



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

新型配电系统经济高效的 电力电子化柔性配电 解决方案

汇报人：施刚

单位：上海交通大学 电气工程学院

汇报提纲

发展背景及
技术概念

01

国内外应用
示范现状

02

研究成果及
创新点

03

规划与展望

04

配电网新能源发展机遇及挑战

分布式可再生能源、电动汽车等电气化负荷的**广泛接入**，配电网面临着**电压越限**、**线路过载**、**新能源消纳能力不足**等问题，严重影响配电网的**安全运行**。

“双碳”目标驱动下，分布式电源快速发展



2021年9月14日，国家能源局发布《关于公布整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点名单的通知》，全国共计**676个县（市、区）**试点地区光伏总规模近**170GW**。



整县光伏接入模式

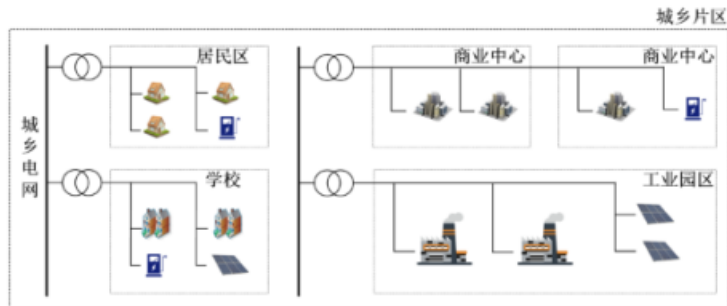
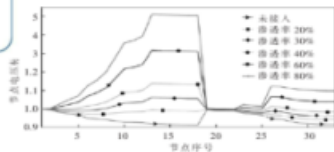
220V接入：居民家庭屋顶；
380V接入：小型工商业屋顶；
10kV、35kV并网接入：大型工商业等屋顶。

整县光伏接入挑战

光伏出力具有很强的随机性和间歇性，低电压高比例接入将加剧配电网三相不对称程度，导致馈线负载不均衡、电压频繁波动越限、功率倒送等诸多问题。



$$\text{可再生能源渗透率} = \frac{\text{可再生能源容量}}{\text{配电网额定容量}}$$



▲ 电压越限，用电设备损坏 ▲ 线路及变压器过载，烧毁 ▲ 消纳能力不足，弃光

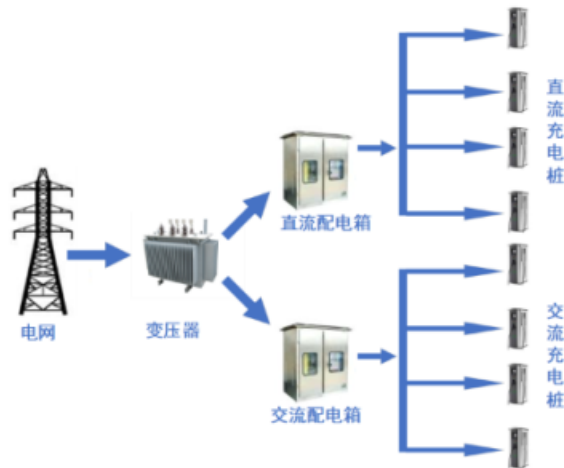
传统配电网**辐射型架构**以及**有限调控能力**=>用电设备损坏及线路、变压器**过载烧毁!!!**

配电网泛电气化发展机遇及挑战

分布式可再生能源、电动汽车等电气化负荷的**广泛接入**，配电网面临着**电压越限**、**线路过载**、**新能源消纳能力不足**等问题，严重影响配电网的**安全运行**。



国网经营区电车充电桩趋势



电动汽车充电桩并网方案

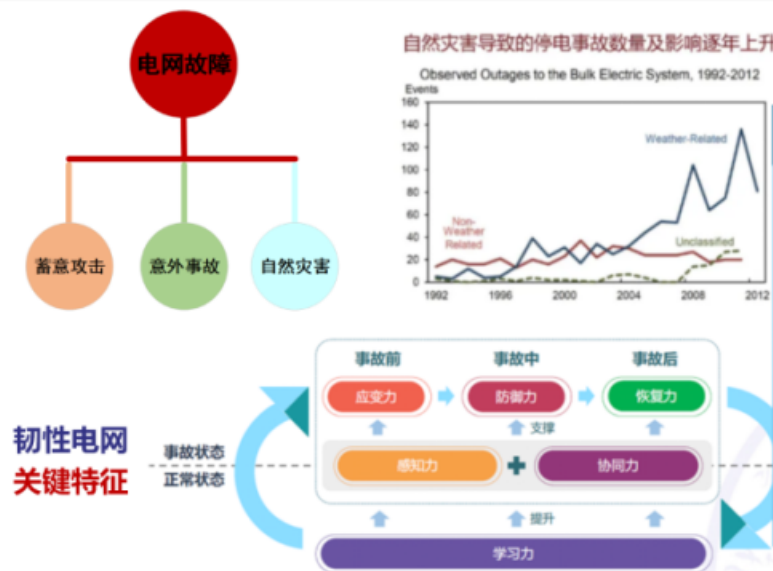


变压器因过载被烧毁

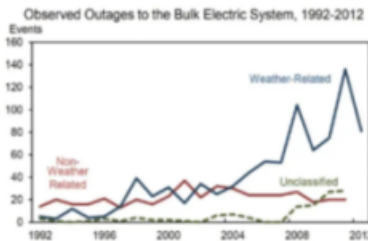
传统配电网**辐射型架构**以及**有限调控能力**=>用电设备**损坏**及**线路**、**变压器过载烧毁!!!**

