



新型电力系统背景下虚拟电厂实践

中国电力科学研究院有限公司

2023年5月

目录 CONTENTS



一

虚拟电厂基础

二

国外虚拟电厂实践

三

国内虚拟电厂实践

四

虚拟电厂实践经验总结

五

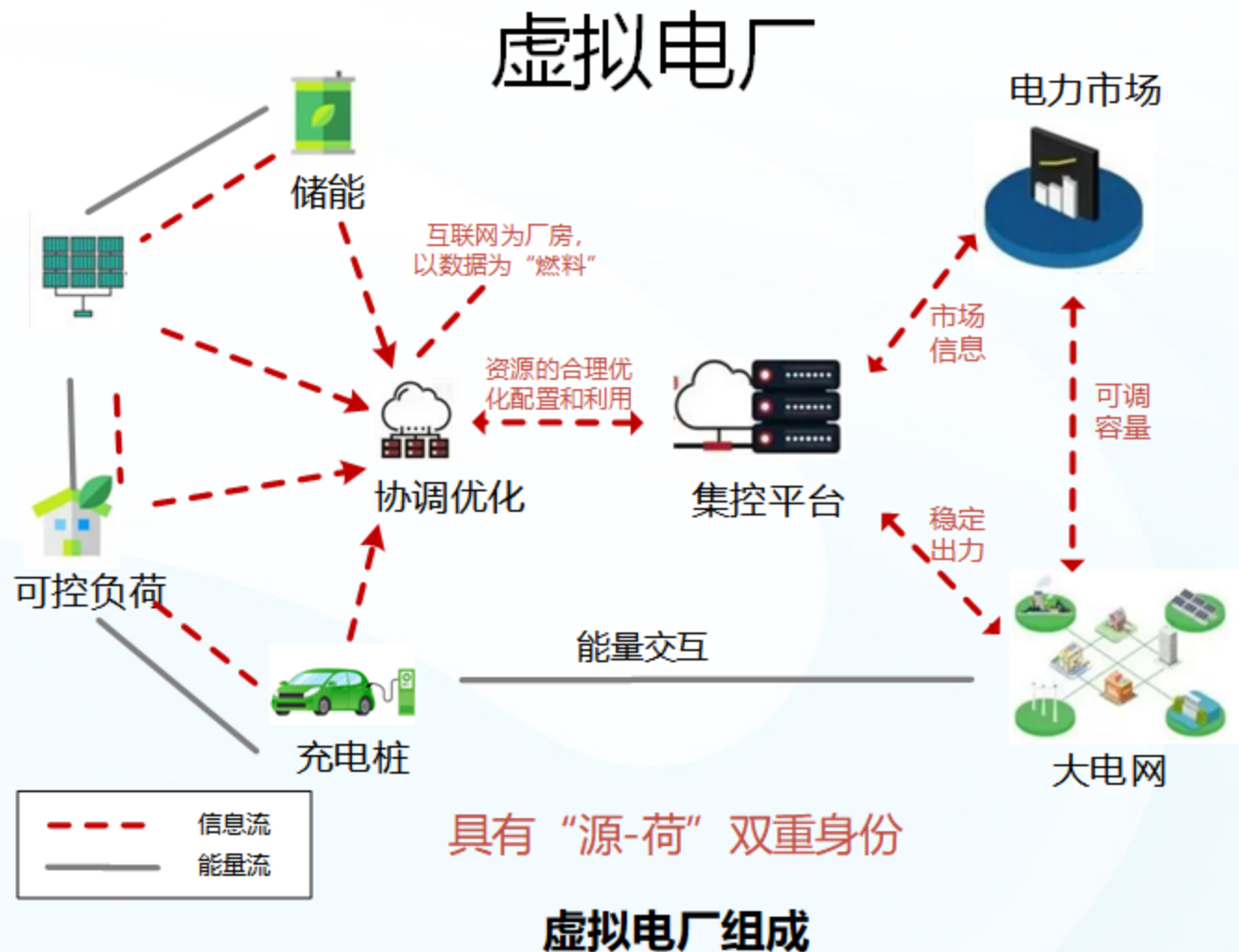
虚拟电厂发展建议

一、虚拟电厂基础



1. 虚拟电厂定义

虚拟电厂¹是能源与信息技术深度融合的重要方向，是将不同空间的可调负荷、储能侧和电源侧等一种或多种资源聚合起来，实现自主协调优化控制，参与电力系统运行和电力市场交易的**智慧能源系统**，是一种跨空间的、广域的源网荷储的集成商。通常分为电源型、负荷型和混合型。



1. 山西能源局文件《虚拟电厂建设与运营管理实施方案》

2. 虚拟电厂与需求响应的关系

共同点

均以**市场化方式引导需求侧资源配合电网运行调节**。协调、优化和控制需求侧资源作为一个整体参与电力市场交易。

均以**需求侧可调负荷资源、储能及分布式电源**为主要聚合对象，通过物联网、云计算等先进的信息通信技术将各类资源进行在线监测和优化调控。



区别

- DR侧重于通过**临时调整用电功率或启停用电设备**，缓解电力系统调峰压力。
- 部分VPP能够聚合**非就地消纳的分布式电源、小型发电厂**，参与电力市场交易。

3. 虚拟电厂起源

虚拟电厂源于1997年Shimon Awerbuch¹ 博士的著作《虚拟公共设施：新兴产业的描述、技术及竞争力》。21世纪初，兴起于德国、英国、西班牙、法国、丹麦等欧洲国家。



1. Awerbuch 博士是公共事业管理的金融经济学家，先后就职于巴黎国际能源局和苏塞克斯大学。

2. VFCPP: virtual fuel cell power plant.

一、虚拟电厂基础



国家电网
STATE GRID

4. 国内发展历程

国家发革委
批复上海黄
浦商业建筑
需求侧管理
示范项目。



“虚拟电厂”标准获
得国际电工委员会
(IEC) 批准立项。

国网上海电力启
动“城市公共建
筑群虚拟电厂聚
合调控关键技术
研究及应用”项
目。

国家发展改革委、国家能源局印发《“十四五”现代能源体系规划》的通知（发改能源〔2022〕210号），提出开展虚拟电厂示范。国家能源局《电力现货市场基本规则（征求意见稿）》“推动储能、分布式发电、负荷聚合商、虚拟电厂和新能源微电网等新兴市场主体参与交易”。

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

上海黄浦区
启动需求响
应型虚拟电
厂试点工作。

上海建成黄浦
区商业建筑虚
拟电厂示范工
程。

国网冀北公司启动“
能源互联网环境下的
多主体多能虚拟电厂
关键技术与示范
应用”项目。

中国电科院牵头的
国家重点研发计划
项目“规模化灵活
资源虚拟电厂聚合
互动调控关键技术
”获批立项。

国家发改委发布《关于第三
监管周期省级电网输配电价
及有关事项的通知》(发改
价格〔2023〕526号)，输
配电价的改革取得实质性突
破，储能、虚拟电厂等主体
收益有望进一步提升。

