

第二届全国电力市场下虚拟电厂应用发展论坛

演讲主题：虚拟电厂与大电网三道防线的关系探讨

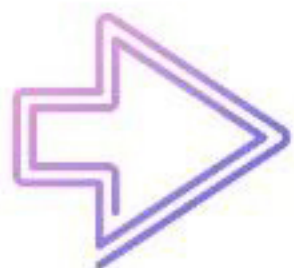
演讲单位：国网浙江省电力有限公司

演讲人：裘愉涛

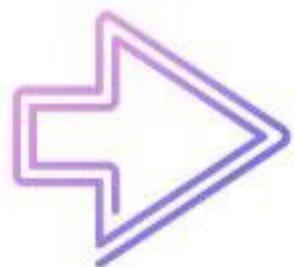
浙江·杭州
2024年7月4日-5日



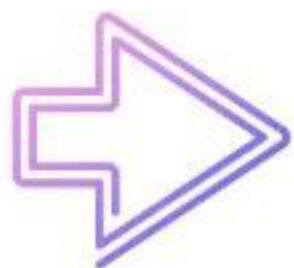
Q 目录



大电网三道防线概述



新型配电网三道防线建设现状



虚拟电厂与三道防线探讨

第二届虚拟电厂

01

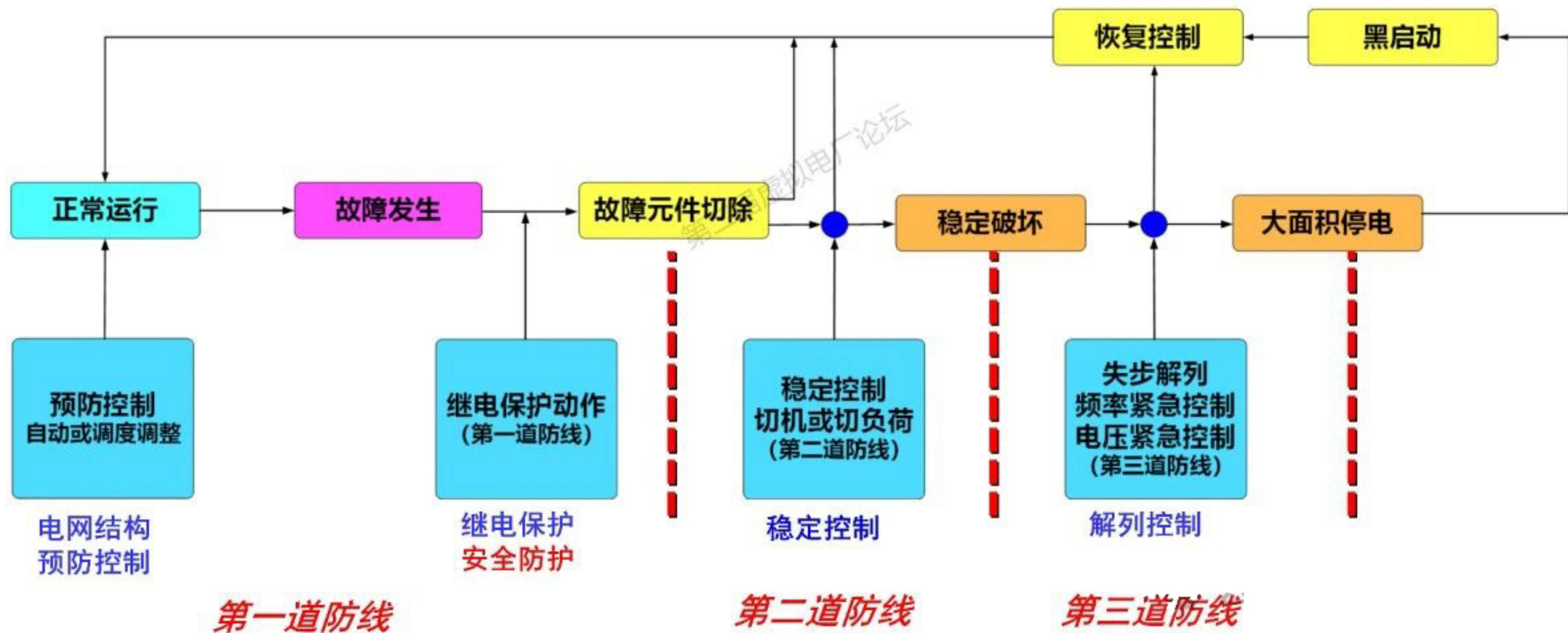
大电网三道防线概述

虚拟电厂论坛



电力系统三道防线控制理念

《电力系统安全稳定导则》-安全稳定标准分为三级：第一级标准保持稳定运行和电网的正常供电；第二级标准保持稳定运行，但允许损失部分负荷；第三级标准当系统不能保持稳定运行时，必须防止系统崩溃并尽量减少负荷损失。





🔍 第一道防线：预防性控制和继电保护

预防性控制：通过改变电网的系统运行方式，增加有功、无功备用容量等方式，满足电网运行“N-1”要求。

继电保护：有选择的快速切除该故障设备，防止故障进一步扩大，为电网的安全稳定运行奠定坚实的基础。

电网的运行方式

合理安排电网的运行方式，避开不可控的电网拓扑结构和运行状态，控制区间联络线输送功率预留必要的安全稳定裕度，确保遇到N-1事故时，不动用稳控措施(特高压大容量直流除外)。

