



虚拟电厂售电业务 及共享储能等新型业态趋势

李 扬 教授

东南大学电气工程学院电力经济技术研究所

Email: li_yang@seu.edu.cn



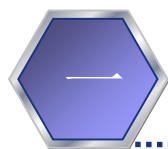
讲师简介



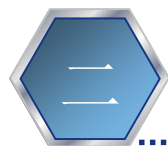
李扬，工学博士，东南大学电气工程学院教授，博士生导师，中国电机工程学会高级会员，中国电机工程学会青年和教育工作委员会委员、全国智能电网用户接口标准化技术委员会（SAC/TC549）委员。长期从事电力系统运行、电力市场、需求侧管理等研究和教学。主持并完成国家863计划和国家重点研发计划项目、国家自然科学基金联合基金重点项目和面上项目、国网公司总部和省级科技项目40多项，发表学术论文250余篇，授权专利10余项，参与编制国家标准1项，国际标准1项，获广西壮族自治区人民政府、江西省人民政府等省部级/公司级科技奖励6项。



主要内容



引言



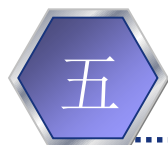
虚拟电厂的商业模式与售电业务



共享储能技术与商业模式



新兴业态的发展前景与政策支撑



总结

一、引言

1.1 虚拟电厂在电力系统中的作用

新能源为主体的新型电力系统面临的挑战

新能源发电的不稳定性不确定性

新能源，特别是太阳能和风能，其发电量受天气和环境条件的影响很大。



调度与控制难题

由于新能源发电的不稳定性，电网的调度和控制变得更加复杂。



储能需求增加与电网升级改造

为了平衡供需和缓解新能源的间歇性，电力系统需要更多的储能设施。



市场建设和政策体制改革

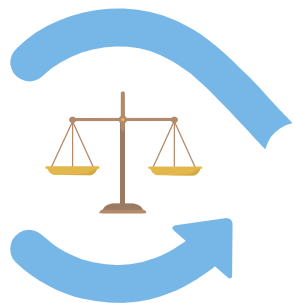
电力市场和相关政策需要进一步发展，以更好地整合新能源并激励相关的技术与服务创新。



一、引言

1.1 虚拟电厂在电力系统中的作用

虚拟电厂在新型电力系统中的应用、优势及其挑战



在供需平衡中的应用

有效平衡电力供需，提高电力系统的稳定性和可靠性



对储能设备的优化使用

优化设备的运行和管理，提高储能效率和经济性



对可再生能源的整合

整合和优化可再生能源发电，提高其接入电网的能力



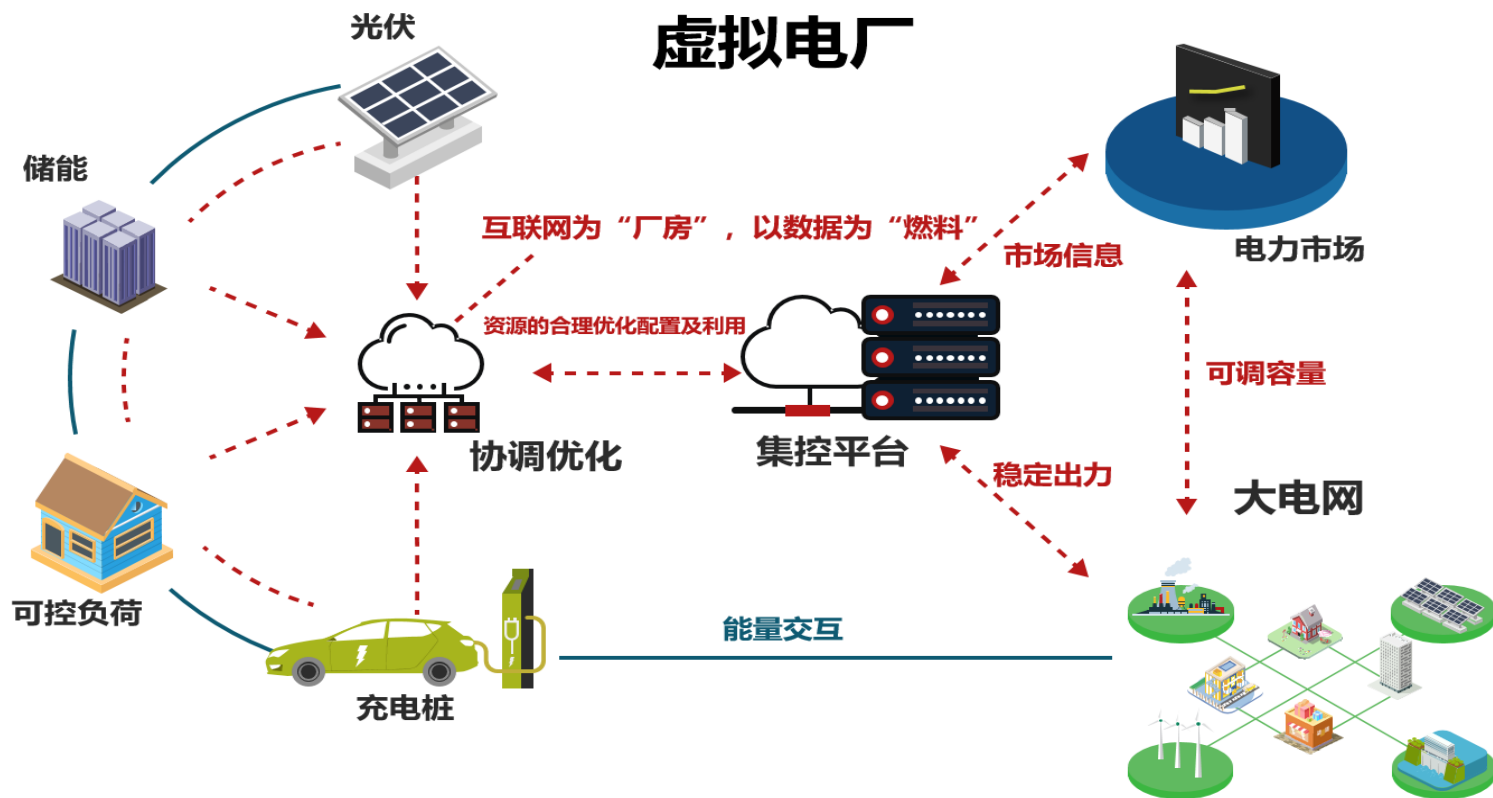
虚拟电厂的市场与政策适应性

适应电力市场和政策的变化，实现可持续发展的路径

一、引言

1.2 虚拟电厂的概念与功能

虚拟电厂（VPP）定义：VPP是一种通过软件和通信技术将**多种分布式能源资源**（如风力发电、光伏、储能设备、以及可控负荷等）集成在一起的系统。这种系统使得这些分散的资源能够被**聚合、调度、参与市场交易**。



一、引言

1.2 虚拟电厂的概念与功能

虚拟电厂的资源组成



风能



光伏能



燃气轮机



生物质能



地热能

分布式可再生能源

需求响应柔性负荷



工业负荷



商业负荷



智能家居



智能楼宇



大型园区

多类型储能技术 大规模电动汽车



一、引言

1.2 虚拟电厂的概念与功能

组合方式

储能：主要产品为辅助服务，调峰、调频；

柔性负荷：产品为辅助服务，性能取决于柔性负荷功率柔性调节能力；

分布式电源：主要产品为电能量，也可包括辅助服务。

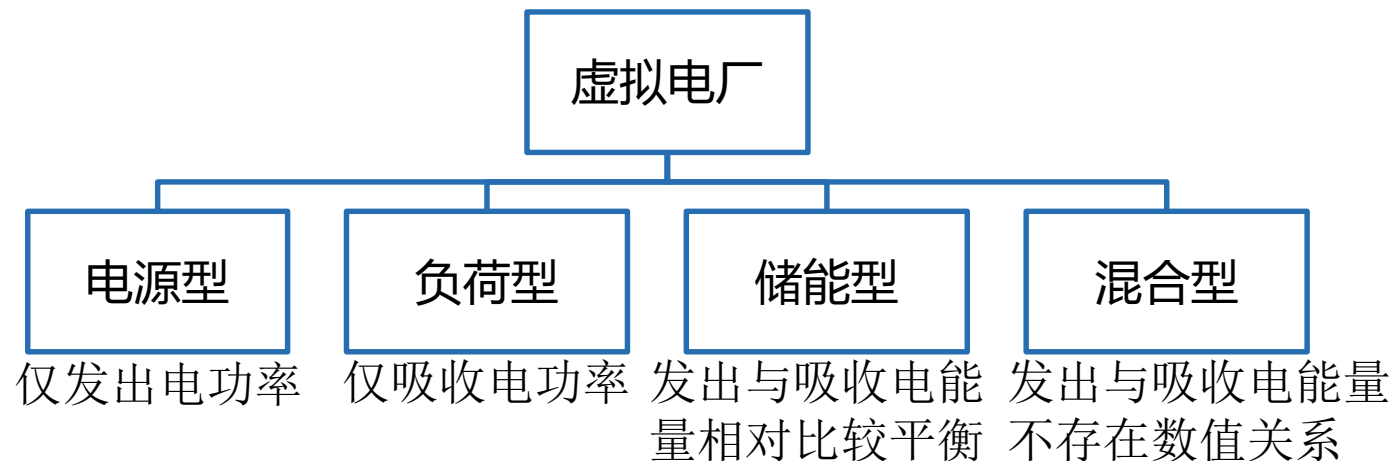
分布式电源+储能：产品为电能量，也包括辅助服务，取决于储能配置多寡；

分布式电源+柔性负荷：主要产品为电能量，也可包括辅助服务，取决于柔性负荷配置多寡；

柔性负荷+储能：主要产品为辅助服务。

分布式电源+柔性负荷+储能：主要产品可为电能量和辅助服务，取决于各种资源的配置情况

虚拟电厂内部资源组合方式不同，其功能类型也存在差异。





一、引言

1.2 虚拟电厂的概念与功能

虚拟电厂在多种应用场景中发挥着重要作用，其中包括**分布式能源管理**、**需求响应**以及**市场交易**等。

01

分布式能源管理

- ◆ 实现这些资源的最优配置和运行
- ◆ 实时调整资源输出，确保能源供应的稳定性和效率

03

市场交易

- ◆ 根据市场价格动态等因素制定买卖策略，最大化经济效益
- ◆ 提供频率调节、备用电力和其他辅助服务，通过市场机制获取收益

需求响应

02

- ◆ 动态调整消费者的电力使用模式，响应电网需求或价格变化
- ◆ 通过为参与需求响应的消费者提供经济激励，如降低电费或提供奖励，鼓励更多用户参与



一、引言

1.3 虚拟电厂的市场需求

电力市场对虚拟电厂技术和服
务的需求涉及多种驱动因素：

市场发展需要

- 推动电力市场健康发展，提高电力市场稳定性及灵活性，使电力市场保持良性竞争氛围，降低电力物价，保障供需平衡。

可再生能源的整合

- 电力系统需要更多灵活性来处理这些能源的间歇性和不可预测性。VPP不仅能聚合可再生能源提高系统的适应性和稳定性，而且提高了灵活性资源的经济价值。

电网现代化和数字化

- 电力系统正在向更智能、更高效的方向发展，VPP利用先进的软件平台对分布式资源进行实时监控和控制，促进了电网的现代化建设，为资源的市场化交易提供渠道。



一、引言

1.3 虚拟电厂的市场需求

虚拟电厂在电力市场中的交易面临一些挑战，这些挑战主要来自**技术、法规、市场和经济**等多个方面。

01 技术挑战

异构资源接口不统一，集成与管理困难

通信与数据处理能力，用户隐私安全



02 法规挑战

VPP的接入和运营受现有法规的限制

电力市场的开放程度和透明度不足



03 市场挑战

多时段、多市场类型决策难题

投标不确定性问题

市场成员之间策略性竞争压力



04 经济挑战

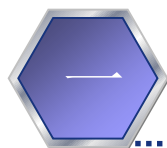
初始建设和运营成本高

内部资源的稳定性较差，短期难以回收投资





主要内容



引言



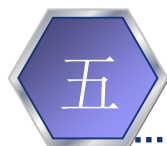
虚拟电厂的商业模式与售电业务



共享储能技术与商业模式



新兴业态的发展前景与政策支撑



总结



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

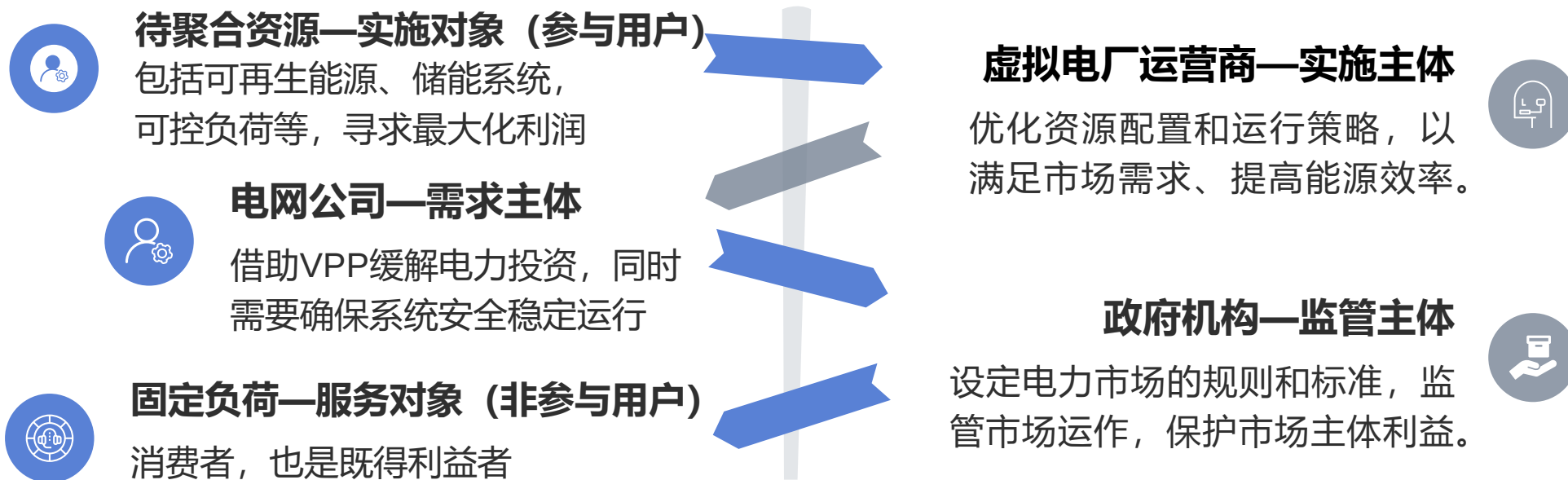
2.1 虚拟电厂的商业模式

- ▶ 泰莫斯定义商业模式是指一个完整的产品、服务和信息流体系，包括每一个参与者和其在其中起到的作用，以及每一个参与者的潜在利益和相应的收益来源和方式；
- ▶ 商业模式体系包括企业的定位、业务系统、盈利模式和企业价值等多方面；
- ▶ 虚拟电厂的商业模式可依据电力市场化的完善程度和收入来源的不同,区分商业模式。