一、虚拟电厂基础



国家电网
STATE GRID

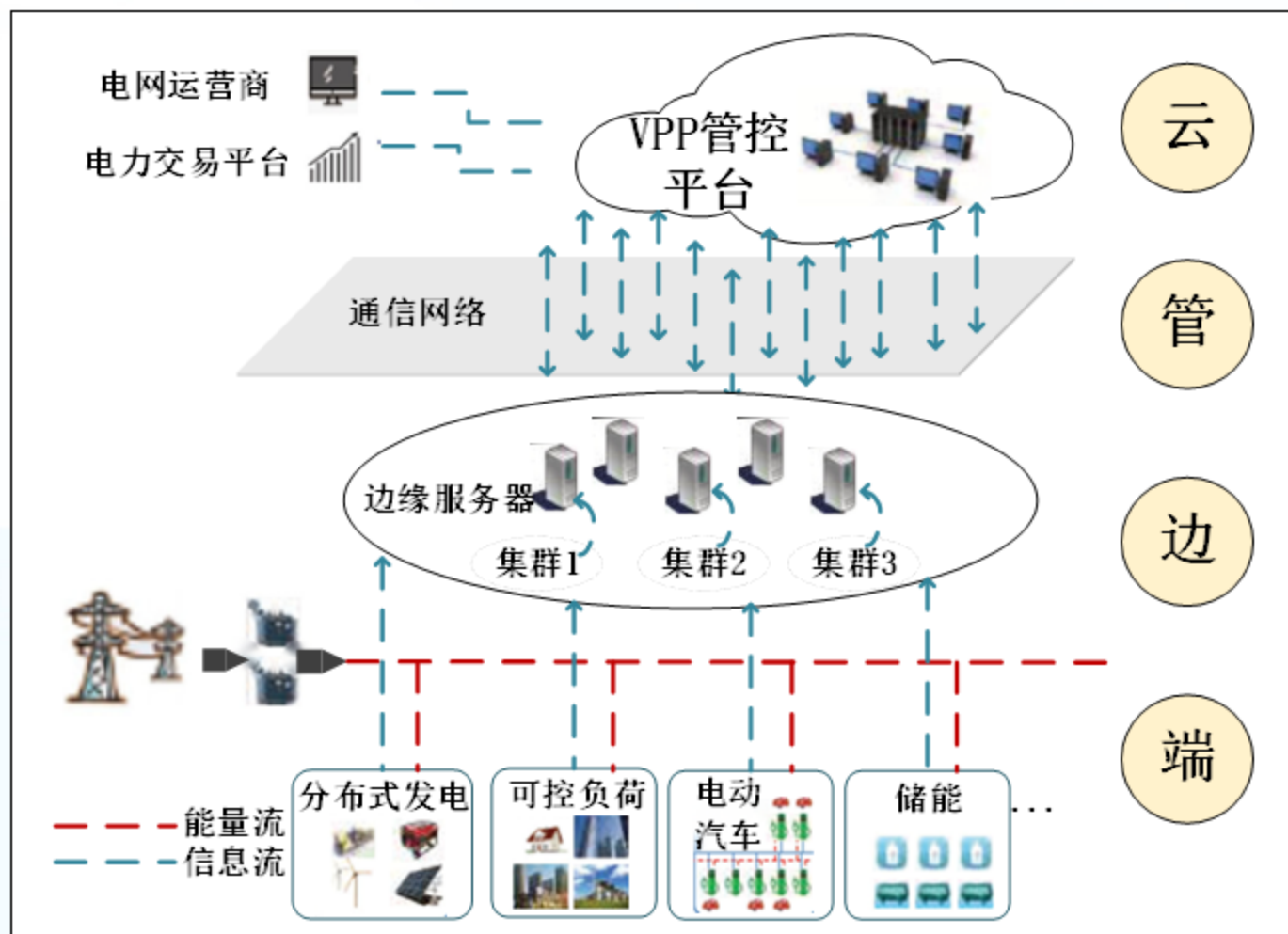
5.虚拟电厂分层架构

云：VPP管控平台，与电网运营商、电力交易平台和边缘服务器互联，支撑资源管理、计划实施与运营交易。

管：通信网络，专网或公网，保障信息交互安全性、准确性、时效性。

边：边缘服务器，信息汇聚分析、本地自治或根据上级平台生成调节控制策略。

端：监测与调控装置，采集电、热、环境参数，执行调节控制操作。



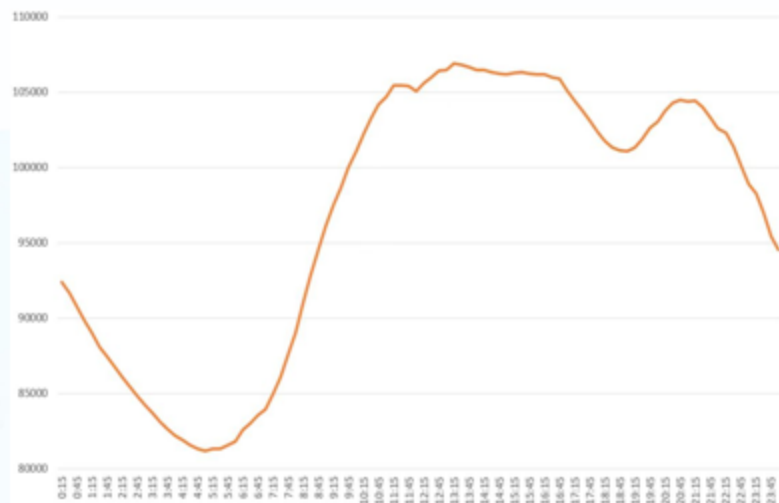
虚拟电厂系统物理架构

6. 应用场景

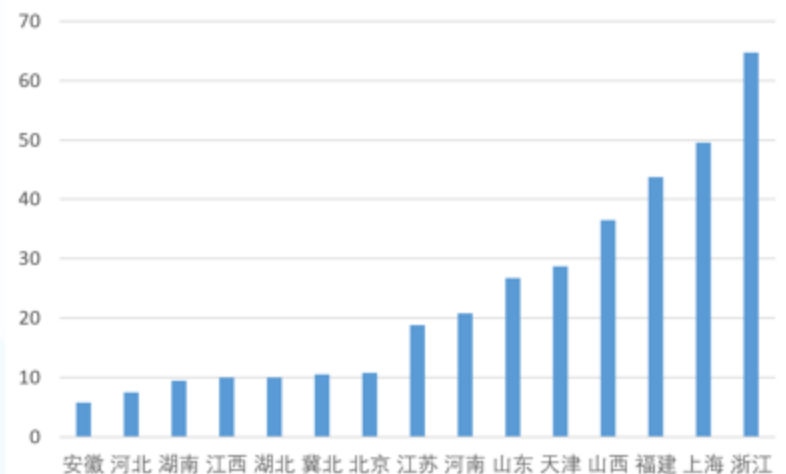
缓解极端天气下电力供需矛盾

- 2022年8月5日，国网公司经营区最高负荷达到10.69亿千瓦，预计2025年、2030年公司经营区最高负荷将达到12.8亿千瓦、14.07亿千瓦。2021年“三华”电网95%以上尖峰负荷持续时间5-65小时。
- 2022年夏天江苏、河南、上海、湖北、杭州等都发布高温红色预警，气温普遍都在40度以上，有的甚至连续十多天持续高温；2022年8月5日，国网公司经营区最大负荷需求达3663.6万千瓦。

虚拟电厂聚合多元用户的海量异构资源，并提取资源响应速度、响应时长、响应容量等特征参数。在极端天气或发电侧出力不足等场景下，组织多元用户资源主动参与固定费率的需求响应市场邀约、调峰辅助服务交易，最大程度支撑电网安全稳定运行和电力可靠供应。



公司经营区2022年8月5日用电负荷曲线

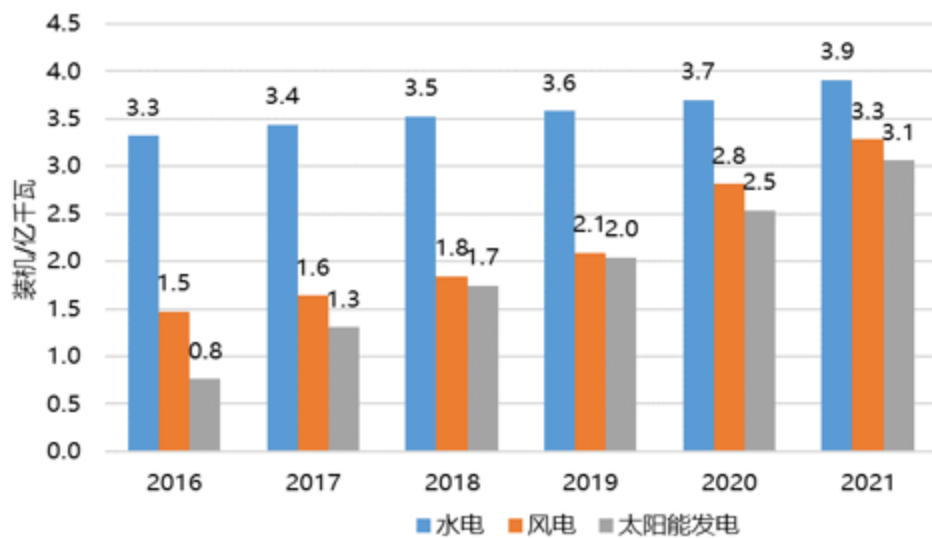


三华地区95%以上尖峰负荷持续时间

6. 应用场景 提升新型电力系统灵活调节能力

- 大规模波动性可再生能源接入后，传统源随荷动的电网运行调节方式受到挑战，灵活性调节资源容量不足。按2025年风光装机10亿千瓦测算，将产生5.62亿千瓦的调节需求。
- 虚拟电厂聚合工商业、居民客户等多元资源参与电网调峰调频等辅助服务，可提升系统灵活调节能力，减小电力平衡压力。在电网用电高峰或低谷时段，虚拟电厂根据邀约指令或辅助服务市场交易计划安排，优化调节负荷、储能、分布式能源等资源。

各类可再生能源累计装机规模¹



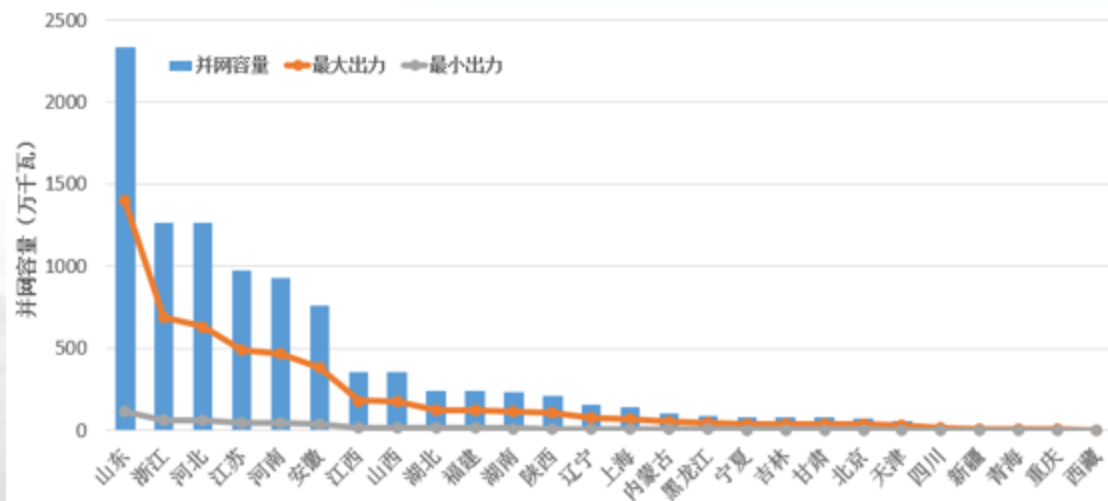
系统调节缺口预测²

单位:亿千瓦		2020	2025	2030	2050
波动性可再生能源发电规模		5	10	15	40
传统调节手段	灵活煤电机组	1	2	3	4
	天然气发电机组	1	1.5	1.8	2.3
	抽水蓄能	0.32	0.68	1.2	1.7
	电化学储能	0.03	0.2	2	6.1
可再生能源功率调节缺口		2.65	5.62	7	25.9

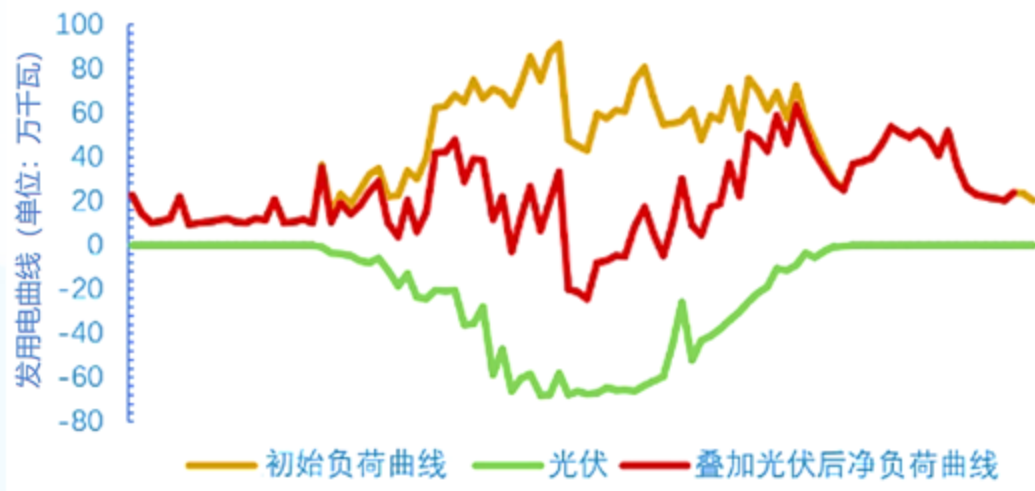
6. 应用场景

促进分布式新能源并网消纳

- 截至2021年底，我国分布式光伏装机达到1.075亿千瓦，约占全部光伏发电并网装机容量的三分之一；预计2025年、2030年分布式光伏装机将达到1.8亿、3.0亿千瓦。
- 分布式新能源出力存在不确定性，低电压等级分布式电源信息接入率低，大规模发展后影响负荷预测精度，增大负荷侧时空不确定性，同时叠加集中式新能源电站影响，将导致局部地区日间负荷低谷时段调峰难度加大。



