

# 虚拟电厂：以虚之电厂，行调节之效

## ——数字电网系列研究——




2022年11月29日

 分析师：殷中枢

执业证书编号：S0930518040004

联系人：刘满君

 证券研究报告

-  **虚拟电厂是电力系统灵活性调节能力的有效补充。**虚拟电厂通过数字化技术调用分散式的可调节资源，包括各类可调节负荷、分布式电源、储能等，形成对电力平衡的有效调节，是对存量资源的再次开发利用，成为解决新能源消纳问题的重要手段。根据发展阶段不同，可分为邀约型、交易型、自治型三类。
-  **虚拟电厂的收益包括需求侧响应、电能量交易、辅助服务。**目前虚拟电厂仍处于发展的早期阶段，已投运虚拟电厂的主要收益还是需求侧响应，本质是主动型有序用电，全年运行时间、调用次数较少，但单次调用的收入较高。进入电力现货交易、辅助服务交易的虚拟电厂较少，未来能否形成规模，高度依赖电力市场改革的进程，电力现货、辅助服务的市场机制直接影响虚拟电厂收益。
-  **虚拟电厂是分布式智能电网本地平衡控制的市场化实现。**未来电网是大电网与分布微电网的有机结合，自治型虚拟电厂除了参与大电网的互动，对本地电力的平衡与电力交易组织将发挥越来越大的作用，符合分布式电网就地电力平衡、区域分散管理的内在需求。同时，虚拟电厂作为电力用户的“供用电代理”，冷、热、电、气的综合能源服务将在未来用户能效管理与节能中拥有更大的发展空间。

## 政策变化风险

电力行业与国家宏观经济政策、产业政策以及国家电力规划有着密切联系，直接影响电力行业投资。

## 电力市场建设不及预期

电力市场建设受中央政府、地方政府、发电企业、电网企业多方影响，各省省情与市场基础不同，全国统一电力市场建设推进或受制约。

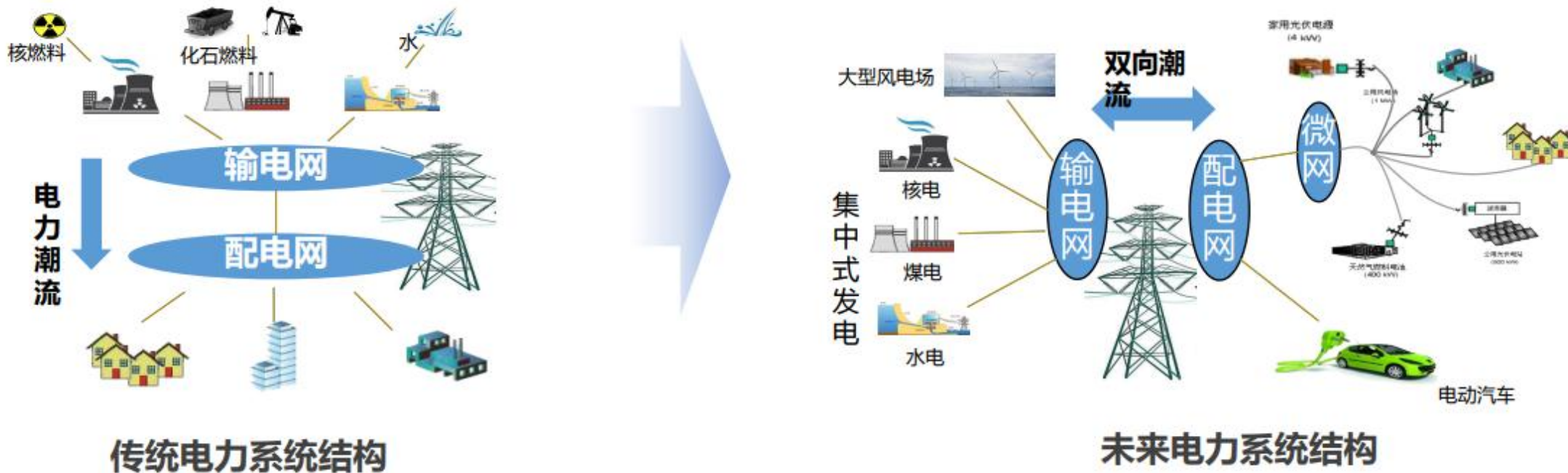
- ❑ 虚拟电厂背景与国内外实践
- ❑ 虚拟电厂技术路线
- ❑ 虚拟电厂盈利模式与发展趋势
- ❑ 风险分析

# 虚拟电厂提出的背景

## 新型电力系统，由“源随荷动”到“源荷互动”。

- ✓ 风电、光伏等可再生能源大规模并网，发电侧可控性变差
- ✓ 分布式电源容量小、数据多，分散通过低压配网并网，改变了传统集中式大规模受控发电的电力系统结构
- ✓ 大规模电动汽车随机接入电网，改变了电网潮流特性，电网行为更加随机

图1：电力系统结构变化示意

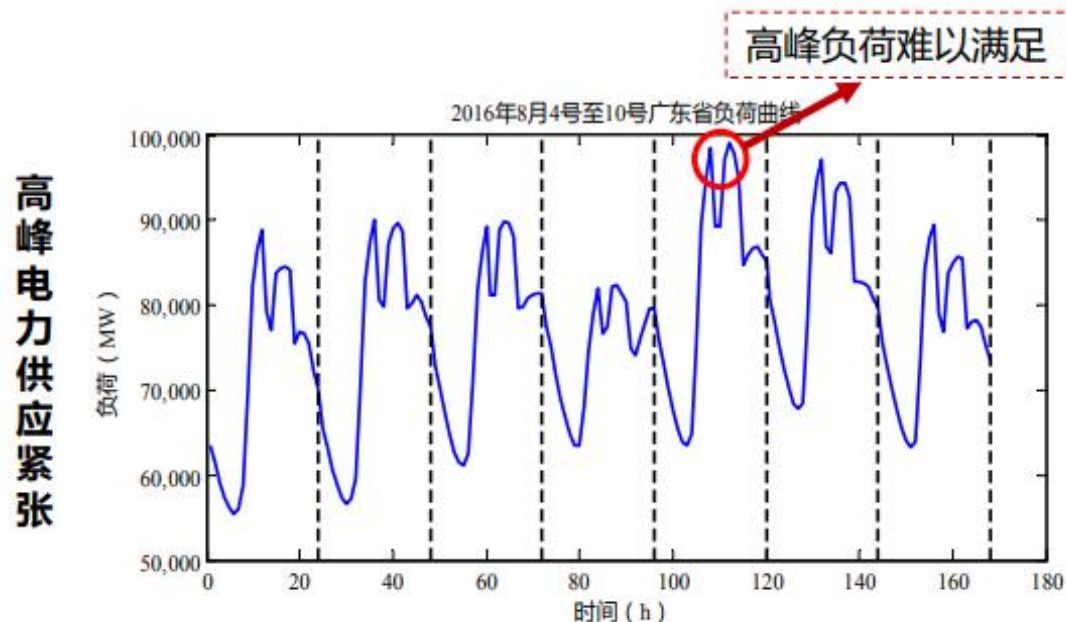


资料来源：曾凯文，《虚拟电厂的电网应用场景探讨》

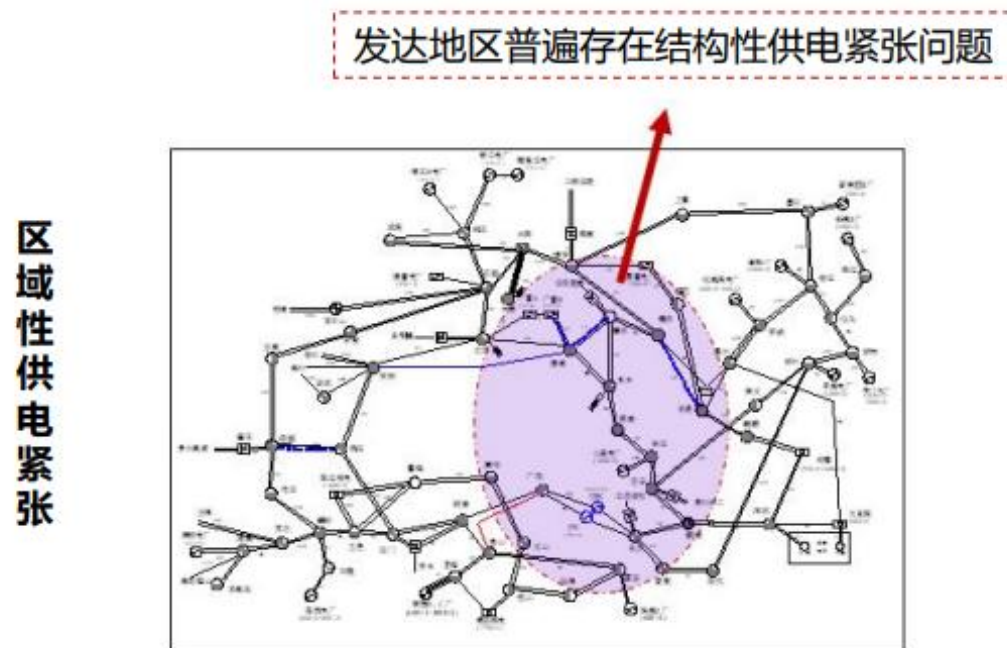
## 传统电网投资体现的是充裕度与安全性，满足负荷需求为第一要务

- ✓ 新型电力系统中，负荷双高峰，冬季高峰、夏季高峰，冷热这类温度敏感性负荷使得电网尖峰负荷“越来越尖”，但全年持续时间短，是否为了满足短时间的尖峰负荷进行冗余设计，从而提高系统成本？
- ✓ 城市配电网建设，遇到用地紧张，供电容量扩建成本高等问题，同时有区域结构性供电紧张，资源利用率低的问题。

图2：电力系统供电紧张问题示意



资料来源：曾凯文，《虚拟电厂的电网应用场景探讨》





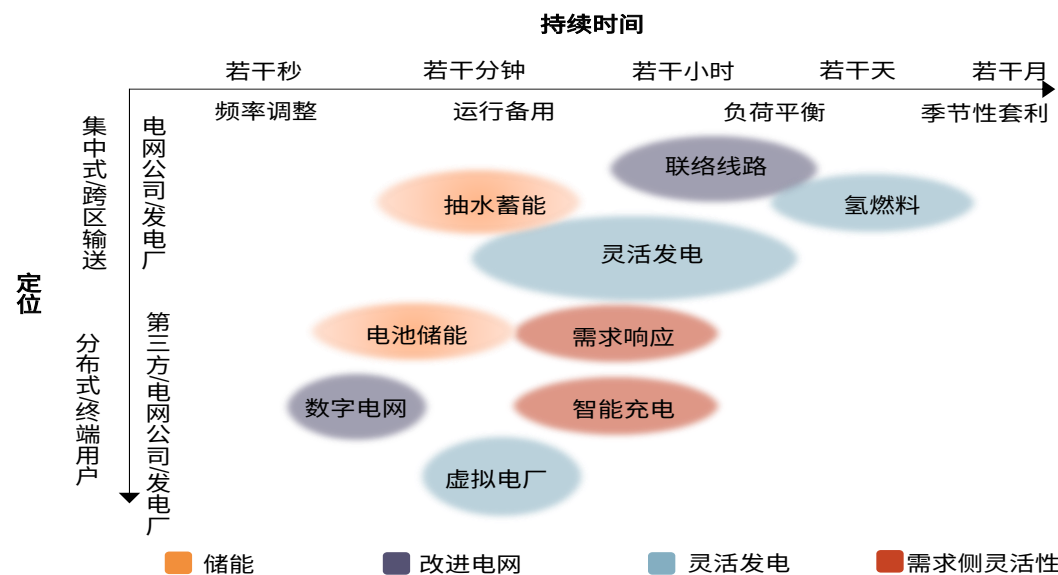
**系统能否在高比例波动可再生能源的情况下灵活运行，是电力系统转型的核心，且对于确保现代电力系统的安全性至关重要。**

