

多元协同 构建未来

多元储能构网技术在新型电力系统中的应用

阳光电源
SUNGROW



阳光电源 南京研究所

目录



1.背景与挑战

2.混合储能技术

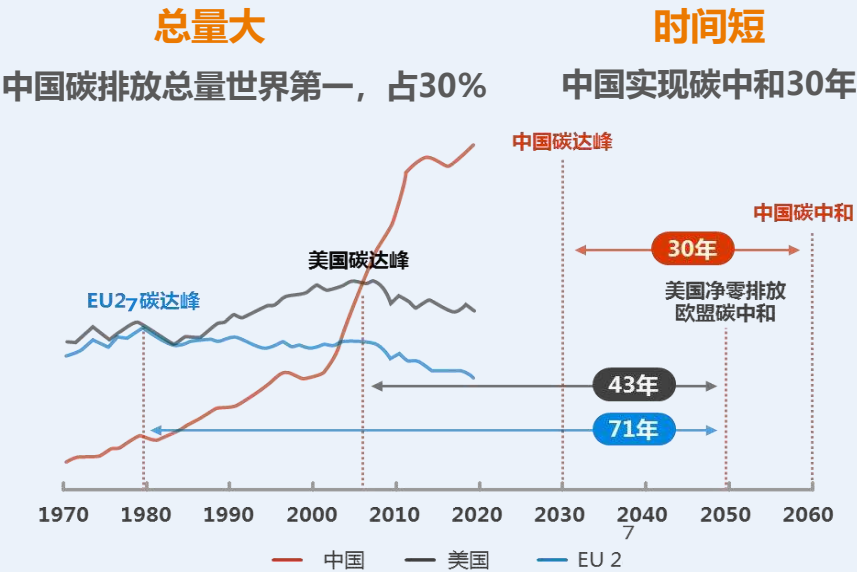
3.构网型储能技术

4.多元储能构网优势

5.应用场景及案例

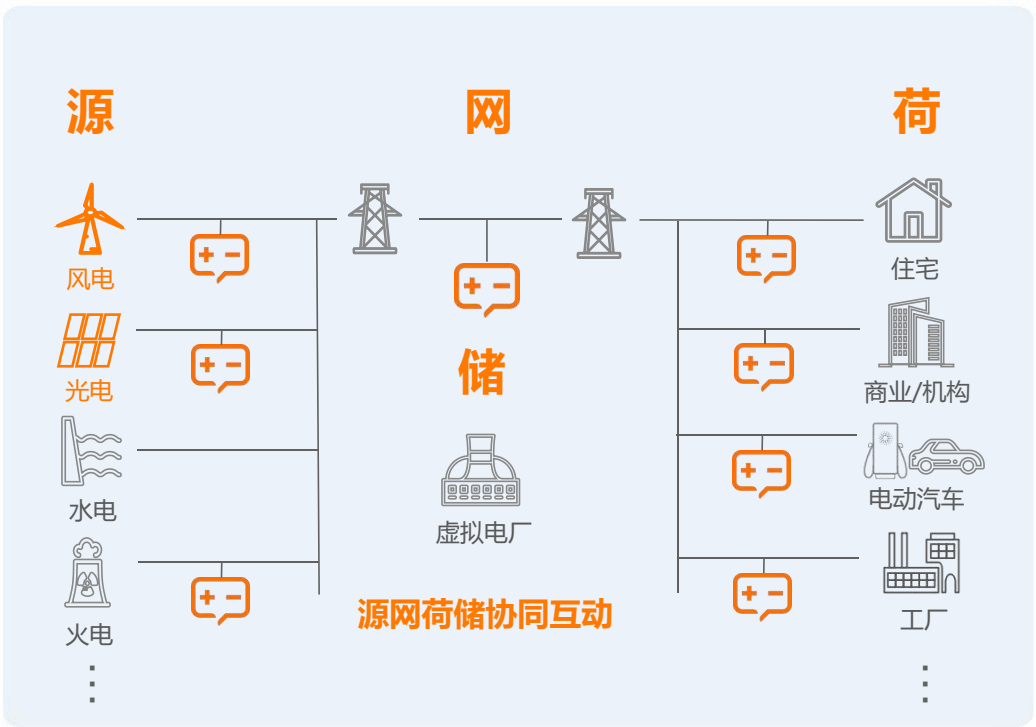
双碳目标下，构建以新能源为主体的新型电力系统

双碳已成为全球共识



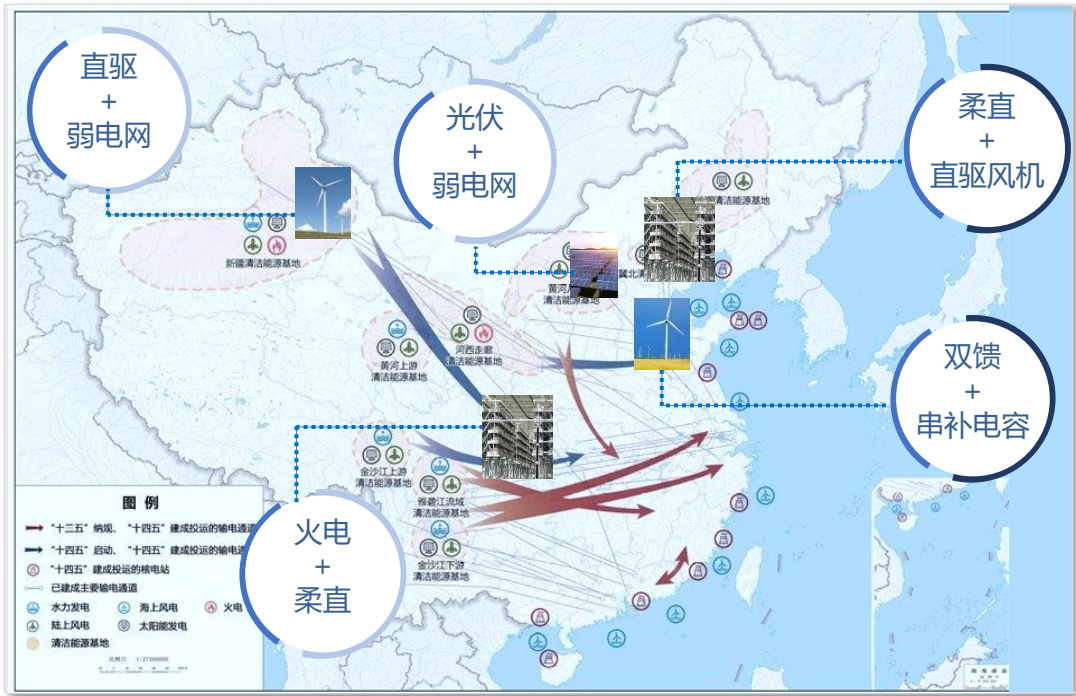
Source: 前瞻产业研究院, IEA

新型电力系统



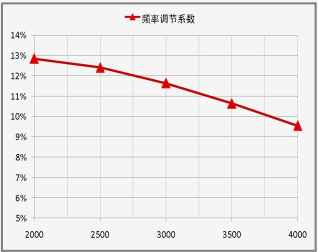
新型电力系统面临的挑战

大规模新能源接入造成不确定性的缺电、弃电并存；电力系统调频/调峰/备用容量不足、缺乏转动惯量和阻尼，调节能力和抗扰动能力持续下降，甚至出现宽频振荡等新型稳定问题。



