



储能与虚拟电厂

李 扬 教授

东南大学需求侧管理研究所

Email: li_yang@seu.edu.cn



主要内容

- 一 双碳目标对电力系统的要求与挑战
- 二 虚拟电厂中储能设备
- 三 储能典型商业模式
- 四 虚拟电厂参与电力交易
- 五 总结

主要内容



双碳目标对电力系统的要求与挑战



虚拟电厂中储能设备



储能典型商业模式



虚拟电厂参与电力交易



总结

一、双碳目标对电力系统的要求与挑战

1.1 世界主要国家的双碳目标



2017年碳排放排名前三的国家为：
中国、美国、印度

中国：以习近平同志为核心的党中央提出“2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和”这个重大战略目标。到2030年**单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上**，非化石能源占**一次能源消费比重将达到25%左右**，风电、太阳能发电总**装机容量将达到12亿千瓦以上**。

英国：与1990年水平相比，到2030年底将至少减少68%的温室气体排放，计划在2035年实现零碳或近零碳电力系统，并于2050年实现净零温室气体排放。

美国：到2030年温室气体排放量将比2005年减少50%-52%，在2035年前实现电力系统零碳并将在2050年前实现净零排放。

一、双碳目标对电力系统的要求与挑战

1.2 双碳目标的提出具有重大意义



人类共同使命与大国担当

面向气候、环境、粮食、能源等诸多发展困境，贡献中国智慧与中国力量

科技进步与绿色复兴

为科技进步提供了“弯道超车”、抢占世界制高点的重大战略机遇

为“一带一路”注入绿色

拓展“一带一路”在绿色发展方面合作，为解决共同面临的环境、气候问题提供基础

推动能源革命，保证能源安全

推动能源革命，加速能源结构清洁低碳、安全高效转型，增强我国能源自主保障能力

加速产业转型升级

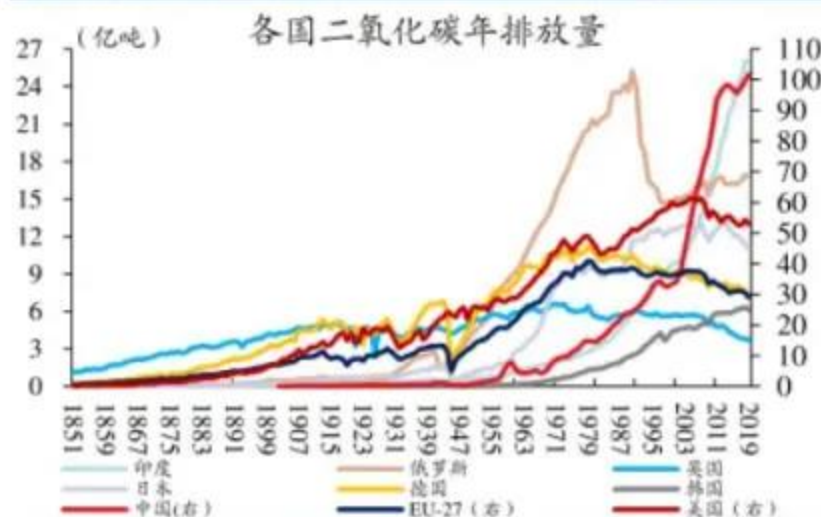
推动我国经济结构转型升级，促进经济社会全面进步、高质量发展

一、双碳目标对电力系统的要求与挑战

1.3 双碳目标为社会发展带来的挑战

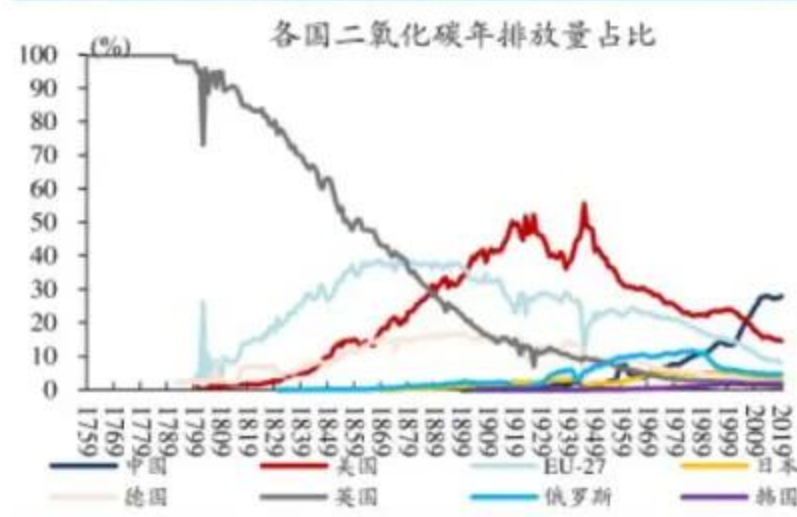
中国碳排放总量大，占比高。近些年碳排放缓慢增长，总体碳排放量一直居世界首位，而且还未达峰，碳排放占全球排放的27.9%左右，超过美国与欧盟之和，人均碳排放超过全球平均水平，减排之路任重道远。中国从碳达峰到碳中和的过渡期只有**30年**时间，而发达国家计划用**60年至70年**的时间。

图表 1 2019 年，全球排放二氧化碳 364 亿吨



资料来源: Our World in Data, 华创证券

图表 2 中国二氧化碳排放量占全球之比为 27.9%



资料来源: Our World in Data, 华创证券

双碳目标对社会发展的挑战主要集中在**能源结构、产业结构、发展制约**三个方面。

一、双碳目标对电力系统的要求与挑战

1.3 双碳目标为社会发展带来的挑战

能源结构

煤炭消费量占能源消费总量的56.8%，清洁能源占比仅为24.3%，需要加快提升。

能源结构调整面临高碳能源积累总量大
转型困难等挑战。



产业结构

工业化和城镇化快速发展，第二产业增加值占比约38%，高耗能产业占比仍较高。

产业结构调整面临传统增长模式受限、节能
改造困难等挑战。



发展制约

碳减排既是气候问题也是发展问题涉及能源、经济、社会、环境等多个方面。

需要统筹考虑能源安全、经济增长、社会民生、成本投入等诸多因素。



一、双碳目标对电力系统的要求与挑战

1.4 电力是实现双碳目标的主力军



工业



交通



建筑



能源

重点行业的行动方案

行业	需求及方案
工业 (钢铁)	积极开展钢铁行业碳达峰及降碳行动；做好钢铁行业参与全国碳市场的相关准备工作；推进钢铁行业低碳技术创新。
交通 (电动汽车)	加大研发投入、开展技术创新，提升电动汽车发展战略地位；探索电力交易市场化下用户侧商业生态；开展顶层设计和提前布局；出台在电力交易市场规则、电池梯级管理、财政支持等方面相关政策。
建筑 (绿建)	加大清洁能源使用比例，促进能源结构清洁低碳化；提升能源利用效率，加强全过程节能管理。
能源 (电力)	推动电源结构和布局优化；加快电网向能源互联网型升级，打造清洁能源优化配置平台；推动全社会节能提效，提升终端电气化水平；推进电力系统技术装备创新，提升系统安全和效率水平；推动健全市场机制和政策体系保障清洁能源安全高效利用。

转变**发展方式**和**能源结构**是实现双碳目标的核心，各个重点行业碳中和的行动方案都离不开电力产业的身影，碳中和将**提升电力负荷水平**，也将加速**电力增长的零碳化**进程。

一、双碳目标对电力系统的要求与挑战

1.5 双碳目标下电力系统的挑战

要构建清洁低碳安全高效的能源体系，控制化石能源总量，着力提高利用效能，实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，构建**以新能源为主体的新型电力系统**。

挑战

- **能源供应**：新能源“小发电量、弱稳定性”特点突出，冬夏期间电力需求存在较大缺口。
- **安全运行**：系统运行特性日趋复杂，电压、频率调节能力面临严峻考验。
- **清洁消纳**：新能源出力与负荷存在反调峰特性，系统调峰能力明显不足。

双碳目标下新型电力系统的特征

高渗透率的
可再生能源

高比例的电力
电子设备

高速增长的
电力负荷需求



一、双碳目标对电力系统的要求与挑战

1.6 双碳目标下电力系统的需求

1

为实现双碳目标，**能源结构需要进行电能替代、清洁替代两个转型**。电力将从过去的二次能源转变为其他行业事实上的基础能源，电网将成为能源供应、消费以及传输转换的关键环节，**需要支撑高比例清洁能源的消纳，支撑和保障多种终端用能需求，形成可支撑多种能源品种交叉转换的能源协同互动运行平台。**

2

电力在能源结构中的占比将不断提高，作为能源支柱的定位将持续强化，**电力安全将成为能源安全的重要内涵和重要保障**。受制于电能难以大规模储存的特性，为了提升电力供应的保障程度，还需要实现能源体系**供应侧和消费侧的多元化与互通互济**。



