

从全球案例看虚拟电厂商业模式

——新型电力系统专题（03）

民生电新

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】【国网信通】；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

06

风险提示

CONTENTS

目录

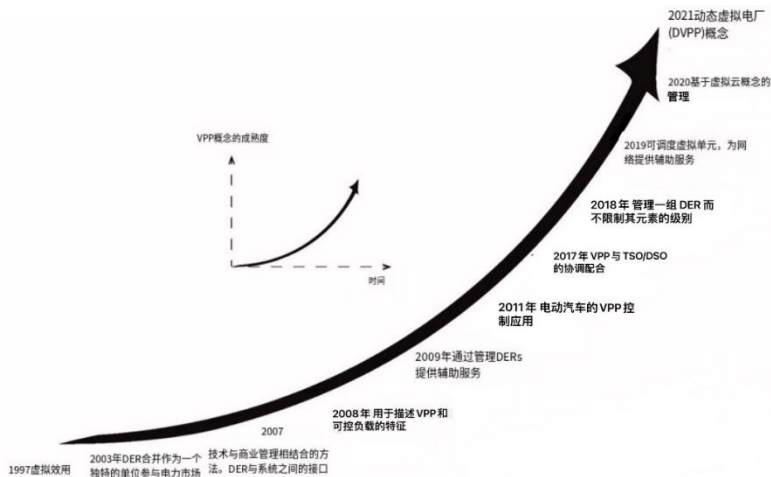


01. 虚拟电厂发展到什么阶段?

01 虚拟电厂发展：1997年提出，目前全球呈现多元化发展态势

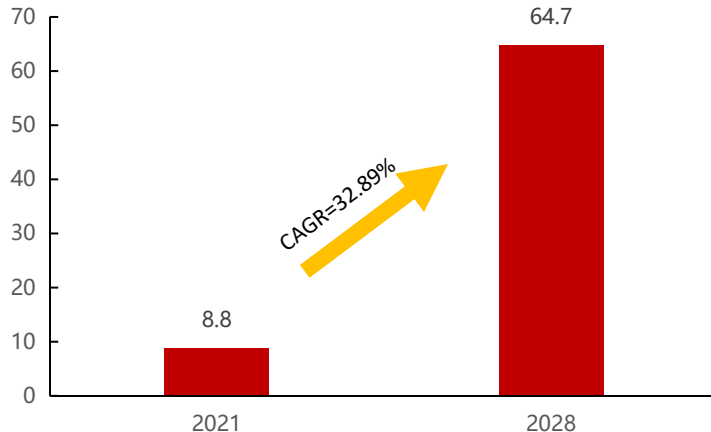
- 海外对虚拟电厂概念的研究日臻完善，全球呈现多元化发展趋势。1997年，Shimon Awerbuch博士使用了"虚拟公共事业" (virtual utility) 的术语引入了虚拟电厂的概念。此后，多项研究对虚拟电厂的发展做出了贡献，并于2021年提出了分布式虚拟电厂 (DVPP) 的概念，使其通过集成灵活调控、内部平衡波动以及在批发市场出售总发电量，助力可再生能源发电机融入电网。
- 全球虚拟电厂市场潜力可期。根据Fortune business insights预测，全球虚拟电厂市场将以32.89%的CAGR从2021年的8.8亿美元增长到2028年的64.7亿美元。

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，民生证券研究院

国内外对比：存在差异，国内处于探索阶段

- 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<u>负荷侧资源为主</u>，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：<u>仍未形成稳定的电力市场机制</u>，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：<u>虚拟电厂的商业模式尚不清晰</u>，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