电力系统灵活运行能力主要是指电力系统能够可靠且经济有效地应对全时间尺度的供需平衡变化和不确定性，从而确保电力系统瞬时稳定性、并支持长期供电安全。系统调节能力不足会降低电力系统的稳定性，或产生大量的弃电。电力系统灵活运行能力既来自电力供给侧，还可以通过电网基础设施，需求侧响应和电力存储来提供系统运行调节能力。**在具有较高波动性可再生能源占比的电力系统中，发电侧以外的其他系统组成提供的系统灵活性极为关键。**

表1: 灵活性提升手段比较

提升手段	优势	不足
火电灵活性改造	<ul style="list-style-type: none"> <li>单位调节容量投资小，调峰能力提升显著</li> <li>配合检修同步进行，周期短见效快</li> <li>改造的技术方案成熟，提升空间大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>配套政策与机制依赖性较高</li> <li>响应调节速度慢，冷启动需5小时</li> </ul>
抽水蓄能电站	<ul style="list-style-type: none"> <li>启动速度快</li> <li>不仅提升灵活性，还能作为事故备用和黑启动电源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>抽发损失 25%，使用成本高</li> <li>地理条件受限</li> </ul>
电化学储能站	<ul style="list-style-type: none"> <li>全自动化控制，响应快速</li> <li>控制精度高，可全容量调节</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>缺乏转动惯量，不利于控制电网频率</li> <li>前期投资高，性价比较低</li> <li>目前尚不具备大规模建设条件</li> </ul>
需求侧响应	<ul style="list-style-type: none"> <li>潜力大</li> <li>前景好</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>价格信号传导机制形成需要较长时间</li> <li>提升效果存在不确定性</li> <li>需求侧资源可控性相对较差</li> <li>响应效果难以精确计量，有争议</li> </ul>

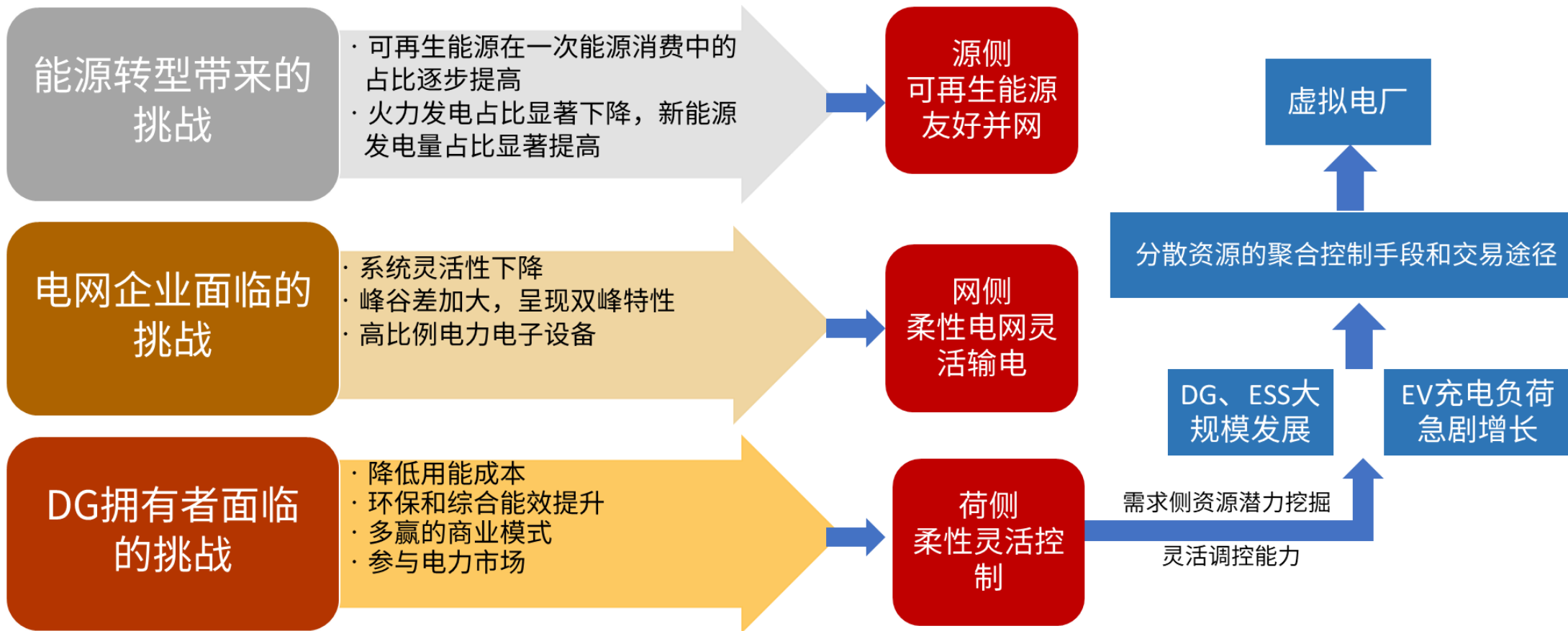
图3: 系统灵活性运行资源



资料来源:《火电机组灵活性改造的激励机制研究》张晶等,《中国电力系统灵活性的多元提升路径研究》袁家海教授课题组,光大证券研究所

资料来源: IEA,《中国电力系统转型》

图4：高比例可再生能源接入带来的挑战



资料来源：恒华科技，《综合能源服务的内涵与外延》，光大证券研究所



# 虚拟电厂定义

定义：依托互联网和现代信息通讯技术，把**分布式电源、储能、负荷**等分散在电网的各类资源相聚合，进行**协同优化运行控制**和**市场交易**，实现电源侧的**多能互补**、负荷侧的**灵活互动**，对电网提供**调峰、调频、备用**等辅助服务。

核心要素：分布式资源、聚合、优化控制

关键词：电厂、聚合、价值

图5：虚拟电厂与真实电厂的比较

	调节手段	电能量市场	辅助服务市场	容量市场	调节资源
虚拟电厂	调增出力、 调减负荷	负荷削峰为 主，可参与 电力市场	以调峰为主， 能力可拓展	容量补偿	分布式电源、储能、 充电桩、可调节负荷
电厂	调节出力	中长期、现 货电力交易	调峰、调频、 备用、调压 等	容量补偿	火电厂、风电、光伏

资料来源：国家电网，光大证券研究所

从全球来看，虚拟电厂在欧美发达国家发展已经形成一定规模，亚太地区虚拟电厂需求将进一步增长。咨询机构P&S预计，全球虚拟电厂市场将从2016年的1.92亿美元增长至2023年的11.88亿美元，年均复合增长率超30%。

据国家电网测算，若通过建设煤电机组满足其经营区5%的峰值负荷需求（2020年国网区域最大负荷约8.75亿千瓦，5%即4375万千瓦），电厂及配套电网投资约4000亿元；若建设虚拟电厂，建设、运维和激励的资金规模仅为400亿~570亿元，折合900~1300元/千瓦。

图6：虚拟电厂调度场景比较



## 虚拟电厂发展阶段：



图7：虚拟电厂的三个阶段

阶段	颁发主体	主要特征	目的	工具	场景	对象	市场关键主体
第一阶段	邀约型	通过需求响应激励资金池推动	削减峰荷	需求响应	供冷供热	用电单位	政府机构
第二阶段	交易型	通过电力交易引导主体加入电力市场	电力平衡	现货市场	调峰调频	发电企业	交易机构
第三阶段	自治型	通过信息强化市场主体参与力度	能源改革	智能算法	有源负荷	产销用户	运营机构

资料来源：璞跃中国，光大证券研究所整理

# 虚拟电厂相关政策

表2：虚拟电厂相关政策

时间	颁发主体	政策文件名称	主要内容
2022.01	国家发改委 国家能源局	《“十四五”现代能源体系规划》 (发改能源[2022]210号)	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)能量互动等各类资源聚合的虚拟电厂示范
2022.01	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》(发改能源[2022]206号)	拓宽电力需求响应实施范围,通过多种方式挖掘各类需求侧资源并组织其参与需求响应,支持用户侧储能、电动汽车充电设施、分布式发电等用户侧可调节资源,以及负荷聚合商、虚拟电厂运营商、综合能源服务商等参与电力市场交易和系统运行调节
2022.01	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》(发改体改[2022]118号)	引导各地区根据实际情况,建立市场化的发电容量成本回收机制,探索容量补偿机制、容量市场、稀缺电价等多种方式,保障电源固定成本回收和长期电力供应安全。鼓励抽水蓄能、储能、虚拟电厂等调节电源的投资建设
2021.07	国家发改委 国家能源局	《关于加快推动新型储能发展的指导意见》(发改能源规[2021]1051号)	鼓励聚合利用不间断电源、电动汽车、用户侧储能等分散式储能设施,依托大数据、云计算、人工智能、区块链等技术,结合体制机制综合创新,探索智慧能源、虚拟电厂等多种商业模式
2021.03	国家发改委 国家能源局	《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》(发改能源规[2021]280号)	充分发挥负荷侧的调节能力。依托“云大物移智链”等技术,进一步加强源网荷储多向互动,通过虚拟电厂等一体化聚合模式,参与电力中长期、辅助服务、现货等市场交易,为系统提供调节支撑能力
2015.07	国家发改委 国家能源局	《关于促进智能电网发展的指导意见》(发改运行[2015]1518号)	依托示范工程开展电动汽车智能充电服务、可再生能源发电与储能协调运行、智能用电一站式服务、虚拟电厂等重点领域的商业模式创新