主要内容

一 双碳目标对电力系统的要求与挑战



二 虚拟电厂中储能设备

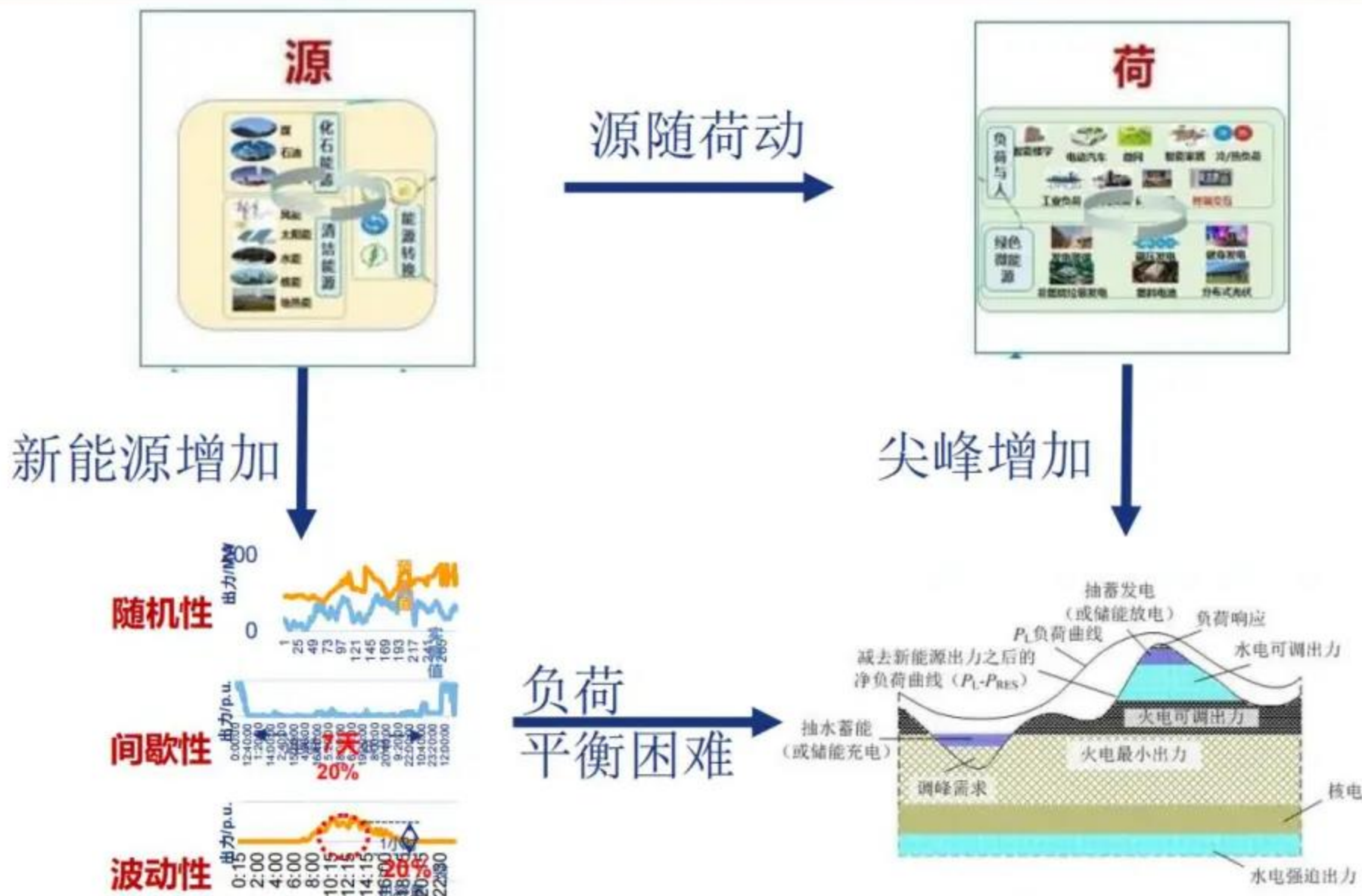
三 储能典型商业模式

四 虚拟电厂参与电力交易

五 总结

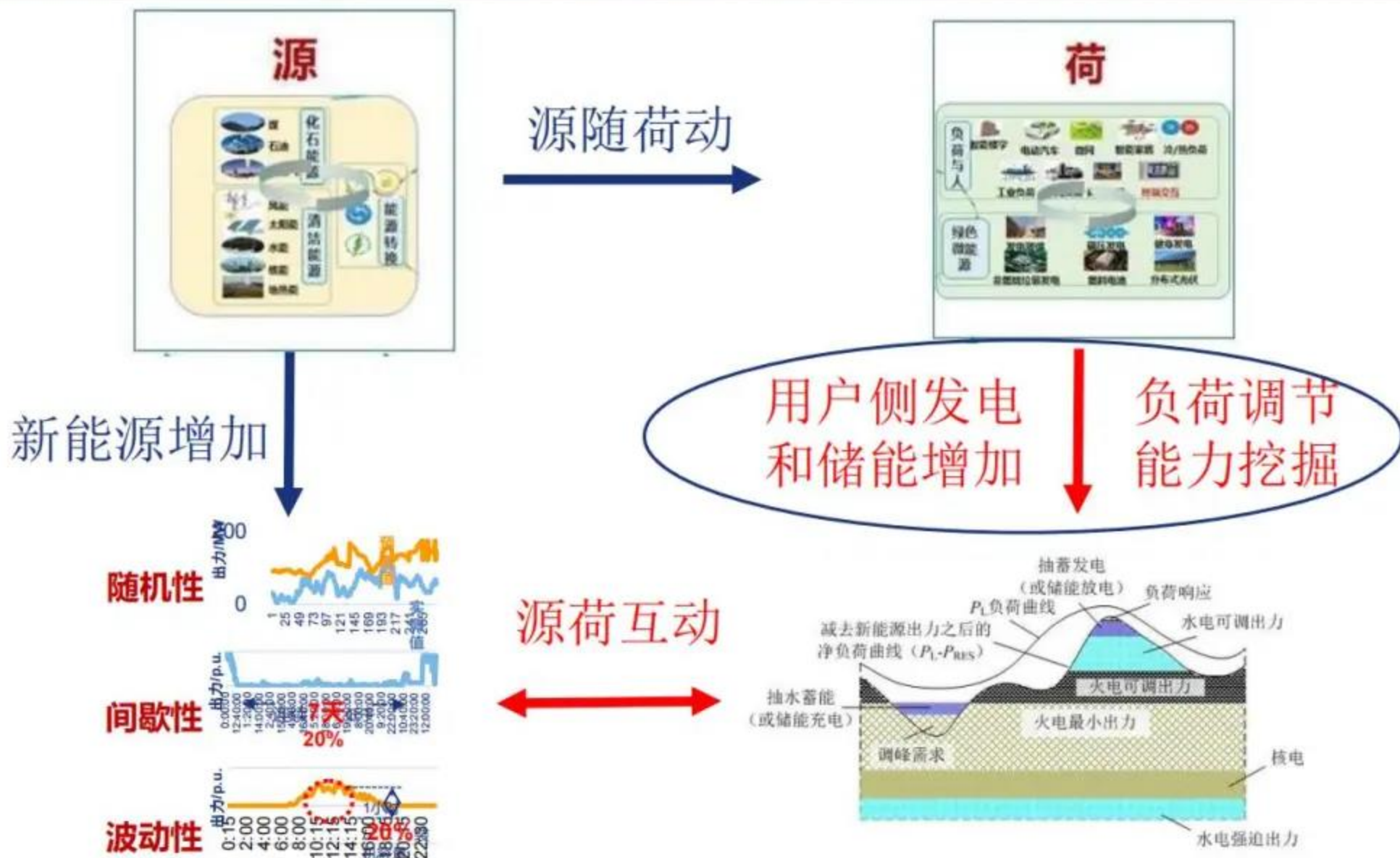
二、虚拟电厂中储能设备

2.1 虚拟电厂 (Virtual Power Plants, VPP) ——为什么建立?



二、虚拟电厂中储能设备

2.1 虚拟电厂 (Virtual Power Plants, VPP) ——为什么建立?



二、虚拟电厂中储能设备

2.1 虚拟电厂 (Virtual Power Plants, VPP) ——为什么建立?

大量散布需求侧资源能力闲置

- 需求侧存在可控负荷、储能、分布式电源等资源，个体体量小、分布广；

缺乏发掘手段和机会

- 无法参与市场，集中控制成本高、效果差；
- 主体多元，利益诉求多样。

二、虚拟电厂中储能设备

2.2 虚拟电厂的定义

交易的载体—运行控制“聚合”和“通信”

- 虚拟电厂可看作是在传统电网物理架构上，利用先进技术把分布式发电、分布式储能设施、可控负荷等不同类型分布式资源进行整合协同开展优化运行控制和市场交易的载体，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。其核心在于“聚合”和“通信”。

软件系统—聚合和协调优化

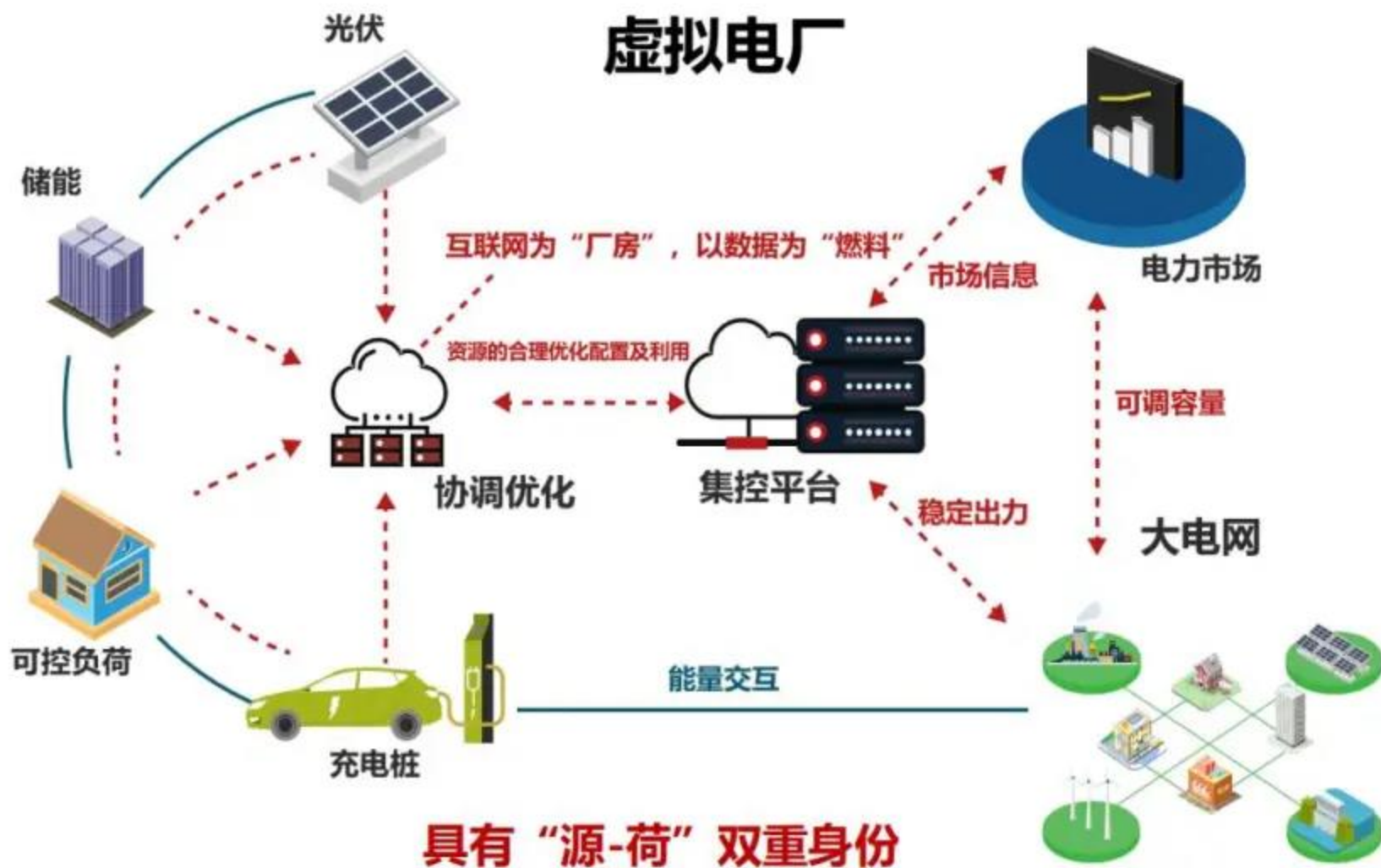
- 虚拟电厂是一种通过先进信息通信技术和软件系统，实现DG、储能系统、可控负荷、电动汽车等DER的聚合和协调优化，以作为一个特殊电厂参与电力市场和电网运行的电源协调管理系统。