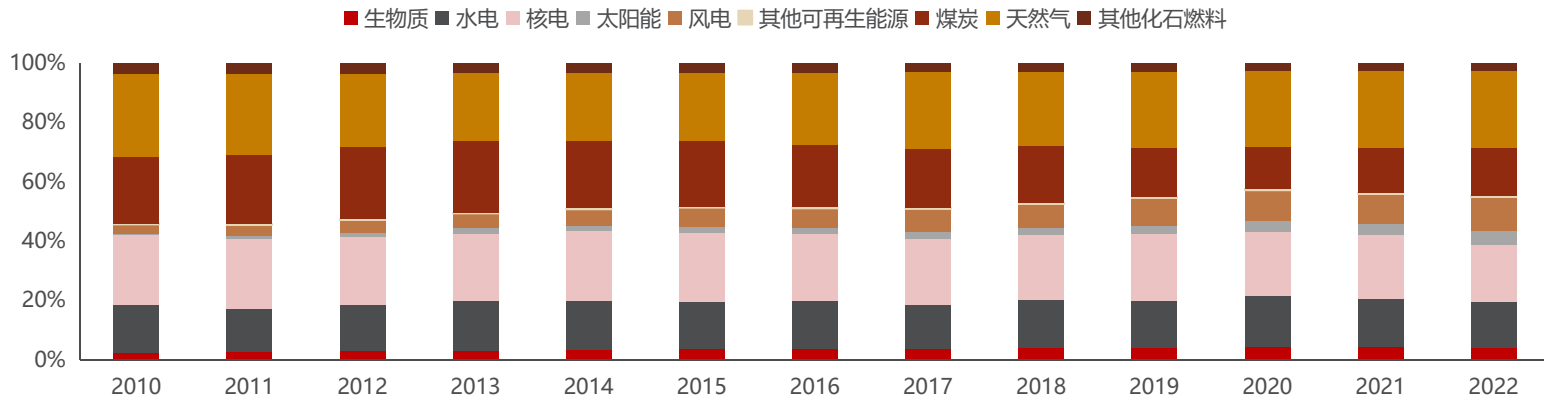
02. 欧洲：以聚合发电侧资源为主

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

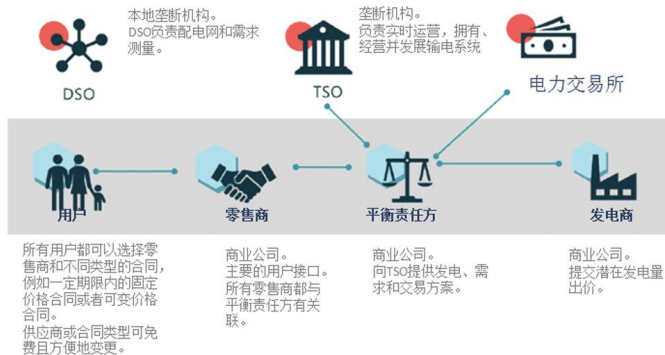


资料来源：Ember，民生证券研究院

欧洲虚拟电厂以聚合发电侧资源为主

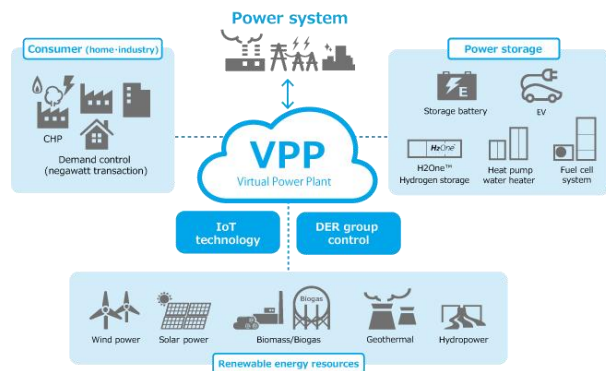
- 在电网运营方面，主要可以划分为输电网运营商（TSO）和配电网运营商（DSO）两个层面。其中，TSO负责输电网络的控制和运营，由于通常只有一个全国性的TSO，因此是具有垄断性质的业务；而DSO则主要负责将电力分配给用户，各DSO之间的电价差异很大，是竞争性的业务。基于以上分工，在欧洲商业化的虚拟电厂领域，虚拟电厂通常由独立第三方运营商、发电厂以及TSO合作运营，其首要任务是为发电单位服务，并设法降本增效。
- 欧洲虚拟电厂以聚合分布式发电资源为主要目标。由于欧洲发电资源较为分散，虚拟电厂起步于电力供给侧，聚合分布式发电资源，从而帮助可再生能源稳定并网，并协调发电功率，以降低弃风弃电、负电价损失为主要目标。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源量，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：虚拟电厂架构示意图



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	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

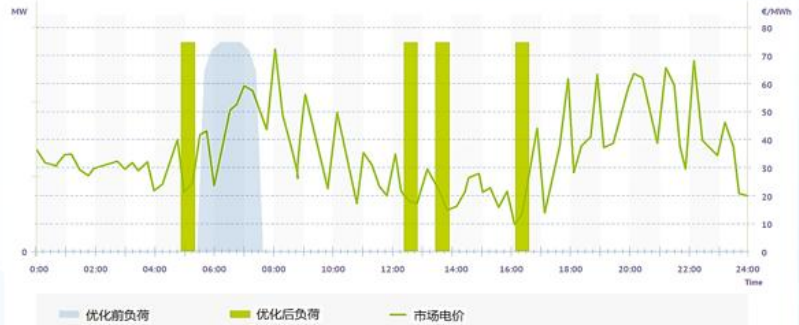
- **Next Kraftwerke 是欧洲最大的虚拟电厂运营商之一，提供虚拟电厂全套解决方案。**Next Kraftwerke 成立于2009年，前身是德国清洁技术公司Next Kraftwerke GmbH。其虚拟电厂聚合的资源包括沼气电厂、热电联产厂、水电、光伏、电池储能、电动汽车、工业负荷等。截至2022年底，Next Kraftwerke 共聚合15346台机组，联网容量12294MW。
- **具体案例看Next Kraftwerke 虚拟电厂如何实现与电网进行交互？**
 - 1) 电力市场准入及交易服务。**Next Kraftwerke 为个人资产所有者以及 BRP 和投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



