

虚拟电厂能用更经济的方案，唤醒电网调度看不到、控不了的用户侧海量灵活异质资源，实现从离散动作的需求响应模式到连续闭环运营、可调控、可交易模式的转变。

# 以示范试点探索 虚拟电厂市场化与规模化

文 / 王宣元

2018年，由国家电网有限公司主导发起的两项“虚拟电厂”标准获得国际电工委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）批准立项，虚拟电厂的概念在原本体系架构上进一步提升：虚拟电厂是聚合优化“网源荷”清洁发展的新一代智能控制技术和互动商业模式，在传统电网物理架构上，依托互联网和现代信息通信技术，聚合分布式电源、储能、负荷等尚未纳入电网现有调控范围各类资源，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。

## 虚拟电厂迎难而上

能源转型是实现“双碳”目标的

主要途径。这需要在生产侧推动清洁能源替代化石能源，在消费侧推动电能替代以降低社会整体碳排放。

我国新能源发展已取得显著成效，电源结构持续清洁化，截至2021年年底，我国新能源发电装机容量达到6.34亿千瓦，占总发电装机容量的26.7%。

构建新型电力系统面临的挑战来自以下三方面：

一是提升灵活调节能力的挑战。一方面，随着新能源占比逐年提高，新能源的波动性、随机性和反调峰性导致电力系统面临低谷时段消纳难、尖峰时段保供难、波动时段调节难的挑战。另一方面，用户侧灵活异质资源数量多、体量小、总量大，需“聚沙成塔”才能担当大任，而目前大量

用户侧可调节资源尚未纳入电力系统可调控范围。消纳保供的压力叠加，系统灵活调节的能力亟须提升。以国网冀北电力有限公司（以下简称“国网冀北电力”）为例，截至9月29日，冀北电网新能源总装机容量达到3576.5万千瓦，占统调装机比例达70.1%，电量占比达47.7%，新能源逐渐成为冀北电网的装机主体和电量主体。这使国网冀北电力比其他省级电力公司更早面对能源转型以及新能源高速发展、高比例接网所带来的种种挑战。

二是保障系统安全稳定运行的挑战。新型电力系统的本质特征之一是高比例的新能源和高比例的电力电子设备，“双高”电力系统下安全稳定运行面临挑战，容易出现频率超限次



## 国网冀北电力的实践已经进入了“市场型虚拟电厂”阶段，旨在提升系统的灵活调节能力，主要调控的是源荷储各类可调节资源。

>> 由国网冀北电力建设运营的国家风光储输示范工程。

数增加、暂态过电压等问题，如张北柔直电网屡次出现过宽频带振荡现象。因此亟须突破现有系统的运行机理，提升频率的支撑能力、电压调节能力以及暂态的稳定能力，保障新型电力系统安全稳定运行。

三是可持续高质量发展的挑战。随着新型电力系统建设的推进，储能、分布式电源、可控负荷、微网等市场主体多元发展，在实现协同高效的过程中矛盾日益突出，亟须加强市场运营体系建设。针对如何将配电和输电的可持续协调优化控制、如何将

多元主体下的市场运营体系协调控制等课题，我国进行了一系列研究与实践。

构建新型电力系统的痛点之一在于提升系统的灵活调节能力，难点在于如何唤醒电网调度看不到、控不了的用户侧海量灵活异质资源，实现从离散动作的需求响应到连续闭环运营、可调控、可交易的新型电厂的转变？如何解决能源转型中低碳、安全、经济的三角矛盾？为了解决这些问题，国网冀北电力在国内较早进行了虚拟电厂实践。



## 冀北实践成果颇丰

1997年，虚拟电厂的概念被提出。从2001年起，欧洲各国就开始开展以集成中小型分布式发电单元为主要目标的虚拟电厂研究项目。2006年至今，北美和欧洲分别进行了以聚合可控负荷和聚合分布式电源为主的虚拟电厂实践，澳大利亚也在2019年进行了以聚合用户侧储能为主的虚拟电厂实践。