备用的有功无功

安排足够的有功备用和无功备用，应对大电源(尤其是新能源的间歇性)或大负荷的波动，维持系统频率与关键节点电压的变化在允许范围内。

有选择的快速切除故障

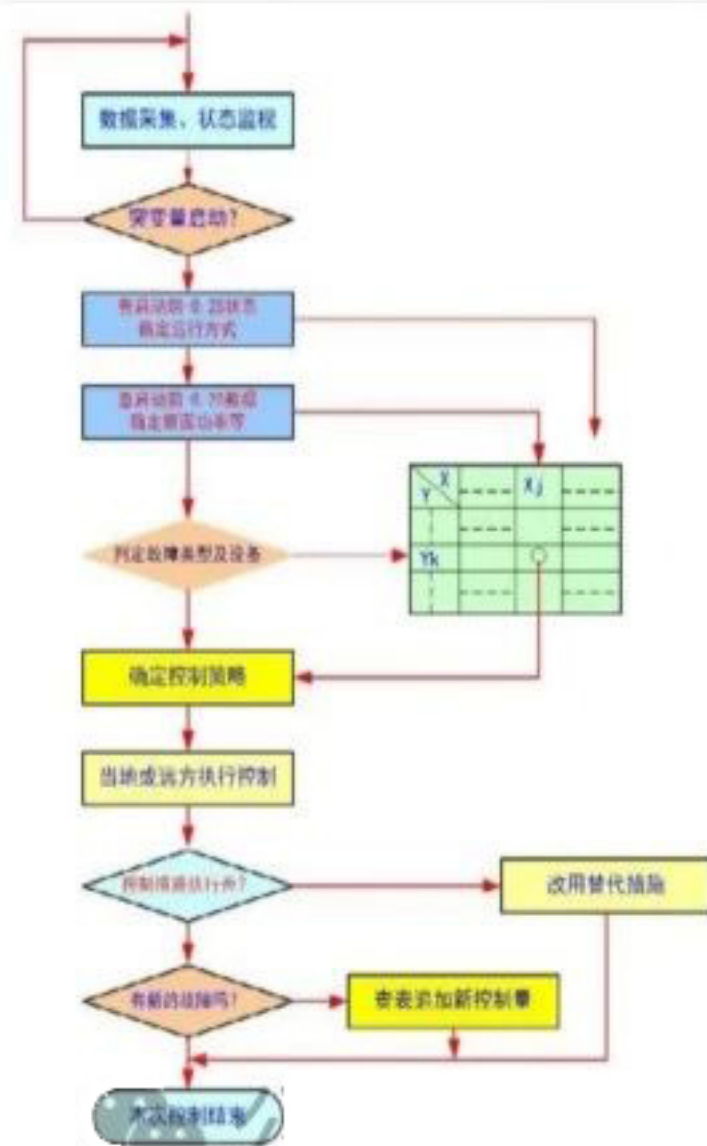
发生短路故障等事故时，继电保护装置应有选择性地快速动作，切除故障元件、隔离故障区域(如断路器拒动)，防止事故范围扩大。



第二道防线：稳控系统

稳控系统：判出系统存在稳定事故时按照预定的控制策略，防止系统失去同步、系统频率异常、局部电网电压崩溃、某些设备严重过负荷。在保证电网稳定性的前提下，使负荷损失最小。

- ❑ 送端电网切机:切除送端机组，可以显著降低送端电网的加速能量；
- ❑ 送端电网新能源电源快速回降/切除:减少送端电网加速能量；
- ❑ 直流调制:提升或回降输电功率；
- ❑ 受端切负荷:当受端电网失去部分馈入输电通道或失去大电源时，切除部分负荷；
- ❑ 主动解列:主动解列区间特高压交流联络线；



第三道防线：失步解列、频率及电压紧急控制装置

第三道防线是指:系统遇到第3级安全稳定标准规定的扰动事故，如多重故障(开关拒动)、意料之外的连锁反应(母线跳闸引起N-3以上事故)，系统出现失步、低频、低压、过频、过压，需要第三道防线采取措施，防止电力系统崩溃，防止大面积停电事故。**第三道防线是由参数越限启动，多为就地分散配置。主要分包括:失步振荡和解列，低频减载、过频切机，低压减载。**

失步振荡和解列

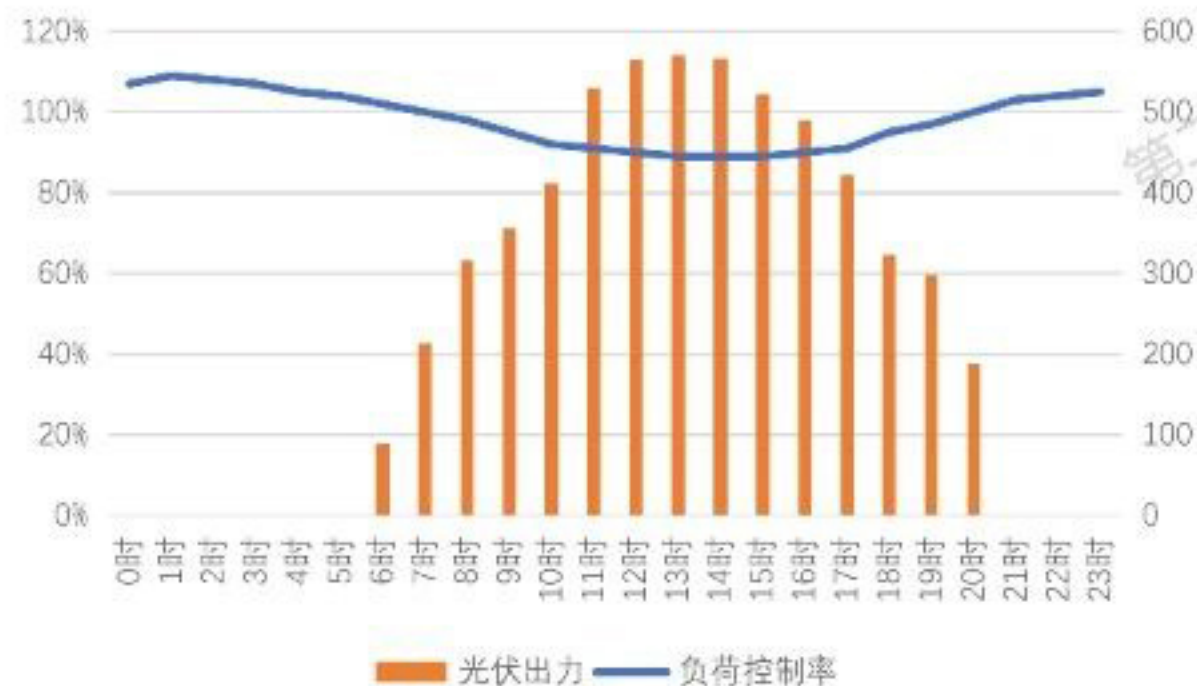
- 大电网不允许失步状态持续，一般在1-2个振荡周期内就要使电网解列为两个各自能继续保持同步的电网；
- 解列后的送端电网将出现频率、电压升高，受端电网频率、电压下降。

低频减载

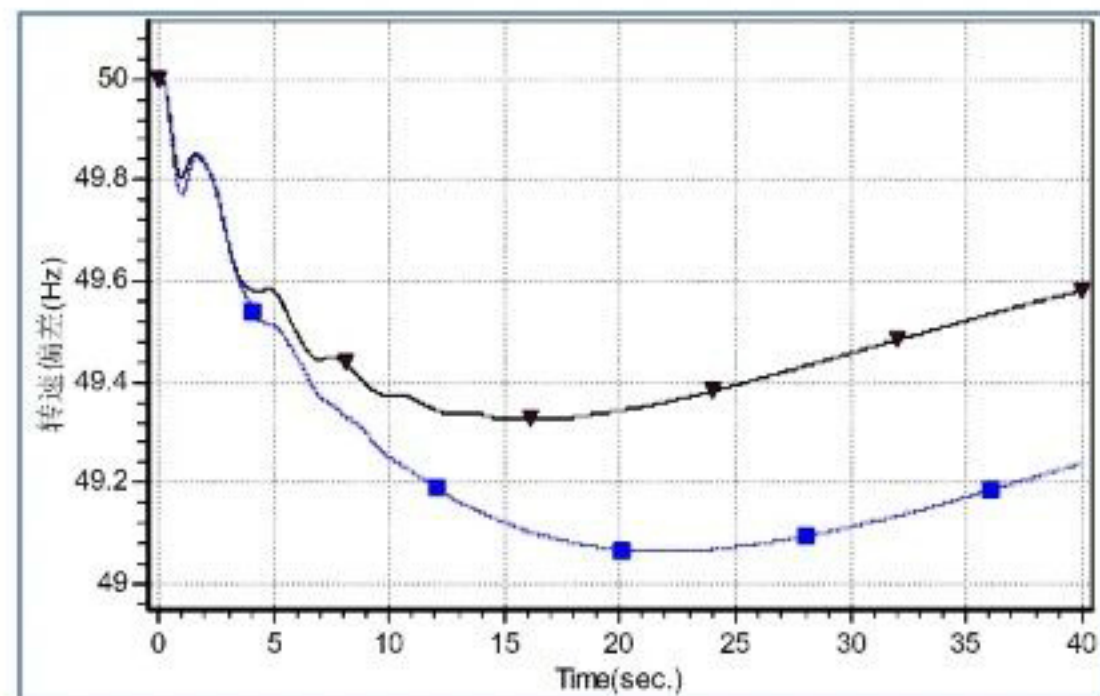
- 低频减载作为电网紧急频率控制措施，在电网发生事故频率下降时，应能**准确可靠切除负荷**，防止因频率下降而造成系统瓦解。