整合调控的载体

- 虚拟电厂是将分布式机组、可控负荷和分布式储能设施有机结合，通过配套的调控技术、通信技术实现对各类分布式能源进行整合调控的载体。

二、虚拟电厂中储能设备

2.2 虚拟电厂的定义



二、虚拟电厂中储能设备

2.3 虚拟电厂的特点

传统电厂

- 发出电功率→能量市场
- 功率可调→辅助服务市场

要称之为电
厂，二者必
居其一

- 虚拟电厂聚合分布式资源，可以是分布式电源、柔性负荷、储能或其组合，否则谈不上“虚拟”。

分布式



- 虚拟电厂依托先进的通信和控制技术，使得所聚合的资源具有一定程度的协调可控性，否则无所谓聚合为虚拟电厂，也谈不上“电厂”调度的概念。

可调控



- 虚拟电厂是分布式资源的规模化体现，只有规模化才可与传统机组一样参与大系统运行调度。

规模化



对比常规
电厂，可
调范围大

二、虚拟电厂中储能设备

2.4 虚拟电厂的类型

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；

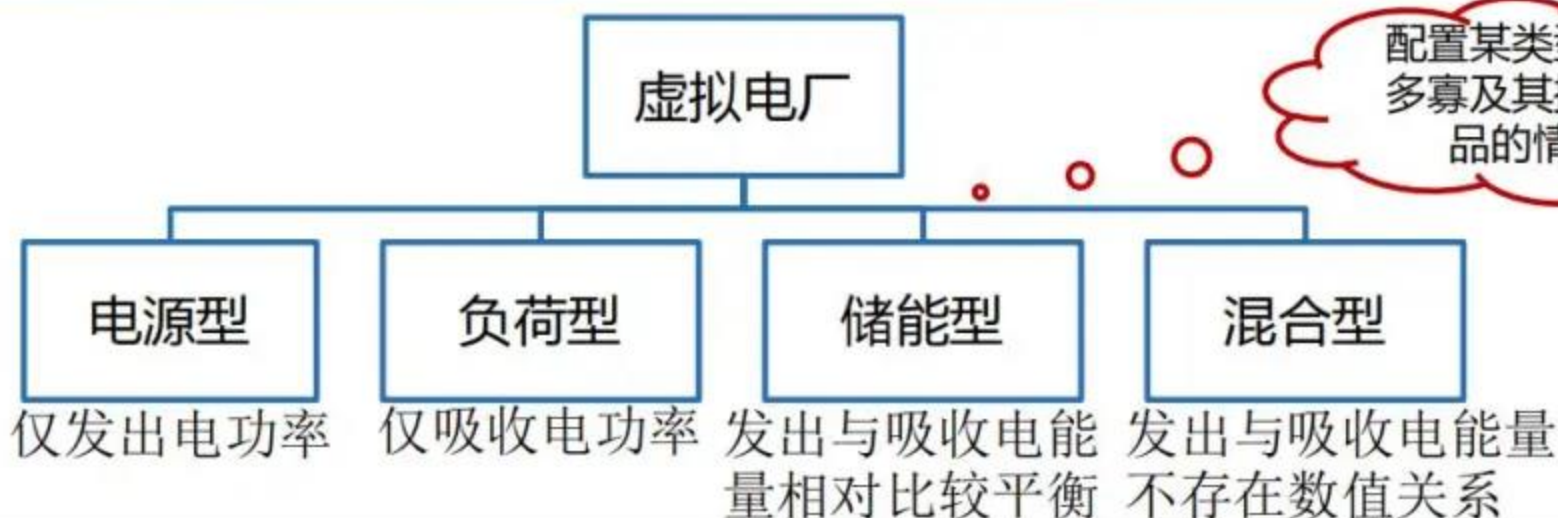
分布式电源：主要产品为电能量，也可包括辅助服务。

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



二、虚拟电厂中储能设备

2.5 虚拟电厂的构建与运行

负荷调控型虚拟机组

- 具备功率调节能力，可替代常规机组参与调峰、调频等辅助服务市场；
- 不能向系统注入功率，出售能量属性不足；

储能型虚拟机组

- 具有功率调节属性，可替代常规机组参与调峰、调频等辅助服务市场；
- 部分时段具有能量出售能力，可以以机组身份出售能量；

分布式电源型虚拟机组

- 具有能量出售能力，参与能量市场；
- 视不同的电源类型具有不同的功率调节能力

混合型虚拟机组

- 根据内部资源的不同构成，具有不同程度的能量/功率属性

二、虚拟电厂中储能设备

2.6 虚拟电厂的资源

分布式可再生能源



风能



光伏能



潮汐能



生物质能



地热能

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



二、虚拟电厂中储能设备

2.7 用户侧储能的常见形式

具备功率双向调节能力，
可在不影响用能舒适度的
同时实现灵活响应的负荷

储能
设备

用户利用储能电池、
压缩空气等设备直接
储存能量

含储能性
质的负荷

可中断/
转移负荷

用户响应电价变化，改变自
身的用能时间习惯，使能源
需求发生时间转移，也可看
作一种储能形式

二、虚拟电厂中储能设备

2.7.1 常见的储能设备类型（物理储能、电磁储能、化学储能）

储能类型	特点	造价	是否适用于分布式储能
抽水蓄能	储能量较大，但占地面积大，且易受地形限制	高	√
压缩空气	规模大小灵活，占地小，安全性好	中等	
飞轮储能	无噪声、无污染，可持续工作，具有旋转机械运动，维持难度较高	较高	
超导磁储能	响应速度快，转换效率高，比容量、比功率大	较高	√
超级电容器	电压等级较低，储能量和持续时间受限	较高	
电池储能	铅酸电池容量大，造价低，但污染严重；锂电池环境友好，但造价高，产品容量规模难以达到要求；钠硫和液流电池前景较好	不同类型差异较大	

二、虚拟电厂中储能设备

2.7.1 储能设备——电池储能

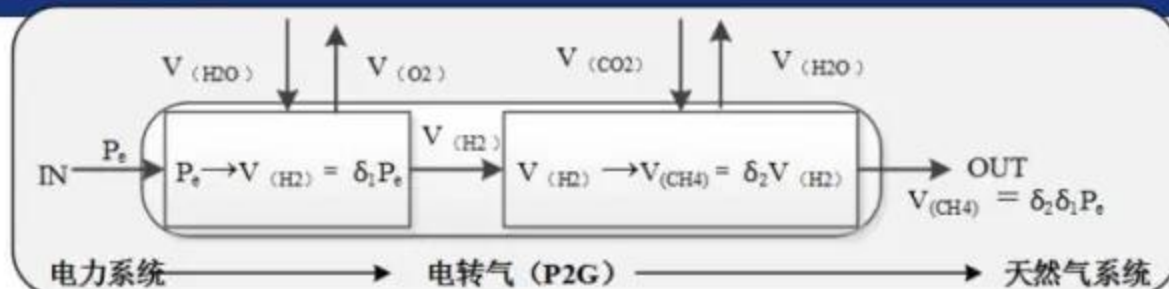
电池储能主要是指化学储能技术。电化学储能技术由于具有建设周期短、运营成本低、对环境无影响等特点已经成为电网应用储能技术的首选方案。



铅炭电池、锂离子电池和液流电池是新能源储能电池的三大发展方向。

二、虚拟电厂中储能设备

2.7.1 电转气存储技术 (P2G)

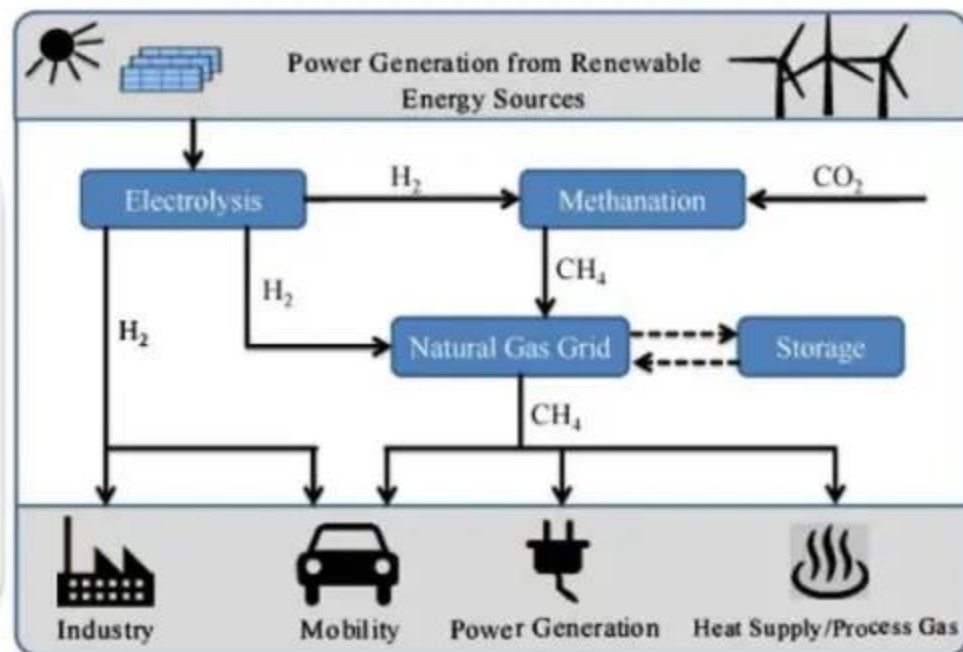


P2G技术主要包括2个过程:

- 1) 通过电解反应将水分解成氧气和氢气;
- 2) 将氢气和二氧化碳反应合成甲烷。

优势:

- 1) 可将电能以气的方式大规模存储
- 2) 电解水的过程爬坡速度快, 可快速消纳可再生能源
- 3) 运行灵活性, 实现了电力系统和天然气系统的耦合运行



二、虚拟电厂中储能设备

2.7.1 电转气存储技术 (P2G)

潜在应用价值



二、虚拟电厂中储能设备

2.7.2 具备储能性质的双向互动负荷

——水/冰蓄冷/热系统、电动汽车

除了**额外投资昂贵的储能设备**，深入挖掘和利用**负荷内**在的**存储容量**，可在不影响用能舒适度的同时**实现负荷灵活响应**。此类**负荷**主要包括**冰蓄冷空调、电蓄热系统、电动汽车等**。

