

虚拟电厂聚合各类资源的盈利模式介绍

毕颖颖, 徐龙江*, 刘 慧, 常 诚, 张汉敬, 陈春龙

(国网山东省电力公司青岛供电公司, 山东 青岛 266002)

摘要: 虚拟电厂是依托能源算力平台, 将分散的充电桩、储能、分布式光伏、空调、通信基站、商业楼宇等电力负荷资源统合起来, 代理参与电力市场运行, 提供公平的电力交易路径。它的核心理念在于, 通过对分布式电源、负荷、储能等多种资源进行集中管理和优化调度, 实现电力供需平衡, 提高电网运行效率和可靠性, 同时减少对传统化石燃料的依赖。文章以青岛供电公司虚拟电厂运营实例为测算依据, 针对不同类型虚拟电厂聚合资源进行盈利分析, 有助于推进虚拟电厂运营与发展。

关键词: 虚拟电厂; 分布式; 储能; 聚合资源

中图分类号: TM764

DOI: 10.13882/j.cnki.ncdqh.2503A021

CSTR: 32400.14.ncdqh.2503A021

Profit Models of Virtual Power Plants in Aggregating Distributed Energy Resources

BI Yingying, XU Longjiang*, LIU Hui, CHANG Cheng, ZHANG Hanjing, CHEN Chunlong

(State Grid Shandong Electric Power Company Qingdao Power Supply Company, Shandong Qingdao 266002, China)

Abstract: Relying on the energy computing power platform, virtual power plants (VPPs) integrate decentralized resources such as charging piles, energy storage systems, distributed photovoltaic systems, air conditioners, communication base stations and commercial buildings, and act as agents to participate in the operation of the power market and provide fair power trading. By aggregating these resources, VPPs participate in electricity markets as intermediaries, providing equitable trading mechanisms. The core concept is centralized management and optimized dispatch of distributed generation, flexible loads, and energy storage to achieve power supply-demand balance, enhance grid efficiency and reliability, and reduce reliance on fossil fuels. This article analyzes the profitability of different VPP resource aggregation models based on operational data from a VPP project in Qingdao to advance VPP commercialization and development.

Keywords: virtual power plant; distributed energy resources; energy storage systems; resource aggregation

虚拟电厂的核心理念在于, 通过对分布式电源、负荷、储能等多种资源进行集中管理和优化调度, 实现电力供需平衡, 提高电网运行效率和可靠性^[1], 同时减少对传统化石燃料的依赖。本文以青岛供电公司虚拟电厂运营实例为测算依据, 针对不同类型虚拟电厂聚合资源进行盈利分析, 有助于推进虚拟电厂运营与发展^[2]。

1 负荷调节类资源

1.1 通信基站 + 虚拟电厂

通信基站中储能系统长期处于备电工作模式, 资源利用率较低。通信基站企业接入虚拟电厂, 在不影响基站正常运行的情况下, 在电网用电高峰期降低储能功率, 以实现错峰充电^[3]。

目前, 青岛供电公司虚拟电厂已接入中国铁塔

收稿日期: 2025-02-12

青岛分公司基站数 10 482 座, 蓄电池等资源总容量 14.88 万 kW, 其中可调节容量为 5.08 万 kW, 是省内聚合资源户数最多、接入蓄电池类调节容量最大的虚拟电厂, 实现了山东省内虚拟电厂的“四个第一”——第一家与省电动汽车公司合作并进入实用化运营、第一家聚合资源户数超过 1 万户、第一家以基站蓄电池为主要调节资源、第一家与中国铁塔等国企联手聚合的国网系统虚拟电厂。

用负荷调节的运营模式与相关单位开展虚拟电厂合作, 该模式可以将聚合的电量作为调节量负荷, 相关机组属于调节量负荷类机组 (#2R 机), 不符合参与辅助服务市场的条件, 且目前山东尚未放开对需求响应的审批, 盈利预测仅考虑参与现货市场的情形。负荷调节运营模式下 (仅参与现货市场), 收益包含 2 部分: 一是虚拟电厂通过调节峰谷用电量的形式获取调节量收益, 该部分收益由铁塔公司、

恒源电工及电动汽车按约定分成，目前分成比例暂定为4:4:2；二是铁塔公司峰谷用电调整后的节约电费，是铁塔公司压降的成本，该部分收益全部属于铁塔公司。

按单位 MW·h 调节量进行计算：对于调节量收益，模拟了过去一年 366 d 24 h 中长期合约电价与日前市场电价的价格表现，测算出能够取得削峰收益的时长是 396 h，分布在 154 天当中，主要集中在 5、6、7、8 月。理想状态下，参与削峰调节的收益是平均 131 元/(MW·h)，按最大可调节负荷 50 MW 计算，每年预计最大调节量收益约为 260 万元。对于节约电费，这个主要是取决于铁塔公司与虚拟电厂签订套餐协议的峰谷价差。理想状态下，调节 1 MW·h 节约电费在 284 元左右，按最大可调节负荷 50 MW 计算，铁塔公司每年预计可获取 562 万元节约电费收益。按暂定分成比例计算各方收益情况见表 1。

