

虚拟电厂行业深度

东吴公用事业 2022.07.20

刘博 (S0600518070002)

邮箱: liub@dwzq.com.cn

唐亚辉 (S0600520070005)

邮箱: tangyh@dwzq.com.cn

虚拟电厂的本质

虚拟电厂（VPP, virtual power plant）本质上是将分布式电源（发电）、可控负荷（用电）、储能等利用计算机通信网络技术将其聚合成一个虚拟的集中式电厂，来为电网提供需求侧响应的“虚拟集中式电厂”。虚拟电厂主要分为三大类：负荷型虚拟电厂、电源侧虚拟电厂和源网荷储一体化虚拟电厂。

储能+虚拟电厂均是新能源发电大发展中电网调峰调频的有效途径

从2020年习总书记在联合国大会上提出“碳中和”发展目标，2021年以来发电侧的风电、光伏发电迎来了高速发展，进入2022年，储能变得愈发重要。不管是发电侧的电化学储能、火电的灵活性改造，还是电网侧的抽水蓄能，用电侧的需求侧响应，到虚拟电厂，都是在解决新能源上网对电网造成的巨大负荷，为电网调峰调频的有效途径，虚拟电厂是储能的重要补充。

经济性：虚拟电厂是解决电网负荷的最具经济性选项之一

根据国家电网的测算，通过火电厂实现电力系统削峰填谷，满足5%的峰值负荷需要投资4000亿，而通过虚拟电厂仅需投资500-600亿元，虚拟电厂的成本仅为火电厂的1/8-1/7。

虚拟电厂的成熟依托于发电侧分散式提高+配电网大投资+电力现货市场

当前我国的虚拟电厂多为负荷型虚拟电厂，分散式电源参与虚拟电厂的比例鲜有，一个本质的原因在于配电网成熟程度较低，而分布式电源的接入是必然趋势，因此十四五配电网的投资有望大超市场预期；参考德国美国的虚拟电厂大发展，本质上基于成熟的电力现货市场为虚拟电厂的商业模式提供了盈利性。

建议关注：配电网：思源电气、三峡水利等；虚拟电厂信息化：朗新科技、国网信通、东方电子、国能日新、恒实科技、远光软件等

风险提示：我国分布式光伏、配电网投资不及预期；我国电力现货市场交易进度不及预期；政策风险等



- **定义：虚拟电厂的本质及运营模式**
- **经济性：虚拟电厂是解决电网负荷的最具经济性选项之一**
- **海外对比：虚拟电厂依托发电分散式+配电网大投资+电力现货市场**
- **相关标的：思源电气、朗新科技、国网信通、恒实科技、国能日新等**
- **风险提示**

