



国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA

# 上海虚拟电厂建设运营 关键技术及应用

国网上海市电力公司经济技术研究院

2023年9月





**目录**  
ontents

1

**建设背景与意义**

2

**总体建设目标**

3

**虚拟电厂技术成果**

4

**上海虚拟电厂实践**

5

**待解决问题**



01

# 建设背景与意义

夏冬季空调负荷在整体用电负荷的占比不断增大，  
对双碳目标下保障能源安全和电网安全提出了更高的要求。

迎峰度夏期间  
极端高温天气

10亿千瓦负荷中  
4亿千瓦为空调负荷

2022年12个省市  
出现电力缺口

用电高峰期、水电枯水期、冬季供暖期 “三期叠加”

- **习近平总书记**提出“双碳”目标，二十大报告提出“加快规划建设新型能源体系，积极参与应对气候变化全球治理”。
- **上海市政府**提出制定全市碳排放达峰行动计划，着力推动电力、钢铁、化工等重点领域和重点用能单位节能降碳，确保在2030年前实现碳排放达峰。
- **国网公司**全力推进构建新型电力系统。
- **上海公司**发布了构建城市新型电力系统任务清单。

能源生产的清洁替代和能源消费的电能替代将呈现更大规模、更快发展的态势



电力电量平衡、安全稳定运行、电网潮流控制将面临一系列问题和挑战



### 电力电量平衡形势日益严峻

上海电网高峰电力平衡和低谷调峰平衡缺口问题突出，新能源出力的波动性、随机性和间歇性加剧了高峰和低谷电力电量平衡的难度。

### 安全稳定运行面临极大挑战

上海电网新能源装机比例不断上升，电网频率、电压调节能力趋向不足，最终将制约新能源消纳能力。

### 电网潮流控制难度不断增大

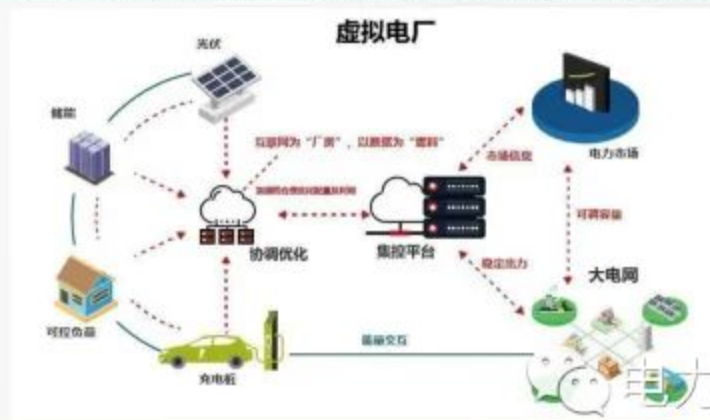
上海电动汽车超速增长，截至8月已达120万辆，占汽车保有量的25%。电动车集中充电可能导致配网相关线路、变压器潮流重载甚至过载，电网潮流控制模式变得更为复杂。

**虚拟电厂 (Virtual Power Plant, VPP)** 是通过应用先进的**信息通信技术** (如5G、边缘计算、区块链、人工智能...), 对各类**分布式资源** (包括分布式电源、需求响应资源、储能) **有效聚合和协调控制**, 所形成的可被常态化精准化调度的**特殊电厂**。

- **对外**: 它具有类似常规火力发电机组的外特性, 可以作为一个特殊的发电厂运行, 接受电网调度, 参与电网运行。
- **对内**: 相当于一个综合能源管理系统, 能够帮助用户进行能源管控, 提升能源利用效率, 降低用户用能成本。