三 新型电力系统建设对第三道防线建设带来的挑战

引发频率稳定问题：随着分布式新能源大规模从低压电网接入，大量馈供负荷线路变成电源送出线路，造成传统**离线计算的频率电压控制方案负荷控制率下降**；新能源电源输出功率具有不完全可控性和预期性，在新能源并网比重较大的电力系统中，在一定程度上改变了原有电力系统潮流流向、潮流分布、线路输送功率和整个电力系统惯量，带来了**更严重的电网频率稳定性问题**。



某电网低频减载装置负荷控制率与新能源出力统计



低频减载轮次动作，100%和88%负荷控制率下
电网频率仿真结果

02

新型配电网第三道防线建设现状

第二道虚拟电厂论坛



低频减载技术现状

低频减载现行方案：低频减载装置只判断系统的频率，当系统有功缺额导致系统频率降低，达到频率动作值，且满足 df/dt 闭锁条件时便按预定的切负荷方案跳开配电线路开关。

1.仅判断系统频率

即使配电线路处于向系统反送有功功率也同样切除，这种情况可能更会加剧系统有功功率的缺额，造成频率的进一步降低。

2.按预定的切负荷方案

“含源量”不断上升，以分布式光伏和风电为主的分布式电源具有输出功率不稳定的特征。忽视配电线路的负荷特性，将会导致功率缺额估算与实际值误差较大。

3.切负荷量依赖于离线整定

装置未实时采集数据并上送，在线监测能力差。设计未考虑源荷频率特性的自适应减载策略，不能动态设置减载判据，计算切负荷量，自适应能力差。

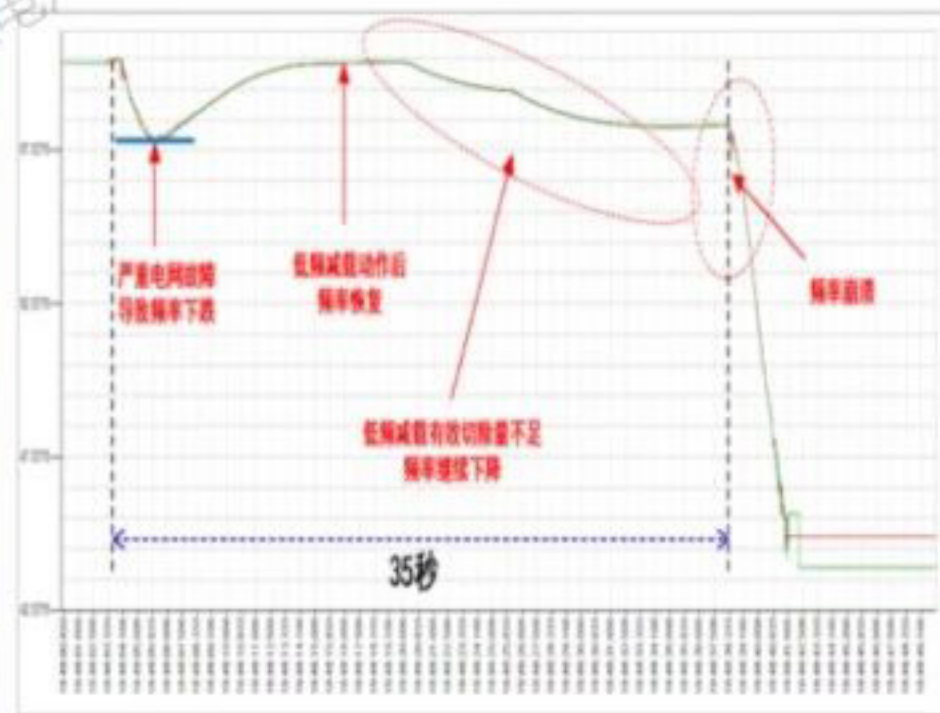


电网频率防线建设现状

频率防线守住难：以杭州为例，近几年分布式光伏装机年均增长**80万千瓦**，提前两年完成十四五“光伏倍增计划”。其中，桐庐区域新能源渗透率接近**35%**，配网线路中有光伏接入的占比**52%**，导致低频减载配置分路“含源量”不断上升，**频率防线有效切除量逐渐减少，光伏大发时段甚至出现“荷源转换”。**