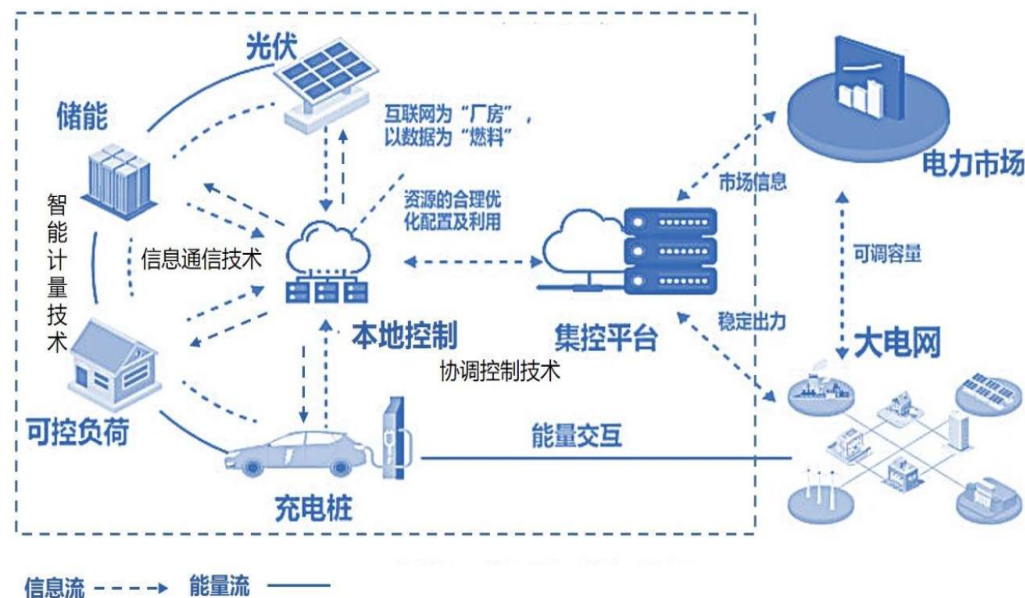
定义：虚拟电厂的本质及运营模式

虚拟电厂的本质

虚拟电厂（VPP, virtual power plant）本质上是将分布式电源（发电）、可控负荷（用电）、储能等利用计算机通信网络技术将其聚合成一个虚拟的集中式电厂，来为电网提供需求侧响应的“虚拟集中式电厂”，它不同于微电网，虚拟电厂参与的需求侧响应打破了空间的束缚，通过集控平台进行调节响应。举例来说，上海的分布式光伏电厂可以与江苏的可控负荷组成虚拟电厂，参与华东地区的辅助市场交易。

虚拟电厂的核心是“聚合”和“通信”，虚拟电厂是一种先进的区域性电能集中管理模式，功能在于聚合多分布式能源参与电力市场运行。虚拟电厂是利用物联网和先进通信技术，聚合分布式电源、储能、可调负荷等各类分布式资源形成的电源协调管理系统。