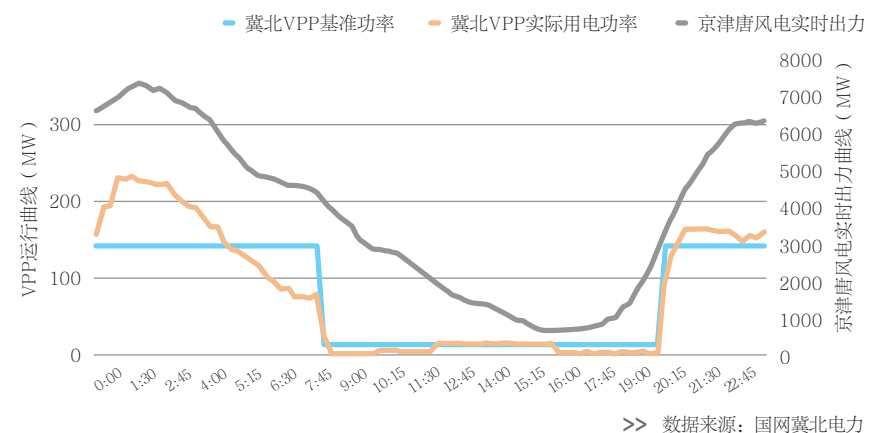
我国的虚拟电厂发展历程始于2016年，江苏率先从需求侧管理的层面进行尝试，开展了全球单次规模最大的需求响应，实现毫秒级的快速精准稳控切负荷。

2019年，国网冀北电力的虚拟电厂（以下简称“冀北虚拟电厂”）示范工程投运，参与华北（京津唐）调峰辅助服务市场。同年，上海建设了黄浦智能楼宇，参与需求侧管理。今年，深圳也建成了虚拟电厂管理平台。

目前我国江苏、上海开展的虚拟电厂实践处于应用模式的第一阶段——邀约型，主要服务于需求响应，开展需求侧管理。国网冀北电力正在探索第二阶段——市场型虚拟电厂，旨在提升系统的灵活调节能力，实现连续闭环调控和市场运营，面向源荷储各类可调节资源。第三阶段的虚拟电厂有很强的自主性，因此被称为自主型虚拟电厂，可以在成熟电力市场环境下长期商业运营。

2019年年底，经国家能源局批复，华北能源监管局印发了《第三方

### 冀北虚拟电厂（VPP）典型日运行曲线



独立主体参与华北电力调峰辅助服务市场规则（试行）》，冀北虚拟电厂作为我国首个以市场化方式运营的虚拟电厂示范工程投运。

冀北虚拟电厂是按照云、管、边、端的技术架构进行建设的。用户侧智能终端能进行建模、计量、通信和控制，边缘智能网关负责数据存储、分析和计算。虚拟电厂通过用户侧智能终端和边缘智能网关来实现高效采集和控制，并进行用户资源的聚合。在通信网络上，虚拟电厂采用的是4G、5G、光纤等原有的电力网络、无线通信网络。虚拟电厂的核心，也就是虚拟电厂的大脑，在虚拟电厂智能管控平台。虚拟电厂智能管控平台是基于物联网云平台进行构建的，它的主要功能应用包括聚合优化调控、交易结算、运营综合分析等。虚拟电厂智能管控平台通过大数据和人工智能进行数据分析和挖掘，可以进行能源托管、能源资产组合、运营监测与

评估等服务。由于涉及海量资源，在冀北虚拟电厂的建设中，筑牢安全体系也是非常重要的一环，全面的安全架构策略为资源安全提供了保障。

国网冀北电力还研发了基于公有云和边缘协同的虚拟电厂智能管控平台，建立调度、交易、营销与用户侧的数据交互接口，实现虚拟电厂持续在线响应电网自动发电控制（AGC）调控指令。虚拟电厂智能管控平台支持海量资源标准化接入、聚合优化、协同调控、市场交易等，并为用户侧提供方便接入的手段，譬如通过手机软件接入，从而实现能源资产托管和资源优化控制。

