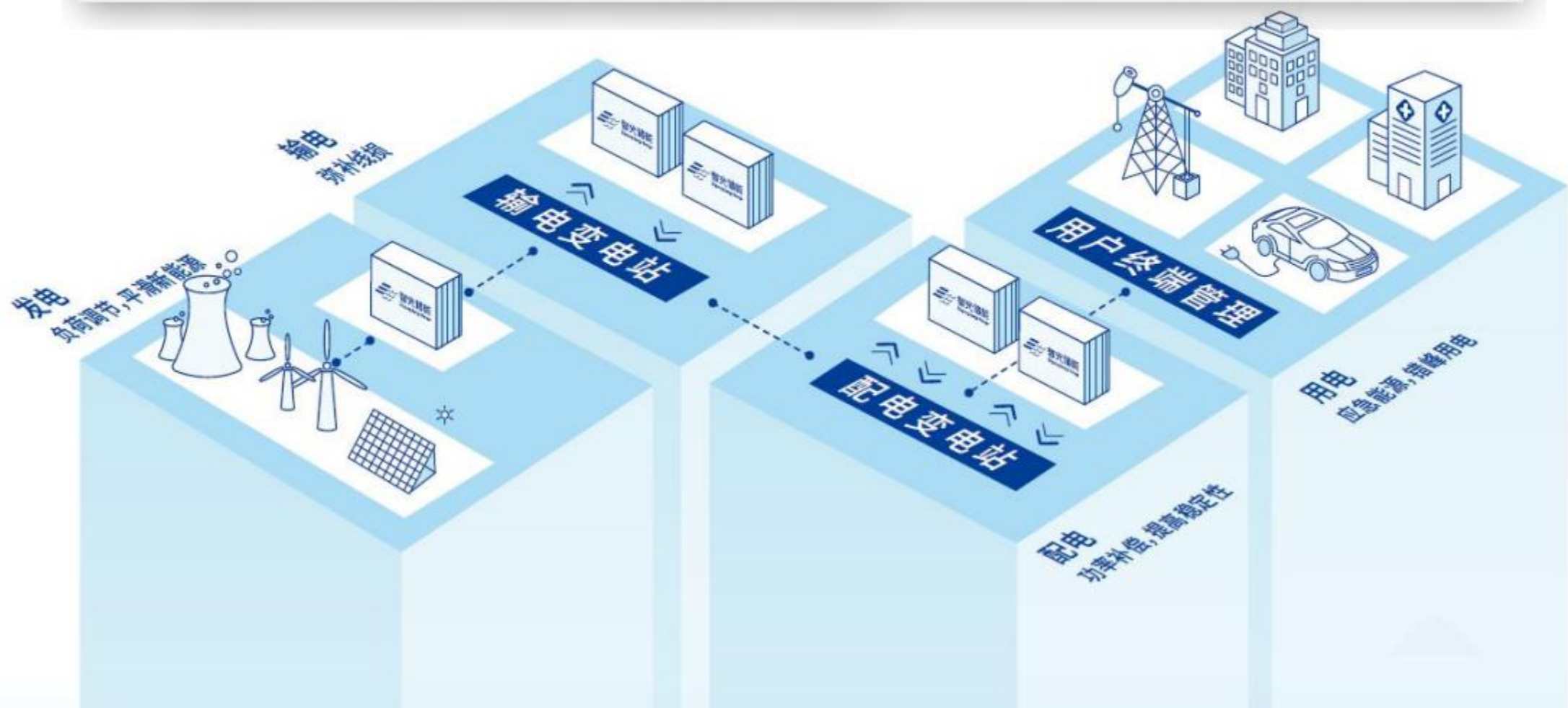
**更符合新型电力系统对储
能的技术要求**

高压直挂储能更符合新型电力系统对储能大功率、大容量、高转换效率和高控制性能的技术发展要求，具有明显的优势。



百兆瓦级35kV储能系统多场景应用

百兆瓦级别35kV储能系统，在复杂应用场景中的电网中具有较强的**电压适应性**及**故障穿越**能力，促进了储能系统在新型电力系统中的深度应用与发展。



构网型典型应用场景

构网型储能应用于沙戈荒新能源并网及孤岛运行

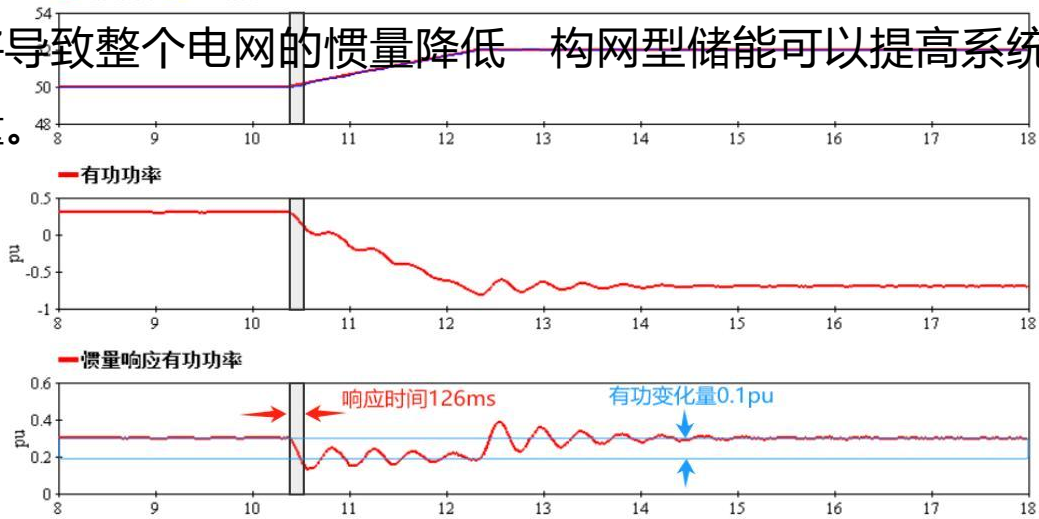