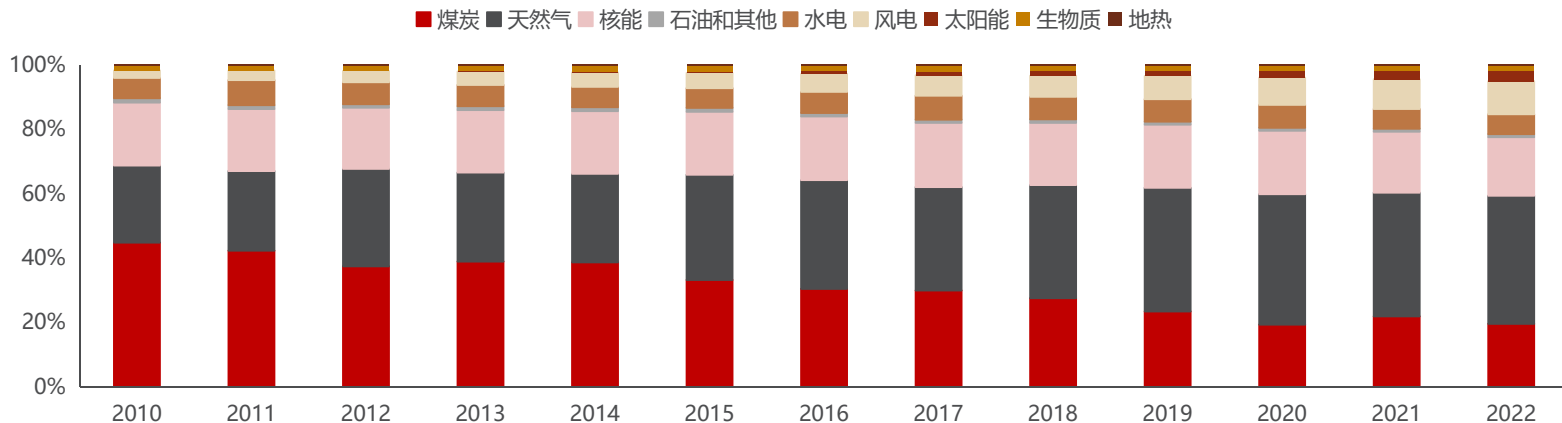
资料来源：Next Kraftwerke 官网，民生证券研究院

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

03

美国电网体系较为独立，电力运营商高度分散

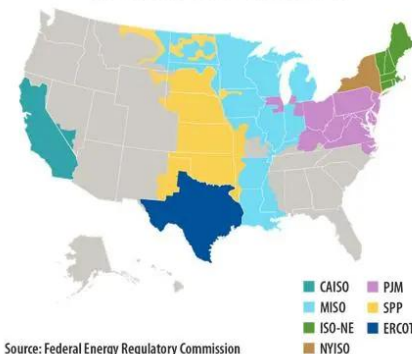
- 美国本土的48个州的电力系统由三个主要互连系统组成，基本彼此独立运行，且相互之间的电力传输有限。在三大电网下，还存在着CAISO、SPP、ERCOT、MISO、PJM等区域性电力调度中心，分别负责部分地区各自的电力调度，并对电价进行管理。
- 由于各州电力市场化进程不同，美国存在三种电力市场机制。1) 没有建立电力市场的地区。处于垂直一体化的传统状态，公用事业公司负责调度机组为其辖区内的用户供电。2) 仅放开电力批发市场的地区。发电企业全部竞价上网，由市场形成批发电价，供电服务由区域的公用事业公司垄断经营。3) 批发、零售市场全面放开的地区。电力用户可以自主选择不同售电商，售电商的购电成本由电力市场批发电价、输电价格、配电价格和政府性基金组成，售电商再加上一定利润后销售给终端电力用户。最典型的的就是德州、加州。
- 美国电力市场既有批发也有零售。电力产业链分散为发电主体、输配电主体和能源零售商三个环节，美国七大独立系统运营商（ISO）负责调度、发电、输电规划以及系统的运行安全和发电端-输配电端（批发市场）、输配电端-零售端（零售市场）市场运行的管辖。

图表：美国48个州的网络由三个主要互连组成



资料来源：EPA，民生证券研究院

图表：美国电力批发市场分布
Wholesale Electric Power Markets



Source: Federal Energy Regulatory Commission

资料来源：EPA，民生证券研究院

图表：美国电力零售市场分布
Retail Electric Power Markets



资料来源：EPA，民生证券研究院

03

美国虚拟电厂：聚焦可控负荷的需求响应

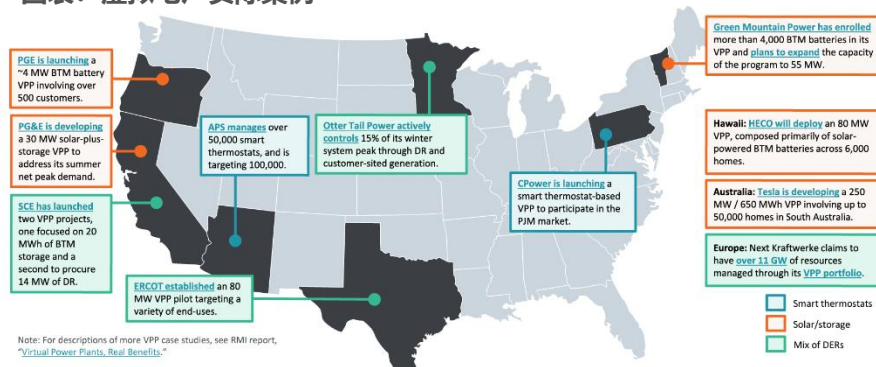
- 美国虚拟电厂通过控制电力价格和相关政策参与系统削峰填谷。该计划主要由能源零售商推动，以出售低价储能电池换取对部分电力的控制权，通过指导电力用户暂时变更用电模式进行削峰填谷。在用电高峰期，零售商以虚拟电厂方式聚合所控制的部分储能，以确保电网系统的稳定性，并提供给需要的用户，获得辅助服务收益。虚拟电厂增强了电网的可靠性和弹性，据RMI预测，到2030年，虚拟发电厂预计将美国的能源需求峰值降低60GW，到2050年可以减少超过200GW。
- 美国的虚拟电厂以聚焦可控负荷的需求响应为主，其原因主要有两点：1) 美国拥有众多直接连接到用电侧的分布式太阳能资源。随着《降低通货膨胀法案(IRA)》的发布，美国政府为风能、太阳能和其他化石燃料替代品提供了超过3000亿美元的资金，给美国的可再生能源行业带来极大的鼓励和支持。根据Statista的数据，2022年美国新增住宅光伏装机容量达到5.9GW。同比增长40%。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。