虚拟电厂运营模式



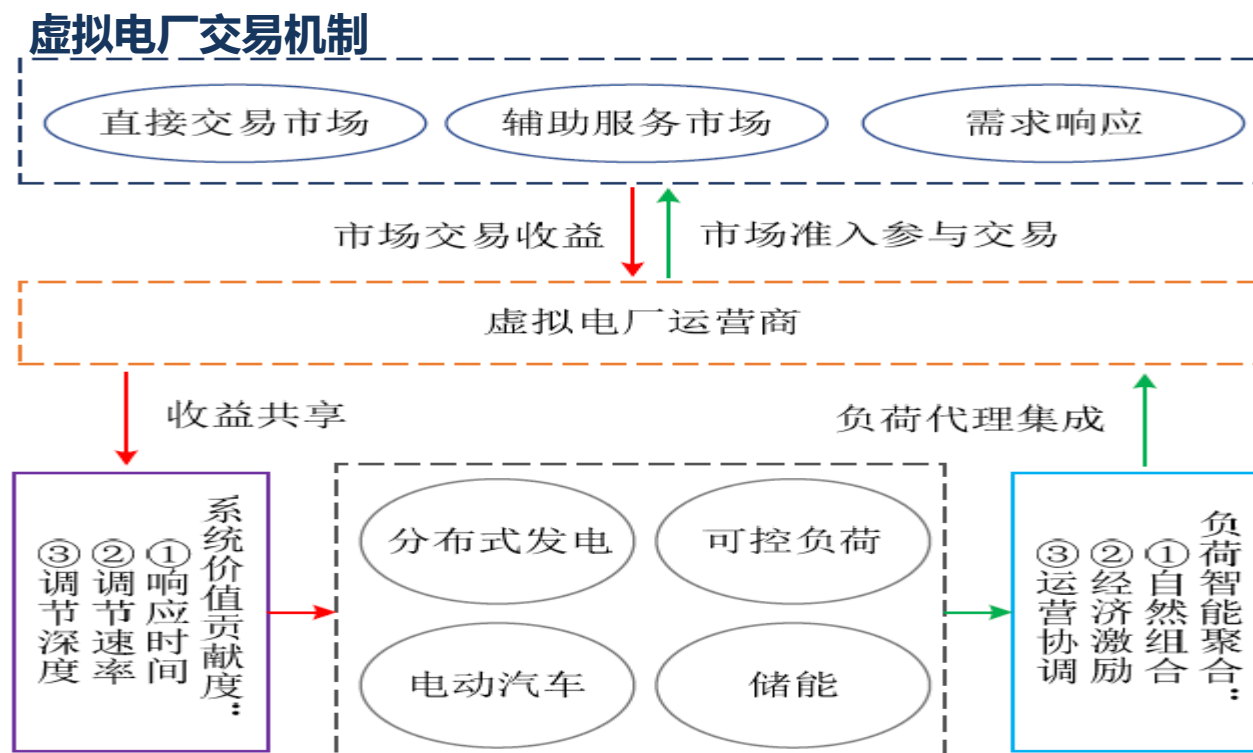
虚拟电厂产业链

虚拟电厂产业链包括：上游基础资源、中游系统平台和下游电力需求方。 (1) **上游基础资源**：可调负荷、分布式电源和储能设备。可控负荷重点是工业、商业和公共建筑、居民等，不同应用场景负荷可调潜力差异较大，商业和公共建筑可调负荷主要是空调、照明、动力，约占楼宇负荷的25%；居民可调负荷分布散、单点容量小、聚合难度较大。分布式电源指的是小型分布式光伏、风电、火电、水电等机组。储能包括机械储能、化学储能等。 (2) **中游资源聚合商**：主要是依靠互联网整合优化供给和需求的信息，增强虚拟电厂的协调控制能力。 (3) **下游为电力需求方**：由电网公司、售电公司和大用户构成。



虚拟电厂类型

虚拟电厂主要分为三大类：**负荷型虚拟电厂**、**电源侧虚拟电厂**和**源网荷储一体化虚拟电厂**。（1）**负荷型**：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。（2）**电源侧虚拟电厂**：顾名思义，在分布式电源发电侧建立虚拟电厂。（3）**源网荷储一体化虚拟电厂**：集合发电电源和负荷用电用户，作为集中式电厂，作为独立市场主体参与电力市场，原则上不占用系统调峰能力。当前我国虚拟电厂试点的多为负荷型虚拟电厂，冀北试点的虚拟电厂为国内鲜有的源网荷储一体化虚拟电厂试点。



经济性：虚拟电厂是解决电网负荷的最具经济性选项之一

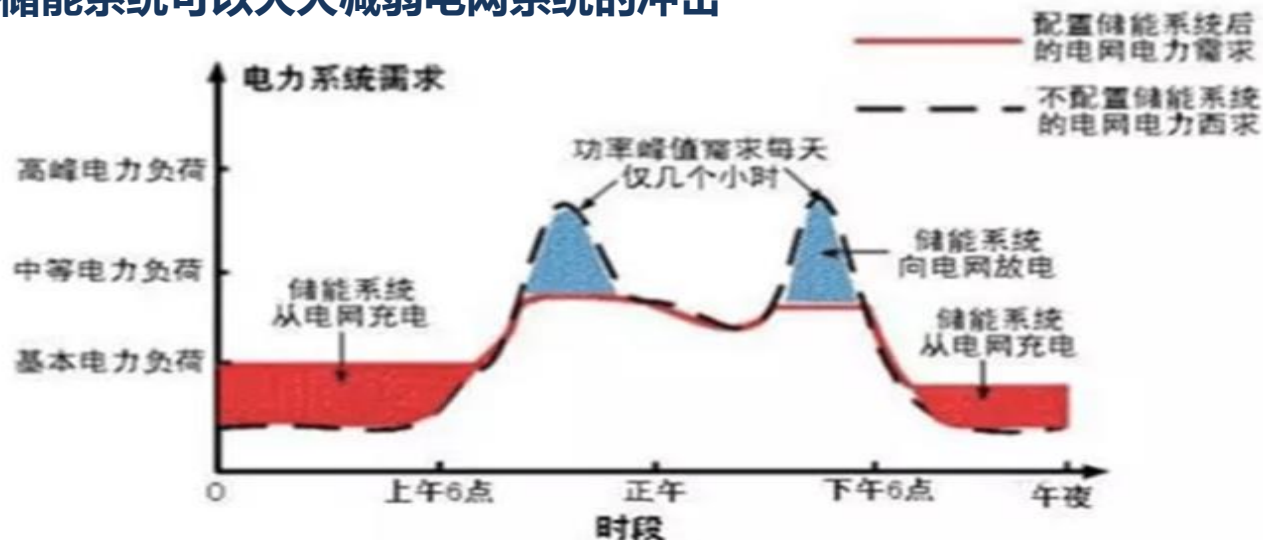
储能+虚拟电厂均是新能源发电大发展中电网调峰调频的有效途径

为什么要大力发展储能+虚拟电厂？

(1) **新型电力系统建设中，风电、光伏的新型发电对电网造成了巨大的冲击。**电这种资源具有瞬时性，发电、供电、用电在同一时间内完成，而风电光伏的发电高峰与我们的用电高峰是不匹配的，近两年频发的电荒事件有很大程度是由于新能源发电和用电的供需错配，而不是发电量的绝对量，我们能够即使响应的稳定能源是不足的。因此在风电光伏大发展的过程中，用电发电的供需矛盾、电网的调峰调频问题也会愈发严峻。