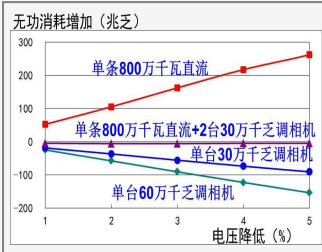
电源结构改变，系统脆弱性和复杂性增加

频率问题



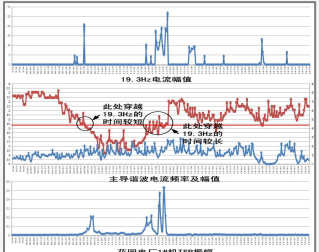
频率调节能力降低

电压问题



电压调节特性恶化

新型稳定问题



目录



1.背景与挑战

2.混合储能技术

3.构网型储能技术

4.多元储能构网优势

5.应用场景及案例

不同类型储能的技术水平、性能优势、发展趋势、应用前景各不相同。

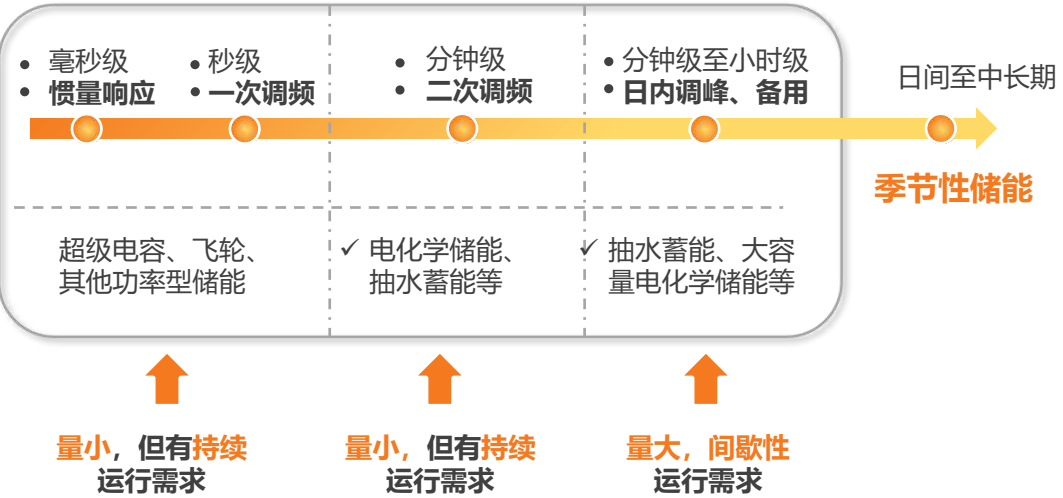
储能类型		比能量 (Wh/kg)	比功率 (W/kg)	响应时间	循环寿命 (次)
电化学储能	铅酸电池	40 ~ 60	200 ~ 350	分	500
	钠硫电池	150 ~ 240	90 ~ 230	秒	5,000
	全钒液流电池	40 ~ 130	50 ~ 140	秒	15,000
	锂离子电池	75 ~ 250	150 ~ 315	秒	10,000
	锂离子电池 (2C)	75 ~ 250	150 ~ 315	秒	3,000
	超级电容	5 ~ 15 (当前) 16 ~ 30 (目标)	4000 ~ 200000	毫秒	1,000,000
物理储能	抽水蓄能	0.5 ~ 1.5	—	分	—
	压缩空气储能	30 ~ 60	—	分	—
	飞轮储能	5 ~ 130	400 ~ 1600	毫秒	1,000,000

数据来自《储能产业研究白皮书2023》

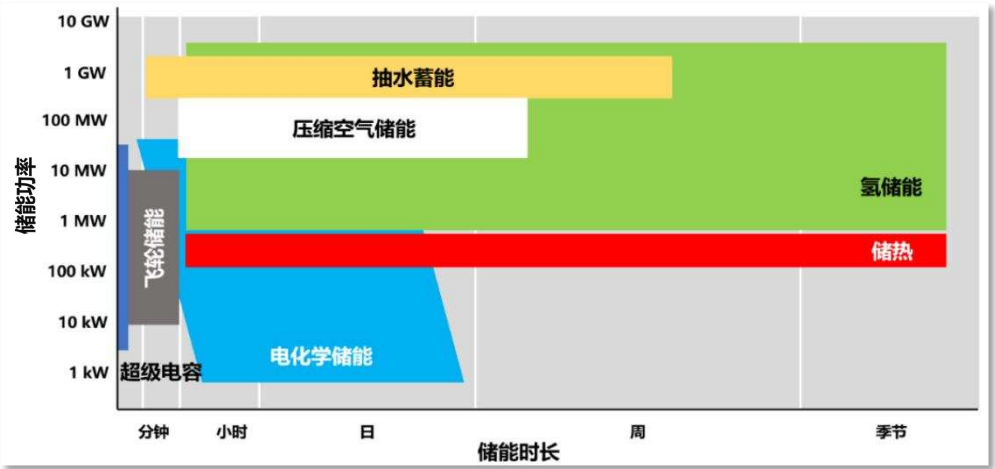
不同类型储能性能对比

单一储能难以满足新型电力系统的全方位需求

当前，新型电力系统对储能功率、时长、响应时间等需求呈现多样化。任何单一储能技术都无法兼顾功率密度、能量密度、响应速度、效率、寿命及成本等需求，难以满足新型电力系统的要求，储能技术呈现多种类型协同发展的格局。



新型电力系统对储能的需求



主要储能形式适用的功率及时长

超级电容适用于高功率短时充放电场景，具备响应速度快、倍率高、循环寿命高等优势：



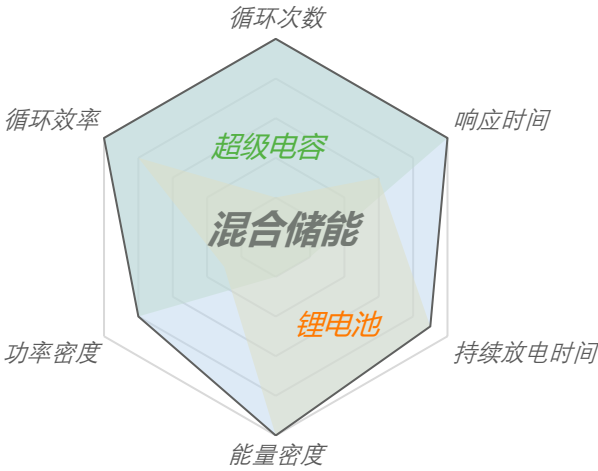
- 高功率密度，支持大倍率充放电需求
- 高响应速度，到达额定功率时间为毫秒级
- -40~65℃宽幅工作温度区间，低温性能良好
- 储能原理基本无热失控风险
- 循环寿命远高于传统锂电池，约20万次~100万次
- 日历使用寿命约12~15年
- 双电层电容充放电效率达到98%
- 混合电容充放电效率达到95%



