

2022年虚拟电厂专题分析报告虚拟电厂发展迎来新机遇_资源聚合商有望胜出

一、虚拟电厂：不是电厂胜似电厂，握指为拳提质增效

1.1、虚拟电厂是新型电力系统发展的必由之路

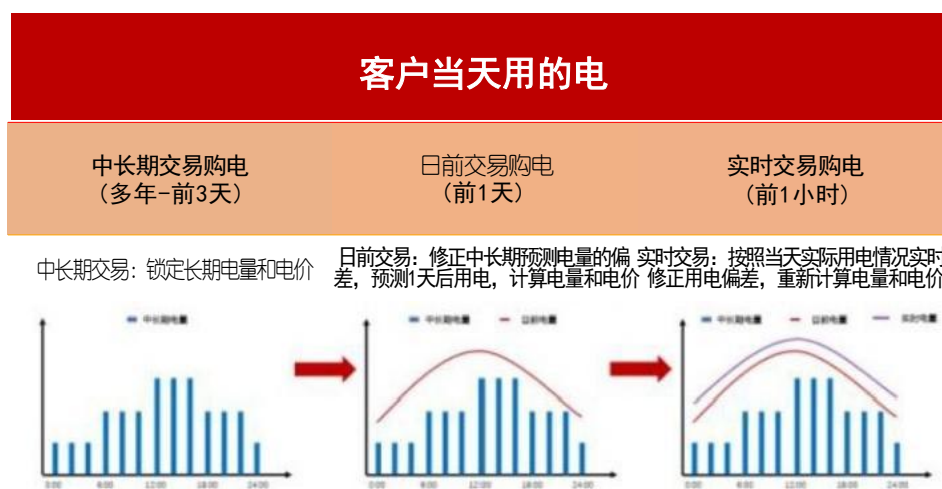
“双碳”政策下的新型电力系统以新能源为主体，新能源的随机、间歇、波动等特性对电网安全产生威胁。在“双碳”目标驱动下，我国推动建设以新能源为主体的新型电力系统，以坚强智能电网为枢纽平台，以源网荷储互动与多能互补为支撑，集中式与分布式电力结构并举，在新的发用电势态下，虚拟电厂应运而生。

1) 在发电侧：电网对运行安全有着严格要求，首要目标是保证发用电的实时平衡，发电侧必须不断调节来拟合负荷曲线。但是，新能源发电严重依赖于自然资源(如光照强度、风力强度等)，具有随机性、间歇性和波动性等特点，对负荷的支撑能力不足。新能源发电规模化并网将会对电网造成巨大冲击，威胁电力系统安全和供电稳定性。2) 在用电侧：由于小型分布式新能源发电设施、储能设施、可控制用电设备、电动汽车等分布式能源资源的持续发展普及，部分电力用户

也从单一的消费者转变为混合形态的产销者，各类大功率用电设备(如充电桩)激增，增大电网压力。

虚拟电厂 (**Virtual Power Plant,VPP**) 是一套能源协调管理系统，作为一个特殊电厂参与电网运行和电力市场交易。虚拟电厂是能源与信息技术深度融合的智慧能源系统，通过 **IoT、AI、** 云服务等信息技术和软件系统，聚合和控制一种或多种处于不同空间的分布式电源、可控负荷、储能系统等分布式能源资源，实现自主协调优化控制，对外等效成一个可控电源参与电力系统运行，也可作为市场主体参与电力市场交易获取经济收益，是一种跨空间的、广域的源网荷储集成商。

图9：虚拟电厂参与电力市场交易方式



虚拟电厂分为负荷类VPP 和源网荷储一体化VPP。按照虚拟电厂聚合优化的资源类别不同、对外呈现出不同特征，虚拟电厂可分为四种类型：负荷型、电源型、储能型和混合型。

日本和德国以储能和分布式电源作为虚拟电厂主体，美国以可控负荷为主。从能源结构和市场机制的特征来看，中国具有后发优势，有望结合欧洲、美国两种模式，探索出兼顾分布式电源、可控负荷以及储能资源的模式。

1) 负荷型 **VPP**: 指虚拟电厂运营商聚合其绑定的具备负荷调节能力的市场化电力用户(电动汽车、可调节负荷、可中断负荷等), 作为一个对外呈现为负荷状态的整体组建成虚拟电厂, 提供负荷侧灵活响应调节服务, 具有功率调节能力, 可以参与辅助服务市场, 但是能量出售属性不足; 2) 电源型 **VPP**: 具有能量出售能力, 可以参与能量市场和辅助服务市场; 3) 储能型 **VPP**: 可参与辅助服务市场, 也可以通过放电出售电能; 4) 混合型**VPP**: 具备负荷型、电源型和储能型 **VPP** 的能力。