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.1 虚拟电厂的商业模式-参与主体

- 虚拟电厂商业模式的关键在于多方利益主体的协调运行，涉及到的主体包括：**待聚合的资源（参与用户）、虚拟电厂运营商、电力系统运营商、政府监管机构**和**常规负荷用户（非参与用户）**。



每一类主体在虚拟电厂的运营和成功中扮演着重要的角色，共同推动虚拟电厂的成功运营和电力市场的整体效益。

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.1 虚拟电厂的商业模式-市场定位

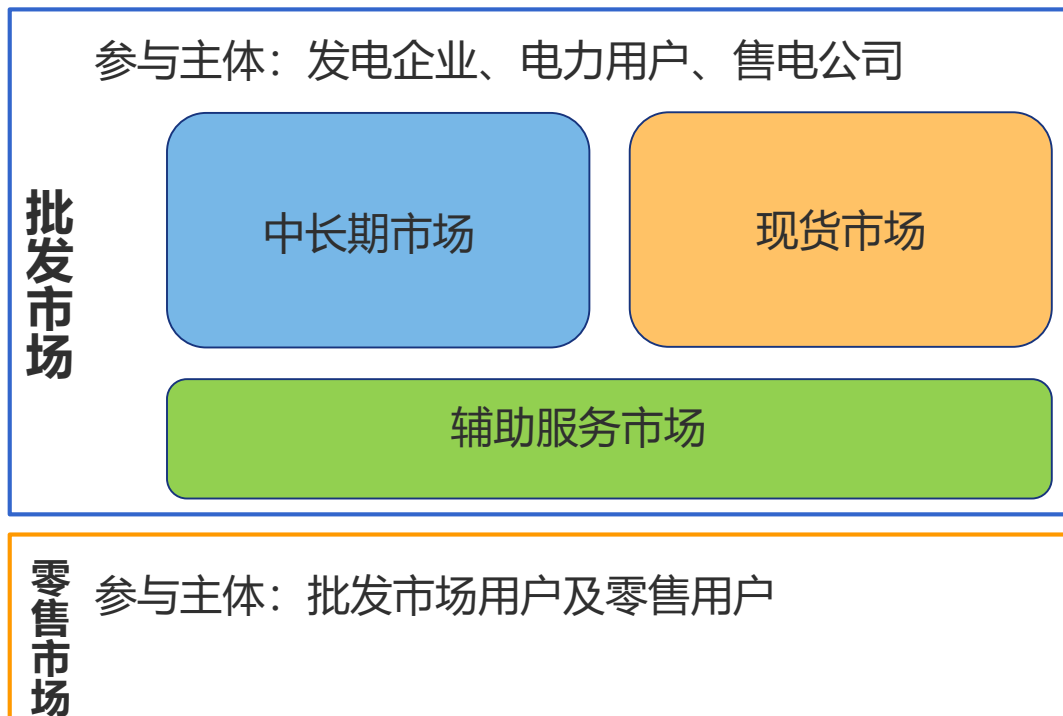
- 虚拟电厂能够在电力市场中扮演多重角色，既可以作为发电机组从电力批发市场和零售市场中获利，而且还能作为售电公司组织和管理内部用户的需求响应。

在**中长期市场**，VPP可作为传统机组进行中长期双边、集中交易，合同转让交易。

在**现货市场**，VPP通过现货交易的差价获利。

在**辅助服务市场**，VPP参与调峰、调频等辅助服务市场交易。

在**零售市场**，VPP通过直接或间接向终端用户销售电力获利；还能通过控制电力价格和相关合同实施**需求响应**。



VPP在电力市场中的定位



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.1 虚拟电厂的商业模式-三种类型

模 式 类 型	定位	运营主体	主要业务	收益方式
以发电侧为主参与市场交易	聚合分散式发电资源	①独立虚拟电厂运营商 ②发电公司 ③输电网运营商	①在批发市场销售可再生能源电厂生产的电量 ②直接参与电力现货交易，参与调峰、调频等辅助服务	①获取电力交易及辅助服务收益的分成 ②通过帮助发电企业降本增效而收取服务费分成
市场环境下的需求响应	聚焦于用户侧光伏和可控负荷	①公共事业公司 ②能源零售商	①通过合约的形式,取得户用光伏部分电力控制权,必要时给能源零售商提供电力 ②能源零售商通过储能聚合这些电能并在用电峰期提供给需要的用户 ③参与调峰、调频等辅助服务	①将聚合的户用光伏的电能通过储能设施在低价时段储存，在用电高峰时段高价销售给终端用户或输电运营商，通过电价差获得利润
政策补贴型的需求响应	聚合资源,参与需求响应和辅助服务	①电网公司 ②售电公司 ③第三方独立聚合商等	①聚合柔性负荷、聚合分布式电源、聚合储能 ②电网公司组织需求响应计划	①需求响应补偿 ②辅助服务补偿



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

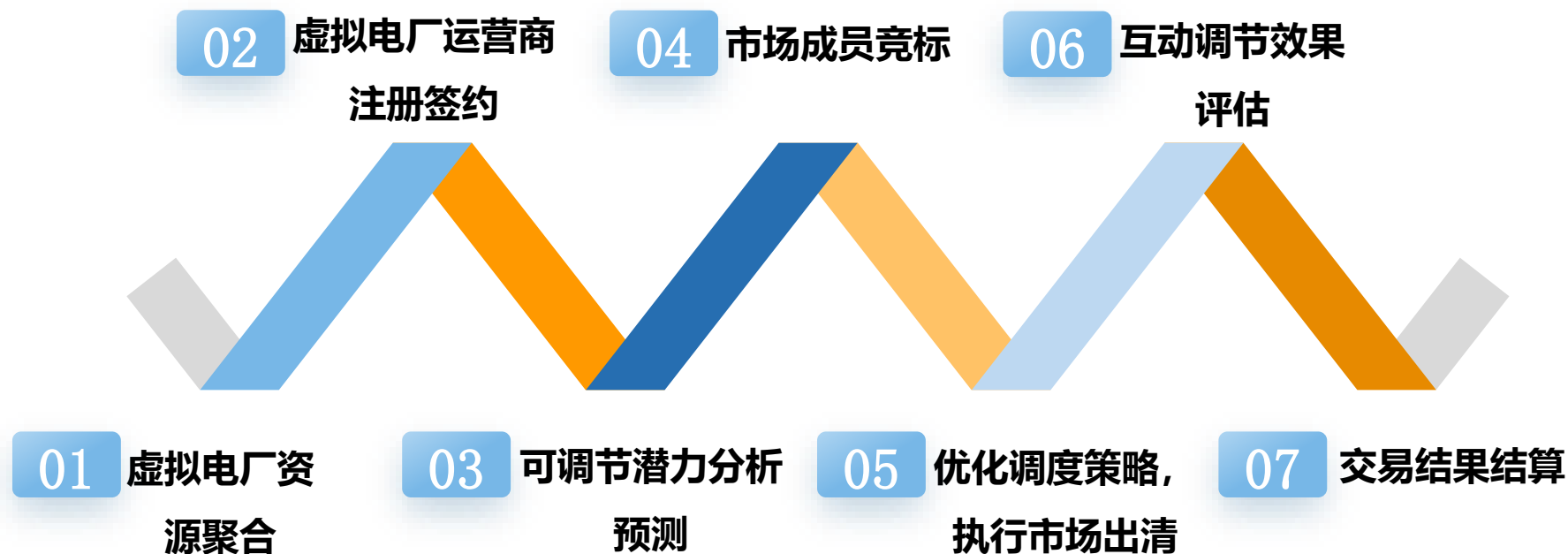
2.1 虚拟电厂的商业模式—国内典型地区或省份参与品种

虚拟电厂参与市场交易的品种

市场	交易品种	交易范围	交易组织形式	典型地区或省份
辅助服务	调频	省内、区域	单边报量，固定标准补贴；单边报量报价，边际出清	重庆：调频容量补偿价格为日前3元/MW，日内10元/MW。
	调峰	省内、区域		上海：实时市场申报容量单位为0.01MW，时间间隔为15分钟，最短持续时间30分钟。报价上限值为400元/MWh
	备用	省内、区域		南方区域：采用“日前出清+日内调整”组织跨省备用市场交易。日前分24时段分省区申报10分钟备用购买和提供容量和价格，出清后在日内由南网总调组织调整并事后披露。
现货市场	日前	省内	单边报量 报价边际出清	山西：日前交易以报量报价方式参与
	日内	省内		山东：竞价申报运行日调节的电力、调节时间、调节速率等信息，接受实时市场出清价格

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

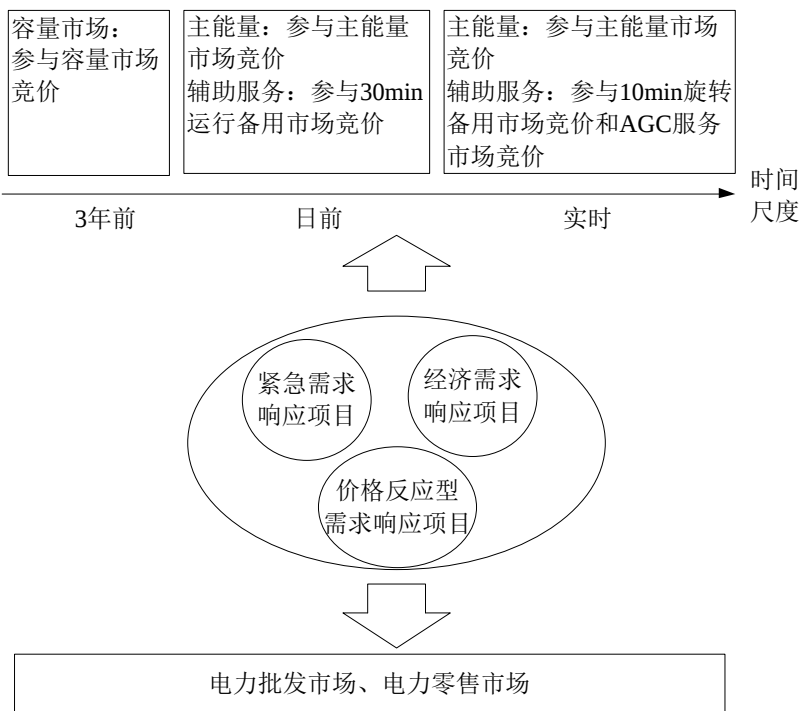
2.1 虚拟电厂的商业模式—市场交易业务流程



虚拟电厂参与市场交易的业务流程

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.1 虚拟电厂的商业模式—需求响应市场化典型



美国PJM的需求响应市场化交易项目

PJM需求响应市场的主要参与者:

- ① **配电公司 (EDC)** : 为PJM内部终端用户提供配电服务;
- ② **负荷服务实体 (LSE)** : 包括负荷聚合商和其它电力销售方, 只向其合同签订终端用户出售电力资源或提供其它用电服务;
- ③ **削减服务提供商 (CSP)** : 组织具有削减负荷潜力且愿意参与电力市场需求响应交易的终端用户, 代表终端用户参与到PJM需求响应项目, 可以是LSE;
- ④ **终端用户 (EUC)** : 不能直接参与市场交易, 必须通过LSE或CSP作为代理方才能参与需求响应市场交易。

PJM需求响应的项目类型:

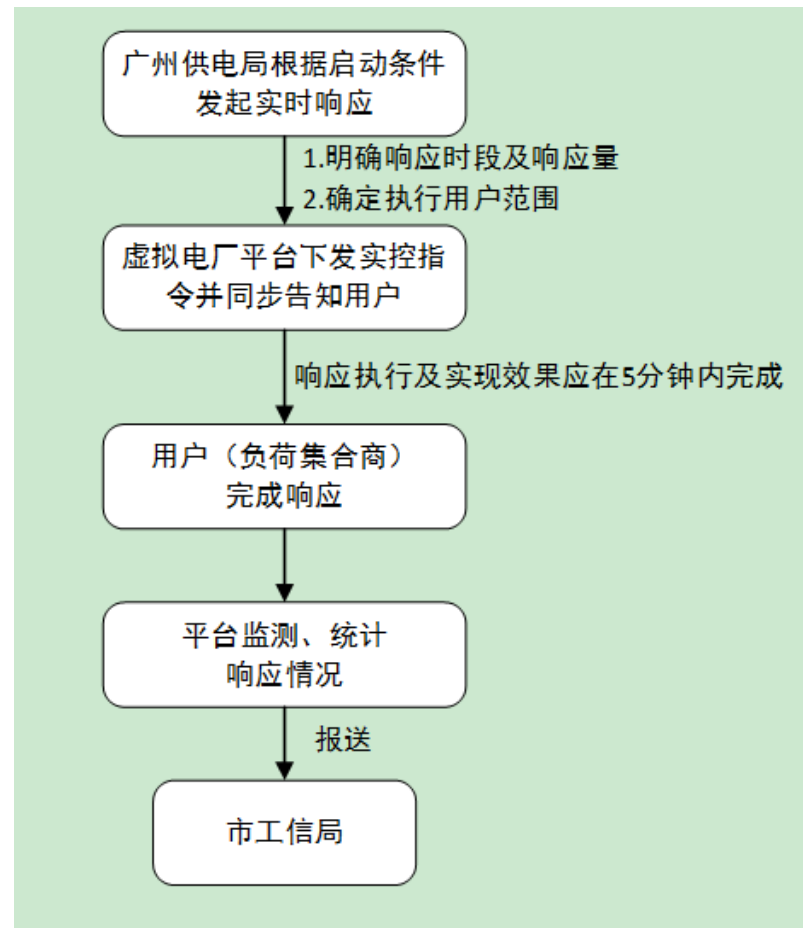
- ① 经济型需求响应 (能量市场、辅助服务市场)
- ② 紧急型需求响应 (能量市场、容量市场)
- ③ 价格反应型需求响应 (基于分时电价的需求响应)

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.1 虚拟电厂的商业模式—中国政策补贴型需求响应

广州虚拟电厂类型及补贴情况

响应类型		提前通知时间	补贴标准（元/千瓦时）	响应系数
削峰	邀约响应	提前1天	0—5	1
		>4小时		1.5
	实时响应	/		3
填谷	邀约响应	提前1天	0—2	1
		>4小时		1.5
	实时响应	/		3