惯量响应

当电力系统频率快速变化时 构网型储能快速调整有功功率

以缓解电力系统频率波动。

新能源基本不具备惯量支撑能力 当新能源的占比增加时

将导致整个电网的惯量降低 构网型储能可以提高系统惯量。



工况：多机并联，惯量时间常数 5s, 频率变化率1Hz/s

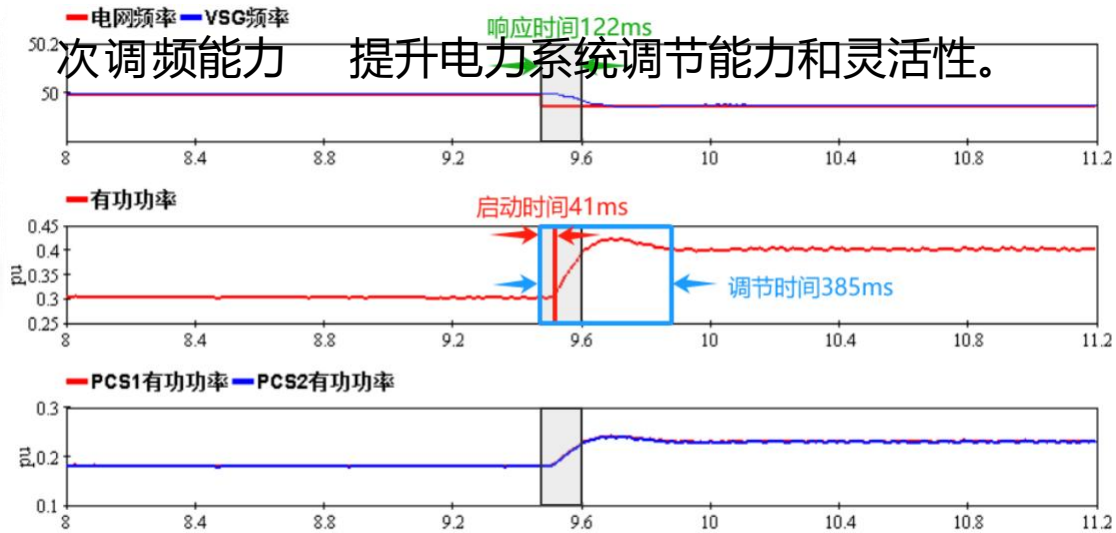
一次调频

当电力系统频率偏离目标时 构网型储能主动吸收或

发出有功功率以减少系统频率偏差。

构网型储能可以提高风电、光伏和火力发电的一次调频能力

提升电力系统调节能力和灵活性。

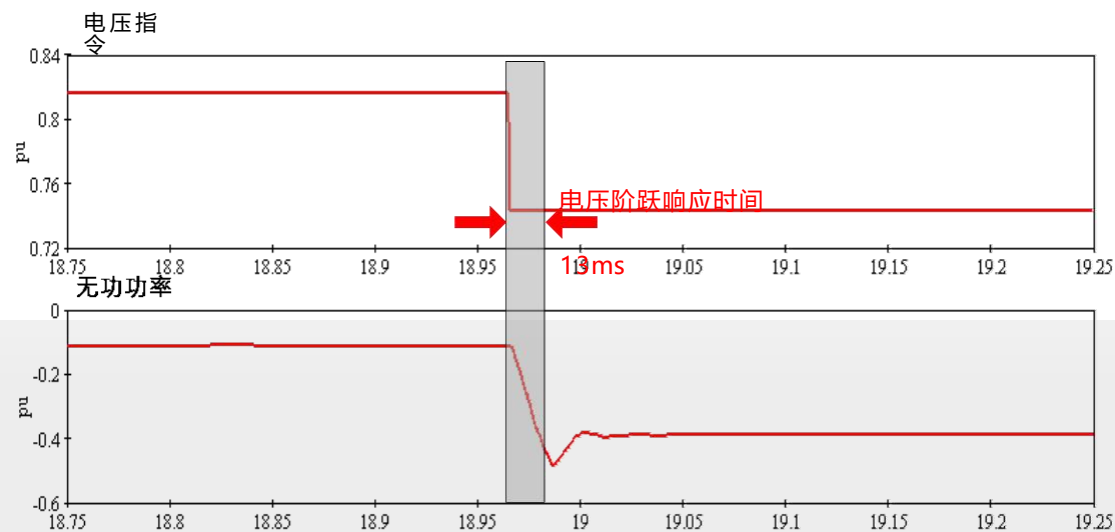


