

从全球案例看虚拟电厂商业模式

核心要点

- **虚拟电厂发展到什么阶段？** 海外对虚拟电厂概念的研究日臻完善，全球呈现多元化发展趋势。目前我国虚拟电厂以负荷侧为主，与国外相比仍有较大差距。其本质原因在于：1) 聚合资源类型不同；2) 政策与市场成熟度不同；3) 核心技术发展程度不同；4) 商业模式成熟度不同。
- **欧洲：以聚合发电侧资源为主。** 由于欧洲发电资源较为分散，虚拟电厂起步于电力供给侧，聚合分布式发电资源，从而帮助可再生能源稳定并网，并协调发电功率，以降低弃风弃电、负电价损失为主要目标。
- **美国：聚焦可控负荷的需求响应。** 美国的虚拟电厂以聚焦可控负荷的需求响应为主，其原因主要有两点：1) 美国拥有众多直接连接到用电侧的分布式太阳能资源。根据Statista的数据，到2022年为止，美国家庭用光伏装机容量已达28.8GW，同比增长25.71%。2) 美国存在众多竞争性电力市场。公共事业企业对发电-输配电环节的垄断被ISO打破后，电力批发与零售市场相较于欧洲更为活跃，与C端用户联系紧密。
- **中国：邀约制下的需求侧响应。** 我国虚拟电厂正处于邀约型向市场型过渡阶段。项目以研究示范为主，普遍由政府主导、电网实施，尚未到商业化阶段。呈现以下4个特点：1) 相关政策框架仍需进一步完善；2) 项目开发总体上仍处于试点和示范阶段，且在省级范围内缺乏统一的虚拟电厂平台；3) 大多数虚拟电厂试点已实现用户用能监测的初步目标，但实现虚拟电厂的优化调度和对分布式能源的闭环控制的项目仍然稀缺；4) 商业盈利模式尚未明晰，仍在探索阶段，目前主要通过价格补偿和政策引导来参与市场。
- **投资建议：短期来看，虚拟电厂能够解决迎峰度夏引发的保供电需求，长期来看，受益中国电力市场改革的稳步推进，建议关注两条主线：**
 - 主线一：分布式能源实现用户侧就地消纳，建议关注：虚拟电厂【安科瑞】【东方电子】【恒实科技】【国网通信】；EPCO模式服务商【苏文电能】【泽宇智能】；分布式能源运营商【芯能科技】【南网能源】；新能源微电网【金智科技】；功率及负荷预测【国能日新】。**
 - 主线二：配网智能化提升消纳效率，建议关注：一、二次设备端【国电南瑞】【四方股份】【思源电气】、智能终端【威胜信息】【钜泉科技】；智能电表【炬华科技】【海兴电力】【林洋能源】等。**
- **风险提示：电网投资不及预期的风险；原材料供货紧张及价格波动风险。**



01

虚拟电厂发展到什么阶段？

02

欧洲：以聚合发电侧资源为主

03

美国：聚焦可控负荷的需求响应

04

中国：邀约制下的需求侧响应

05

投资建议

CONTENTS

目录





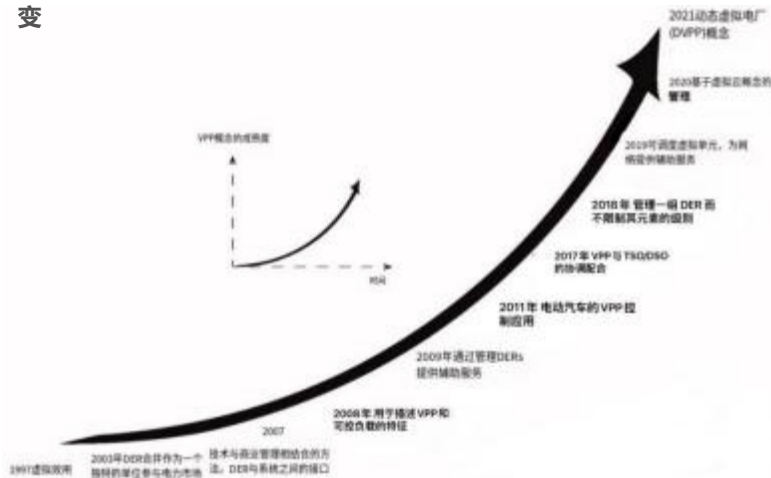
01. 虚拟电厂发展到什 么阶段?