广州虚拟电厂实时响应工作流程



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.1 虚拟电厂的商业模式

整体来看，美国和欧洲在虚拟电厂的发展和市场化运作方面较为成熟，已实现商业化，而中国仍在试验和逐步市场化的过程中。

中、美、欧虚拟电厂商业模式的差异

	美国	欧洲	中国
资源情况	资源与负荷分布相对较为均衡，主要为家用储能、光伏等可控负荷	以分布式发电资源为主	分布式光伏、储能、可控负荷等
电网体制	所有权较为分散	各国之间所有权较为分散	由电网统一规划、统一建设、统一管理
调度与交易	各ISO负责各自区域电网的调度管理和市场交易	各国调度+欧洲电网联合运营及协调中心。主要交易中心共同运营欧洲统一市场	统一调度、分级管理：国调（分调）负责省间输电通道调度+各省调负责省内电网调度
电力市场模式	金融交易+日前实市场	双边合约+日前日内场内交易+平衡机制	计划逐步放开一市场化的中长期交易+现货交易
虚拟电厂盈利方式	市场化需求侧响应收益	电力市场交易及辅助服务收益	补偿型需求侧响应收益+辅助服务收益
虚拟电厂发展阶段	市场交易型，已实现商业化	市场交易型，已实现商业化	邀约型为主，仍处于试验阶段



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.1 虚拟电厂的售电业务-定义

售电业务的定义：通过控制和优化多种分布式能源资源，参与**电力市场交易**，向电网或终端用户**销售电力及电力系统辅助服务**的商业活动。

- 售电业务是核心运营活动之一，将多种分布式能源资源通过先进的信息技术和软件平台整合起来，形成一个能效高、响应灵活的电力资源集群。
- 虚拟电厂能在电力市场上像单一电站一样进行电力销售和交易。

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.1 虚拟电厂的售电业务-定义

① 对外参与能源市场

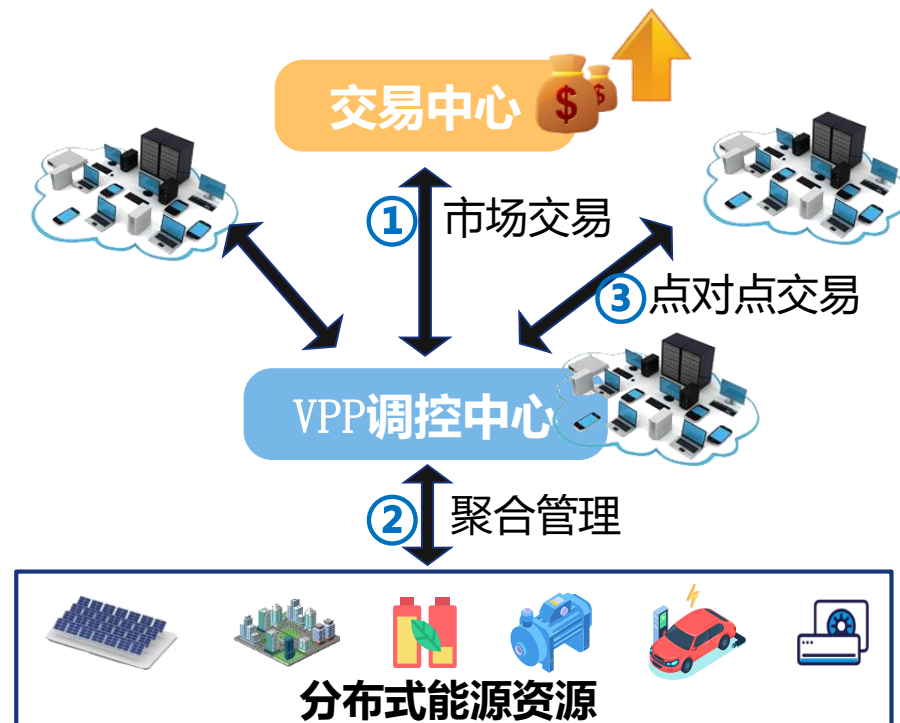
- VPP聚合内部分布式能源资源参与**电能量市场**、**辅助服务市场**交易，此外还可考虑参与碳市场、天然气市场。

② 对聚合资源形成内部市场

- VPP通过**价格信号**引导底层资源的发电和用能行为。
- 底层资源之间以合作方式运行，VPP合理**分配利**

③ 运营商之间的电力交易

- 多个虚拟电厂之间或者虚拟电厂与其他市场主体之间也可进行电力交易。



虚拟电厂售电业务范围示意图

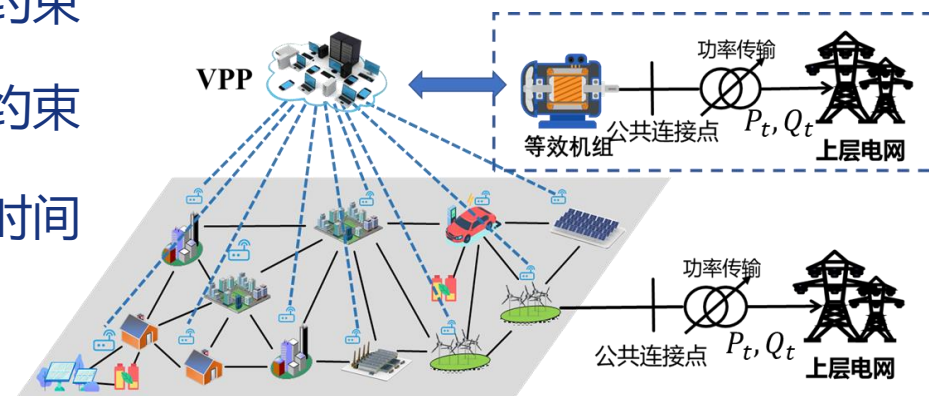
二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.2 虚拟电厂的售电业务—对外参与能源市场

挑战1：如何聚合内部分布式资源，计算满足多种运行约束条件下VPP整体对外的功率调节能力，同时满足系统对调节性能的要求

构建虚拟电厂功率聚合模型 Ω

$$\Omega = \left\{ \begin{array}{l|l} Mx \leq m & \text{--- 灵活资源约束} \\ P_t = Gx_t + W\mu_t + c_t & \text{--- 网络运行约束} \\ P_t, Q_t & \\ Q_t = Hx_t + I\mu_t + d_t & \\ r_t, \tau, \omega & \\ \tau \geq T_{ss} & \text{--- 调节持续时间} \\ r_{t,\min} \leq r_t \leq r_{t,\max} & \text{--- 爬坡速度} \\ \omega \leq T_{\text{con}} & \text{--- 响应速度} \end{array} \right.$$



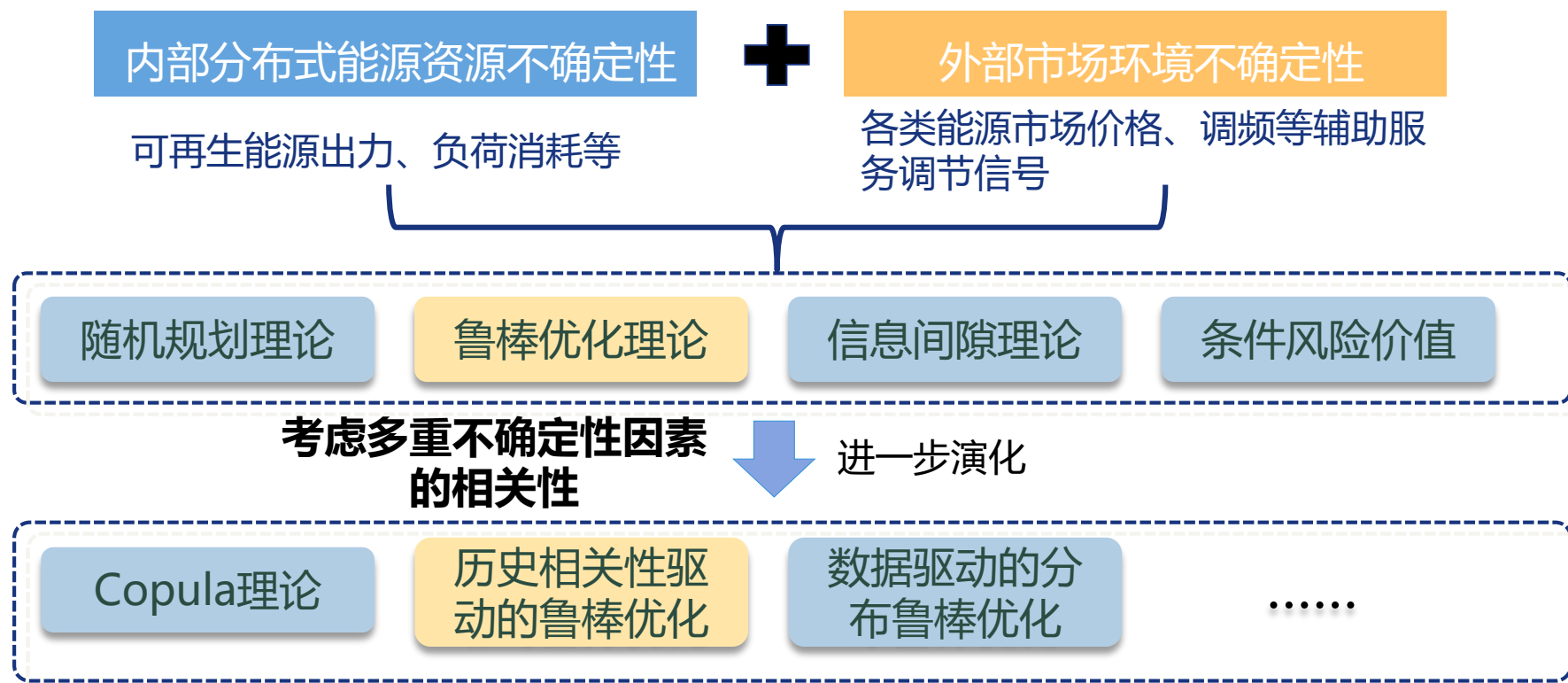
虚拟电厂等效聚合示意图

聚合结果：通过数学解析法获得VPP在公共连接点连续时间尺度的可行域 P 、 Q ，及其调节技术指标 r 、 τ 、 ω 。

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.2 虚拟电厂的售电业务—对外参与能源市场

挑战2：如何在考虑内部资源和外部市场环境的多重不确定性下，提高VPP优化运行与市场竞标的准确性



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.2 虚拟电厂的售电业务—对外参与能源市场

考虑不确定性的VPP聚合问题

- ◆ 构建包含**多不确定性因素相关性**和**多时间尺度耦合关系**的不确定性集。
- ◆ 以可行域最大化为目标，构建VPP两阶段鲁棒优化模型，并采用**基于列和约束生成算法**优化求解。
- ◆ 最终获得更精准、偏差功率更低的VPP可行域。

$$\mathcal{U} = \{\mu: \mu_t = \bar{\mu}_t + L_t \zeta_t, t \in \mathcal{T}\}$$

$$\zeta_{t,\min} \leq \zeta_t \leq \zeta_{t,\max} \quad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$\sum_{i \in \mathcal{N}_\mu} \sum_{t \in \mathcal{T}} |\zeta_{i,t}| / \zeta_{i,t,\max} \leq \Lambda$$

$$H(U^i \rightarrow U^j) \leq H_{\max} \quad \forall i, j \in \mathcal{N}_\mu, i \neq j$$

不确定性集合的构建

$$\min_{P^{VPP}, Q^{VPP}} - \sum_{t=1}^T S_t + M_0 \left(\max_{\mu \in U} \min_{(s,x) \in F(\mu, P^{VPP}, Q^{VPP})} \mathbf{1}^T s \right)$$

主问题

$$MP: \min_{P^{VPP}, Q^{VPP}, x^k} - \sum_{t=1}^T S_t$$

st:

$$P^{VPP} \leq Gx^k + W\mu^k + c$$

$$Q^{VPP} \leq Hx^k + I\mu^k + d \quad \forall k=1, \dots, K$$

$$Mx^k \leq m$$

次问题

$$SP = \max_{\mu \in U} \min_{(s,x) \in F(\mu, P^{VPP}, Q^{VPP})} \mathbf{1}^T s$$

st:

$$-s + \hat{P}^{VPP} \leq Gx(\mu) + W\mu + c$$

$$-s + \hat{Q}^{VPP} \leq Hx(\mu) + I\mu + d$$

$$-s + Mx(\mu) \leq m$$

基于列和约束生成算法的两阶段鲁棒优化求解



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.2 虚拟电厂的售电业务—对外参与能源市场

考虑不确定性的市场投标问题

- ◆ 采用Copula函数构建市场价格与调频需求之间相互关联的不确定性模型，并以相应的Copula-CVaR模型作为市场风险量度指标对需求响应聚合商的决策风险进行量化
- ◆ 建立以需求响应聚合商的利益最大化为目标的竞标模型。

1.建立损失函数

$$\pi(R, M, \lambda_c, \lambda_m, \lambda_{LMP}) = s_a \lambda_c R + s_a \lambda_m M - \mu(aM^2 + bM) - (1 - \mu)(\lambda_m M) - s_l \lambda_{LMP} M$$

2.构建 Copula-CVaR函数

$$\begin{aligned} \delta_\alpha = & \alpha + \frac{1}{1 - \beta} \int_0^{\lambda_{\max}} \int_0^R \left(-s_a k_c \lambda R - \mu s_a k_m \lambda M + \mu(aM^2 + bM) + s_l k_{LMP} \lambda M - \alpha \right)^+ h(\lambda, M) d\lambda dM \\ & + \frac{1}{1 - \beta} \int_0^{\lambda_{\max}} \int_0^\infty \left(-s_a k_c \lambda R - \mu s_a k_m \lambda R + \mu(aR^2 + bR) + s_l k_{LMP} \lambda R - \alpha \right)^+ h(\lambda, M) d\lambda dM \end{aligned}$$