工况：多机并联，频率50Hz >49.95Hz

构网型储能应用于沙戈荒新能源并网及孤岛运行

电压支撑

电压跌落瞬间 构网型储能内电势保持不变 故障电流自然响应 提供与同步机类似的电压支撑能力 提高新能源场站短路水平和出力能力。

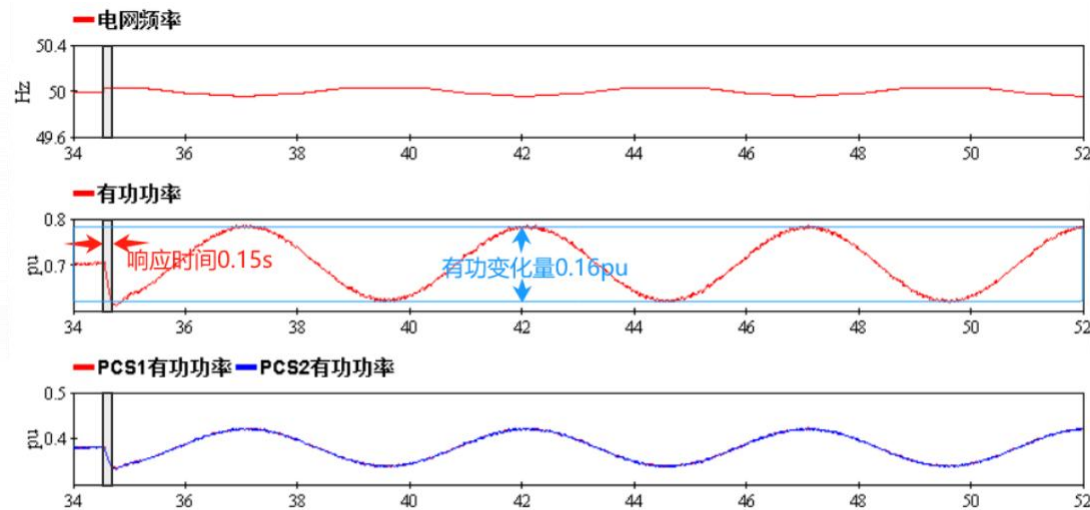


工况：多机并联，并网点电压跌落

阻尼控制

当电力系统发生振荡时 构网型储能系统主动吸收

或发出功率 抑制系统振荡。



工况：多机并联，并网点频率波动幅度0.04Hz，波动频率0.2Hz

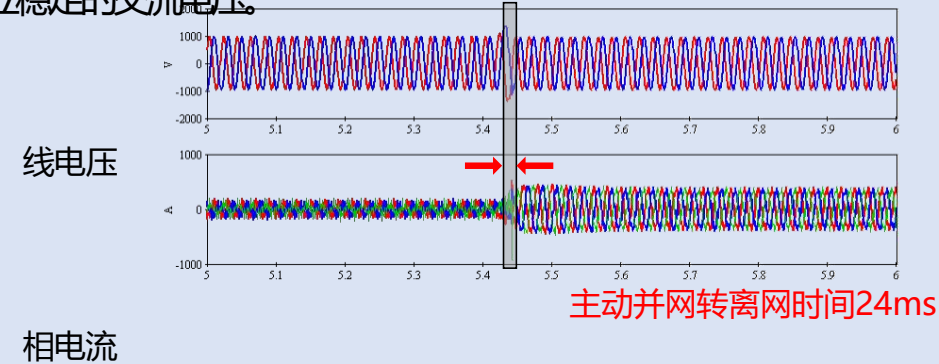