资料来源：国家发改委、能源局，光大证券研究所整理

请务必参阅正文之后的重要声明

# 虚拟电厂相关政策

表2：虚拟电厂相关政策（续）

时间	颁发主体	政策文件名称	主要内容
2022.01	天津市工业和信息化局	《天津市2022年电力需求响应实施细则》	加强需求响应中心运营能力建设，并研究整合相关技术力量，更好支撑我市做好新形势下电力需求侧管理工作，持续完善升级技术支撑平台， <b>开展新型电力负荷管理系统建设，助推我市加快推进虚拟电厂建设工作。</b>
2022.02	河南人民政府	《河南省“十四五”现代能源体系和碳达峰碳中和规划》	<b>布局建设一批能源云平台、智能电站、虚拟电厂、分布式能源站、储能示范项目，推进能源全领域、全环节智慧化发展。</b>
2022.02	内蒙古自治区人民政府	《内蒙古自治区“十四五”能源发展规划》	<b>鼓励聚合可调节负荷资源、储能和分布式新能源，发展供需智能互动的虚拟电厂，促进新能源消纳利用；鼓励聚合蓄热式电锅炉、智慧楼宇、智能家居、用户侧储能、工商业负荷等可调资源，推动综合能源服务、辅助服务供应商、能源聚合商等多元主体参与电力辅助服务市场化交易，打造虚拟电厂生态体系，提升电力系统灵活性调节能力，到2025年，构建最大负荷3%的需求响应资源库。</b>
2022.04	河北省发展和改革委员会	《河北省“十四五”新型储能发展规划》	到2025年，全省布局建设新型储能规模400万千瓦以上，实现新型储能从商业化初期向规模化发展转变，具备规模化商业化应用条件； <b>加快推动源网荷储融合建设，鼓励电网企业联合社会资本建设以大规模共享储能为支撑的区域性虚拟电厂。</b>
2022.04	广东电力交易中心	<b>《广东省市场化需求响应实施细则（试行）》</b>	建立以市场为主的需求响应补偿机制，引入有资源聚合管理能力的负荷聚合商，拓宽电力需求响应实施范围， <b>逐步形成年度最大用电负荷5%的响应能力，发挥需求侧资源削峰填谷、促进电力供需平衡和适应新能源电力运行的作用。</b>
2022.05	湖北省人民政府	《湖北省能源发展“十四五”规划》	推动电动汽车、氢燃料电池、智慧节能建筑等能源与交通、建筑领域的跨界融合， <b>探索推广V2G、商业储能、虚拟电厂、“光伏+”等新型商业模式。</b>
2022.05	北京市人民政府	《北京市“十四五”时期能源发展规划》	提高电力需求侧响应能力。发挥电力在能源互联网中的纽带作用，挖掘需求响应资源， <b>聚集大型商务楼宇、电动汽车和储能设施等资源，建设虚拟电厂。</b>
2022.06	上海市发改委	《上海市数字经济发展“十四五”规划》	发展“虚拟电厂”新业态，利用先进的计量、通信、控制等技术，对分布式异构能源进行聚合，实现自动化远程调度、精准化智能分析和便捷化市场交易， <b>推动构建“技术+产品+运营+生态”的“虚拟电厂”产业链条；</b> 加快构建以零碳能源为基础的区域性电能集中管理模式， <b>建立城市级“虚拟电厂”和能源互联网中心</b> ，聚合分布式光伏、风电等泛在可调资源，推动传统“源随荷动”调度模式转变为“源荷互动”新模式，实现绿色电力就近最大消纳，打造零碳能源产业新生态。
2022.07	上海市人民政府	《上海市碳达峰实施方案》	完善用电需求响应机制， <b>开展虚拟电厂建设，引导工业用电大户和工商业可中断用户积极参与负荷需求侧响应</b> ，充分发挥全市大型公共建筑能耗监测平台作用，深入推进黄浦建筑楼宇电力需求侧管理试点示范，并逐步在其他区域和行业推广应用。



# 虚拟电厂相关政策

表2：虚拟电厂相关政策（续）

时间	颁发主体	政策文件名称	主要内容
2022.06	深圳发改委	《 <b>深圳市虚拟电厂落地工作方案（2022-2025年）</b> 》	到2025年，深圳将建成具备100万千瓦级可调能力的虚拟电厂；深圳虚拟电特色应用初具成效，智能有序充电技术成为主流模式，新能源汽车与电网双向能量互动商业模式取得突破；源网荷储一体化发展取得显著成效，用户侧可调资源响应及聚合能力大幅提升， <b>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；虚拟电厂参与市场化交易机制不断完善</b> ，产业生态初步形成，孵化培育批国内领先的负荷聚合商和核心零部件研发制造企业。
2022.06	浙江省发展和改革委员会、浙江省能源局	《浙江十四五》新型储能发展实施方案》	依托大云物移智链等技术，探索智慧能源、虚拟电厂、电动汽车有序充电等多种商业模式，提高用能质量、降低用能成本；依托大数据、云计算、人工智能、区块链等技术， <b>开展储能多功能复用、需求侧响应、虚拟电厂等领域先进能源技术融合应用示范。</b>
2022.06	浙江发改委	《浙江省循环经济发展“十四五”规划》	要加快新型电力系统建设，建设多元融合高弹性电网， <b>积极建设虚拟电厂、源网荷储等示范项目，提升电网设施智能化调度运行水平。</b>
2022.06	山西能源局	《 <b>山西省虚拟电厂建设与运营管理实施方案</b> 》	方案中明确了虚拟电厂的类型、意义、入市流程、技术规范、运营模式等，将虚拟电厂分为负荷类和源网荷储一体化两种类型， <b>“负荷类”虚拟电厂参与中长期、现货及辅助服务市场，“一体化”虚拟电厂参与现货及辅助服务市场</b> ，后期视电力市场发展情况适时进行调整；虚拟电厂可基于省级智慧能源综合服务平台建设技术支持系统，也可以独立建设技术支持系统，但应接入省级智慧能源综合服务平台，统一运营管理。
2022.07	江西省人民政府	《江西省碳达峰实施方案》	大力提升电力系统综合调节能力，加快灵活调节电源建设， <b>引导自备电厂、传统高载能工业负荷、工商业可中断负荷、电动汽车充电网络、虚拟电厂等参与系统调节，建设坚强智能电网。</b>
2022.07	青海省发展和改革委员会、青海省能源局	《青海省关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》	支持蓄热电锅炉、用户侧储能、电动汽车充电设施、分布式发电等用户侧可调节资源，以及 <b>负荷聚合商、虚拟电厂运营商、综合能源服务商等参与电力市场交易和系统运行调节</b> ，提升负荷参与电力需求侧响应能力，发挥需求侧资源削峰填谷、促进新能源消纳作用，确保电力供需平衡。
2022.08	吉林省人民政府	《吉林省碳达峰实施方案》	大力提升电力系统综合调节能力，加快灵活调节电源建设， <b>引导自备电厂、传统高载能工业负荷、工商业可中断负荷、电动汽车充电网络、虚拟电厂等参与系统调节，建设坚强智能电网。</b>
2022.09	内蒙古自治区能源局	《内蒙古自治区关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的实施意见》	完善落实储能、氢能、需求侧、虚拟电厂、源网荷储、多能互补等能源新技术、新模式的支持政策；积极培育综合能源服务商、电储能企业、负荷集成商等新兴市场主体。 <b>研究独立储能电站、需求侧响应主体、虚拟电厂等做为市场主体平等参与市场交易相关事宜。</b>
2022.10	黑龙江省住房和城乡建设厅	《黑龙江省城乡建设领域碳达峰实施方案》	优化建筑用能结构，推广建筑光伏一体化应用， <b>推动智能微电网、光储直柔、蓄冷蓄热、负荷灵活调节、虚拟电厂等技术应用</b> ，优先消纳可再生能源电力，主动参与电力需求侧响应。



2008年，德国联邦经济和技术部启动了“E-Energy”计划，目标是建立一个能基本实现自我调控的智能化的电力系统，而其中虚拟电厂和需求侧管理是重点。德国联邦经济技术部通过技术竞赛选择了6个试点项目。其中eTelligence是一个虚拟电厂研究项目，于2008年至2012年执行。该项目中虚拟电厂将分布式电源与可控负荷聚合在一起，可以减少由于预测错误导致的15%的出力不平衡，降低电力购买费用。德国虚拟电厂助力解决分布式电源并网和参与市场交易，有利于大规模分布式可再生能源的平衡消纳，并提升电力系统稳定性，以及避免用电峰值增加导致的电网扩容。

表3：德国虚拟电厂分类

独立虚拟电厂运营商	电力公司的虚拟电厂运营商	装备制造商的虚拟电厂运营商
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 拥有信息和通信技术知识或能源管理技术，不具有分布式能源资源，不从事电力供应业务，通常通过参与电力市场获取收益。德国独立运营商的聚合规模相对较大。</li><li>✓ Next Kraftwerke、GETEC Energie、Entelios等三家独立运营商聚合规模已经分别达到9016兆瓦、3000兆瓦以上、1000兆瓦以上。（引用文章数据）</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 具有发电资源、用户负荷资源。他们将自己的分布式能源资源聚合到虚拟电厂中。作为平衡基团责任方，此类运营商可以利用灵活性资源以满足用电客户需求，从而无需在日间市场购电或售电，或为平衡电力付费。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 尤其是小规模分布式能源设备的制造商。他们主要将其业主的分布式能源资源聚合到虚拟电厂中。</li></ul>

资料来源：霍沫霖等，《电力市场机制建设是虚拟电厂发展的基础（2022/10）》，光大证券研究所整理

表4：国外虚拟电厂企业介绍

公司名称	资源类型	运营范围	管理规模	技术优势
Next Kraftwerke (被壳牌收购)	可再生能源、工商业用户、储能	欧洲，同时为日本、韩国、英国、斯洛伐克、荷兰等国的项目中提供IT技术方案。	11182 MW (2022.Q3) 2020年销售收入5.95亿欧元，管理的资源是9000MW，销售收入就是6.61万欧元/MW，假设可调节资源是电化学储能，按人民币1.8元/Wh、两小时储能测算，折合46.8万欧元/MW投资测算，静态回收期在7年左右。	Next Kraftwerke自主开发了 NEMOCS，一个基于SAAS的模块化设计的软件，使VPP能够连接、监控和控制DER（分布式能源）、用户和存储系统，以高频率和最精确的方式显示和记录当前输入和资产状态的实时信息。
特斯拉 (与PG&E合作)	储能	美国、澳大利亚	将有5万个Powerwall用户符合补贴条件，累计500MWh的能源容量可以在电力紧急状况下调配。每一次电力调度，向用户支付2美元每kWh的报酬激励，平台共有10-60美元的收入。	特斯拉以优质的分布式资源作为切入点，依托自家的大型储能系统（Megapack、Powerpack）、家庭光储一体（Powerwall、Solar Roof）、电动汽车充电网络等优势。 特斯拉在全球范围统一部署分布式管理平台Autobidder，它是一套能源资产实时交易和控制平台，该产品具备价格预测、负荷预测、发电量预测、智能竞价及优化调度等功能，能够向用户提供虚拟电厂服务，聚合负荷资源参与能量交互响应。 Autobidder主要突破有两点。其一采用开源协议架构，而不是传统电力系统的IEC协议或者工业自动化协议，降低了准入门槛和成本，能够吸引更多市场主体参与分布式能源。其次是以市场为导向，实施基于价格信号的动态优化，可以凸显用户侧价值，持续激励引导用户接入。
Limejump (被壳牌收购)	分布式能源、储能	英国	1100MW分布式能源、400MW储能	功率预测与电力市场交易