- 超级电容与锂电池互补，组合的混合储能具有高功率密度、高能量密度、长寿命等特点。

“强强联合”：混合储能系统具备广阔发展前景

混合储能系统采用两种及以上具有不同性能优势的储能技术结合，以提高储能系统整体性能及经济性，从而满足新型电力系统的多场景细分化需求。



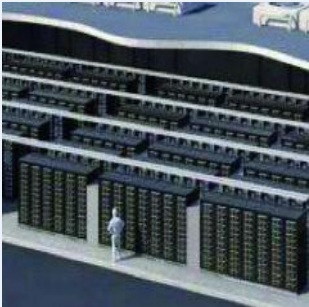
两种及以上性能互补的技术结合的**混合储能**，具有更好的技术经济性能。

混合储能系统解决方案

混合储能运行控制系统是实现能量管理和功率管理的高效系统，采用混合储能EMS-协调控制器-PCS三层架构，对不同运行工况进行实时监测、协调控制及优化分析。

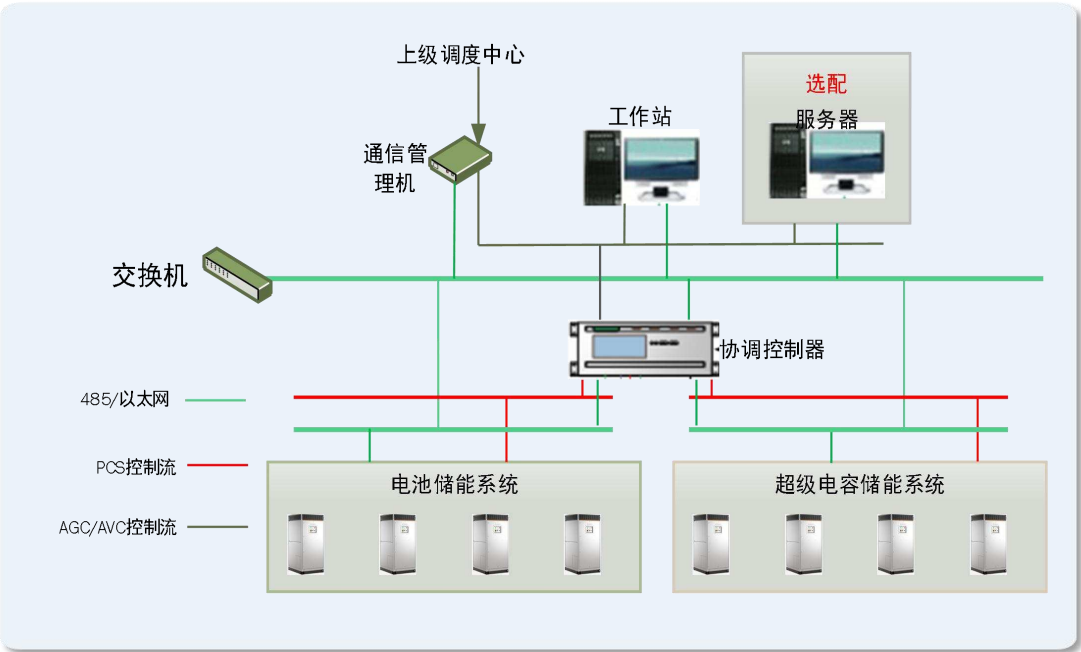


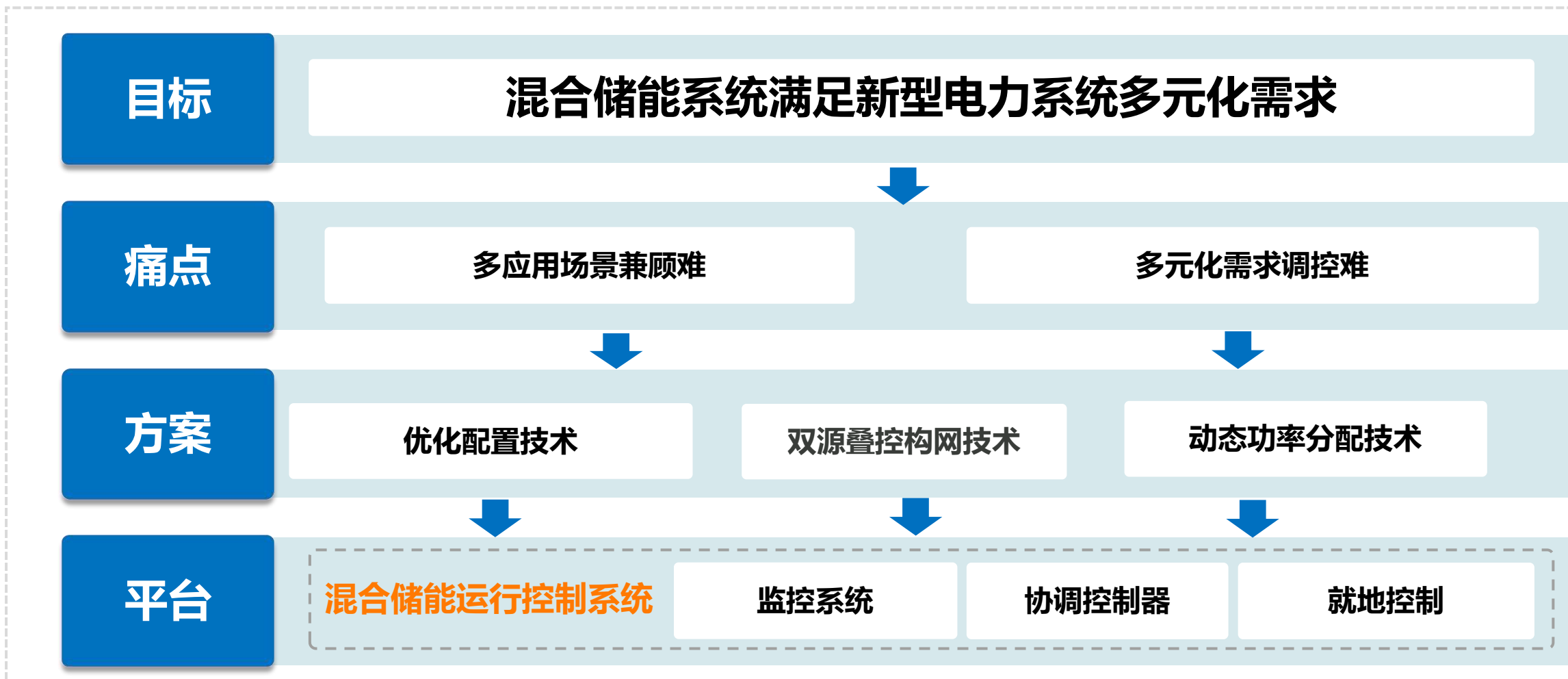
超容



锂电

工况适应性**更强**
电池寿命更长**更安全**
调频性能和收益**更高**

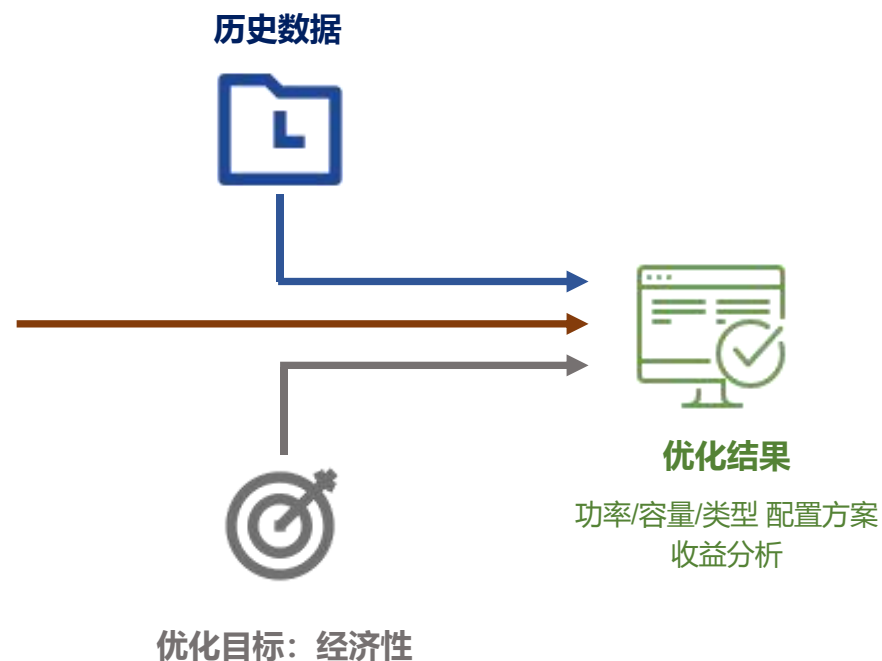




建立含不同储能类型的生命周期经济性模型，针对不同的应用场景组合，以经济性效益最优为目标，结合历史数据，生成混合储能功率/容量/类型等优化配置方案。

■ 优化配置方案

- 混合储能功率/容量配置方案
- 收益分析
- 运行寿命评估

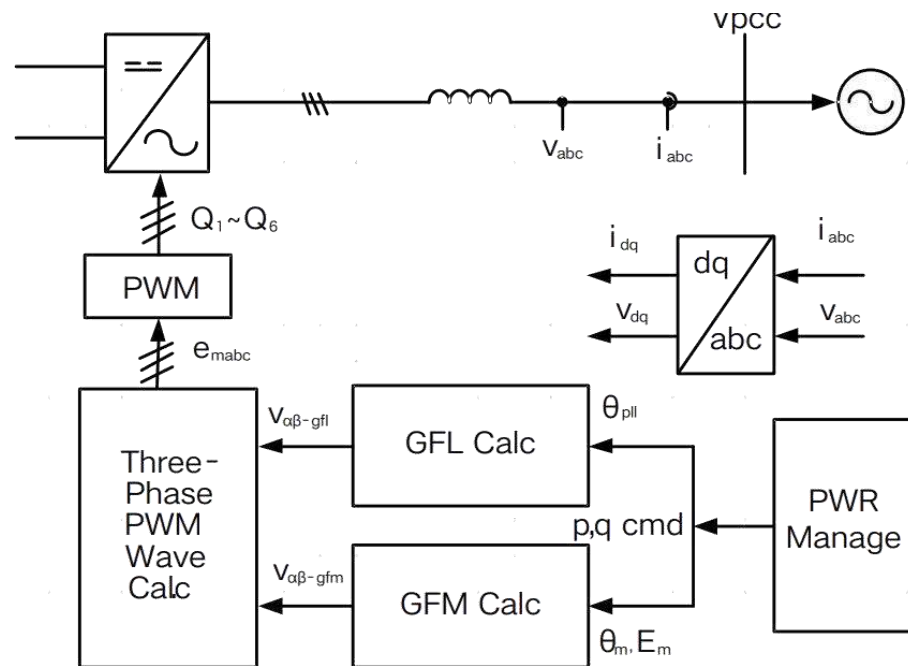