01 虚拟电厂发展：1997年提出，目前全球呈现多元化发展态势

方

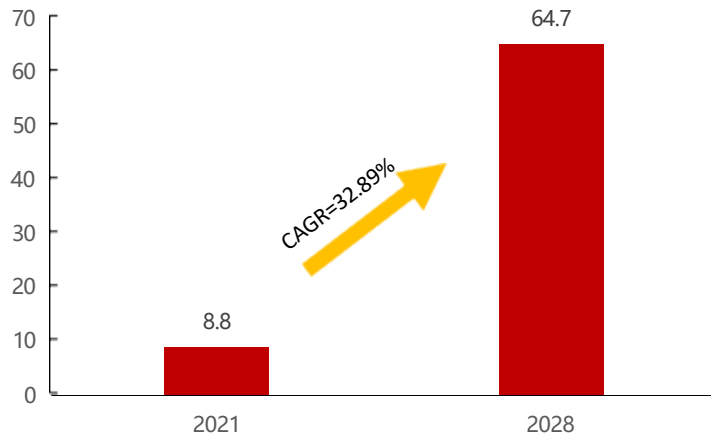
- 海外对虚拟电厂概念的研究日臻完善，全球呈现多元化发展趋势。1997年，Shimon Awerbuch博士使用了“虚拟公共事业”（virtual utility）的术语引入了虚拟电厂的概念。此后，多项研究对虚拟电厂的发展做出了贡献，并于2021年提出了分布式虚拟电厂（DVPP）的概念，使其通过集成灵活调控、内部平衡波动以及在批发市场出售总发电量，助力可再生能源发电机融入电网。
- 全球虚拟电厂市场潜力可期。根据Fortune business insights预测，全球虚拟电厂市场将以32.89%的CAGR从2021年的8.8亿美元增长到2028年的64.7亿美元。

图表：海外虚拟电厂概念及业务范围演变



资料来源：Scholarly Community Encyclopedia，民生证券研究院

图表：2021-2028年全球虚拟电厂市场规模（亿美元）



资料来源：Fortune Business Insights，民生证券研究院

01 虚拟电厂盈利模式多样

- **分类：**根据聚合优化资源类型不同，可分为**负荷型、电源型、储能型和混合型**四种类型。**1) 负荷型：**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（包括电动汽车、可调节负荷、可中断负荷等），作为一个整体（呈现为负荷状态）组建成虚拟电厂，对外提供负荷侧灵活响应调节服务。**2) 电源型：**在能源发电侧建立，可以进行能量出售与辅助服务。**3) 储能型：**能量出售与辅助服务均可进行。**4) 混合型：**兼具负荷型、电源型与储能型虚拟电厂特点。
- **盈利模式：****1) 可再生能源发电的预测与监控：**增强对电力投资组合的预测与控制，帮助公用事业公司节省投资组合与实际需求差异导致的平衡成本。**2) 电网弹性聚合：**通过容量招标及辅助服务盈利。**3) 需求响应聚合：**通过辅助服务市场竞标收入、降低电力采购成本盈利。**4) 户用虚拟电厂：**聚合商通过为用户提供辅助服务盈利，公用事业公司通过减少电网升级费用来增加收入。

图表：虚拟电厂分类

虚拟电厂分类	主要内容
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。
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。
储能型VPP	可参与辅助服务市场,也可以通过放电出售电能。
混合型VPP	具备负荷型、电源型和储能型VPP的能力。