图表：催化美国虚拟电厂发展的因素

	2023E	2030E
配备智能恒温器的住宅	10%	34%
住宅屋顶太阳能板	27GW	83GW
轻型电动汽车	3mil.	26mil.
配备电热水器的住宅	49%	50%
电表后 (BTM) 电池	2GW	27GW

资料来源：Brattle，民生证券研究院

图表：虚拟电厂实际案例

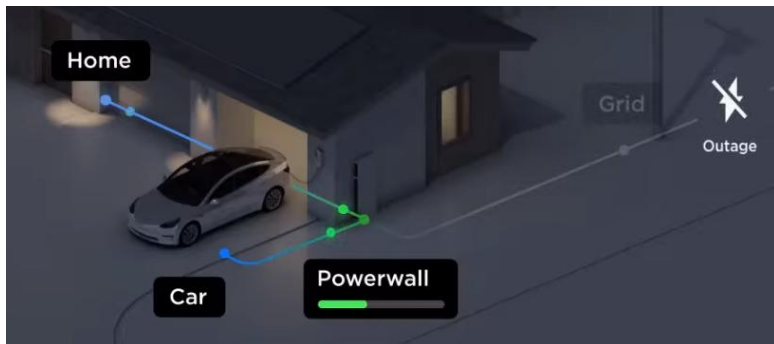


资料来源：Brattle，民生证券研究院

03 特斯拉虚拟电厂计划：通过Powerwall进行用户侧余电调度

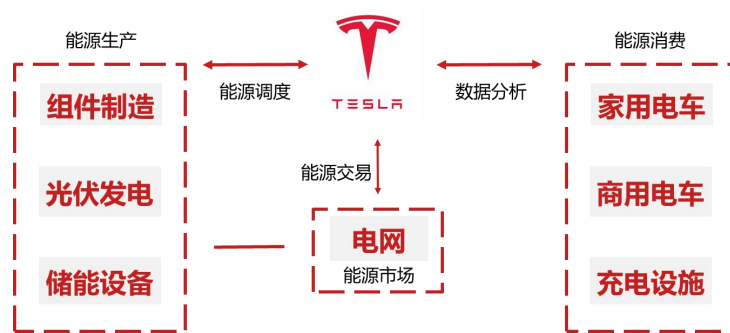
- **特斯拉通过电力零售计划实现电力调度。**2022年12月，特斯拉推出电力零售计划Tesla Electric，支持当地用户向美国德克萨斯州的能源供应商出售Powerwall 中未使用的电力来赚取电费。参与该计划后，用户的Powerwall电池会自动决定何时充电以及何时向电网出售电力，即该系统可在低电价时为电动汽车充电或存储电力，在最有利的情況下将来自于业主储能系统的电力出售到电网。特斯拉还为能源供应商提供了能源价格跟踪和电力管理功能，帮助能源供应商监控 Powerwall 用户的贡献。
- **2022年，加州公共事业公司 PG&E 借助 Powerwall 向用户直接购买电力。**该项目是特斯拉与 PG&E 合作的“Emergency Load Reduction Program”虚拟电厂项目的一部分，主要目的为解决加州夏季电力供应紧张的情况。拥有 Powerwall 的 PG&E 客户可以自愿选择通过特斯拉的应用程序注册加入，而在电网用电紧急高峰期，所有参与计划的 Powerwall 将被调度，每提供额外的1千瓦时电能，其所有者将获得 2 美元的收益，远高于加州平均住宅电价25美分/千瓦时。聚合的廉价绿色能源可以有效替代原本使用的昂贵燃气火电，进而为虚拟电厂赚取差价收益。

图表：特斯拉Powerwall储能电池运作模式



资料来源：特斯拉官网，民生证券研究院

图表：特斯拉虚拟电厂生态



资料来源：能源电力说，民生证券研究院

03 Sunverge 虚拟电厂平台：主要基于需求侧响应计划

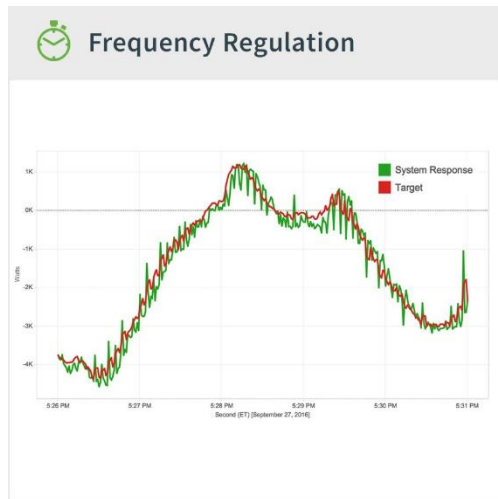
- Sunverge 能源平台使分布式能源资源参与电力公司、输配电网运营商、电网边缘服务提供商、第三方聚合商的批发市场。主要提供三种业务：**
 - 1) 营运储备：**由于意外事件或紧急事件而调度分布式能源资源（DER）供电请求。
 - 2) 频率调节：**通过聚合用户侧分布式资源实时响应独立能源运营商调节信号，即时响应上下调节的请求，解决短期电网供需失衡和频率波动问题，并跟踪系统负载的亚分钟波动并纠正发电机输出的意外变化。
 - 3) 需求响应：**通过响应系统操作员的信号来降低分布式能源组合的需求。