资料来源：各公司官网，光大证券研究所整理

我国虚拟电厂发展处于试点示范应用阶段。“十三五”期间，我国江苏、上海、河北、广东等地相继开展了虚拟电厂项目试点。如江苏省于2017年投运负荷型虚拟电厂；上海市于2017年建成黄浦区商业建筑虚拟电厂示范工程；冀北地区建设聚合了分布式光伏、空气源热泵、民用及工业空调机组、电动汽车充电站等的虚拟电厂，并参与了华北辅助服务市场进行调峰。

表5：中国虚拟电厂典型案例

地区	主要场景	试点项目	主要响应资源	特点
江苏	需求响应、新能源消纳等	"大规模源网荷友好互动系统"大规模源网荷示范工程、	可中断/可调节负荷	源-网-荷控制系统,国内规模最大
浙江	需求响应、削峰填谷等	丽水虚拟电厂宁海虚拟电厂试点项目、宁波离网光储系统式虚拟电厂等	储能设施、充电桩、居民、楼宇等	国内单次响应体量最大
上海	商业楼宇能源管理、削峰填谷等	城区(黄浦)商业建筑需求侧管理示范项目、虚拟电厂运营项目试点等	工商业负荷、储能等	以商业楼宇为主的虚拟电厂体系
冀北	新能源消纳、需求响应等	冀北泛在电力物联网虚拟电厂示范工程等	光伏、电采暖等	多主体参与

图8：冀北虚拟电厂示意



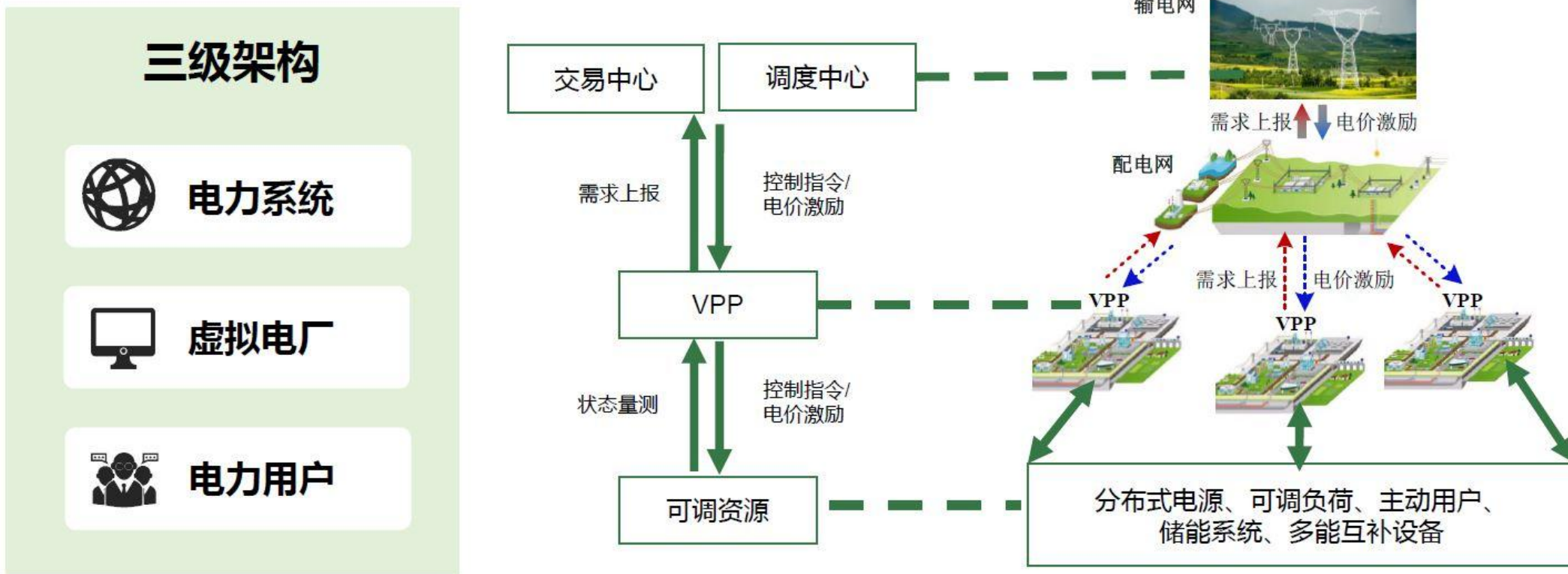
资料来源：36氪，《2022年中国虚拟电厂行业洞察报告》，光大证券研究所整理

资料来源：国家电网，光大证券研究所整理

- ❑ 虚拟电厂背景与国内外实践
- ❑ 虚拟电厂技术路线
- ❑ 虚拟电厂盈利模式与发展趋势
- ❑ 风险分析

## ■ 电力系统和分布式资源之前的桥梁

图9：虚拟电厂架构



资料来源：王宣元等，《虚拟电厂的研究、设计、建设与运营》





## ■ 参与虚拟电厂的市场主体

- ✓ 市场主体
- ✓ 市场运营机构，调度中心、交易中心
- ✓ 电网企业



## 交易中心、调度中心、需求响应中心

- 组织电力市场主体参与市场化交易，交易信息发布、交易结果审批；
- 合理安排电网运行方式，按照市场规则和调度规程执行调度计划；
- 组织聚合商和虚拟电厂参与辅助服务、辅助服务资源管理、辅助服务指令分解下发；
- 组织聚合商和虚拟电厂参与需求响应，管理需求响应资源、需求响应能力分析、需求响应指令分解下发、有效性认定、补贴计算；
- 各平台用户注册、审批及管理



## 含虚拟电厂的聚合商

- 注册和管理分布式能源、储能设备、电动汽车充电桩、可调负荷
- 代理参与辅助服务、辅助服务申报
- 代理参与需求响应，需求响应申报、需求响应档案管理
- 代理参与市场化交易，包括电能量市场和辅助服务市场，交易申报、交易结果查询
- 监测分布式能源、储能设备、电动汽车充电桩、可调负荷，并向其发送调控指令
- 进行发电分析、运行分析、用能分析、能效分析等