## ✓ 虚拟电厂组成:

虚拟电厂按地域分成若干台虚拟发电机组。每台发电机组均有最小容量限制。虚拟电厂运营方作为市场主体参与电力市场交易, 运营方可拥有分布于不同地域的多台虚拟发电机。



时间	发布单位	文件名	相关内容
2021.10	国务院	《2030年前碳达峰行动方案》	加快灵活调节电源建设，引导 <b>虚拟电厂</b> 等参与系统调节；省级电网有尖峰负荷5%以上响应能力。
2022.1	国家发改委、 国家能源局	《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》	鼓励抽水蓄能、储能、 <b>虚拟电厂</b> 等调节电源的投资建设。
2022.1	国家能源局	《2022年能源监管工作要点》	全面推动高载能工业负荷、工商业可调节负荷、新型储能、电动汽车充电网络、 <b>虚拟电厂</b> 等参与提供辅助服务。
2022.2	国家发改委、 国家能源局	《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》	支持 <b>虚拟电厂</b> 运营商等参与电力市场交易和系统运行调节。
2021.12	国家能源局	《电力并网运行管理规定》、《电力辅助服务管理办法》	“规定适用于...可调节负荷(含通过聚合商、 <b>虚拟电厂</b> 等形式聚合)等负荷侧并网主体”明确了虚拟电厂的市场主体地位。
2022.1	国家发改委、 国家能源局	《“十四五”现代能源体系规划》	开展工业可调节负荷，楼宇空调负荷、大数据中心负荷、用户侧储能、新能源汽车与电网(V2G)能量互动等资源聚合的 <b>虚拟电厂示范</b> 。



项目名	项目时间	公司名称	用途
河北泛在电力物联网虚拟电厂	2019	国网冀北	聚合可调资源，通过泛在电力物联网技术，与电力系统实时柔性互动
天津滨海新区虚拟电厂	2019	国网信产	全面聚集用户侧资源，主动响应电网调度信号，协调天津电网供需平衡
上海黄浦区商业建筑虚拟电厂	2020	国网上海	基于黄浦区建筑能耗监测系统平台，开发虚拟电厂运营调度管理应用
浙江丽水绿色能源虚拟电厂	2020	国网浙江	利用光纤、北斗通信等技术，将全域水电发电信息聚合，进行智慧调度
华北国网综能虚拟电厂	2020	国网综能	聚合分布式电源、可控负荷和储能装置，接入可调负荷10万千瓦
湖北虚拟电厂	2021	国网湖北	在武汉市局部降低监控负荷70万千瓦
深圳虚拟电厂	2021	南方电网	通过物联网、5G通信和大数据技术，聚合点多、面广、单体容量小的用户可调节资源



02

## 总体建设目标

- **资源接入**：主要依托聚合商，聚合可调节资源，实现资源分类灵活接入；
- **平台升级**：推进虚拟电厂运行管理与监控平台、源网荷储协同调控平台等系统升级改造；
- **建章强制**：正在建立虚拟电厂参与市场交易机制和配套政策；
- **技术攻关**：加快虚拟电厂资源聚合、快速通信、可信交易、协同调控等关键技术研发。



- 努力用市场化手段引导虚拟电厂参与调峰、调频、备用等应用场景，实现**调控模式从“源随荷动”向“源荷互动”转变**，提升系统灵活调节能力和运行韧性，保障电网安全稳定运行和电力可靠供应，助力上海城市新型电力系统构建和上海城市“双碳”目标实现。

### 目标一：海量资源接入

- **国重项目：构建百万千瓦级超大城市虚拟电厂资源池，实现百万数量级智能终端即插即用安全接入**
- 在临港新片区、长三角一体化示范区、城市核心区、崇明生态岛等区域，完成海量可调节负荷资源聚合接入；
- 到2025年，上海虚拟电厂聚合可调节资源容量不低于120万千瓦，分布式电源容量不低于40万千瓦；
- 到2025年，安全接入终端超过101万台，并具备支持终端安全接入超过200万台的能力。