分布式新能源爆发式增长严重削弱电网频率防线控制能力，**防线守不住垮网的风险急剧增加，国家层面时隔多年再次召开全国电力系统安全稳定工作会议。**

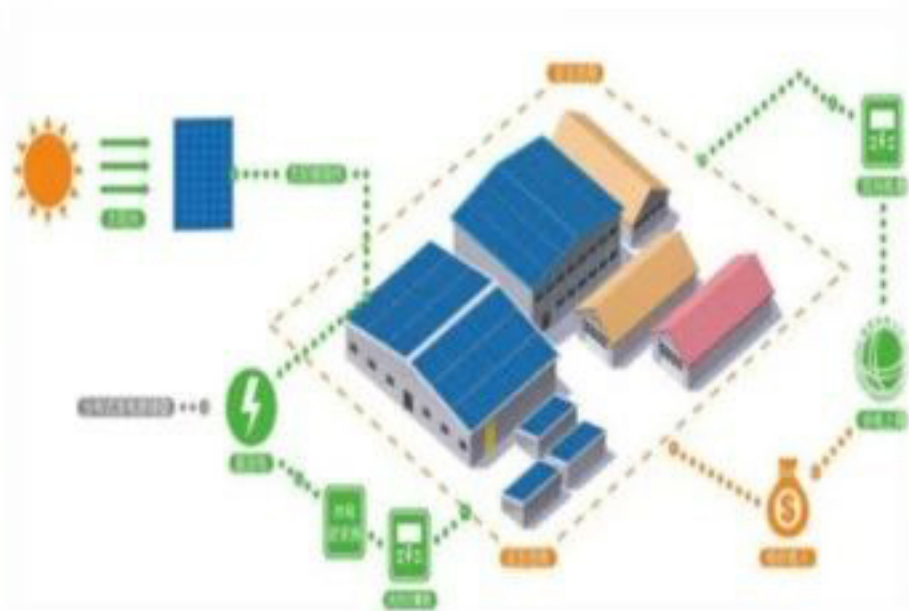


电力系统遭遇严重故障时，防线配置将无法有效阻止频率下降，**防线失守可能引发类似英国“8·9”、巴西“8·15”大面积停电事件。**



电网频率防线建设现状

专业管理提升难：以萧山为例，虽然区域内工业用户负荷占比超过45%可利用的安全防御资源较为丰富，但由于接近25%的用户内部安装有分布式光伏或储能设备，导致电网下送负荷随天气情况以及储能充放电时间随机波动，频率防线部分时段仍可能处于“欠防”状态。



目前管理人员主要凭借工作经验对防线配置进行估算，**新形势下频率防线传统离线、粗放、经验型管理模式难以满足设防要求。**



供电线路频繁变动导致的频率防线配置失效问题在离线化管理模式下不易察觉，已成为专业管理的薄弱环节，**频率防线感知及可控能力建设迫在眉睫。**



电网频率防线建设现状

民生用电保障难：杭州2023年底已跻身超大城市行列，用电负荷呈现明显的大都市特性：一是民生用户多，民生用电占比 **32.8%**，高于全省 **10.3**个百分点；二是重要用户多，集聚省直党政机关、医院、高校、交通枢纽等重点保障部门。据统计，杭州全域现有不涉及民生用电的线路占比**11.6%**，负荷占比仅为**6%**，低于低频减载前两轮的配置要求，并且随着产业结构的不断优化这一比例还将持续下降**8.8%**。



杭州都市电网呈现“民生用户多”及“重要用户多”的“两多”特性，**现有模式下频率防线动作将对民生用电负荷造成较大影响。**



电力保供背景下，国网公司提出“低频减载前两轮不涉及民生用电负荷”保供要求，**如何兼顾大电网安全生命线和民生用电底线成为待解难题。**



电网频率防线建设探索

构建频率防线多专业协同组织管理模式：省地县一体化，工作机制上从“源、网、荷、储”等要素管控到目标管控，通过发展、建设、调度、运检、营销等开展全方位的工作协同机制，实现“溯源光伏切荷留源”、“前移配置精准切路”、“精细管理协同配置”、“低频响应等效替代”。





电网频率防线建设探索

频率防线全景智能管控平台：采用数字赋能电网频率防线建设，实现对防线运行状态的**集中监视**、**智能研判**和**精准控制**，并根据实时负荷自动调整防线设置，智能辅助提升管理效率。