配电网高品质供电发展机遇及挑战

分布式可再生能源、电动汽车等电气化负荷的**广泛接入**，配电网面临着**电压越限**、**线路过载**、**新能源消纳能力不足**等问题，严重影响配电网的**安全运行**。



自然灾害导致的停电事故数量及影响逐年上升



较国际领先水平存在较大差距

世行营商环境报告中国际领先水平的大型城市用户平均停电时间为：东京0.02小时，首尔0.04小时，新加坡0.06小时，纽约0.18小时，柏林0.25小时。**对标国际领先水平，公司配电网的建设、运行、管理水平尚需进一步提升。**

与国内其他先进城市存在差距

以国内50个重点城市指标情况为例，2020年排名前五的城市分别为：深圳0.21小时、广州0.3小时、上海0.3小时、宁波0.31小时、杭州0.34小时，**公司城网可靠性指标最好水平与南网存在差距。**

常规解决方案及问题

变压器与配电线路增容改造

传统
解决
方案



可提高电网的配电能力

但城市输配电走廊增容困难,线路整体改造成本高

储能装置接入



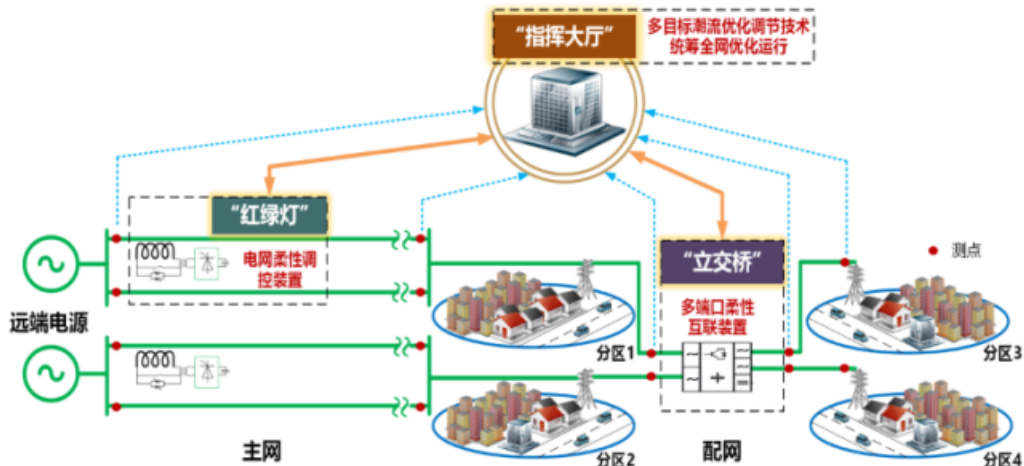
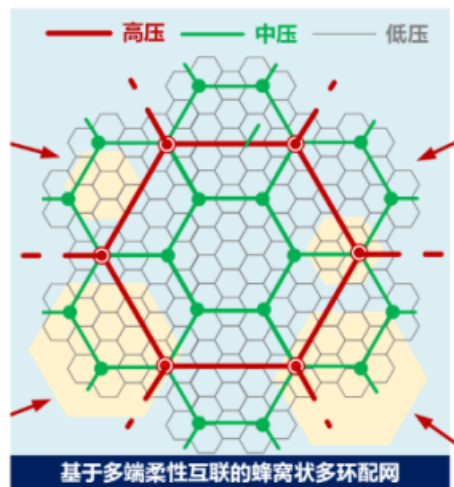
具有较好的功率平滑和削峰填谷功能

但经济性有待商榷,存在安全隐患

亟需探索更为经济、安全、有效的电力调节手段

新型解决思路—网络化、互联化

基于**互联网“共享”**的思想，打通传统的交互壁垒，通过**网络化、互联化**以提升设备的综合利用率，以提升配电网的**高效可靠供电、源荷接纳、灵活运行能力**；



柔性互联：采用**电力电子变换器**取代传统的机械式联络开关，以**灵活、快速、精确**地控制网络间的潮流，实现区域配电网间**常态化“软连接”**，构成**柔性网络化系统**