3.将Copula-CVaR以乘以一个风险偏好系数 L 的形式加入目标函数中，获得虚拟电厂在调频市场中的竞标决策模型：

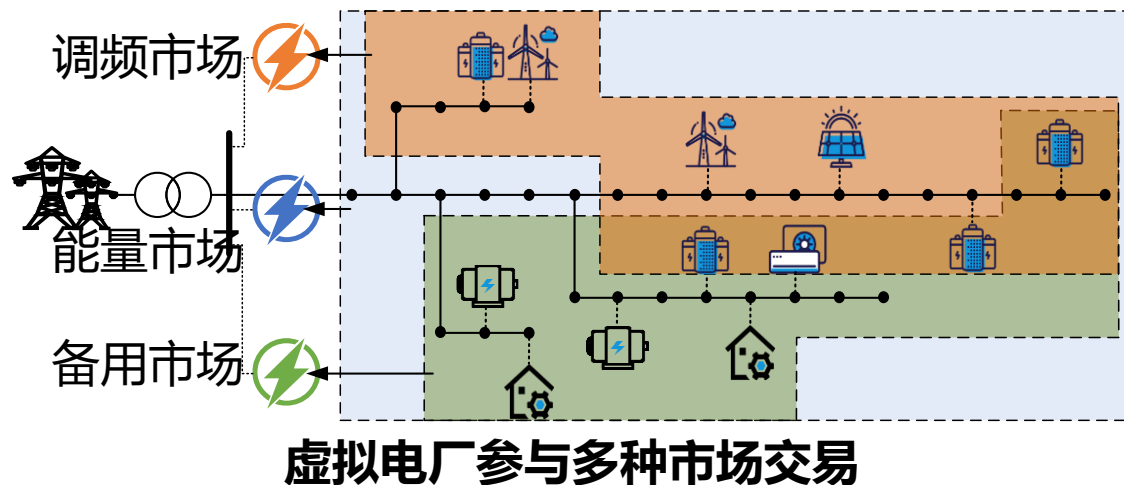
$$M1: \max \sum_{\omega=1}^{N_\omega} \left(q_\omega \sum_{t=1}^T \left(s_a k_{c,t} \lambda_t^\omega R_t + \mu s_a k_{m,t} \lambda_t^\omega M_t^\omega - \mu(aM_t^{\omega 2} + bM_t^\omega) - s_{l,t}^\omega k_{LMP,t} \lambda_t^\omega M_t^\omega \right) \right) - L \delta_\alpha$$

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.2 虚拟电厂的售电业务—对外参与能源市场

挑战3：如何实现多市场间策略协调，有效地在电力市场和辅助服务市场之间平衡资源使用，这要求虚拟电厂具备高度的策略灵活性和响应能力

- ◆ 根据分布式资源的运行状态，市场需求及价格的动态变化，VPP随之动态的调整自身的组合形式，制定完善的竞标策略。
- ◆ VPP将分布式资源聚合为多个虚拟机组，分别参与不同的调节任务，虚拟机组之间的资源根据需求协同运行。



虚拟电厂参与多种市场交易

$$\begin{aligned} \min_{P_j^{\text{VU}}} \sum_{j \in J} -\pi_j^\top P_j^{\text{VU}} + M \left(\max_{\mu \in \mathcal{U}} \min_{(\hat{x}, s) \in F(\mu, P_j^{\text{VU}})} \mathbf{1}^\top s \right) \\ \text{st: } P_{j, \min}^{\text{VU}} \leq P_j^{\text{VU}} \leq \hat{G}_j \hat{x} + c \quad \forall j \in J \\ \hat{M} \hat{x} \leq m \\ \tau_j \geq T_{j, \text{ss}} \quad \forall j \in J \\ P_{j, t_{\text{st}}}^{\text{VU}} \leq P_{j, t}^{\text{VU}} \quad t = t_{\text{st}}, \dots, t_{\text{st}} + \tau - 1, \forall j \in J \\ R_{j, t_{\text{st}}}^{\text{VU}} \leq R_{j, t}^{\text{VU}} \quad t = t_{\text{st}}, \dots, t_{\text{st}} + \tau - 1, \forall j \in J \end{aligned}$$

以市场收益最大为目标，同时满足系统、资源运行约束以及市场所需的调节性能

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.2 虚拟电厂的售电业务—对外参与能源市场

挑战4：如何考虑其它市场主体的策略性竞标行为以及由认知水平存在差异且信息不互通产生的有界理性行为

行为经济学理论：前景理论、心理账户、启发式认知偏差

K级推理方法，深度强化学习等人工智能方法



前景理论认为，对于某一个全概率事件 (x, y) ，它们分别的概率为 (p, q) ，价值 $v(x)$ 和概率的权重 $\pi(p)$ 以这样的方式结合为**前景值**

$$V(x, p; y, q) = \pi(p)v(x) + \pi(q)v(y)$$

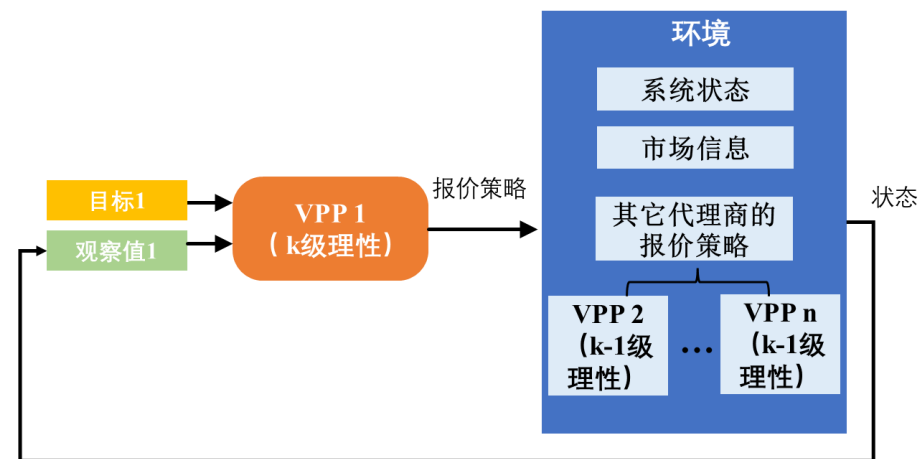
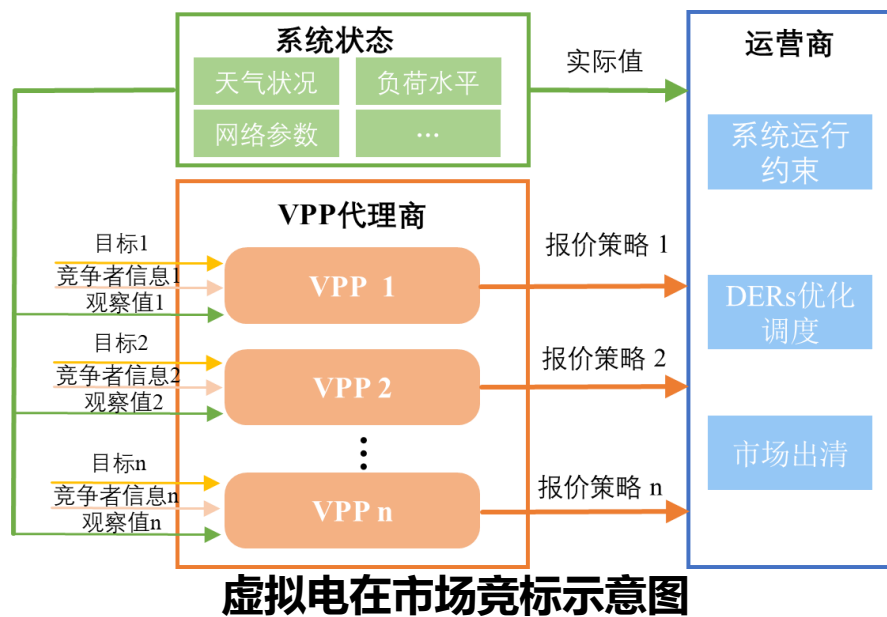
然后，自然人会比较各个全概率事件的前景值，并且选择较大的那个。

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.2 虚拟电厂的售电业务—对外参与能源市场

考虑其它市场主体有界理性的VPP竞标策略

- 利用 k 级推理方法探索VPP的决策过程，其 k 级有界理性决策是基于其它参与者 $k-1$ 级竞标策略而获得的。
- 采用DQN算法与 k 级推理方法相结合的方式来获得具有不同理性等级VPP竞标策略。



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.3 虚拟电厂的售电业务—对聚合资源形成内部市场

挑战1：如何通过价格信号引导内部成员行为，实现自身优化运行

VPP在分布式能源经济调度中处于领导地位，优先制定售电策略及负荷电价，EV等柔性负荷作为跟随者，根据虚拟电厂的售电决策改变自身的购电行为，以谋求最低的购电成本。在实现虚拟电厂利益最大化的同时降低负荷的购电成本。

上层：VPP决策模型

$$\begin{aligned}\max G &= \sum_{t=1}^T \left\{ C_t^{\text{DAM}} + C_t^{\text{EV}} + C_t^{\text{L}} - C_t^{\text{ES}} - C_t^{\text{PV}} - R_t \right\} \\ P_t^{\text{PV}} - P_t^{\text{PV}} + P_t^{\text{L}} - P_t^{\text{L}} &= \Delta P_t^{\text{EV}} + P_t^{\text{RT}+} + P_t^{\text{RT}-} \\ P_t^{\text{VPP}} &= P_t^{\text{PV}} + P_t^{\text{ES}} - P_t^{\text{EV}} - P_t^{\text{L1}'} - P_t^{\text{L2}'} - P_t^{\text{L1}} - P_t^{\text{L2}} \\ X_{\min}^{\text{EV}} &\leq X_{s,t}^{\text{EV}} \leq X_{b,t}^{\text{EV}} \leq X_{\max}^{\text{EV}}\end{aligned}$$

电量采购

Max: VPP购售电收益

s.t:

- 1) 系统功率平衡约束
- 2) 售电价格约束
- 3) 储能充/放电量、充/放电速率约束
- 4) 储能SOC约束
- 5) EV调度容量约束
- 6) 电力市场交易约束

电价信息

Min: 负荷购电成本

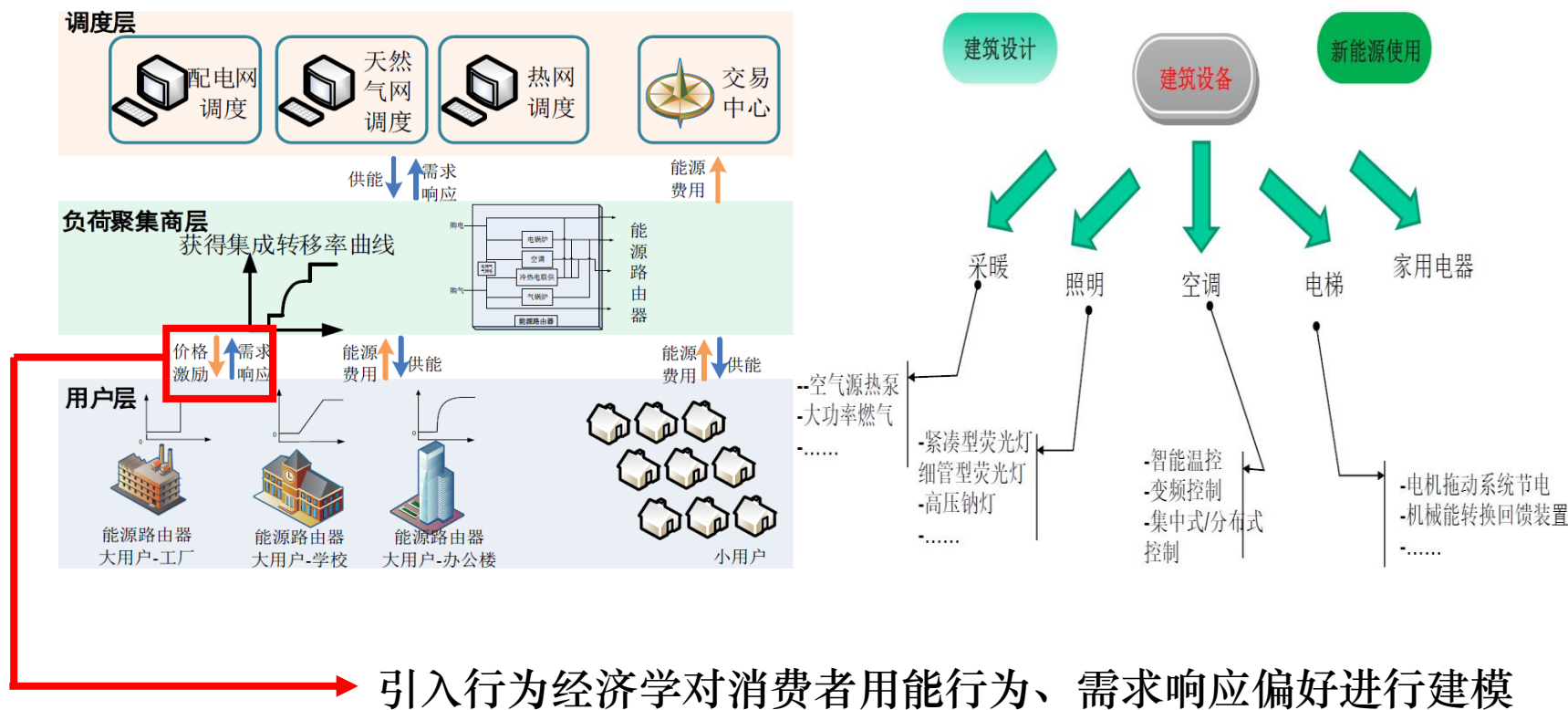
下层：负荷购电模型

$$\begin{aligned}\min C &= \sum_{t=1}^T \left(C_t^{\text{EV}} + \frac{1}{2} \alpha_{\text{EV}} P_t^{\text{EV}} + C_t^{\text{L}} \right) \\ P_{\min}^{\text{L1}} &\leq P_t^{\text{L1}} \leq P_{\max}^{\text{L1}} \quad \sum_{t=1}^T X_{b,t}^{\text{EV}} = \sum_{t=1}^T X_{b,t}^{\text{DAM}} \quad \sum_{t=1}^K P_t^{\text{L2}} = \sum_{t=1}^K P_t^{\text{L2,st}} \\ P_{t,\min}^{\text{EV}} &\leq P_t^{\text{EV}} \leq P_{t,\max}^{\text{EV}} \quad \text{SOC}_{t,\min}^{\text{EV}} \leq \text{SOC}_t^{\text{EV}} \leq \text{SOC}_{t,\max}^{\text{EV}} \quad \sum_{t=1}^K P_t^{\text{L1}} = \sum_{t=1}^K P_t^{\text{L1,st}}\end{aligned}$$

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.3 虚拟电厂的售电业务—对聚合资源形成内部市场

挑战2：用户在需求响应决策中的地位提高，如何构建灵活的需求响应模型



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.3 虚拟电厂的售电业务—对聚合资源形成内部市场

研究包含电热泵资源的虚拟电厂优化模型：

优化目标：满足用户用能需求，同时考虑用户舒适度，经济最大化

理性人

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{l=1}^{N_l} \left(\lambda_{i,l}^{\text{imp}} \left(E_{i,l}^{\text{load}} + P_{i,l}^{\text{EHP}} t \right) + \varsigma_i^+ T_{i,l}^+ + \varsigma_i^- T_{i,l}^- \right) \right\}$$