双源叠控构网技术

基于虚拟同步机（VSG）的双源叠控构网技术，同时进行电压源和电流源控制运算，实现强弱电网支撑能力的互补性，并可针对不同需求实现功率精细化分配与管理。

双源叠控构网

- 微秒级电压构建技术
- 自适应无极调节

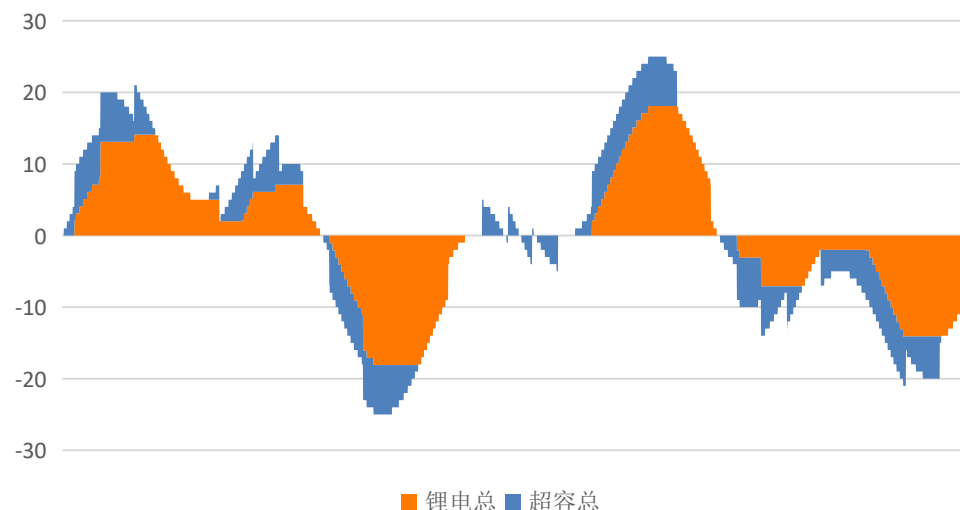


针对多需求场景的快速功率分配技术，功率型储能优先响应高频短时大功率变化量；同类型储能单元功率最优分配方法可减少不必要的储能调控，提升储能工作效率及运行寿命。

■ 动态功率分配

- 混合储能系统实时功率分配
- 簇级最优功率分配方法

功率型/能量型储能功率分配



混合储能系统能量管理



目录



1.背景与挑战

2.混合储能技术

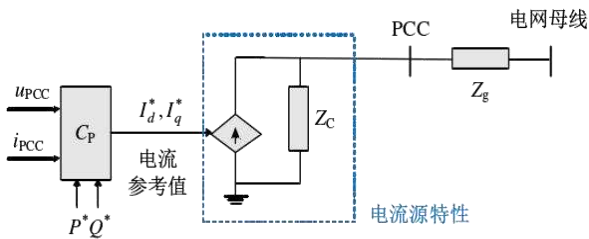
3.构网型储能技术

4.多元储能构网优势

5.应用场景及案例

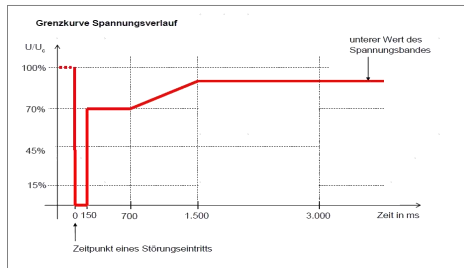
构网型储能技术可有效提升电网稳定性

跟随电网 Grid Following



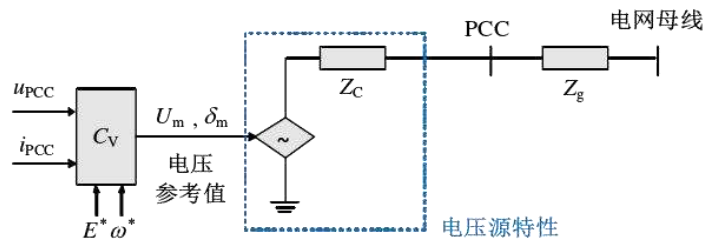
跟踪电网的电压、相位以控制电源系统的能量输出，但需要依赖于稳定的电网，无法应对电网的扰动。

支撑电网 Grid Supporting