## 分布式电源+储能+电动汽车

- 向聚合商和虚拟电厂提供分布式能源信息
- 电能量交易、辅助服务、需求响应执行，查看交易和响应档案



## 可控负荷+储能+电动汽车

- 向聚合商和虚拟电厂提供用户和设备信息
- 电能量交易、辅助服务、需求响应执行，查看交易和响应档案
- 用能



## ■ 虚拟电厂运行商

- 负责与不同DER运行商协调信息，确定各DER运行商的分摊价格并向电网报价

## ■ 电网管理者

- 与VPP运行商交互发电计划等信息，负责市场监管

## ■ 不可控DER运行商

- 可自由参与或退出VPP，按照可再生能源上网价格全额上网

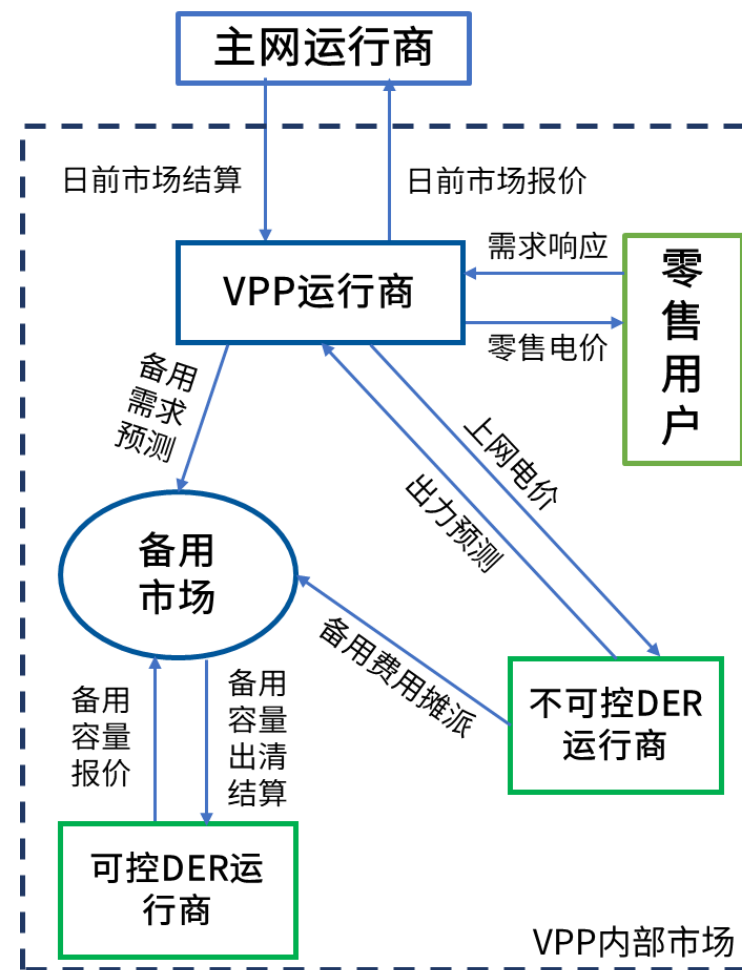
## ■ 可控DER运行商

- 可作为备用资源为不可控DER提供备用服务，通过互补运行，缓解发电间歇性

## ■ 零售用户

- 直接与VPP运行商签订零售协议，按照固定或可变电价从VPP购买电量，向VPP提供需求响应

图10：虚拟电厂运营机制



资料来源：清华大学，《虚拟电厂市场运营机制与价值分配》

## ■ 虚拟电厂的市场运营体系

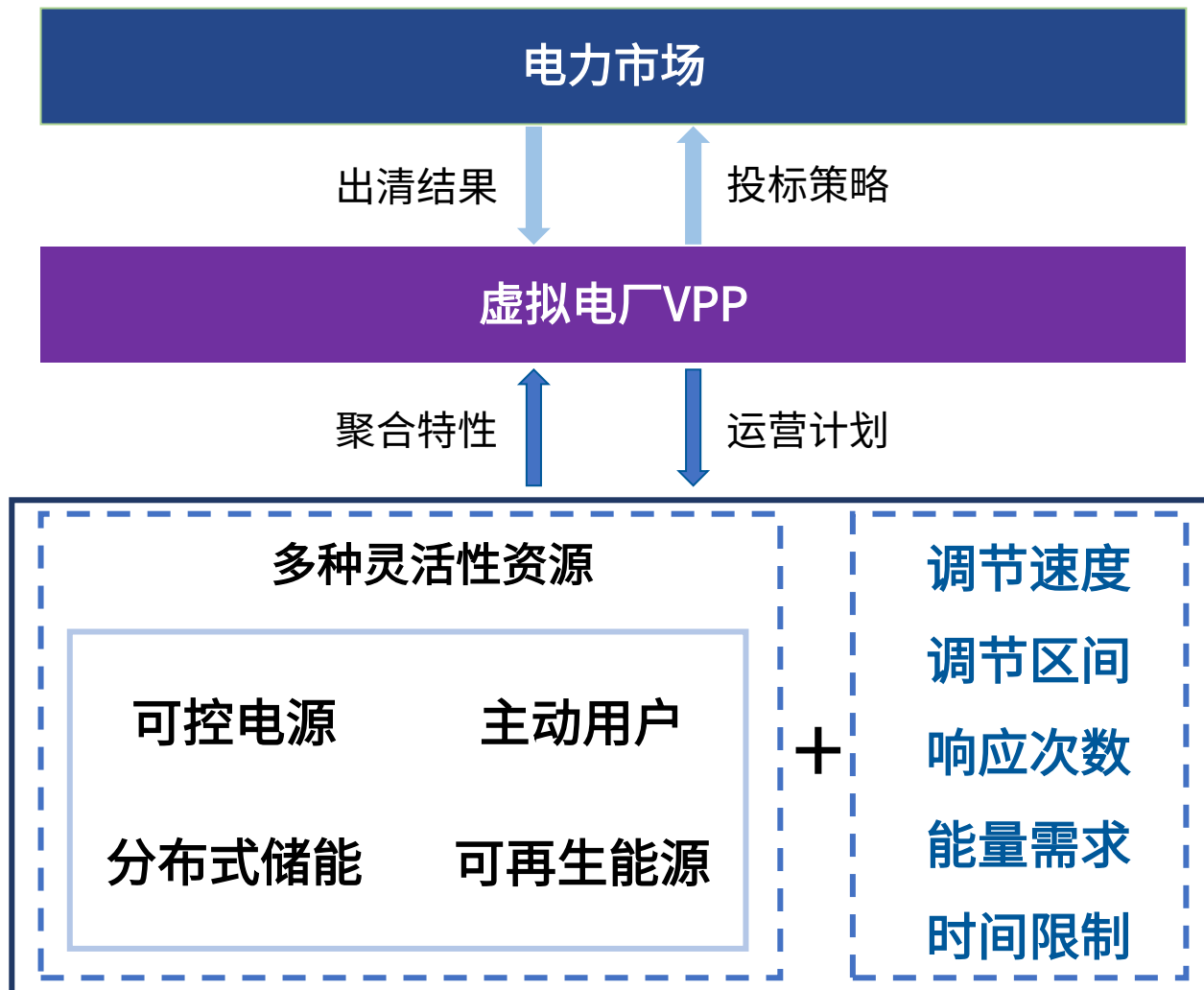
### ■ VPP-电力市场（对外）

- VPP与电力市场间的交易机制
- VPP与电力市场间的运营模式

### ■ VPP-灵活性资源（对内）

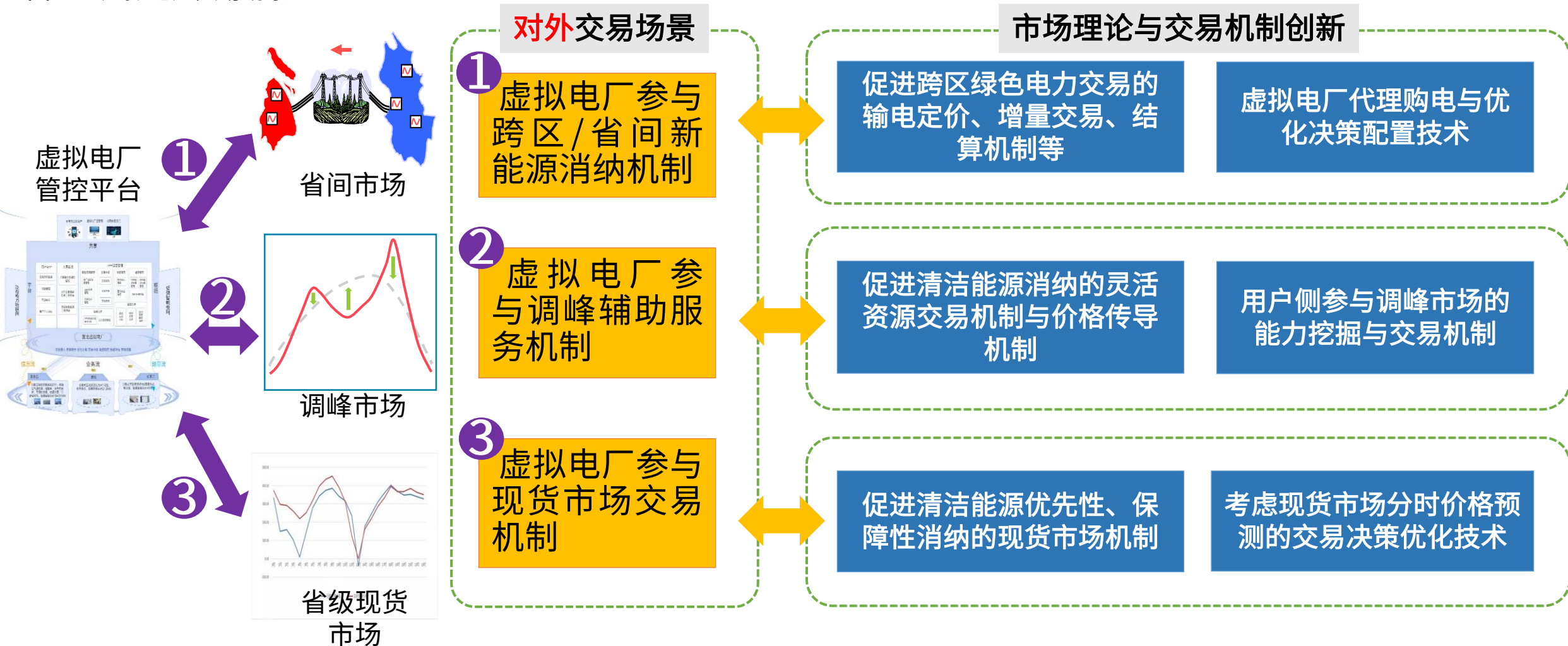
- VPP对资源的商业运营
- VPP内部的效益分配机制

图11：虚拟电厂运营体系



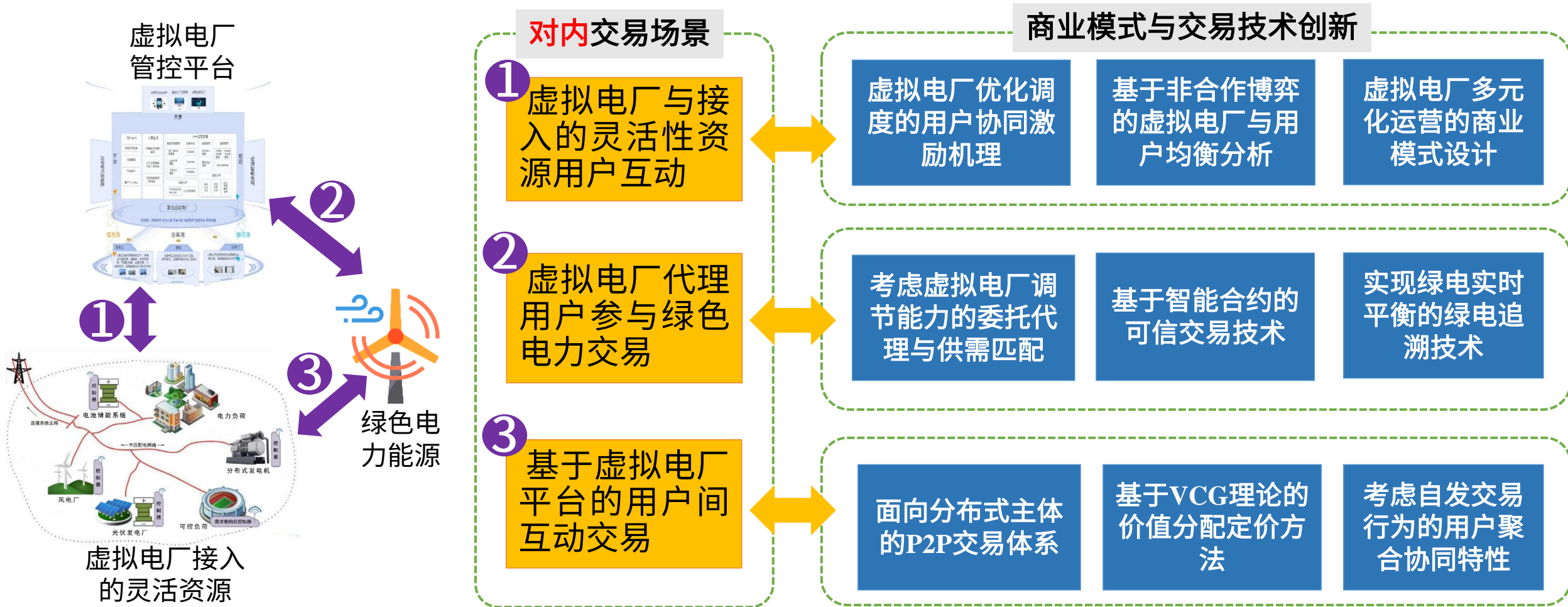
# 虚拟电厂运营机制

图12：虚拟电厂交易场景



资料来源：清华大学，《虚拟电厂市场运营机制与价值分配》  
请务必参阅正文之后的重要声明

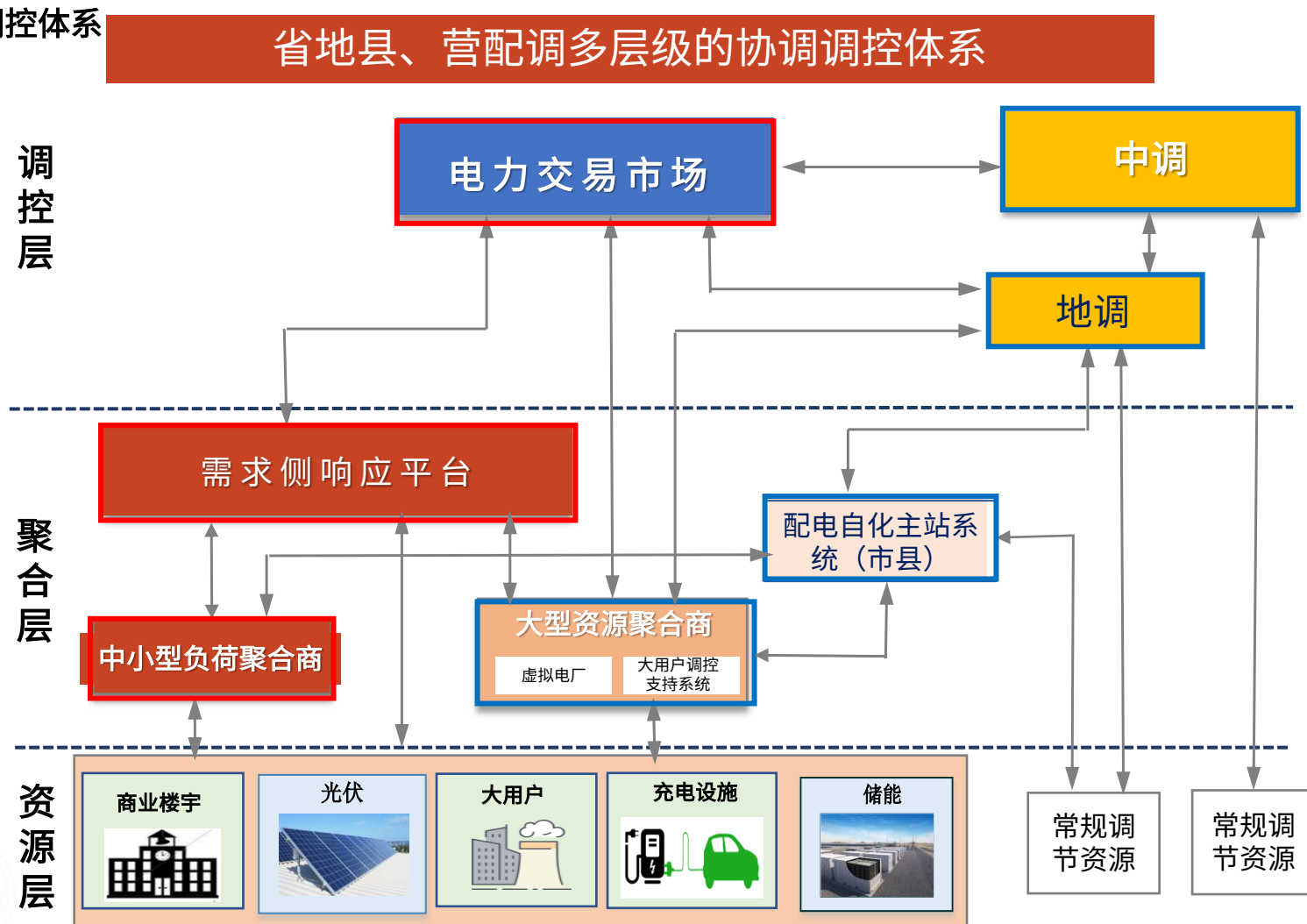
图13：虚拟电厂交易场景



资料来源：清华大学，《虚拟电厂市场运营机制与价值分配》  
请务必参阅正文之后的重要声明

# 包含虚拟电厂聚合商的调控体系

图14：包含虚拟电厂的调控体系