表1 单位 MW·h 收益情况表 元

削峰填谷	调节收益	节约电费	总收益	占比/%
铁塔公司	52.4	284.0	336.4	81
恒源电工	52.4	—	52.4	13
电动汽车	26.2	—	26.2	6
合计	131.0	284.0	415.0	100

实际执行时，铁塔公司实际能够参与的调节量和调节时长，直接影响最终结算的年度调节量收益和实际节约电费金额。若要实现精准预测，需铁塔公司在用电高峰月份实际参与负荷调节，输出一段时间的可靠历史数据。

1.2 充电桩+虚拟电厂

充电桩企业接入虚拟电厂，可以随时响应电网的调度，在电网用电高峰期，虚拟电厂通过收集充电桩的信息，对充电桩下达指令，充电桩收到指令后会下调充电功率，以实现错峰充电。

目前公司与省电动汽车正在洽谈的预计可接入充电桩数量 2 621 个，总容量 122.6 万 kW，其中可调节容量为 1 万 kW。因电动汽车车主可自愿选择是否接受以低功率充电（充电时长增加），这会影响到充电桩实际参与调节情况。

对于虚拟电厂来说，通过参与负荷调节获得调节量收益，该部分收益由相关利益方按约定比例分

成。对于省电动汽车来说，一是通过虚拟电厂参与负荷调节，按约定的分成比例获得调节量收益；二是储能型充电桩峰谷用电调整后的节约电费，是省电动汽车压降的成本，该部分收益全部属于省电动汽车。对于电动汽车车主来说，充电桩企业一般会将部分收益让利给车主，车主以低功率充电可以享受一定的电费折扣。

按单位 MW·h 调节量进行计算：对于调节量收益，模拟了过去一年 366 d 24 h 中代理购电价格与日前市场电价的价格表现，测算出能够取得削峰收益的时长是 71 h，分布在 26 d 当中，主要集中在 8 月。理想状态下，参与削峰调节的收益是平均 84 元/(MW·h)，按最大可调节负荷 10 MW 计算，每年预计最大调节量收益约为 6 万元。

对于节约电费，这个主要是取决于省电动汽车代理购电价格的峰谷价差。理想状态下，调节 1 MW·h 节约电费在 631 元左右，考虑到储能型充电桩约占预计接入总量的 20% 左右，按最大可调节负荷 2 MW 计算（10 MW × 20%），省电动汽车每年预计可获取 9 万元节约电费收益。

因目前尚未确定分成情况，暂无法确定各方收益。且实际执行时，充电桩与通信基站情况类似，最终结算的年度调节量收益和实际节约电费金额还要看省电动汽车实际能够参与的调节量和调节时长。

2 发电储能类资源

2.1 分布式储能+虚拟电厂

在配网侧，分布式储能的价值点主要利用储能设备灵活快速的特性，通过在阻塞区域配置储能装置，不仅可以有效缓解线路重过载的问题，还可以延缓网络的升级改造，减少资源的浪费^[4]。

目前洽谈的台区配储意向接入容量仅有 0.6 MW，与可调节能力不低于 5 MW 的市场准入基本条件差距较大。

在电源侧，分布式储能的价值点主要是减少分布式发电的随机性与波动性，在系统负荷处于高峰时，保证可再生能源的平滑输出。

以分布式光伏储能项目为例，目前其上网标杆价为 394.9 元/MW，如果接入虚拟电厂参与现货交易，参考上一年度青岛市集中式光伏项目日前上网

均价 239.4 元/MW，该类合作会减少项目持有方的售电收入^[5]。

对于虚拟电厂而言有以下收入：

1) 虚拟电厂通过聚合配储类分布式储能资源，可以使分布式储能持有方获得电能量交易收入，可按约定的比例分成。

2) 按约定的分成比例获得市场化容量补偿。根据《山东电力市场规则（试行）》，发电储能类机组（#1 机）聚合资源获得的容量补偿费用，按照双方签订的聚合协议约定结算，现行市场化容量补偿电价客户侧收取标准 0.070 5 元/(kW·h)，补偿总额按照省内市场化可用容量占比进行分配。

