

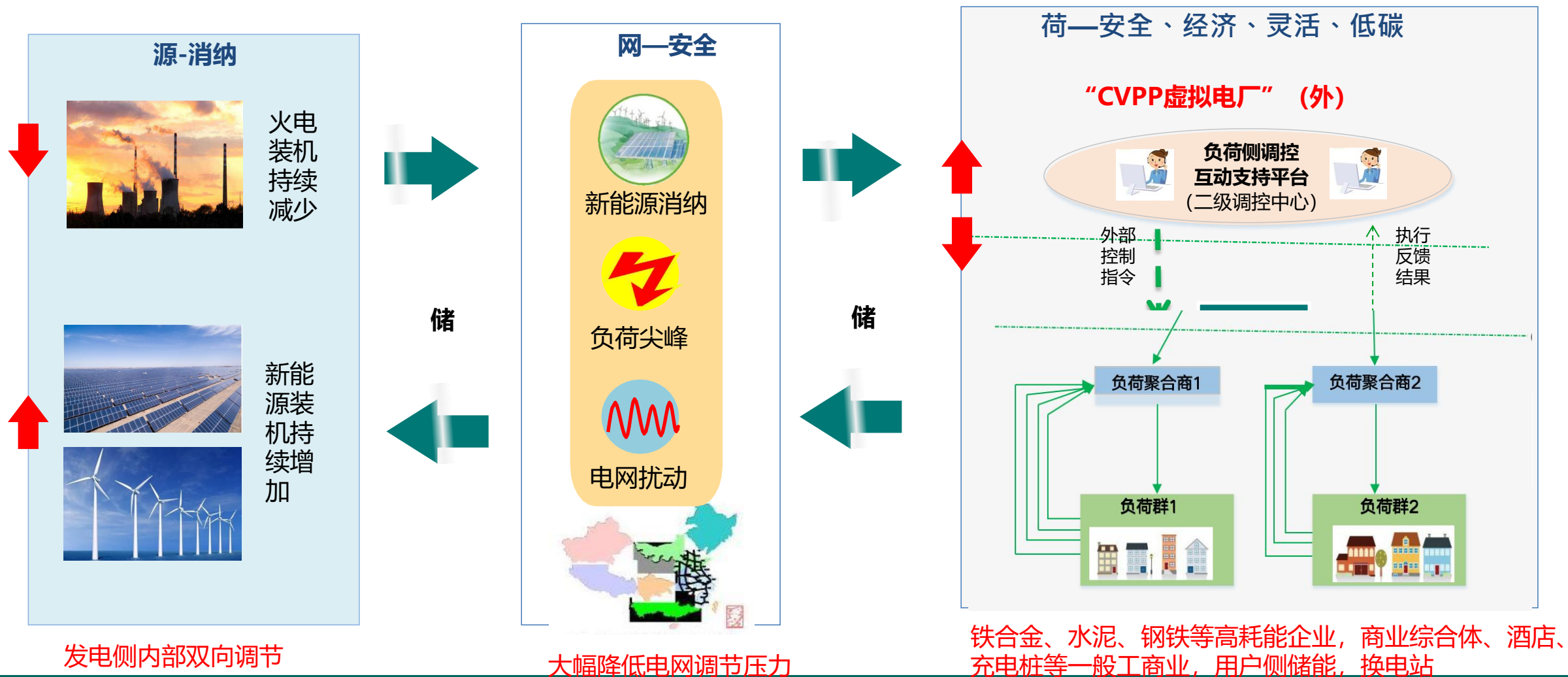


基于新型电力系统的虚拟电厂介绍

新型电力系统下的虚拟电厂

新型电力系统推动传统电力从“源随荷动”向“源-网-荷-储”四方联动过渡，其与直购电、容改需、综合能源以及省内需求侧响应有着本质区别。

- 1、**辅助服务市场**：通过虚拟电厂参与电力辅助调节，将辅助服务费用从火电侧转移到用户侧。
- 2、**现货交易市场**：通过价格信号充分参与电力市场，发电企业、甚至电网公司会将绝大部分成本传导至负荷侧用户。





01

虚拟电厂背景分析

02

虚拟电厂需求分析

03

虚拟电厂建设框架

04

虚拟电厂业务功能

05

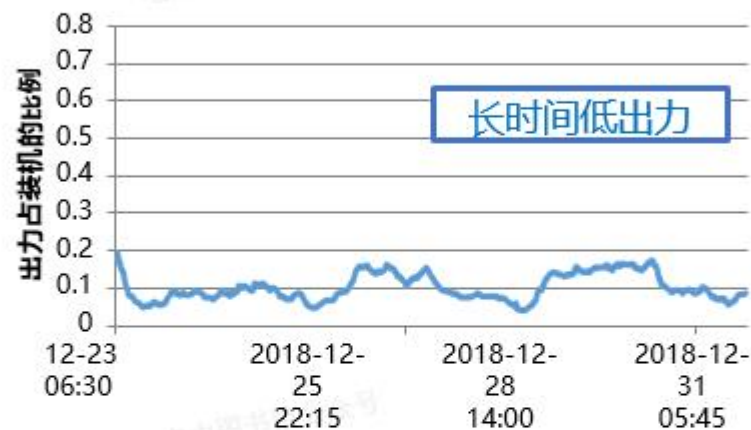
虚拟电厂的应用与展望

目录/ CONTENTS

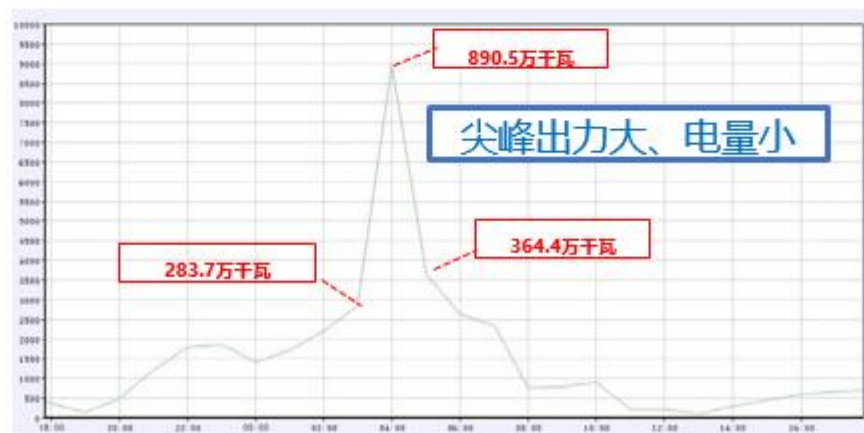
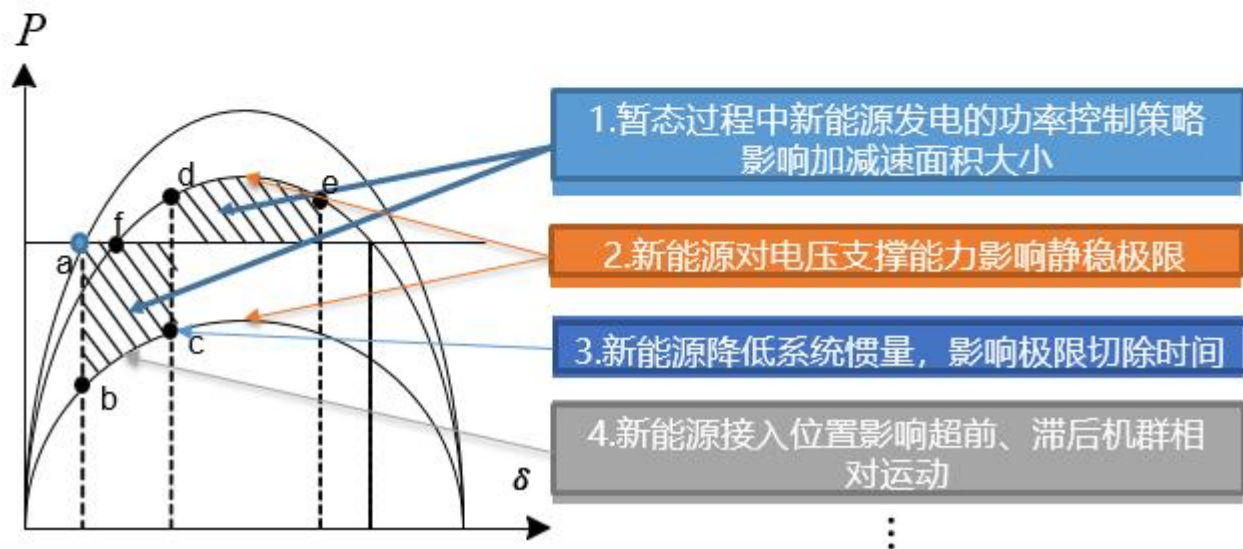
一、新能源高渗透情况的下挑战

1. “双高双峰”特征明显，消纳困难、惯量降低、保供压力剧增

- 新能源引起总体功率波动大、预测难，对系统调节能力提出更高要求；
- 长时间低出力和高出力，给供电保障和储能技术带来挑战；
- 电力电量不确定性大，增加系统规划难度；
- 尖峰出力功率大、电量小，全额消纳代价大；
- 系统惯量降低、电源支撑能力弱，系统稳定问题突出。



风电低出力最长持续时间超8天

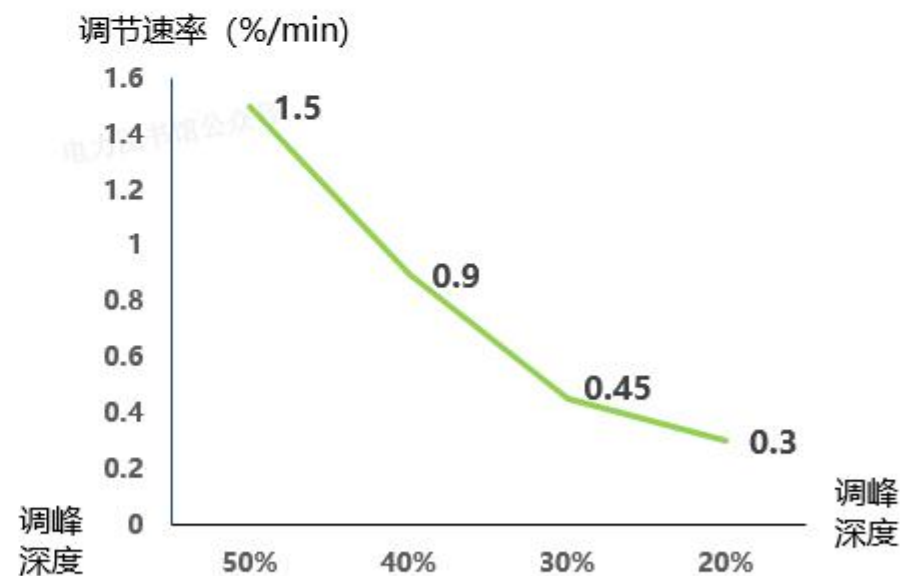
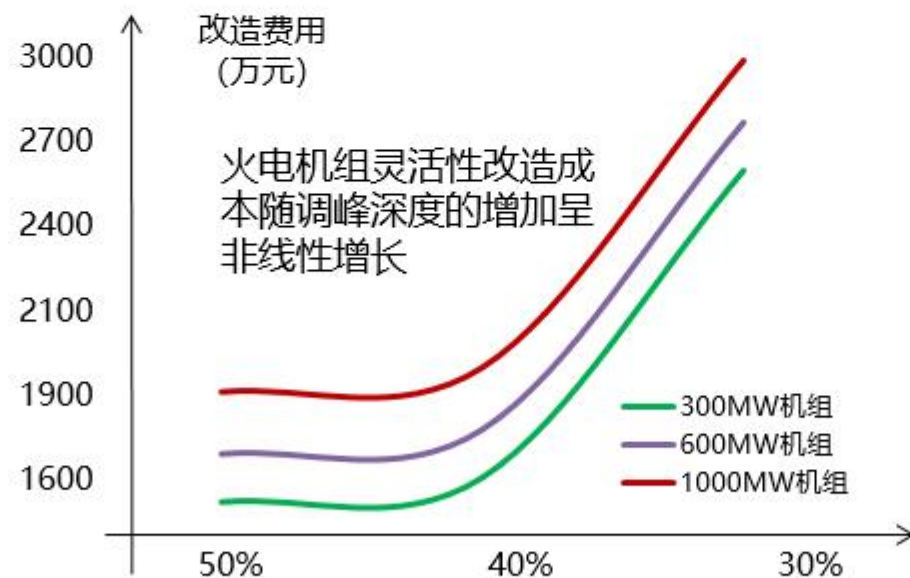
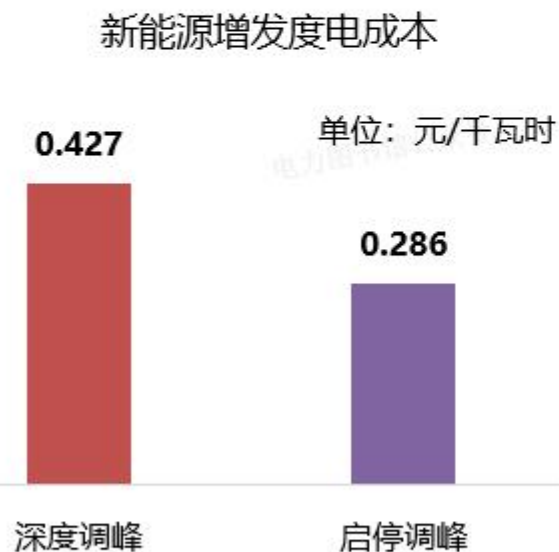


某电网2018年8月20日风电理论出力时间序列

一、建设背景

2. 源侧调节能力发展遭遇“瓶颈”

随着电源侧调峰工作的不断推进，火电机组灵活性改造空间几乎用尽，调节成本不断增加，机组调节速率、稳定运行能力受到极大挑战，无法支撑新能源可持续发展。



同时，考虑新能源电力承载极限，单一的电源侧调节，无法同时实现新能源利用率水平和发电量占比进一步提升的双重目标，**源网荷储协同互动成为必然选择。**

一、建设背景

3. 湖北网内负荷侧调峰资源丰富

分析华中地区各类负荷特性可知，部分充电桩、空调、钢铁、化工、建材等工商业**用户**、及自建分布式发电**企业**具有**强调节能力**和**高电价敏感性**，属于优质调峰资源。同时，随着用电经济化、智能化发展，电动汽车等新兴负荷的调节能力逐步增大。

- ① 用户和电网之间无交互系统，仅通过邮件、电话等方式进行信息上报和出清结果下发，**信息收发不及时，效率低**，影响用户参与市场的及时性和积极性。
- ② **缺乏对用户用能特性及调节能力感知**，同时对多元、海量主体**无法进行系统性整合和优化**。
- ③ 用户对电网需求感知不足，**不能精细化优化用电方案**，高效参与电网调节。