资料来源：共研网，民生证券研究院

图表：虚拟电厂盈利模式

虚拟电厂盈利模式	主要内容
1) 可再生能源发电的预测与监控	增强对电力投资组合的预测与控制,帮助公用事业公司节省投资组合与实际需求差异导致的平衡成本。
2) 电网弹性聚合	通过容量招标及辅助服务盈利。
3) 需求响应聚合	通过辅助服务市场竞标收入、降低电力采购成本盈利。
4) 户用虚拟电厂	聚合商通过为用户提供辅助服务盈利,公用事业公司通过减少电网升级费用来增加收入。

资料来源：碳资，民生证券研

01 国内外对比：存在差异，国内处于探索阶

又

我国虚拟电厂目前以负荷侧为主，与国外相比仍有较大差距。其本质原因在于：1) 聚合资源类型不同；2) 政策与市场成熟度不同；3) 核心技术发展程度不同；4) 商业模式成熟度不同。

图表：国内外虚拟电厂主要差距及原因

差异	原因
聚合资源类型不同	海外：聚合资源类型丰富，包括源、荷、储等各类资源，尤其欧洲以分布式可再生能源为主； 国内：地方的配电网建设尚不健全，以 负荷侧资源为主 ，类型单一，未能发挥丰富的可再生能源优势，难以形成规模效益。
政策与市场成熟度不同	海外：辅助服务市场和电力现货市场成熟，电力现货市场相关配套机制较为健全； 国内： 仍未形成稳定的电力市场机制 ，政策仍不完善，大部分以试点省份形式推进，虚拟电厂盈利性有限。
核心技术发展程度不同	海外：虚拟电厂核心技术更加成熟，尤其是协调控制技术已经可以实现对各种可再生能源及负荷的灵活控制， 国内：虚拟电厂总体上缺乏对分布式资源精准控制、便捷接入、边缘计算等技术的研究与实践，各地虚拟电厂管控平台等系统的接口标准和通信协议不统一也增加了分布式资源接入难度，提高了虚拟电厂建设成本。
商业模式成熟度不同	海外：虚拟电厂已实现商业化，主要通过电力市场交易、参与调峰调频、配置储能装置等方式获得收益； 国内： 虚拟电厂的商业模式尚不清晰 ，以参与相对成熟的需求响应市场及以虚拟电厂方式提供节能、用电监控等增值服务为主，参与辅助服务市场为辅，参与电力现货仍在尝试探索中。

资料来源：碳中和发展研究院，国家电网，民生证券研究院

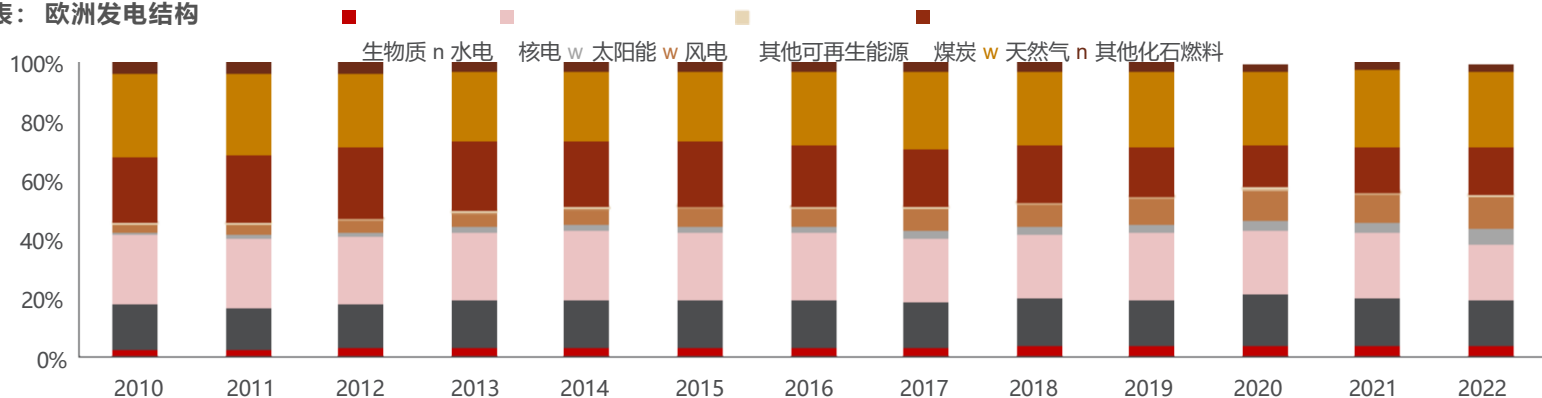
An aerial night view of a city skyline, likely Shanghai, with numerous skyscrapers illuminated against a twilight sky. A large red banner is overlaid on the left side of the image, containing the section title.