智能管控平台具有四个基础支撑：海量接入、能力开放、安全可靠和生态合作。所谓海量接入，不仅是指海量资源（包括多种类型终端和应用）的标准化接入，还包括智能管控平台支持弹性扩展亿级连接和百万级消息并发处理的能力。能力开放，指

## 冀北虚拟电厂支撑了奥运史上首次全部场馆采用绿电，其关键技术研究及应用被纳入国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项。

的是管控平台具备丰富的应用程序编程开放接口，能实现应用高效集成和业务快速上线。安全可靠，指的是云化部署能为虚拟电厂提供可靠的安全保障，对业务进行全方位监测和防护。生态合作，指的是虚拟电厂智能管控平台从应用、平台、网关、设备四个层次打造全方位的生态开放系统。目前智能管控平台主要应用于协同异步通信、精细化建模、人工智能调控决策和分布式微服务四个方面。

### 规模化发展靠什么

目前，发展虚拟电厂新业态、推动虚拟电厂规模化的政策相继出台。2021年12月，国家能源局印发了《电力辅助服务管理办法》；今年1月，国家能源局相继印发了《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》《“十四五”现代能源体系规划》；6月，国家能源局南方监管局印发了《南方区域电力并网运行管理实施细

则》《南方区域电力辅助服务管理实施细则》，山西省能源局也印发了《虚拟电厂建设与运营管理实施方案》。

国网冀北电力的虚拟电厂自2019年起参与华北（京津唐）调峰辅助服务市场运营，纳入了电网调度计划和自动发电控制闭环控制。目前京津唐的辅助服务市场主要针对低谷新能源调峰，一般在每年11月到次年的4月开展，每天开展11个小时。截至目前，冀北虚拟电厂已在线连续提供调峰服务超过4800小时，累计增发新能源电量3701万千瓦时，虚拟电厂运营商和用户收益达673.70万元。

在2022年北京冬奥会电力保供工作中，冀北虚拟电厂发挥了重要作用。在服务奥运场馆时，虚拟电厂技术还将电与热联系起来，合理利用低谷电能供热，在降低场馆供热成本的同时，为电网提供调峰服务，促进清洁能源消纳。通过全国统一电力交易平台，国家体育馆、北京冬奥组委办公园区、延庆场馆群、张家口赛区等11家冬奥场馆及配套设施实现了100%绿电供应。冀北虚拟电厂支撑了奥运史上首次全部场馆采用绿电，其关键技术研究及应用被纳入国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项。

冀北虚拟电厂平台上有两家运营商——冀北综合能源公司和恒实科技，国网综合能源集团等多家运营商也在自建系统或平台。2019-2020年火电、虚拟电厂统一报价出清机制下，月出清均价较高；自2020年执行火电、虚拟电厂分别报价出清机制以

来，市场出清价格明显下降。

从冀北虚拟电厂的实践可以看出，实现虚拟电厂的规模化发展，我们还需在以下四个方面继续发力。

首先，要加强顶层设计，完善政策机制和标准体系。一是完善负荷侧（配电侧）资源纳入新型电力系统的体系设计，负荷供应商需要从系统需求和负荷侧资源的特点出发，参与新型电力系统体系的设计；二是完善参与市场类型、准入、机制、商业模式的设计；三是完善标准和管理体系，加强可信调节能力、实际调节量、运行参数等的标准化管理体系建设，响应时间、响应速度等电厂化的运行管理参数也需要进一步明确。

其次，应持续优化核心技术，推进产业链高质量发展。除了政策机制的鼓励引导，技术的不断优化才是推动虚拟电厂走向市场化的关键。如何更好地将虚拟电厂纳入电网调控、参与市场交易和安全高效通信仍是我们下一步要攻克的技术难题。

再次，加强网络和信息安全体系建设。由于虚拟电厂是近用户的，在用户数众多的情况下，如何保证系统网络和信息安全是一个重要课题，目前来看加强安全体系建设是最优路径。

最后，为了引导虚拟电厂行业的健康可持续发展，还应将其纳入新兴业务整体布局，借鉴国外经验，避免聚合平台不良竞争。■

（作者系国网冀北电力科技部主任；编辑整理：本刊实习记者冯睿哲）