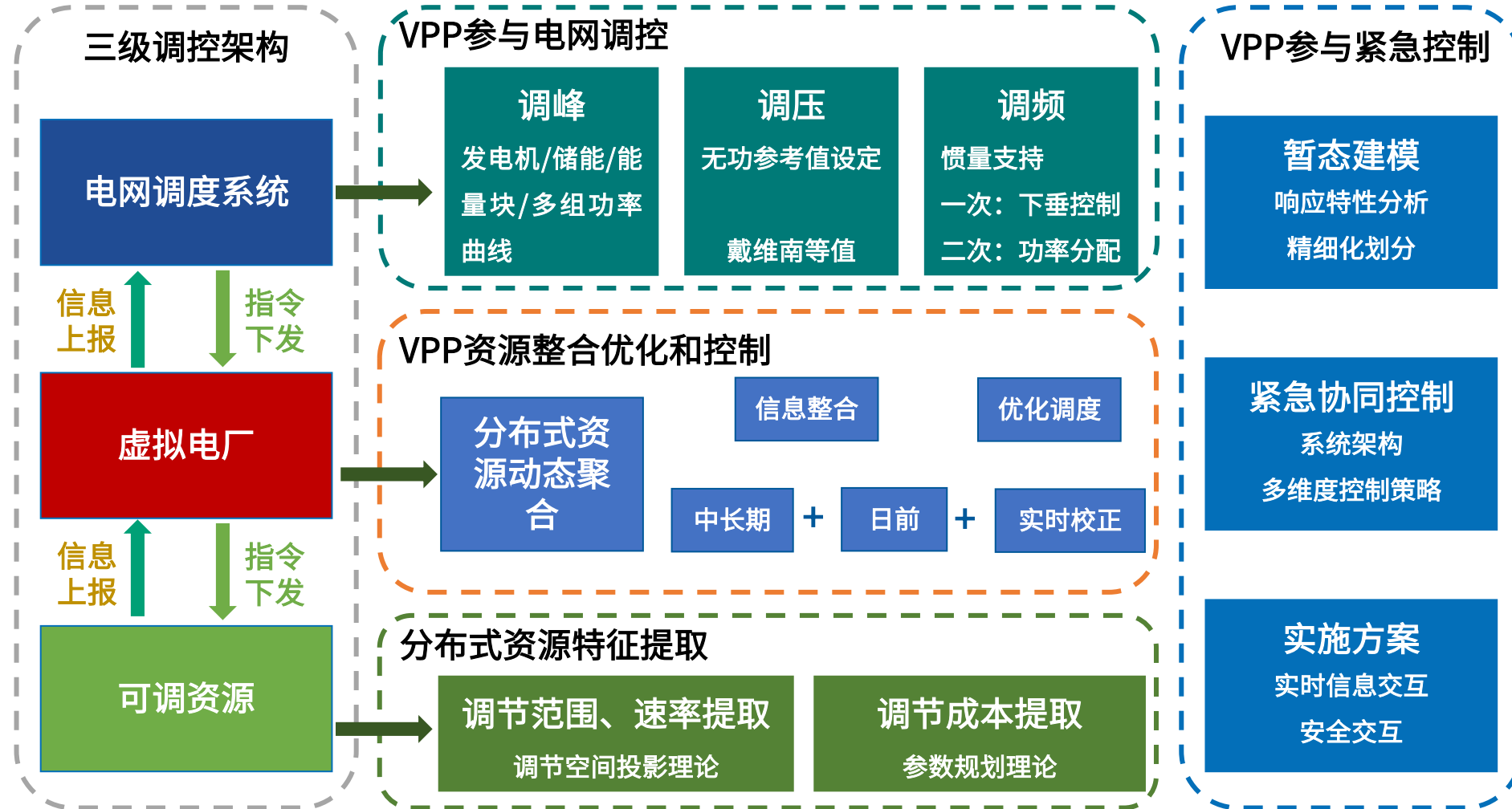


资料来源：东方电子，《虚拟电厂及需求响应试点建设整体解决方案》

请务必参阅正文之后的重要声明

# 包含虚拟电厂聚合商的调控体系

图15：虚拟电厂是电力系统和分布式资源之间的桥梁



资料来源：清华大学，《虚拟电厂市场运营机制与价值分配》  
请务必参阅正文之后的重要声明



# 虚拟电厂运行关键技术

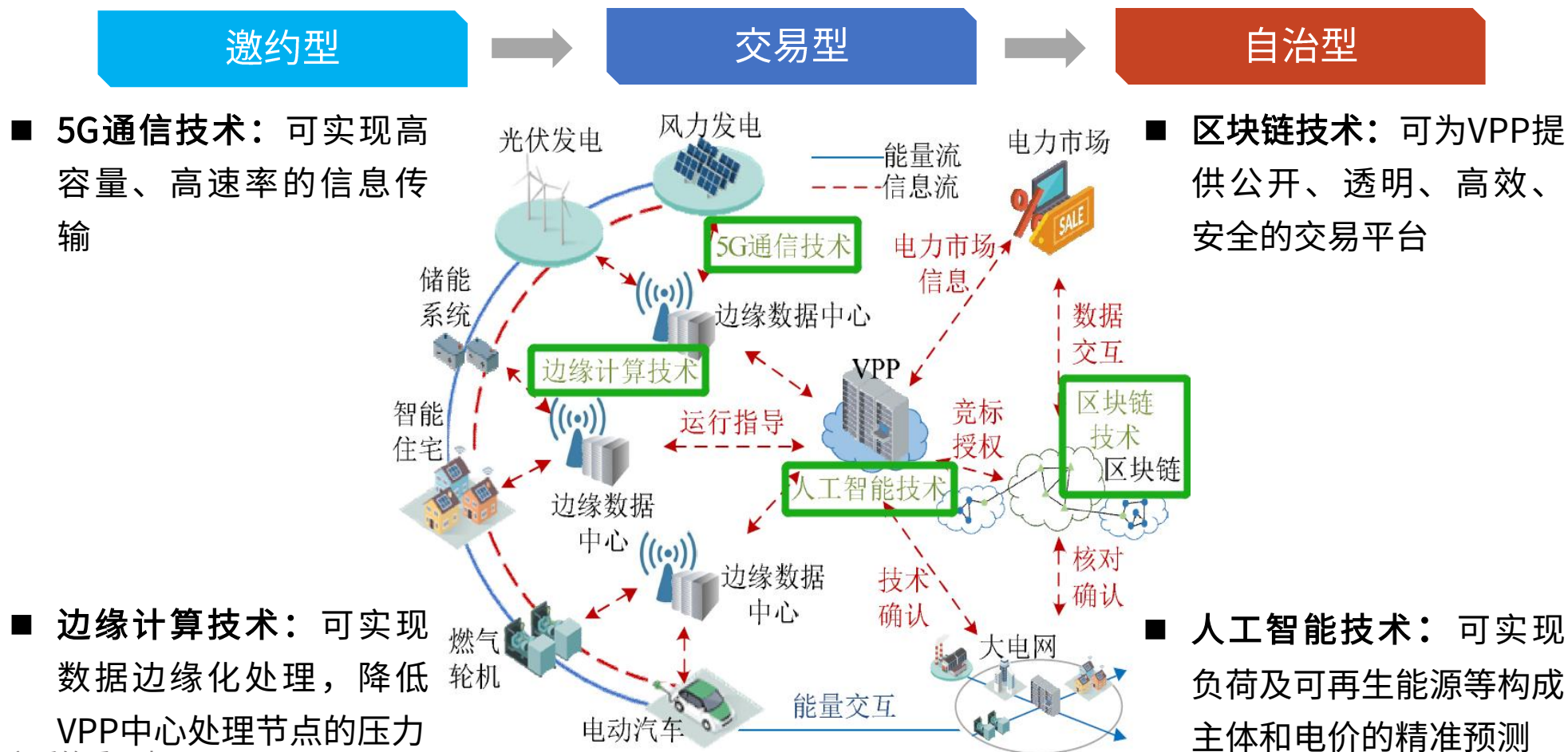
图16: 虚拟电厂运行关键技术



# 虚拟电厂中的信息技术

虚拟电厂+新一代信息技术：虚拟电厂的运营过程，涉及主体感知、信息传输、优化决策及市场交易等阶段，采用新兴信息技术，有助于运营能力的提升

图17：虚拟电厂是电力系统和分布式资源之间的桥梁



■ **5G通信技术**：可实现大容量、高速率的信息传输

■ **区块链技术**：可为VPP提供公开、透明、高效、安全的交易平台

■ **边缘计算技术**：可实现数据边缘化处理，降低VPP中心处理节点的压力

■ **人工智能技术**：可实现负荷及可再生能源等构成主体和电价的精准预测

请务必参阅正文之后的重要声明

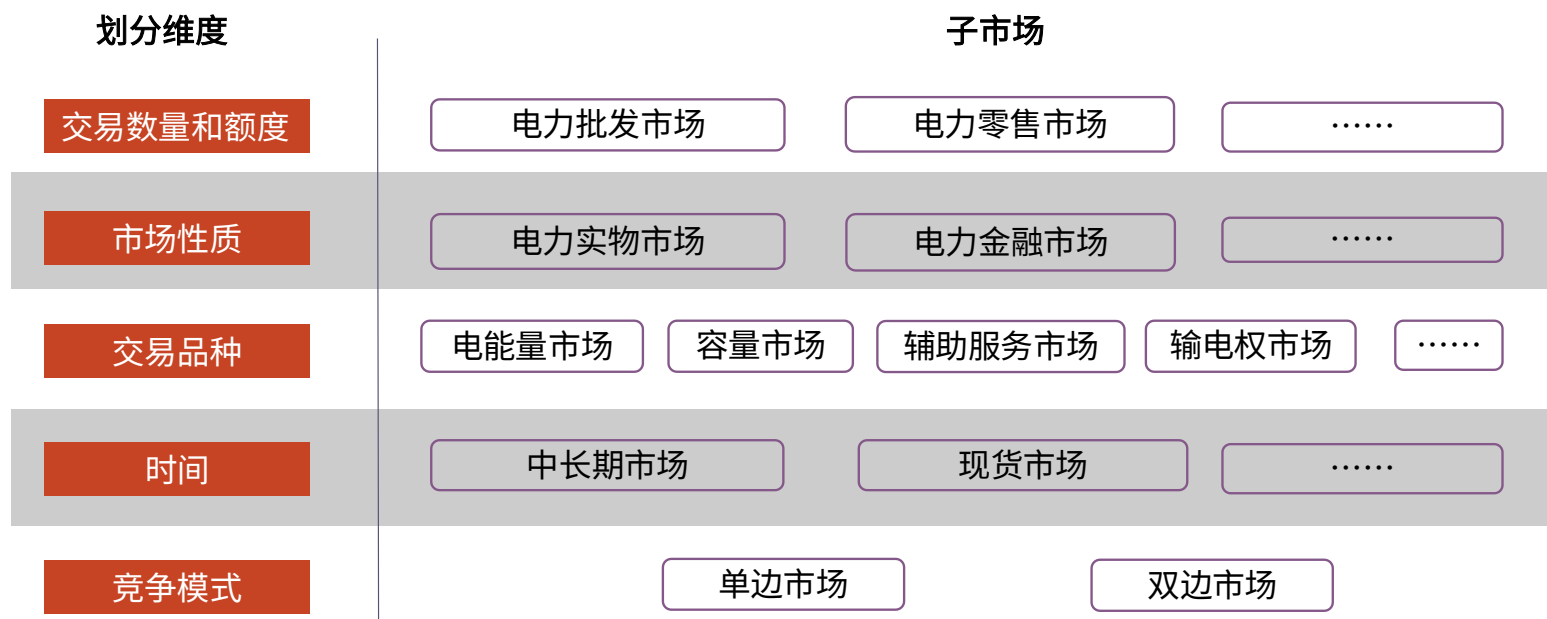
资料来源：清华大学，《虚拟电厂市场运营机制与价值分配》

- ❑ 虚拟电厂背景与国内外实践
- ❑ 虚拟电厂技术路线
- ❑ 虚拟电厂盈利模式与发展趋势
- ❑ 风险分析

# 虚拟电厂发展依赖电力市场机制的完善

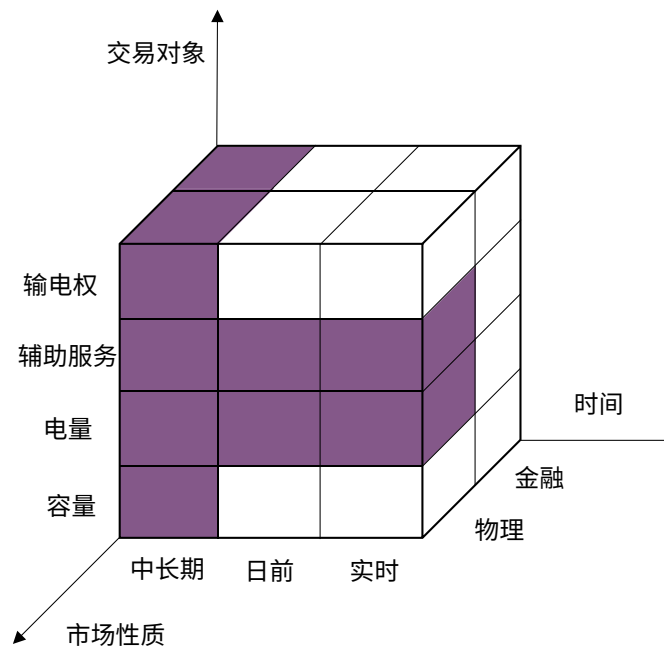
2022年1月，《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》（发改体改〔2022〕118号）印发，明确到2025年，全国统一电力市场体系初步建成，**电力中长期、现货、辅助服务市场一体化设计、联合运营**；到2030年，全国统一电力市场体系基本建成，**电力资源在全国范围内得到进一步优化配置**。

图18：电力市场构成



资料来源：国家电网，《电力现货市场101问》