(2) **储能和虚拟电厂均是解决电网调峰调频的重要方式。**从2020年习总书记在联合国大会上提出“碳中和”发展目标，2021年以来发电侧的风电、光伏发电迎来了高速发展，进入2022年，储能变得愈发重要。不管是发电侧的电化学储能、火电的灵活性改造，还是电网侧的抽水蓄能，用电侧的需求侧响应，到虚拟电厂，都是在解决新能源上网对电网造成的巨大负荷，为电网调峰调频的有效途径，虚拟电厂是储能的重要补充。

配置储能系统可以大大减弱电网系统的冲击



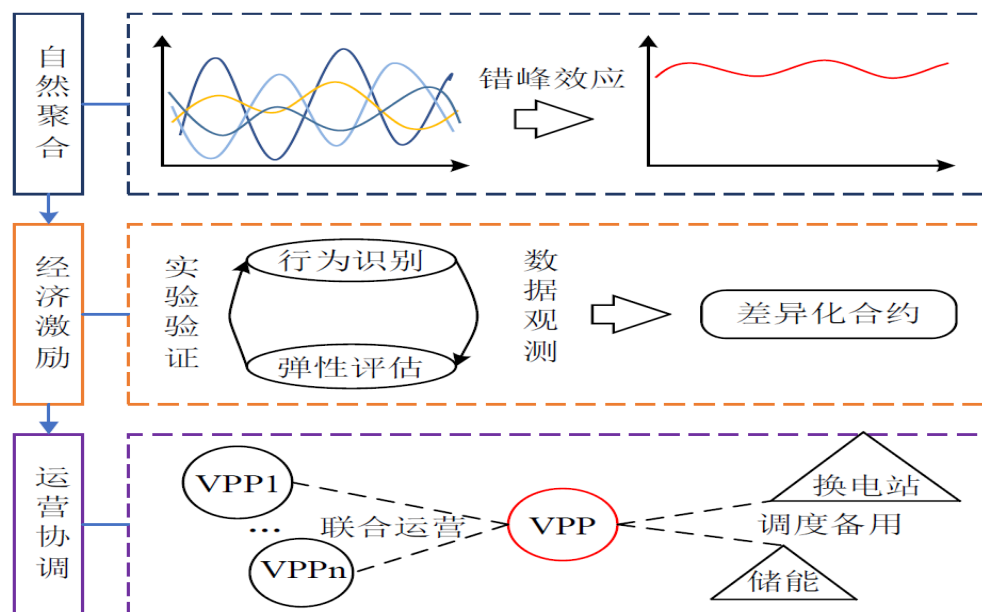
虚拟电厂的作用：削峰填谷、减轻日益增加的电网负荷

(1) 电网侧：为电网提供削峰填谷、减轻电网负荷。碳中和的大背景下，随着风电和光伏的大量接入、电力电子设备增加、对电力系统的平衡调节造成了巨大压力，将需求侧分散资源聚沙成塔，发展虚拟电厂，与电网进行灵活、精准、智能化互动响应，有助于平抑电网峰谷差，提升电网安全保障水平。

(2) 用户侧：降低用户侧用能成本。从江苏等地试点看，参与虚拟电厂后用户用能效率大幅提升，在降低电费的同时，还可以获取需求响应收益。如江苏南京试点项目平均提升用户能效20%；无锡试点项目提高园区整体综合能源利用率约3个百分点，降低用能成本2%，年收益约300万元。