迫切需要VPP虚拟电厂平台，加强用户与电网的沟通，实现负荷侧源-网-荷-储资源的高效、绿色、友好互动。



01

虚拟电厂背景分析

02

虚拟电厂需求分析

03

虚拟电厂建设框架

04

虚拟电厂业务功能

05

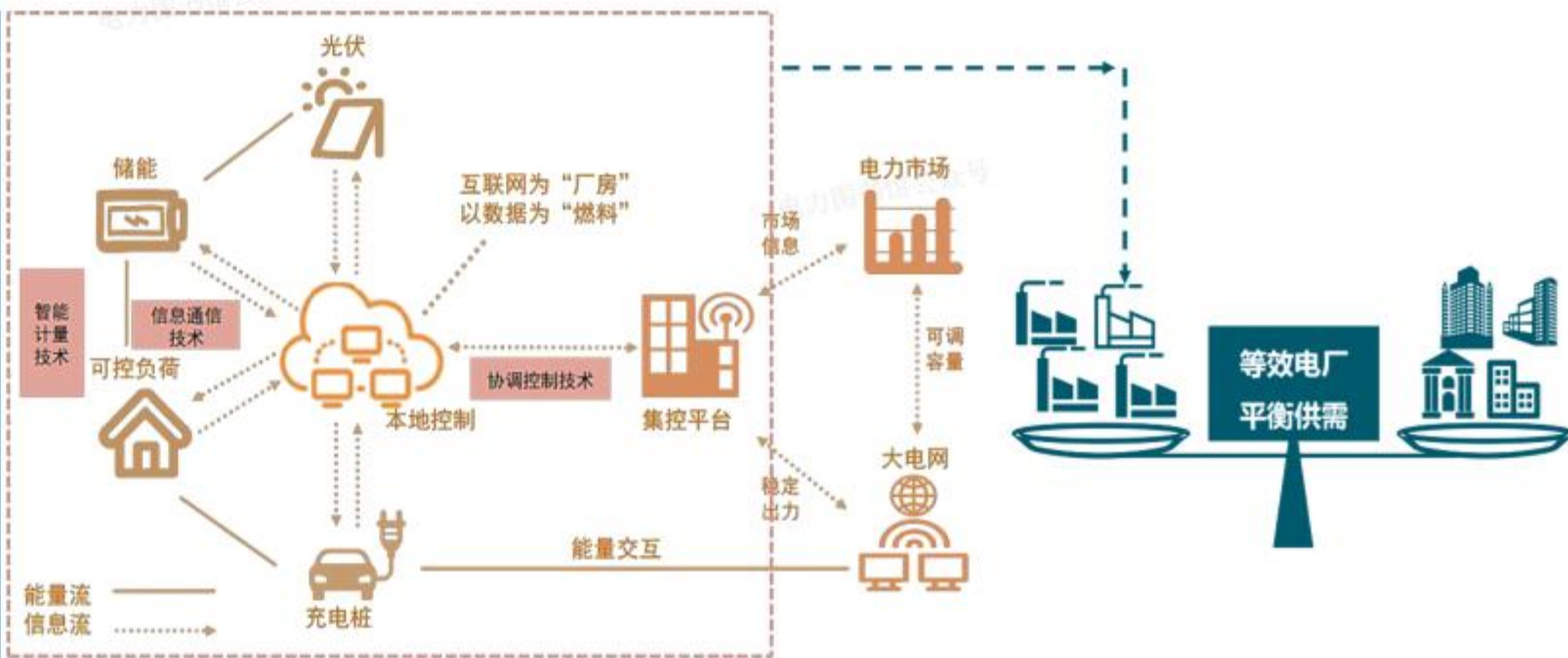
虚拟电厂的应用与展望

目录 / CONTENTS

二、国内外虚拟电厂定义

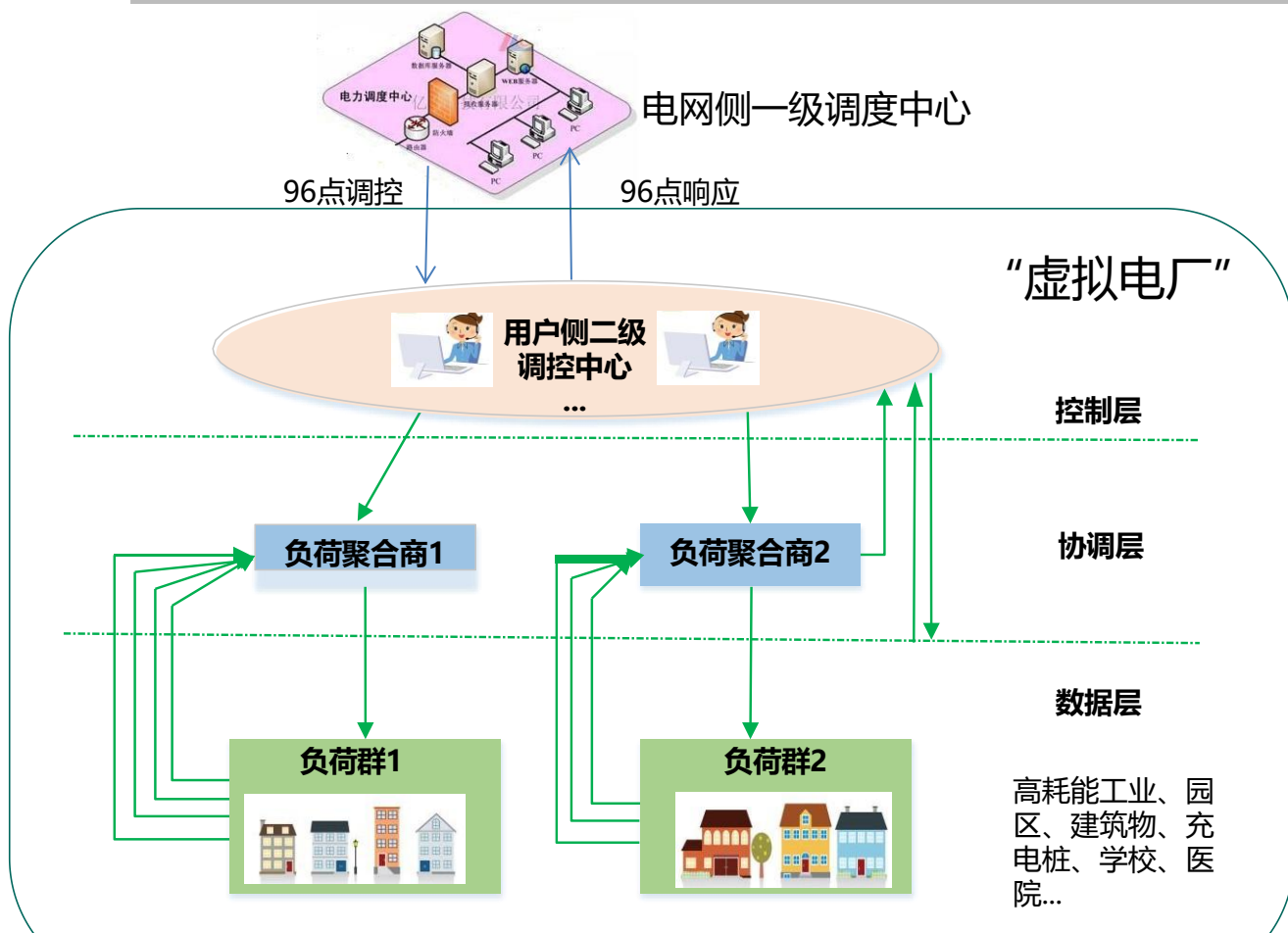
虚拟电厂 (Virtual Power Plant, VPP)：根据国际电工委员会**标准定义**，虚拟电厂是一种聚合电网调度中原本看不到、控制不了的负荷侧可调节资源，形成可调控、可交易单元，直接参与电网调度控制和电力市场交易的智能控制技术和商业模式。虚拟电厂的发展分为**邀约、市场化、自主调度**3个阶段，目前国内虚拟电厂市场以第1阶段为主，逐步向第2阶段过渡。

阶段	类型	主要特征	工具	市场关键主体
第一阶段	邀约	通过需求响应激励资金池推动	需求响应	政府机构
第二阶段	市场化	通过电力交易引导主体加入电力市场	现货市场	交易机构
第三阶段	自主调度	通过信息强化市场主体参与力度	智能算法	运行机构



二、负荷聚合商定义

负荷聚合商 (load aggregator, LA) 作为新的专业化需求响应资源整合者，通过虚拟电厂 (VPP) 技术评估用户的需求响应潜力，整合分散的需求响应资源来参与电力系统运营。负荷聚合商作为电网与用户的桥梁，能够整合虚拟电厂高效的参与电网的互动。



- **承上启下:** 帮助工业、用户储能、商业负荷等用户灵活参与调峰。并负责与电网的复杂模型对接，大幅度消纳新能源，深度参与电力供需平衡响应。
- **聚合资源:** 统一集成用户侧负荷资源，通过电力用户负荷监控平台分析的需求响应潜力，聚合分散的用户负荷资源参与电力系统运营。

二、虚拟电厂的定义和关系

狭义

负荷聚合商通过这种身份将用户侧各类的水泥、钢铁、冶炼、煤矿、铁合金等资源聚合，也可将用户侧储能纳入。这些大工业或装置听命于负荷调度中心，通过该中心以一个整体的形式参与到电网的运行和调度中。从邀约型过渡到市场型。

广义

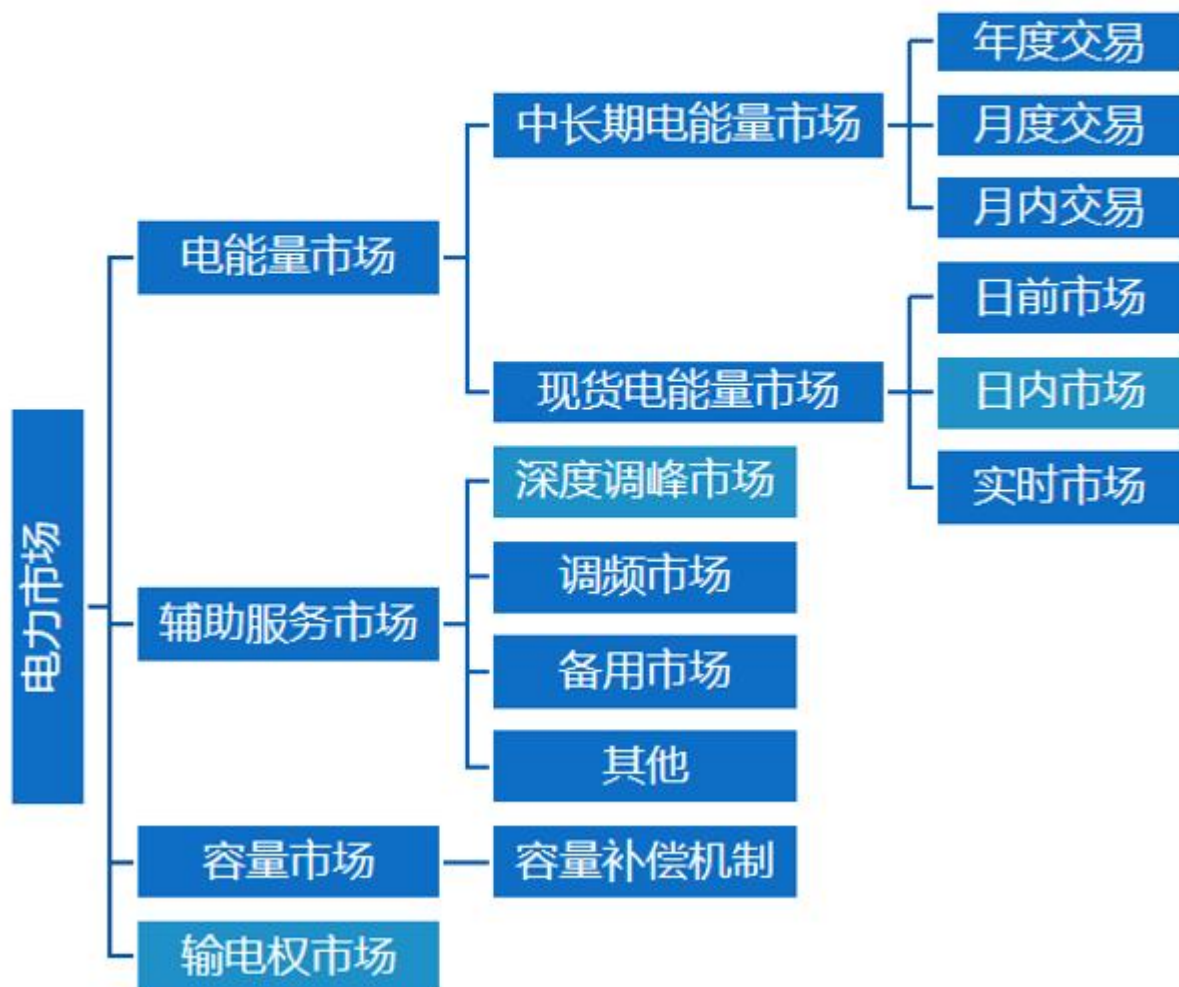
聚合不仅限于负荷侧各类灵活性资源的聚合，还能与火电机组、分布式新能源，用电侧的可控负荷、各类储能、需求响应技术结合起来。将发电和用电两端的一些个体和单元组成一个虚拟的整体参与到电网的运行和调度中，保障电网安全，增加企业内部绿电占比和降低整体电费，实现双赢。



负荷聚合商是身份、
虚拟电厂是平台技术、
源网荷储协同是目标、
实现多方共赢是效果。

二、电力市场分类

电力市场体系组成



□ **电能量市场**：促进发用电资源优化配置，反映电能供求关系，形成价格信号。

• **中长期市场**：锁定价格，规避现货波动风险，确定能量市场90%以上交易量。

• **现货市场**：根据短期及超短期负荷预测及电网安全约束，通过市场竞争，形成可执行的发用电计划和市场价格，调节发用电曲线和中长期合同曲线的偏差，确保电力电量平衡。

□ **辅助服务市场**：**辅助服务市场通过竞价进行出清，后续会被现货持续融合**，通过市场竞争确定调频。备用等辅助服务资源，保障电网安全稳定运行。

□ **容量市场**：促进回收发电能量成本、激励电源建设投资、保障系统电力供应容量充足。

□ **输电权市场**：与电能量交易配套，锁定合同内电量所需传输能力，对冲现货市场阻塞风险。

二、功能集成需求

- **资源监测：**虚拟电厂管理运营平台对下经有线、无线等多种方式接入可调源、荷、储资源，实现区域内接入、资源监测和管理。
- **资源评估：**虚拟电厂管理运营平台对下接入聚合资源及对内接入电网网架资源，通过数据中台获取电网模型，从而实现虚拟电厂调控对象的分层分级汇集，并动态评估电网各层级的相应能力。
- **支撑服务：**虚拟电厂同时支持数据增值服务，对外数据发布，辅助政府决策以及赋能企业能效提升能力。
- **功能场景：**虚拟电厂管理运营平台对上对接新型电力负荷管理系统的需求响应和应急支撑，对接电力交易中心的现货交易、中长期交易以及辅助服务业务，实现虚拟电厂的市场化能力。

可调资源可观可测

- 各类可调节资源接入通信规范、数据交互规范和安全防护规范
- 负控终端、物联聚合控制网关及通信模块研发
- 统一信息接口服务

可调资源精细化管理

- 基于可调节属性的可调资源聚合控制
- 区域电网可调裕度精确评估
- 全网中压、低压可调资源分层分区管理

虚拟电厂参与电网 优化运行调度

- 各类分布可调资源的协调优化控制
- 基于主配网贯通的电网优化运行
- 基于源网荷储协同优化的虚拟电厂低碳经济调度



二、虚拟电厂需求场景

用户	电力用户	市场组织机构			虚拟电厂运营商
		需求响应	调峰辅助服务	现货、绿电	
痛点	● 技术与能力不足 规模小、分散的分布式资源因技术与能力不足无法参与电能量与辅助服务等市场，投资回报率低; ● 分布式绿电权益无保障	● 监测能力不足 负荷侧资源管摸排不到位，监测能力不足，用户参与意愿低; ● 调节灵活性差; 现阶段参与需求响应的负荷侧资源单一，调节灵活性差;	● 分布式资源监测难 分布式能源点数量庞大且分散，多为用户侧资源，无法监测及评估分布式电源点出力情况;	● 交易复盘困难、风险防控手段单一 交易执行过程无法实时跟踪;市场风险监控防控手段单一; ● 资质可靠性低 无法实现对虚拟电厂运营商资质的动态评估; ● 市场活跃度低 用户侧分布式清洁能源无法入市影响市场活跃度	● 缺少技术认定标准和统一接入服务机构 无法以标准技术平台的身份参与市场化交易(现货、调峰等)
解决途径	● 聚合与调节能力 实现用户侧资源参与市场化交易，获取收益; ● 分布式清洁能源发电计量 从生产到消纳的计量与跟踪，使用户侧资源具备参与绿电市场的条件	● 建立调节能力模型 通过虚拟电厂资源勘测，实现负荷侧资源摸排 ● 接入与协同优化 通过负荷聚合商、虚拟电厂对各类资源的接入与协同，发挥更高的聚合潜力	● 智慧采集设备和技术 实现对分布式电源点出力监测与调控;	● 智慧采集设备和技术 实现对分布式资源发用电能力的监测; ● 分布式绿电数据可计量;	● 构建技术认证标准体系 ● 建设和统一接入服务平台 规范虚拟电厂运营商技术和能力校核认定标准; ● 建立负荷特征和调节能力特征 提高对不同缺口参与意愿分析能力;
建设模式	● 作为新型电力负荷管理系统的子系统或子模块，同步建设和推广 ● 孵化虚拟电厂运维业务，建设配套应用，配置属地化运维团队;				
成效	● 增加市场运营收益 提供标准化接入服务，降低分布式能源接入门槛，提供多元市场竞争机会; ● 促进清洁能源消纳 辅助用户侧分布式清洁能源获取绿色权益价值，促进分布式清洁能源建设和消纳;	● 保障电网运行，降低建设成本 提高精益化负荷资源潜力挖掘能力 ● 发挥负管数据价值，提高建设成效;	● 具备参与调峰市场条件	● 具备参与市场的条件 使合规的分布式资源和分布式清洁能源具备参与现货和绿电市场条件 ● 保证现货市场交易可靠性	● 精确的负荷调控能力 ● 高效组织能力 ● 提升市场签约能力 获取更高的收益，提高投资回报率获取更多优质资源;