数字赋能电网频率防线建设

实现对防线运行状态的**集中监视**、**智能研判**和**精准控制**，并根据实时负荷自动调整防线设置，智能辅助提升管理效率。



可观



可控



可调



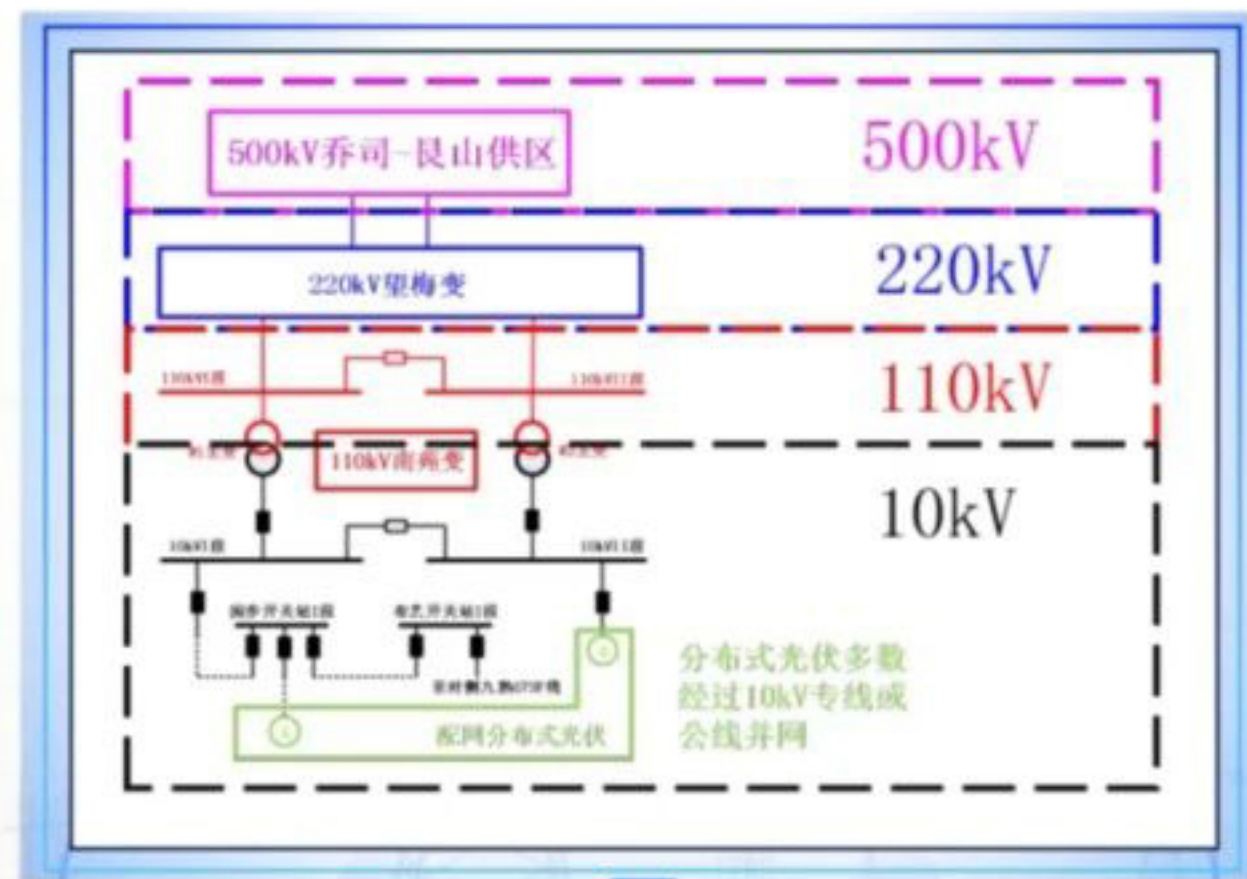
全景智能管控平台展示



电网频率防线建设探索

频率防线源网荷储全要素管理：溯源分布式新能源，实现切荷留源。

做法1：溯源分布式新能源，实现切荷留源





电网频率防线建设探索

频率防线源网荷储全要素管理：前移配网低频配置，实现精准切路。

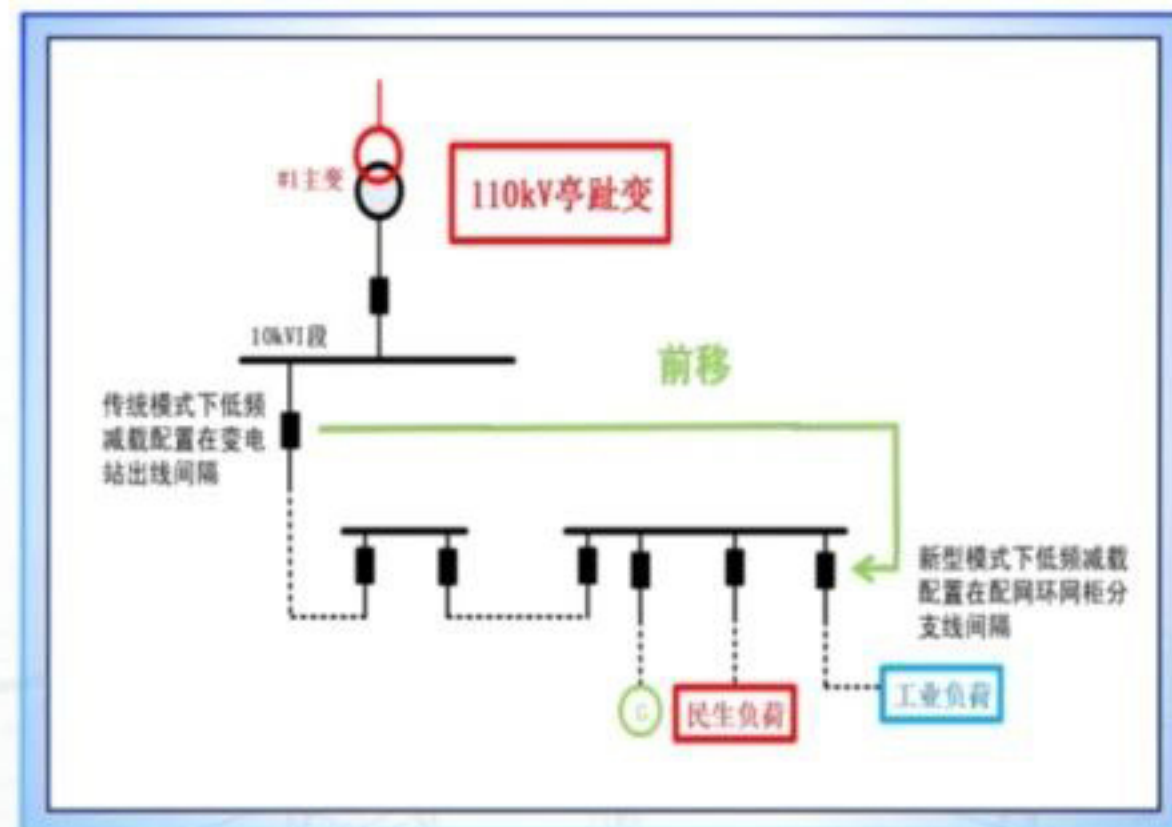
做法2：前移配网低频配置，实现精准切路

统筹配网故障自愈与
电网安全防御建设

低频减载配置由变电站低压
侧前移至配网分支线环网柜

实现馈线自动化与
频率防线协同运行

实现“碎片化”
非民生负荷精准切除





电网频率防线建设探索

频率防线源网荷储全要素管理：精细化负荷管理，避免保供情况下各类负荷侧措施交叉造成低频减载防御能力下降。

做法3：

对内

细化负荷管理措施，避免保供情况下各类负荷侧措施交叉造成低频减载防御能力下降



对外

同质化管理用户资源，促使高电压等级用户承担电力系统安全责任

在保障重要生产负荷用电安全的同时挖掘“沉睡”可控资源



- **标准先行** 规范用户资源管理模式
- **机制创新** 建立企业协调会商机制
- **加强沟通** 确保直连用户信息顺畅



电网频率防线建设探索

频率防线源网荷储全要素管理：一能多用，储能纳入频率防线建设。

做法4：一能多用，储能纳入频率防线建设

探索将储能纳入电网频率防线建设

利用微秒级同步控制算法



储能资源在大电网功率缺额故障情况下
毫秒级响应

等效替代低频减载容量



红厂储能电站低频响应界面

03

虚拟电厂与三道防线探讨

虚拟电厂论坛



虚拟电厂的负荷调度/可调负荷特性

虚拟电厂对**分布式资源的聚合**，形成对外提供电能量或者辅助服务的“**电厂**”，实现电源侧的多能互补和负荷侧的灵活互动，对电网提供电能或调峰、调频、备用等辅助服务。其**负荷调度特性**打破了传统电力系统运行模式，以电力供需平衡为目标，**将负荷也作为到提供平衡能力的资源来看待，实现供需的动态平衡。**

负荷调控系统

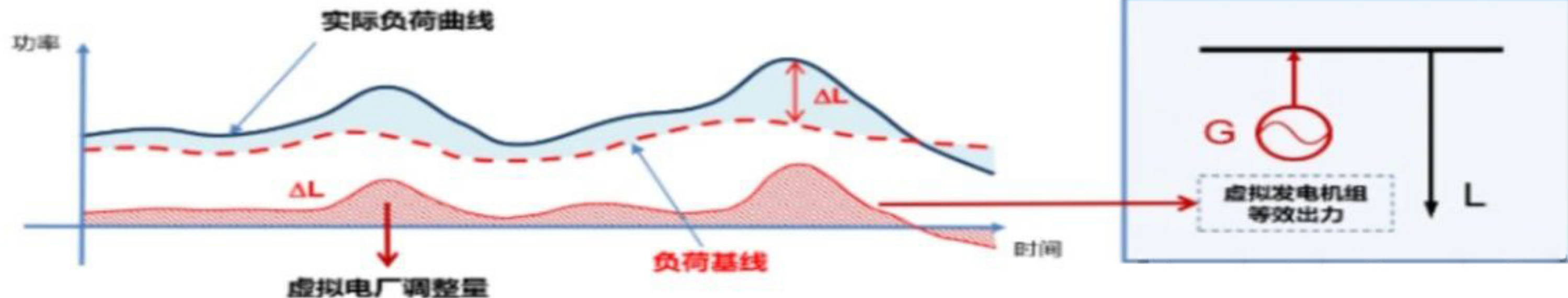
基于调度机构调度控制系统平台部署，**交互监视、控制和电力市场等相关数据的功能和系统级应用。**

实时调控(DL/T 2473)