考虑禀赋效应

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{N_i} \left(\lambda_{i,l}^{\text{imp}} \left(E_{i,l}^{\text{load}} + P_{i,l}^{\text{EHP}} t \right) + \varsigma_i^+ + \sum_{l=1}^{N_l} \left(s_i^+ T_{i,l}^+ + \theta_{\varsigma_i^-}^- T_{i,l}^- \right) \right) \right\}$$

考虑资金时间偏好

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{N_i} \left((1-\phi) \lambda_{i,l}^{\text{imp}} \left(E_{i,l}^{\text{load}} + P_{i,l}^{\text{EHP}} t \right) + \sum_{l=1}^{N_l} \left(s_i^+ T_{i,l}^+ + \varsigma_i^- T_{i,l}^- \right) \right) \right\}$$

约束条件：

考虑社会影响

$$\sum_{b=1}^{N_b} \phi_{l,b} \left(\frac{E_{i,l}^{\text{load}}}{t} + P_{i,l}^{\text{EHP}} \right) \leq P_b^{\text{busmax}}$$

相关文献：Nicholas Good, Using behavioural economic theory in modelling of demand response, Applied Energy, Applied Energy, 2019

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.2.4 虚拟电厂的售电业务—虚拟电厂之间的电力交易

挑战1：如何实现多VPP之间高效、灵活的电力交易，增加交易的可信度和监管的便利性

基于区块链技术的P2P交易

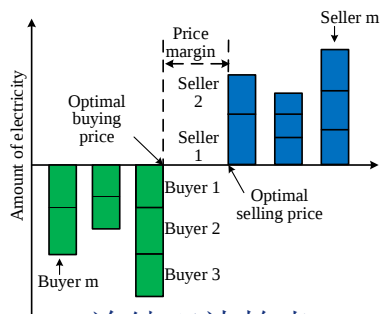
——实现交易的透明化和去中心化

- 提出结合集中出清和连续双边拍卖的基于区块链的虚拟电厂P2P交易机制
- 在区块链平台上验证了所提机制的可行性和经济性

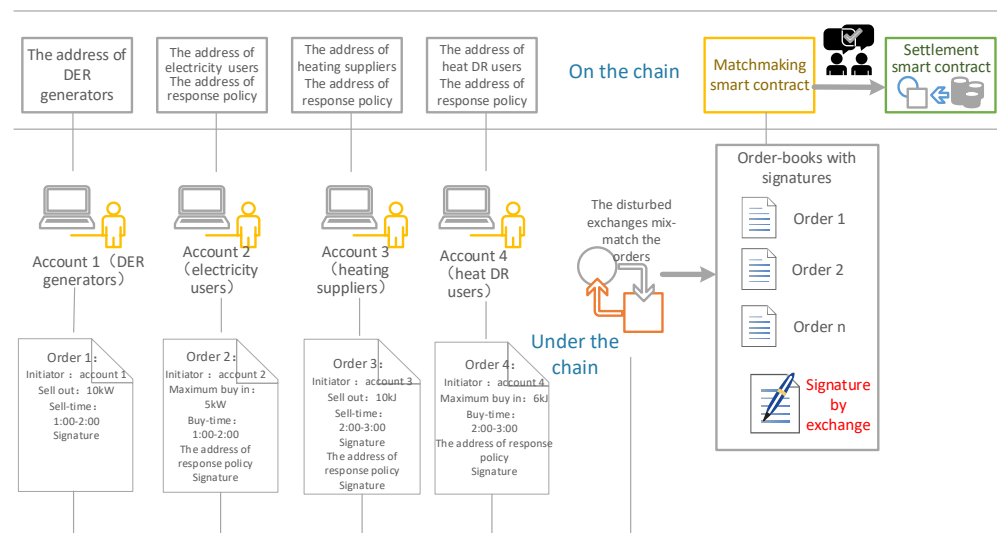
$$\sigma = \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} - \sum_{i=1}^{N_L} P_{Di}$$

$$\lambda^{k+1} = \lambda^k + \rho \cdot (\sigma / \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi})$$

集中出清



连续双边拍卖



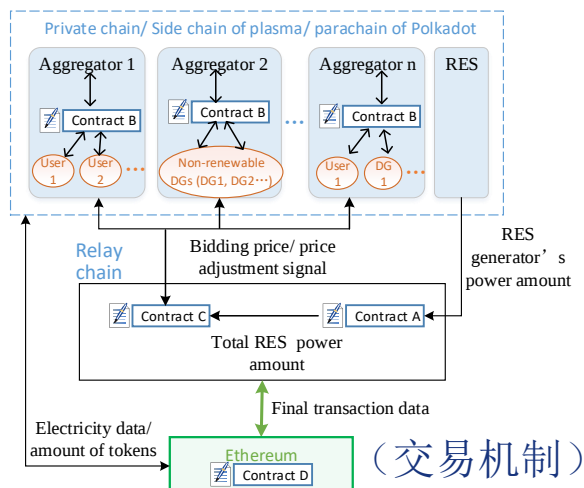
Trading cycle	Transaction sequence	The transaction parties	Energy amount	Transaction price (×0.01Finney)
Round 1	1	Seller 0→Buyer 1	20	1072
Round 1	2	Seller 1→Buyer 1	10	1143
Round 1	3	Seller1→Buyer 3	50	1125
Round 1	4	Seller 1→Buyer 0	20	1091
Round 2	5	Seller 2→Buyer 0	20	1112

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

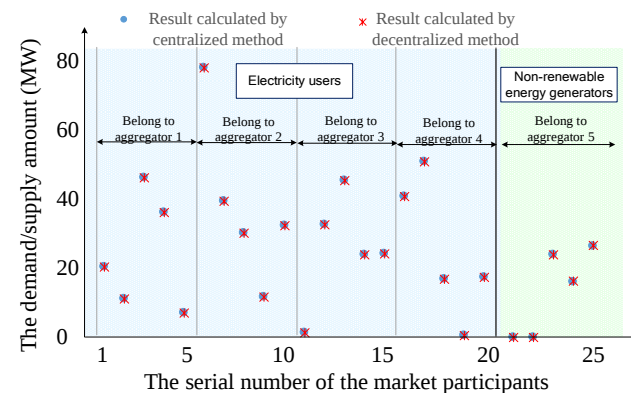
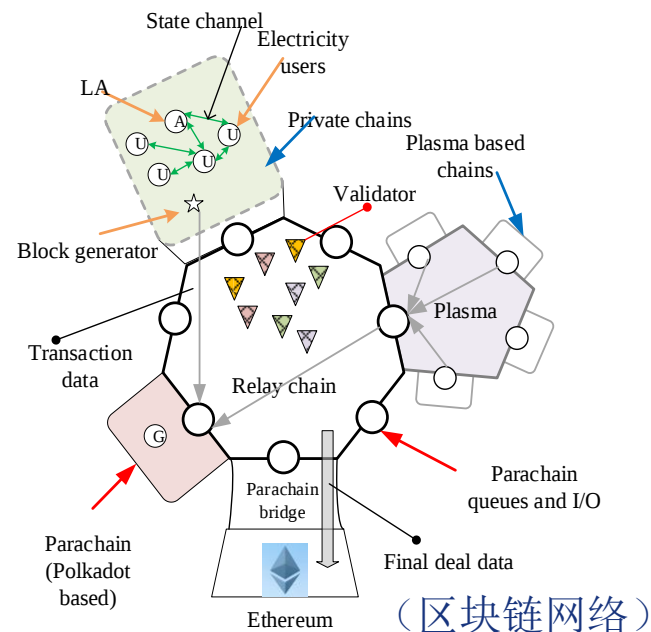
2.2.4 虚拟电厂的售电业务—虚拟电厂之间的电力交易

基于区块链技术的P2P交易

- 提出基于分布式优化的基于区块链的能源交易机制
- 实现分布式优化的完全链上实现
- 设计提高交易吞吐量的区块链网络
- 减少公有链上的数据传输，保护用户隐私



status	0x1 Transaction mined and execution succeed
transaction hash	0x442bda980ed188a4011bf65dc3494cfacc776e758e8052c6ebc22dc707774392
from	0xca35b7d915458ef540ade6068dfe2f44e8fa733c The address of Contract B
to	Con1[powerquery] 0x692a70d2e42a56d2c6c27aa97d1a86395877b3a
gas	3000000 gas A query function built to show the power bought/sold of the clients of the No.1 aggregator
transaction cost	23566 gas
execution cost	2294 gas
hash	0x442bda980ed188a4011bf65dc3494cfacc776e758e8052c6ebc22dc707774392
input	0x436...11de6
decoded input	{}
decoded output	{ "0": "int256[] 277,150,502,397,122" } The power bought of aggregator No.1's clients
logs	{}
value	0 wei





二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.3 虚拟电厂示范案例—Next Kraftwerke

Next Kraftwerke 是一家总部位于德国科隆的虚拟电厂运营商，提供虚拟电厂全套解决方案。其聚合的资源包括沼气电厂、热电联产厂、水电、光伏、电池储能、电动汽车、工业负荷等。



聚合单元数量: **16769 个**



聚合容量: **13500 MW**



交易电量: **15.1 TWh**



员工数量: **338 人**



年营业收入: **>6 亿欧元**



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.3 虚拟电厂示范案例—Next Kraftwerke

Next Kraftwerke 主要通过**电力市场交易**、**提供辅助服务**以及**可控资源的优化调度**与电网进行互动并获利。

01 电力市场准入及交易服务

为个人资产所有者以及各类投资组合经理提供市场准入。包括日前和盘中午的短期交易，以及欧洲各个电力交易所的长期和场外交易。

02 提供辅助服务

活跃于欧洲七个TSO地区，提供辅助服务。如发生频率不平衡，VPP 将收到来自 TSO 的订单，要求提供一定的功率以平衡频率偏差。

03 VPP的优化调度

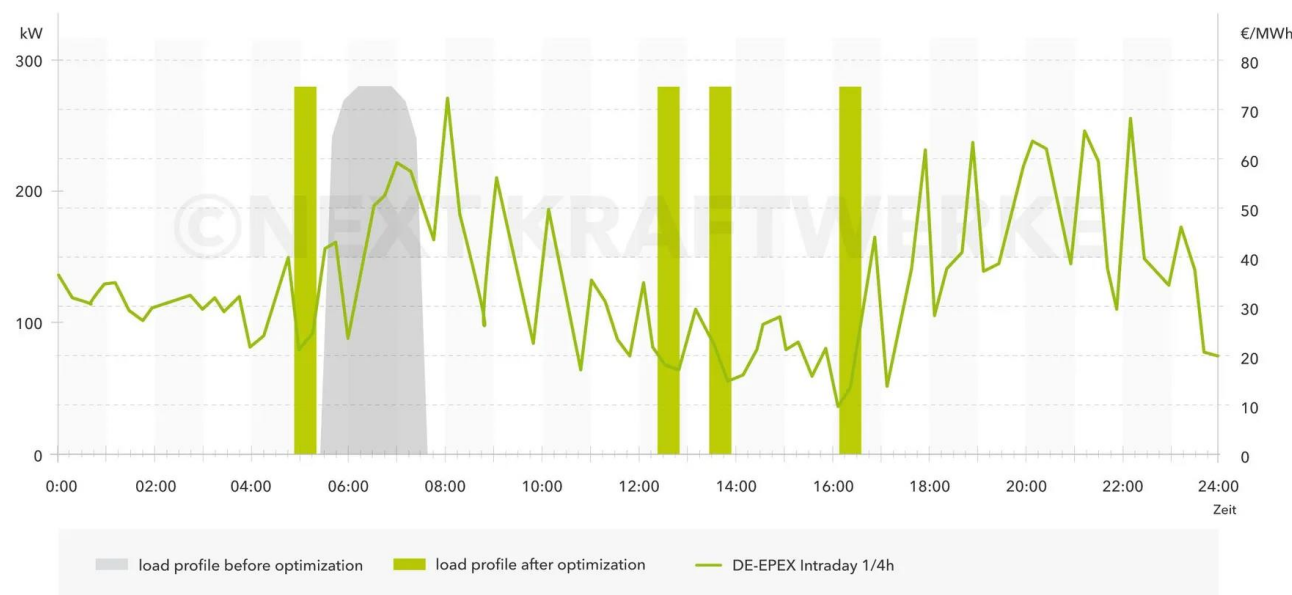
通过 VPP 优化分布式资源的生产可以带来显著的收入增长。根据资产类型和市场的不同，可以进行各种不同的优化选项。



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.3 虚拟电厂示范案例—Next Kraftwerke

Load management with variable power rate



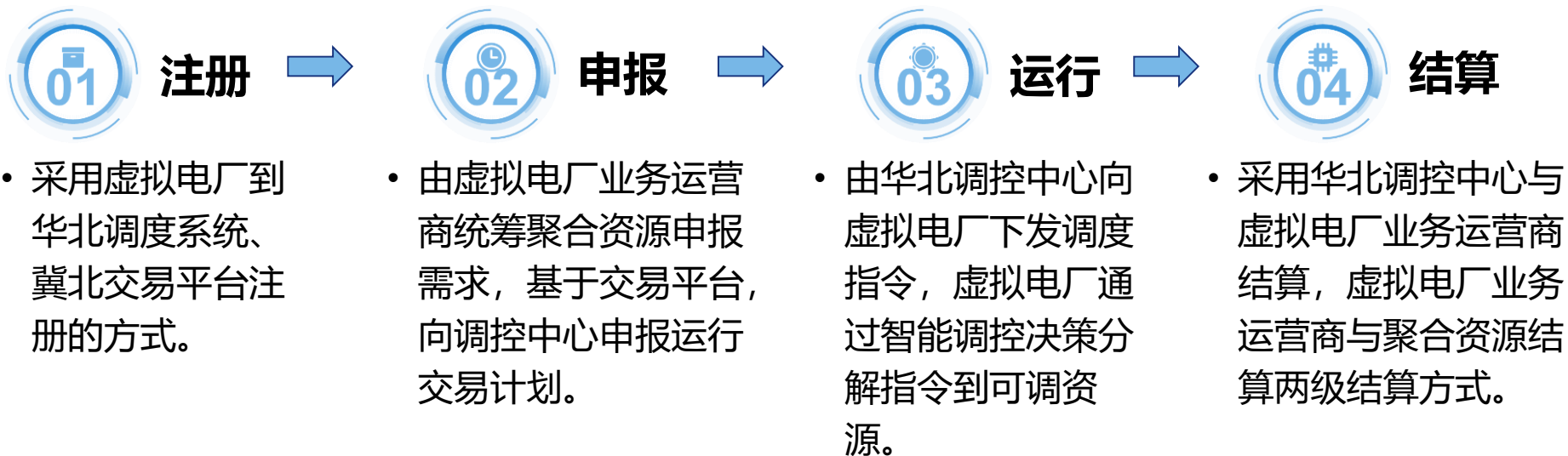
Next Kraftwerke将电价信息发送至用户，调整用户生产至低电价时段，降低用户用电成本。在优化负荷之前，负荷集中的时间段在06:00-08:00之间，此时市场电价处于较高水平，而通过虚拟电厂灵活调节聚合资源后，优化后的负荷（绿色柱体）可以集中在电价较低的时段，从而使用户的用能成本降低。