01

虚拟电厂背景分析

02

虚拟电厂需求分析

03

虚拟电厂建设框架

04

虚拟电厂业务功能

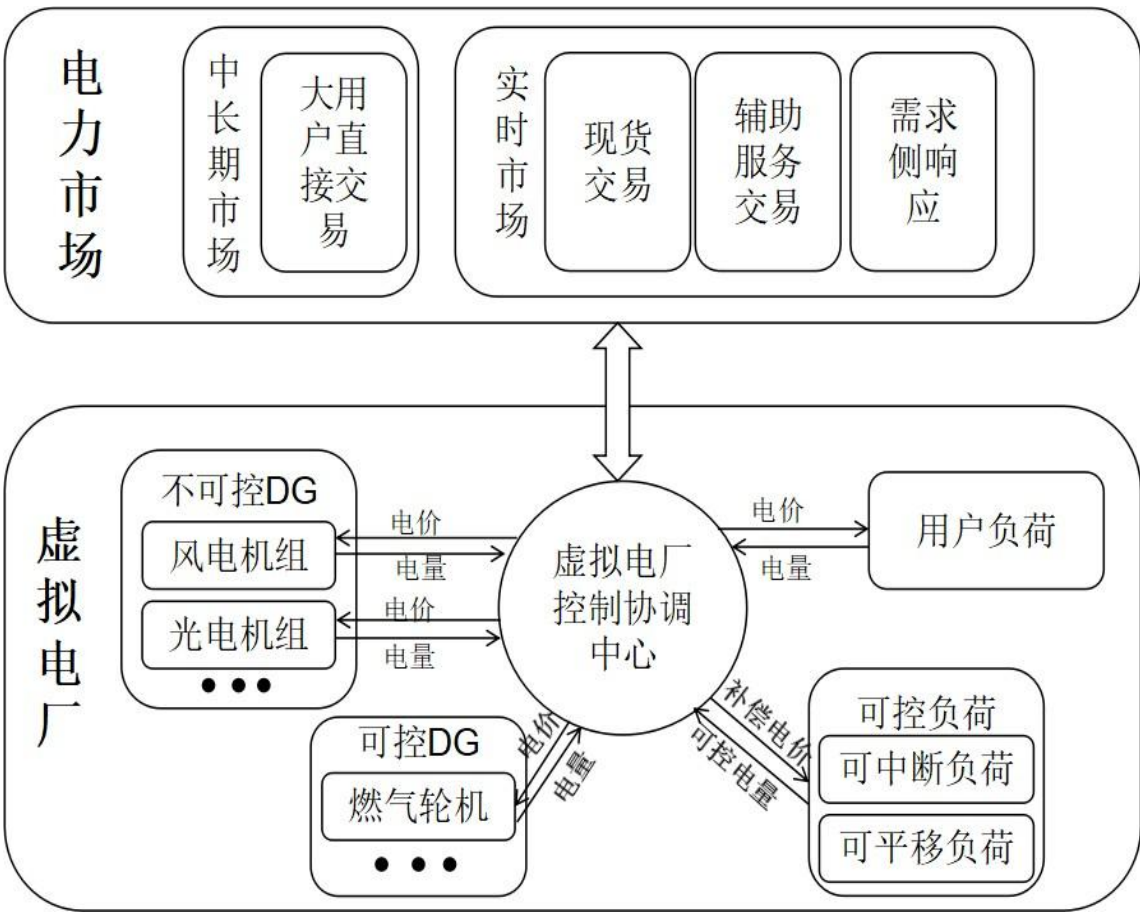
05

虚拟电厂的应用与展望

目录 / CONTENTS

三、虚拟电厂关键技术定位

虚拟电厂“对内协调、对外统一”的两级定位



虚拟电厂运营框架图

对外

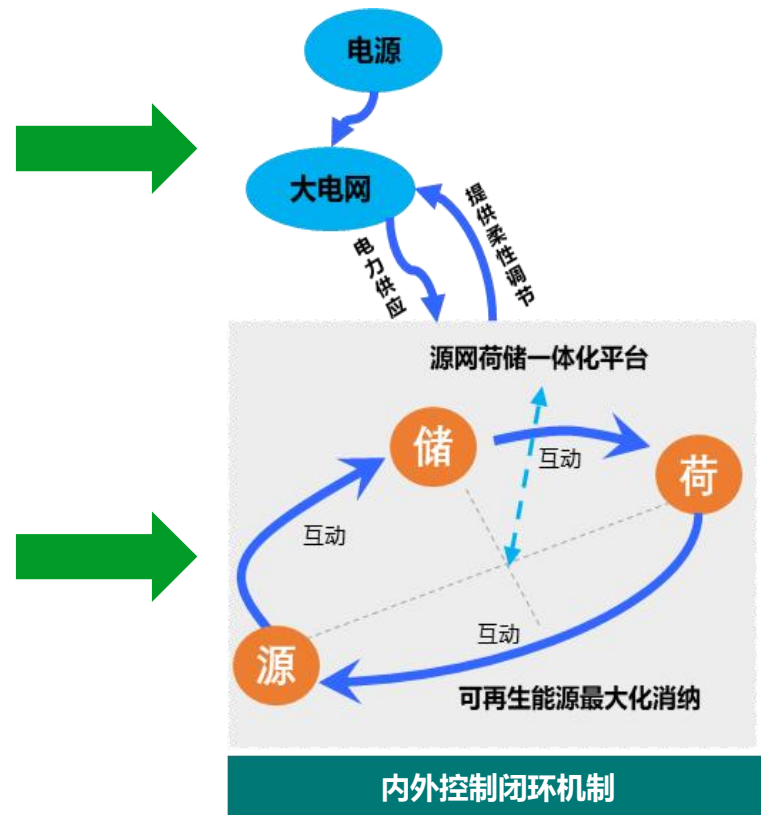
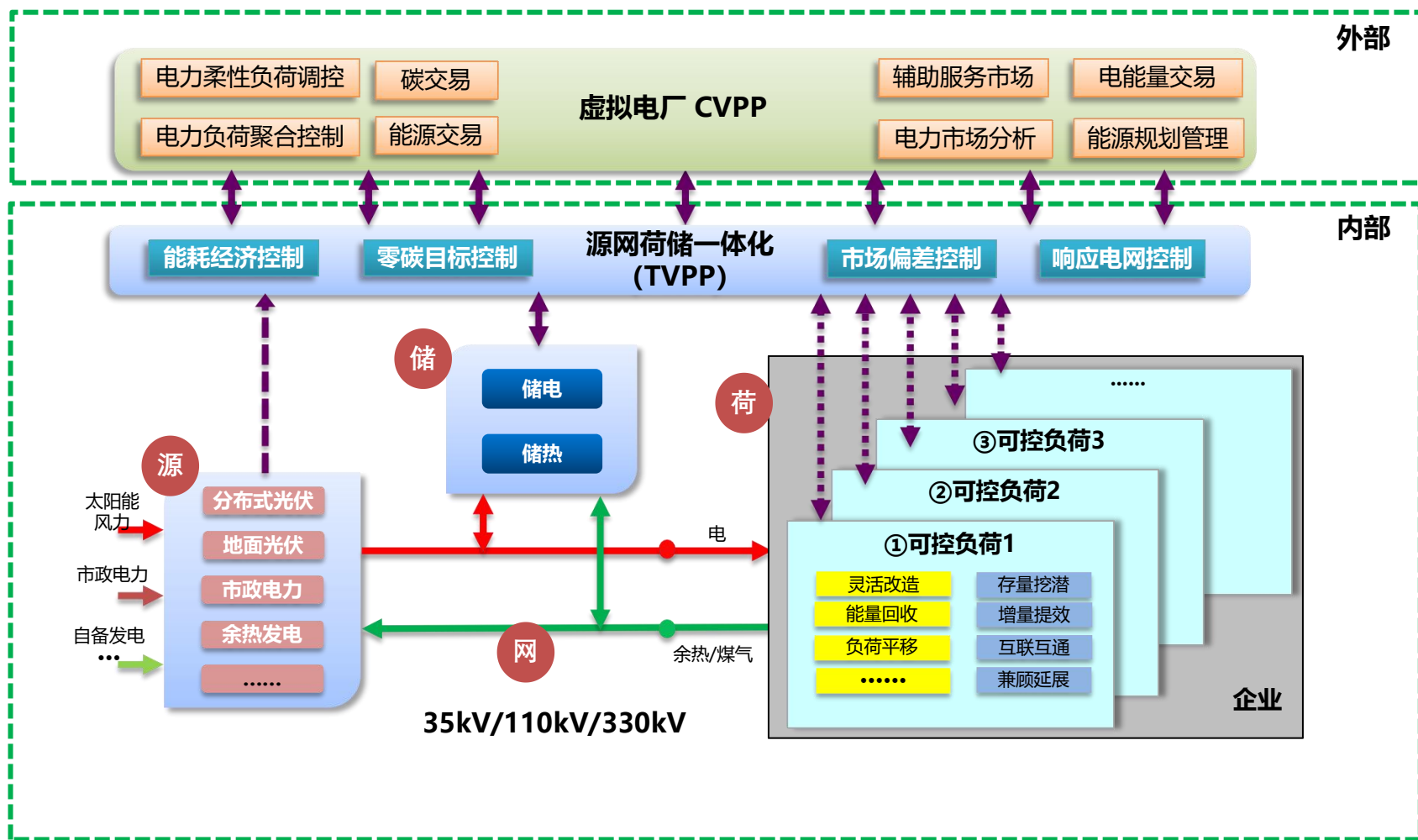
作为一个**整体**参与大用户电力直接交易、跨省跨区交易、合同电量转让交易，现货交易、辅助服务交易、需求响应等。

对内

以电力市场配置电力资源运行为驱动，通过协调、优化和控制由**分布式电源、储能、可控负荷**等柔性负荷聚合而成的分布式能源集群。

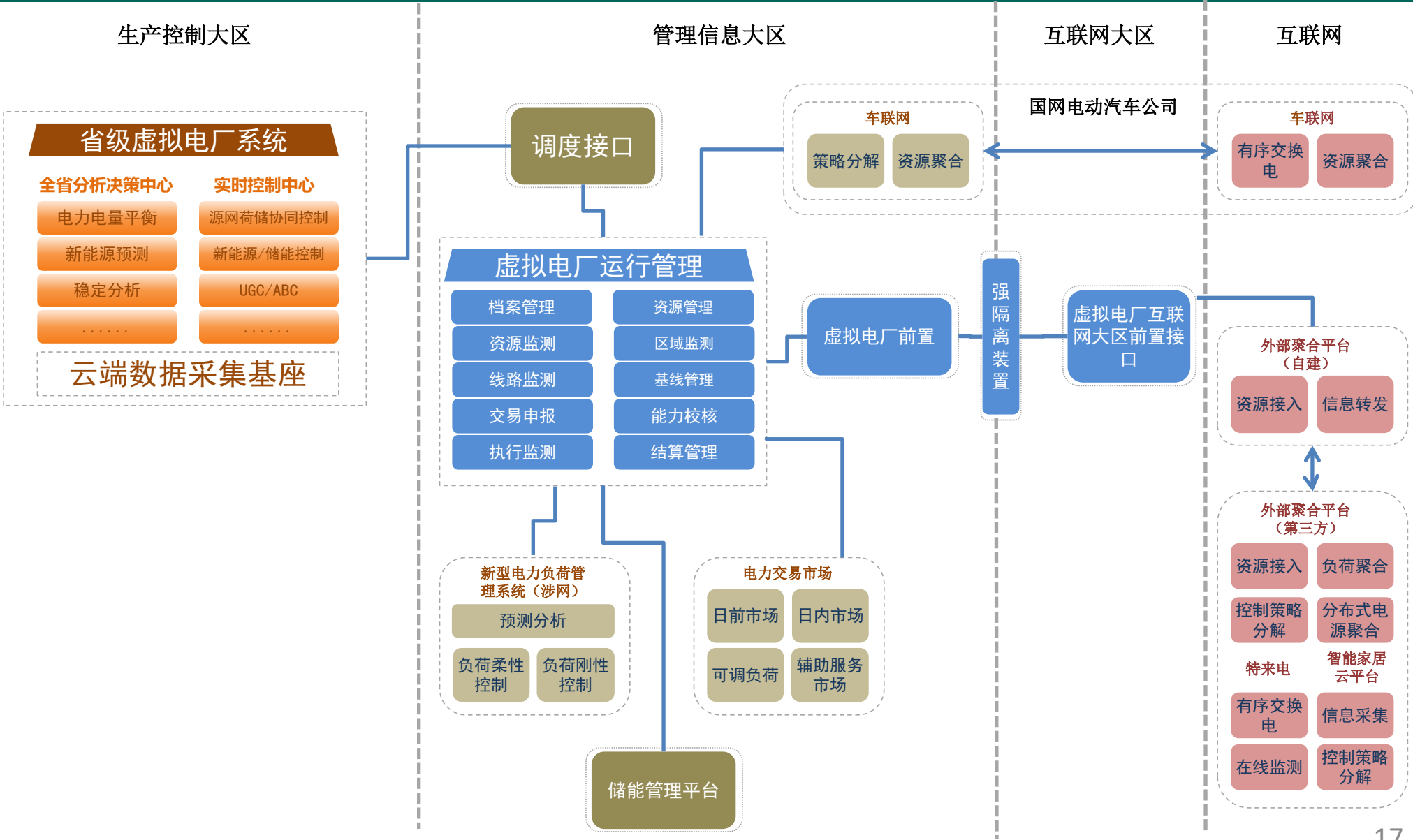
三、VPP内外体系构建嵌套闭环

- **弹性调度**：以虚拟电厂与电网的分界线，对内构建完整的系统闭环，通过储能调节、源荷互动及柔性负荷响应等，实现安全用电和可再生能源的最大化消纳；
- **外部交互**：对外与大电网间进行交互，在电网电力供应同时，作为大电网的调节响应，为大电网提供电力辅助服务支撑。

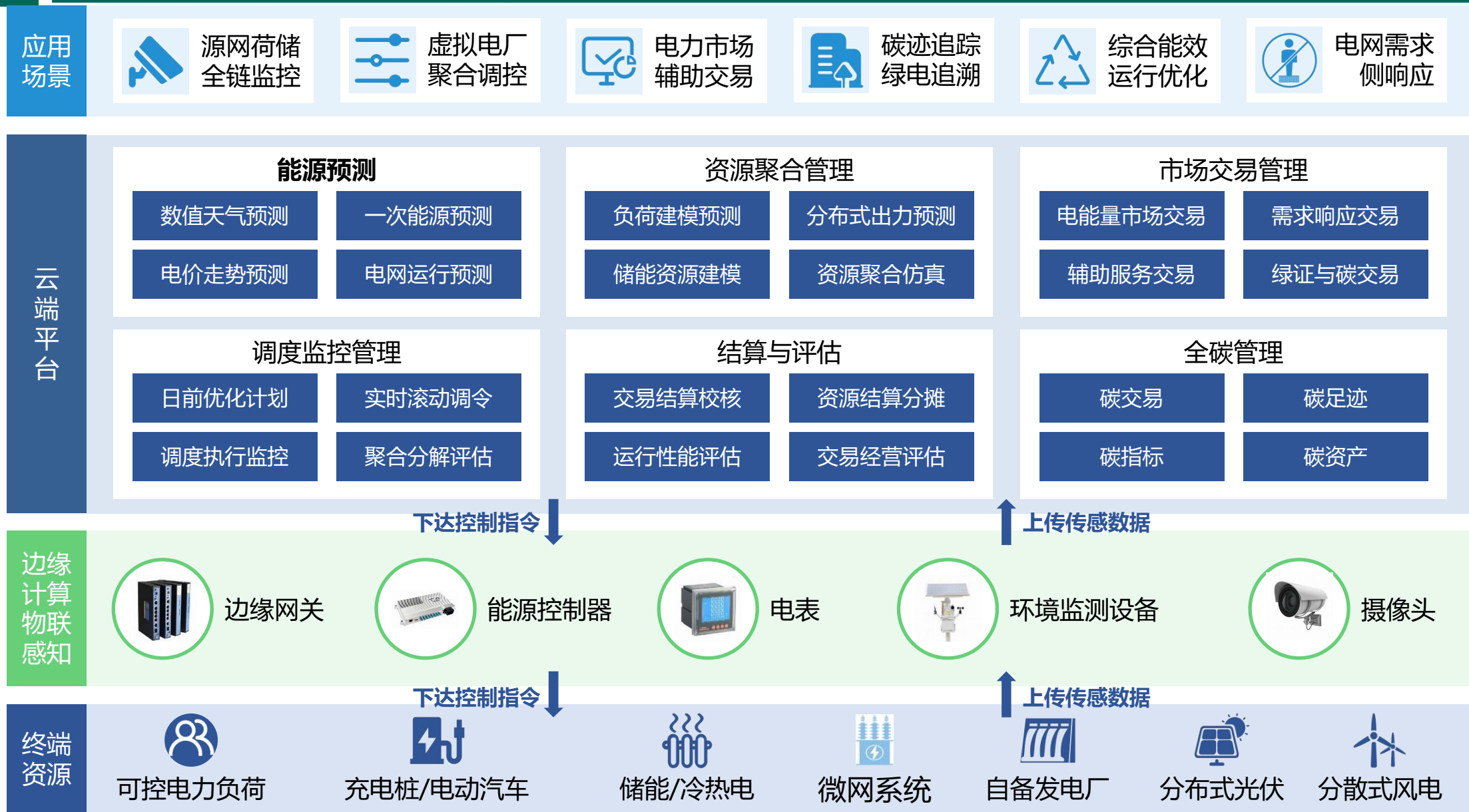


三、总体架构

- 鄂州虚拟电厂在省级虚拟电厂管理系统基础上统筹管理区域内各类虚拟电厂；
- 对外采用云云对接方式，接入第三方虚拟电厂系统；
- 对内采用云边对接方式，接入电动汽车，储能，光伏等自有资源；
- 以统一的市场主体方式参与湖北省需求响应、辅助服务市场。