图表：Sunverge营运储备业务



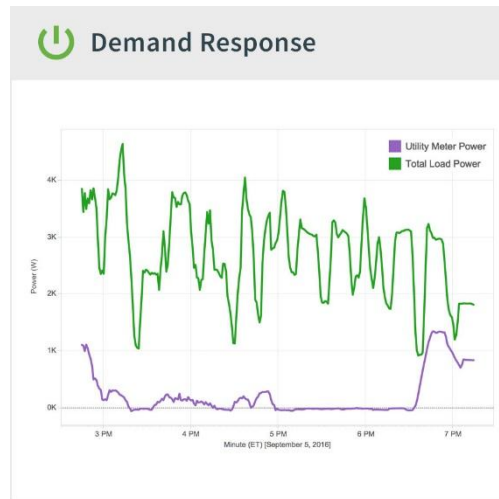
资料来源：Sunverge官网，民生证券研究院

图表：Sunverge频率调节业务



资料来源：Sunverge官网，民生证券研究院

图表：Sunverge需求响应业务



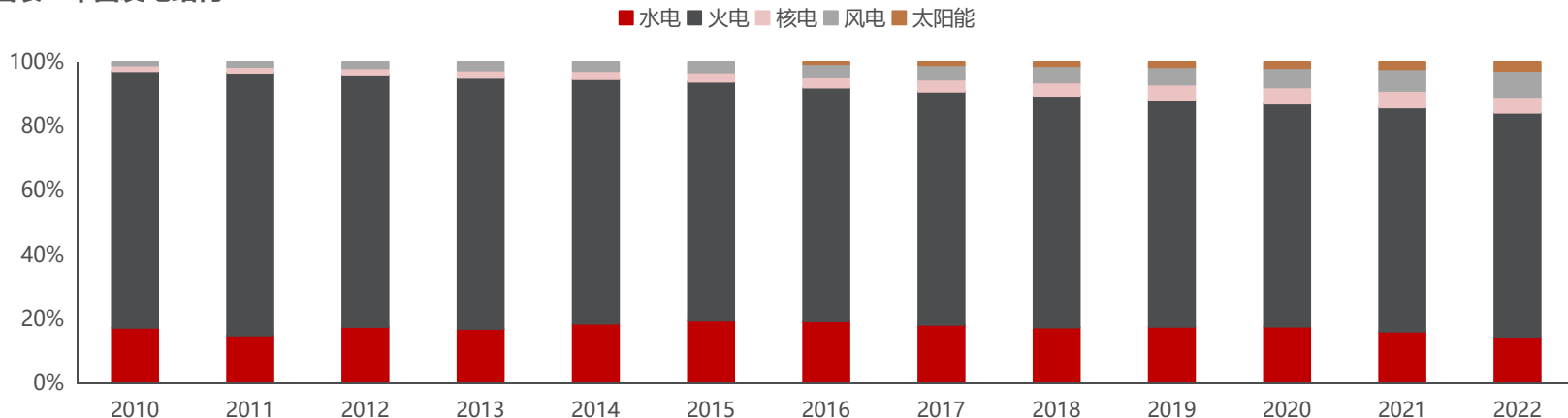
资料来源：Sunverge官网，民生证券研究院

04. 中国：邀约制下的需求侧响应

04 中国22年风光发电占比达10.92%

- 中国风光发电占比稳步提升，2022年已达10.92%。从2010年到2022年，中国的能源发电结构中风电和太阳能的比例显著增长，分别从1.06%和0%上升到8.19%和2.73%，过去十二年间中国在风能和太阳能发电部署领域取得的重大突破。
- 中国的可再生能源发展规划旨在减少对传统燃料（如煤炭）的依赖，改善环境质量，并满足其持续增长的电力需求。根据《“十四五”可再生能源发展规划》的发电目标，2025年可再生能源年发电量将达到3.3万亿千瓦时，“十四五”期间可再生能源发电量增量在全社会用电量增量中的占比超过50%，风电和太阳能发电量实现翻番。根据中国对双碳目标的承诺，计划2030年中国非化石能源消费占比达到25%，风电和太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上，可再生能源加快步入跃升发展新阶段，将全面进入无补贴平价甚至低价市场化发展新时期。