聚合商向运营范围内负荷终端下发 APC 实时指令或计划曲线，**具备实时指令或计划值接收能力的负荷终端数量及总容量占比均不应低于 80%。**

APC等效调节性能

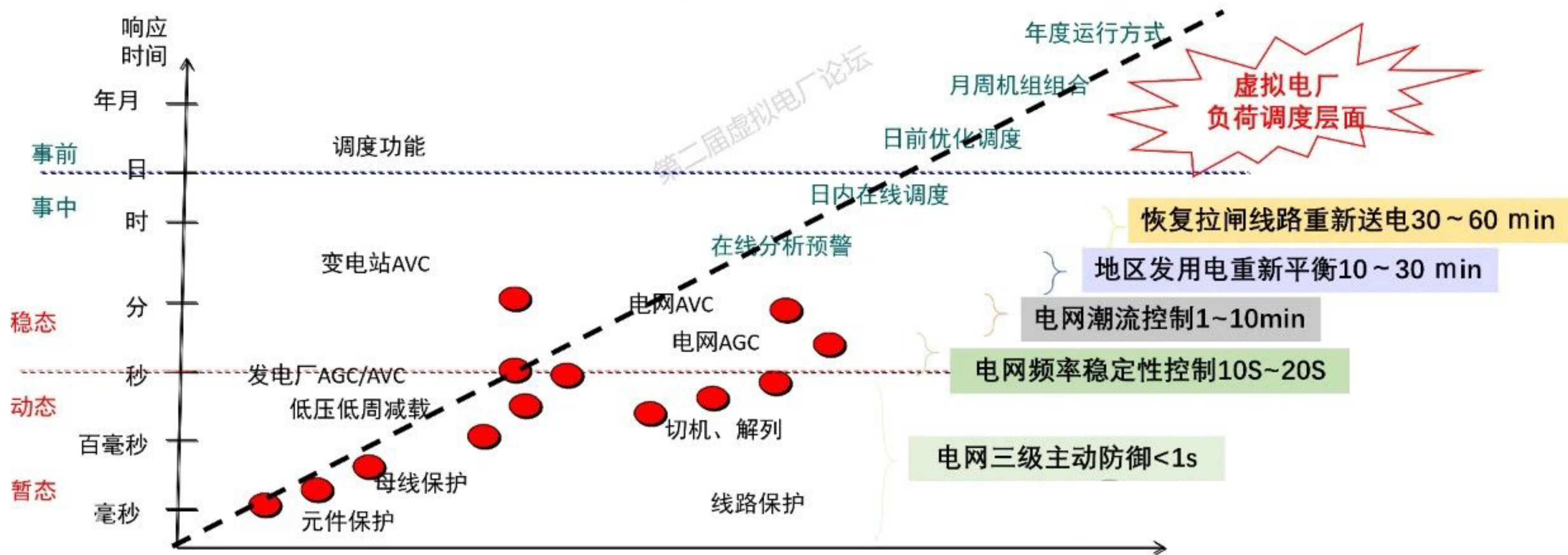
可调节负荷聚合后的 APC 等效调节性能应满足所接入调度机构的最低要求。





虚拟电厂调控资源现状及负荷调节需求

目前所建设的“虚拟电厂”，所能聚合的资源 and 真正可调控的资源，只是负荷侧资源的0.1%~3%，电网企业目前只是出于电网安全考虑自己聚合了少量的可控负荷，一方面是“掐尖”，也就是把时间概率最小的尖峰负荷进行了聚合，另一方面是“兜底”，即这部分聚合负荷只是在极端不平衡的时段才调控，是为电网安全的兜底的。虚拟电厂对负荷资源的调度仅停留在日前优化调度层面。





虚拟电厂负荷资源控制属性定义探讨

虚拟电厂负荷资源控制属性：负荷资源池的资源调节能力和质量决定虚拟电厂完成调度指令的能力，**然资源本身应具备公共控制属性，对负荷资源的控制管理理应为多方面的。**其可以接收调度端控制管理指令，包括向电网提交发电计划、参与电力市场及调峰调频等辅助服务，也应可以响应其他电网紧急控制手段，如第二道防线、第三道防线。



虚拟电厂负荷资源池

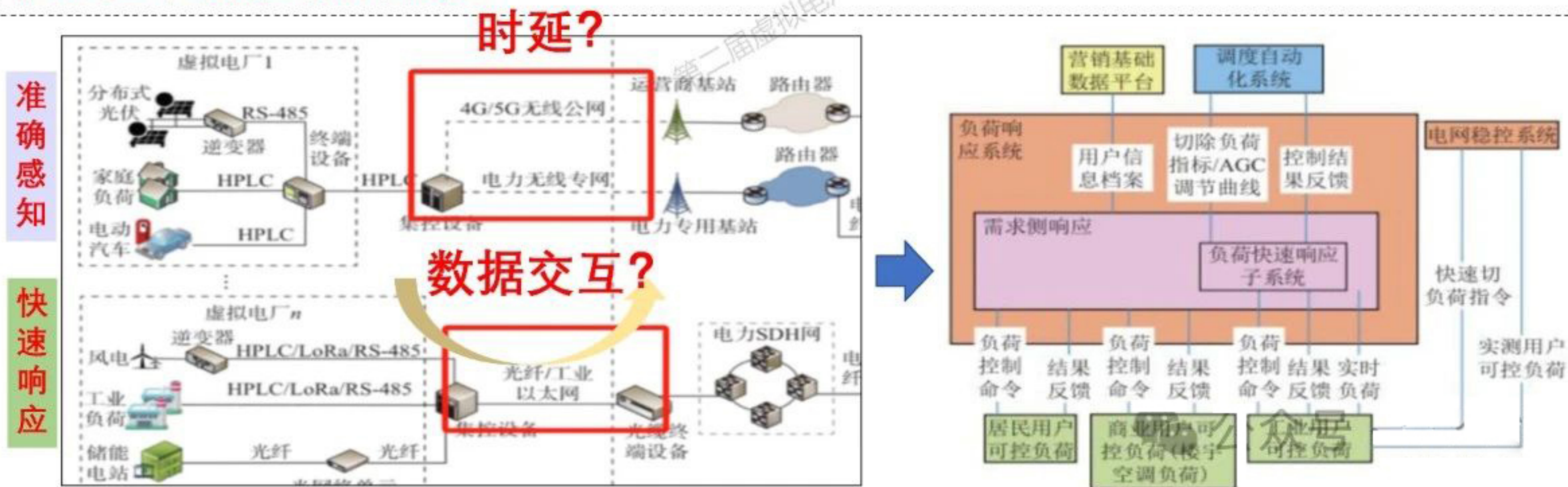
- ✓ 营销负荷控制系统（稳态时负荷精确采集和精准控制，**秒以上**）
- ✓ 调度批量负荷控制（电网故障处理，**秒，毫秒**）
 - 秒级负荷控制
 - 负荷管理系统
 -
- ✓ 稳控系统紧急控制（第二道防线）
- ✓ 频率紧急控制（第三道防线）