截至2021年底国网经营区分布式光伏累计并网容量及出力情况



2021年江苏省某县光伏出力及负荷用电曲线

虚拟电厂可以实现各类分布式发电资源间的高效连接与实时监测，通过先进的自动响应控制技术、灵活的商业模式，开展分布式新能源本地交易，同时依托现货市场进行集中交易，最大限度提升分布式新能源的消纳能力。

一、虚拟电厂基础

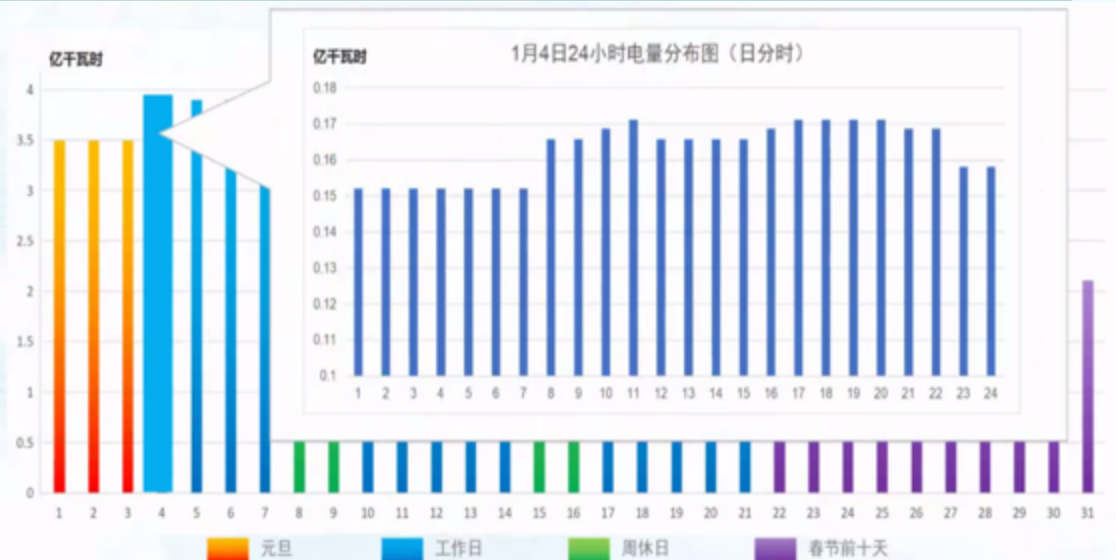


国家电网
STATE GRID

6. 应用场景 服务用户开展多元化用能服务

- “十三五”期间我国单位GDP能耗约为经合组织国家的3倍、世界平均水平的1.5倍；“十四五”规划《纲要》¹指出“十四五”期间要求单位GDP能源消耗降低13%~14%。
- 住房和城乡建设部发布的国标《建筑节能与可再生能源利用通用规范》自2022年4月1日起实施，我国建筑将强制性要求实施碳排放计算。
- 现货和辅助服务电力交易市场建设，对分析电力客户用电行为、负荷特性，提升负荷预测和电量预测水平，提出了更高要求。

- 虚拟电厂通过分析异构资源互补特性，综合内部资源最优碳流计算与成本效益，采用最优碳流的虚拟电厂经济运行策略，为用户提升用电能效的同时降低用户碳排放。
- 虚拟电厂可对用户负荷特性进行深入挖掘，实时监测用户在线聚合容量与调控潜力，预测市场情况，支撑用户参与中长期和现货场景下的电能量、辅助服务及容量市场。



1. 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》

目录 CONTENTS



一

虚拟电厂基础

二

国外虚拟电厂实践

三

国内虚拟电厂实践

四

虚拟电厂实践经验总结

五

虚拟电厂发展建议

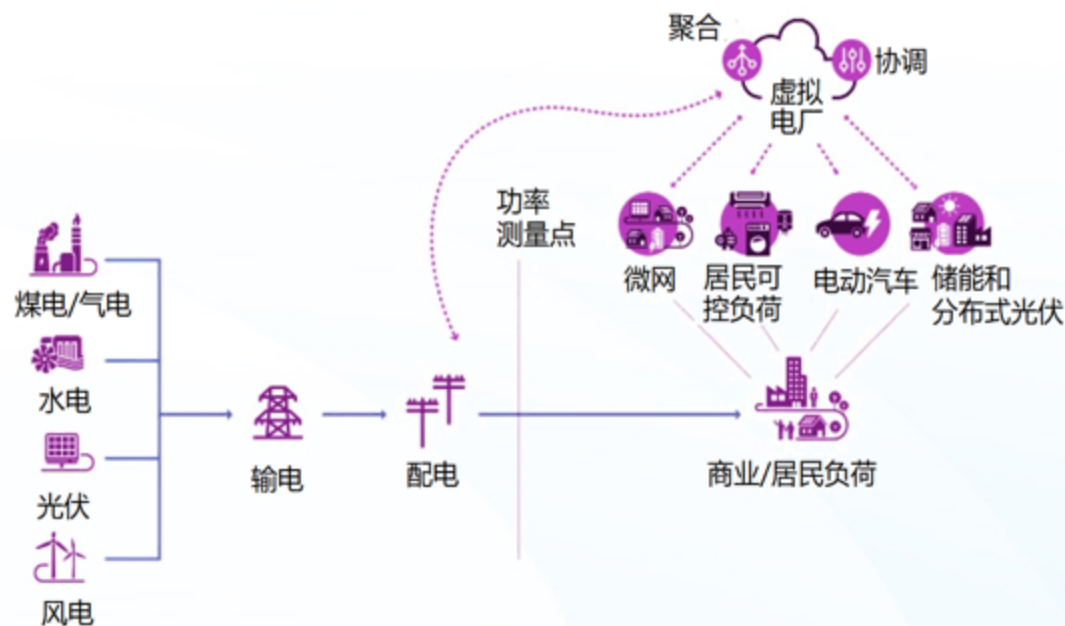
二、国外虚拟电厂实践



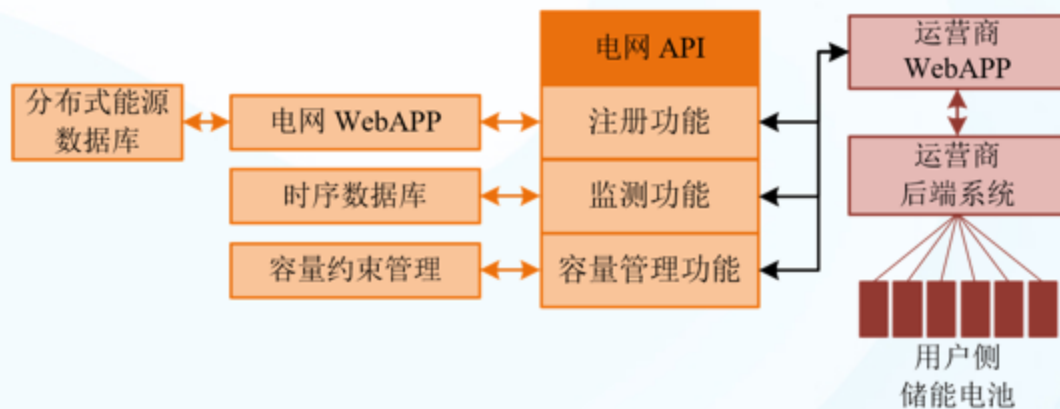
1. 澳大利亚虚拟电厂

建设情况

- 2019年7月，澳大利亚能源市场运营商（AEMO）开启为期2年、共计8个试点的虚拟电厂示范项目。示范项目均位于国家电力市场主要区域，大约7150用户签约参与项目，规模总计31MW。
- 2021年7月，澳大利亚国家电力市场中已注册居民储能电池规模约168MW。AEMO预计到2022年底，虚拟电厂规模将有望达到700MW。
- 澳大利亚虚拟电厂聚合资源以用户侧储能为主，目前虚拟电厂可以参与紧急频率控制辅助服务市场和电能量市场，主要提供频率控制辅助服务。