虚拟电厂整合闲置资源参与维持电网系统稳定, 有效降低发电厂和电网企业运营成本。 1) 我国不缺电量, 缺的是电力。供电用电出现缺口时, 虚拟电厂起到灵活地削峰填谷作用: 当用电大于供电时, 虚拟电厂作为“正电厂”向系统供电, 起到助推电力爬坡的作用; 当供电大于用电时, 作为“负电厂”消纳系统电力, 起到刹车的作用。2) 我国电力峰谷差矛盾日益突出, 通过建设虚拟电厂调节可降低投资成本。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,

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。因此，相对于供应侧的电源建设成本，需求侧资源要廉价得多，虚拟电厂帮助发电厂和电网企业降低投资成本。

表4: 国外主要虚拟电厂一览

工程名称	工程时间	主要参与国家	聚合资源	用途
PMVPP	2007	荷兰	源	提高电网调峰调频能力
FENIX	2009	英国、西班牙、法国等欧盟八国	源	提高电网系统稳定性、安全性和可持续性
EDISON	2012	丹麦	荷	平抑分布式能源接入后电力系统的大幅波动
WEB2ENERGY	2015	德国、波兰等	源网荷	验证和实施智能配电三大技术
关西VPP	2016	日本	源网荷	提高能源的利用率和综合能源效益
ConEdison	2016	美国	源网荷	提高电网实时应用、调峰调频能力
光储VPP	2018	南澳	源网荷	降低用户电费、提高多能源系统稳定性

数据来源：冀北电力交易中心，华经产业研究院，东方证券研究所等

1.2、虚拟电厂的商业模式：当前以辅助服务赚取补贴为主，未来向电能量交易方向发展

虚拟电厂通过参与辅助服务获取补贴和电能量交易赚取峰谷价差。2015年，国家发改委和国家能源局印发《电力中长期交易基本规则(暂行)》，从市场成员及其权责边界、交易品种和方式、价格机制、发用电计划及交易时序安排等角度给出制度框架，厘清了电改的发展方向，曾明确具备条件

的地区逐步建立以中长期交易为主、现货交易为补充的市场化电力、电量平衡机制。2022年6月份以来，虚拟电厂在盈利模式方面取得突破性进展，盈利模式逐渐成型，解决了虚拟电厂可持续发展的关键问题，虚拟电厂有了合法身份进入电力市场交易，虚拟电厂商用进展加速。

当前，虚拟电厂的商业模式以为大电网提供调频调峰等辅助服务赚取补贴为主。目前，我国的虚拟电厂以邀约型为主，政府机构或电力调度机构发出邀约信号，负荷聚合商和虚拟电厂组织资源进行削峰填谷等需求响应，从电网电价补贴中获取收益，其中，填谷难度比削峰大，削峰主要针对广东、浙江、江苏等长三角和珠三角的用电大省，填谷主要针对中西部发电集中区。

1) 辅助服务：是指除正常电能生产、输送、使用外，为维护电力系统的安全稳定运行、保证电能质量，由发电企业、电网企业和电力用户提供的服务。辅助服务分为基本辅助服务和有偿辅助服务，包括调峰、一次调频、自动发电控制（AGC）、无功调节、备用、黑启动服务等。

2) 调峰：虚拟电厂只有接到电网调度指令并执行指令，才能得到补偿。调峰补偿方式有两种：固定补偿和市场化补偿，国网区域大多采用固定补偿和市场化补偿，南网区域采用固定补偿。调峰市场大于调频市场。

3) 调频：分为一次调频和二次调频，调频对速度和精度要求较高，火电机组 AGC

调频有延迟和偏差，储能AGC跟踪曲线与指令曲线基本能达到一致，达到精准调节。调频性能指标用**K值**衡量，**K**由响应速度**K1**、调节速率**K2**、响应精度**K3**加权平均得到。调频补偿方式有两种：里程补偿和容量补偿。

未来，随着全国统一电力交易市场的成熟，虚拟电厂商业模式重心将转向参与电力市场交易。1)售电公司给客户提供的电由三部分组成：i)数月前通过合同买下来的电(中长期交易);ii)前一日买的电(日前交易);iii)客户当天实际的用电偏差(实时交易)。相应用电的价格也是由这三个部分共同构成的，发电侧采用节点电价，用电侧采用统一加权平均电价，通过电能量市场与辅助服务市场联合出清。2)中长期交易：是压舱石和稳定器。由于现货交易市场的电价波动会对发电厂造成亏损风险，因此签订中长期合同可以为发电厂锁定未来大部分的发电利润。3)现货交易：是保障电力市场稳定运行的必要条件，优点是其直接性，缺点是价格变化快。由于电力不易储存，需求突增(或生产突减)将会使价格剧增。现货交易市场分为日前市场、日内市场和实时市场。