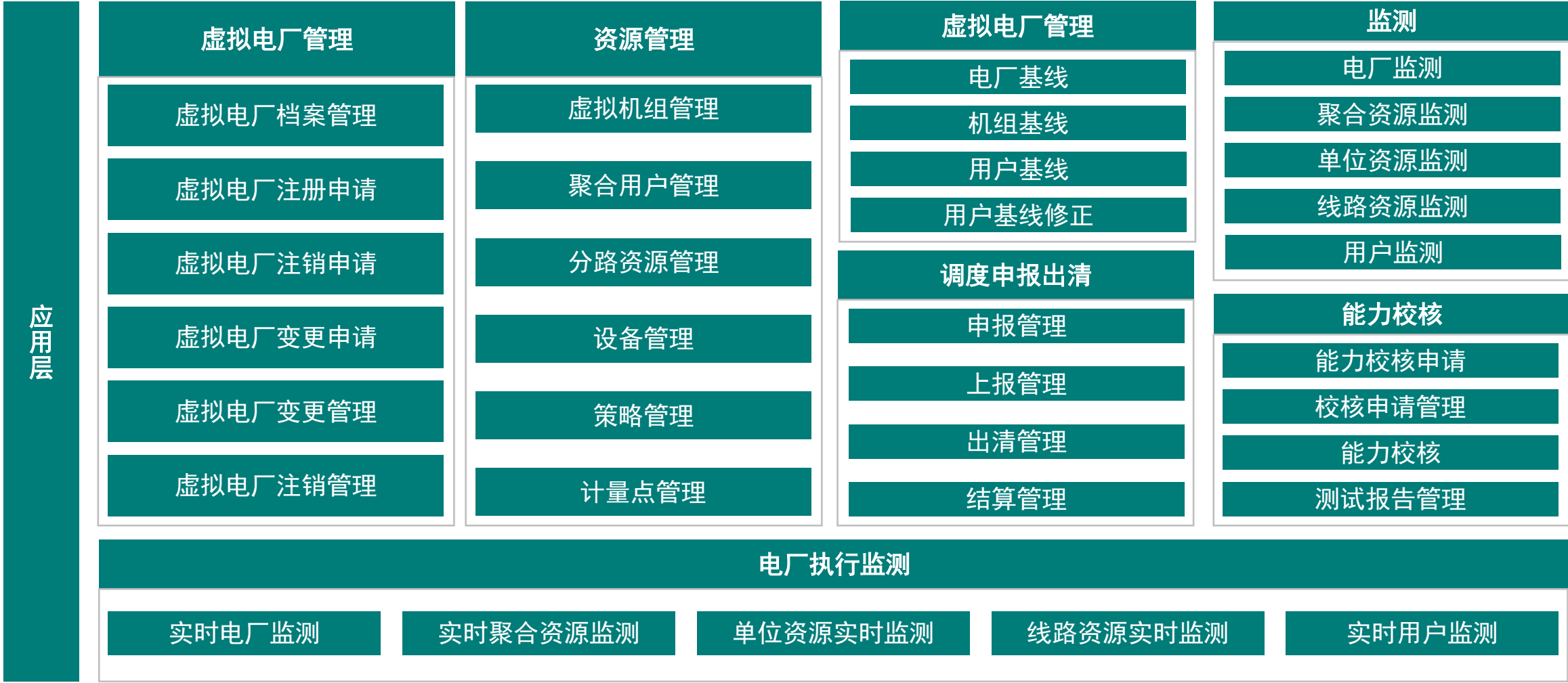


三、虚拟电厂系统架构



三、虚拟电厂功能架构

➤ 虚拟电厂系统共规划七大部分，分别为虚拟电厂管理，资源管理，基线管理，调度申报出清，能力校核，监测，执行监测。



三、虚拟电厂技术架构

虚拟电厂建设运营服务平台总体采用“云平台+微服务”架构，按照微应用、微服务、交互服务、大数据计算、运行监控、数据存储、数据传输7个领域开展虚拟电厂建设运营服务平台技术架构设计。



三、参与互动的市场品种

电网调峰

- 资源：工业产生负荷、电动汽车、办公楼宇 及储能等。
- 目标：参与电网调峰，提升电网调峰能力，**支撑清洁能源消纳**。

顶峰保供

- 资源：工业产生负荷、电动汽车、办公楼宇 及储能等。
- 目标：削减电网尖峰负荷，**节省或延缓电网设备投资**。

容量备用

- 资源：电动汽车、储能、精准负荷控制、办公楼宇 等。
- 目标：**解决大功率失去后备用不足**，减少或避免调度拉限电，保障电网安全。

虚拟转动惯量

- 资源：储能、精准负荷控制、办公楼宇等
- 目标：**解决局部断面、设备过载**，减少或避免调度拉限电，保障电网安全。

电网调频

- 资源：储能、电动汽车等。
- 目标：参与电网调频，**提升电网频率调节能力**。

现货交易

- 资源：储能、电动汽车及生产负荷等。
- 目标：参与电力现货交易，通过价格预测，实现市场博弈套利，**帮助用户实现用电成本最小**。

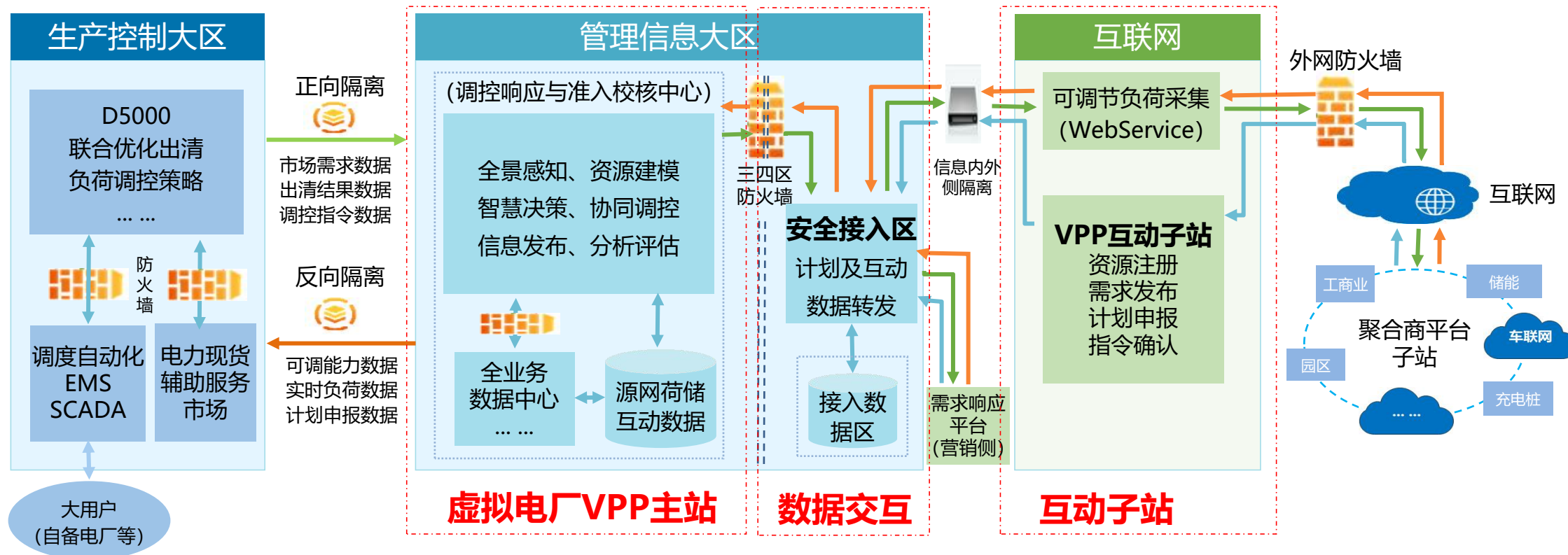
三、虚拟电厂平台通讯及安全架构

VPP平台整合具有灵活调节能力的各类资源，以综合用能成本最低为目标，利用现货、辅助服务等市场机制及备用、生产效能等管理机制，实现负荷侧源、网、荷、储各环节的精准协同匹配，提升湖北地区清洁能源消纳水平，保证大电网安全、高效、经济运行。



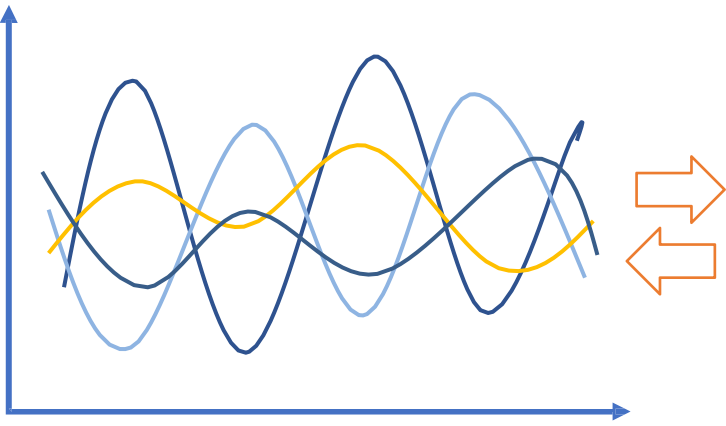
三、虚拟电厂平台通讯及安全架构

虚拟电厂协同互动智能调控平台由虚拟电厂主站应用（部署于三区的网省地协同调控主应用系统）、数据交互子站（部署于四区的安全接入子应用模块）、互动子站（部署于互联网区的用户/运营商的协同互动子应用）、及系统基础支撑、数据集成接口等模块组成。



三、虚拟电厂关键技术-一次聚合与二次分解

①分布式电源 ②商业/工业负荷③储能④电动汽车



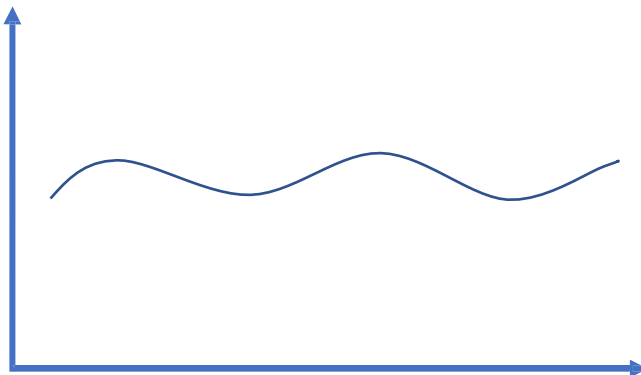
各类型分散资源曲线

①**聚合**：利用主成分分析和特征聚类
等数据挖掘技术，有效分辨和提取不同
类型负荷

②**预测**：基于历史规律的辨识和分析，
结合相关因素预测信息，实现高精度
预测

③**分解**：考虑各资源运行物理约束及
其响应效率，分解得出各资源的出力
及用电曲线。

优化后的曲线、实现可调度性



聚合曲线平滑、可控

建模
算法：

高载能资源负荷波动效应函数： $U_d(E_{dt}) = a_d E_{dt}^2 + b_d E_{dt} + c_d$

储能资源能量状态转换函数： $E_{st} = E_{s(t-1)} + \eta_s^c P_{st}^c \Delta t - \frac{1}{\eta_s^d} P_{st}^d \Delta t$

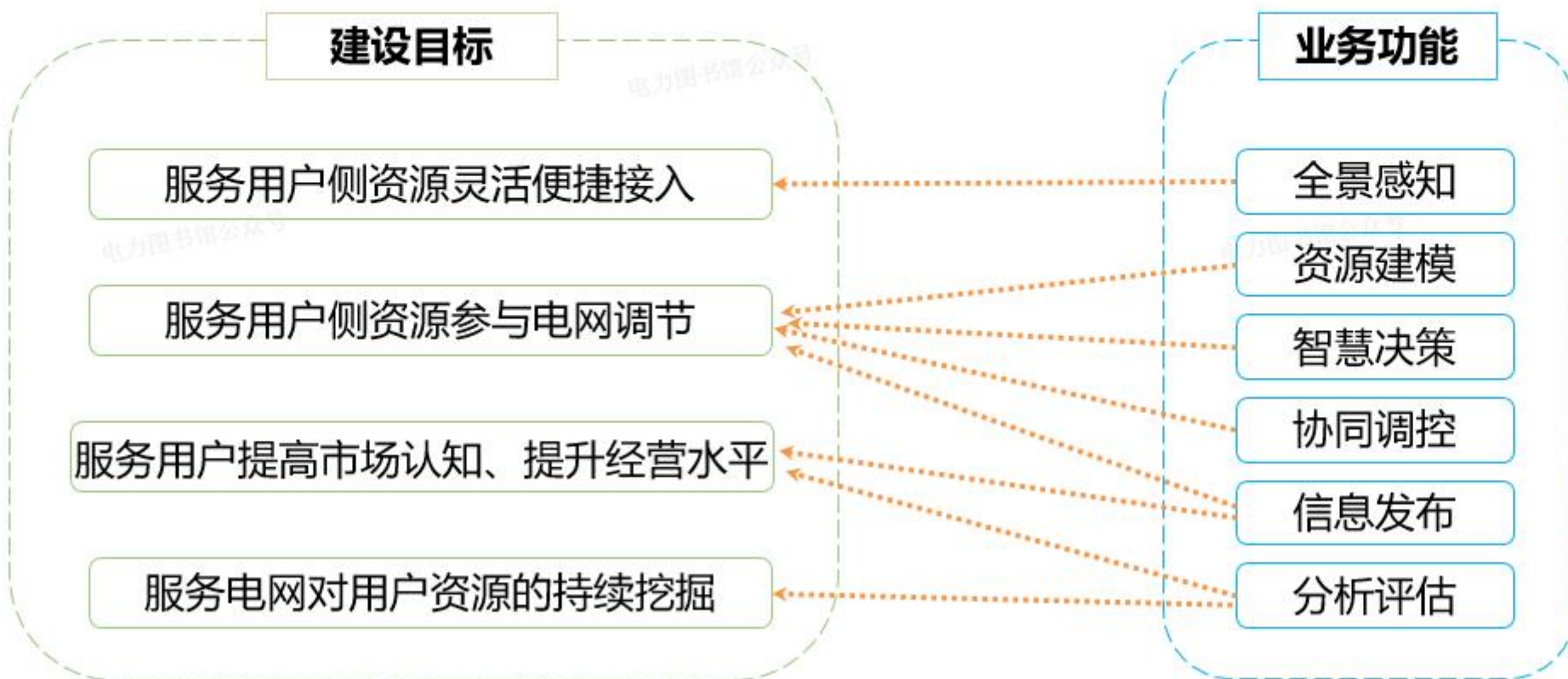
可调设备启停成本函数建模： $C_g(E_{gt}) = a_g E_{gt}^2 + b_g E_{gt} + c_g$

资源受控状态随机性函数： $\omega = \{P_{qt\omega 0}, \omega = 1, 2, \dots, N_{\Omega}\}$

三、虚拟电厂建设目标

VPP互动智能APC调控平台建设定位为：用户侧资源智能调控的业务支撑，与现有辅助服务市场平台进行互联互通。

平台有四大建设目标、六大业务功能，具体如下：



三、虚拟电厂业务功能

1. 全景感知

在保证电网安全运行和辅助服务市场可靠运营的前提下，鼓励湖北本省各类资源接入平台，支持源网荷储的实时全景感知和运行调控监视，实现所有互动资源的可观、可测。

01

资源接入

02

运行监视、告警

03

数据上链

三、虚拟电厂业务功能

2. 资源建模

分析各主体的负荷特性，构建各类市场主体的调控信息模型；按照省间、省内、重要断面进行负荷聚合分析，构建多层级、多时序的资源组合（类似SCUC模型），用于负荷侧资源聚合的智慧决策和协同调控。