电网支撑技术在全球范围内推出，变流器能够进行电流控制以支持电力系统稳定运行。

构网 Grid Forming



在系统强度弱、惯量低的电网中，变流器采用电压源控制，进行调频、调压，为系统提供虚拟惯量、阻尼、黑启动等构建电网功能。

构网型储能技术概述

构网型储能技术的核心是通过变流器采用与同步发电机类似的功率同步策略，构建起支撑大电网稳定运行的电压源，可以起到快速调频调压、增加惯量和短路容量、抑制宽频振荡等作用。

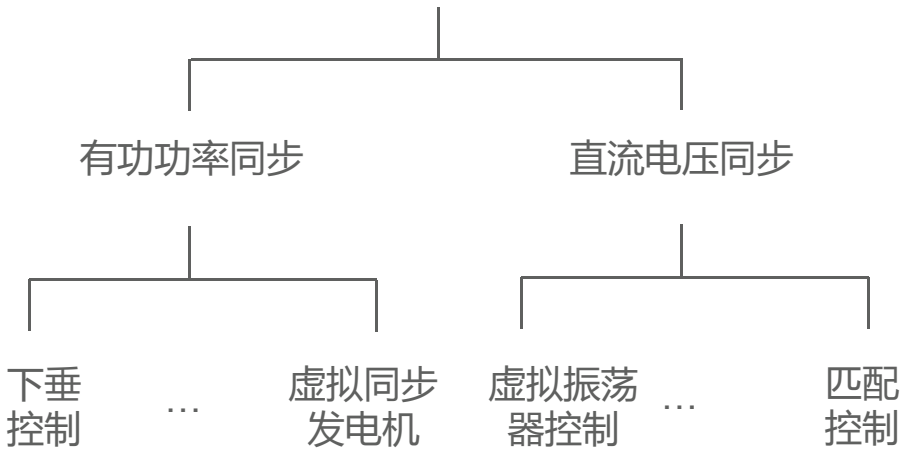
核心特点

- 将变流器控制成电压源而非电流源
- 通过控制变流器自身而非跟随电网来输出功率



构网型变流器可以在不依赖外界交流系统的情况下，自行构建交流侧输出电压，以便交流电力系统在正常、干扰、紧急情况下均能运行。因此构网型变流器可以孤岛运行，也可以接入极弱电网运行。

构网技术架构



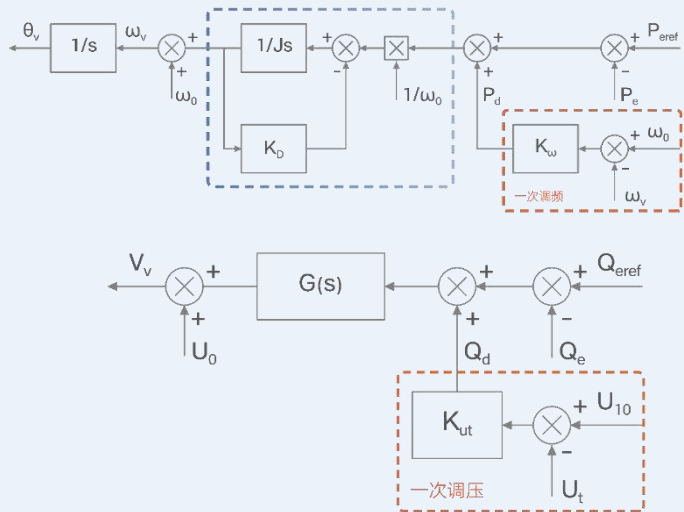
构建电网电压

通过模拟同步发电机的本体模型(VSG), 使变流器从运行机制和外特性上具有同步发电机相同的特性, 实现对同步发电机调频、调压特性的模拟。

稳定端电压幅值

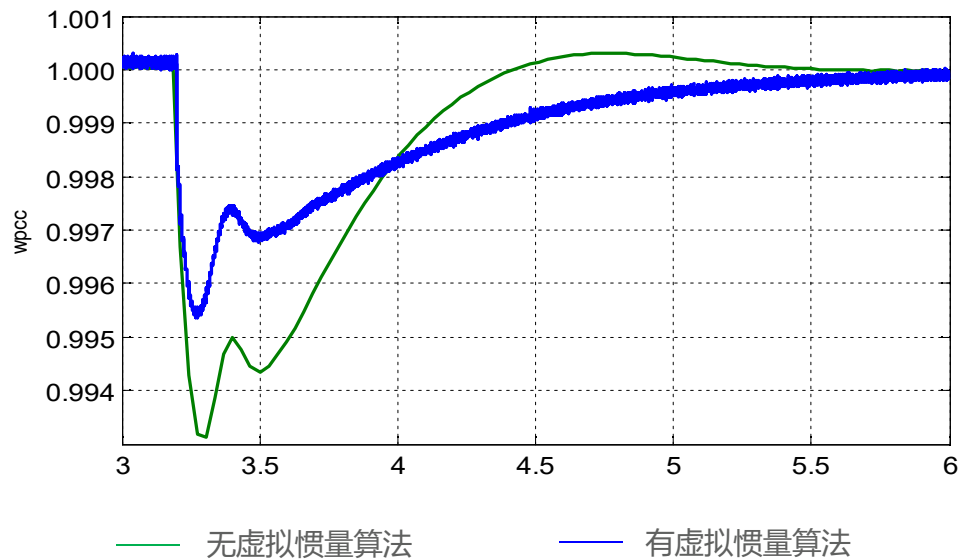
- 并网状态下稳定运行, 保证电压幅值、相位不变
- 离网状态下能独立或者与其他GFM变流器协同运行
- 支持并离网状态无缝切换
- 具备快速提供无功支撑能力