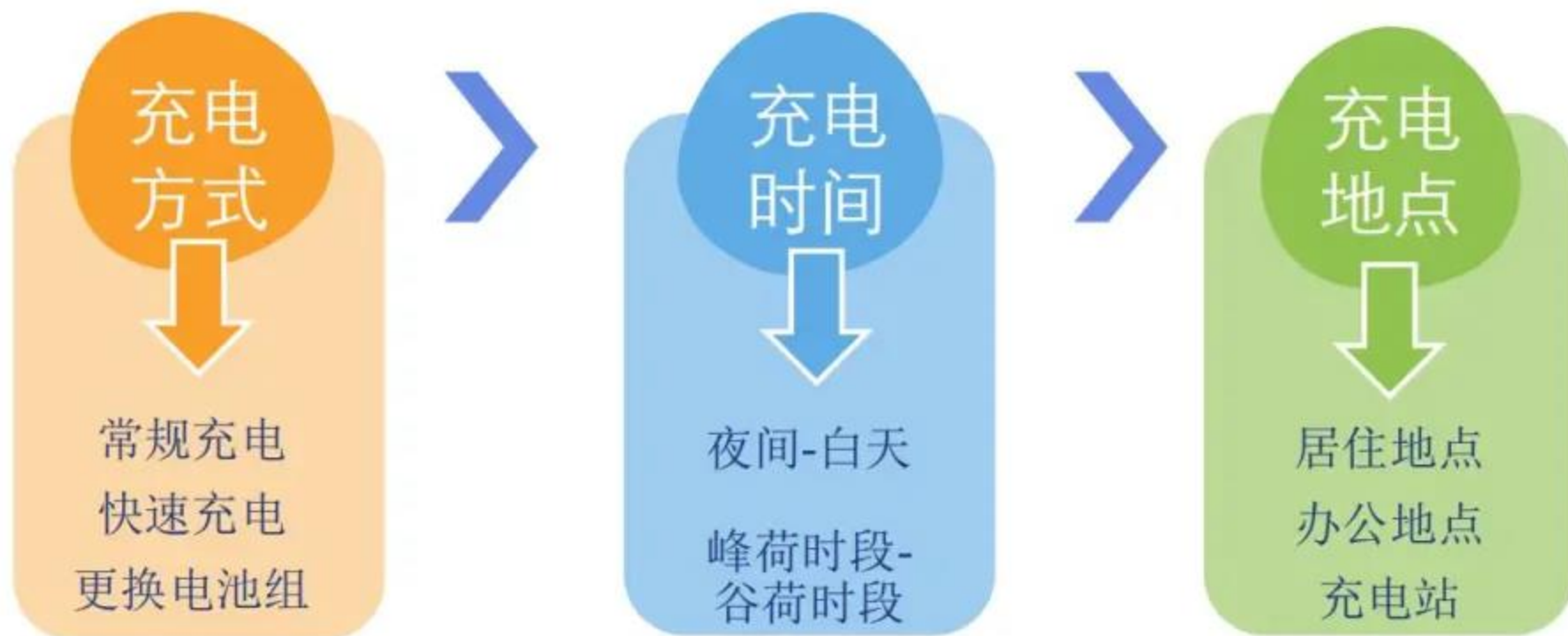
其中，**电动汽车**是该范畴的重要负荷，其**动力电池**可作为**分布式储能单元**，通过**电动汽车接入网络 (Vehicle to Grid, V2G)**技术实现与**电网的交互**，在合理的控制策略下**响应电网运行要求，实现削峰填谷、辅助服务等**。

二、虚拟电厂中储能设备

2.7.2 具备储能性质的双向互动负荷

1) 电动汽车

储能互动手段



二、虚拟电厂中储能设备

2.7.2 具备储能性质的双向互动负荷

1) 电动汽车

	效果
用户方面	节省费用：相同能量的电能比汽油便宜
	获得收益：可向电网供电，获得电价补偿
电网方面	移峰填谷
	旋转备用：作为分布式储能元件，应对负荷高峰功率缺额
	电压支持：负荷高峰时放电缓解电压下降

互动效果

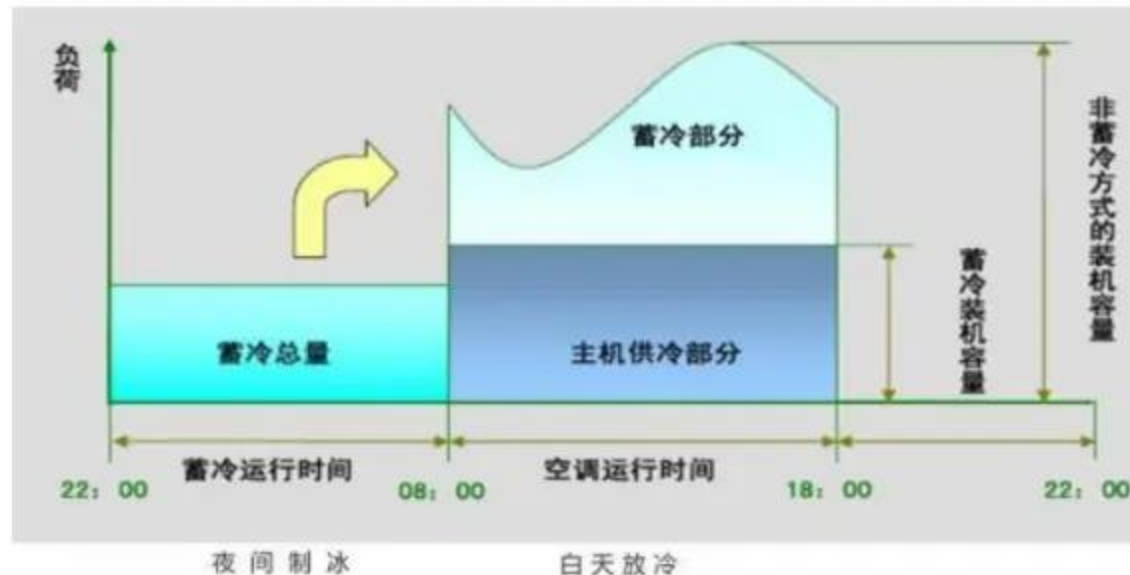


二、虚拟电厂中储能设备

2.7.2 具备储能性质的双向互动负荷

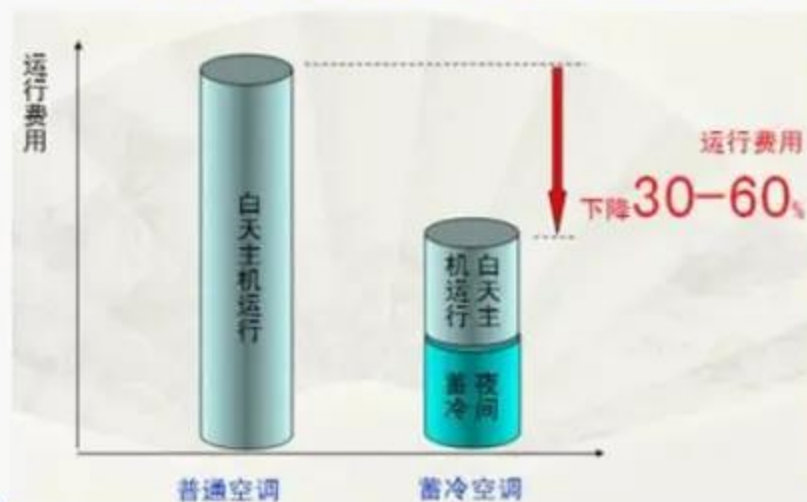
2) 蓄冷系统

夜间负荷谷期开启制冷主机，将建筑物所需的空调冷量部分或全部制备好，并以冰的形式储存于蓄冰装置中，在电力高峰时段将冰融化提供空调用冷。



意义：

- ✓ 实现电力负荷移峰填谷；
- ✓ 提高发电企业运行效率；
- ✓ 减少发电厂建设数量和投资；
- ✓ 缓减高峰电力不足的现状；
- ✓ 减少温室气体排放，实现环保；
- ✓ 有效减少制冷运行费用；
- ✓ 有效减小制冷主机的初装机容量

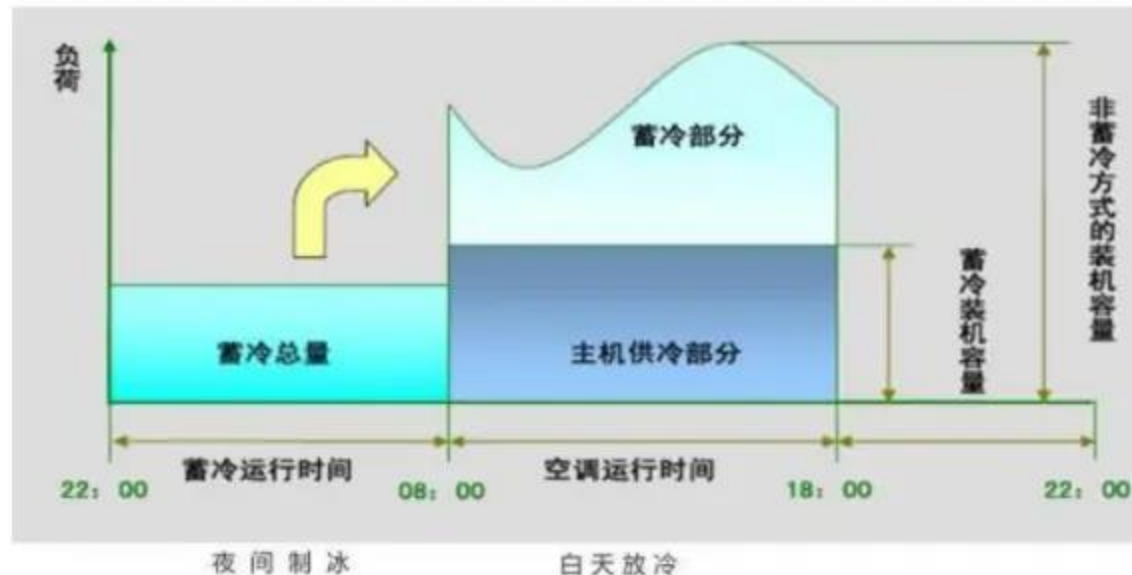


二、虚拟电厂中储能设备

2.7.2 具备储能性质的双向互动负荷

2) 蓄冷系统

夜间负荷谷期开启制冷主机，将建筑物所需的空调冷量部分或全部制备好，并以冰的形式储存于蓄冰装置中，在电力高峰时段将冰融化提供空调用冷。



应用领域：

- 大、中、小型中央空调系统；
- 各种产业制冷系统（工业洁净厂房、恒温厂房等）；
- 大型区域供冷（如大学城、地铁等）；
- 工艺用冷系统（食品、商业、化工等）；
- 大型混凝土工程（大坝、铁路、隧道、桥梁等）；
- 冷藏保鲜（海鲜冷藏、食品保鲜等）；
- 矿井降温（煤矿、金属矿）

二、虚拟电厂中储能设备

2.7.2 具备储能性质的双向互动负荷

3) 蓄热系统

利用低谷时段电力将蓄热体(分为水蓄热和固体蓄热)加热到一定的温度(固体材料小于 800°C), 同时也要满足低谷时段建筑物的供暖负荷, 在平电时段和峰电时段靠被加热的蓄热体余温来供暖的一种供暖方式。