	分布式风光	1040MW
	三联供	120MW
	工业负荷	730MW
	商业楼宇	700MW
	充电桩	900MW
	铁塔基站	70MW
	储能	100MW



## 目标二：系统架构完善

### ■ 建立完善的虚拟电厂参与调控运行体系架构和平台系统，

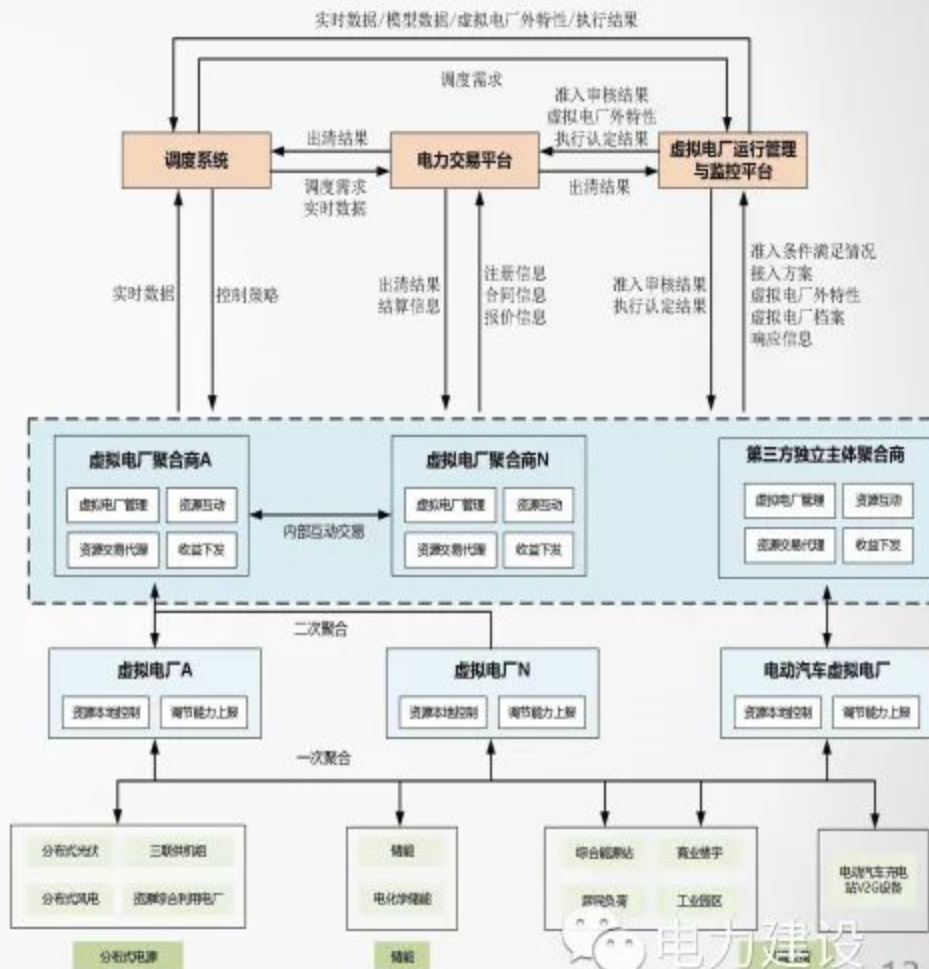
### 实现虚拟电厂积极常态化参与实时精准调控

- 构建包含资源层、聚合层以及平台层的分层体系架构，完成虚拟电厂运行监控、协同调控、市场交易等相关系统平台升级改造，实现资源安全接入、信息快速传输、上下互动高效、调节效果显著，引导和保障虚拟电厂积极常态化参与调峰、调频和备用等应用场景。
- 到2025年，最高峰值负荷可降低25万千瓦以上，其中快速调频容量不低于11万千瓦，快速调频指令响应时延小于120ms；支持12个区块链市场主体节点，交易共识达成时间小于0.7秒。

平台层

聚合层

资源层





03

## 虚拟电厂技术成果

### 科技项目

- ✓ 在研、已完成项目共计18项，其中中国重项目1项、上海市科委项目2项

### 标准

- ✓ 牵头立项虚拟电厂国家标准1项，  
《虚拟电厂资源配置与评估技术规范》
- ✓ 牵头立项虚拟电厂行业标准1项，  
《虚拟电厂术语》
- ✓ 正在策划虚拟电厂国际标准