二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

2.3 虚拟电厂示范案例—冀北虚拟电厂

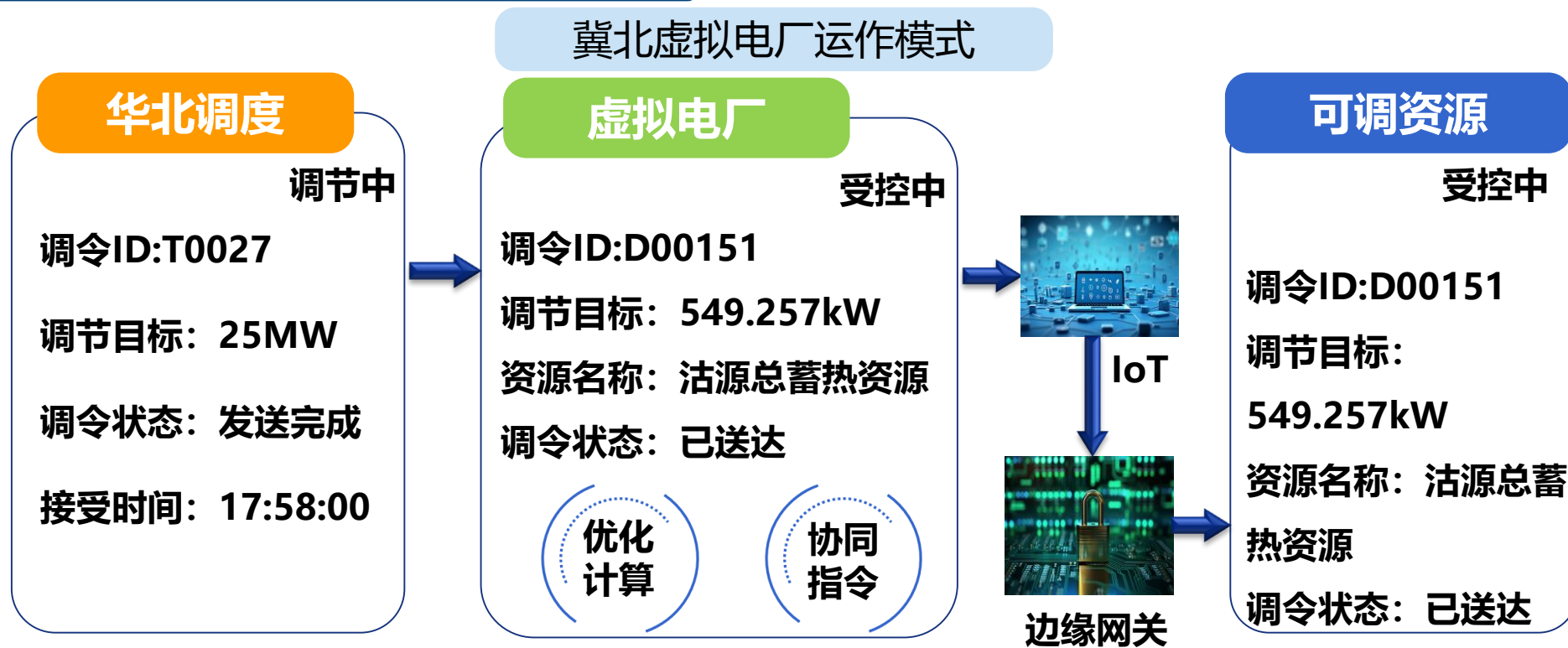
冀北虚拟电厂是国内首个**市场化运行虚拟电厂项目**。平台实时接入并控制蓄热电采暖、工商业负荷、智能楼宇、储能、电动汽车充电站、分布式光伏等资源，构建了‘1智能管控平台+N运营商+X用户’体系架构。平台聚合了35家用户，156个可调节资源，总容量**35.8万千瓦**，调节能力**20.4万千瓦**。

冀北虚拟电厂参与华北调峰辅助服务市场机制



二、虚拟电厂的商业模式与售电业务

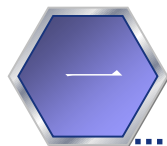
2.3 虚拟电厂示范案例—冀北虚拟电厂



累计增发新能源电量3747万千瓦时，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%）



主要内容



引言



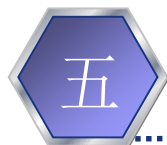
虚拟电厂的商业模式与售电业务



共享储能技术与商业模式



新兴业态的发展前景与政策支撑



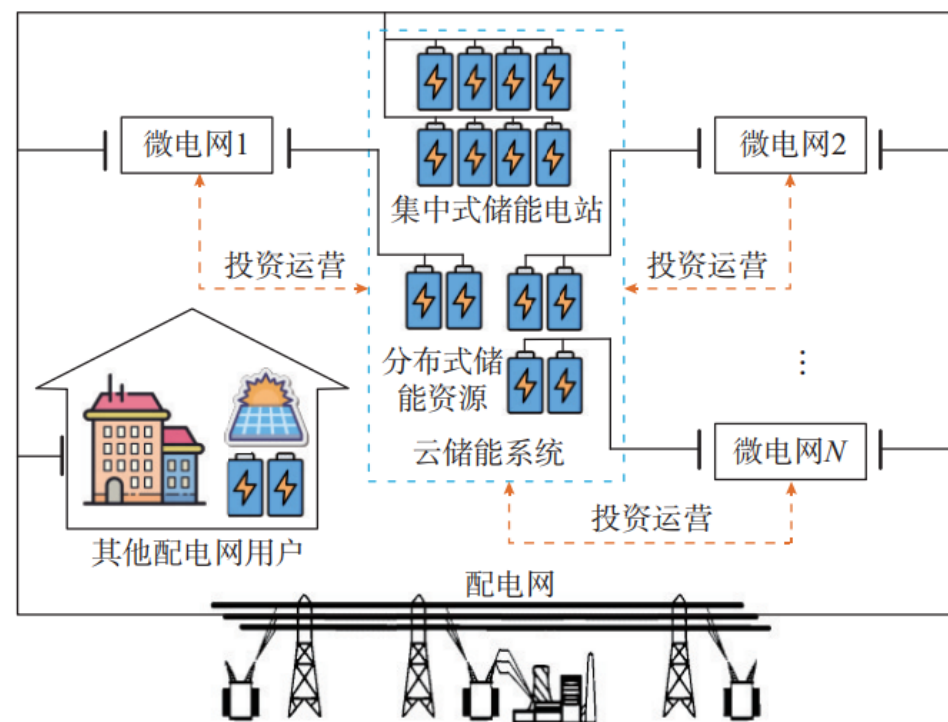
总结

三、共享储能技术与商业模式

3.1 共享储能概述

- **基本概念：**储能的拥有权与使用权解耦。储能使用者在不获取储能所有权的条件下，仅通过支付服务费用的方式享有储能使用权，避免投资储能的高昂成本而享受使用储能带来的便利。而储能拥有者在不损失储能所有权的条件下，通过收取服务费用的方式转让储能使用权，可以在避免储能资源的浪费同时获取额外收益。

在右图中，云储能系统由多个微电网**共同投资和管理维护**，并同时为多个微电网提供服务。



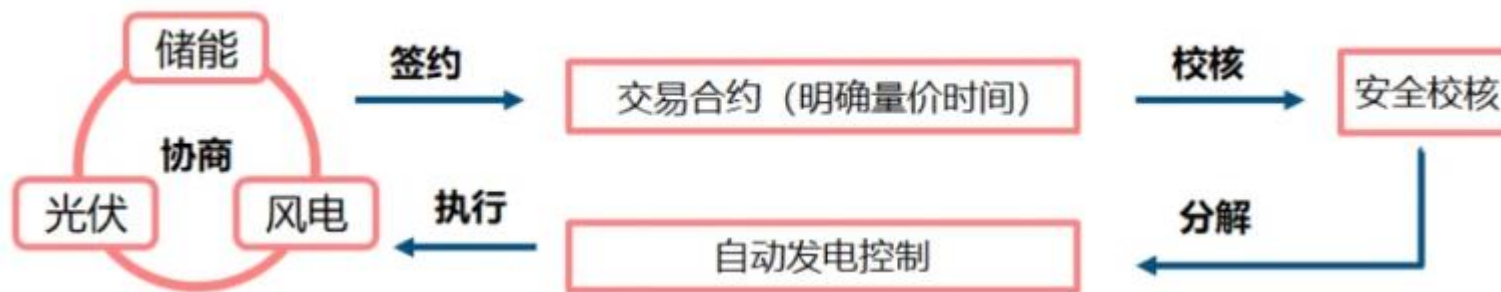
共享储能示意图

三、共享储能技术与商业模式

3.1 共享储能概述

共享储能的由来

- 随着新能源并网规模的持续增长，目前已有山东、湖南、等超过20个省份实施了新能源场站强制配储政策，通常**要求配储**比例达到场站容量的10%至20%。
- 然而，储能系统**较高的投资建设与运营成本**与其**较低的利用率**给投资者带来巨大的困扰。



青海共享储能模式

2019年4月，鲁能海西州多能互补集成优化国家示范工程储能电站进行了共享储能交易试运营，市场化模式打破了单个电站独享模式，为“共享储能”提供了解决方案。

三、共享储能技术与商业模式

3.1 共享储能概述

共享储能的应用场景



共享储能能在电力系统的“源-网-荷”多个方面具有应用场景。



三、共享储能技术与商业模式

3.1 共享储能概述

共享储能与传统储能的区别

	传统储能	共享储能
电站类型	自建电站	共享电站
服务对象	单一新能源场站	所有需要储能的场站、资源
管理模式	提升自身发电质量	辅助服务

相比于传统储能电站，共享储能的核心属性在于“共享”、“共赢”。储能电站不仅仅为单一的发电或用电方提供服务，而是向多个用户开放储能设施。储能的**应用场景更加多元化**。储能设施的使用权和收益权被划分为多个份额，不同用户可以根据需求和能力购买相应份额，通过**精细的调度管理**和**灵活的交易机制**，实现各方的共赢。

三、共享储能技术与商业模式

3.1 共享储能概述

共享储能与VPP的关系

VPP中具有大量温控负荷和电动汽车等**具有能量储备功能**的分布式资源，基于闵可夫斯基和、可行域投影等方法可以获得VPP的**等效储能模型**。

温控暖通空调

$$0 \leq p_{i,t}^{\text{hv},\psi} \leq \bar{p}_{i,t}^{\text{hv},\psi}, q_{i,t}^{\text{hv},\psi} = \eta_i^{\text{hv}} \cdot p_{i,t}^{\text{hv},\psi}$$

$$\underline{E}_i \leq F_{i,t}^{\text{in}} \leq \bar{F}_i$$

$$F_{i,t}^{\text{in}} = F_{i,t-1}^{\text{in}} + \alpha_i \cdot (F_{i,t}^{\text{out}} - F_{i,t-1}^{\text{in}}) + \Delta t \cdot \beta_i \cdot p_{i,t}^{\text{hv}}$$

传统储能、电动汽车

$$\underline{p}_{i,t}^{\text{es},\psi} \leq p_{i,t}^{\text{es},\psi} \leq \bar{p}_{i,t}^{\text{es},\psi}$$

$$(p_{i,t}^{\text{es},\psi})^2 + (q_{i,t}^{\text{es},\psi})^2 \leq (\bar{s}_{i,t}^{\text{es},\psi})^2$$

$$E_{i,t}^{\text{es}} = \kappa_i \cdot E_{i,t-1}^{\text{es}} - \Delta t \cdot p_{i,t}^{\text{es}}$$

$$\underline{E}_i^{\text{es}} \leq E_{i,t}^{\text{es}} \leq \bar{E}_i^{\text{es}}, E_{i,T}^{\text{es}} = E_{i,0}^{\text{es}}$$

聚合
计算

VPP等效储能模型

$$\Omega_{\mathbf{x}_{B,W}} = \left\{ P_t, Q_t \left| \begin{array}{l} \mathbf{E}\mathbf{x} \leq \mathbf{f} \\ \|\mathbf{K}_l \mathbf{x}\| \leq s_l \\ P_t = \mathbf{d}^\top \mathbf{x}_t + g_t \\ Q_t = \mathbf{f}^\top \mathbf{x}_t + h_t \end{array} \right. \right\} \cup \Omega_{\mathbf{x}_{B,W}} = \left\{ P_t, Q_t \left| \begin{array}{l} \underline{r}_t^{\text{vpp}} \leq P_t - P_{t-1} \leq \bar{r}_t^{\text{vpp}} \\ \omega = \Delta P / r^{\text{vpp}} \leq W \\ E_t^{\text{vpp}} = E_{t-1}^{\text{vpp}} - \Delta t \cdot P_t \\ \underline{E}_t^{\text{vpp}} \leq E_t^{\text{vpp}} \leq \bar{E}_t^{\text{vpp}} \\ \tau = E_t / (\Delta t \cdot P_t) \geq T \end{array} \right. \right\}$$