三 虚拟电厂可调负荷资源参与大电网稳定建设思考

从中国虚拟电厂的初衷来看，当前需要解决的主要目标是：用负荷侧的可调节能力，对冲电力系统中高比例新能源发电导致源侧间歇性、波动性的风险。需更进一步从大电网稳定角度分析考虑大电网第二道防线精准切负荷资源、第三道防线低频低压减载的负荷资源在虚拟电厂中的应用。



大电网第二道防线精准切负荷、第三道防线低频减载的目的是**准确、快速**的按需精确切负荷以维持电网的稳定。“**准确**”需要实时感知、测量虚拟电厂负荷资源池的可调度的状态、容量，“**快速**”则需要虚拟电厂具备快速响应电网异常状态的紧急控制手段。满足负荷参与电网互动的三类场景，即异常时紧急响应、功能不足时有序用电、调节电网峰谷差响应需求。满足日前、小时级、分钟级到秒级的四个级别控制调节能力。





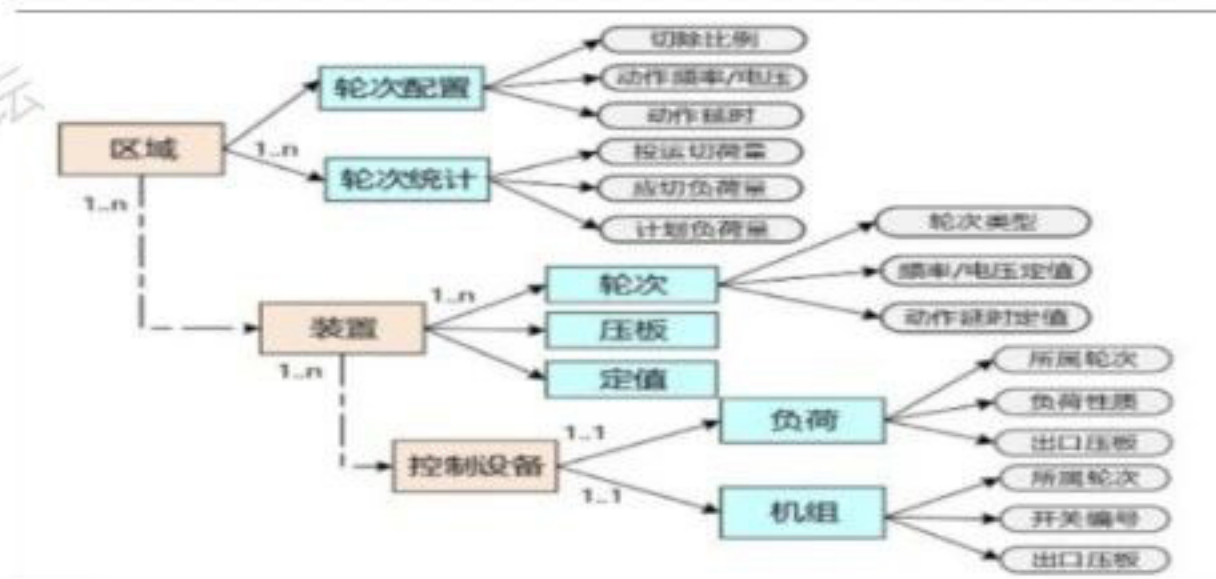
虚拟电厂参与第三道防线建设可行性

在电力供需形势紧张的局面下，采取**有效、精准的负荷控制措施**是有序实现电力系统发用供需平衡，保障电网安全稳定运行的必要措施。虚拟电厂负荷调控特性与新型配电网形势下第三道防线建设需求相结合，完善大电网第三道防线。