### 科技奖励

- ✓ 获得省部级科技奖5项
- ✓ 国网公司科技奖1项
- ✓ 上海公司科技奖5项

### 论文专利

- ✓ 授权发明专利8项，实用新型专利1项，受理发明专利40项
- ✓ 发表论文38篇，核心论文13篇



04

## 上海虚拟电厂实践





## 4.1 虚拟电厂总体运营体系

2019年开始，围绕“四个平台”+“两点支撑”+“多方应用”开展建设。

### 四个平台

**电力交易平台**接纳虚拟电厂运营商为独立主体参与市场注册并组织开展市场化交易；

**运营管理与监控平台**旨在实现对上海市范围内虚拟电厂接入电网的统一管理；

**调度控制平台**负责根据电网运行情况提出市场需求；

**电厂侧平台**针对虚拟电厂内部资源进行优化聚合。

### 两点支撑

依托现代通信技术，从满足交易、控制及量测需求出发，构建四个平台之间完整的**通信网络**，满足能源流、业务流、数据流双向流通；

根据信息采集、设备远程控制、计量结算需求，开展源网荷互动智能**设备终端**研发应用。

### 多方应用

基于虚拟电厂“平台型、共享型”的建设理念；打造“技术型”与“商业型”相结合的虚拟电厂运营服务模式；构建虚拟电厂相关的**技术标准与服务标准体系和商业模式**；面向**市场主体**提供基于虚拟电厂的接入、优化、控制、交易等技术与服务。



## 4.1 虚拟电厂总体运营体系

2023年3月，国网上海市电力公司组织开展**虚拟电厂运营体系深化应用**工作，在**资源扩展、调度控制、商业模式**等方面持续推进。

### 01

#### 资源扩展方面

- 持续扩大虚拟电厂聚合规模，已完成**聚合商接入20家**，申报可调容量**44.78万千瓦**。
- 资源类型包括**楼宇空调、充换电站、非连续性生产、三联供、铁塔基站储能、数据中心**。