(3) 发电侧：促进新能源消纳。部分时段部分地区的弃风弃光现象仍比较严重，发展虚拟电厂，将大大提升系统调节能力，降低“三弃”电量。

虚拟电厂调度优化机理



发展现状：我国虚拟电厂尚处在发展早期，商业模式尚不健全

我国虚拟电厂尚处于早期试点阶段，各地积极开展虚拟电厂试点，江苏、浙江、上海、冀北等地均出现了大型的虚拟电厂试点。2022年6月23日，山西省能源局发布《虚拟电厂建设与运营管理实施方案》，地方权威性纲领陆续出台。方案指出，按照虚拟电厂聚合优化的资源类别不同，将虚拟电厂分为两类：负荷类虚拟电厂和源网荷储一体化虚拟电厂。负荷类虚拟电厂运营商应是具有山西电力市场交易资格的售电公司或电力用户；一体化虚拟电厂的运营商是一体化项目主体或授权代理商，并具有山西电力市场售电资格。市场建设初期，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。虚拟电厂参与现货市场时，仅参与日前现货市场，实时现货市场种作为固定出力机组参与出清，待条件具备后，再参与实时现货市场。聚合对象包括电源、负荷、储能三类资源；调节容量初期不低于20MW，且不低于最大用电负荷的10%，后期视虚拟电厂发展情况滚动修正；响应时长：具备按照调节容量要求持续参与响应不小于2小时的能力。

我国虚拟电厂实践案例

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、广域需求响应等	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

商业模式：各地试点出台，缺乏顶层设计

一体化的虚拟电厂依托分散式电源、分散式负荷和成熟的电力现货市场。当前我国试点的虚拟电厂多为负荷类虚拟电厂，分散式电源的上网仍严重不足，本质原因在于（1）地方的配电网建设尚不健全，（2）市场化的电力交易机制尚不健全，虚拟电厂的盈利性受到限制。

随着我们分散式风电、分布式光伏大发展，我国配电网大投资也有望迎来高增，承担电力辅助服务、调峰调频的电力交易机制日趋成熟，顶层设计有望加速到来。

广东市场化需求响应交易品种



商业模式：各地试点出台，缺乏顶层设计

广东市场化需求响应包括日前邀约需求响应、可中断负荷交易和直控型可调节负荷竞争性配置交易。日前邀约需求侧响应价格上下限为3500元/MWh和70MWh；可中断负荷交易调用价格为5000元/MWh和70元/MWh；直控型可调节负荷竞争性配置交易价格上下限为25-40元/KW/月和0元/KW/月。

2月10日，广东广州市工信厅公开征求《广州市虚拟电厂实施细则（征求意见稿）》的意见和建议，其中提出目标是引导用户通过开展需求响应，实现削峰填谷，逐步形成约占我市统调最高负荷3%左右的需求响应能力。电力用户、负荷聚合商可申请参与需求响应，需求响应分为邀约、实时两种类型，补贴费用 = 有效响应电量 × 补贴标准 × 响应系数，削峰补贴最高5元 / 度，填谷补贴最高2元 / 度。

广东市场化需求响应电价补贴标准

序号	响应类型	提前通知时间	补贴标准 (元/千瓦时)	响应系数
1	邀约削峰响应	提前1天	0-5	1
2		>4小时		1.5
3	实时削峰响应	——		3
4	邀约填谷响应	提前1天	0-2	1
5		>4小时		1.5
6	实时填谷响应	——		3