VSG 的有功-频率、无功-电压控制

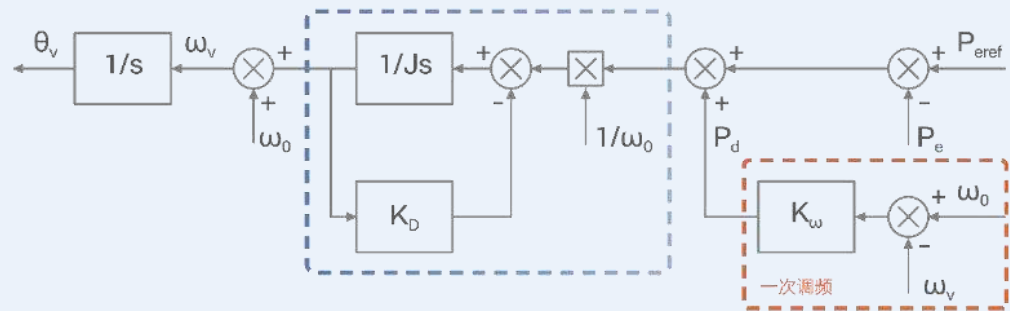


调频/惯量控制

在系统发生扰动时，VSG可以实时动态调整控制策略，根据扰动的大小动态调整转动惯量的大小，提高系统等效惯量水平和频率的稳定性。



VSG 有功-频率控制+惯量响应



构网型变流器振荡失稳的频率由低到高，分为低频振荡、次同步振荡、工频振荡以及高频/谐波振荡四个层面，可针对其共性的小信号稳定性问题，进行振荡抑制，提高电网稳定性。

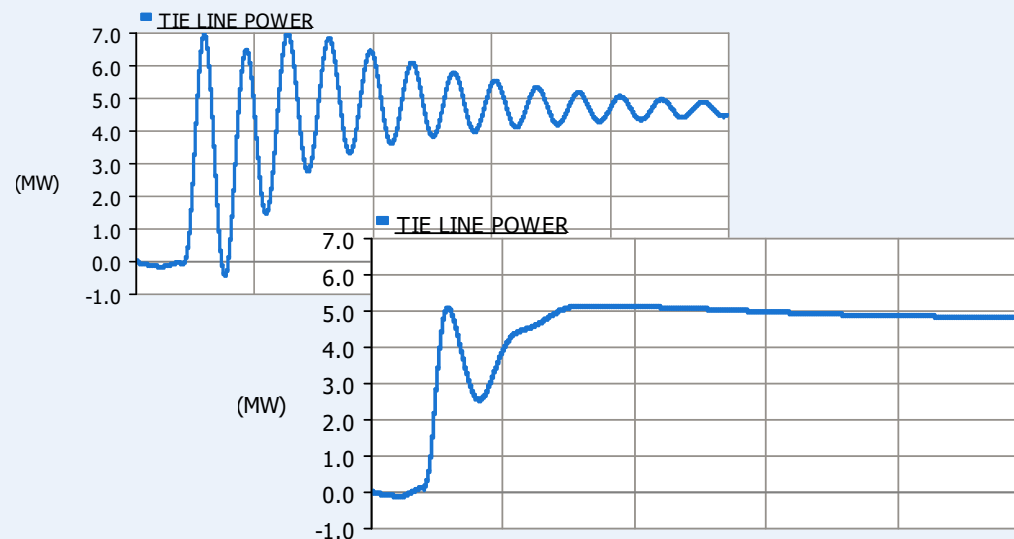
■ 自适应阻尼

- 构网型变流器的阻尼D是其自身控制参数，取值较为灵活

■ 控制策略改进

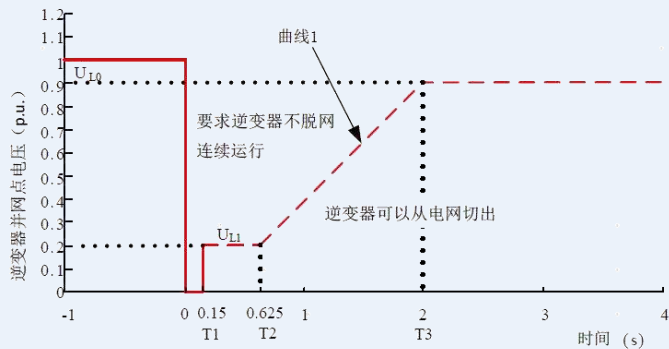
- 针对特征频率，采用虚拟阻抗、有源阻尼等进行阻抗重塑和振荡抑制

POD功率振荡抑制

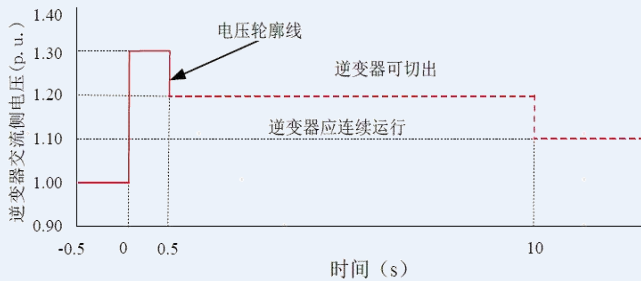


增强型连续高低电压穿越

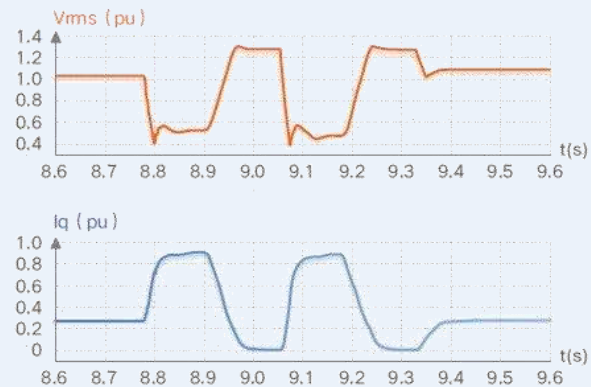
基于快速正负序解耦技术及动态虚拟阻抗技术，构网型变流器可以满足连续高低电压穿越的运行要求，快速抑制过载及过电压，保证电力系统稳定运行。