01

主体用能特性分析

02

主体信息模型建模

03

构建资源组合方案

三、虚拟电厂业务功能

3、智慧决策

完成市场主体申报的调节能力在线稽查；计及网省通道、重要断面，提供用户市场申报信息的安全校核；完成基于性能优先、容量优先的资源组合方案优化；远期将提供用户侧调节资源潜力挖掘的智慧决策。

01

数据在线稽查

02

资源组合方案优化

03

安全校核

04

调节资源潜力挖掘

三、虚拟电厂业务功能

4、协同调控

梳理交易中心、调度中心、营销部门的调控业务流程，打通电网与用户交互通道，提供数据申报、及协同计划、市场信息接收等功能，实现三大部门业务和用户侧互动响应的闭环协同。

01

交易、调度、营销协同调控

三、虚拟电厂业务功能

5、信息发布

基于不同对象的信息发布需求，提供面向市场主体的市场准入、需求发布、交易公告、出清结果、结算信息；及面向能监机构、交易中心的市场运营情况的信息披露，实现市场信息的互动共享。

01

面向市场主体的私有、公有信息披露

02

面向能监机构、交易机构的信息披露

三、虚拟电厂业务功能

6、分析评估

基于平台运行大数据，建立市场主体的调峰性能、调峰效益、行业发展前景、及电力市场运营分析，指导用户提高自我认知、提升市场活力，助力市场科学发展。

01

调峰性能分析

02

调峰收益分析

03

行业前景分析

04

市场运营评估



01

虚拟电厂背景分析

02

虚拟电厂需求分析

03

虚拟电厂建设框架

04

虚拟电厂模块功能

05

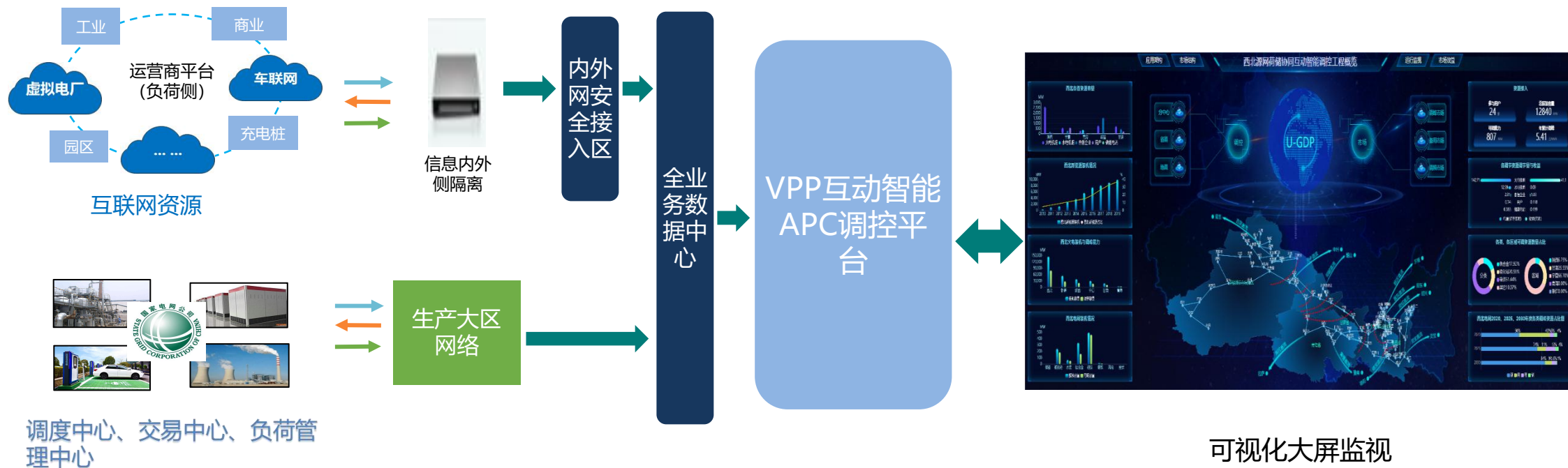
虚拟电厂的应用与展望

目录 / CONTENTS

1.全景感知

1. 资源接入

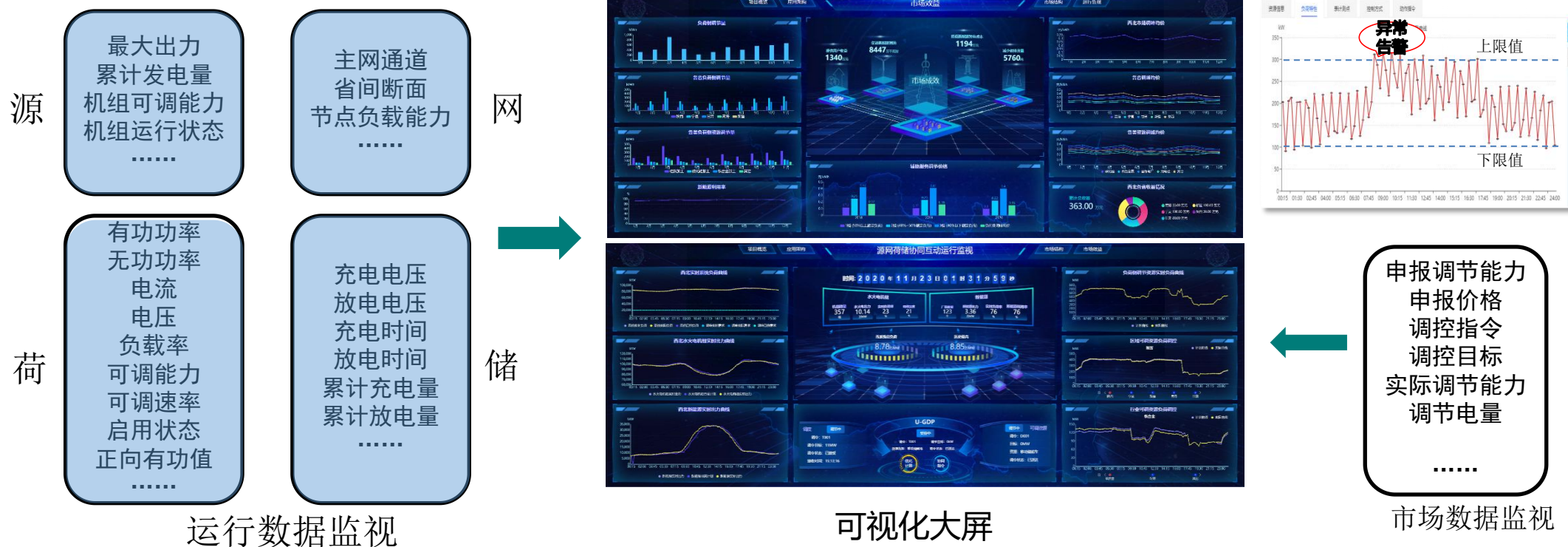
按照实用化原则，将调度中心、营销负荷管理中心、电力交易中，通过生产控制大区将辅助服务、需求响应、现货交易等需求接入平台；将负荷聚合商、用户涉及自备电源、分布式新能源、用户侧储能、电动汽车充电桩、智能楼宇、智慧园区等可调资源实时有功、用能状态、用电量等数据通过内外网安全接入区接入平台。



1.全景感知

2. 运行监视

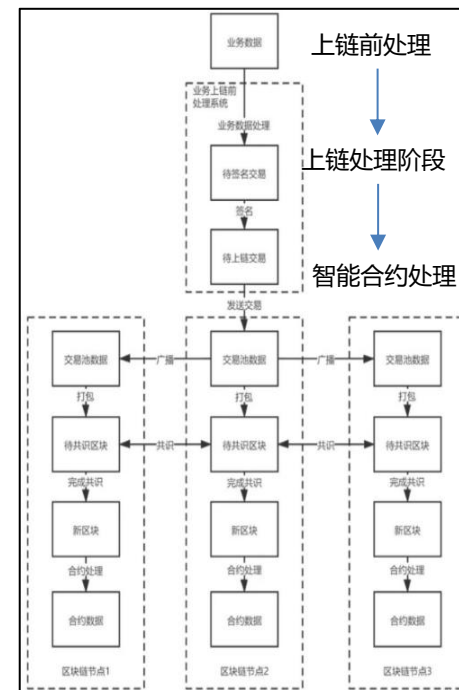
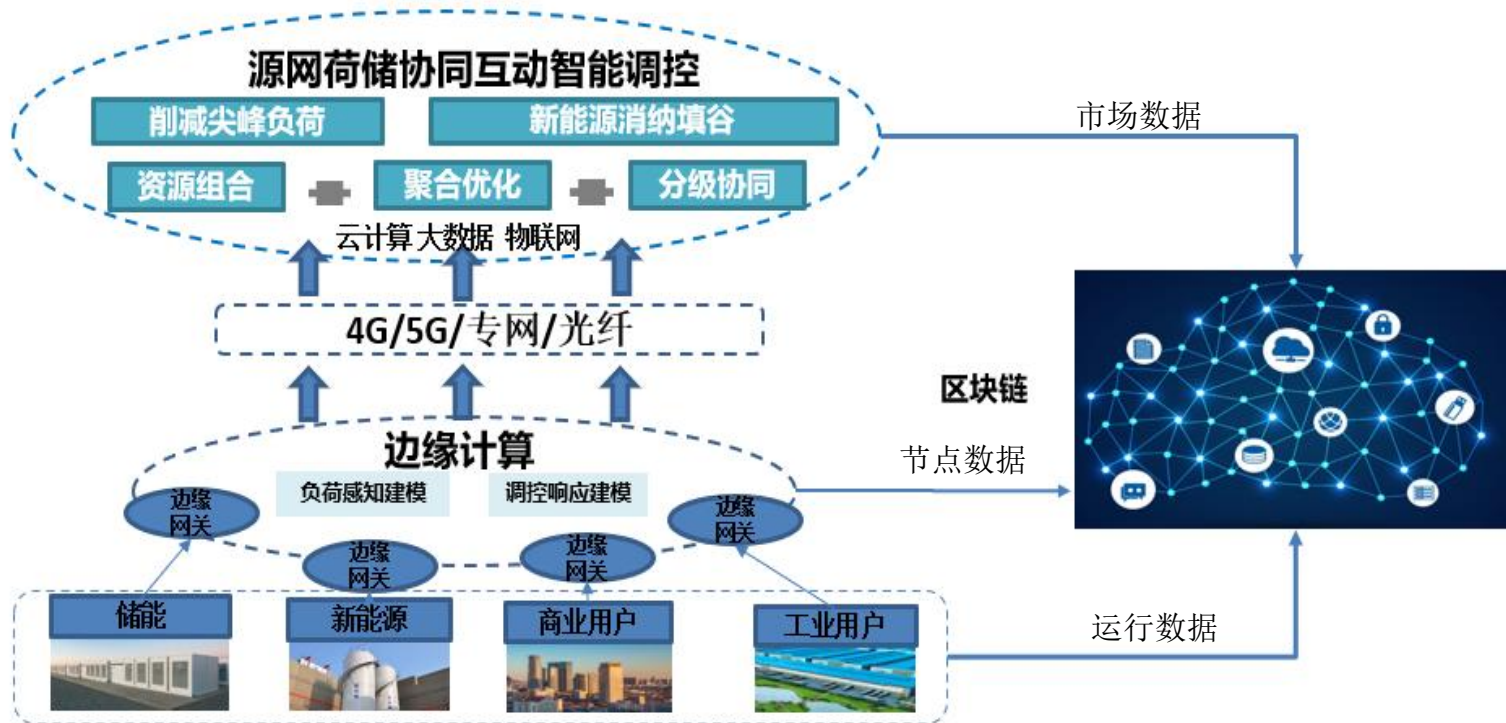
监视源、网、荷、储各类市场主体运行数据，建立合理阈值，实现对用户、储能运行数据中的异常数据识别告警，为平台后期实现大数据分析辅助决策打下基础。



1.全景感知

3. 数据上链

为解决平台数据安全及存储问题，利用边缘网关（节点）、5G通信、云边协同等技术手段，建立基于调控云的协同调控区块链，为以后碳交易、绿证交易等做准备。



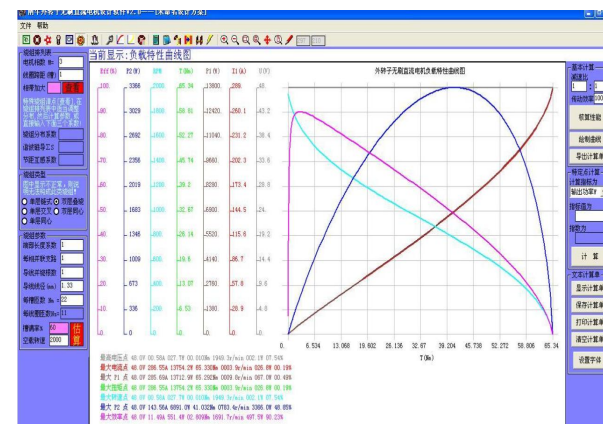
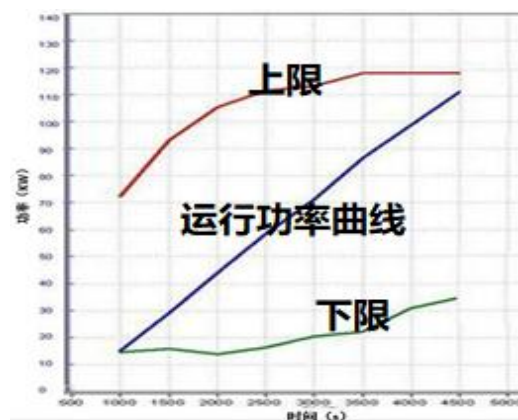
2.资源建模

1.用能特性分析

根据实际运行数据，总结用户用能特点，如分时段特征、季节性特征、节假日特征等，从资源类型、所在地区、电价等多维度开展负荷特性分析，并提取波形、峰值、裕度等各类特征值，为建立主体信息模型提供依据。同时通过分析各资源主体的用能特性，计算各主体可调能力置信区间。

$$\begin{cases} P1=P_{\max}(p, t) \\ P2=P_{\min}(p, t) \\ P=N*P0(p, t) \end{cases}$$

N为修正系数



2.资源建模

2.用户建模

应对不同主体和多种物理场景，以资源响应能力为最终目标函数，运用聚类分析法、马尔科夫链等多种建模方法，搭建多种用户主体的模型。

资源建模算法：

高载能资源负荷波动效应函数： $U_d(E_{dt}) = a_d E_{dt}^2 + b_d E_{dt} + c_d$

可调机组发电成本函数： $C_g(E_{gt}) = a_g E_{gt}^2 + b_g E_{gt} + c_g$

储能资源能量状态转换函数： $E_{st} = E_{s(t-1)} + \eta_s^c P_{st}^c \Delta t - \frac{1}{\eta_s^d} P_{st}^d \Delta t$

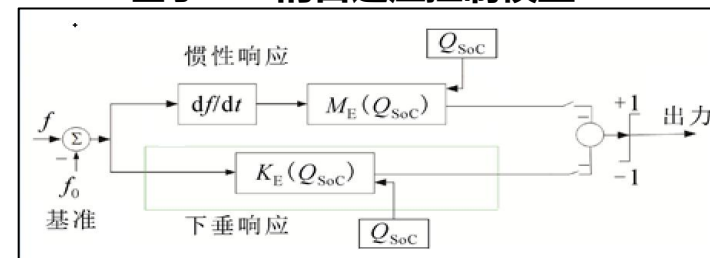
资源受控状态随机性函数： $\omega = \{P_{qt\omega 0}, \omega = 1, 2, \dots, N_\Omega\}$

数据录入

特征分析

训练模型

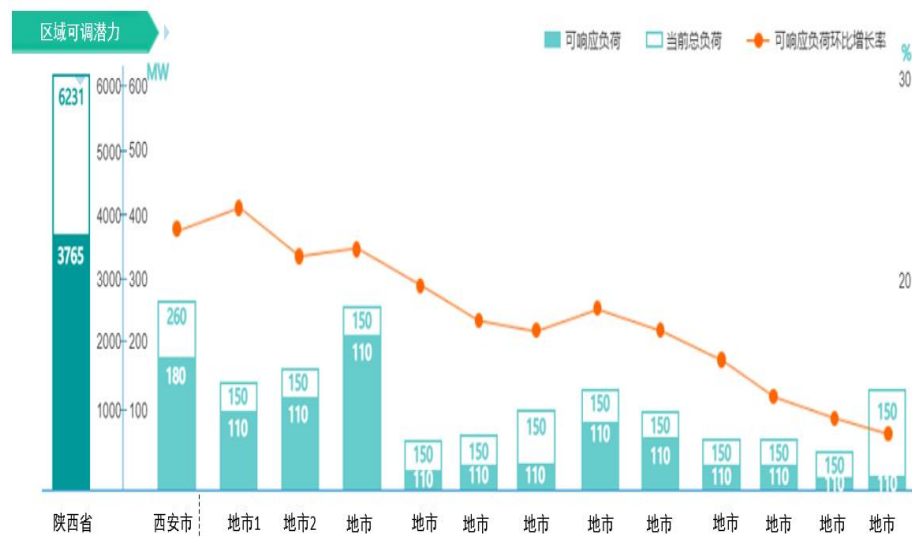
基于SoC的自适应控制模型



2.资源建模

3.组合方案

辅助服务市场发展后期，根据细化后的分区调节需求，设计考虑省内、重要断面等不同层级、及多时序的资源组合方案，为市场提供可出清范围的参考。同时可为地区电源规划提供辅助决策。