三、共享储能技术与商业模式

3.1 共享储能概述

共享储能与VPP的关系

VPP与共享储能的理念类似，同样是通过资源的共享提高能源的利用效率、增强系统的安全性，进而获得更高的经济收益。

VPP与共享储能在商业模式和运营方式是存在类似方面，彼此之间能够相互借鉴。

VPP既需要储能系统为自身的服务提供保障，同时，其自身也可以等效为一个虚拟储能单元。

VPP与共享储能能够进一步深度融合，通过二者的协同工作实现电力系统的优化管理，为电力系统和市场参与者带来显著的经济和运营优势。

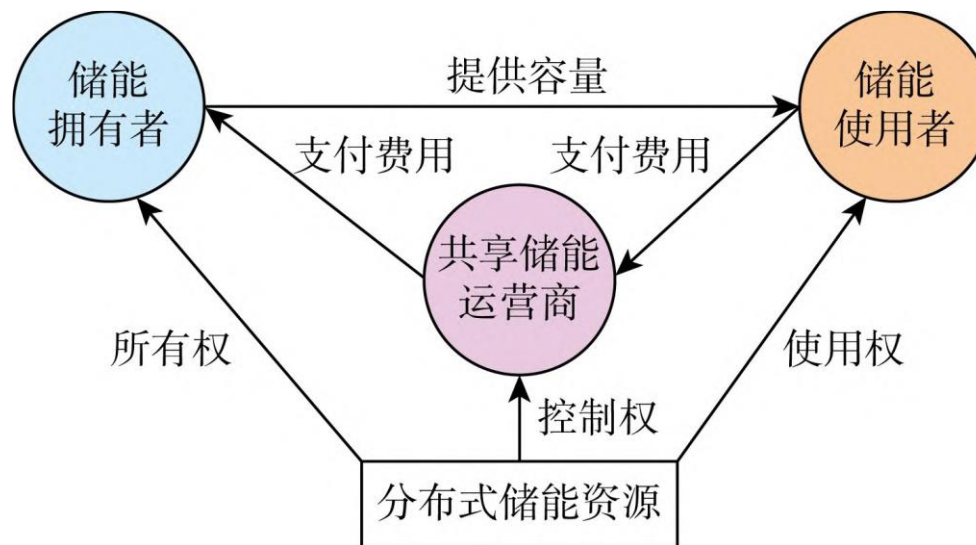
三、共享储能技术与商业模式

3.2 共享储能的架构

共享储能主要包括两种基本架构（按所属关系分）：集中式储能资源共享架构和分布式储能资源共享架构，其区别在于**储能资源是否归共享储能运营商所有**。

分布式储能资源共享架构

- 储能资源由多方所有，所有权分散，并且所有权与控制权分离。共享储能运营商通过聚合调控手段满足使用者的储能需求。
- 用户-共享储能运营商-储能所有者之间存在多对“一对多”的关系
- 常见的分布式储能资源包括：热储能、移动储能(电动汽车)、5G 基站等



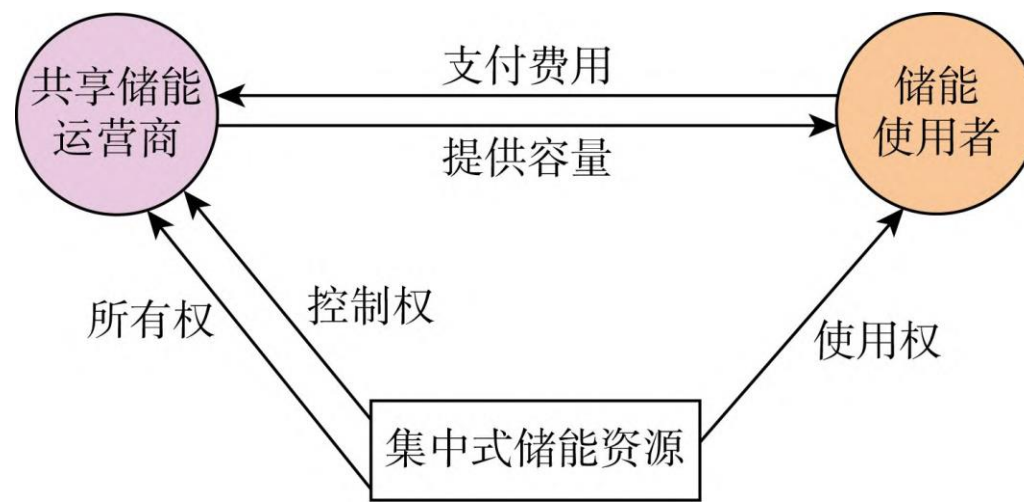
分布式储能资源共享架构

三、共享储能技术与商业模式

3.2 共享储能的架构

集中式储能资源共享架构

- 控制权和所有权均由运营商所有，因此运营商的调控更加简单高效。
- 用户-共享储能运营商-储能所有者之间存在多对“一对一”的关系。
- 主要面向单体小容量消费者用户，其自行建造储能系统经济性较差，如住宅小区公用设施用电



集中式储能资源共享架构

三、共享储能技术与商业模式

3.3 共享储能商业模式

纵观全国已推行的共享储能运营商业模式，主要分四大类：



- 1. 为新能源电站提供储能容量**租赁服务**，获取租赁收益，这也是目前大部分独立共享储能电站最主要的收益来源。

内蒙古《关于加快推动新型储能发展的实施意见》：在新能源资源较丰富、系统消纳能力较差或电网调峰需求较为集中的地区，因地制宜布局建设独立共享式新型储能电站。



- 2. 通过与新能源电站进行**双边竞价或协商交易**，通过发挥储能电站“蓄水池”作用进行“低充高放”，降低新能源电站弃电率，实现双方利益共享和分摊。这主要在青海等新能源消纳形势严峻的省份应用为主。

三、共享储能技术与商业模式

3.3 共享储能商业模式



➤ 3. 参与电力现货电能量市场，实现峰谷价差盈利。

在电价高峰时段将电能储存起来，在电价低谷时段将电能释放出来，以获取价格差异而获利的一种商业模式。相当于将用户侧的峰谷套利放在电网侧进行。



➤ 4. 参与电力辅助服务，储能电站获取调峰、调频辅助服务费等，以及通过容量补偿获益。

山东《关于开展储能示范应用的实施意见》中规定：示范项目在火电机组调峰运行至50%以下时优先调用，补偿标准200元/MWh；

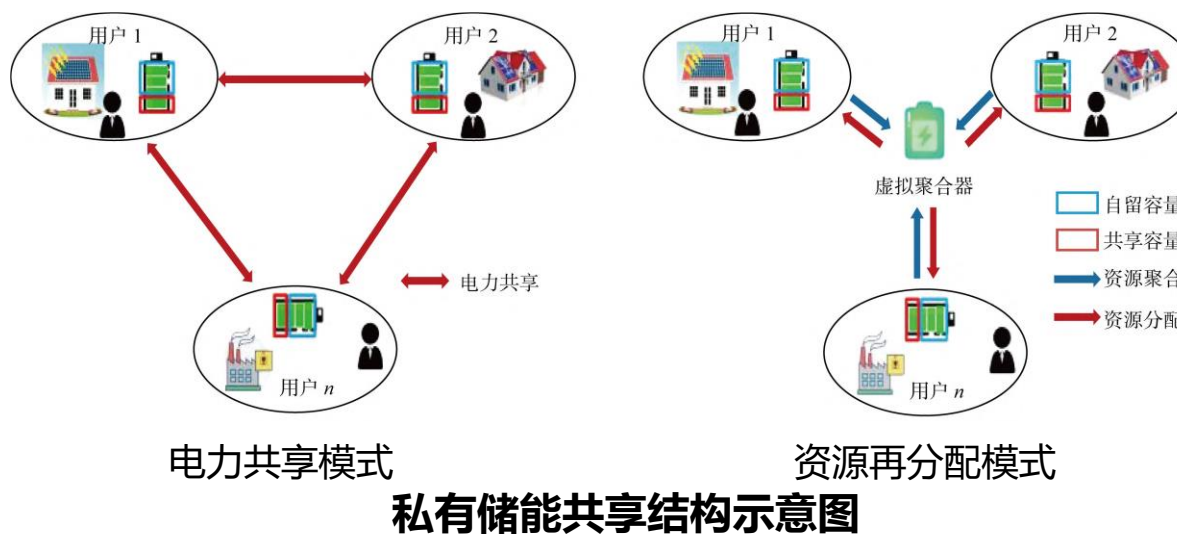
三、共享储能技术与商业模式

3.4 共享储能运行结构

- ◆ 按照储能资源的归属的不同，共享储能的运行结构可以分为**私有储能共享结构**和**公共储能共享结构**。不同结构下又存在多种共享模式。

私有储能共享结构

- 在**电力共享模式**下，不仅仅储能中的电力可以交换，用户的电力生产、消耗同样可以共享交换。
- 在**资源再分配模式**下，仅共享储能资源，通过对用户储能设备所有权进行再分配实现储能资源的容量共享。



- **面临的问题：**需要制定有效的运行策略来协调用户之间的能量交换

三、共享储能技术与商业模式

3.4 共享储能运行结构

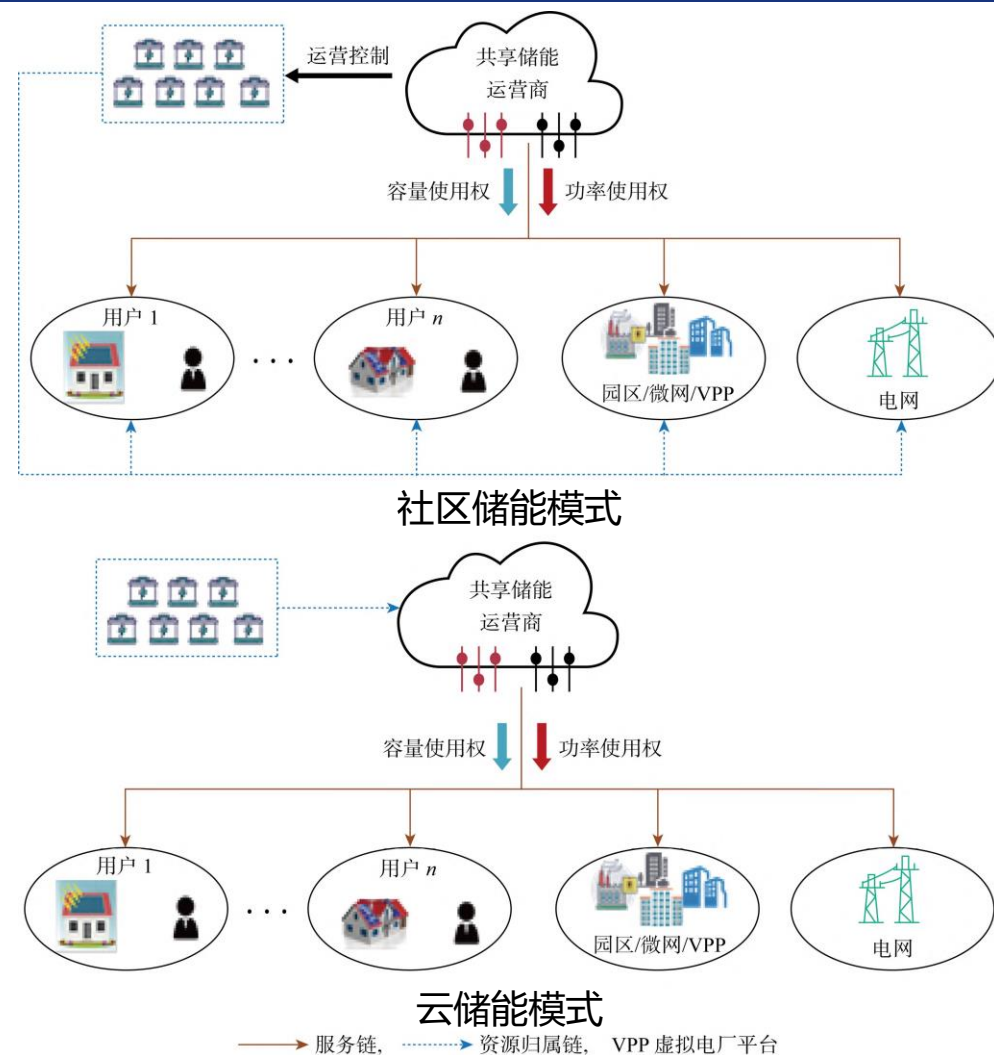
公共储能共享结构

公共储能共享结构是指由社区或共享储能运营商所投资运营的大容量储能装置，而用户并不拥有任何的储能设备。

- 在**社区储能模式**下，同一供电区域下的用户集资投建储能设备，并交由共享储能运营商统一管理。
- 在**云储能模式**下，利用集中式的储能设施或聚合分布式的储能资源为用户提供储能服务。将用户原本独立的储能充放电决策转移至云储能平台。

- **面临的问题：**用户之间的**交互形式**，储能使用权的**定价机制**

公共储能共享结构示意图



三、共享储能技术与商业模式

3.4 共享储能运行结构

私有储能共享结构与公共储能共享结构的对比

结构	模式	实体拥有者	交易品种	第三方运营商	优缺点	应用场景
私有储能共享结构	电力共享模式	独立用户	能量	无	利用储能空闲能量进行交易,实现隐私保护;但仅限能量交易,储能设备利用率提高有限,且要求每个用户都配备储能设施	适用于用户数量较少且用户均配置了储能的能源交易场景
	资源再分配模式(特斯拉)	独立用户	容量使用权(包括初始能量)	虚拟聚合器	用户可自行调整可供共享的功率及容量,从而提高储能设备利用率;但仍要求每个用户都配备储能设施,且效益分配具有一定难度	适用于用户数量较多且用户均配置了储能的容量共享场景
公共储能共享结构	社区储能模式	所有用户集资投建并共享	功率使用权+容量使用权	均可	用户无需自行配备储能设施,但需出资投建公共储能设备,成本、效益分配具有一定难度	适用于邻近范围内的社区、楼宇
	云储能模式	共享储能运营商集资投建	功率使用权+容量使用权	有	用户无需自行配备或投资建设储能设施,可按需购买储能服务;共享储能运营商可利用规模经济、需求互补性等盈利,但在储能规模的配置上难度较大	不仅适用于邻近范围内的社区、楼宇,也适用于广域范围上的用户、微网、配网系统运营商

➤ 私有储能共享结构适合对内能量管理对外市场交易的应用场景，而公共储能共享结构下用户不拥有储能，用户间交互更为复杂，更适合内部能源优化。



三、共享储能技术与商业模式

3.5 共享储能的定价机制

共享储能定价机制主要通过固定电价、分时电价、基于边际价格、基于博弈论和基于经验规则等方式确定。

基于边际价格的定价机制

将包含用户和共享储能系统的社区可看作一个小型的电力市场，通过市场出清优化的方式制定价格。

基于博弈论的定价机制

由于存在用户与共享储能运营商等多个利益主体，采用博弈论分析多方利益主体在使用共享储能时的策略行为，提出合适的成本利益分配或定价协调机制。

合作博弈：基于Shapley 值的利润分配、基于核仁的利润分配

非合作博弈：拍卖理论、主从博弈

基于经验规则的定价机制

采用如中间市场价格、账单分摊方式以及供需比率动态定价机制等已成熟运行的定价机制。



三、共享储能技术与商业模式

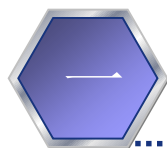
3.6 共享储能示范项目

项目名称	时间	规模	类型	特色
山东某共享储能项目	2022	100MW/200MWh	磷酸铁锂电池	通过参与电力现货交易、储能容量租赁收益、现货市场容量补偿电价获利
青海海西共享储能项目	2019	32MW/64MWh	可再生能源+磷酸铁锂电池	通过双边交易、市场竞价交易、电网调度获利
西班牙共享储能项目	2018	1MW/0.39MWh	风电+储能电池	使可再生资源在发电高峰期能被完全消纳
德国Economic Grid	2009	超过6000个储能系统	负荷侧分布式光伏+储能	用户侧光伏发电存储，帮助2000个用户获取“免费电力”
澳大利共享储能项目	2016	1.1MWh	社区共享储能	澳大利亚第一个大规模社区电池储能