汇报提纲

项目背景及
意义

01

典型场景
应用示范

02

研究成果
创新点

03

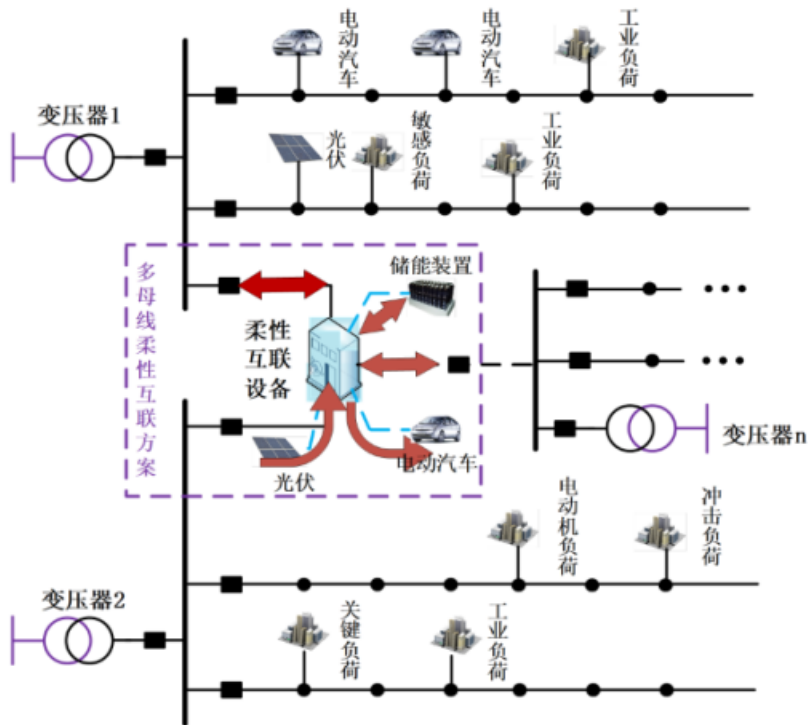
规划与展望

04

典型应用场景① 新型源-荷-储高密度接入

新能源消纳及新型电气化负荷接入

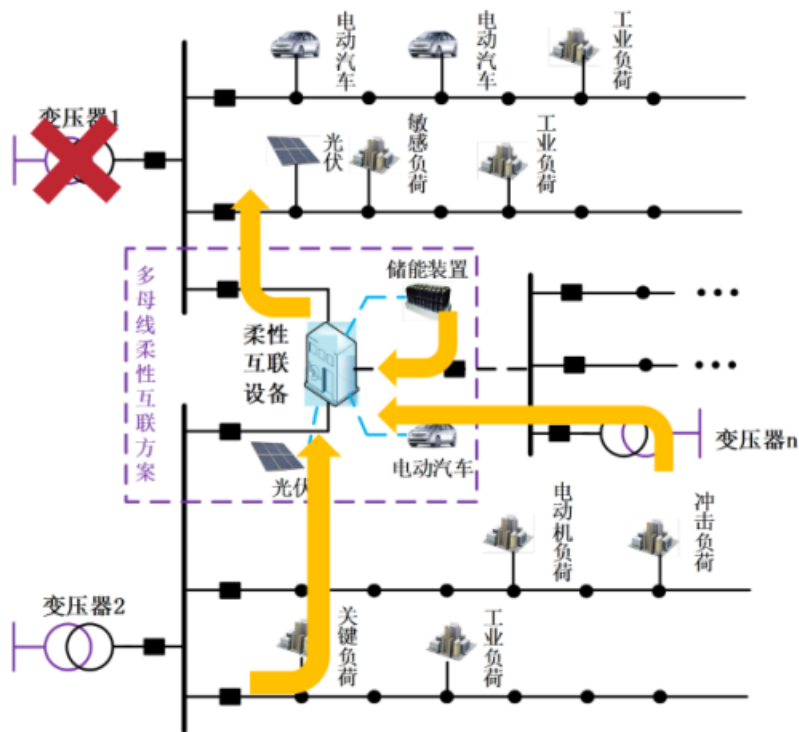
- 多端**互联互济**，配网合环运行
- 优化系统潮流，**缓解馈线堵塞**
- 实现分布式能源、新型用电负荷与储能的**友好接入**



典型应用场景② 柔性配电故障自愈

柔性配电系统故障状态实现自愈

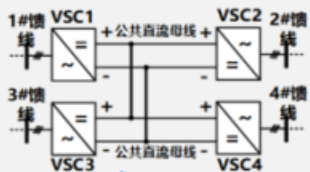
- 故障状态下灵活实现**负荷转供**
- 充分利用馈线剩余容量，**提高馈线利用率**
- 配电网**韧性**大大提升