图表：中国发电结构



资料来源：国家统计局，民生证券研究院

04

中国电力市场机制：统一调度，分级管理

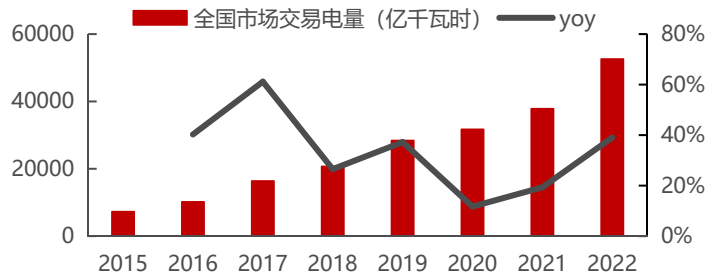
- **国家电网与南方电网是中国智能电网运营的双寡头。**其中国家电网公司的经营区域覆盖我国88%的国土面积，而南方电网的服务范围包括广东省、广西省、云南省、贵州省和海南省五个省份及港澳地区。2022年，国家电网经营区域市场交易电量达4.16万亿千瓦时，同比增长42.7%；南方电网经营区域市场交易电量0.85万亿千瓦时，同比增长27.4%。
- **中国2015年重启电力体制改革，将电力市场置于中心位置。**可再生能源发电的不确定性、波动性和间歇性以及逆调峰等特性，使得传统的计划调度方式难以应对可再生能源高渗透率新型电力系统运行的挑战，以电力现货市场机制替代传统的日前发电调度计划和近实时发电调度计划方式势在必行。
- **全国统一电力市场的关键在于将跨区、跨省和省内的发电计划调度转变为多层次协调统一的电力现货市场体系。**从2017年开始，国家电网在“两级市场模式”下试行省间电力现货交易，以促进电力流通并减少废弃风电和光伏发电。该模式不仅可以与现有的省级市场协同运行，还可以包含覆盖整个南方电网区域的南方电力现货市场。2022年，全国市场交易电量达5.25万亿千瓦时，同比增长39%，占全社会用电量的60.8%，同比增长15.4%。其中，跨省跨区的市场交易电量超过1万亿千瓦时，同比增长近50%。

图表：国家电网VS南方电网-业务覆盖范围



资料来源：前瞻产业研究院，民生证券研究院

图表：历年全国市场交易电量（亿千瓦时）



资料来源：中电联，民生证券研究院

04 中国虚拟电厂：邀约型向市场型过渡

- 虚拟电厂的发展可分为三个阶段，分别为邀约型、市场型以及跨空间自主调度型。
- 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，亟需制定国家和省级专门政策；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。
- 全国虚拟电厂部署或将以构建更多能聚集多种资源、实现多元盈利的综合型虚拟电厂为目标，从需求响应和可控负荷聚合的双重视角着手，最终实现电力供需的平衡优化，提高整体的电网稳定性和能源效率。

图表：中国部分虚拟电厂建设时间线



资料来源：中国储能网，民生证券研究院

04 中国虚拟电厂：是否有成熟的电力现货市场是核心

- 虚拟电厂商业模式的贯通取决于是否有成熟的电力现货市场。目前中国虚拟电厂商业模式主要以需求侧响应为主。历史与现实条件、物理和社会环境决定各国电力市场发展路径不唯一，中国的电力现货有特殊性，需要积极探索建设具有中国特色的电力市场体系。

图表：中、美、欧电力市场及虚拟电厂模式差异

	美国	欧洲	中国
资源分布	资源与负荷分布相对较为均衡	各国能源结构互补，负荷分布相对较分散	能源资源与用电负荷呈逆向分布，且距离较远
电源结构	气电等灵活调节电源比例较高，煤电比例较低	各类型电源较为均衡	煤电机组占比接近2/3，水电、气电等灵活调节资源占比较低，但新能源规模大且集中
电网体制	所有权较为分散	各国之间所有权较为分散	电网所有权集中，统一规划、统一建设、统一管理
电网结构	各区域电网相对独立，相互间电网联络规模有限	各国电网相对独立，部分区域内联系较紧，形成5个同步电网区域	全网资源配置的电网结构基本建成，但尚处于初期；省级电网通过省间输电通道普遍联系。
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。主要交易中心也加强合作，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。 两级交易： 国家级交易中心+省级交易中心
电力市场模式	金融交易+日前实时市场	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
电力市场规模	市场逐渐扩大融合	通过市场耦合形成欧洲统一电力市场	统一市场、两级运作。 未来逐步融合，在全国范围内统一进行优化配置，分控制区保障平衡。
虚拟电厂聚焦资源	家用储能、光伏等可控负荷	分布式发电资源	分布式光伏、储能、可控负荷等
虚拟电厂盈利方式	需求侧响应收益	电力市场交易及辅助服务收益	需求侧响应补偿及辅助服务收益
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，仍处于试验阶段

资料来源：北京电力交易中心，民生证券研究院

04 中国虚拟电厂：目前以电力现货交易试点区域为主

- **目前实施的虚拟电厂项目与电力现货交易试点区域在地理位置上基本一致。**除冀北外，开展虚拟电厂试点项目的所有地区都在电力交易试点的省份名单中。南网覆盖的地区在推进虚拟电厂项目的实施上走在前列，在电力现货交易试点的推进上也取得了较快进展。
- **经济发达地区虚拟电厂模式以可控负荷的需求侧响应为主。**广东、江苏、浙江和上海等经济发达地区主要通过聚合充电桩、商业体等负荷端资源，积极参与需求侧响应。而在冀北等其他地区，主要的虚拟电厂模式则是聚合发电侧、储能装置和可控负荷等多种资源的综合型虚拟电厂。其原因在于基于城市功能区不同应用场景，负荷类型、通用能源需求、能源典型配置的对应关系不同，虚拟电厂建设需因地制宜，基于现有电力市场与需求侧响应市场开展。