国内的共享储能项目主要面向新能源并网后的弃风弃光、调峰资源紧缺等问题，更加重视发电侧。国外共享储能项目更侧重社区用户的光储一体化建设。



主要内容



引言



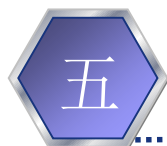
虚拟电厂的商业模式与售电业务



共享储能技术与商业模式



新兴业态的发展前景与政策支撑



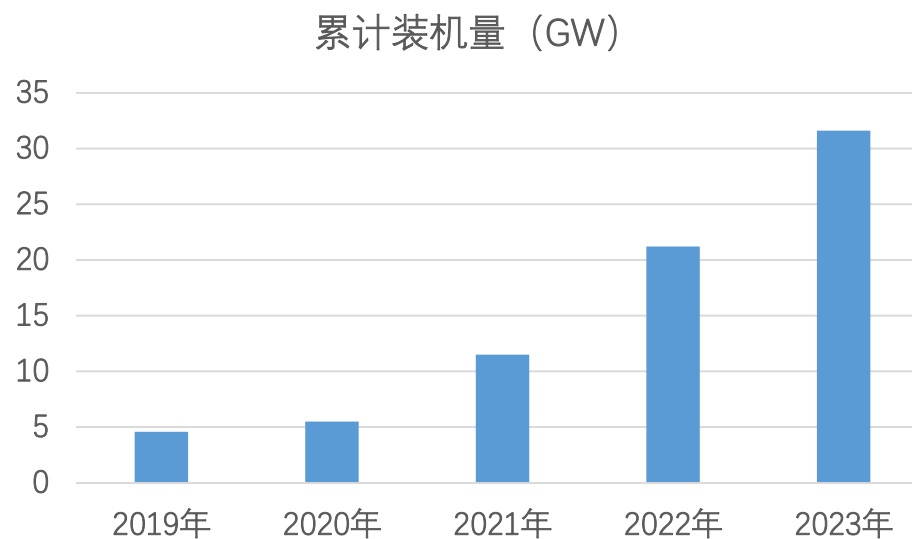
总结

四、新兴业态的发展前景与政策支撑

4.1 市场趋势分析

2022年全球虚拟电厂项目累计装机21.2GW，新增装机9.9GW；预计2023年全球虚拟电厂项目累计装机将达约31GW；2025年，预计全球虚拟电厂装机累计规模达58~60GW。

5年增长率预计高达 **200%**



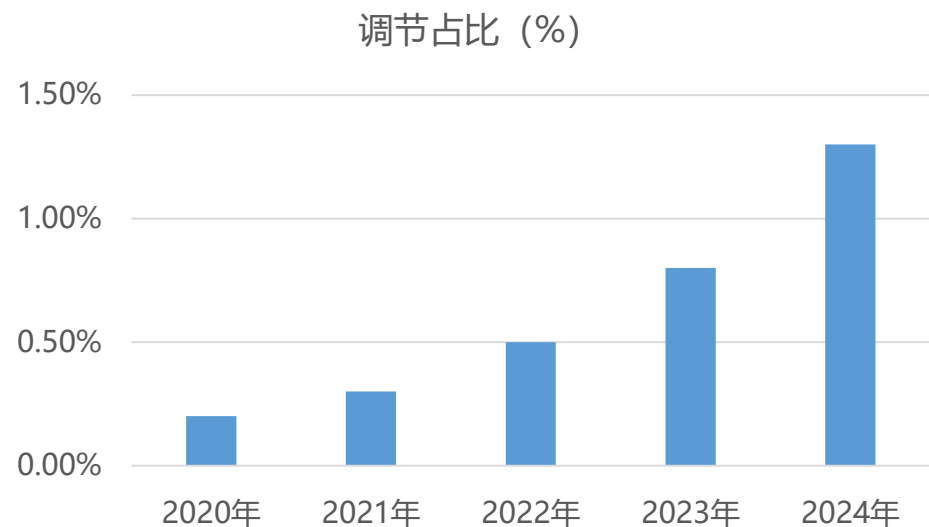
2019-2023年全球虚拟电厂累计装机量

四、新兴业态的发展前景与政策支撑

4.1 市场趋势分析

2022年中国虚拟电厂项目累计装机容量约为3.7GW，占全球虚拟电厂装机总量的17.5%；预计2025年中国虚拟电厂累计装机总容量39GW，投资规模300亿元。

预计2025年虚拟电厂调节电量占全社会用电量达2%，2030年将达5%；预计到2025/2030年，虚拟电厂整体的市场空间有望达到723/1961亿元。



2020-2024年中国虚拟电厂调节电量占比情况



四、新兴业态的发展前景与政策支撑

4.1 市场趋势分析

中国各省市虚拟电厂行业发展方向

VPP发展方向	代表性省份
参与系统调节、提供辅助服务	吉林、辽宁、河北、贵州、山西
参与市场交易	安徽、冀北、海南、山东、
加强负荷响应能力	江苏、上海、天津、浙江、四川、广州
其它多种商业模式	重庆、湖北、内蒙古

当前，国内虚拟电厂的发展方向主要分为两种：面向用户侧的负荷调节和面向系统侧的辅助服务。不同地区的发展方向主要取决于当地的能源结构和系统基础。例如，江苏省需求响应基础工作完备、用户侧具有充足的调节潜力，其VPP主要朝负荷型VPP发展，而火电新能源占比较多的地区如山西、山东，其VPP建设主要面向系统侧调节。

此外，根据市场建设程度不同，各省市正逐步开展VPP市场化建设。

四、新兴业态的发展前景与政策支撑

4.2 虚拟电厂新兴业态

随着VPP建设和运行逐渐走向成熟，VPP的核心技术已不再局限于优化运行、协同控制与计量通信技术。VPP迫切面临新一轮的技术升级，并由此衍生去新兴业态。

① 数据的分析、处理与存储



由于VPP涉及大量的分布式能源资源，其数据量巨大且复杂。大数据技术用于高效处理、存储和管理这些海量数据。此外，VPP的市场化运行需要分析市场趋势、价格波动和竞争态势。数据分析技术可以提供市场情报支持，优化交易策略。

◆ 相关案例

AutoGrid是一家专注于电力大数据服务的创新公司，拥有强大的数据处理能力和算法模型，被广泛认为是这一领域的先行者。

Opower是一家家庭能源数据分析公司。通过获取家庭消费者的能源使用数据，结合大数据方法和行为科学理论，进行消费者用电行为分析。

四、新兴业态的发展前景与政策支撑

4.2 虚拟电厂新兴业态



AutoGrid数据分析过程

盈利模式

◆ **SaaS模式**：即软件即服务方式，用户按照AutoGrid为其处理的数据量付费。

◆ **共享收益模式**：AutoGrid给客户发送报告，客户进行需求响应，与客户分享收益；

◆ **合作模式**：给设备商提供软件，向设备商收取License费。

- 管理全球超8300MW的灵活资源
- 获得1.5亿美元的投资

四、新兴业态的发展前景与政策支撑

4.2 虚拟电厂新兴业态

② 超级算力服务

VPP的实时调度和市场参与需要算力作为支撑。边缘计算、云计算与分布式计算、高性能计算、人工智能等技术帮助VPP高效处理海量数据，使VPP能够更智能、更高效地运营，提升其在电力市场中的竞争力和灵活性。



◆ 相关案例

阿里云虚拟配网调度员：通过智能配网智慧生产指挥AI应用建设，强化配电运行过程管控，提升人机协同效率。

知识图谱技术

智能配网指挥

合理经济规划

算力与电力的协同

➤ 部署在杭州供电局的阿里云服务累计争取执行超10万步操作，高效支撑45%以上电网常规工作负荷

四、新兴业态的发展前景与政策支撑

4.2 虚拟电厂新兴业态

③ 多样化的市场交易品种



未来VPP的商业模式将更加多元化，不再局限于传统的售电和辅助服务。新的模式可能包括参与碳交易市场，与金融保险行业的结合，以及为用户提供定制化的能源管理、市场决策服务。

◆ 相关案例

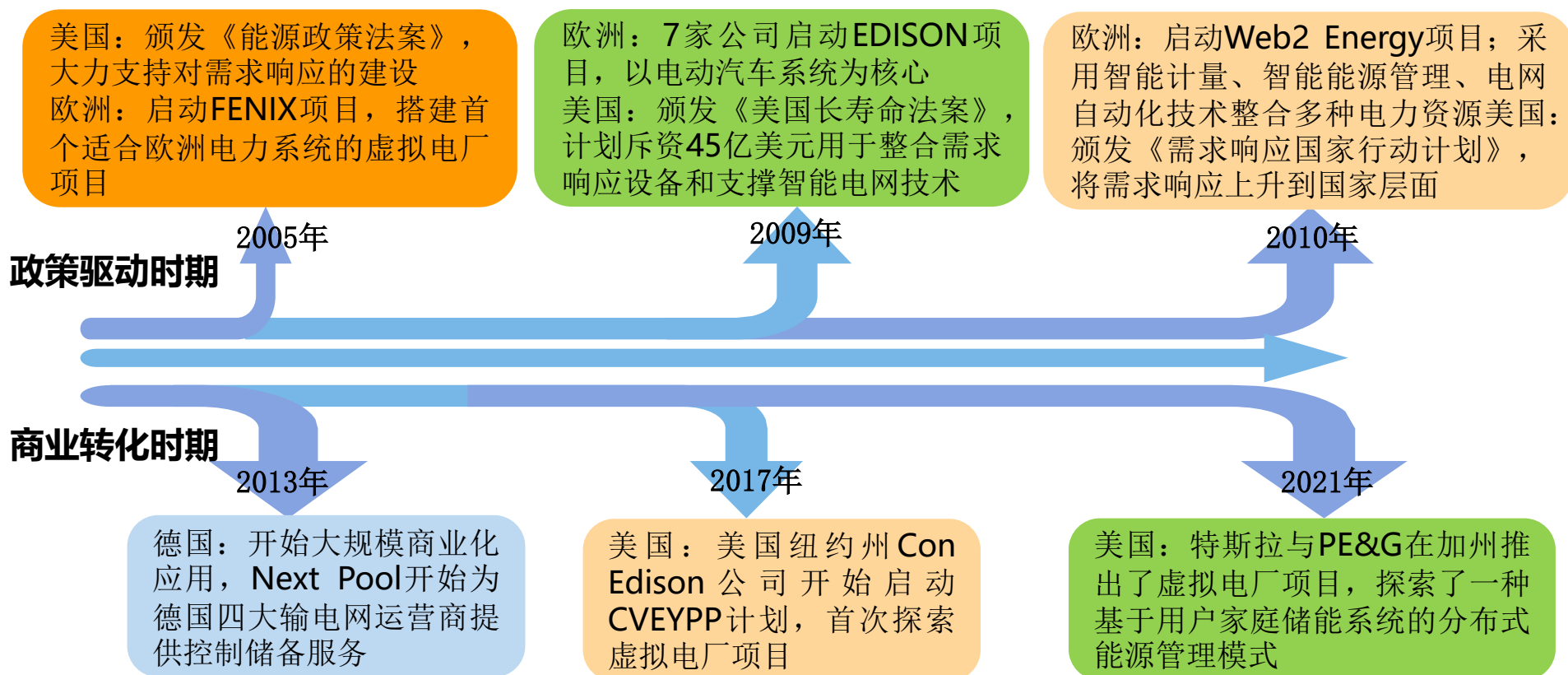
德国：建立起以平衡结算单元为主体的电力市场，引导虚拟电厂接入多元化的市场交易，提供包括频率稳定控制、电压稳定控制、平衡供需偏差及断电情况下恢复供电等系统服务。

虚拟电厂聚合的可再生能源产生的碳信用额在欧盟 ETS 中出售，能够直接参与碳市场。这使 Next Kraftwerke 能够将其运营的环境效益货币化，并支持企业履行其碳减排义务。

四、新兴业态的发展前景与政策支撑

4.3 虚拟电厂政策与监管影响

欧美地区虚拟电厂相关政策与市场化发展历程





四、新兴业态的发展前景与政策支撑

4.3 虚拟电厂政策与监管影响

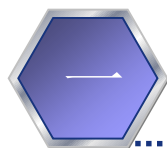
我国虚拟电厂政策发展历程

时间	政策	主要内容
2015	《关于促进智能电网发展的指导意见》	提出“依托虚拟电厂等重点领域的商业模式创新”。
2016	《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》	强调“逐步培育虚拟电厂、负荷集成商等新型市场主体”，初步发展虚拟电厂商业模式、培育虚拟电厂新型市场主体。
2021	《电力辅助服务管理办法》	表明“电力用户可与虚拟电厂签订委托代理协议，参与电力辅助服务”，明确了虚拟电厂在电力辅助服务方向的作用。
2022	《“十四五”现代能源体系规划》	强调加强电力需求侧响应能力建设，力争到2025年，电力需求侧响应能力达到最大负荷的3%-5%
2024	《加快构建新型电力系统行动方案》	提出建立健全虚拟电厂技术标准体系，完善虚拟电厂的市场准入、安全运行标准和交易规则，常态化参与系统调节，提升电力保供和新能源就地消纳能力。

全球虚拟电厂经历三个发展阶段：邀约型、市场型和跨空间自主调度型阶段。并且，根据国外历史建设经验，VPP从政策出台到商业化运行的发展周期一般需要10-15年的时间。这也取决于当地市场化开发程度。



主要内容



引言



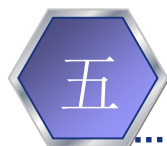
虚拟电厂的商业模式与售电业务



共享储能技术与商业模式



新兴业态的发展前景与政策支撑



总结

五、总结

虚拟电厂对于提升电力系统的**服务质量和运行效率**具有至关重要的作用。随着技术的持续进步和电力市场的逐步开放，虚拟电厂的商业模式面临着持续的创新需求。这种创新将使虚拟电厂能够更加灵活和高效地**整合分布式能源资源，实现多元互动**，并在**高度市场化**的环境中运作。

通过这些机制，虚拟电厂不仅显著提高了能源利用效率，还大幅降低了能源运行成本，从而为整个电力系统带来更高的**经济性和环境可持续性**。





五、总结

虚拟电厂的进一步发展不仅对新兴产业技术提出了苛刻的要求，而且突显了对**先进数据分析、人工智能**以及**市场机制创新**的迫切需求。研究如何有效融合这些技术以**提升虚拟电厂的运行效率和市场响应能力**，将构成下一阶段研究的核心。此项研究的成果预期将为虚拟电厂注入新的活力，推动其在全球电力市场中的竞争力和领导地位。





谢谢!

Thank you for your attention!