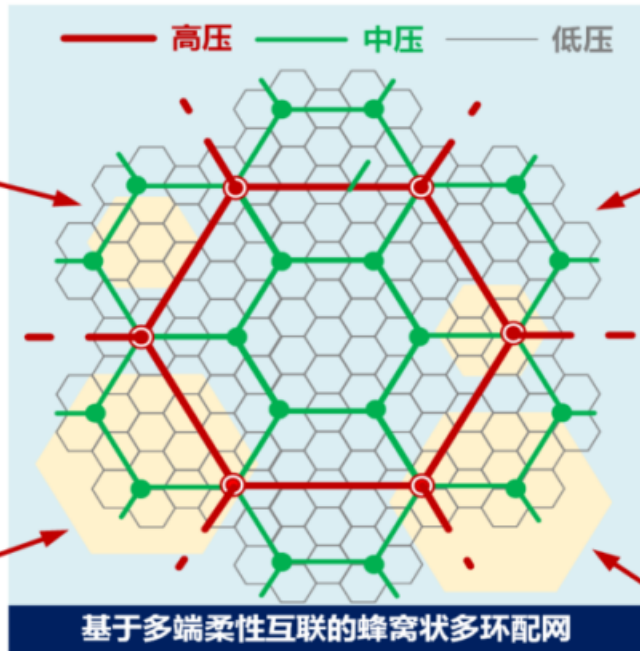
典型应用场景③ 能源互联网的核心纽带

配电网络化互联化，为绿色智慧的城市能源系统提供电气枢纽通道；成为联结电、热、水、气等多种能源，实现能量统一调控分配的关键纽带

柔性互联



SOP及其多端互联形态



基于多端柔性互联的蜂窝状多环配网

多元融合

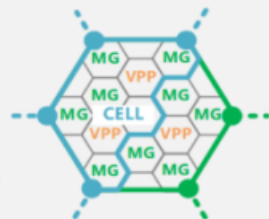


多态混合



柔性交流
多端柔直
混合配电
统一接口
...

区域自治



微电网
CELL
虚拟电厂
微型能源网
...