**充换电站** 19.56万千瓦

占比45.2%，运营商有调控平台，能够快上快下



**楼宇空调** 7.11万千瓦

占比15.9%，通过运营商接入，尚有较大接入潜力



**铁塔储能** 1万千瓦

占比2.2%，调控意愿高，调控能力强



**分布式三联供** 8.37万千瓦

占比18.7%，有内燃发电机组，可余电上网



**非连续性生产** 6.28万千瓦

占比14.0%，通常需要提前半天或4小时通知



**数据中心** 0.92万千瓦

占比2.1%，目前仅考虑蓄冷罐，柴发有较大潜力



## 4.1 虚拟电厂总体运营体系

2023年3月，国网上海市电力公司组织开展**虚拟电厂运营体系深化应用**工作，在**资源扩展、调度控制、商业模式**等方面持续推进。

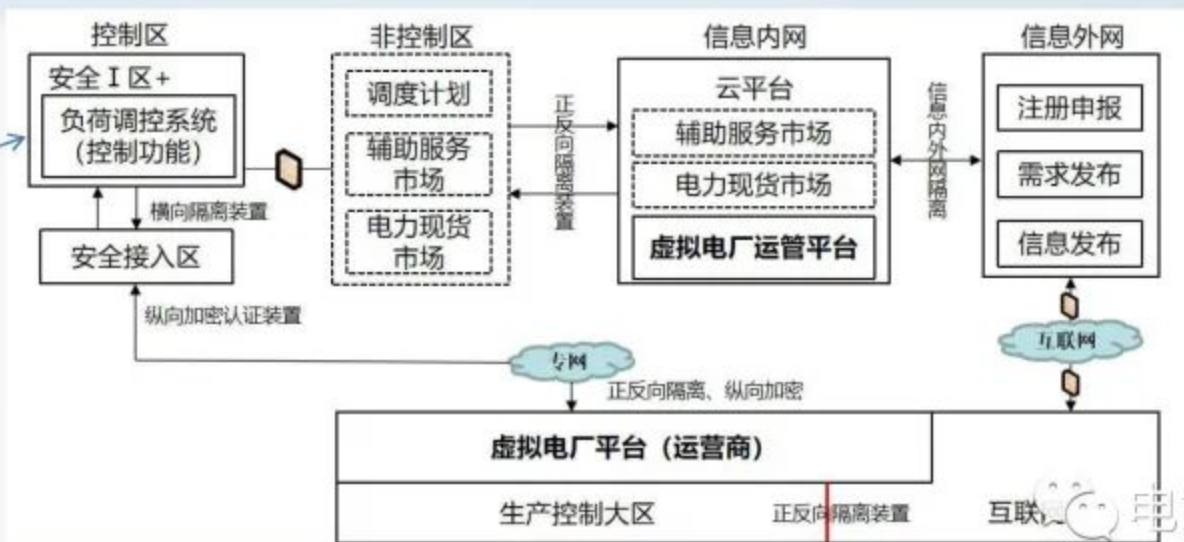
### 02

#### 调度控制方面

- 持续完善源网荷储调控系统，实现调度系统与营销、交易系统间的业务贯通。
- 完成虚拟电厂5G专用网关部署，实现本部与5G核心网之间链路调通。
- 推动虚拟电厂直接接入调度和联调测试，制定虚拟电厂参与调频演练方案。

#### 调频

- ✓ 接入：调度安全 I 区+
- ✓ 资源：储能电站、分布式三联供、换电站等





## 4.1 虚拟电厂总体运营体系

2023年3月，国网上海市电力公司组织开展**虚拟电厂运营体系深化应用**工作，在**资源扩展、调度控制、商业模式**等方面持续推进。

### 03

#### 商业模式方面

- 针对虚拟电厂参与电力市场调节所获收益等资金的疏导方式，与市政府主管部门开展多轮专题讨论，初步**明确相关资金的后续疏导方式和意见**。
- 正在编制《上海虚拟电厂准入与退出管理办法》、《上海虚拟电厂参与电力调节市场交易方案》。

#### 准入标准

- ✓ **调节容量**：市场初期不低于 5MW，且不低于最大用电负荷的 10%，后期视虚拟电厂发展情况滚动调整。
- ✓ **信息化平台**：数据传输实时完整可靠，满足采集频率、采集范围等。

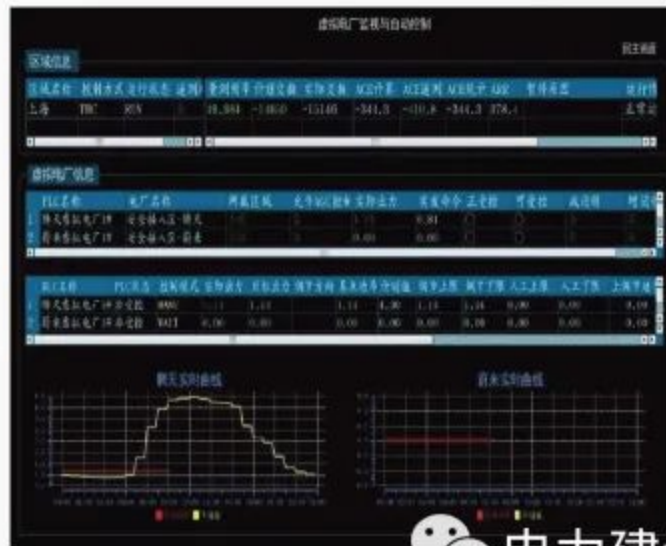
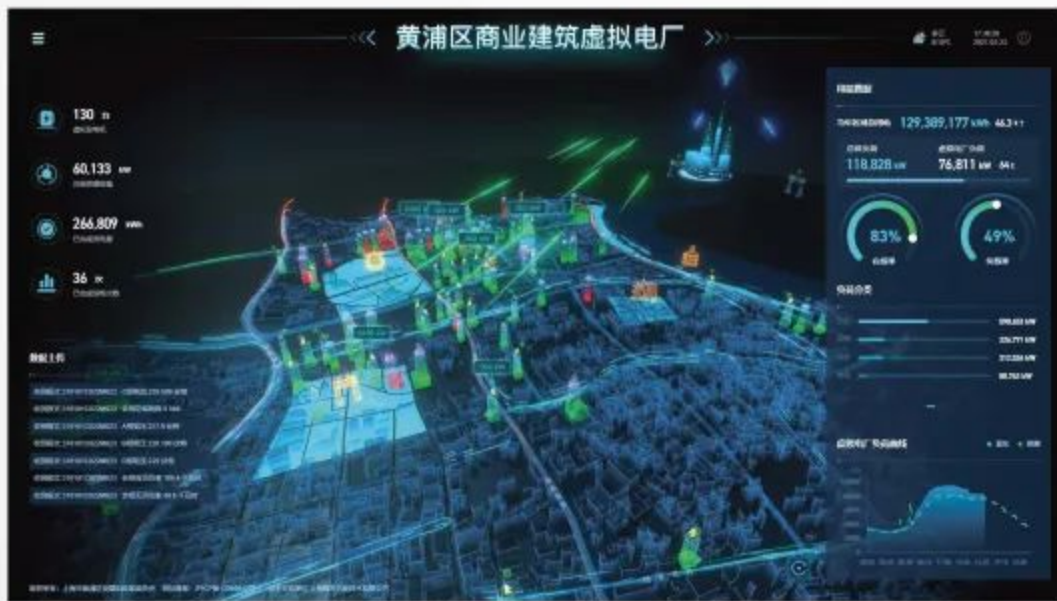
#### 运营机构