图表：电力现货交易试点区域名单

试点批次	地区	首次模拟试运行时间
第一批	南方（以广东起步）	2018年8月
	甘肃	2018年12月
	山西	2018年12月
	浙江	2019年5月
	福建	2019年6月
	四川	2019年6月
	蒙西	2019年6月
	山东	2019年6月
第二批	江苏	2022年1月
	安徽	2022年3月
	河南	2022年6月
	辽宁	2022年6月
	湖北	2022年7月
	上海	2022年7月

资料来源：电联新媒，中国能源报，民生证券研究院

图表：中国主要虚拟电厂运营模式

省份	运营模式
江苏	主要参与需求响应，进行削峰填谷，在实践规模、次数、品种等方面均位居国内前列
上海	主要参与需求响应、备用和调峰三个交易品种，是国内参与负荷类型最多、填谷负荷比例最高、参与客户最多的
冀北	主要参与调峰为主的辅助服务市场，以促进消纳风电、光伏等可再生能源的填谷服务为主，是少有的完全市场化运营模式
广东	主要参与需求响应市场，尽管其调频辅助市场已经运行，但由于技术难题尚未解决，用户侧资源仍未纳入到调频辅助服务中
山东	试点主要参与现货能量、备用和辅助服务市场交易，完成报价保量参与日前现货、需求侧管理机制的衔接，逐步从政策补贴向市场化过渡

资料来源：能源新媒，民生证券研究院

04 冀北虚拟电厂项目：首个市场化运营的虚拟电厂示范工程

- **国内首个市场化运营的虚拟电厂示范工程。**国网冀北虚拟电厂是国内首个虚拟电厂试点项目，于2019年12月建成投运。该工程实时接入并控制了蓄热式电采暖、可调节工商业、智能楼宇、智能家居、储能、电动汽车充电站、分布式光伏等资源。构建了“1（虚拟电厂智能管控平台）+n（运营商/聚合商）+x（用户）”体系架构。目前，平台上共3家运营商（冀北综合能源、恒实科技、国电投中央研究院），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。
- **首次实现调节资源纳入调度闭环运行。**传统电力系统中，调频、调峰、备用等系统的调节由电源侧提供，即“源”随“荷”动。虚拟电厂等新兴市场主体实现了用户侧调节资源参与系统调节，对传统电力系统的调节方式带来革命性变化，推动了“源网荷储”互动的新模式。冀北虚拟电厂项目可以提供实时、柔性、连续的能量调节，增强了系统调节能力，参与调峰辅助服务有效促进京津唐电网在低谷时段的新能源消纳。
- **2019年起，冀北虚拟电厂全程参与华北(京津唐)调峰市场出清。**已在线连续提供调峰服务超过5225小时，累计增发新能源电量3747万千瓦时。资源总容量358MW，最大调节能力204MW，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%），调节性能良好。

图表：冀北虚拟电厂运作模式

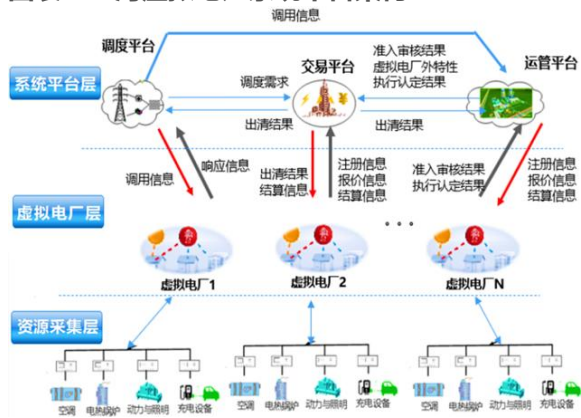


资料来源：国家电网，民生证券研究院

04 上海虚拟电厂项目：最先进行虚拟电厂项目建设的城市之一

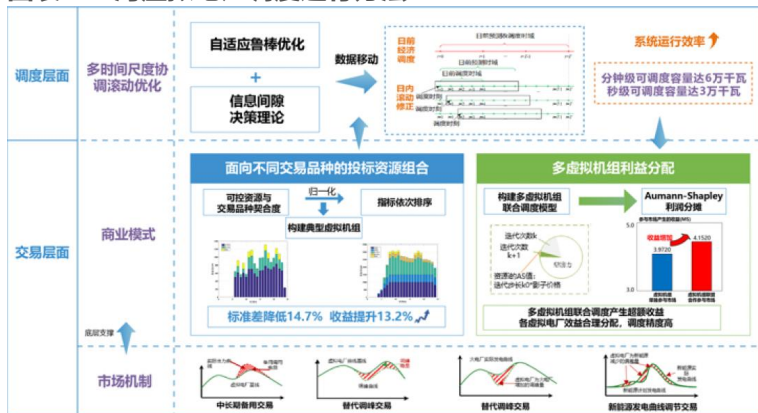
- 上海是全国最先进行虚拟电厂项目建设的城市之一。在工商业用电比例极高的情况下，构建了以商业楼宇为主的调度-交易-运营一体化虚拟电厂运营体系，实现了虚拟电厂直接参与电力市场交易和跳读系统优化调控，主要应用场景包括商业楼宇能源管理、削峰填谷等。
- 截至2023年3月底，上海市级平台已接入12家虚拟电厂，初步形成1000MW发电能力。所涵盖资源类型包括工商业楼宇、冷热电三联供能源站、电动汽车充换电站、动力照明、铁塔基站分布式储能等。试点项目包括黄浦区商业建筑需求侧管理示范项目等，黄浦区约50%商业建筑接入虚拟电厂平台，响应资源约60MW。
- 上海虚拟电厂目标消纳能力将达到地区最高负荷的5%，以保障电网的安全稳定运行。目前上海虚拟电厂实现了对负荷资源的监测，但尚未实现对负荷资源的在线自动控制，且总体规模相对于电网负荷规模仍旧较小，还需通过不断培育负荷聚合商、接入用户可控资源，以扩大虚拟电厂规模。