国内外应用示范现状

- 国家陆续发布**双碳目标**、**新型电力系统**等国家战略。
- **直流与交流深度融合**，**新能源占比不断提升**，是新型电力系统重要形态特征。



柔性互联应用得到验证，但是基于**柔直结构**的多端口方案普遍存在**成本高、体积大、效率低**等问题，**阻碍了**柔性互联应用的进一步推广



汇报提纲

项目背景及
意义

01

国内外应用
示范现状

02

研究成果及
创新点

03

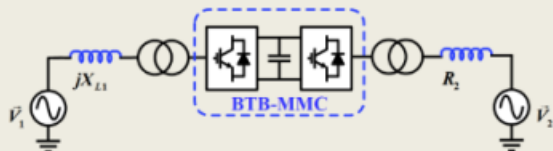
规划与展望

04

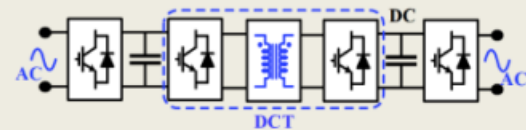
多端口潮流调控原理

现有示范装备：多个**全功率**电力变换器通过中压或者低压直流耦合成多端口柔性互联装备，装置**成本高、运行损耗大、占地面积广**。

全功率变换



背靠背MMC型

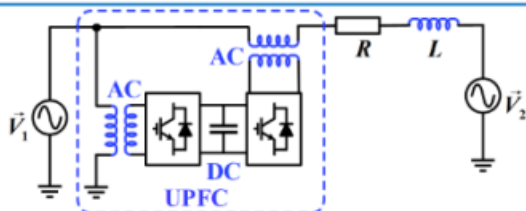


背靠背型电力电子变压器

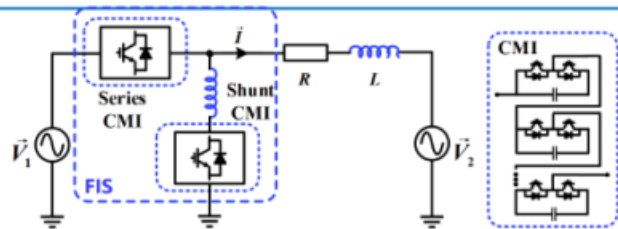
部分功率变换

+

无工频变压器设计



统一潮流控制器

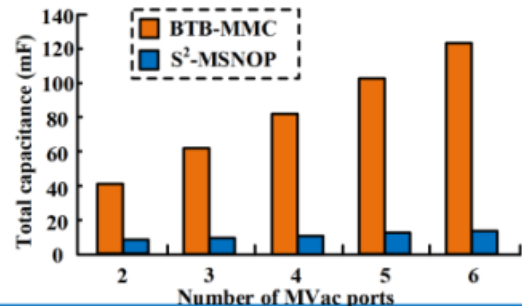
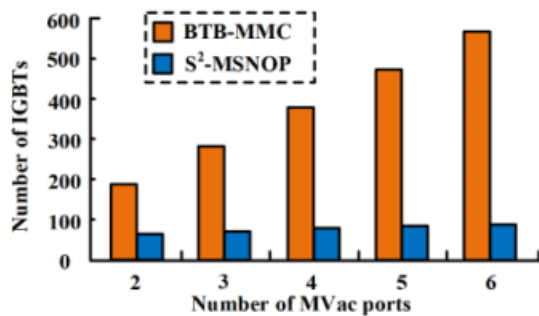
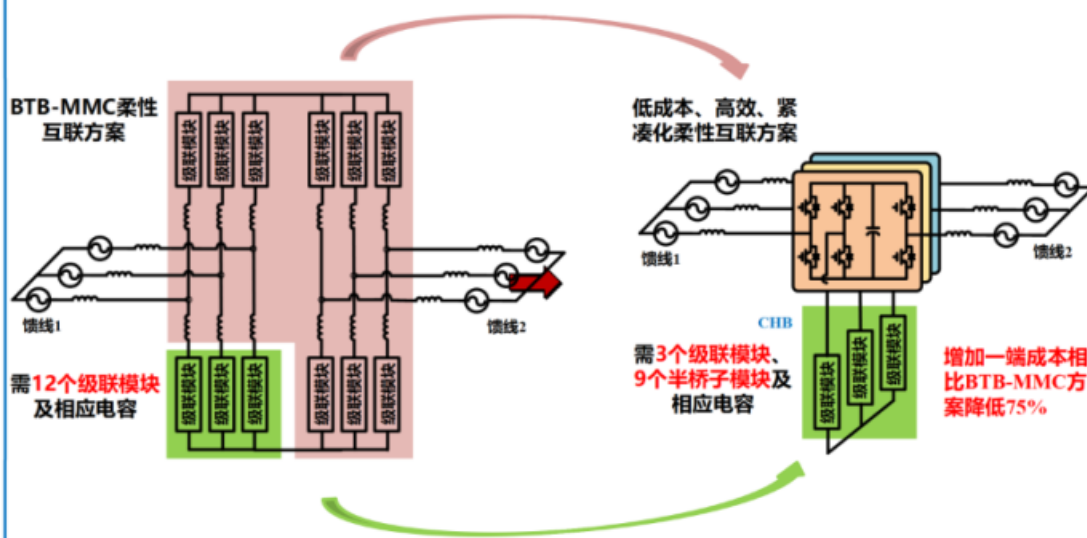