澳大利亚AEMO虚拟电厂示范项目系统架构



澳大利亚AEMO虚拟电厂示范项目系统功能架构

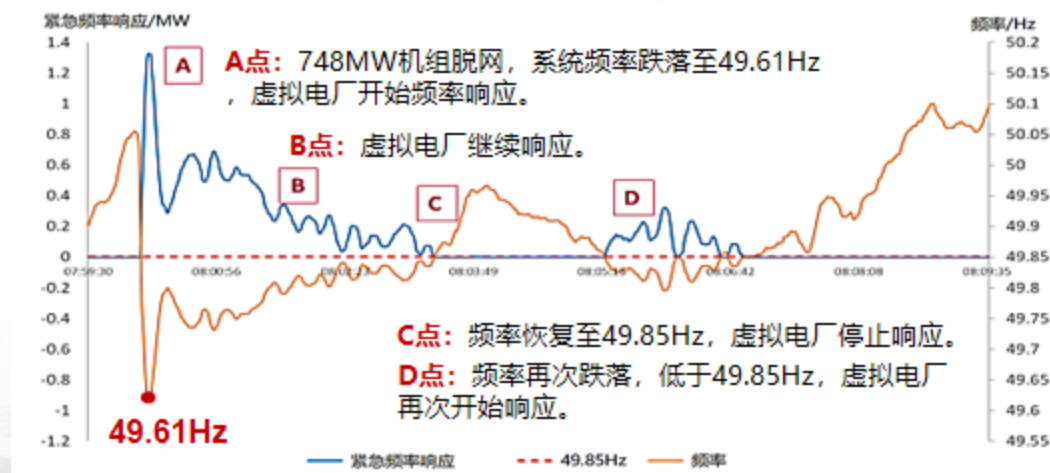
二、国外虚拟电厂实践



1. 澳大利亚虚拟电厂

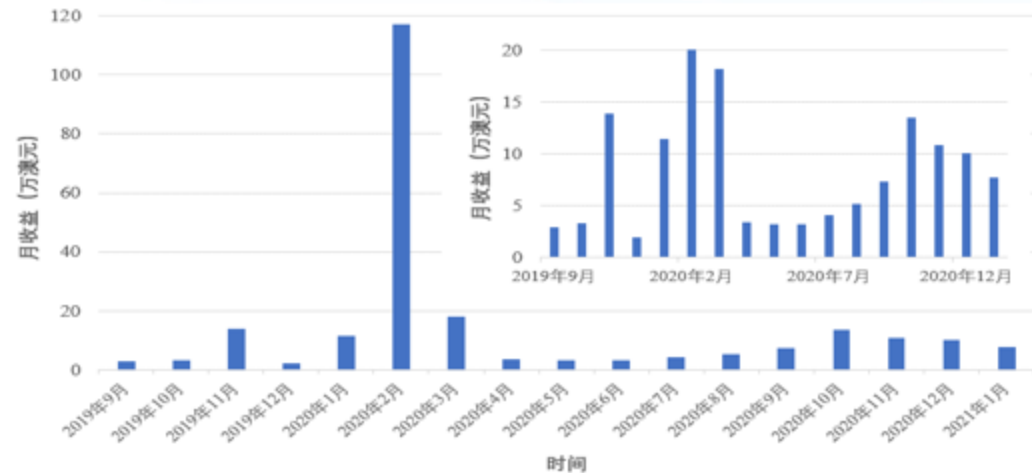
试点效果

截至2021年1月，澳大利亚AEMO虚拟电厂示范项目参与紧急频率控制辅助服务市场收益共计约238万澳元。截至2021年4月，虚拟电厂在紧急频率控制辅助服务市场份额约3%，提供紧急频率响应服务平均水平约14MW。



澳大利亚AEMO虚拟电厂示范项目紧急频率响应

- 2019年10月9日，澳大利亚国家电力市场中最大发电机组意外脱网，当时机组出力748MW，导致电网频率降低至49.61Hz。
- 虚拟电厂在检测到电网频率跌落后立即响应，向电力系统注入功率，支撑电网频率恢复。



澳大利亚AEMO虚拟电厂示范项目参与紧急频率控制辅助服务市场收益

- 澳大利亚辅助服务市场收益由AEMO基于发用电量比例向发电企业或电力用户支付。
- 2020年2月，南澳电网发生孤岛运行事件，虚拟电厂参与紧急频率控制辅助服务市场收益高达117万澳元以上。

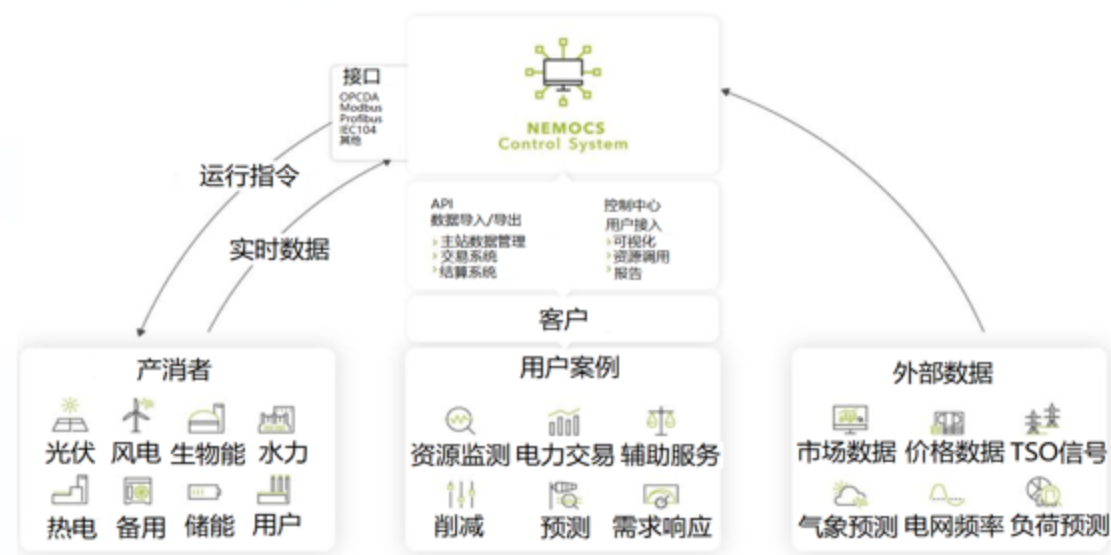
二、国外虚拟电厂实践



2.德国虚拟电厂

建设情况

- 2009年，德国虚拟电厂运营商Next Kraftwerke成立，并建立欧洲最大的虚拟电厂。截至2020年6月，德国Next Kraftwerke虚拟电厂规模约8200MW，聚合单元超过9500个。
- 德国Next Kraftwerke虚拟电厂聚合资源包括沼气电厂、热电联产厂、水电、光伏、电池储能、电动汽车、工业负荷等。
- 德国Next Kraftwerke虚拟电厂通过基于模块化设计的NEMOCS平台监控并调控各类分布式电源、用户和储能系统，实时显示记录当前系统聚合资源运行状态。



德国Next Kraftwerke虚拟电厂系统架构

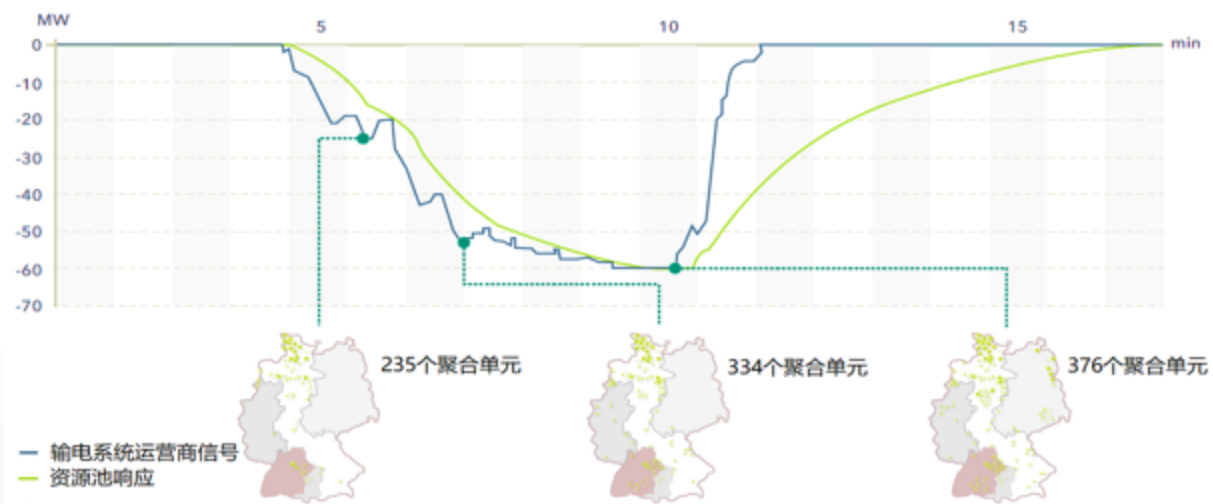


德国Next Kraftwerke虚拟电厂NEMOCS实时显示平台

2.德国虚拟电厂

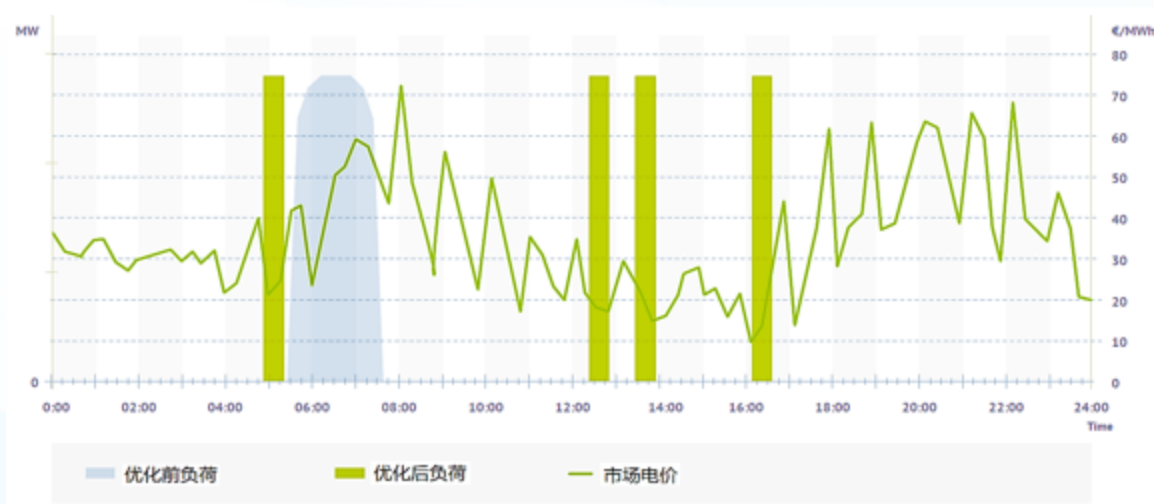
试点效果

德国Next Kraftwerke虚拟电厂通过参与电力市场交易为电网提供平衡服务，根据市场交易信息优化聚合资源运行。截至2020年6月，Next Kraftwerke虚拟电厂能源交易量约15.1亿kWh，营业额约6.3亿欧元。



德国Next Kraftwerke虚拟电厂提供电网平衡服务

- ❑ 输电系统运营商在平衡电力市场购买平衡服务，以解决电网实时供需失衡及频率偏差。
- ❑ 虚拟电厂通过现货交易或输电系统运营商招标参与平衡市场，通过提供备用容量、平衡能量获得收益。