02. 欧洲：以聚合发电 侧资源为主

02 欧洲22年风光发电占比达16%

- **欧洲发电结构中可再生能源占比提升，22年风光发电占比共计16%。**从2010年到2022年，风电和太阳能发电的比例分别从3.1%和0.5%增长到了11.2%和4.8%，反映欧洲电力结构的绿色转型以及减少碳排放的坚定决心。尽管欧洲各国对于传统能源，如天然气和煤炭的依赖依然存在，但从总体趋势来看，欧洲正在逐步减少对化石能源的依赖，转向可再生能源，以实现环境友好、可持续发展的电力生产和使用。
- **欧盟加快能源转型，意在提高能源安全和可持续性。**2022年5月，欧盟通过了“REPowerEU”计划，提出到2030年，可再生能源发电量从2021年规划的40%提升到45%，带动可再生能源装机容量目标从1067G提升至1236GW。随着可再生能源的不断增长，电力市场需适应并更好地整合这些能源，吸引投资于无化石燃料的灵活技术，如需求侧响应和储能，以补充可变能源的产能。该举措旨在确保电力市场的可持续发展，为实现清洁能源目标提供支持。

图表：欧洲发电结构



资料来源： Ember, 民生证券研究院

欧洲虚拟电厂以聚合发电侧资源为主

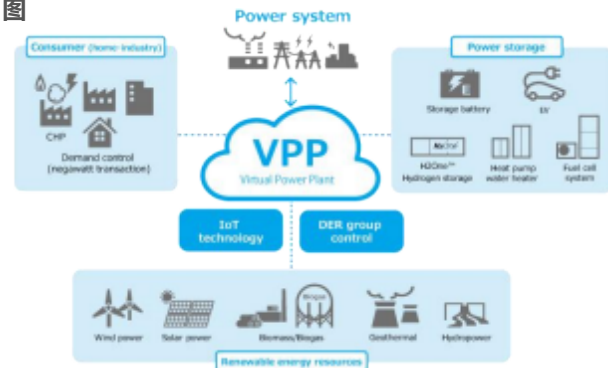
- 在电网运营方面，主要可以划分为输电网运营商（TSO）和配电网运营商（DSO）两个层面。其中，TSO负责输电网络的控制和运营，由于通常只有一个全国性的TSO，因此是具有垄断性质的业务；而DSO则主要负责将电力分配给用户，各DSO之间的电价差异很大，是竞争性的业务。基于以上分工，在欧洲商业化的虚拟电厂领域，虚拟电厂通常由独立第三方运营商、发电厂以及TSO合作运营，其首要任务是为发电单位服务，并设法降本增效。
- 欧洲虚拟电厂以聚合分布式发电资源为主要目标。**由于欧洲发电资源较为分散，虚拟电厂起步于电力供给侧，聚合分布式发电资源，从而帮助可再生能源稳定并网，并协调发电功率，以降低弃风弃电、负电价损失为主要目标。其价值主要源于两个方面：1) 第一是辅助服务市场，该市场直接与特定地区或国家的输电系统运营商合作，在一定时期内有能力升高或降低电力产量的电力生产商可从此获得补偿。2) 第二是日内市场上的不平衡交易，由于无法百分百准确预测所需能量量，因此必须实时进行能源平衡以弥补预测的不足。