图 13: 2015-2021 年中国分布式光伏累计装机容量及增速



数据来源：中国光伏行业协会，东方证券研究所

i. 日前市场：是实际运行的前一天对次日24小时电能进行交易的市场。通过日前交易，电力调度机构可以确定次日系统运行方式和调度计划。日前市场中，发电厂和用电用户各自申报次日发用电计划和价格，按照市场规则进行竞价出清，市场出清结果作为后续结算依据，以15分钟为一个交易时段，每天96个时段。ii. 日内市场：是安排当日电能交易或发电计划的市場。在日内，负荷需求和发电供应情况相比于日前预测值还会发生变化，发电厂和售电商可以在日内电能市场针对日前交易计划进行调整，每个交易时段为15-60分钟。iii. 实时市场：售电公司的预测用电与实际用电相比仍会有偏差，电

网会根据实际用电需求进行发电，并重新计算价格得到实时价格，售电公司的实际用电曲线与日前申报曲线的差值部分就以实时价格做结算，每个交易时段为15-60分钟。

二、虚拟电厂发展迎来新机遇，资源聚合商有望胜出

根据国家电投中电国际政研室分类，虚拟电厂发展分为邀约型、市场型和跨空间自主调度型三个阶段。 1) 邀约型阶段：在没有电力市场的情况下，由政府部门或调度机构牵头组织，各个聚合商参与，共同完成邀约、响应和激励流程。当前以广东、江苏和上海等省市为代表的试点项目以邀约型为主，业务上称之为需求响应。

2) 市场型阶段：在电能量交易、辅助服务和容量市场建成后，虚拟电厂聚合商以类似于实体电厂的模式，分别参与这些市场获得收益。在这个阶段，也会同时存在邀约型模式，其邀约发出的主体是系统运行机构。此时，由于电能现货市场、辅助服务市场和容量市场已建设成熟，虚拟电厂聚合商能够基于自身商业模式参与这些市场获得收益，如欧洲的 **Next-Kraftwerke** 和澳大利亚 **AGL**、**Tesla** 和 **Sonnen** 等处于此阶段。国内企业电享科技也在澳大利亚开展相关探索。

3) 跨空间自主调度型虚拟电厂阶段：随着可聚合资源的种类、数量、空间的扩大，虚拟电厂聚合资源既包含分布式能源、储能系统和可控负荷等基础资源，也包括由基础资源组

合而成的微电网、局域能源互联网等，可以灵活制定运行策略、参与跨区域电力市场交易获得利润分成、参与电力辅助获取补偿收益，并可使内部的能效管理更具操作性，实现发用电方案的持续优化。目前，Tesla在美国德州开展该阶段的探索。

图14:2017-2021年国家电网分布式风电累计装机容量



数据来源：中国风能协会，东方证券研究所

欧美虚拟电厂发展较为成熟，欧洲虚拟电厂侧重于分布式电源+储能，北美虚拟电厂侧重于可控负荷。上世纪九十年代，欧美多国已关注虚拟电厂，在虚拟电厂聚合资源方面类型丰富且各国各有侧重，包括了源侧、负荷侧和储能侧等各类资源。 1) 欧洲各国侧重分布式电源+储能，主要考虑实现分

布式发电的可靠并网、智能互动和参与电力市场，打造持续稳定发展的商业模式，例如德国的**Next Kraftwerke**聚合的分布式可再生能源占97%； 2) 北美则是基于需求响应发展演化，兼顾可再生能源的利用，希望通过自主需求响应和能效管理来提高综合能源的利用效率，因此可控负荷占主体； 3) 澳大利亚以用户侧储能为主，特斯拉在澳洲建成了号称世界上最大的以电池组为支撑的虚拟电厂； 4) 日本以用户侧储能和分布式电源为主，计划到**2030** 年超过**2500** 万千瓦。

我国虚拟电厂处于邀约型向市场型过渡阶段，具有后发优势吸收欧美两种技术和模式。目前，我国虚拟电厂以负荷侧资源调节为主，普遍聚焦于需求侧响应，在技术和市场前沿探索上，主要集中在**AI** 技术对负荷预测、分布式储能和微电网边缘计算控制实现需求侧响应，实现对电网的削峰填谷。但是，这种模式不能发挥国内可再生新能源丰富的优势，难以实现 **VPP**的规模效益。

电力信息化企业、智慧能源 IT 提供商和新能源企业进场，市场竞争激烈。虚拟电厂是技术、资源和资本密集型行业，具有一定壁垒，但是由于发展潜力巨大，众多领域企业纷纷入场，竞争较为激烈。目前，虚拟电厂领域的企业主要分为三类： 1) 电网下属信息化企业：依托在电力和信息化领域长期的技术、经验积累，以及背靠电网公司可获得丰富的资源，

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/945321004220011113>