德国Next Kraftwerke虚拟电厂优化用户用能行为

- ❑ 虚拟电厂根据电力现货市场日内交易电价信息，灵活调节聚合资源运行状态。
- ❑ 虚拟电厂将电价信息发送至用户，调整用户生产至低电价时段，降低用户用电成本。

二、国外虚拟电厂实践

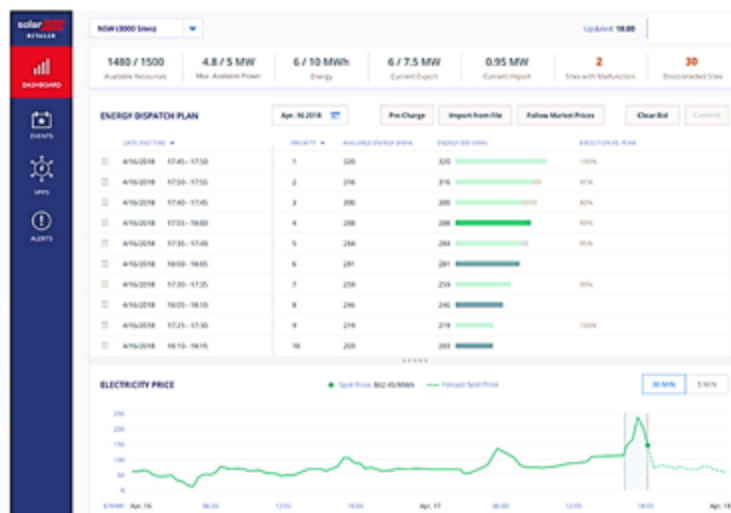
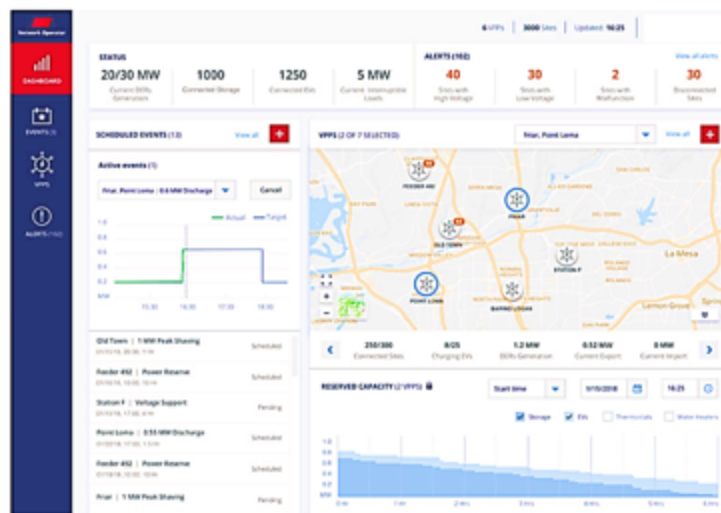


国家电网
STATE GRID

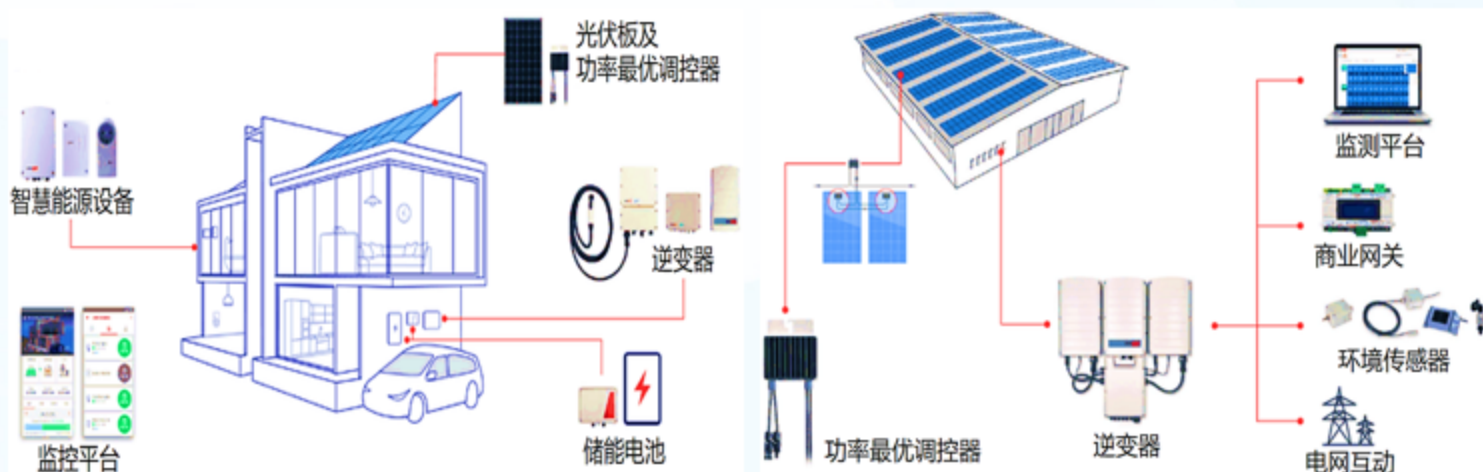
3.美国虚拟电厂

建设情况

- 截至2020年底，北美建成投运的虚拟电厂装机规模约1000MW，其中大部分在美国。预计到2029年，北美虚拟电厂市场规模将达到8600MW。
- 目前，美国虚拟电厂试点项目数量超过20个，分布在14个联邦州。
- 美国虚拟电厂聚合资源主要包括居民社区、工商业园区分布式光伏、储能设施、电动汽车等。



美国SolarEdge虚拟电厂运营商与用户端云平台



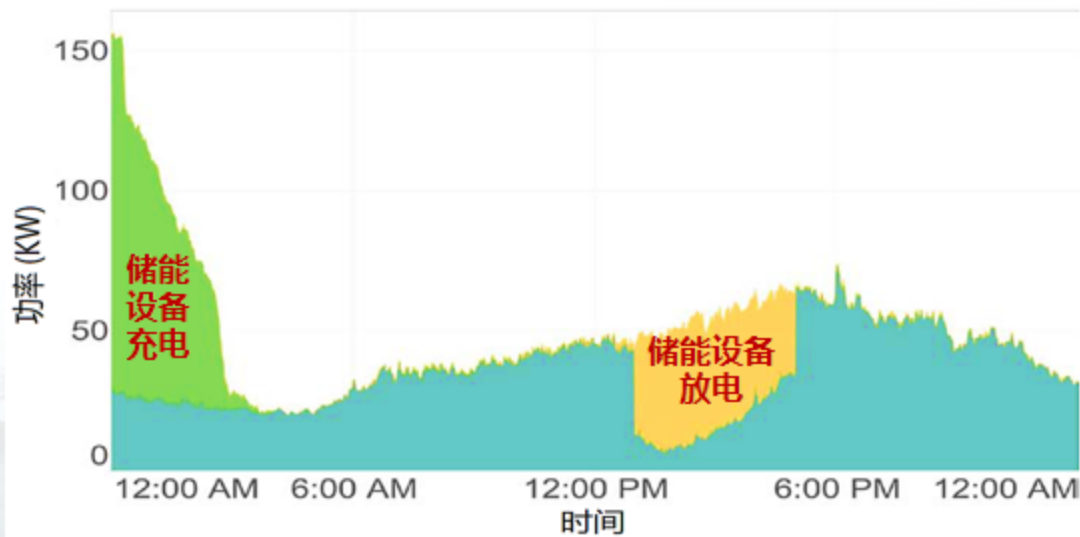
美国SolarEdge居民用户、商业用户接入方案

二、国外虚拟电厂实践



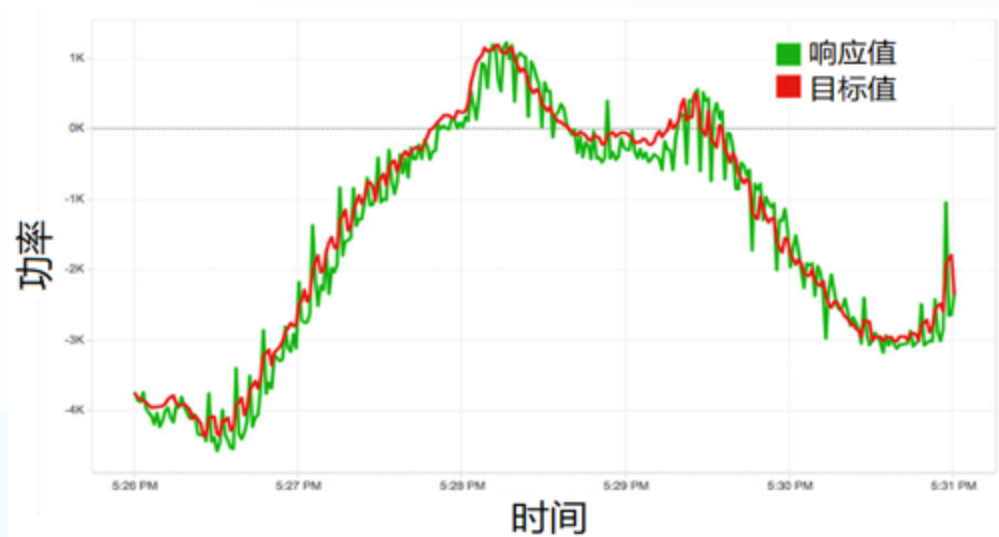
3.美国虚拟电厂 试点效果

美国虚拟电厂主要基于需求响应计划发展而来，兼顾考虑可再生能源利用，解决了小规模分布式电源不能参与电力市场问题，目前已成为负荷响应和分布式电源管理的一种新型解决方案。



美国Sunverge虚拟电厂调控用户侧储能设备

- 虚拟电厂通过调控用户侧储能设备，在夜间低电价时段从电网充电，在白天高电价时段放电供用户使用，减少用户从电网购电需求，降低用电成本。



美国Sunverge虚拟电厂参与电网调频服务

- 虚拟电厂通过聚合用户侧分布式资源实时响应独立能源运营商调节信号，解决短期电网供需失衡和频率波动。

目录 CONTENTS



一

虚拟电厂基础

二

国外虚拟电厂实践

三

国内虚拟电厂实践

四

虚拟电厂实践经验总结

五

虚拟电厂发展建议

1.深圳虚拟电厂实践情况

2022年4月16日，广东电力交易中心印发《广东省市场化需求响应实施细则（试行）》（广东交易〔2022〕54号）文件，规定虚拟电厂调节能力与需求响应机制。

- **非直控虚拟电厂调节能力**：响应能力不低于0.3MW，单次响应持续时间不低于2小时；
- **直控虚拟电厂调节能力**：上下调节不低于10MW，单次响应持续时间不低于2小时；
- **需求响应机制**：响应时段为所发布的需求响应时段，响应价格为单段报价，具备条件后可启用多段报价。