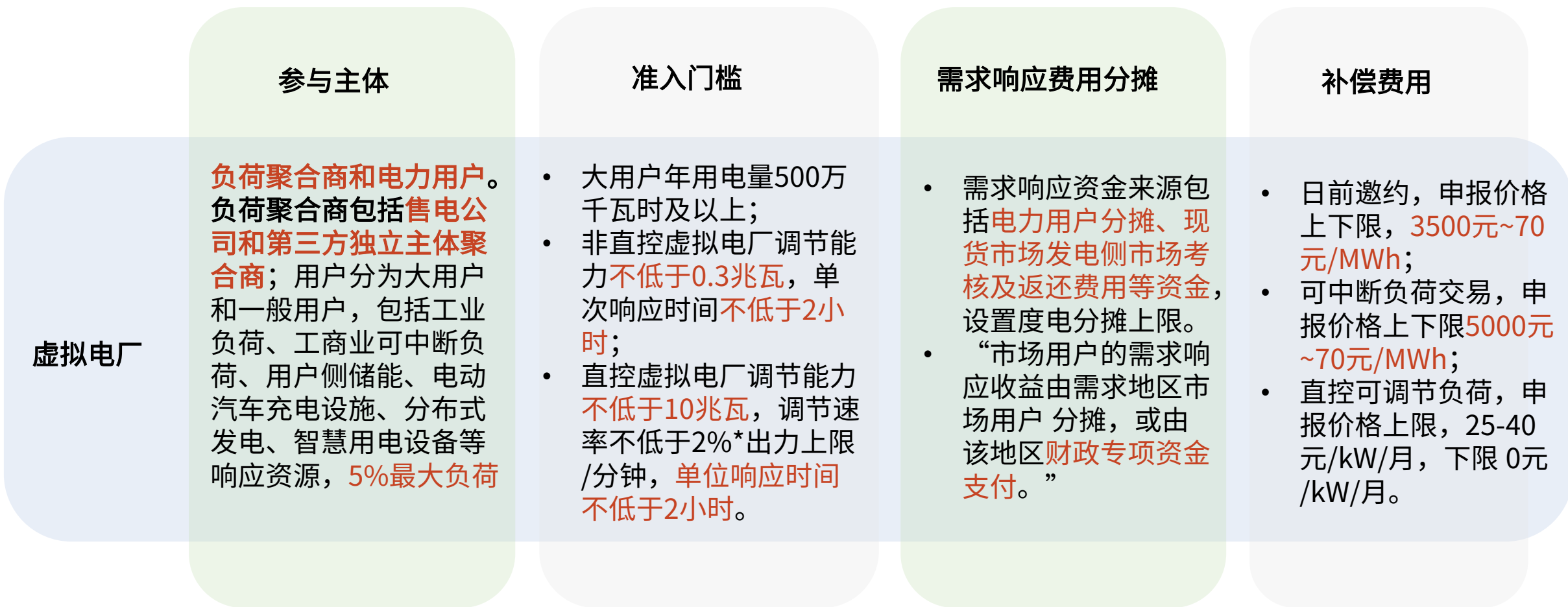
图19：电力现货市场与其他市场的联系



资料来源：清华四川能源互联网研究院，《电力现货市场基本原理及案例分析》



图20：虚拟电厂参与市场化需求响应机制



## 需求侧响应

- ✓ 截止2022年11月，已有上海、江苏、广东、浙江、山东、河南等14个省（区）、直辖市出台了虚拟电厂参与需求响应新政策，其中除广东、浙江等省份已引入需求响应市场化交易确定补偿价格以外，其余大部分省份仍为固定价格补偿。

### □ 现状分析

- ✓ 需求响应具有较好的盈利空间，但其交易频次不确定，总体收益存在较大波动。

## 电能量交易

- ✓ 截止2022年11月，仅山西、山东出台了虚拟电厂参与电力现货市场交易的具体规则，但暂未了解到具体运行项目案例。

### □ 现状分析

- ✓ 受限于各现货试点省份峰谷价差不足的现状，虚拟电厂参与电能量交易的获利空间有限，且与售电业务存在一定程度的功能重合，虚拟电厂建设的增量效益不明显。

## 辅助服务

- ✓ 以华北、华中、西北等区域调峰市场与上海、浙江等省内调峰市场为主，随着一批、二批现货试点省份进入连续运行，省内调峰市场的功能正在削弱；南方区域、江苏、浙江允许虚拟电厂参与调频、备用等辅助服务交易或实施两个细则补偿，但实践案例极少。

### □ 现状分析

- ✓ 调峰辅助服务市场补贴力度小，且市场规模逐步萎缩，难以成为虚拟电厂的主要收入来源。



# 虚拟电厂发展依赖电力市场机制的完善

**2025年、2030年辅助服务费用将达到1371.0亿元/年、1906.2亿元/年。**

调频、备用的比例与各省的电源结构、负荷特性、区域联络水平有关，一般新能源发电量占比越高，调频服务需求越大；新能源装机占比越高，备用服务需求越大。我们假设2025年、2030年辅助服务费用占全社会电费的2.5%和3.0%，其中调频、备用占全社会电费的比例为2.0%和2.5%，平均销售电价取600元/MWh，调频与备用的比重分别参考2018年南方区域、东北区域的1:4和1:5，预测2025年、2030年调频费用分别为219.4亿元/年、264.8亿元/年，备用费用分别为877.4亿元/年、1323.8亿元/年。