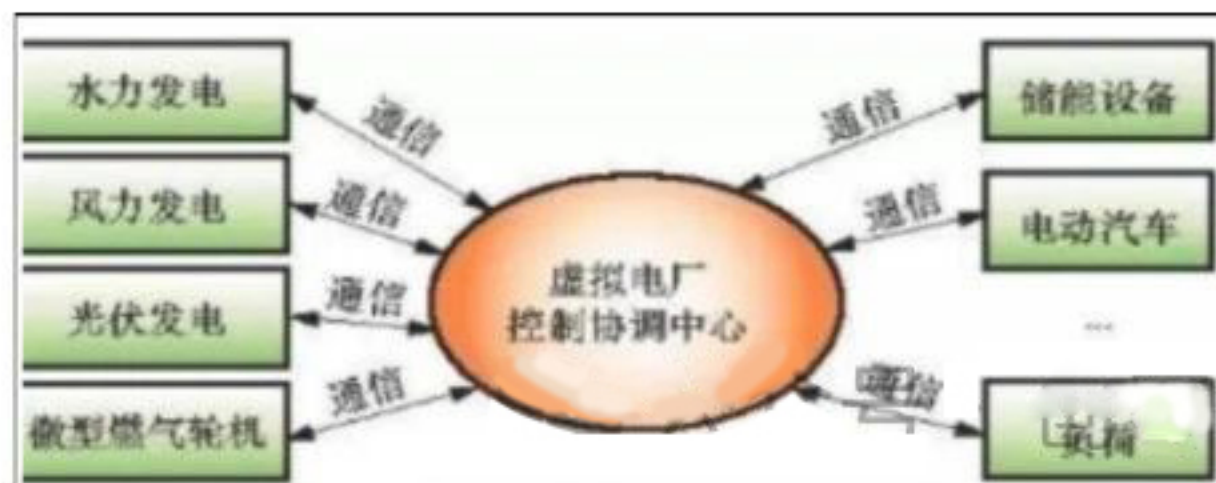
精准过频切机

现状：现有的低频减载采用“盲切”手段，严重不适应方式变化大，电源出力波动大的新型电力系统。

虚拟电厂：聚合各类负荷，各类负荷特性可观、可测、可调。



第三道防线模型

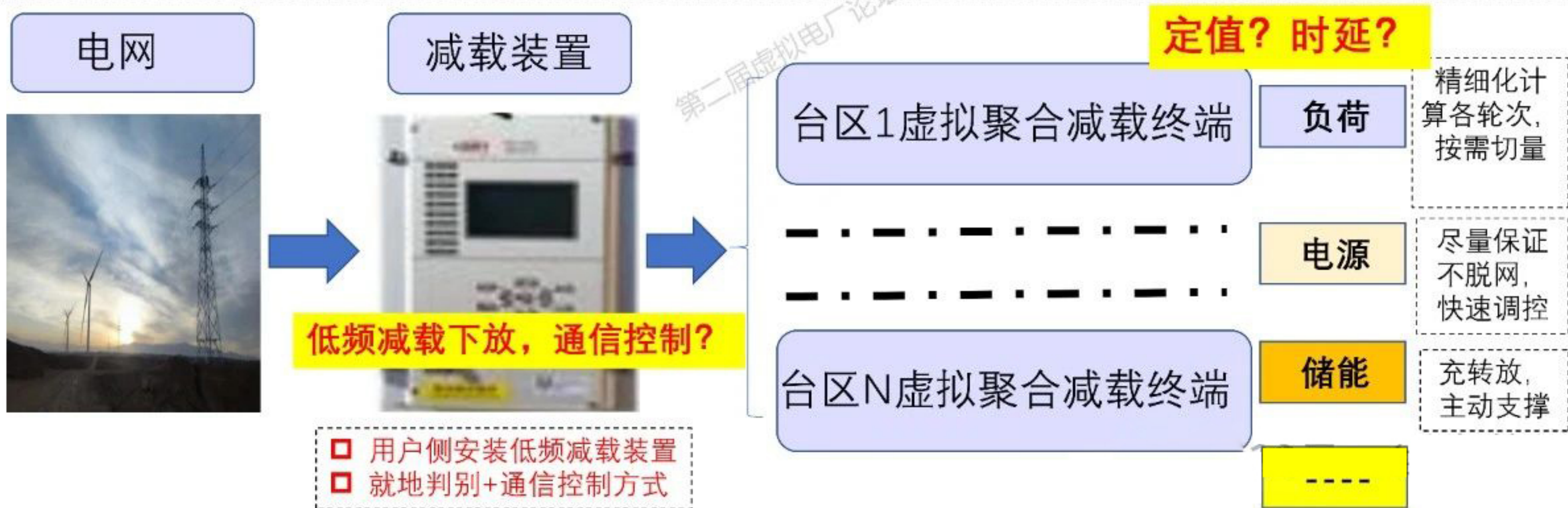


虚拟电厂



虚拟电厂参与三道防线建设技术思路

台区虚拟聚合减载终端：充分利用**虚拟电厂聚合的特性**，按照区域**设置台区虚拟聚合减载终端**，接收低频减载指令后虚拟聚合减载终端计算需切量，进行负荷、电源、储能等控制。建立保护和控制系统间的信息融合及协同机制，**通过站域自治-区域协同的方式实现自治式保护控制策略，优化三道防线的功能布局**，有效抑制和阻断系统性事故的发生与发展，**提升新型电力系统的安全防御能力**。





虚拟电厂参与三道防线建设技术思路

信息通信完善建设：虚拟电厂通信系统面对海量、大规模、多类型数据终端接入，对于保证数据传输的时延控制、安全可靠接入及兼顾网络性能与网络利用率的信息通信技术提出展望。

虚拟电厂“本地+远程”两级通信架构

- **本地通信层：**用户侧资源、终端设备和集控设备（如远动装置、集中器、配电自动化终端、台区融合终端等），汇集至一个或多个集控设备，并上传至远程传输设备，通信设备多以模组的形式嵌入终端设备和集控设备中。
- **远程通信：**各级交换机、汇聚路由器、加密装置、安全接入网关等，用于虚拟电厂终端和管理侧平台的信息交互，具备单路或者独立双路上行通道，多种通信方式混合组。

云边端协同实现虚拟电厂多层级协调控制

技术要点



时延控制

通过人工智能流量预测，设计实时业务流量的全局优化调度算法，实现多时间尺度调控业务的按需弹性保障。



安全可靠接入

安全接入与可靠性要求强相关，往往呈现双高现象。在安全性方面，虚拟电厂面临着网络边界外延，数据融合共享等问题。



性能与效率兼顾

终端接入设备多、服务对象广、业务周期峰值明显，云网基础设施面临着为多种业务提供精准服务与保障的挑战，应统筹通信网络性能与网络利用率。



虚拟电厂参与三道防线建设技术思路

主动配电网与虚拟电厂的协同融合：配电网是虚拟电厂的网络基础，虚拟电厂是配电网的高级应用。

为更好地服务于虚拟电厂，配电网的规划需要与虚拟电厂的规划协调，以实现两者的高效融合和互动。

配网建设需从资源评估与整合、网络拓扑优化、控制策略设计、源网荷储协同调控等多个方面开展。



主动配电网建设：

- ❑ **资源评估与整合：**对区域内的可再生能源资源、分布式发电资源、储能设施和需求侧资源进行全面评估。
- ❑ **网络拓扑优化：**基于资源评估结果，设计合理的网络拓扑结构，确保VPP中的各个单元能够高效地接入电网。
- ❑ **控制策略设计：**控制策略应能够适应电网运行状态的变化，实现资源的最优分配。
- ❑ **源网荷储协同调控：**配电网规划包含源网荷储协同调控机制，以实现与虚拟电厂的有效互动，优化电力资源的配置。



未来虚拟电厂“角色”定位与建设思路探讨

当前，虚拟电厂的建设思路，也明显出现了以负荷资源聚合为主导，还是以调度控制为优先的两种思路。然从政府角度来看虚拟电厂作为一个城市的新兴产业板块，可形成城市分布式能源（资源）的整体产业板块和生态。不同视角下，所能形成的虚拟电厂产业推动力也不同。

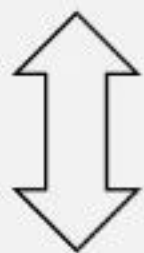
电网视角

开放的生态和政策驱动力

政府视角

观点一：负荷侧的资源聚合，参与电网/电力市场互动，非实时、配网为主、调峰需求

营销



调度

观点二：以省调调度需求优先，机组的考核和机组的接入条件应该满足省调要求

索引号：

发布机构：

名称： 深圳市发展和改革委员会关于印发《深圳市支持虚拟电厂加快发展的若干措施》的通知

文号： 深发改规〔2024〕4号

分类：

发布日期： 2024-06-13

主题词：

深圳市发展和改革委员会关于印发《深圳市支持虚拟电厂加快发展的若干措施》的通知

信息来源： 深圳市发展和改革委员会

信息提供日期： 2024-06-13 10:05

【字体： 大 中 小 】

深发改规〔2024〕4号

各区政府、大鹏新区管委会、深汕特别合作区管委会、前海管理局，各有关单位：

《深圳市支持虚拟电厂加快发展的若干措施》已经市政府同意，现印发给你们，请认真贯彻执行。

来源：俞庆《虚拟电厂，从一份文件看政府的思维》



总结与展望

- 新型电力系统的电网格局、电源结构和系统特性发生了一定的变化，对传统电力系统形成的认识方法、防御理念、控制技术需要进一步提升和创新，**三道防线的内涵和功能需随之发展和丰富**。
- 单向逐级输电为主的**传统电网**向包括交直流混联大电网、有源配用电网和可调节负荷的**多向能源互联网**转变。源随荷动的实时平衡模式、大电网**一体化控制模式**向源网荷储协同互动的实时平衡模式、大电网和配电网**协同控制**模式转变。
- 充分挖掘各类电源和负荷的调控能力，**送端电网**发展全景状态感知和监控技术，稳步**提高新能源消纳能力**；受端电网实现主网故障后**配用电网内可各类可控资源精准、有序协调控制**，降低对企业生产和居民生活的影响。
- 将**三道防线延伸至配用电网**，特别是有源配用电网，实现**输-配-用电网一体化协同控制**，通过大电网和配用电网协同控制、源网荷储友好互动，实现电力电量平衡、新能源高效消纳和全网安全稳定、经济运行。