图表：上海虚拟电厂系统平台架构



资料来源：国家电网，民生证券研究院

图表：上海虚拟电厂调度运行方法



资料来源：国家电网，民生证券研究院

04

深圳虚拟电厂项目：国内首家虚拟电厂管理中心

- 深圳虚拟电厂管理中心于2022年8月26日成立，是国内首家虚拟电厂管理中心。其平台采用“互联网+5G+智能网关”的先进通信技术，打通了电网调度系统与聚合商平台接口，实现电网调度系统与用户侧可调节资源的双向通信，可满足电网调度对聚合商平台实时调节指令、在线实时监控等技术要求，为用户侧可调节资源参与市场交易、负荷侧响应，实现电网削峰填谷提供坚强技术保障。
- 目前，深圳区域的虚拟电厂已基本具备实体电厂功能，开始常态化参与电网调节业务，帮助电网在负荷尖峰时段减轻负担，提升用户用电可靠性、稳定性。深圳虚拟电厂平台已成功接入了14家聚合商，接入装机容量约为87万千瓦（相当于约9万户家庭的用电报装容量，接近一座大型煤电厂的装机容量），其中分布式光伏容量为21万千瓦。预计到2025年，深圳将建成具备100万千瓦级可调节能力的虚拟电厂，逐步形成年度最大负荷5%左右的稳定调节能力。

图表：深圳虚拟电厂平台接入资源类型



资料来源：国家电网，民生证券研究院

05. 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】【国网信通】；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。

图表：重点公司盈利预测、估值与评级

证券代码	证券简称	股价（元）	EPS			PE			评级
			2023E	2024E	2025E	2023E	2024E	2025E	
300982.SZ	苏文电能	48.51	2.75	3.68	4.83	18	13	10	推荐
301179.SZ	泽宇智能	28.35	1.29	1.67	2.17	22	17	13	推荐
603105.SH	芯能科技	16.15	0.56	0.68	0.84	29	24	19	推荐
601126.SH	四方股份	15.57	0.83	0.98	1.18	19	16	13	推荐
002028.SZ	思源电气	49.44	2.11	2.69	3.38	23	18	15	推荐
688100.SH	威胜信息	27.85	1.06	1.38	1.76	26	20	16	推荐
300360.SZ	炬华科技	17.96	1.09	1.45	1.91	16	12	9	推荐
603556.SH	海兴电力	24.94	1.62	2.11	2.4	15	12	10	推荐

资料来源：，民生证券研究院预测；（注：股价为2023年7月25日收盘价）

06. 风险提示

- 1) **电网投资不及预期的风险。**电网计划投资额和实际完成额之间可能存在差异，电网投资实际完成额不及预期可能影响相关公司的经营水平，对盈利能力造成不良影响。
- 2) **原材料供货紧张及价格波动风险。**部分原材料面临供给不足、价格上涨风险，可能导致相关公司营业成本上涨或难以按时交付产品。

THANKS 致谢

民生电新研究团队：



分析师 邓永康
执业证号：S0100521100006
邮箱：dengyongkang@mszq.com



分析师 郭彦辰
执业证号：S0100522120002
邮箱：guoyanchen@mszq.com



分析师 朱碧野
执业证号：S0100522120001
邮箱：zhubiye@mszq.com



分析师 王一如
执业证号：S0100523050004
邮箱：wangyiru@mszq.com



研究助理 李佳
执业证号：S0100121110050
邮箱：lijia@mszq.com



研究助理 席子屹
执业证号：S0100122060007
邮箱：xiziye@mszq.com



研究助理 林誉韬
执业证号：S0100122060013
邮箱：linyutao@mszq.com



研究助理 李孝鹏
执业证号：S0100122010020
邮箱：lixiaopeng@mszq.com



研究助理 赵丹
执业证号：S0100122120021
邮箱：zhaodan@mszq.com



研究助理 许俊哲
执业证号：S0100123020010
邮箱：xujunzhe@mszq.com

民生证券研究院：

上海：上海市浦东新区浦明路8号财富金融广场1幢5F；200120

北京：北京市东城区建国门内大街28号民生金融中心A座19层；100005

深圳：广东省深圳市福田区益田路6001号太平金融大厦32层05单元；518026

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登记为注册分析师，基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰地反映了研究人员的研究观点，结论不受任何第三方的授意、影响，研究人员不曾因、不因、也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

评级说明：

投资建议评级标准	评级	说明
以报告发布日后的12个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A股以沪深300指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。	推荐	相对基准指数涨幅15%以上
	谨慎推荐	相对基准指数涨幅5%～15%之间
	中性	相对基准指数涨幅-5%～5%之间
	回避	相对基准指数跌幅5%以上
	推荐	相对基准指数涨幅5%以上
	中性	相对基准指数涨幅-5%～5%之间
	回避	相对基准指数跌幅5%以上

免责声明：

民生证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。
本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用，并不构成对客户投资建议，不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。
本报告是基于已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期，本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。
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、咨询服务等相关服务，本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。
若本公司以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。
本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。