低电压穿越曲线



高电压穿越曲线

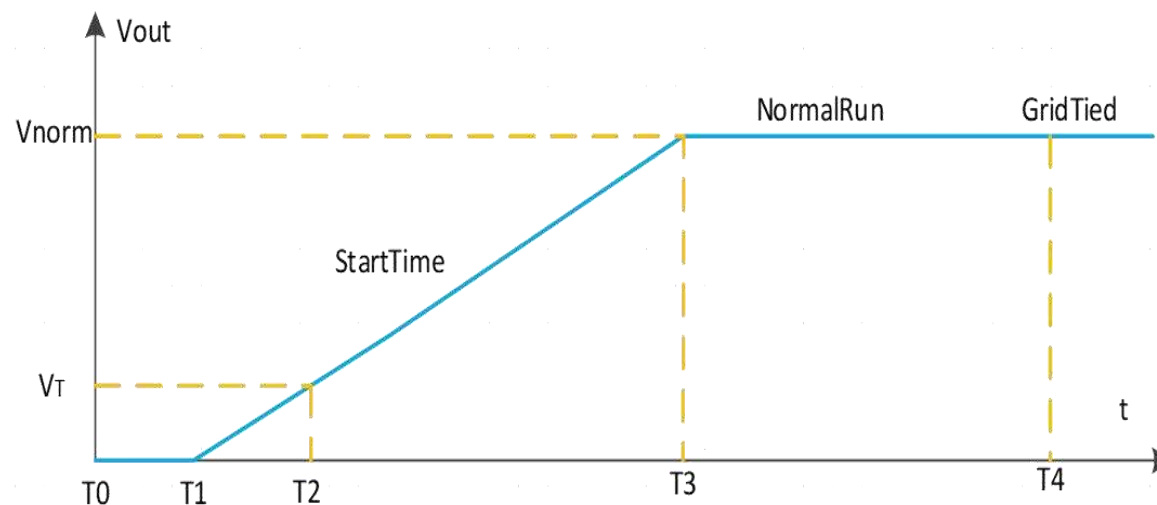


连续高低穿无功响应

构网型储能具备启动和支持系统崩溃后的重启能力，当微电网出现异常时，构网型储能可以自行完成交流电压的建立，为主发电单元提供励磁，在必要时自行组建电网。

■ 黑启动

- PCS并联协调控制建立励磁
- 具备自行组建电网能力



目录



1.背景与挑战

2.混合储能技术

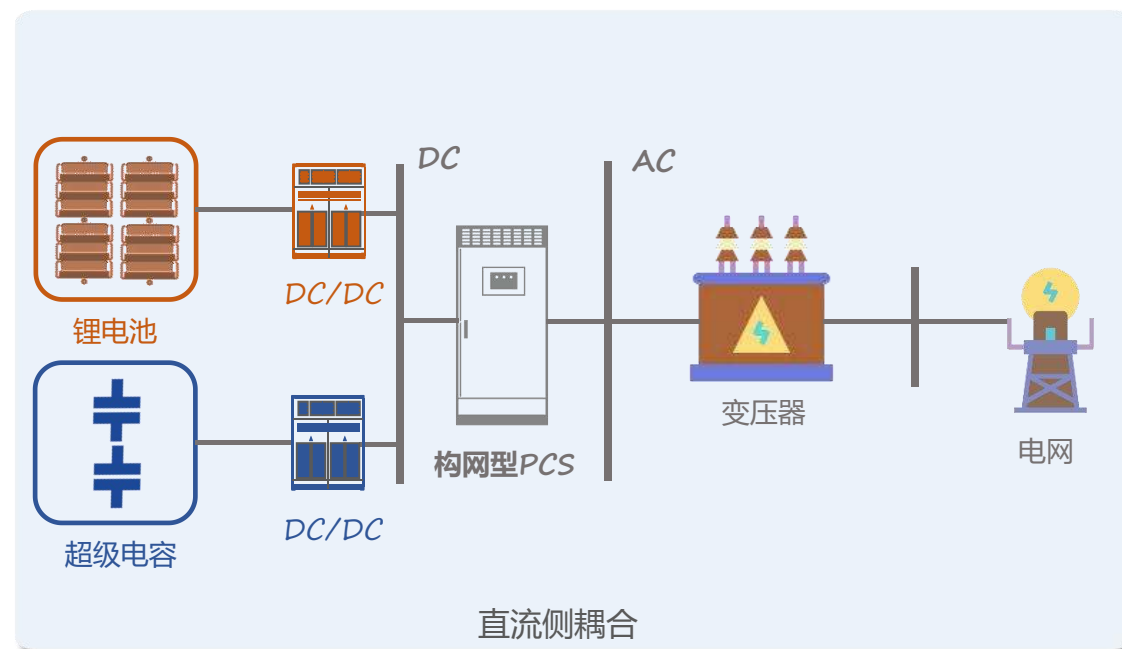
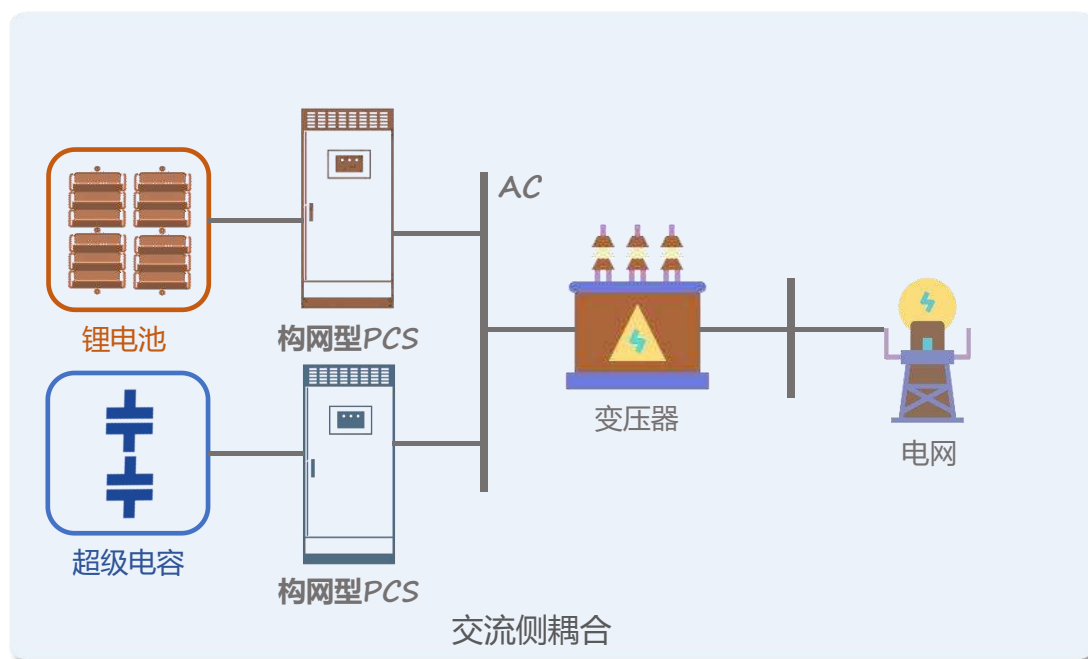
3.构网型储能技术

4.多元储能构网优势

5.应用场景及案例

多元储能构网技术进一步提升电网稳定性

基于构网型变流器的高速控制响应能力，以及功率型储能单元的快速大功率充放电特性，在混合储能系统中应用构网技术可进一步提升电网尤其是微电网的稳定性。



多元储能构网具备更好的短时过载能力

目前，新疆、西藏等省区已经对构网型储能应用提出了要求，其中要求构网型储能需具备**300%额定电流短时过载能力**，可进一步探索应用多元储能技术满足该要求。

新疆维吾尔自治区发展和改革委员会

自治区发展改革委关于组织上报 2023 年独立新型储能建设方案的通知

各地、州、市发展改革委：

为落实《国家发展改革委 国家能源局关于加快推动新型储能发展的指导意见》（发改能源规〔2021〕1051 号）、《自治区发展改革委关于建立健全支持新型储能健康有序发展配套政策的通知》（新发改规〔2023〕5 号）要求，推进我区储能产业有序发展，现将 2023 年独立新型储能建设有关事项通知如下：