目前应用较多的蓄热介质为水、油和陶瓷等。成熟的蓄热设备有电蓄热锅炉和蒸汽蓄热器。

I、电蓄热锅炉

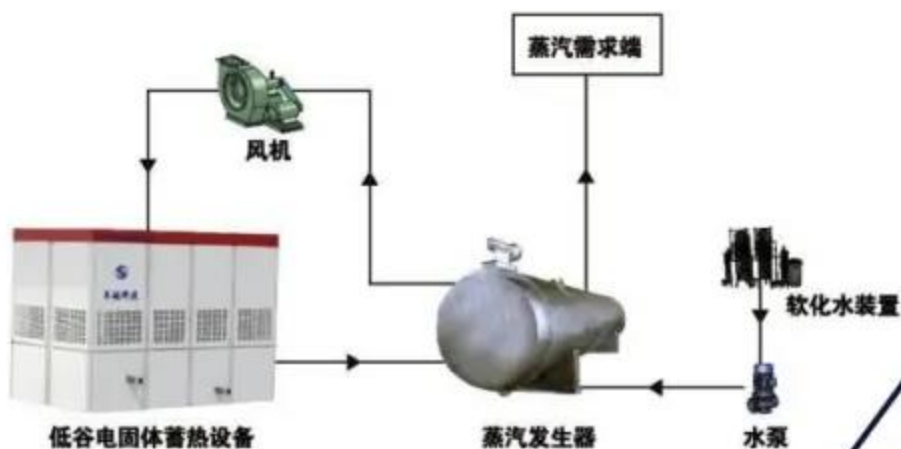
电蓄热锅炉的常用蓄热方式

- 1、常压水蓄热
- 2、高温水蓄热
- 3、固态高温体蓄热
- 4、液态高温体蓄热
- 5、相变介质蓄热

II、蒸汽蓄热器

蒸汽蓄热器是安装于锅炉与用汽设备之间的节能设备, 用以平衡用汽设备的波动负荷。以变压式蒸汽蓄热器应用最多, 借助工作压力进行蓄热和放热。

二、虚拟电厂中储能设备



电蓄热设备工作示意图

水蓄热电锅炉的特点：占地面积大，特别当供暖面积和用水量大的情况，蓄水池的体积会比较夸张。最高蓄热温度90℃左右。

固体蓄热式电锅炉的特点：占地面积小；最高蓄热温度700-800℃，出力充分；不仅可以供热水，还可以供热风、导热油。但是设备购买成本高。

I、电蓄热锅炉 常用蓄热方式

- 1、常压水蓄热
- 2、高温水蓄热
- 3、固态高温体蓄热
- 4、液态高温体蓄热
- 5、相变介质蓄热

工厂、车间、办公楼

健身馆、
游泳池、
宾馆…

特殊养殖、
种植企业



蔬菜大棚、
动植物养
殖

工矿企业
水温恒定
系统

二、虚拟电厂中储能设备

2.7.3 可中断/转移负荷

该类负荷不具备储能性质，仅根据自身负荷特性(包括：可转移、可中断等)实现用能方式的改变，在满足负荷响应方式和负荷响应成本要求的前提下，灵活参与需求响应项目。主要包括：

- ❖ (1) 生产方式相对较为灵活，具备可中断/转移能力的工业负荷。通过增加**中间产品**的产量和生产时间的一种储能方式，分为：通过**增加产量**间接地将能量储存在中间产品中；通过改变生产中间产品的生产时间**改变用能的时间**。按负荷中断能力排序，潜力最大的六大行业为：建材、冶金、化工、机械、纺织、医药。
- ❖ (2) 间歇性运行的电器设备。此类设备受工作流程和用能舒适度的影响，分为**可中断**和**可推迟**两类，前者主要包括不具储能性质的空调和电加热设备等，后者则包括洗衣机、洗碗机等，但部分负荷也可以根据实际应用环境在不同类型中转换。

二、虚拟电厂中储能设备

2.7.3 可中断/转移负荷

1) 可中断/转移能力的工业负荷

如化工、冶金、纺织等行业，由于是连续生产，企业一般只需要调整生产流程就可以错峰用电，例如水泥行业将磨粉机的运行避开高峰时段，而在其他时段利用储料仓的原料，就可以从峰谷电价中收益，但是这类负荷调节能力有限。

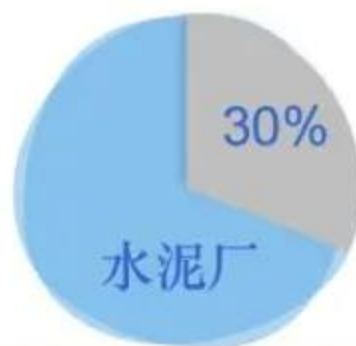


二、虚拟电厂中储能设备

2.7.3 可中断/转移负荷

1) 可中断/转移能力的工业负荷

由于对电价的波动极其敏感，这一类用户具有很大的削峰填谷潜力，在很多已经实施峰谷电价的地区，高耗能企业几乎都是将生产安排在夜间进行，从而节省电费支出。由于高耗能用户用电量大，其转移负荷对系统的贡献是非常巨大的。电费支出比例高，响应度也高。



二、虚拟电厂中储能设备

2.7.3 可中断/转移负荷

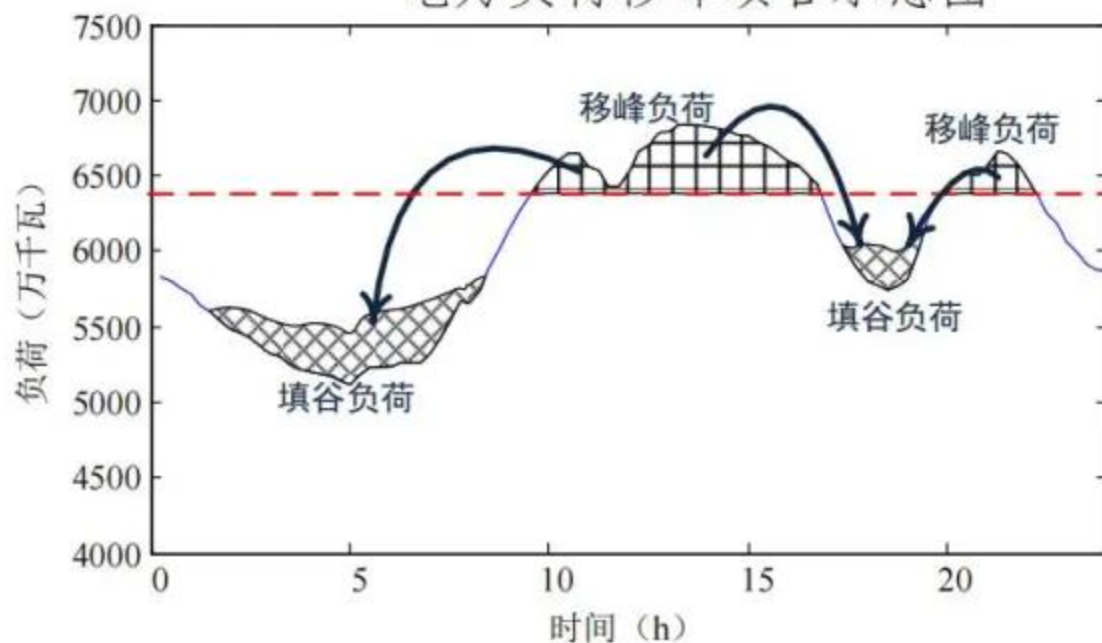
2) 可中断/可推迟的电器设备

主要指可调节的单向能量流动电器

居民、商业用户主要集中在白天用电，夜晚的用电量很少，因此负荷率较低。这种用电模式受到生活作息习惯的影响，很难改变或者调整。

但随着空调以及电热水器的普遍采用，使得用户提高夜间用电量的潜力大大增加，使晚上“储电”，白天用电成为可能。

电力负荷移峰填谷示意图



1:00~8:00

0.38元/度

8:00~21:00

0.52元/度

21:00~
24:00

0.38元/
度

南京居民生活用电峰谷分时电价标准

二、虚拟电厂中储能设备

2.7.3 可中断/转移负荷

2) 可中断/可推迟的电器设备

当电网供应富余

运行策略

用户根据预设运行策略，如智能控制终端自动降低空调温度（**储能**），开启洗衣机、洗碗机、烘干机、电热水器等对工作时间要求不高的电网友好型设备，尽可能合理增加用电。

用户可根据预先运行策略，如智能控制终端自动调低照明亮度，适当升高空调温度（**释能**），停止电热水器加热等，尽可能地减少用电，避免备用机组的投入。

当电网供应紧张

2.7.3 可中断/转移负荷

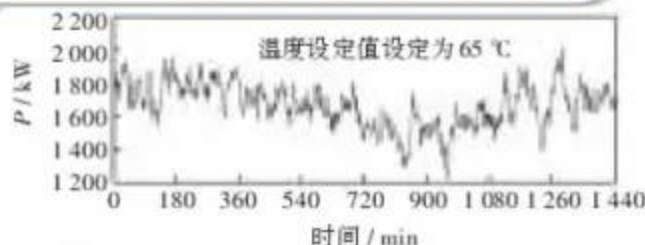
2) 可中断/可推迟的电器设备

智能型电热水器

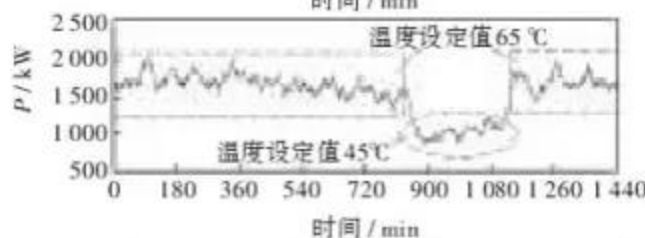
需求响应型电热水器可实时接收来自电网调度指令，当电网要求增加用电，时可自动开启或调高预期温度；
当电网要求减少用电，可自动关闭或降低预期温度，因保温效果，不会立即影响居民生活。

- ❖ 在欧洲，电热水器耗能一般为家庭用电的9%左右，但在冬天可达到30%，潜力可观。
- ❖ 美国西太平洋实验室做过此类研究，当电热水器控制器注意到电网频率下降到59.95Hz时，自动切断电器中的加热元件，调整两分钟，如果这一时间结束时，电网频率仍不稳定，则元件保持断电再达两分钟，如此直到最多持续十分钟为止。因此，电热水器往往作为直接负荷控制的重要对象。