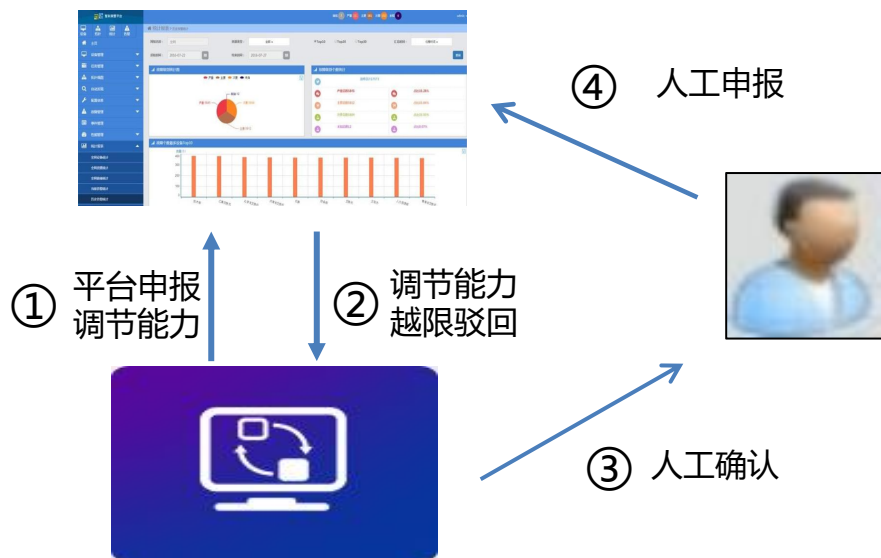


3.智慧决策

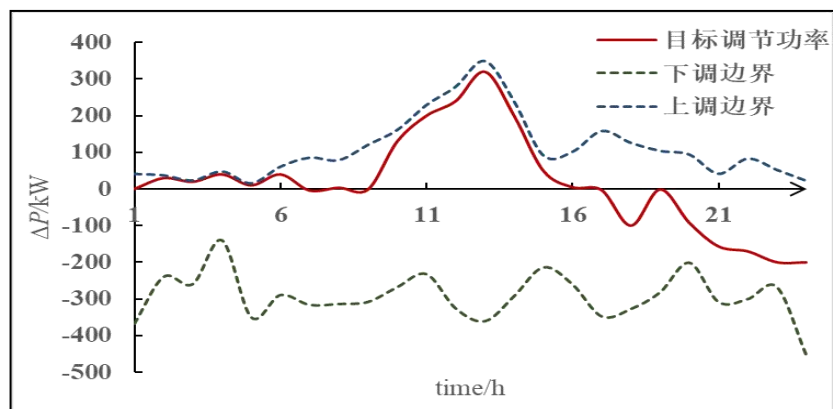
1. 在线稽查

基于用户调控信息模型和用户可调能力置信区间，开展用户申报调节能力的在线稽查，并通过“人机互动”的方式进行修正。当目标曲线在边界范围内，平台直接确认上报，当超出调节范围时，平台发送驳回信息由人工确认后方能上报。

在线校核



识别调节能力是否异常



3.智慧决策

2. 组合方案优化

当主体调峰价格相同时，依据资源响应性能、可调容量等调峰相关性指标，对主体进行优先级排序，根据调峰需求梯级调用，生成优化后的调控组合方案并出清，实现用户侧调峰的智慧调度。

性能评估矩阵K值

调速1	参与度1	报价1	稳定性1
调速2	参与度2	报价2	稳定性2
调速3	参与度3	报价3	稳定性3
.....			
调速6	参与度6	报价6	稳定性6

对应敏感度参数 A_1 到 A_n
权重系数 α

容量优先

资源	可调容量
资源1	20000kVA
资源2	10000kVA
资源3	8000kVA
资源4	5000kVA
资源5	2000kVA
资源6	1000kVA

对应敏感度参数 B_1 到
权重系数 β

资源综合评估

$$I_n = A_n * \alpha + B_n * \beta$$

$$I_1 = A_1 * \alpha + B_1 * \beta$$

$$I_2 = A_2 * \alpha + B_2 * \beta$$

.....

$$I_6 = A_6 * \alpha + B_6 * \beta$$

根据 I_n 值大小优先级排序:

$$I_3 > I_2 > I_6 > I_1 > I_5 > I_4$$

3.智慧决策

2. 组合方案优化

当主体调峰价格相同时，依据资源响应性能、可调容量等调峰相关性指标，对主体进行优先级排序，根据调峰需求梯级调用，生成优化后的调控组合方案并出清，实现用户侧调峰的智慧调度。

用户综合评分:

$$S_i = \sum_{j=1}^h w_j Y'_j(i)$$

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^h C_j}$$

指标权重

$$C_j = (E_j + D_j) A_j$$

E_j : 信息熵
 D_j : 标准差
 A_j : 冲突系数
 C_j : 综合衡量指标

熵权法

响应负荷均值: $X_1(i) = \frac{\sum_{t=m}^M (L_{t,i}^{PS} - L_{t,i}^b)}{M - m}$

响应贡献率: $X_4(i) = \frac{L_{ci}}{\sum_{i=1}^W L_{ci}}$

响应负荷占比: $X_2(i) = \sum_{s=1}^N \sum_{t=m}^M \frac{L_{s,t,i}^{PS} - L_{s,t,i}^b}{L_{s,t,i}^b}$

响应参与度: $X_5(i) = \frac{N_i}{N_T}$

数据标准化

$$Y'_j(i) = \begin{cases} \frac{Y_j(i) - \min(Y_j)}{\max(Y_j) - \min(Y_j)}, & \text{越大越优型指标} \\ \frac{\max(Y_j) - Y_j(i)}{\max(Y_j) - \min(Y_j)}, & \text{越小越优型指标} \end{cases}$$

响应速率:

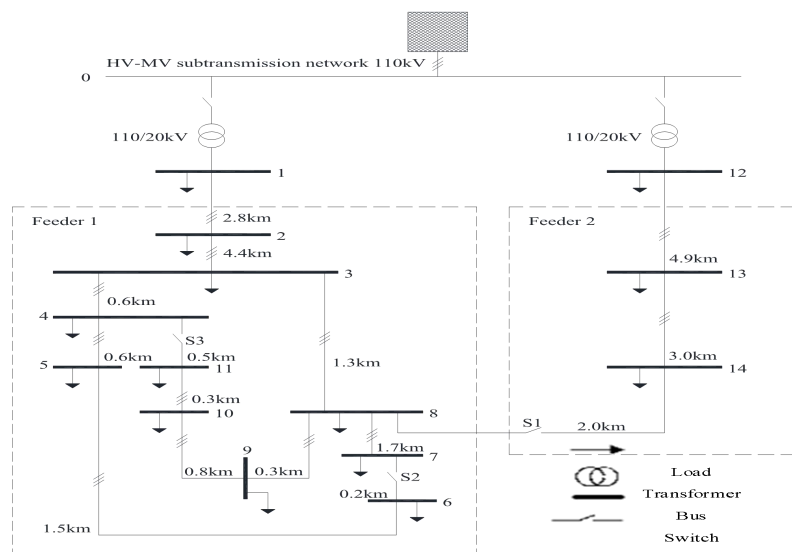
$$X_3(i) = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N \frac{1}{2} \left(\frac{|L_{s,i}^{PS,80\%} - L_{s,t,i}^{PS}|}{\Delta t_1} + \frac{|L_{s,t,i}^{PS} - L_{s,i}^{PS,20\%}|}{\Delta t_2} \right)$$

响应合格率: $X_6(i) = \frac{\sum_{z=1}^{U_i} \xi_z}{U_i}$

3. 智慧决策

3.安全校核

平台将优化后的组合方案数据，发送至交易、调度、营销系统（三区），由三级机构按照调管关系开展安全校核，校核通过后可认定为有效数据参与市场。后期可开放数据接口，与省、地调相关校核程序互联互通，实现自动安全校核。



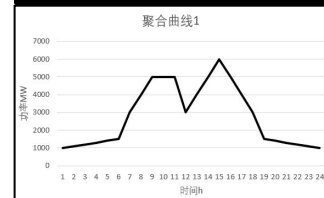
110KV配电网在线模型

区域1聚合模型

区域2聚合模型

区域3聚合模型

湖北电网聚合模型



无约束

区域1聚合模型

断面1

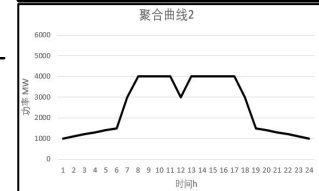
区域2聚合模型

断面2

区域3聚合模型



湖北电网调控模型

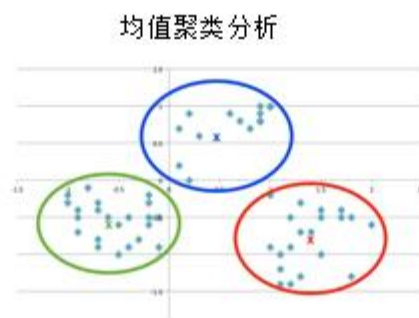
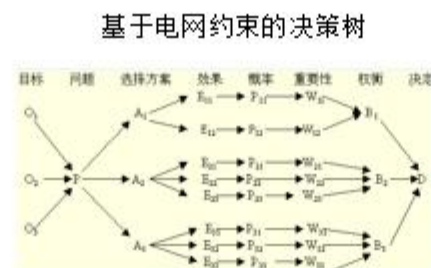
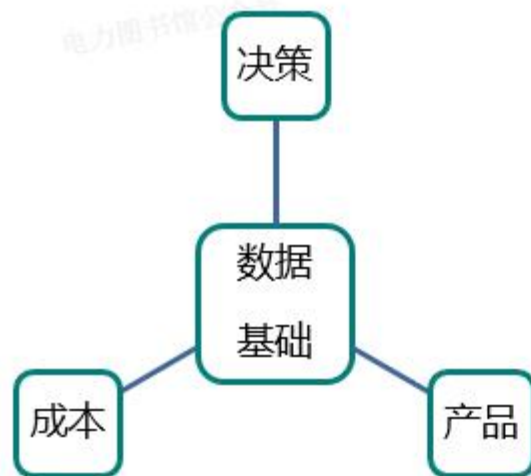


有约束

3.智慧决策

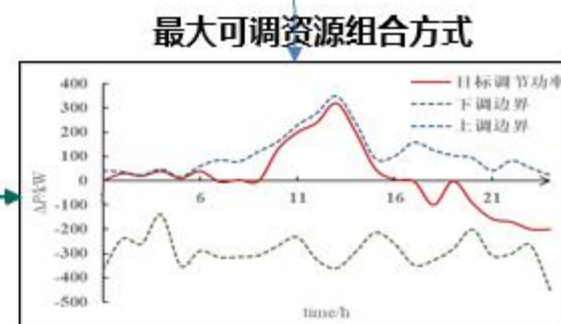
4. 调节资源潜力挖掘

根据负荷资源运行监视，建立“采、存、查、智”的数据管理库，积累有效数据。深化业务应用场景分析，采用电网物理约束的决策树、均值聚类、最大期望等大数据挖掘算法，最大限度挖掘负荷侧每个资源的调节潜力。



参与调节资源组合方式

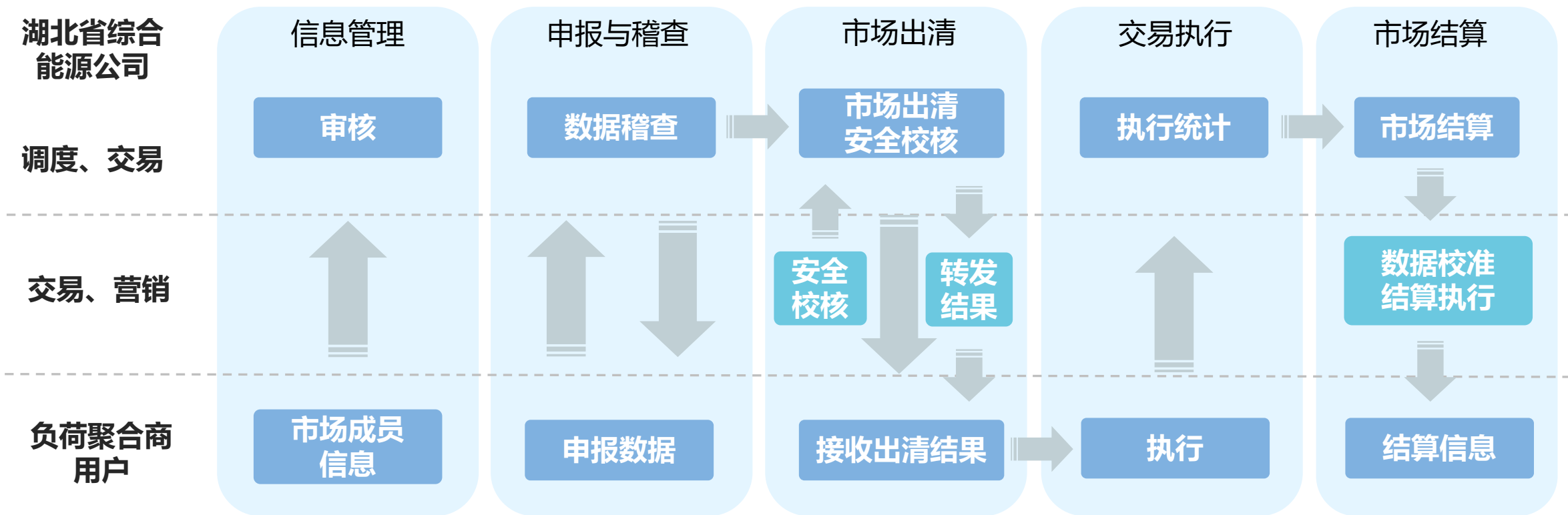
资源	位置 (node)	调节范围 (kW)	调节功率 (kW)
可平移负荷	2,10	—	-84~84
可转移负荷	1,8,13	—	-163~110
可削减负荷	2,7,8,...,14	-330~0	--
有风险资产	1,2,...,14	-50~165	--



4.协同调控

1.交易、调度、营销协同调控

以**交易、调度、营销自动化系统为基础**，现货交易、辅助服务、需求响应三级市场体系为支撑，开展VPP互动智能APC调控平台的部署和应用。



5.信息发布

1.面向市场主体的私有、公有信息披露

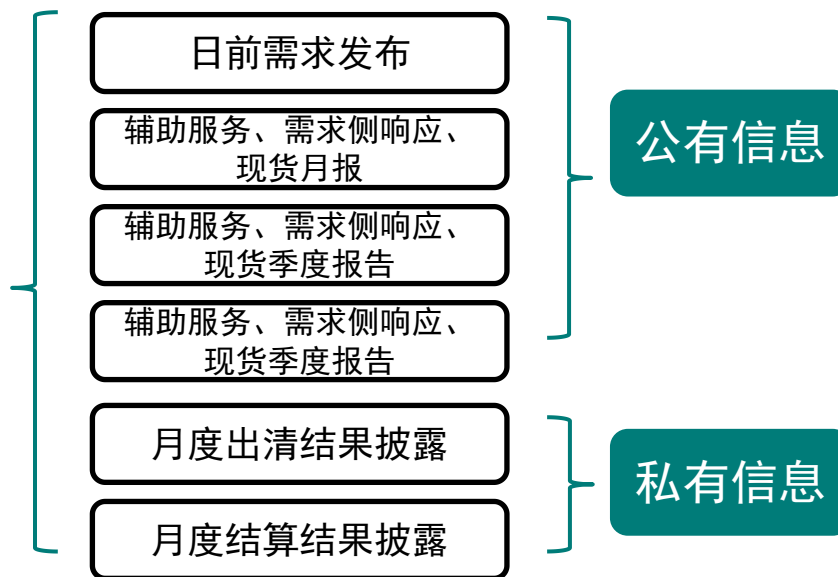
平台负责市场信息的收集、汇总、分析，并面向市场主体进行私有信息和公有信息的披露，实现市场信息的公开、透明。其中私有信息包括用户的出清结果和月度结算结果，公有信息包括市场需求发布、交易公告以及定期发布的市场统计分析报告。