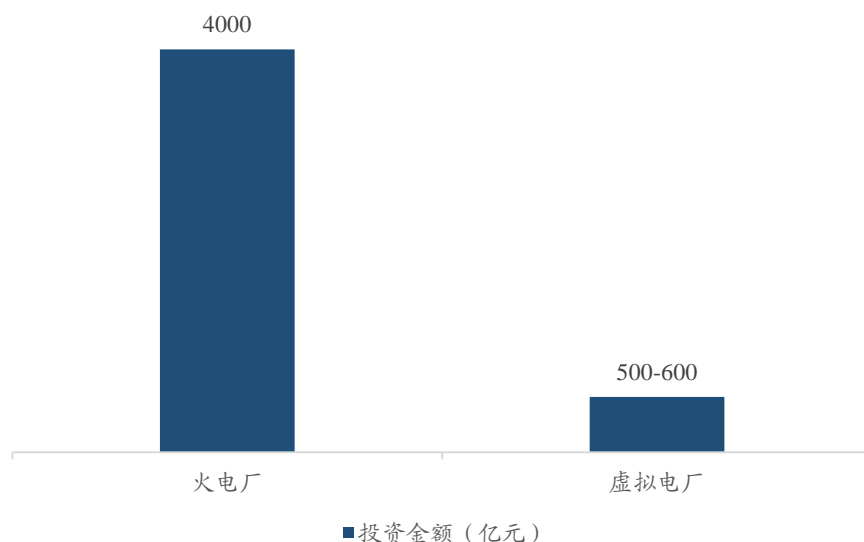
经济性：虚拟电厂是解决电网负荷的最具经济性选项之一

根据国家电网的测算，通过火电厂实现电力系统削峰填谷，满足5%的峰值负荷需要投资4000亿，而通过虚拟电厂仅需投资500-600亿元，虚拟电厂的成本仅为火电厂的1/8-1/7。

在电力市场运营方面，参与的市场交易类型与火电厂相同，在资源分布特点与促进分布式能源并网消纳方面，与微电网相似，但在环境保护、系统结构、功能特点等方式具有根本区别。

虚拟电厂与火电厂、微电网相比，是一种通过市场机制聚集分布式发电、柔性负荷、储能等分布式能源参与电力市场运行的运营机制，提升虚拟电厂及参与虚拟电厂各成员的整体收益，提高可再生能源的市场参与积极性与系统运行友好型，促进电力系统实现低碳、高效的多赢市场化运营。参与虚拟电厂的各成员灵活性、参与性强。具体来看，虚拟电厂相比火电厂与微电网，在低碳运行、物理结构以及控制模式3个方面存在差异。

满足5%峰值负荷的虚拟电厂投资仅为火电的1/8-1/7



海外对比：虚拟电厂依托发电分散式+配电网大投资+电力现货市场

为什么海外特别是德国、美国虚拟电厂大发展？为什么我国现存试点的虚拟电厂多为负荷侧虚拟电厂而非一体化虚拟电厂？

(1) 参考德国、美国虚拟电厂的快速发展，欧美国家的电价均为较为市场化的电价制度，为工商业用户对分布式、户用储能以及虚拟电厂的发展提供了经济性；

(2) 随着国内集中式绿电的资源开发趋于成熟，分布式的资源开发也将进入加速阶段。当前我国的虚拟电厂试点多为负荷侧虚拟电网，分布式电源接入非常少，一个本质的原因在于我国的配电网建设还不够完善。

因此，成熟的电力现货市场为虚拟电厂的商业模式提供经济性、分布式电源+配电网的大发展为虚拟电厂的发展提供必要性。

	美国加州	德国
建设背景	净负荷呈现高爬坡率与过发电	推动清洁能源市场机制
市场机制基础	较为成熟的需求响应市场机制	能量市场与辅助服务市场解耦
虚拟电厂资源特点	以负荷侧灵活性资源、分布式储能为主	资源多样，存在许多独立的VPP运营商
创新市场机制	需求响应资源市场机制、分布式能源供应商市场机制	缩短调频备用服务招标周期与服务时间降低最小竞标容量要求
市场组成	日前、实时能量市场与日前、实时旋转备用/非旋转备用市场	FCR、aFRR、mFRR
市场准入	容量最低准入门槛，PDR需位于同一子负荷区域，DERP存在聚合容量上限	满足调频备用服务参数，完成资格预审测试
报价出清	通过SC报价与结算，响应偏差超过10%予以惩罚，投标信息包括分配因子	在招标平台上申报容量与价格
结算	根据边际出清价格，备用市场以中标容量与调用电量两部分结算	FCR以边际出清价格对中标容量结算；FRR根据报价对中标容量与调用电量结算