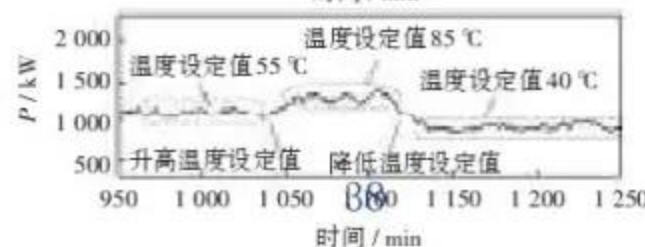
恒定温度设定策略



削峰策略



预加热策略



二、虚拟电厂中储能设备

2.7.3 可中断/转移负荷

2) 可中断/可推迟的电器设备

智能型 干衣机

需求响应型干衣机自动在电价较低时段运行，可及时响应电网发出的功率运行指令。

但在电热元件停止加热期间，为防止衣物起皱，干衣机仍会维持适宜的转速。

案例说明：

- ❖ PNNL在俄勒冈州和华盛顿州征集150户住宅用户，使用150台需求响应型干衣机和50台需求响应型热水器
- ❖ 结果表明：
 - ❖ 1、家电工作时间比原先稍长一些
 - ❖ 2、每月电费支出明显减少，约20%左右

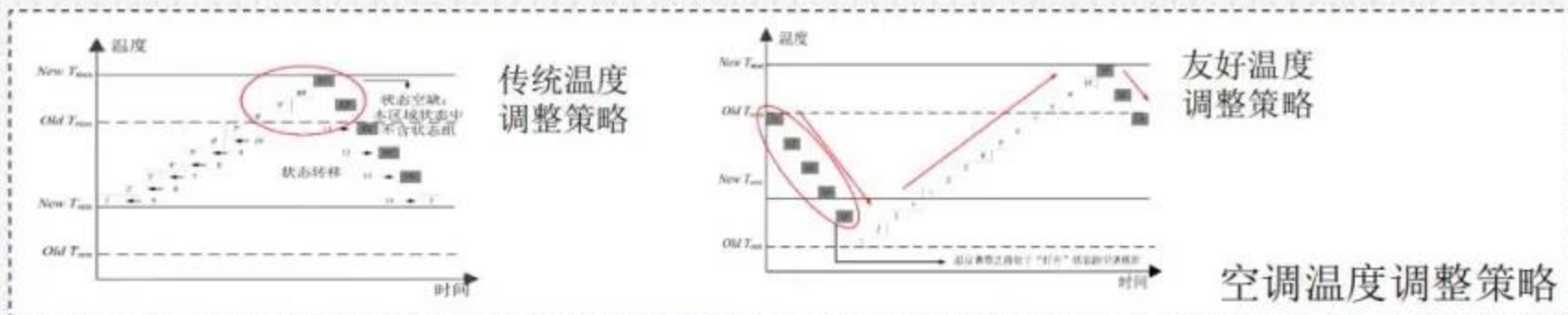


二、虚拟电厂中储能设备

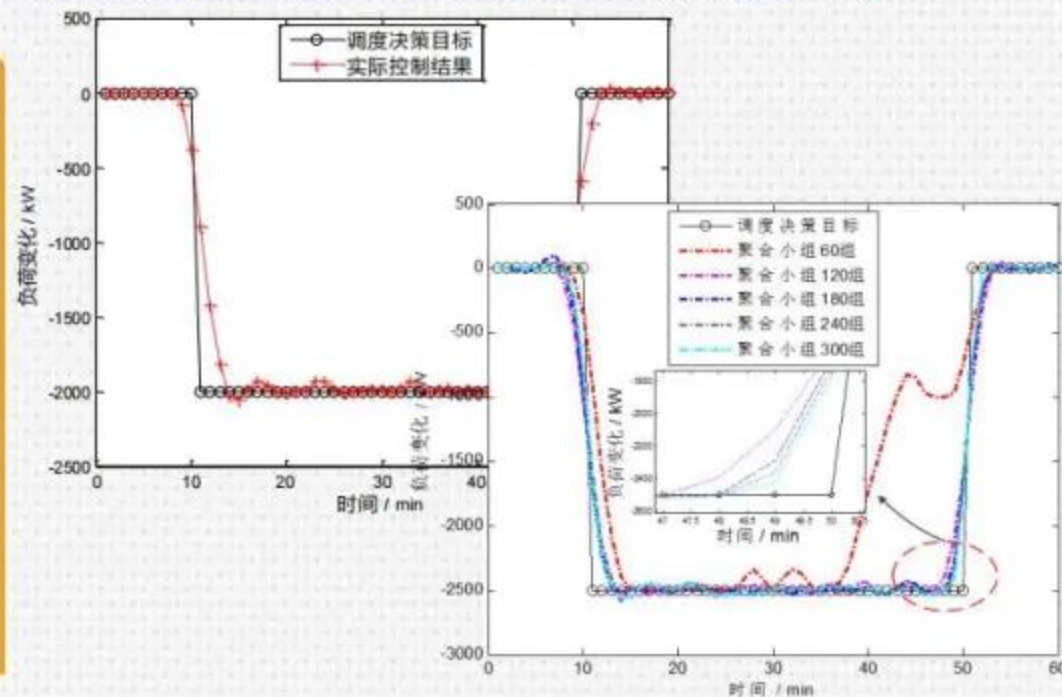
2.7.3 可中断/转移负荷

2) 可中断/可推迟的电器设备

非储能型 空调



- 某负荷聚合商对区域空调负荷进行控制，将500台空调机组作为一个聚合小组。在10min-50min区间内承担一段维持40min的、大小为2.0MW的负荷削减任务，相当于用户侧虚拟储能的释能。
- 结果表明：
 - 为了保证最大限度地减少对用户的影响，通过调节设定温度的方法进行控制，可实现较长时间范围的、较缓慢的负荷增减；管理聚合小组越多，负荷调度裕度越大



二、虚拟电厂中储能设备

用户侧储能特性对比

序号	储能形式	特性	参与调度时 适用场景
1	储能设备	具备电源特性，成本较高，一般配合间歇性电源运行，考虑电池梯次利用	日前/日内/实时调度
2	电动汽车	具备负荷和电源双重特性，需计及集群效应，需构建集中控制管理中心，储能容量不定	日前/日内/实时调度
3	蓄冷/热系统	单体调控容量高，可控性不强，储能响应速度慢	日前/日内调度
4	可中断/转移工业负荷	单体调控容量较高，可控性不强，储能响应速度慢	日前/日内调度
5	需求响应型智能家居	单体调控容量小，控制简单，储能响应速度快	日内/实时调度



主要内容

- 一 双碳目标对电力系统的要求与挑战
- 二 虚拟电厂中储能设备
- 三 储能典型商业模式
- 四 虚拟电厂参与电力交易
- 五 总结





商业模式



- 为实现客户价值最大化，把能使企业运行的内外各要素（资金、原材料、人力资源、作业方式、销售方式、信息、品牌和知识产权、企业所处的环境、创新力，又称输入变量）整合起来，形成一个完整高效率的具有独特核心竞争力的运行系统，并通过最有实现形式满足客户需求、实现客户价值，形成能够提供客户无法自力而必须购买的产品和服务（输出变量），同时使系统达成持续盈利目标的整体解决方案。



储能典型商业模式

应用领域的不同导致储能应用商业模式也不相同，盈利影响因素各异，除了与储能商业模式相关政策有关，还存在其他诸多因素，包括电价体系、运营主体、储能类型、补贴方式、初始投资、运行维护和投资回收期成本等。

1

储能配套新能源商业模式

2

储能参与微电网的商业模式

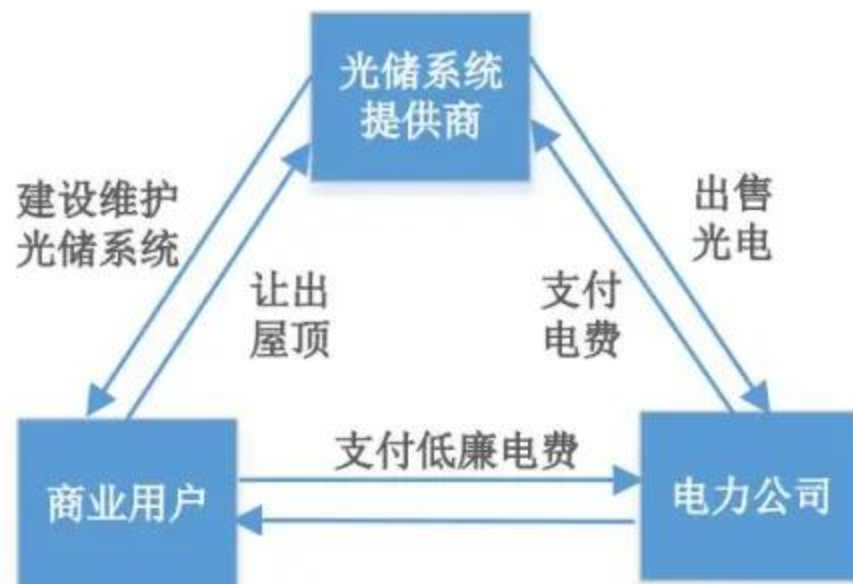
3

电力系统储能的新形态-云储能



3.1 储能配套新能源商业运行模式—美国光储领域

- **设备买断模式** 即用户一次性购买光储设备，自发自用，自行维护。
- **光伏租赁模式** 指用户无需购买设备，只需要每月从节省下来的电费中根据一定的租率向公司支付一定的设备租赁费用，既省去大笔设备投资成本，又可以享受廉价绿色的电力。美国净计量电价（Net Metering）政策为该模式提供了良好的政策环境。
- **购电协议模式（PPA）** 针对大型的商业项目，该模式是指光储系统提供商和商业用户、电力公司签署三方协议，Tesla等公司负责建设维护光储系统，并将电出售给电力公司并收取电费；电力公司再将这部分电力出售给用户；商业用户让出屋顶并支付较低廉电价。