平台信息



客户端信息



5.信息发布

2.面向能监机构、交易机构的信息披露

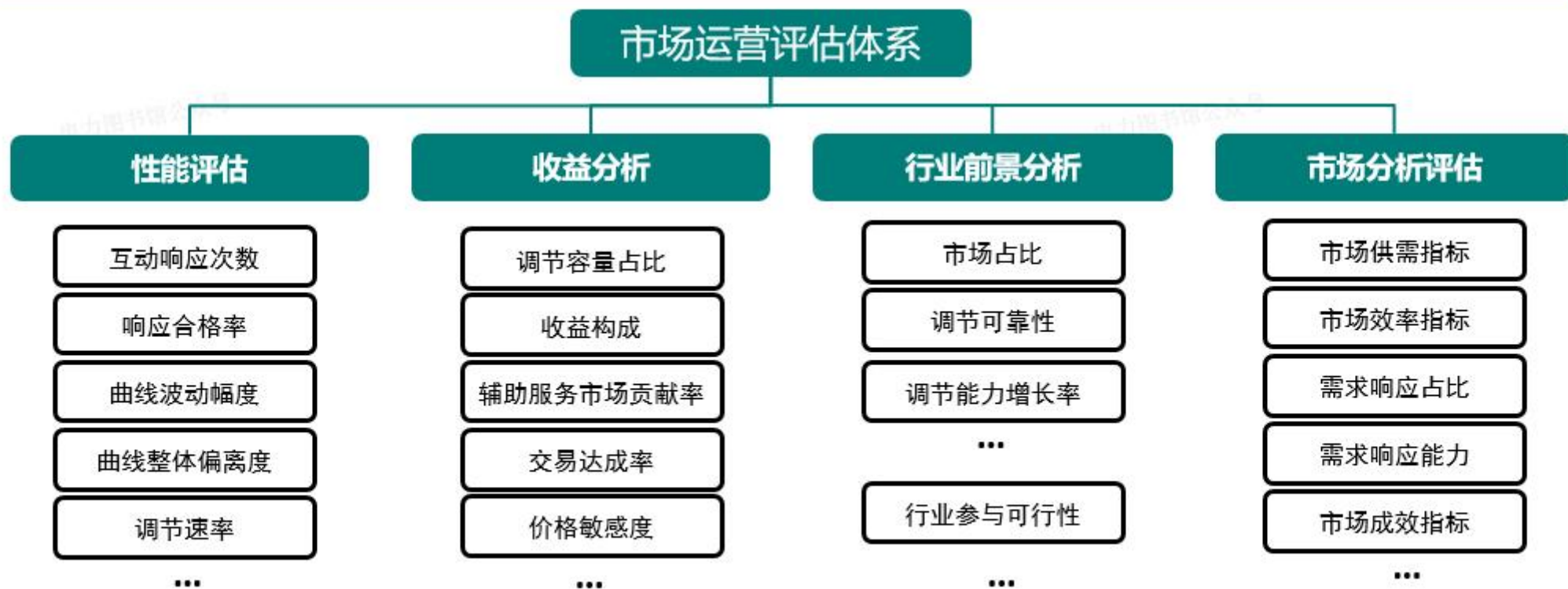
向**能监机构**和**交易中心**定期发布运营商及用户参与市场情况，包括市场出清价格、调节电量、用户收益等。



6.分析评估

分析评估体系

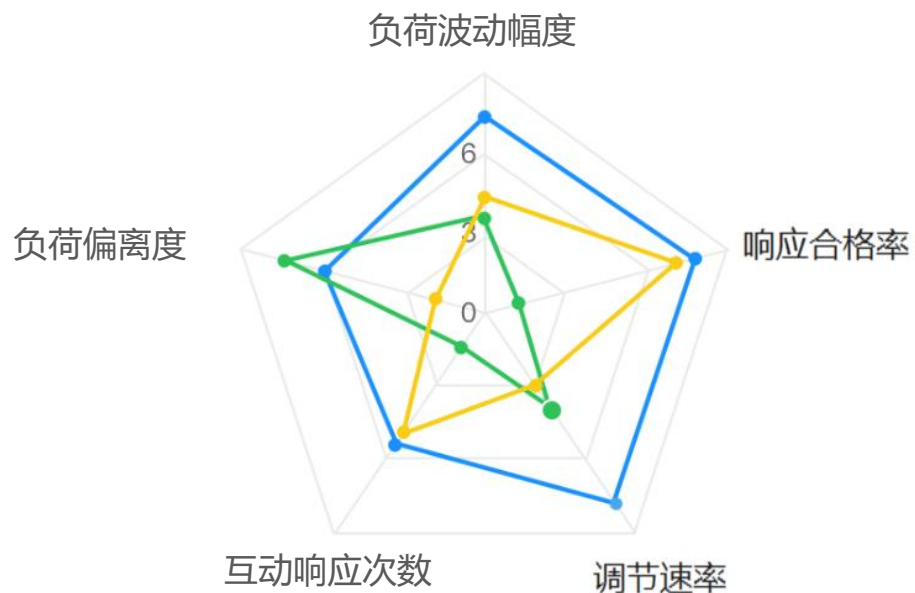
基于平台业务的开展和后期功能完善需求，建立多层级市场运营评估体系，包括用户性能评估，收益分析，行业发展前景以及电力市场运营分析等。



6.分析评估

1.调节性能分析

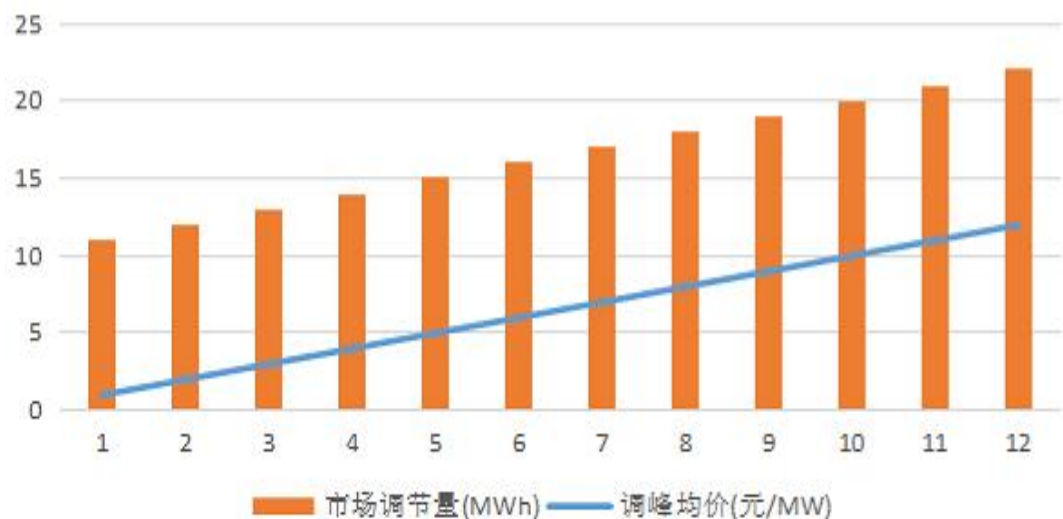
从互动响应次数、响应合格率、负荷调节幅度、调节速率等方面构建评估指标体系，对用户的互动响应能力进行性能评估，为申报阶段的数据稽查和出清阶段的资源组合优化提供有效的数据支撑，形成闭环管理。同时分析评估结果可帮助用户提升自我认知，提高调节水平。



6.分析评估

2.调节收益分析

着重分析用户参与市场的情况，包括调节容量占比、调节收益构成、调节贡献率、交易达成率和价格敏感度等多个方面；相关分析结果发布给用户后，可助力其调整经营模式，提升经营水平。基于市场运营数据，开展湖北辅助服务市场主体的画像分析，引导用户侧精细化负荷调控。

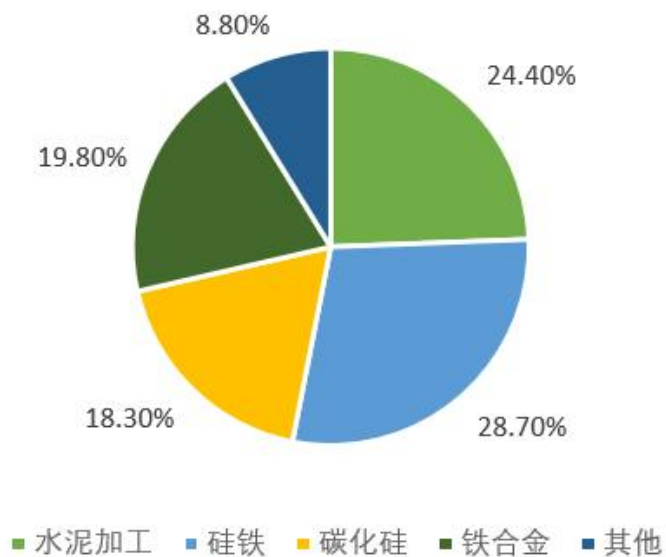


6.分析评估

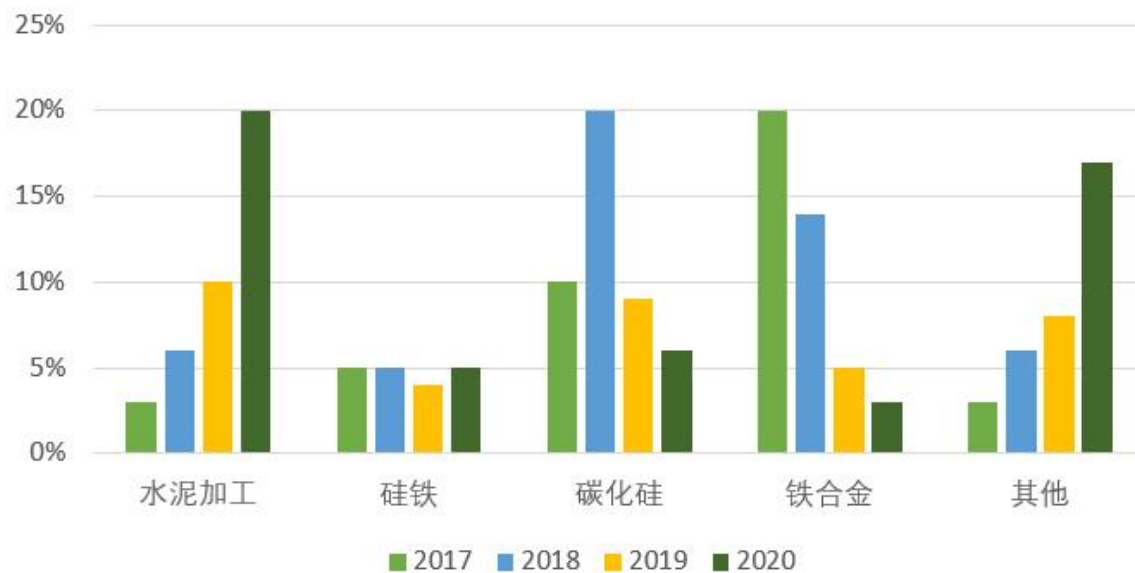
3.行业前景分析

通过综合评价分析方法，从市场占比、调节可靠性、调节速率以及调节能力增长率等角度，研究已参与市场的行业用户资源的可拓展性和可持续性；结合外部政策变化、产业发展等分析其他行业用户资源参与市场的可行性。

行业市场占比分析



行业调节能力增长率分析





01

虚拟电厂背景分析

02

虚拟电厂需求分析

03

虚拟电厂建设框架

04

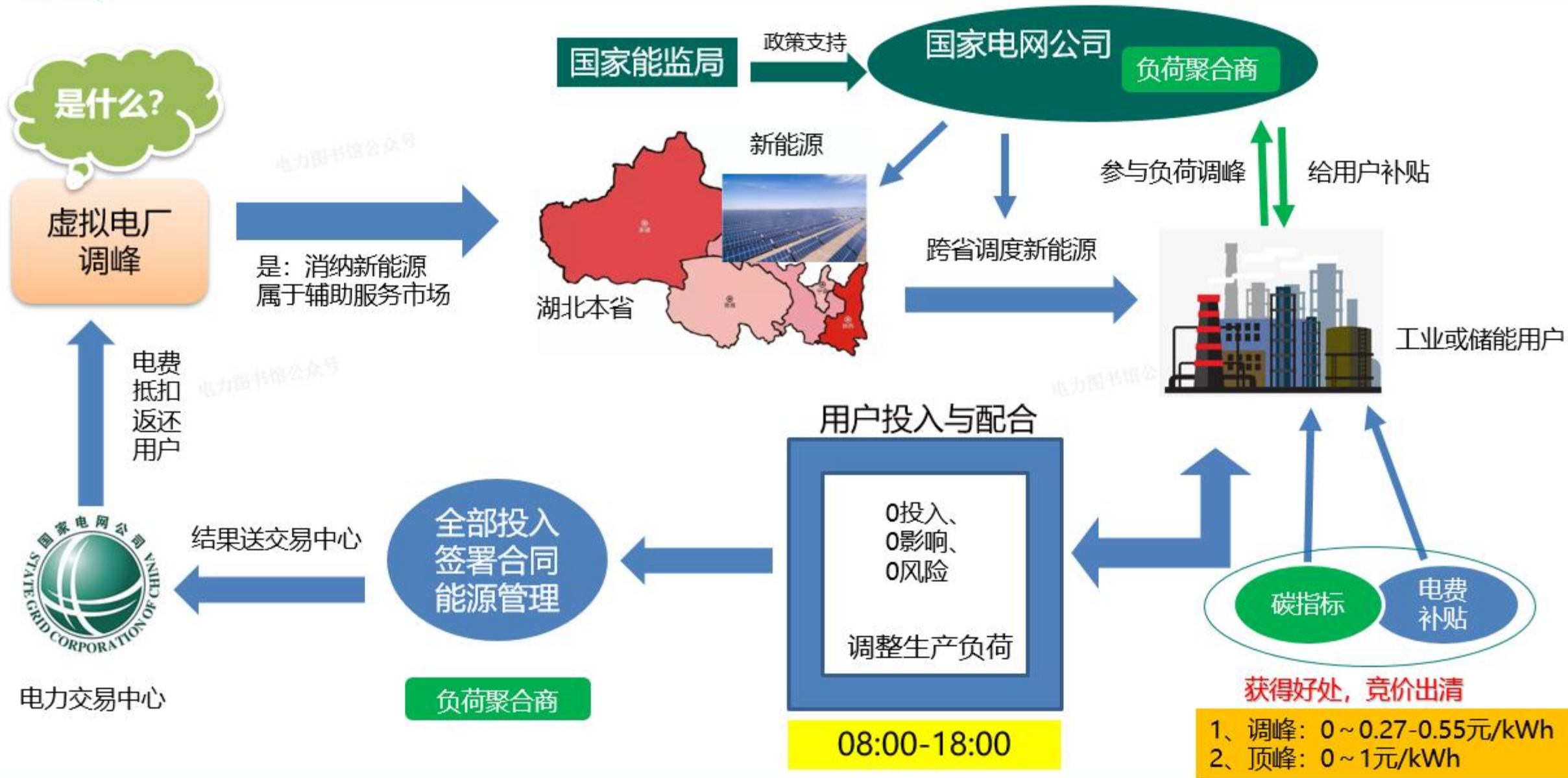
虚拟电厂业务功能

05

虚拟电厂的应用与展望

目录/ CONTENTS

五、西北跨区调峰应用效果-业务形态



四、虚拟电厂业务应用-源网荷储协同

在湖北某工业园区内实现虚拟电厂三次接力调峰，既不影响生产又可以通过内部联动响应电网调节互动。

1、降低企业内部充电出力，通过手机APP鼓励园区充电桩放电，增加顶峰能力，提高对外顶峰继续攀升至100%。

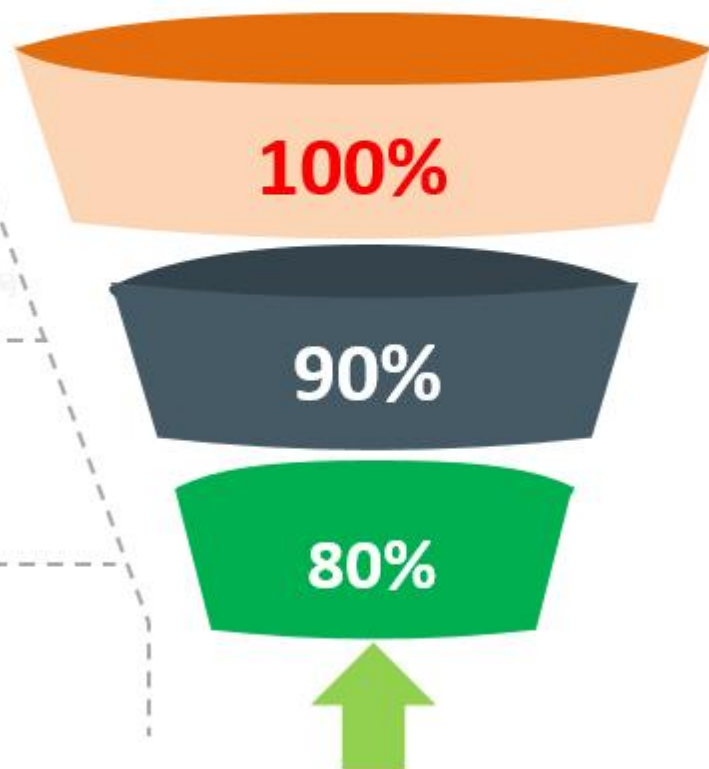
2、平台根据当前电站SOC空间远程启动电储能进行充电，对外负荷放电总体提高至90%。