无变压器型统一潮流控制器

所提装备：通过串联可调电压源**部分功率**型电力变换，实现**多端潮流灵活控制**。且提出**无工频变压器设计**，降低**成本和体积**。

多端口潮流调控装备对比

串-并联型柔性互联开关与背靠背型MMC全功率方案对比



相比于BTB-MMC方案，所提拓扑在器件数量、经济性、占地体积上具备较大优势

装备拓扑及应用拓展

针对新型配电网的应用，可以灵活扩展：**多中压交流端口、中压直流端口、低压直流端口**以及**内嵌储能**等，实现配电网分布式能源、储能与新型负荷的高比例接入

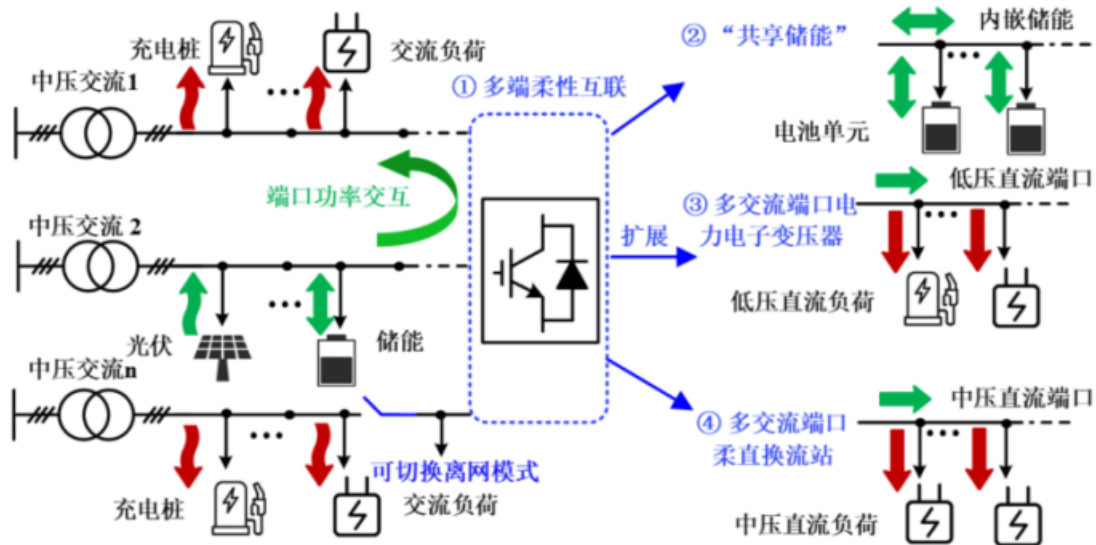
端口灵活扩展

+

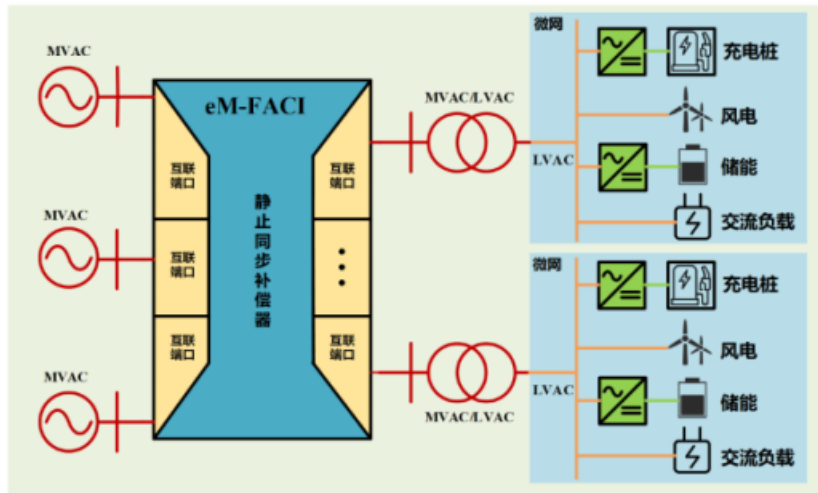
交直流混合

+

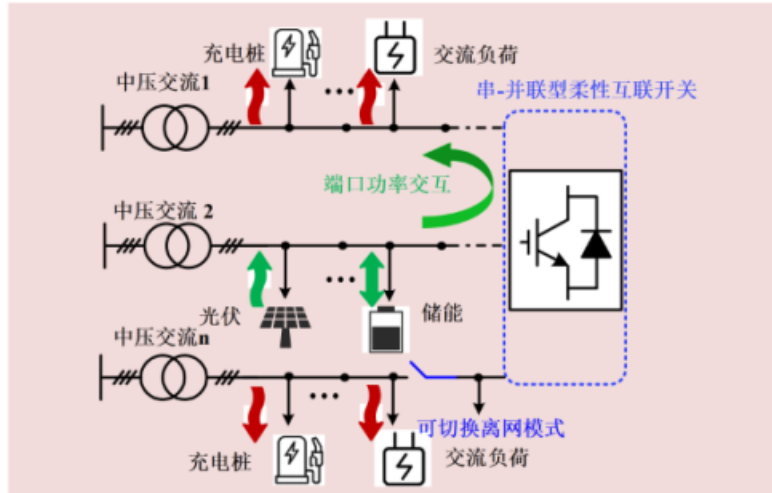
储能多端共享



多端口潮流调控应用① 中压交流柔性互联



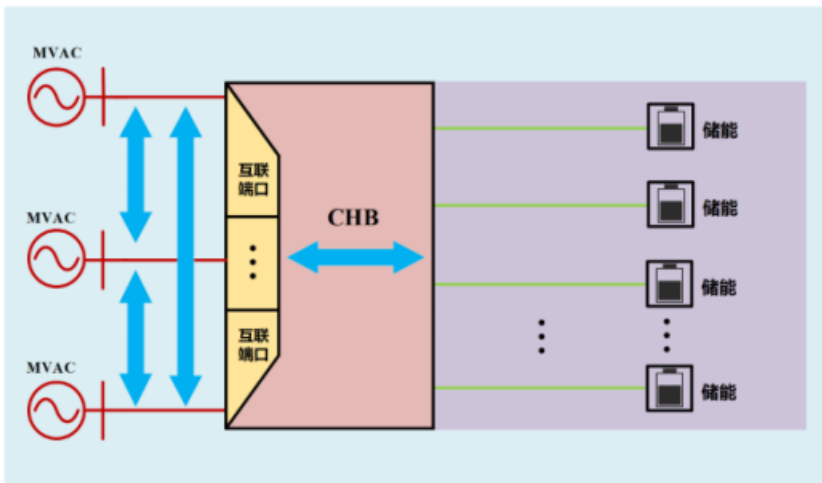
装置接入示意图



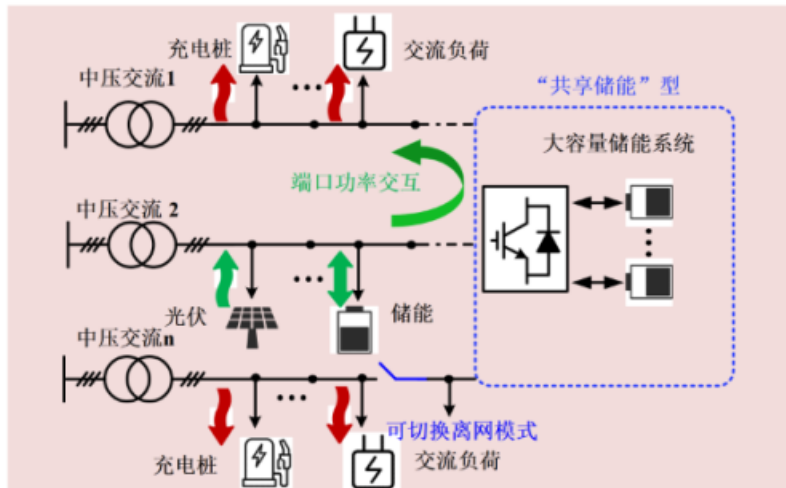
系统交互示意图

中压交流端口灵活扩展，可实现多条馈线间的潮流柔性调控，可提供无功支撑，改善电能质量，适用于分布式能源广泛接入、负荷不均衡与馈线堵塞的交流配电网。

多端口潮流调控应用② 区域配电网“储能共享”