构网型典型应用场景

构网型储能应用于沙戈荒新能源并网及孤岛运行

并网转离网

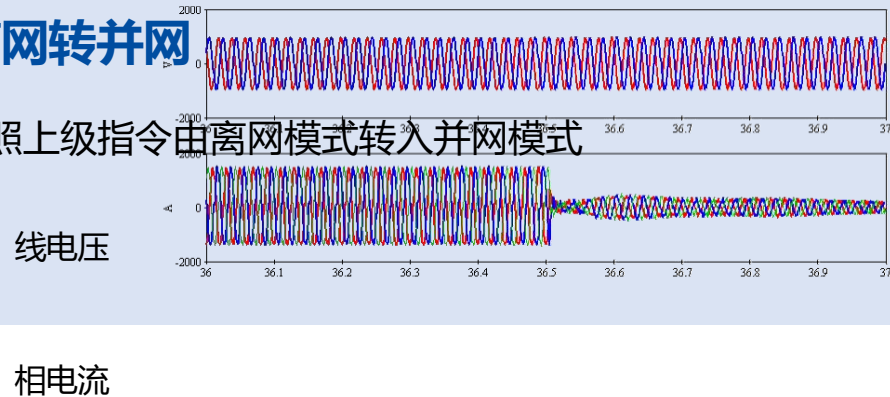
并离网切换过程中保持交流电压连续。自动转入离网模式并

建立稳定的交流电压。



离网转并网

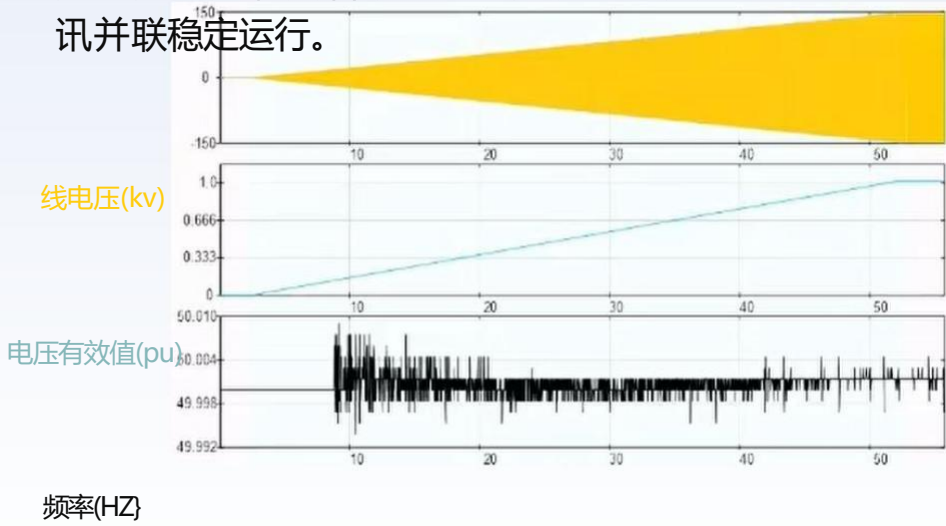
按照上级指令由离网模式转入并网模式



离网运行与黑启动

自启动能力：构网储能自身具备自启动能力，能够作为电力系统黑启动电源；

支持多机并联黑启动：构网变流器可实现大规模无通讯并联稳定运行。



谢谢