3、生产负荷保持最低极限，保持在80%负荷。

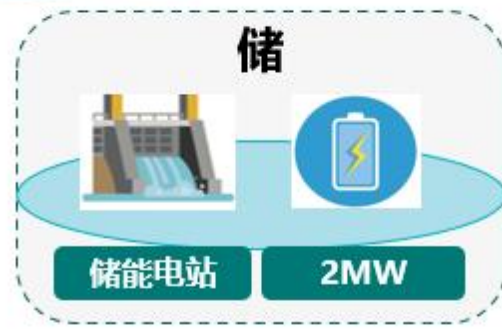
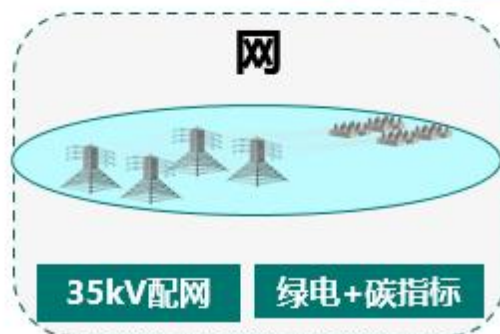
进行三次顶峰接力实现新能源消纳

电力图书馆公众号

电力图书馆公众号



虚拟电厂聚合



四、虚拟电厂的应用与展望

2023年截止目前，该聚合商累计消纳新能源电量197970310.04KWh，代理参与企业**674家**，包括陕煤集团、中国石油、陕西有色、盐湖海纳、陕汽集团等。涉及水泥、充电桩、矿产、工业园区、钢铁、铁合金等行业，同时改变了用户用能习惯，将保电网安全的意识引导至用户日常排产中。

SGC 华能新疆吉木萨尔发电有限公司

陕投集团 HUANENG XINJIANG JIMSAR POWER GENERATION CO.,LTD.

FAX

传真

发件单位：华能新疆吉木萨尔发电有限公司

传 真：0994-8367666

发 件 人：陈亮

电 话：0994-8369509

签 发 人：王兴法

日 期：2021 年 09 月 08 日

总 页 数：共 13 页

发文号：吉电办〔2021〕142 号

主 题：关于开展厂级 AGC 项目、碳排放数据上传工作事宜的函

抄 送：雷晓明、刘涛

收 件 人：李新江

☐ 普通

☐ 紧急

☒ 特急

☐ 回复

☐ 加密

陕西能源电力运营有限公司、西安工程大学

结合当下西北电网的安全性和日益加大的电网调频调峰的压力，与国网西北电力调控分中心会议交流并形成会议纪要（见附件 1），基于“两个细则”提升的厂级 AGC 负荷优化调节控制系统，既能保障电网安全质量，又能实现电厂机组最佳经济运行，从生产安全、经济效益、科技创新示范引领方面都有积极的意义。现委托西北电力设计院对厂级 AGC 项目进行规划设计，并编制技术规范书，并以最快的方式启动厂级 AGC 项目的招采工作。

	2020年3~12月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
宁夏和兴碳基材料有限公司	调峰电量 (MWh)	1473.22	199.75	1896.43	2008.05	1093.95	978.15	1147.45	1087.08	1674.66	0.00	11558.74
	调峰费用 (万元)	20.61	2.79	26.53	28.09	15.30	13.68	16.05	15.20	23.42	0.00	161.67
	调峰次数	6	2	11	12	6	5	6	7	12	0	67
宁夏中卫市银河冶炼有限公司	调峰电量 (MWh)	2622.38	0.00	1752.57	4054.10	2980.10	605.45	3371.84	2569.12	4429.34	0.00	22384.90
	调峰费用 (万元)	36.68	0.00	24.51	56.70	41.68	8.47	47.16	35.93	61.95	0.00	313.10
	调峰次数	6	0	6	12	10	3	8	8	10	0	63

四、虚拟电厂的应用与展望



某水泥在8月17日调节的负荷曲线看出。基准负荷平均5.1MW，当天10:00-16:00期间实际负荷在12MW，那么基准负荷与实际负荷之间负荷空间全部是补贴量，平均约6.9MW。

基准负荷核定过程中，将生料磨和旋窑的生产时间调整到10:00-16:00之外的时间运行，同时停一台水泥磨，10天基准核定完了，恢复正常生产。正式参与调节时，当天10:00-16:00期间将两台水泥磨、一台生料磨和一台旋窑尽力满负荷生产，使总负荷保持12MW。

陕西某水泥厂在8月17日调节过程中，10:00-16:00期间，总共参与可调电量37.5625兆瓦时，即37562.5度电。



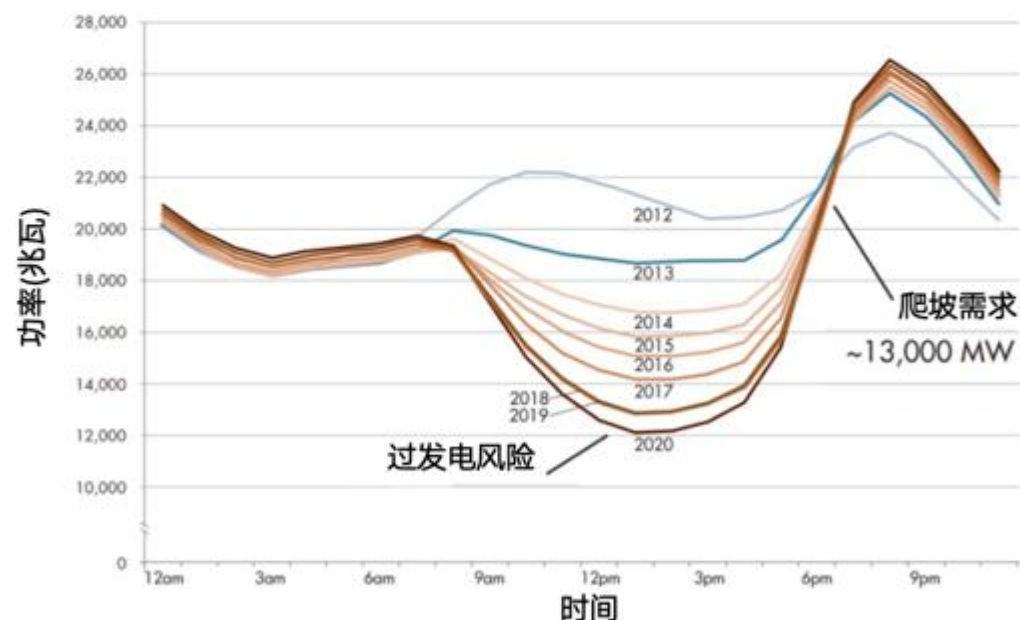
按照每度电补贴0.5元计算，总共一天当中可获得华东和三北电网补贴为： $A=37562.5 \times 0.5=18781.25$ 元；按照华东和三北电网反馈消息，结合各省新能源量，企业一年平均可参与参与调节天数为130天，因此以该水泥企业为例：

1年可从调节中为用户创造利益大约 $18781.25 \times 130=2441562.5$ 元，约合244.2万元/年。

同时其获得了 4883125×0.997 （度电碳指标）=4868475千克，约合4868吨/年二氧化碳排放当量。

四、虚拟电厂联合新型辅助服务

- 虚拟电厂可以借助自身良好的削峰填谷机制与虚拟电厂独有的出力外特性，调控内部各类负荷。
- 通过综合调控各类负荷，虚拟电厂可实现为电网提供转动惯量服务和爬坡服务等各类新型辅助服务的目的。



提供服务

虚拟转动惯量

快速灵活爬坡

虚拟电厂实现负荷调控并提供综合服务

电力用户

负荷侧资源应为省级智慧能源综合服务平台可调节负荷资源库中的电力用户

调节容量

初期调节容量不低于20MW，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修正

响应时长

具备按照调节容量要求持续参与响应不小于2小时的能力，后期视虚拟电厂发展情况滚动修正

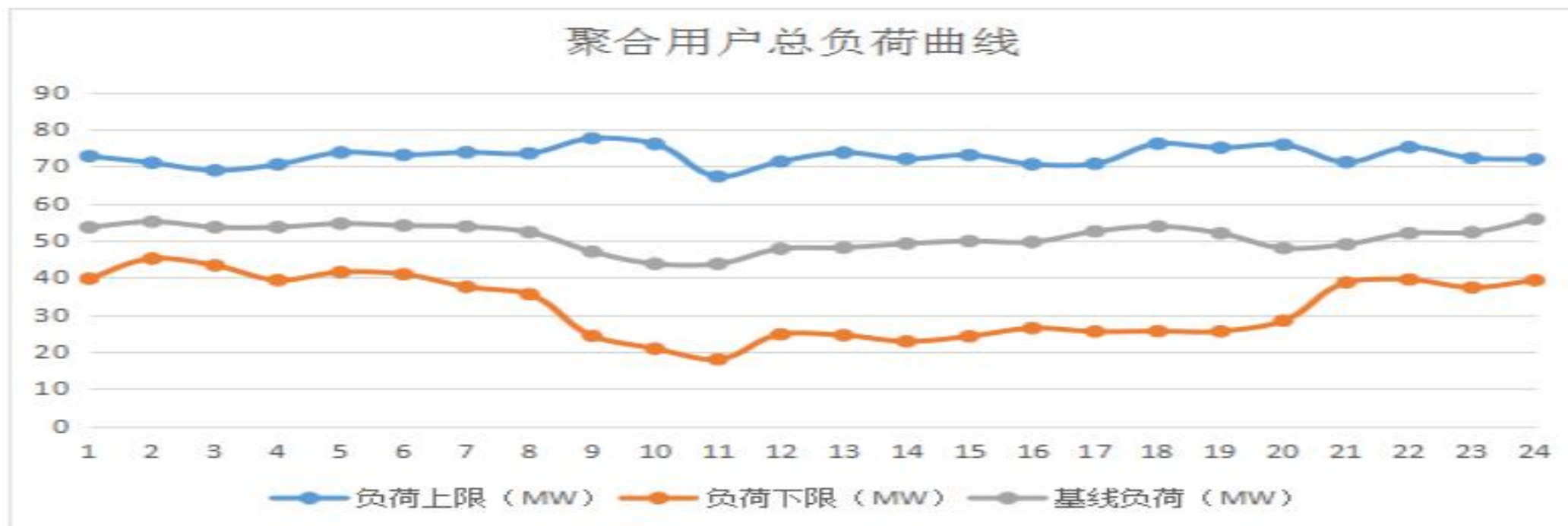
调节响应能力

A、调节速率：不低于（调节容量*3%）/分钟，且不低于0.6兆瓦/分钟

B、响应时间：虚拟电厂调节出力应与指令调节方向一致，且可在120秒内跨出调节死区

C、调节精度：以每15分钟为一个时段计算偏差率并进行考核，要求“负荷类”虚拟电厂不超过±15%，“一体化”虚拟电厂不超过±10%。偏差率=（实际电量-计划电量）/（日前申报调节容量×0.25小时）×100%

方案中聚合的电力用户为6家大工业用户，月度用电规模6470万千瓦时。结合调研结果，通过拟合企业高负荷运行、低负荷运行以及正常运行工况用电数据，统计全天最高用电总负荷理论上平均上调容量为26.65MW，下调容量为20.18MW。各时段实际可调容量在30-50MW，取平均可调节容量约为43MW。



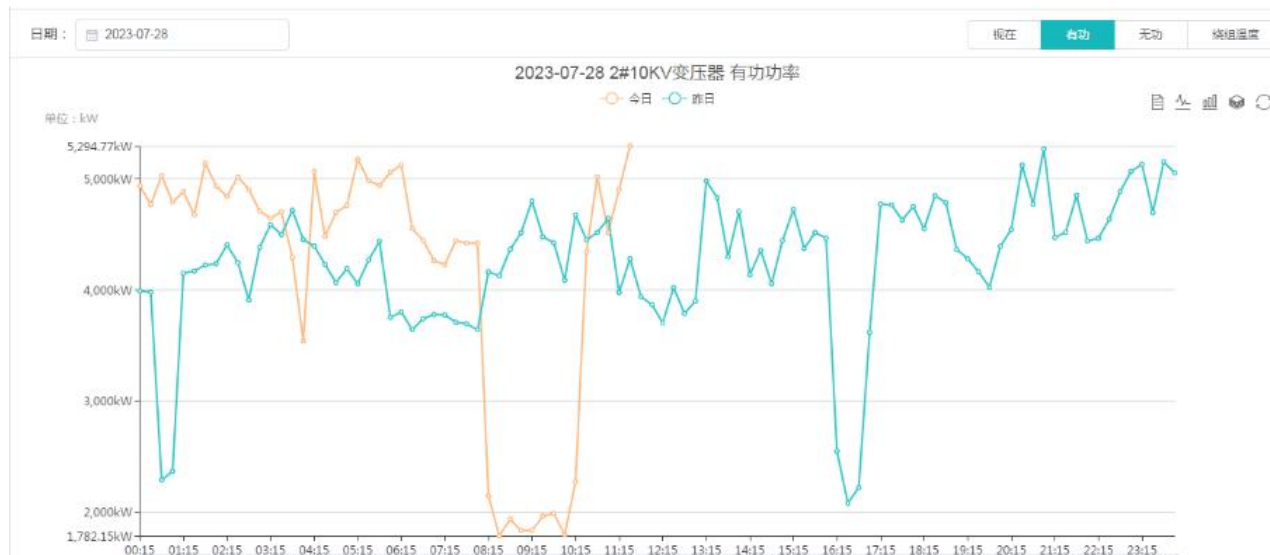


某有色金属厂主要主辅设备总功率为12.69MW, 其中轧机车间可中断负荷为两台冷扎机, 合计功率为5.32MW, 辅助设备空压机负荷0.54MW。涂层车间可中断负荷涂层机总功率4.310MW, 退火炉总功率为2.52MW。

可调容量5-10MW。

调节机制有两种:

- 一、工厂属于订单制, 当淡季时可中断轧机车间及涂层车间全部负荷中的设备;
- 二、当满负荷运行时, 因为轧机车间及涂层车间之间是离散制造属性, 在冷轧车间生产出的半成品铝箔可以大规模储存数小时, 其后的涂层车间的涂层及退火等流程可推迟而不影响生产。所以可以提供优质的负荷侧可调资源。



某木材加工厂一日负荷数据及与昨日数据对比，可以看出，负荷变动较大，主要受生产班次安排影响，中午和晚高峰通过调整生产班次，中断某些负荷设备来实现调节。

可调资源：在热压机、消片和砂光工艺段属于可调，热压机负荷2MW，消片负荷0.45MW，砂光负荷0.55，总共有3MW负荷可调。



某新材料厂中午时段用电负荷最低，凌晨时段和晚高峰时段用电负荷较高，中午低负荷主要因为倒班原因导致，通过负荷曲线对比分析发现，中午时段该企业是具备填谷的能力，晚高峰具备削峰的能力。

球磨机、造粉机和抛光机是瓷砖行业的主要可调负荷设备，可以通过用户自控的方式，调整流程运行工时，实现负荷的调控。

- ① 球磨机：瓷砖球磨工序的负荷调节手段一般采用错峰运行，尽量谷段运行，不足部分平段运行，调节方式为企业内部人工调节。
- ② 造粉机：瓷砖造粉工序的负荷调节手段一般采用错峰运行，尽量谷段运行，不足部分平段运行，调节方式为企业内部人工调节。
- ③ 抛光机：瓷砖抛光工序的负荷调节手段一般采用错峰运行，尽量谷段运行，不足部分平段运行，调节方式为企业内部人工调节。

总体而言，瓷砖行业中负荷占比大、易于调控的负荷设备为球磨机、造粉机和抛光机，可调潜力负荷主要来源于生产负荷，生产连续性要求不高，中断实施对产品影响不大，其可调潜力相当可观。

可调容量5-10MW。