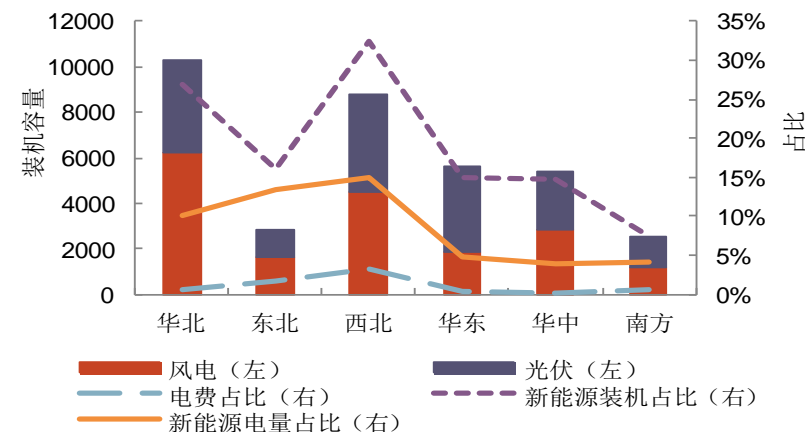
**表6：辅助服务费用（调频+备用）预测（2025年、2030年）**

	2020	2021	2025E	2030E
全社会用电量（万亿千瓦时）	7.51	8.31	9.14	10.59
最大负荷(亿千瓦)	12.3	13.92	16.4	19.8
新能源装机占比	24.1%	26.7%	37.8%	46.1%
新能源发电量占比	9.5%	11.7%	21.3%	27.5%
全社会电费（万亿元）	4.51	4.99	5.48	6.35
辅助服务费用占比	0.8%	1.5%	2.5%	3.0%
辅助服务费用（亿元/年）	360.5	747.9	1371.0	1906.2
调频费用（亿元/年）			219.4	264.8
备用费用（亿元/年）			877.4	1323.8

资料来源：Wind，光大证券研究所，《深化电力市场改革，破解能源不可能三角——新型电力系统深度研究二（2022/06/16）》

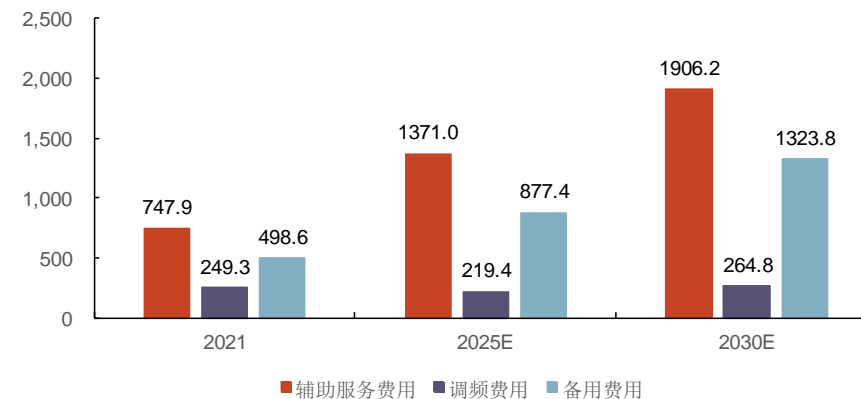
请务必参阅正文之后的重要声明

**图21：各区域新能源装机与辅助服务费用占比（2018年）**



资料来源：国家能源局、中国电力年鉴，光大证券研究所绘制；单位：万千瓦（左）

**图22：辅助服务费用（调频+备用）预测**



资料来源：Wind，光大证券研究所预测；单位：亿元

# 虚拟电厂受益公司分析

图23：虚拟电厂产业链



资料来源：36氪，光大证券研究所整理

# 虚拟电厂受益公司分析

表7：国外虚拟电厂企业介绍

公司名称	运营范围	相关业绩	技术优势
恒实科技	恒实科技成立于2000年，主营业务拓展为电力信息化和通信两大领域	国网冀北虚拟电厂示范工程，在市场规则制定、用户协议签订、VPP智能终端安装与调试和市场化运营等封面积累了丰富的经验。	深智城的入股，公司有望乘胜追击，率先打开广东乃至南方地区的虚拟电厂市场。该公司作为虚拟电厂聚合商，一方面能够为电网公司提供虚拟电厂数据运营平台，另一方面能够聚合长尾需求侧资源。
国能日新	发电侧信息化软件，目前功率预测软件市占率位居行业首位。	在电力交易、虚拟电厂、储能EMS、分布式群控群调软件等领域进行了先发技术储备。	发电功率预测软件，在光伏和风电领域市占率分别为22.10%和18.80%，市占率第一，目前服务新能源市场规模超100GW。虚拟电厂相关业务尚处于推广起步阶段，商业模式为向电网企业提供虚拟电厂软件服务平台，向电网公司收取软件费用。
国电南瑞	电力自动化、信息化及智能化领域的龙头企业	具有行业内最全面的电网生产控制系统、能源互联网等解决方案。	在电力调度和信息技术方面的技术储备能够运用至虚拟电厂的管理平台中。公司在虚拟电厂方面已经形成产品体系，可灵活支撑市场上的多种新商业模式。
国网信通	主营业务分为三大板块：云网基础设施、企业数字化服务和电力数字化服务	国网信通在天津市滨海新区惠风能源小镇构建了虚拟电厂系统，装机容量75MW，可调负荷36MW。	国网信通自主研发“虚拟电厂精准调控仿真与实证平台”是目前国内园区级聚合资源类型最全的虚拟电厂平台。
东方电子	综合能源服务，横跨电网自动化+IT+互联网+节能环保+能源互联领域的综合解决方案供应商	虚拟电厂业务涵盖城市级虚拟电厂运行管理平台、负荷聚合商级负荷聚合管控平台和园区级虚拟电厂等三级虚拟电厂范围，包括广州明珠工业园和广州市虚拟电厂管理平台	东方电子以能源数字化为主要的发展方向，而虚拟电厂则为能源数字化业务的一部分，随着更多试点项目建成并投入运行，东方电子有望凭借其标杆案例，持续扩大客户范围，实现虚拟电厂管理平台的产品大范围推广。
大唐集团	2021年在河北南网建设了虚拟电厂平台，一期接入308兆瓦容量，调节能力达到125兆瓦，项目投产前4个月帮助消纳新能源2800万千瓦时，减少碳排放2.8万吨。		
国家电投	在江苏、山东、深圳分别开展了虚拟电厂项目，试点了“虚拟电厂+电力需求响应”“虚拟电厂+电力辅助服务”“虚拟电厂+电力现货”和“虚拟电厂+大客户”等运行模式。深圳能源发展有限公司部署的虚拟电厂，已通过参与广东电力现货市场交易而获得盈利，成为我国首个虚拟电厂参与电力现货市场赢利的案例。		

- ❑ 虚拟电厂不属于资源开发，本质是资源聚合与协调，底层架构是通信与控制，因此通信系企业能力可能最为契合，代表企业：恒实科技；
- ❑ 虚拟电厂需要聚合大量需求侧资源，如分布式光伏、电动车、甚至办公楼用电、空调等，涉及海量进出电力计量，电表系企业可能受益；且部分电表企业有布局微网；代表企业：朗新科技、炬华科技；
- ❑ 电力设备、配电侧企业从业务本身出发，尤其是接近配电端的业务，涉及终端资源整合，部分企业电力调度、继保等领域积累深厚。代表企业：国电南瑞；
- ❑ 部分发电企业，过去有售电业务，从而形成了电力资源分配与聚合的能力，代表企业：深圳能源。
- ❑ 参与虚拟电厂主要有4类企业：
  - 1、**电力设备、配电侧企业**：金智科技、科汇股份、积成电子、东方电子、许继电气、国电南瑞；
  - 2、**电表系企业**：万胜智能、迦南科技、鼎信通讯、朗新科技；
  - 3、**通信系、数据中心企业**：国能日新、中恒电气、恒实科技、浙大网新、国网信通、远光软件、易事特；
  - 4、**电力企业**：穗恒运A、首航高科、中国天楹、深圳能源、华能国际。
- ❑ **建议关注：恒实科技、国能日新、东方电子**

## 政策变化风险

电力行业与国家宏观经济政策、产业政策以及国家电力规划有着密切联系，直接影响电力行业投资。

## 电力市场建设不及预期

电力市场建设受中央政府、地方政府、发电企业、电网企业多方影响，各省省情与市场基础不同，全国统一电力市场建设推进或受制约。



# 衷心 感谢


---


光大证券研究所



电力设备新能源  
研究团队


分析师：殷中枢


 执业证书编号：S0930518040004

 电话：010-58452063

 邮件：yinzs@ebscn.com

联系人：刘满君

 电话：010-56513153

 邮件：liumanjun@ebscn.com



## 分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。负责准备以及撰写本报告的所有研究人员在此保证，本研究报告中任何关于发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。研究人员获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户反馈、竞争性因素以及光大证券股份有限公司的整体收益。所有研究人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

## 行业及公司评级体系

买入—未来6-12个月的投资收益率领先市场基准指数15%以上；  
增持—未来6-12个月的投资收益率领先市场基准指数5%至15%；  
中性—未来6-12个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至5%；  
减持—未来6-12个月的投资收益率落后市场基准指数5%至15%；  
卖出—未来6-12个月的投资收益率落后市场基准指数15%以上；  
无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。

基准指数说明：A股主板基准为沪深300指数；中小盘基准为中小板指；创业板基准为创业板指；新三板基准为新三板指数；港股基准指数为恒生指数。

## 特别声明

光大证券股份有限公司（以下简称“本公司”）创建于1996年，系由中国光大（集团）总公司投资控股的全国性综合类股份制证券公司，是中国证监会批准的首批三家创新试点公司之一。根据中国证监会核发的经营证券期货业务许可，本公司的经营范围包括证券投资咨询业务。

本公司经营范围：证券经纪；证券投资咨询；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问；证券承销与保荐；证券自营；为期货公司提供中间介绍业务；证券投资基金代销；融资融券业务；中国证监会批准的其他业务。此外，本公司还通过全资或控股子公司开展资产管理、直接投资、期货、基金管理以及香港证券业务。

本报告由光大证券股份有限公司研究所（以下简称“光大证券研究所”）编写，以合法获得的我们相信为可靠、准确、完整的信息为基础，但不保证我们所获得的原始信息以及报告所载信息之准确性和完整性。光大证券研究所可能将不时补充、修订或更新有关信息，但不保证及时发布该等更新。

本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次发布时光大证券研究所的判断，可能需随时进行调整且不予通知。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本报告中的信息或所表述的意见并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。

不同时期，本公司可能会撰写并发布与本报告所载信息、建议及预测不一致的报告。本公司的销售人员、交易人员和其他专业人员可能会向客户提供与本报告中观点不同的口头或书面评论或交易策略。本公司的资产管理子公司、自营部门以及其他投资业务板块可能会独立做出与本报告的意见或建议不相一致的投资决策。本公司提醒投资者注意并理解投资证券及投资产品存在的风险，在做出投资决策前，建议投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。投资者应当充分考虑本公司及本公司附属机构就报告内容可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一信赖依据。

本报告根据中华人民共和国法律在中华人民共和国境内分发，仅向特定客户传送。本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、复制、转载、刊登、发表、篡改或引用。如因侵权行为给本公司造成任何直接或间接的损失，本公司保留追究一切法律责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。