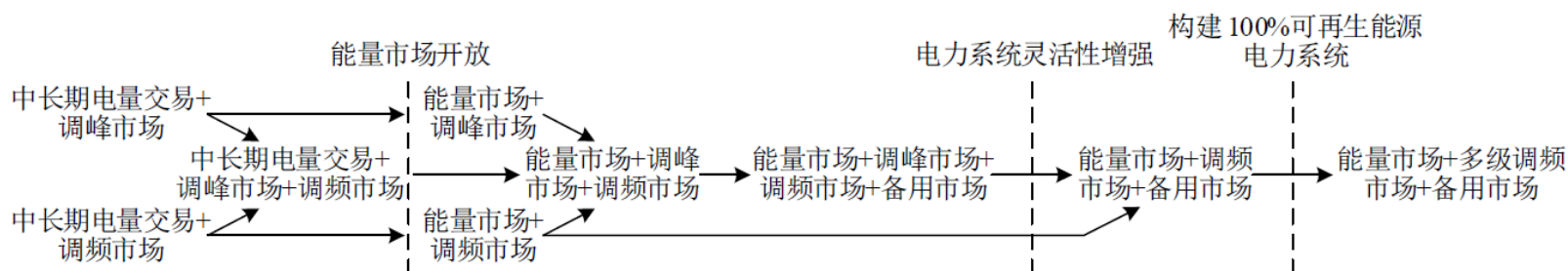
欧洲最大虚拟电厂Next Kraftwerke经验

Next Kraftwerke 的成功基于德国市场化的电价交易机制，为虚拟电厂的盈利提供了非常好的商业模式。

Next Kraftwerke是德国一家大型虚拟电厂运营商，也是欧洲最大的虚拟电厂运营商。它创立于2009年，是欧洲电力交易市场(EPEX)认证的能源交易商，在EPEX SPOT和EEX等欧洲交易所可以参与能源的现货市场交易，在七个欧洲输电系统运营商（Transmission System Operator）TSO 地区提供平衡服务。Next Kraftwerke 通过中央控制系统的M2M实时通信，将来自沼气、风能、太阳能、垃圾等可再生能源与商业和工业电力用户以及储能系统汇集在一起。截至2020年6月，Next Kraftwerke已有9516个聚合单元，8179兆瓦联网装机容量，627.7百万欧元营业额，15.1T瓦时能源交易量。

德国虚拟电厂已大范围商业化，主要应用场景为通过电力市场的灵活电价，引导电厂管辖内系统优化发用电成本，优化交易收益。已形成了完整的市场生态链和商业模式，并已经历了第一轮市场整合。德国虚拟电厂配套的上中下游产品已逐渐完备，虚拟电厂除直接参与电力市场进行交易之外，溢价部分与客户分成参与电网系统辅助服务（二次、三次调频）来收取服务佣金，与此同时：针对城市供电公司、大型工业用户、部分针对小用户的都有相应的售电套餐。

适合我国的电力市场发展方式



相关标的：思源电气、朗新科技、国网信通、恒实科技、国能日新等

	公司	总市值 (亿元)主要业务
配电网		
	思源电气	359输配电设备行业内少数几家具备一次设备、二次设备研发生产能力厂家之一。
	三峡水利	202三峡集团下属重庆配电网龙头，配售电一体化服务。
用电端信息化提取		
	朗新科技	331用电端信息化提取龙头，已成功打通充电桩信息化。
发电侧功率预测		
	国能日新	59发电侧功率预测行业龙头，稀缺新能源SaaS。
虚拟电厂平台		
	国网信通	200背靠国家电网，致力于云网融合的电力数字化服务。
	远光软件	113背靠国家电网，电力信息化软件龙头。
	恒实科技	42我国首个虚拟电厂冀北虚拟电厂的建设者。
	东方电子	111参与多个城市级虚拟电厂、负荷聚合商级虚拟电厂、园区级虚拟电厂。

- 1.我国分布式光伏、配电网投资不及预期的风险。分布式和配电网是虚拟电厂发展的基础，若两者发展不及预期或对虚拟电厂发展带来不利影响。
2. 我国电力现货市场交易进度不及预期的风险。电力现货交易是虚拟电厂获益的重要途径，若电力现货市场推进进度不及预期将对行业带来不利影响。
3. 政策风险。电力市场受到政策的影响较大，若政策支持不及预期，将对虚拟电厂发展带来不利影响。

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。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，本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发、转载，需征得东吴证券研究所同意，并注明出处为东吴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

东吴证券投资评级标准：

公司投资评级：

- 买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘在15%以上；
- 增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于5%与15%之间；
- 中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于-5%与5%之间；
- 减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于-15%与-5%之间；
- 卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘在-15%以下。

行业投资评级：

- 增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于大盘5%以上；
- 中性：预期未来6个月内，行业指数相对大盘-5%与5%；
- 减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于大盘5%以上。

东吴证券研究所

苏州工业园区星阳街5号

邮政编码：215021

传真：(0512) 62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

东吴证券 财富家园