一、我委已会同国网新疆电力公司分析各地区 2024 年电力平衡情况，根据电力顶峰需求测算 2023 年独立新型储能建设规模。国网新疆电力公司已提出独立新型储能推荐布局，供各地参考。请各地、州、市根据本次下发建设规模，抓紧制定本地区 2023 年独立新型储能建设方案，明确拟建设储能项目规模、布局和时序等。

二、鼓励各地新建共享储能，积极探索建设构网型储能，喀什、和田、克州、塔城、阿勒泰、巴州等地构网型储能比例原则上不低于年度独立新型储能规模的 20%。支持同一区域内已建成的配建储能设施，在具备单独计量、独立控制条件后，

附件 4

构网型新型储能并网技术要求

构网储能技术基于储能及电力电子变流器，实现与同步机类似甚至超越同步机的电压源外特性。除了具备电力电量平衡的功能外，构网储能可提升系统惯量与短路容量、提升新能源多场站短路比、改善电网阻抗特性，能够有效调和新能源发展面临的电力电量平衡问题和稳定问题，是新型电力系统建设的关键技术。

构网型储能除应满足常规储能各项指标外，还应满足以下技术要求：

1.构网型电化学储能系统应具有构网控制功能，能为系统提供惯量和短路容量，在稳态、暂态过程中，构网变流器机端电压的幅值和相角应具有一定维持能力，能够分担电网不平衡功率，功率响应时间不大于 5ms。

2.构网型电化学储能系统支持的惯性时间常数最大值不小于 20 秒，并可根据接入系统的需要灵活调整。

3.构网型电化学储能系统交流侧电流在 110% 额定电流下应能长期持续运行；在 120% 额定电流下，持续运行时间应不少于 2min；且具备 300% 额定电流 10 秒短时过载能力。

普通事项

国网西藏电力有限公司文件

藏电调控〔2023〕492 号

国网西藏电力有限公司关于印发西藏电网构网型储能并网技术要求的通知

公司各有关单位，西藏电网各发电企业：

按照西藏自治区发改委印发的《关于积极推动西藏电力系统构网型储能项目试点示范应用的通知》有关要求，国网西藏电力有限公司积极响应“提出符合西藏电网特点的构网型储能并网技术要求”。在国调中心的指导及部署下，国网西藏电力有限公司联合运行、科研、设备制造等单位编制完成了西藏电网构网型储能并网技术要求，并于 9 月 1 日通过了自治区能源局、国调中心、中国电科院等有关专家评审。现将西藏电网构网型储能并网技术要求予以印发（详见附件），请各单位遵照执行。

各单位要高度重视构网型储能有关技术指标的重要性，在招

附件 1

西藏电网构网型储能并网技术要求

一、硬件指标

- 1.构网储能系统具备一定的电压和频率耐受能力。在 46.5Hz~53Hz 频率以内可维持运行。
- 2.构网储能系统在变流器交流端口电压 $0 < U < 110\% U_n$ 范围内应不脱网连续运行，高电压情况应满足图 1 所示的要求。

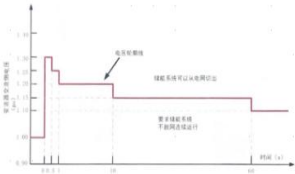


图 1 构网储能系统过电压保护定值

注：图中的标幺值以变流器交流侧标称电压为基准

- 3.构网储能系统具备一定的过载能力。储能系统交流侧电流在 110% 额定电流下应能长期持续运行；在 120% 额定电流下，持续运行时间应不少于 2min；支持 300% 额定电流不小于 10 秒短时过载能力。

多元储能构网的优势

功能	混合储能系统 (超级电容+锂电池)	锂电池储能系统
功率控制	充放电转换时间极短，可根据场景执行精细化功率分配	充放电转换时间短
惯量响应	具备更好的惯量响应速度及支撑能力	惯量响应时间较长
故障穿越	利用功率型储能特性完成短时故障穿越(300%过载等)	短时3倍过载支撑能力不足
并离网切换及运行	混合储能构网响应速度快，更全面覆盖并网/离网运行工况	并网/离网运行控制时间长
调频/调压能力	一次调频、电压阶跃响应调节速度快 (100ms以内)	电压、频率响应调节时间较长
振荡抑制	根据不同振荡类型，快速高效完成振荡抑制	振荡抑制调节时间长，类型单一
黑启动	具备更好的抗励磁冲击能力	抗励磁冲击能力弱

目录



1.背景与挑战

2.混合储能技术

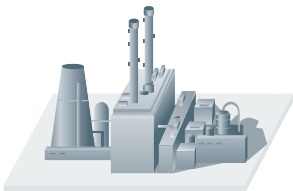
3.构网型储能技术

4.多元储能构网优势

5.应用场景及案例

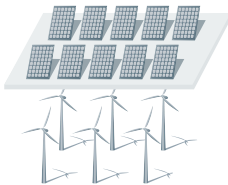
混合储能应用场景

火电厂



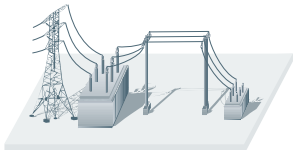
火储联合调频，实现对调节指令的毫秒级响应，提升调频性能与收益

新能源场站



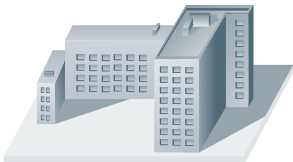
辅助新能源场站进行一次调频、惯量支撑、平抑功率波动以及能量时移

电网侧



电网侧调频、调峰，参与辅助服务，缓解线路阻塞，黑启动

用户侧



减轻负荷冲击（例如港口、抽油机），提升电能质量，实现并离网无缝切换

构网型储能技术应用价值



提升系统强度和短路容量

提升了电网强度和稳定裕度，使得系统具备更高水平的可再生能源发电消纳能力。



提供惯量支撑

为新能源电站提供基于构网型变流器的惯性，确保电力系统在干扰期间坚固而安全。



抑制宽频振荡

通过阻抗重塑和改进控制结构，提升系统稳定性，保证电网可靠运行。



支持快速黑启动

快速安全地进行本地电网分散式黑启动，具有独立组建电网的能力，快速恢复电网，并支持构网型变流器孤岛运行。

应用案例介绍

SUNGROW



港口电能质量治理

上海洋山港



风机惯量支撑改造

山西昔阳

应用案例介绍

SUNGROW



电网频率支撑

英国门迪



源网荷储一体化系统

沙特Amaala景区

应用案例介绍

SUNGROW



海岛微电网

广西涠洲岛



偏远地区微电网

西藏措勤

谢谢
Thanks