图表：电力系统核心参与者



资料来源：丹麦能源署，民生证券研究院

图表：虚拟电厂架构示意



资料来源：Toshiba，民生证券研究院

- 以德国为例，虚拟电厂已完全商业化。由于《可再生能源法》规定了可再生能源发电直接销售的要求，德国的虚拟电厂运营商可以在批发市场销售 100kW以上中型可再生能源电厂产出的电量，并在日前市场优化其售电。此外，虚拟电厂还有利于灵活性较高的生物质发电和水电机组从日间市场和平衡市场中获利。除了可再生能源电厂外，燃气热电联产、电池储能、应急发电机和需求响应等皆可作为虚拟电厂资源。
- 目前，德国虚拟电厂主要有三类运营商：1) 独立虚拟电厂运营商。这类运营商不隶属于传统客户的电力供应商。它们也可以作为电力供应商（目前主要是装机在100kW以上的大客户）成为平衡责任方。2) 大型电力公司（跨国、地区和市级企业）将自己的发电资源以及可能的负荷用户和发电机组聚合到虚拟电厂当中。作为电力公司，也是平衡责任方。3) 新型市场参与者，特别是小规模分布式能源资源的制造商，它们主要将其用户的资源聚合到虚拟电厂当中。

图表：德国三类虚拟电厂运营商案例特征

特征	独立虚拟电厂				电力公司虚拟电厂		新型市场参与者虚拟电厂
	Next Kraftwerke	e2m	Entelios	GETEC Energie	MVV Energie	BayWa.re	Sonnen
能源资源组合	发电侧、需求侧、储能	发电侧、需求侧、储能	需求侧	发电侧、需求侧	发电侧、需求侧	发电侧	储能
电厂规模	9016MW (2021年)	3.260MW (2021年)	>1GW (2018年)	3000MW 以上	500MW (2015年)	3.300MW (2019年)	
资源管理与优化	√	√	√	√	√	√	√
平衡服务	√	√	√	√	√	√	√
直接销售	√	√	√	√	√	√	
电力公司白标解决方案	√	√	√				
需求响应（商业和工业）	√	√	√	√	√		√
需求响应（家庭）							√
向消费者/产销者供电					√	√	√

资料来源：Sustainable Transition China，民生证券研究院

02 Next Kraftwerke: 虚拟电厂业务涉及“发输用”环节

• **Next Kraftwerke 是欧洲最大的虚拟电厂运营商之一，提供虚拟电厂全套解决方案。** Next Kraftwerke 成立于2009年，前身是德国清洁技术公司Next Kraftwerke GmbH。其虚拟电厂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。截至2022年底，Next Kraftwerke 共聚合15346台机组，联网容量12294MW。

▶ **具体案例看Next Kraftwerke 虚拟电厂如何实现与电网进行交互？**

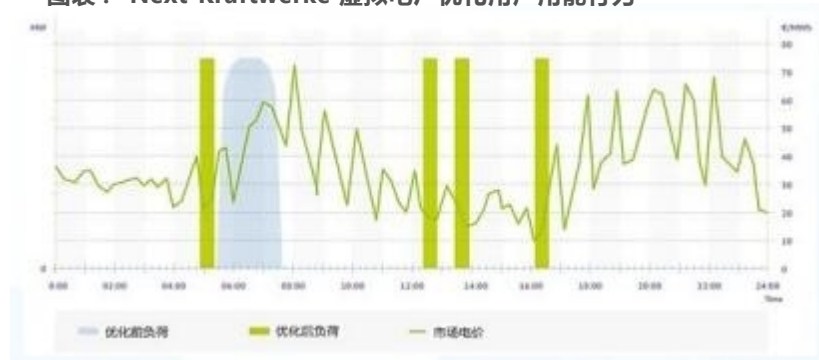
- 1) 电力市场准入及交易服务。** Next Kraftwerke 为个人资产所有者以及 BRP 和投资组合经理提供市场准入。包括日前和盘中午的短期交易，以及欧洲各个电力交易所的长期和场外交易（EPEX Spot、EXAA 等）。
- 2) 参与电力调度。** 欧洲电力价格在日前市场每天变化 24 次，在 EPEX SPOT 日内市场每天变化 96 次，价格差异可能很大。虚拟电厂可以通过计划优化来利用这种波动性，从而实现套利，例如在价格高的时候发电。
- 3) 优化用户用能行为。** 虚拟电厂将电价信息发送至用户，调整用户生产至低电价时段，降低用户用电成本。以欧洲居民一天的市场电价情况为例，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，优化后的负荷可以集中在电价较低的时段，从而使用户的用电成本降低。