- ✓ **上海市电力负荷管理中心**（虚拟电厂运管平台）：资格审核、执行组织、容量核证等。
- ✓ **上海电力交易中心**：市场注册、交易出清、结算依据出具、信息披露等。
- ✓ **上海电力调控中心**：评估电力电量缺口、调频准入评测。

## 4.2 典型聚合商

### 聚合商——案例一：腾天（黄浦区）商业建筑虚拟电厂

- 对商业建筑智能化日常调度运营管理，并对运营数据可视化展示、分析
- 已接入楼宇130栋，最大调节潜力5.96万千瓦
- 对接调度安全1区+、交易中心和运管平台，为电力削峰/填谷/调频提供服务





## 4.2 典型聚合商

### 聚合商——案例二：蔚来汽车虚拟电厂

- 打通电网与蔚来的充换电资源，通过负荷聚合形成虚拟电厂，接受上一级车网互动公共平台的调度





## 4.2 典型聚合商

### 聚合商——案例三：明华电力虚拟电厂

- 接入1个分布式冷热电联供能源站、1个园区、1个智能楼宇、5个分布式电动汽车充电站，目前整个虚拟电厂已具备调度发电能力6MW，接入可控负荷30MW，储能0.500MW的虚拟电厂出力能力。





05

待解决问题



### □ 市场交易机制方面

交易规则尚待制定；价格设置不合理；交易平台尚待完善。需要促请政府部门尽快制定虚拟电厂参与相关交易规则。

### □ 可调节资源接入方面

资源接入类型仍需要扩展；数据采集和通信交互能力需要优化；安全防护能力不足；虚拟电厂运行管理与监控平台功能需要升级。

### □ 虚拟电厂调控互动方面

源网荷储协同调控系统功能需要优化；资源控制能力需要提升；系统平台间通信需要优化；调度主站层安全防护能力不足。

### □ 亟需研究多层次协同调控模式及技术架构

虚拟电厂聚合商建设规模不同，构建方式差异很大，需要进一步研究面向调度系统、交易系统与虚拟电厂运行系统的多层次协同调控模式及技术架构。

### □ 亟需研发低成本、响应快的接入装置和方式

虚拟电厂运营管控系统多分布在互联网，聚合商平台差异很大，呈现异构特征且控制安全风险大，需要研究低成本、高可靠、安全接入与交互技术，满足虚拟电厂毫秒级、秒级、分钟级、小时级等不同时间控制要求。

### □ 亟需研发负荷侧资源实时在线评估功能

虚拟电厂接入了海量离散分布负荷资源，类型多样、特性迥异，从调度层及虚拟电厂聚合层都需要掌握各类资源聚合响应特性，进一步在虚拟电厂基线负荷计算、可调节能力评估等方面开展研究。

### □ 亟需研发虚拟电厂优化协调控制功能

针对虚拟电厂资源响应不确定特征，需要改变以往基于确定性的控制方法，融合人工智能技术构建多层次多自治主体的一致性协调控制体系，提升虚拟电厂资源控制能力。



国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA

汇报完毕，谢谢！

国网上海市电力公司经济技术研究院

2023年9月