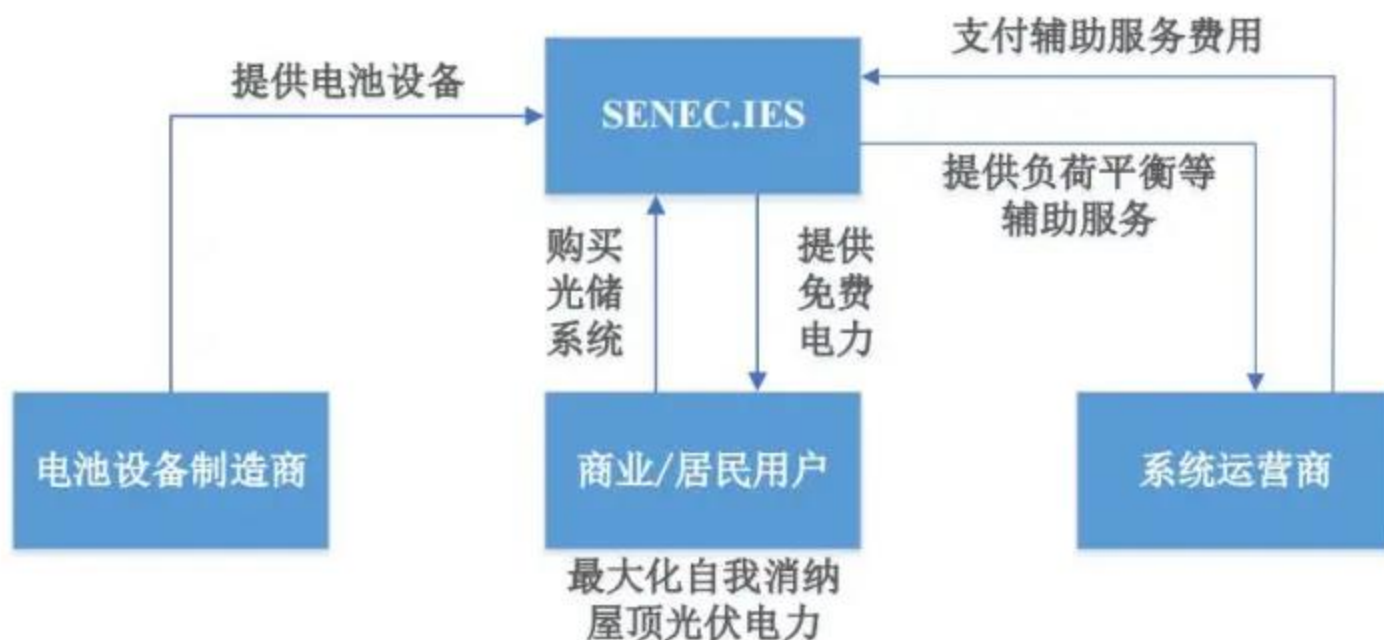


针对大型商业项目的PPA模式



3.1 储能配套新能源商业运行模式——德国光储领域

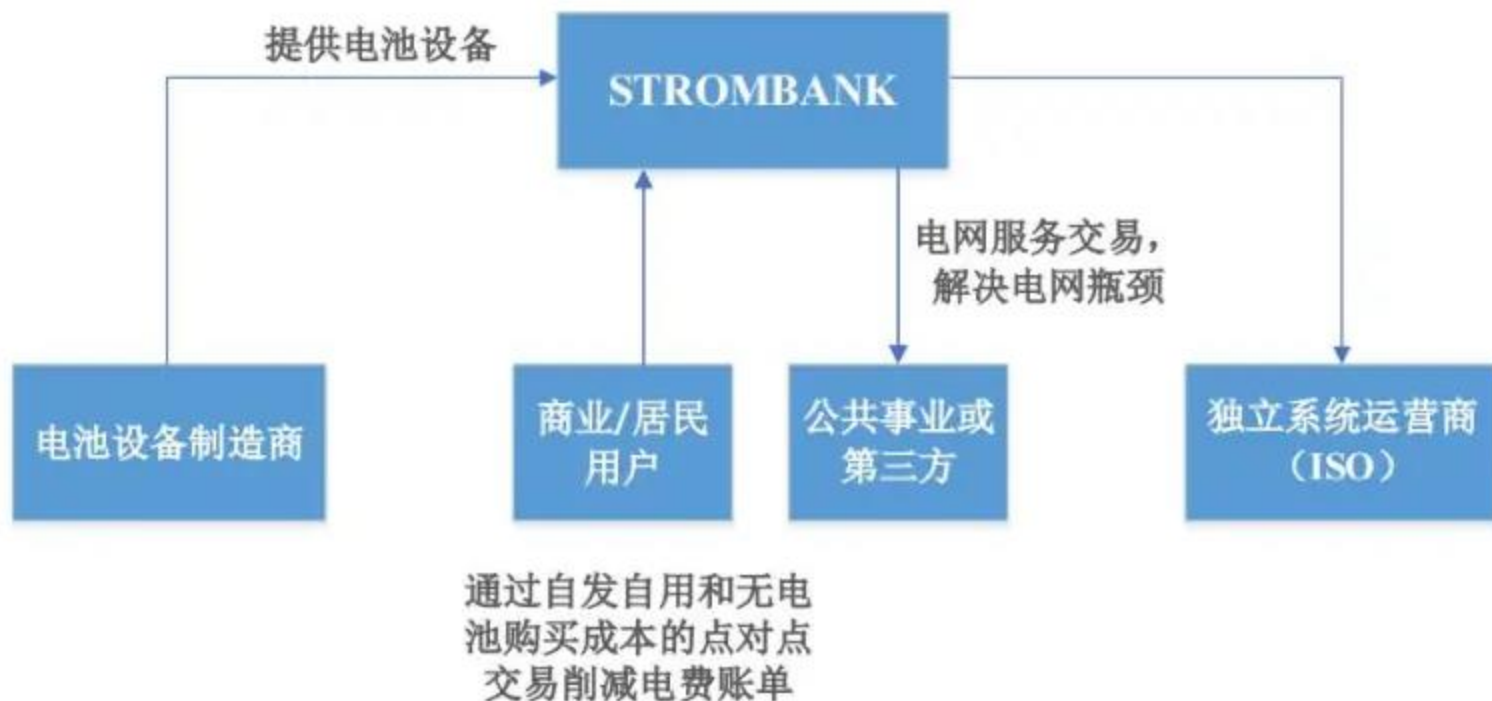
- “光储所有权” 模式——SENEC. IES公司





3.1 储能配套新能源商业运行模式—德国光储领域

● 社区共享模式——MVV Strombank项目





3.1 储能配套新能源商业运行模式—中国

- 以示范项目为主
- 项目牵头单位：电网公司或发电企业
- 项目资金来源：企业自有资金+科技项目资金支持+银行融资
- 收入来源：电力出售（经济性低）
- 需要良好的政策环境、构建合理的收益模型