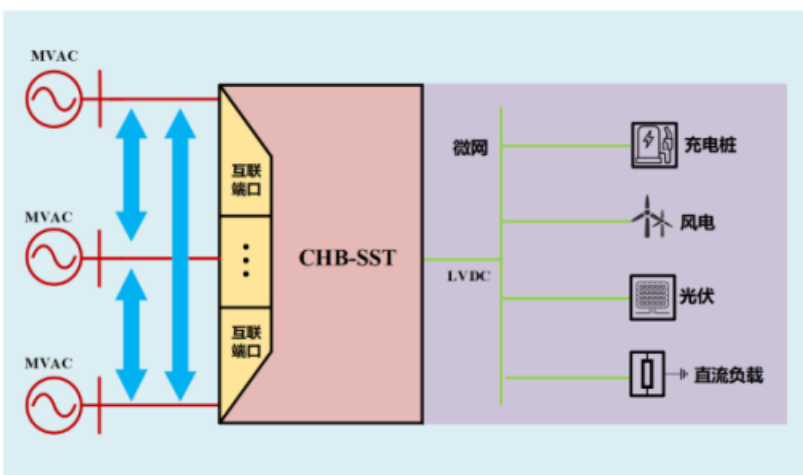
装置接入示意图



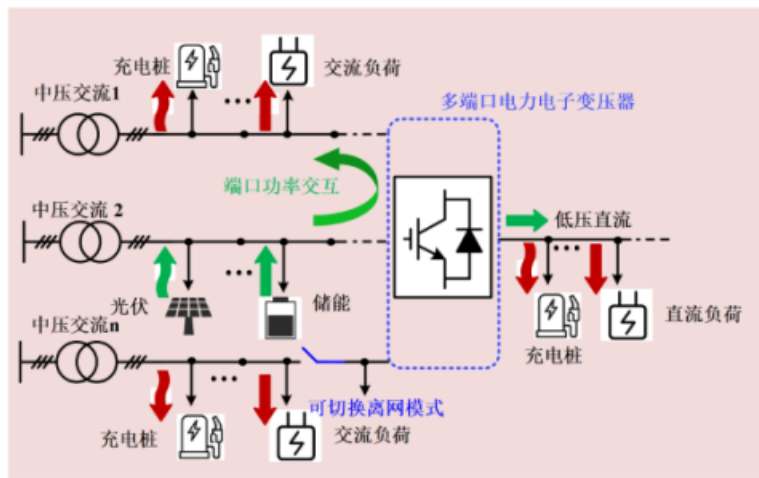
系统交互示意图

子模块直流侧增加电池单元，构成**多中压交流端口链式电池储能高压直挂功率变换系统**，能够实现**储能电池分割管控及多网间功率互济与储能共享**，提高**储能系统利用率**。