图表：某欧洲沼气池按照峰值负荷运行的案例



资料来源：Next Kraftwerke 官网，民生证券研究院

图表：Next Kraftwerke 虚拟电厂优化用户用能行为



资料来源：Next Kraftwerke 官网，民生证券研究院

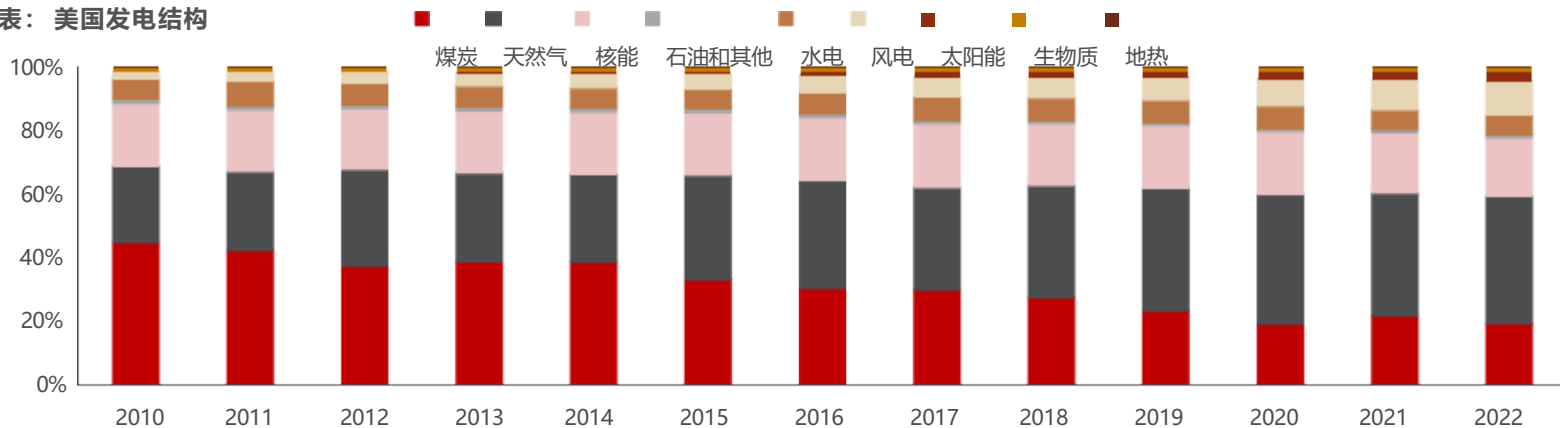


03. 美国：聚焦可控负荷的需求响应

03 美国22年风光发电占比达9.4%

- 截至2022年，美国的可再生能源在电力结构中的比例持续增长，风光发电比例已达9.4%。对比2010年的数据，风电和太阳能发电的比例分别从1.6%和0.0%增长到了7.0%和2.4%，反映美国在过去十二年间在风能和太阳能发电应用方面的显著进步。当前美国的电力结构中仍以天然气和煤炭发电为主，分别占据27.3%和13.4%，但煤炭发电的比例不断下降，可再生能源发电的比例不断上升，显示出美国在推动可再生能源方面的积极态度。
- 美国可再生能源规划帮助其实现气候目标，到2050年达到零碳排放。根据美国能源情报署（EIA）数据，得益于美国《通货膨胀削减法案》（IRA）和全州范围内对可再生能源提案的推动，2023年美国太阳能市场将新增29.1GW公用事业规模光伏和9.4GW的储能项目，在54.5GW的新增发电产能中占70%。如果按计划并网，2023年将有望成为美国公用事业规模光伏新增容量最多的一年。

图表：美国发电结构



资料来源：EIA，民生证券研究院

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/778033120036006130>