政策机制

2022年6月13日，深圳市发改委发布《深圳市虚拟电厂落地工作方案(2022-2025)》，对下阶段深圳虚拟电厂建设实施指明了方向。

- **重点发展智能有序充电技术及相应商业模式**，新能源汽车与电网双向能量互动商业模式取得突破；
- **建成100万千瓦级可调能力**，逐步形成年度最大负荷5%左右的稳定调节能力；
- **不断完善虚拟电厂市场化交易机制**，孵化培育一批国内领先的负荷聚合商和核心零部件研发制造企业。

1.深圳虚拟电厂实践情况

市场激励机制

接入深圳虚拟电厂平台的市场主体可以通过以下三个来源获得激励：

广东省市场化需求响应 补贴

- 日前邀约，价格上限3.5元/kWh；
- 周内中标时段、日内提前两小时，价格上限5元/kWh。

深圳市政府建立的本地 固定补贴

- 分布式光伏上网电量0.3元/kWh；
- 直流充电桩并网容量300元/kW、交流充电桩并网容量150元/kW。

南方电网区域两个细则 规定的调峰、调频等辅助 服务固定价格补贴

- 独立储能0.792 元/kWh；
- 直控型可调节负荷，填谷0.132-0.792元/kWh,削峰，0.264-1.584元/kWh。

三、国内虚拟电厂实践



1.深圳虚拟电厂实践情况

建设情况

截至目前，该平台已接入**聚合商14家**，接入**装机容量约87万千瓦**（相当于约9万户家庭的用电报装容量，接近一座大型煤电厂的装机容量），**分布式光伏容量21万千瓦**。

平台接入资源类型



电动汽车运营商



大型商业综合体



分布式储能

...



集中供冷站



大型写字楼



工业园区



数据中心



工业负荷

预计到2025年，深圳将建成具备**100万千瓦级可调能力的虚拟电厂**，逐步形成**年度最大负荷5%左右**的稳定调节能力。

三、国内虚拟电厂实践



国家电网
STATE GRID

1. 深圳虚拟电厂实践情况

建设情况

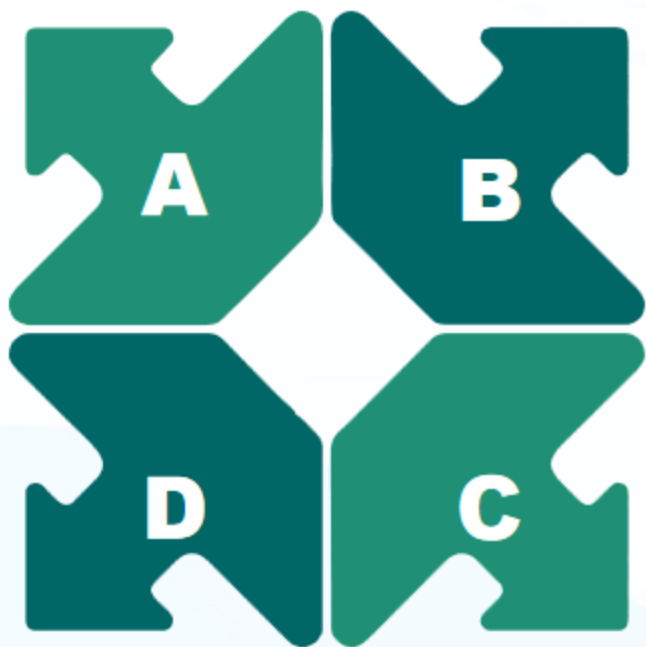
➤ 平台建设亮点:

实时准确响应调度指令

实现了系统的闭环、实时在线、全自动运行，可在**1秒钟内**快速完成优化计算和指令下达。

通用性强、功能易扩展

智能终端采用灵活的模块化设计，具备通用接口，可适应不同类型的分布式能源资源的接入，并可**集成更多应用功能**。



全资源整合、闭环优化调控

全面包含典型的**源、荷、储**可控资源，且均可参与调度调控，打通中小型分布式能源与调度的通信及调控，实现了真正意义的主动配电网。

配套终端功能灵活定制

智能终端采用的RTU模块具有较强可编程能力，可灵活实现分布式能源用户所需的定制化**逻辑控制功能**，并保证**现场运行稳定可靠**。

三、国内虚拟电厂实践



国家电网
STATE GRID

1.深圳虚拟电厂实践情况

运行效果

- **试点运行成效1:** 2021年11月8日,深圳能源售电公司代理的深圳地铁集团站点、深圳水务集团笔架山水厂参与响应。两家公司用户在正常安全生产的前提下,按照计划精准调节用电负荷共计3000kW。负荷侧资源在接到该局调度下发的紧急调控需求后,10分钟内负荷功率即下调至目标值。
- **试点运行成效2:** 2022年4月28提前向虚拟电厂平台下发10000kW向下调节需求,一天内7家负荷聚合商在指定区域内最大削减负荷5344kW。
- **试点运行成效3:** 2022年4月29日下午14时30分,深圳龙华区民兴苑的V2G充电站自收到指令1分钟内,充电站充电功率降为零,并进一步将车载电能返送回电网,实现了电动汽车与电网互动的迅速调节。



深圳虚拟电厂平台

三、国内虚拟电厂实践



2.冀北虚拟电厂实践情况

建设情况

“云管边端”体系架构

云端：部署VPP智能管控平台，打通与其他平台接口。

管侧：采用4G、5G等传输方式，实现信息闭环安全传输。

边侧：建设即插即用的边缘网关，实现资源接入平台。

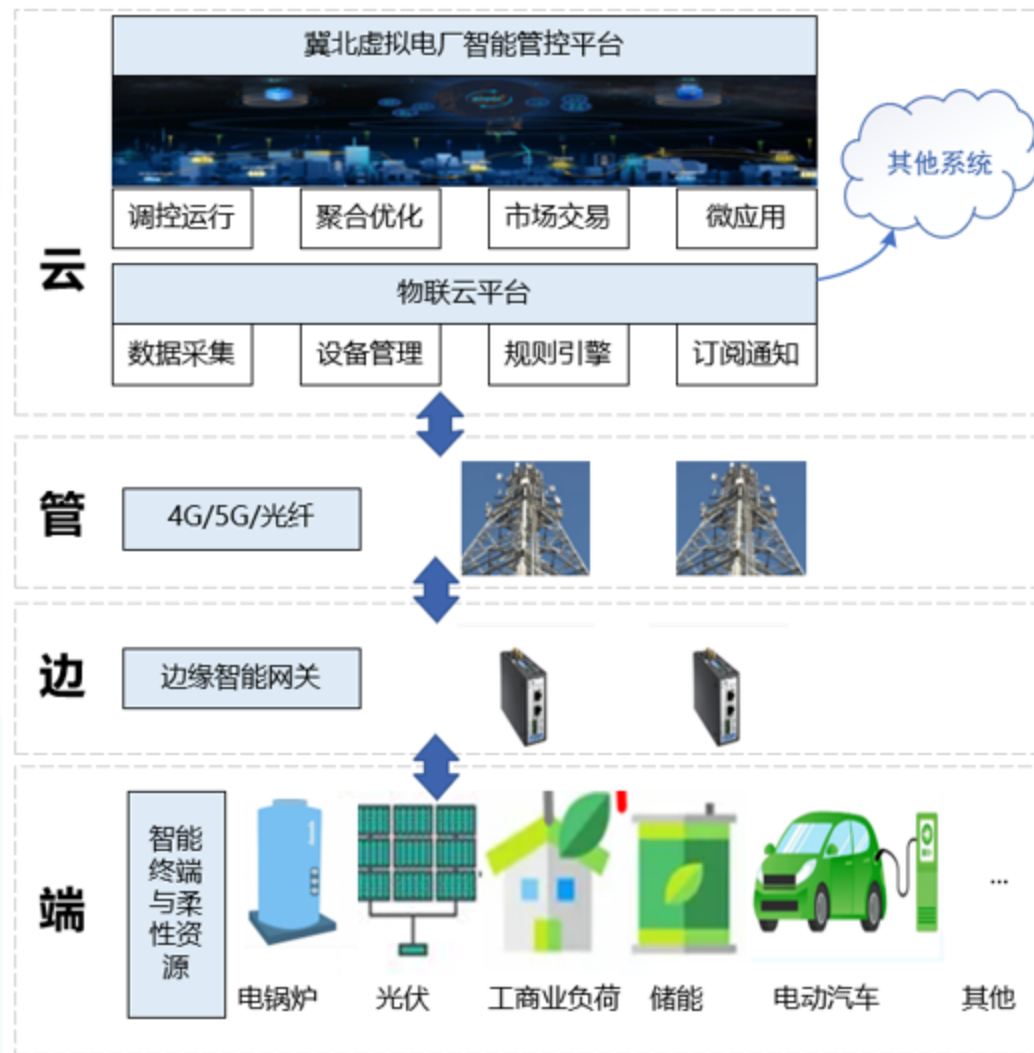
端侧：建设用户侧智能终端/用户侧管理平台，实现资源状态感知和柔性控制。

资源接入情况

资源规模：总容量358MW，最大调节能力204MW。

覆盖范围：张家口、秦皇岛、承德、廊坊、唐山。

资源类型：11类19家（可调节工商业负荷、蓄热式电锅炉、空气源热泵、储能、分布式光伏、电动汽车充电站、智能楼宇、制雪设施等泛在弹性资源）。

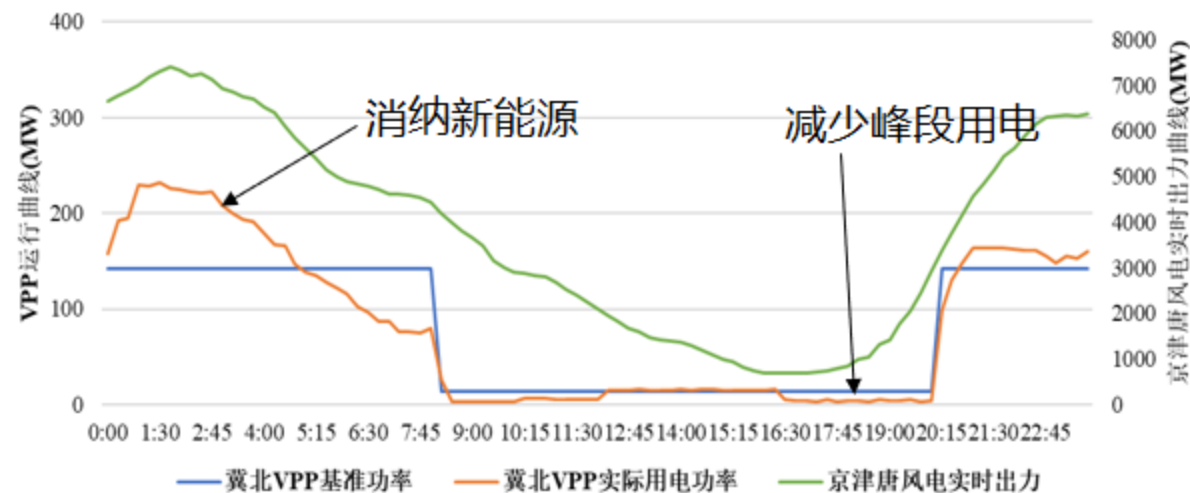


冀北虚拟电厂“云管边端”体系架构图

2.冀北虚拟电厂实践情况

运行效果

2019年起，冀北虚拟电厂全程参与华北调峰辅助服务市场，已在线连续提供调峰服务超过3200小时，累计消纳新能源电量3412万千瓦时，度电收益0.183元，运营商和用户总收益624.2万元，其中VPP运营商收益395.95万元，用户侧资源收益228.25万元。