3) 通过参与调频和爬坡辅助服务，按约定的分成比例获得调频和爬坡辅助服务费用。现阶段，山东省辅助服务市场暂只开展调频（二次调频）辅助服务、爬坡辅助服务的集中交易^[6]。参与调频和爬坡市场的，应按并网管理有关规程规定装设自动发电控制装置（简称 AGC），同时装置性能指标满足调度运行管理规定相关要求。参与爬坡市场的，其爬坡能力不低于 0.2 MW/min。

对于分布式储能持有方而言有以下收入：

1) 按约定的分成比例获得电能量交易收入。

2) 通过接入虚拟电厂，按约定的分成比例获得市场化容量补偿。

3) 通过虚拟电厂参与调频或爬坡辅助服务市场，按约定的分成比例获得的调频和爬坡辅助服务费用。

独立运营的分布式储能，无法上市交易，不能获得市场化容量补偿和辅助服务费用。通过接入虚拟电厂参与资源聚合，不仅能够为电力系统的稳定性和灵活性做出贡献，同时还可获得额外的容量补偿和辅助服务收益。

2.2 独立储能 + 虚拟电厂

独立储能是指利用除抽水蓄能外的物理储能、电化学储能、电磁储能等技术，具备独立计量、控制等技术条件，接入调度自动化系统可被电网监控和调度，具有法人资格的新型储能项目，可以是包括锂离子电池储能、空气压缩储能、飞轮储能、液流储能等在内的多种形式^[7]。

独立储能电站接入虚拟电厂，可以调整充放电功率及充放电状态，还可以参与调频或爬坡辅助服务。从直接效益来说，虚拟电厂可优化独立储能充

放电模式缩短储能建设成本回收期，构建成熟的参与电网交易模式；从间接效益来看，虚拟电厂的数字化技术，可提升独立储能在电力市场的预测能力、储能资源的运营能力，此外也可通过数字技术提高机组综合性能指标获得调频优先调用等^[8]。

对于虚拟电厂和独立储能持有方来说，各自的盈利点与分布式储能基本相同。但由于独立储能项目本身具有共享租赁、现货套利、辅助服务、容量电价四项收益“兜底”，接入意愿不强。

3 结束语

本文以青岛供电公司虚拟电厂的优秀运营模式为实例，对负荷调节类和发电储能类 2 大类资源的盈利方式进行测算，结合近几年来迅速崛起的分布及集中式储能资源，分析其接入虚拟电厂后能够形成的收益，有助于推进虚拟电厂运营与发展。

参考文献

- [1] 刘浩杰. 虚拟电厂建设的成效、挑战及对策建议[J]. 南方电网技术, 2025(2):37-43.
- [2] 孙启宸, 张靖, 何宇, 等. 计及源荷不确定性的虚拟电厂日前优化调度方法[J]. 电子科技, 2025(2):9-10.
- [3] 仪忠凯, 侯明博, 徐英, 等. 市场环境下灵活性资源虚拟电厂聚合调控关键技术综述[J]. 中国电力, 2024(12):82-96.
- [4] 向奕同, 胡霆, 黄宇翔, 等. 分布式光伏计量方式分析研究[J]. 农村电气化, 2024(11):113-116.
- [5] 武光升, 杨锐, 孙子寒, 等. 基于分布式光伏规模化开发的电能质量管理研究[J]. 农村电气化, 2024(10):33-37.
- [6] 闻煜峰, 赵世杰, 赵玉成, 等. 电网设备异常处置智慧助手研究及应用[J]. 农村电气化, 2024(8):53-57.
- [7] 雷镇源, 胡坤, 任晓朦, 等. 计及负荷侧负荷类型及电价的虚拟电厂能源优化方案[J]. 云南电力技术, 2024(8):41-45.
- [8] 左娟, 艾芊, 王帝, 等. 面向虚拟电厂的电力调峰市场隐私保护交易策略[J]. 电力系统自动化, 2024(8):149-157.

作者简介

毕颖颖（1985—），女，本科，高级会计师，从事虚拟电厂盈利测算分析工作，E-mail: biyingying1985@163.com。

徐龙江（1994—），男，硕士，工程师，从事虚拟电厂调度与现货市场交易策略分析工作，921150048@qq.com。

刘慧（1987—），女，硕士，高级会计师，从事虚拟电厂盈利测算分析工作，E-mail: lhcalia123@163.com。

常诚（1988—），女，硕士，高级会计师，从事虚拟电厂盈利测算分析工作，E-mail: 181917773@qq.com。

张汉敬（1978—），男，本科，正高级工程师，从事医疗应急工作，E-mail: 18653216918@163.com。

陈春龙（1993—），男，硕士，工程师，从事变电运维工作，E-mail: sduchen1994@163.com。

（责任编辑：张峰亮）