典型案例：

张北风光储输示范工程——用户投资模式

无锡新加坡工业园智能配网储能系统——合同能源管理模式



3.2 储能参与微电网的商业运行模式

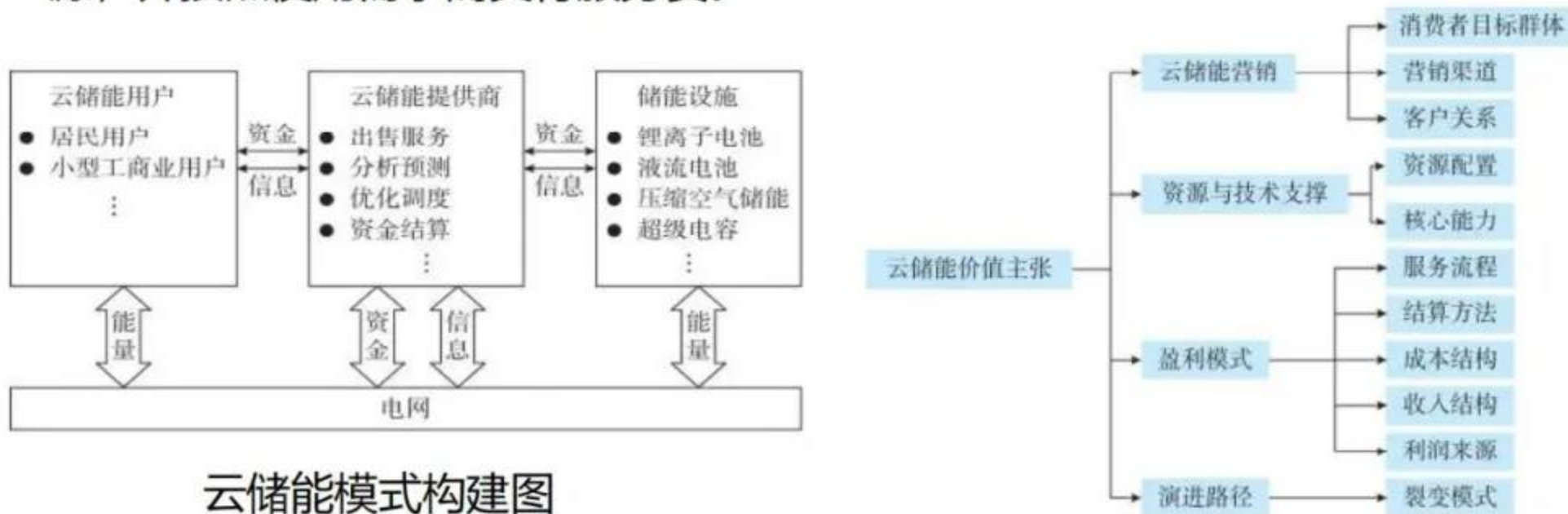
● 微电网形成售电主体





3.3 电力系统储能的新形态：云储能

定义：云储能是一种基于已建成的现有电网的共享式储能技术，使用户可以随时、随地、按需使用由集中式或分布式的储能设施构成的共享储能资源，并按照使用需求而支付服务费。



参见康重庆，刘静琨，张宁 《未来电力系统储能的新形态：云储能》 电力系统自动化，
Vol.41,No.21, 2017.11.10

云储能基本商业模式要素



主要内容

一 双碳目标对电力系统的要求与挑战

二 虚拟电厂中储能设备

三 储能典型商业模式

 四 虚拟电厂参与电力交易

五 总结

虚拟电厂参与电力交易

虚拟电厂参与市场交易机制设计

对国内外需求侧及虚拟电厂参与市场交易机制进行调研，研究适宜不同场景的市场化交易机制设计。

虚拟电厂参与中长期电量市场交易方法

对当前电力交易现状进行调研，研究在当前体制下，基于中长期电量市场的虚拟电厂交易方法。

虚拟电厂参与辅助服务市场交易方法

调研当前调峰、调频等典型辅助服务的获取方法和市场化交易机制，研究虚拟电厂提供辅助服务参与市场化交易机制的模式和方法。

虚拟电厂参与市场交易框架设计

在现有电力交易体制框架下，研究虚拟电厂参与能量和辅助服务市场化交易的总体设计。

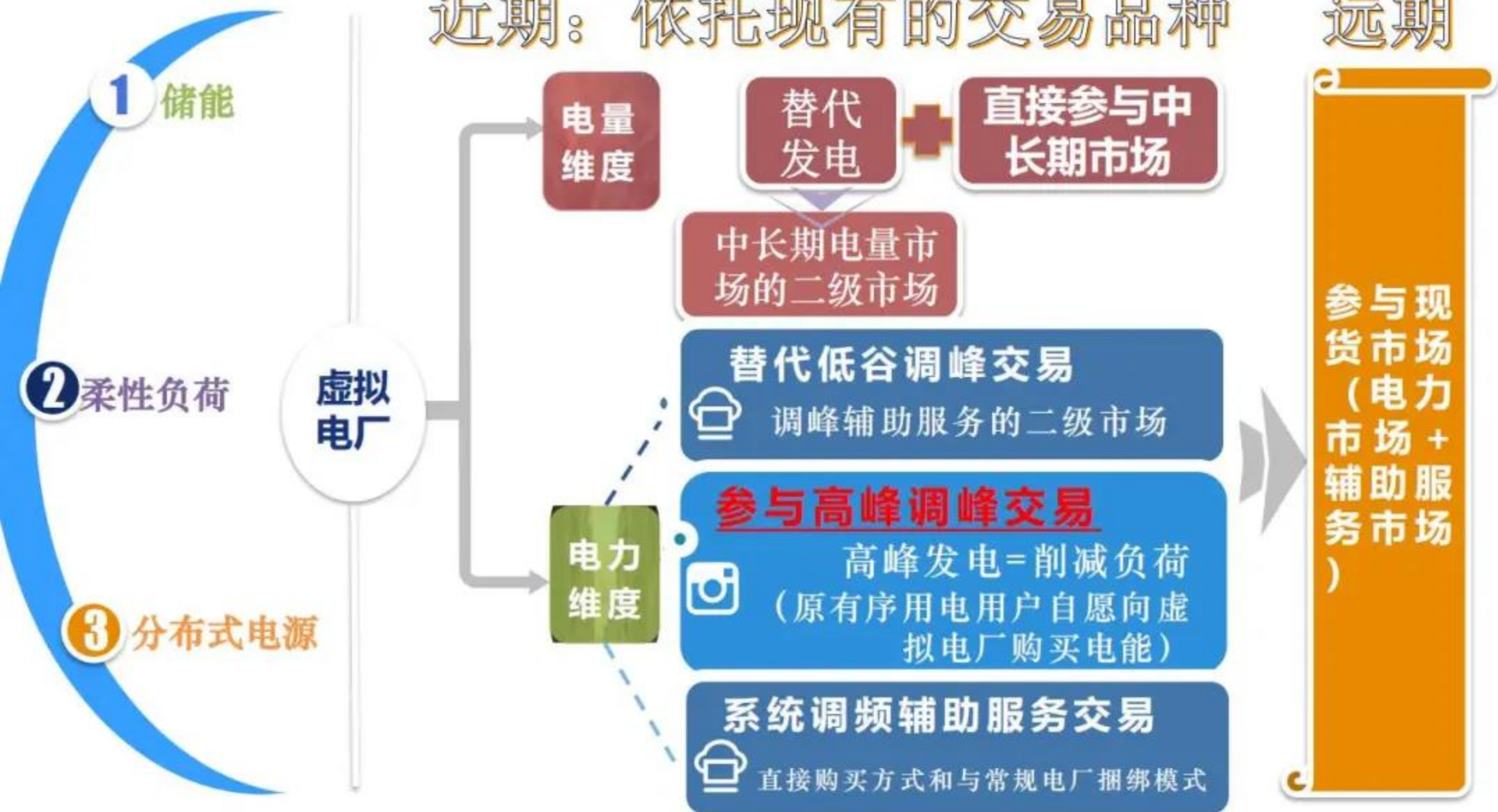
虚拟电厂参与现货市场方案设计

考虑未来现货市场发展，提出现货市场环境下考虑虚拟电厂参与的典型设计方案。

虚拟电厂参与市场化交易的总体架构

近期：依托现有的交易品种

远期



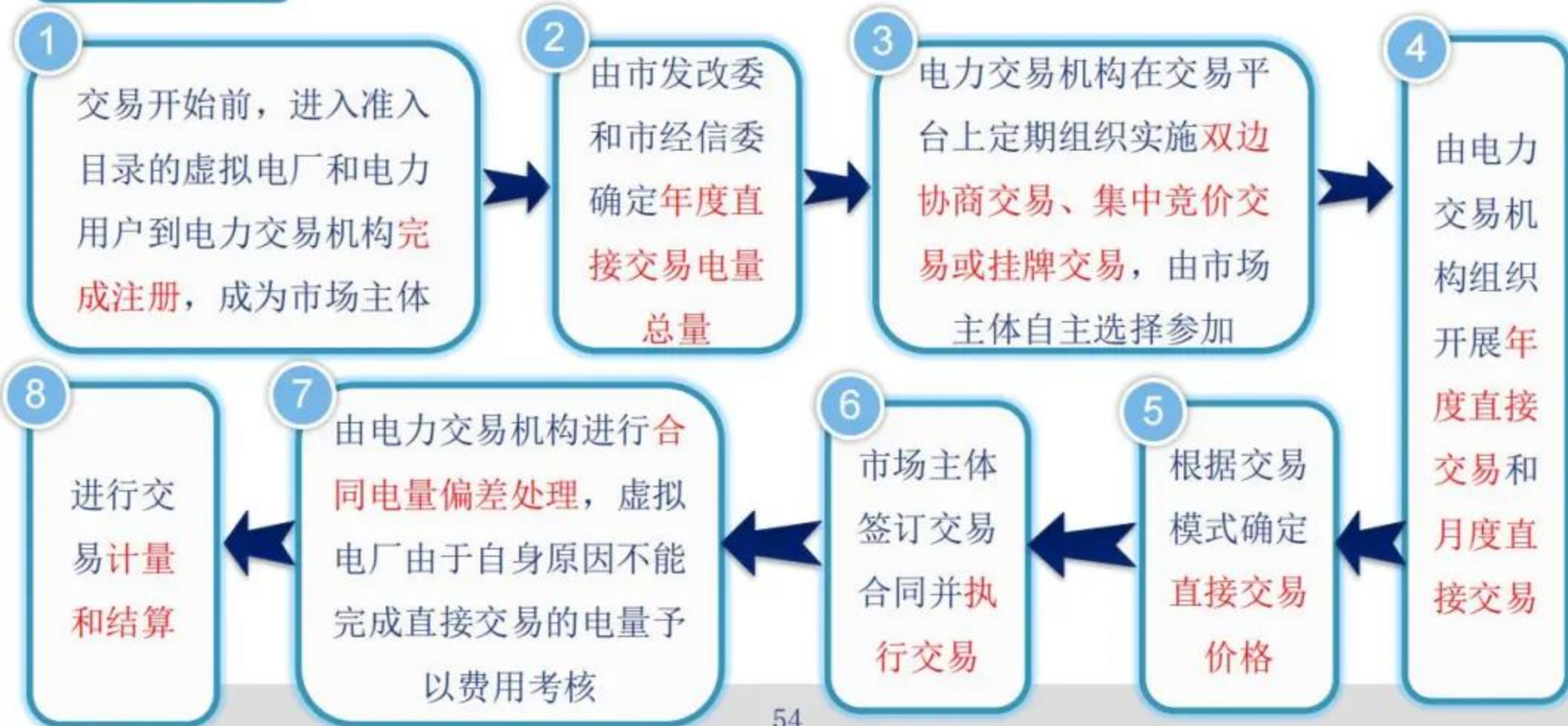
虚拟电厂与电力用户直接交易机制

交易方式



虚拟电厂与电力用户直接交易是指符合准入条件的**虚拟电厂**向**电力用户****直接售电**的市场交易行为，电网企业按规定提供输配电服务，以**年度交易**为主，以**月度交易**为辅。

交易流程



虚拟电厂替代发电交易机制

交易方式

虚拟电厂替代发电交易采取发电权出让方式发电权受让方购买电量的交易模式，其中**出让发电权的燃煤电厂**为**出售方**，**受让发电权的虚拟电厂**为**购买方**，购售双方的交易标的是虚拟电厂的**交易电量**。

交易流程



电力维度：（1）替代低谷调峰交易机制

低谷调峰困难

低谷时段机组下调出力能力不足

虚拟电厂：聚合多种分布式能源资源的特殊类型的发电厂，在负荷低谷时需要减少出力（增加负荷）。

替代调峰交易

调峰辅助服务市场的二级市场

01

虚拟电厂在已经形成火电机组调峰方案的基础上。

03

待上海电力调峰辅助服务市场运营较为成熟以及相关配套政策完善后，再直接参加电力调峰辅助服务市场，相关规则另行制定。

02

与火电机组进行替代调峰交易。

集中式交易

虚拟机组和低谷调峰中标火电机组进行双向拍卖交易，形成替代调峰的交易方案。

双边式交易

电力维度：（2）参与高峰调峰交易机制

电力供应困难

电力供应短缺

调峰量分配

高峰调峰量：虚拟机组在用电高峰时段减少出力的能力。

调峰量分配：在**电力供应短缺**时，通过行政指令确定虚拟机组调度量。

存在问题：

- 无法准确获知电能不同机组中创造的效益差别，不能保证调峰量配置的效率最优。
- 即便可以准确获知每个机组的电力使用效益，进行有差别的分配电能也违反了公平性原则。

虚拟电厂：由**虚拟机组**构成的特殊类型的**发电厂**，在负荷高峰时需要增加出力（或削减负荷）。

调峰量交易

调峰量交易市场：包括**虚拟电厂**在内的**各发电机组**按照一定的规则对调峰量进行交易的市場。

作用：

- 解决**调峰量分配**存在的问题，实现电能不同机组间的自调整。
- 促进电能资源的合理流动、优化电能资源配置。

电力维度：（2）参与高峰调峰交易机制

参与高峰调峰交易具体流程：



- 采用市场规则确定用电增削安排，以保证对各机组是公平、公正的
 - 促进电能资源的合理流动，提高社会总体效益

电力维度：（3）参与系统调频交易机制

调度机构直接购买方式

- 根据《两个细则》依托现有的调频辅助服务补偿规则，在认定虚拟机组的调频容量的基础上，赋予其调频机组的地位，计及容量、速率、精度等，按照常规机组标准对其补偿。

与常规机组的调频辅助服务替代交易

- 基于市场化方式由常规机组购买虚拟机组调频辅助服务；
- 将常规机组与虚拟机组捆绑，调度考核该常规机组的调频情况并给予补偿；



政策支持

- 2021年4月21日，国家发改委、国家能源局发布了《关于加快推动新型储能发展的指导意见（征求意见稿）》
- 2021年4月22日，国家能源局发布《2021年能源工作指导意见》
- 2021年4月25日，国家能源局综合司《关于报送“十四五”电力源网荷储一体化和多能互补工作方案的通知》

资料来源：据罗敏申公司网站整理
 资料来源：地方政策、电力调度服务市场
 地区：云南



主要内容

- 一 双碳目标对电力系统的要求与挑战
- 二 虚拟电厂中储能设备
- 三 储能典型商业模式
- 四 虚拟电厂参与电力交易
- 五 总结



五、总结

“双碳”目标是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，对于电力能源行业既是艰巨的挑战，也是难得的机遇。在电力系统中**大力发展可再生能源、显著提高电能在终端能源消费中比重**，从而提高能源利用效率、大幅降低能源消耗和碳排放量，成为“双碳”目标实现的重要保证。



五、总结

虚拟电厂具有**多样性、协同性、灵活性**等技术特点，能够有效聚合多层次级的分布式资源，满足新型电力系统**绿色低碳、灵活高效、多元互动、高度市场化**地运行需求，为实现“双碳”目标提供重要的技术支撑。



五、总结

- **储能**是虚拟电厂的重要设备，具有重要的作用；
- 储能的形式有多种，需要统筹规划；
- 虚拟电厂为储能作用的发挥提供了充分的**机制**。