冀北VPP典型日运行曲线

冀北虚拟电厂调节性能良好：

- 2022年已响应最大调节功率为154MW。
- 最大调节速率15.7MW/min（占额定有功功率的4.4%）。

三、国内虚拟电厂实践

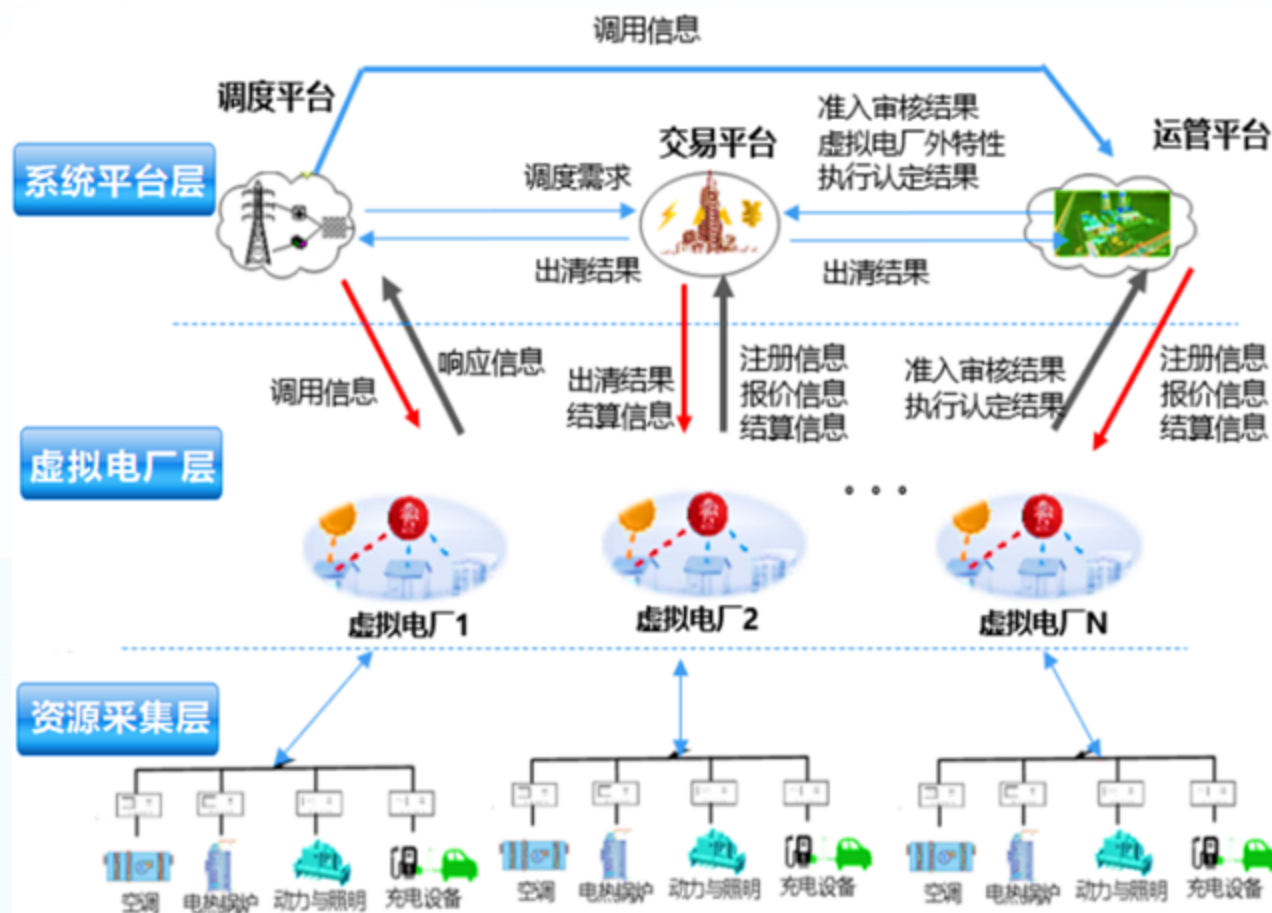


3.上海虚拟电厂实践情况

建设情况

系统平台架构

- **调度-交易-运营一体化虚拟电厂运营体系**：实现虚拟电厂直接参与电力市场交易和调度系统优化调控。
- **分布自治、层级间规约异构适配技术架构**：实现海量散布异质资源分层分群控制需求，促进海量多元负荷资源友好高效接入。



上海虚拟电厂系统平台架构

三、国内虚拟电厂实践



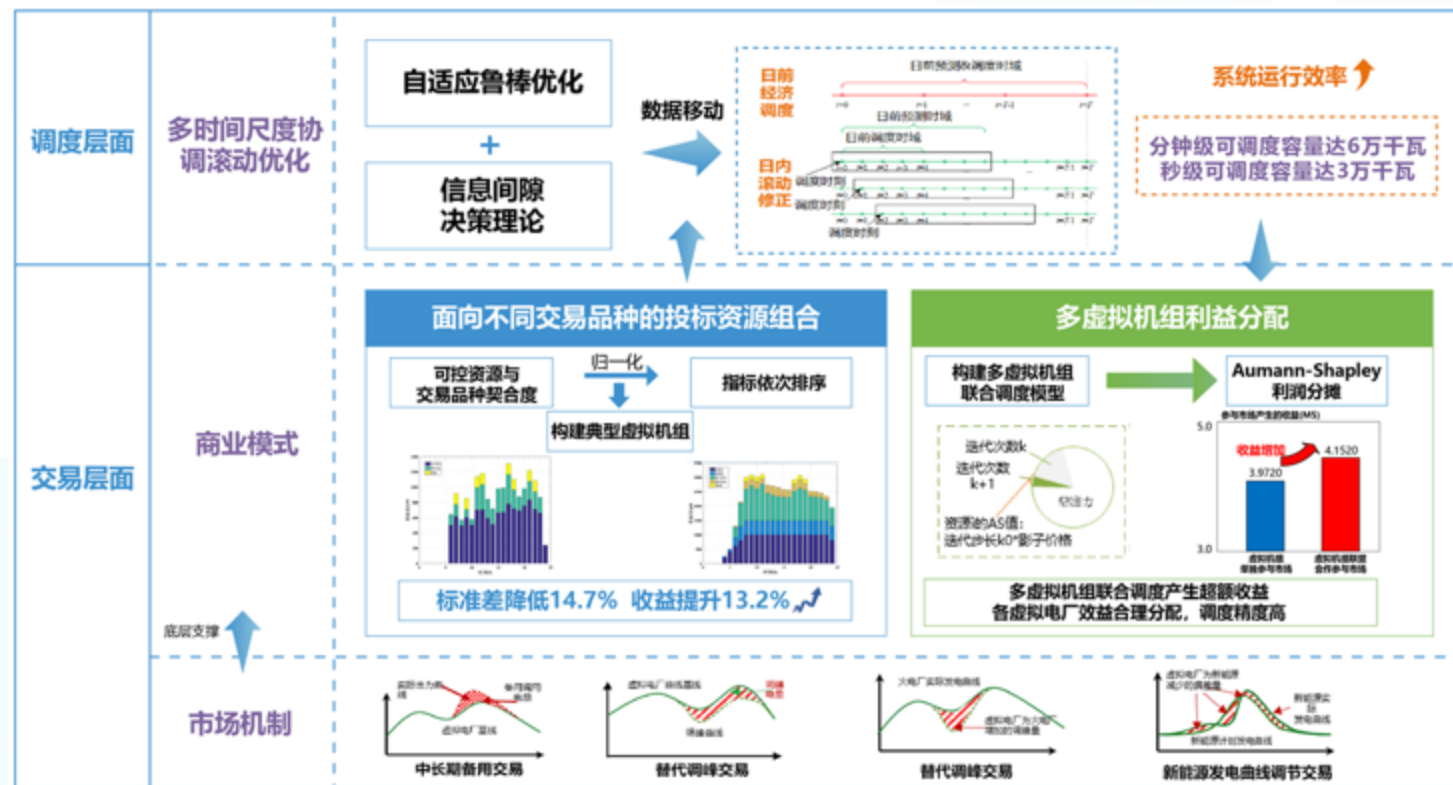
国家电网
STATE GRID

3.上海虚拟电厂实践情况

建设情况

资源接入情况

- 已有12家虚拟电厂接入上海虚拟电厂运行管理与监控平台，虚拟电厂初步形成1000MW发电能力^[1]，接入资源类型包括工商业楼宇、冷热电三联供、电动汽车、动力照明、铁塔基站等。
- 分钟级、秒级调度容量超过60MW、30MW。