多端口潮流调控应用③ 低压多端联合供给



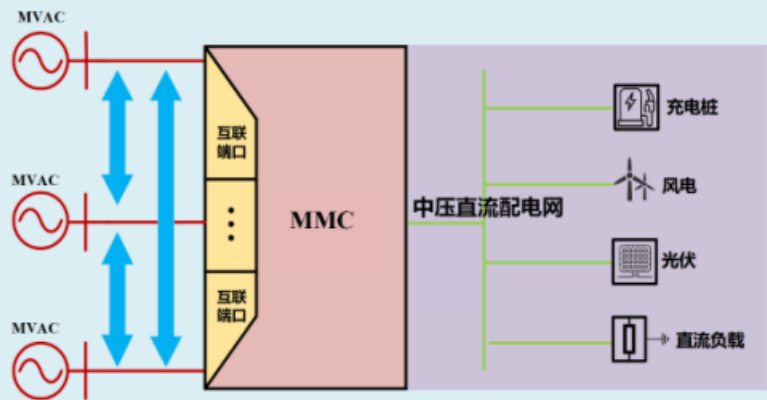
装置接入示意图



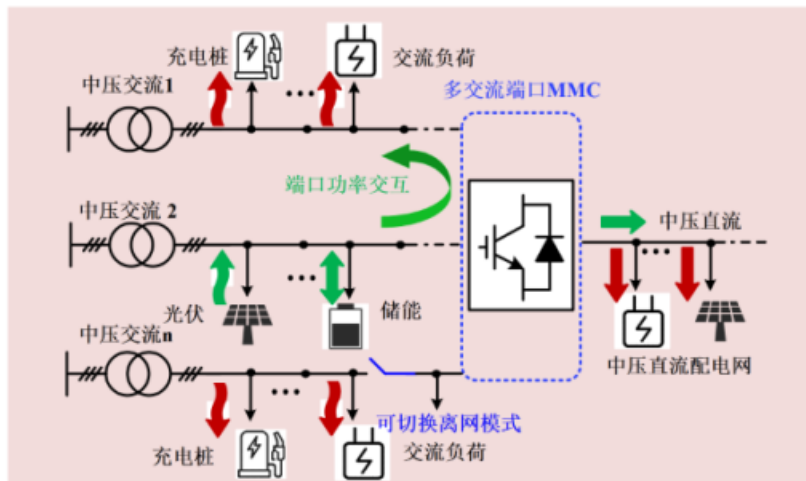
系统交互示意图

具有多个中压交流端口与**低压直流**端口，可以灵活调节多条交流馈线与低压直流端口之间的**功率交互**，实现**低压用户的多端联合供给**。

多端口潮流调控应用④ 中压直流多端馈入



装置接入示意图



系统交互示意图

具有多个中压交流端口与中压直流端口，可实现多条馈线与中压直流间的潮流调控，实现中压直流多端馈入，适用于中压直流“源-荷-储”广泛接入的交直流混合配电网

汇报提纲

项目背景及
意义

01

国内外应用
示范现状

02

研究成果及
创新点

03

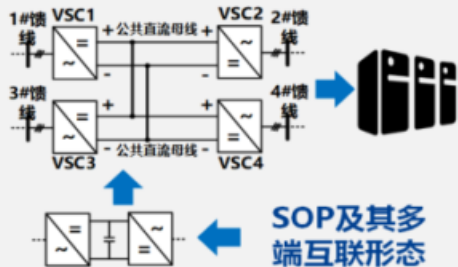
未来规划与
展望

04

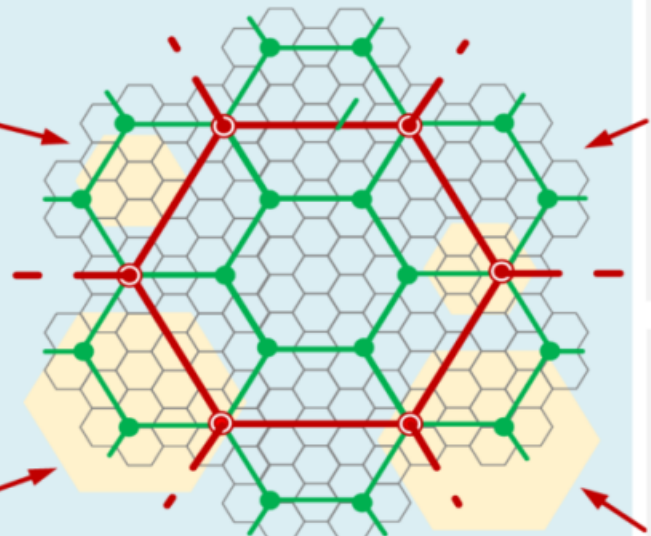
未来愿景

◆城市智慧能源体系，以**灵活、可控**的柔性互联化配电系统为纽带，构建电、热、气等多种能源网络通道，实现多异构能**互联互通可控**的综合优化调控。

柔性互联



— 高压 — 中压 — 低压



多元融合

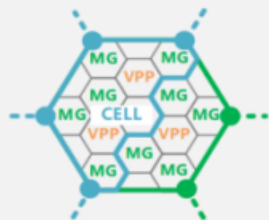


多态混合



基于多端柔性互联的蜂窝状多环配网

区域自治



柔性互联装置

- ✓ 低成本高功率密度
- ✓ 高效可靠
- ✓ 柔性快速解耦控制
- ✓ 安全稳定运行

示范落地

- 国家重点计划支撑
- 电力能源行业支持
- 智能电网联合基金
- 上海市科委基金

柔性互联配电系统

- ✓ 多网资源协同共享
- ✓ 主动潮流精确控制
- ✓ 馈线负荷均衡
- ✓ 新能源消纳能力提升

推广应用

- 长三角互联
- 高品质供电
- 新能源消纳

区域能源互联网

- ✓ 综合能源系统规划
- ✓ 区域能源共享机制
- ✓ 多能互补耦合机理
- ✓ 多场景和商业模式

标准制定

- 基础能力建设
- 综合能源服务
- 商业模式与业务创新

城市智慧能源系统

- ✓ 联结电、热、水、气等多元能源系统融合
- ✓ 实现多能源网的开放互联、自由传输、灵活接入与自由交易

标准制定

- 国标
- IEC
- IEEE



汇报结束
衷心感谢各位专家！



面向双碳需求，立足电气前沿
互联互通，解决配网瓶颈问题