上海虚拟电厂调度运行方法

[1] 上海市人民政府，“上海首次使用虚拟电厂“智慧减碳”初步形成一百万千瓦发电能力”。

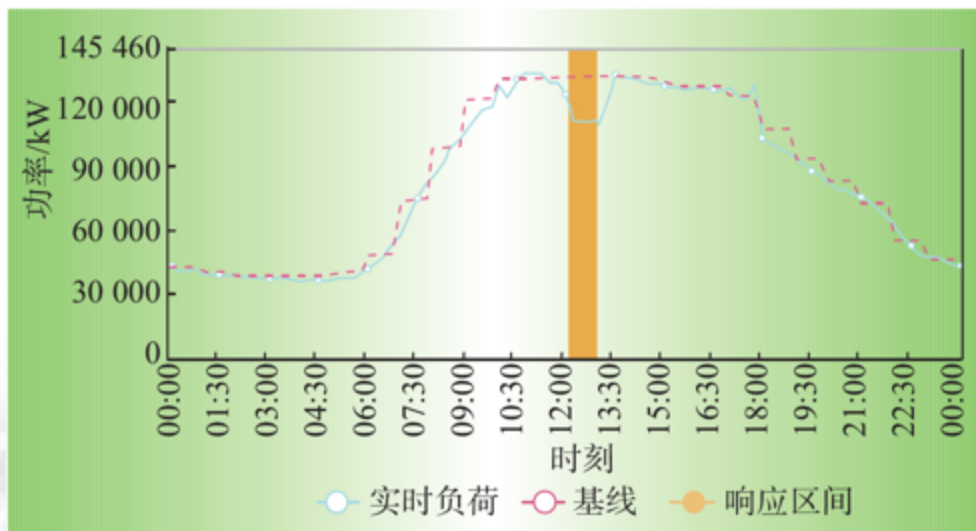
三、国内虚拟电厂实践



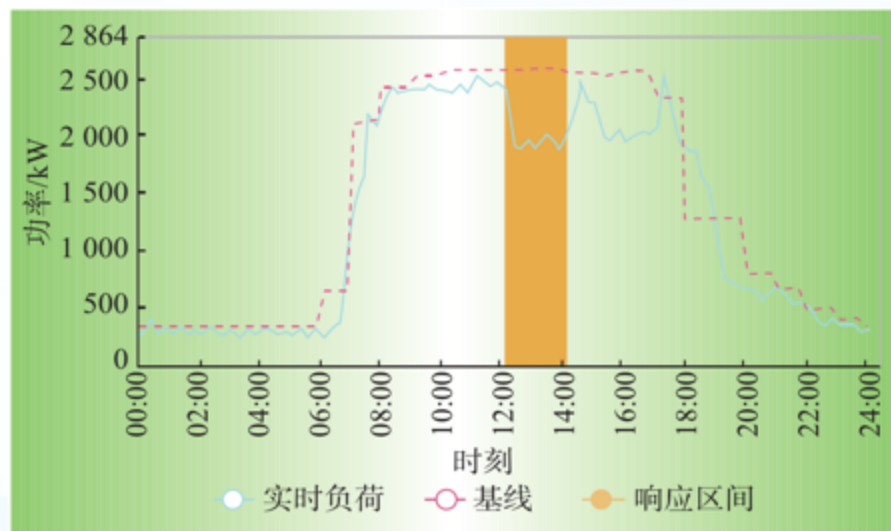
3.上海虚拟电厂实践情况

运行效果

上海黄浦区约50%商业建筑接入虚拟电厂平台，响应资源约60MW。2018年起，黄浦区商业建筑虚拟电厂累计发电调度超过1200幢次，累计响应削峰负荷超200MW，单次调峰收益超过170万元。



特殊天气变化电力运行保障



日常高负荷时段电力运行保障

- ❑ 2018年8月17日，台风“温比亚”在上海登陆。全市启动电力调峰预警，黄浦区商业建筑虚拟电厂首次投运。
- ❑ 当天12:00~13:00时段，104幢签约商业建筑同一时间投入运转，削减电力负荷20.12MW。

- ❑ 2019年8月9日，上海夏天迎来用电高峰时刻。
- ❑ 当天12:00~14:00时段，位于南京西路的某国际甲级写字楼执行削减负荷1069kW。

目录 CONTENTS



一

虚拟电厂基础

二

国外虚拟电厂实践

三

国内虚拟电厂实践

四

虚拟电厂实践经验总结

五

虚拟电厂发展建议

四、虚拟电厂实践经验总结



1.国内外对比分析

从国内外虚拟电厂实践对比看，有较大差别，总结如下。

国内外 对比项	国外	国内
聚合资源类型	类型丰富，包括源侧、荷侧及储能等各类资源，尤其欧洲以分布式可再生能源为主，负荷侧资源类型占比较小。	以负荷侧资源调节为主。未能发挥国内丰富的可再生能源资源+分布式储能优势，从而难以实现虚拟电厂的规模效益。
政策及市场成熟度	辅助服务市场和电力现货市场机制完善，尤其是电力现货市场更加成熟。	市场机制仍在探索，市场主体尚需培育，大部分省份以试点方式在推进。
技术成熟度	核心技术更加成熟，尤其是其协调控制技术，可实现对各种可再生能源及负荷的灵活控制，对分布式可再生能源可控。	分布式可再生能源“风光无限”，且协调控制策略有待完善。
商业模式	已实现商业化，主要通过以下方式获取收益： 一是通过提供电力市场交易获得利润分成； 二是主要通过参与调峰调频市场获取收益； 三是通过配置储能装置获得辅助服务收益。	商业模式仍在探索，以参与相对成熟的需求响应市场，及以虚拟电厂方式提供节能、用电监控等增值服务为主，参与辅助服务市场为辅，参与电力现货仍在尝试探索中。

四、虚拟电厂实践经验总结



2.经验总结

1

思想认识是根本。VPP不是新生事物，实际是需求响应的一种高级形态，同时也是为用户提供综合性能源服务的一种模式。

2

市场建设是基础。尽管VPP经济效益、环境效益显著，但需要较为成熟的市场机制，完善虚拟电厂与现货市场、辅助服务市场的衔接机制。一方面调动用户积极性，另一方面为商业模式创新奠定基础。

3

规范实施是关键。尽快出台国家层面的虚拟电厂指导性文件，明确虚拟电厂定义、范围、发展定位、发展目标及分步实施策略。积极推进省级层面虚拟电厂专项政策出台，为市场主体开展虚拟电厂业务提供政策依据。

4

信息安全是保障。考虑电网安全问题，亟需建设统一的虚拟电厂接入平台，使得各类社会资本投资的虚拟电厂运营系统按照统一的技术规范接入，实现与电网的双向互动。

5

试点先行是出路。国内虚拟电厂仍处于初级阶段，以试点示范为主。已有冀北、上海、深圳、山东等省市开展了试点，各具特色。应进一步扩大试点示范范围，加快推进虚拟电厂建设进程。

四、虚拟电厂实践经验总结



3. 投资效益分析

投资测算

□ 以200万千瓦虚拟电厂建设为例，接入日前级资源150万千瓦（其中50万千瓦支持填谷），小时级资源30万千瓦（其中10万千瓦支持填谷），分钟级资源15万千瓦，秒级资源5万千瓦。总建设成本5.36亿元，年运行维护开支0.2亿元。

序号	费用类型	单价	数量	小计
1	平台建设费	500万元/套	1套	0.05亿元
2	工业企业日前级资源接入与监测	0.01万元/千瓦	150万千瓦	1.5亿元
3	工业企业小时级资源接入与监测	0.02万元/千瓦	30万千瓦	0.6亿元
4	商业分钟级资源接入与监测	0.05万元/千瓦	15万千瓦	0.75亿元
5	储能建设*	0.18万元/千瓦时	13.69万千瓦时	2.46亿元
合计				5.36亿元

注：储能建设容量，按照最大调频容量5万千瓦，年均运行小时数1000小时计算，平均每天的放电能力需要达到5万千瓦 $\times$ （1000小时 $\div$ 365天）=13.69万千瓦时/天

四、虚拟电厂实践经验总结



3. 投资效益分析

收益及回收期测算

- 按照提取代理服务费、赚取调频服务费两种方式核算收益，假设日前级激励标准4元/千瓦时，小时级8元/千瓦时，分钟级15元/千瓦时，夜间调峰辅助服务收益0.2元/千瓦时，储能调频放电差价0.5元/千瓦时计算，年收益为1.255亿元，考虑年运行维护成本0.2亿元，投资回收期为5.08年。
- 若不投资储能，不考虑调频服务，在年运行维护成本保持0.2亿元情况下，投资回收期为3.6年。

序号	收益类型	响应容量 (万千瓦)	单价 (元/千瓦时)	单次响 应时长	响应 次数	提成 比例	小计 (亿元)
1	日前级资源（传统需求响应市场）	150	4	4小时	10	20%	0.48
2	小时级资源（传统需求响应市场）	30	8	2小时	10	20%	0.096
3	分钟级资源（传统需求响应市场）	15	15	1小时	10	20%	0.045
4	基于调峰辅助服务市场的互动收益	60	0.2	8小时	200	20%	0.384
5	调频服务*	5	0.5	1000	1	100%	0.25
合计							1.255

目录 CONTENTS



一

虚拟电厂基础

二

国外虚拟电厂实践

三

国内虚拟电厂实践

四

虚拟电厂实践经验总结

五

虚拟电厂发展建议

五、虚拟电厂发展建议



1

进一步推动试点支持政策完善。短期来看，应推动政府进一步扩大激励资金来源，固化资金渠道；长期来看，应推动需求侧资源常态化参与辅助服务市场交易，最大限度引导客户主动参与，充分体现客户参与互动响应的意愿。

2

加强统筹管理和顶层设计。建议政府牵头，组织电力用户、电网企业、负荷聚合商、用电设备制造厂家等各方联合发力，从源头上把需求侧资源纳入双碳战略布局和能源安全体系，在规划层面确立用户侧资源地位与电厂侧等同。

3

推行需求响应强制性标准和产品认证制度。主动向国家质检总局、国标委、住建部、工信部等主管部门汇报，推动各部门联合出台针对需求侧可调节负荷设备的统一互动接口标准，建立相应的评价认证制度，丰富完善可调节资源实时感知、便捷接入、灵活互动、合作运营的技术支撑体系。

4

提升数字化支撑能力。以互联网为手段，充分融合大数据、云计算、物联网、区块链、人工智能等技术，提升用户侧需求响应的自动化和智能化水平，实现响应系统决策智能化、执行方式自动化，提升用户无感需求响应参与度。



汇报结束，谢谢！

