

供电公司电力负荷管理与虚拟电厂模式创新

琚洁华 夏世超 朱彬斌

国网上海市电力公司金山供电公司，上海 201540

[摘要]随着国家“双碳”战略持续推进以及新型电力系统建设速度不断加快，电力负荷管理遇到了资源分散、响应效率不够高等诸多挑战。本项目依据国网上海金山供电公司针对2025年金山典型工商业园区灵活资源聚合与示范应用所编制的可研报告，搭建起一套以虚拟电厂作为核心的负荷资源聚合体系，借助多维度看板系统达成资源的可观、可测、可调、可用状态。本文着重阐述了聚合商考核以及动态管理方面的机制、从多个角度展开的协同运营模式，还有在紧急情形下客户经理直接与用户相连的创新响应机制，并且在十个示范园区实施了应用验证工作。

[关键词]电力负荷管理；虚拟电厂；聚合商考核；可调节负荷

DOI: 10.33142/hst.v8i10.18057 中图分类号: TM7 文献标识码: A

Power Load Management of Power Supply Companies and Innovation of Virtual Power Plant Models

JU Jiehua, XIA Shichao, ZHU Binbin

Jinshan Power Supply Company of State Grid Shanghai Electric Power Company, Shanghai, 201540, China

Abstract: With the continuous deepening of the national dual carbon strategy and the acceleration of the construction of new power systems, power load management has encountered many challenges such as resource dispersion and insufficient response efficiency. This project is based on the feasibility study report prepared by State Grid Shanghai Jinshan Power Supply Company for the flexible resource aggregation and demonstration application of typical industrial and commercial parks in Jinshan by 2025. A load resource aggregation system with virtual power plants as the core is built, and a multi-dimensional kanban system is used to achieve the observable, measurable, adjustable, and available status of resources. This article focuses on the mechanisms of aggregator assessment and dynamic management, collaborative operation models from multiple perspectives, and innovative response mechanisms that directly connect customer managers with users in emergency situations. Application verification work has been implemented in ten demonstration parks.

Keywords: power load management; virtual power plant; aggregator assessment; adjustable load

1 绪论

1.1 项目背景与意义

电力负荷是指发电厂或电力系统中，在某一时刻所承担的各类用电设备消费电功率的总和。单位：KW，在实际运行工作中我们经常用电流来表征负荷。电力负荷分类：按发、供、用关系分类，分为用电负荷、线路损失负荷、供电负荷、厂用负荷、发电负荷。①按电力系统中负荷发生的时间分类，分为高峰负荷、最低负荷、平均负荷。②按突然中断供电引起的损失程度分类，分为一级负荷、二级负荷、三级负荷。③用电负荷的这种分类方法，主要目的是为确定供电工程设计和建设标准，保证使建成投入运行的供电工程的供电可能性满足生产或安全、社会安定的需要。

国家制定的2030年前碳达峰行动方案以及上海市碳达峰实施方案等一系列政策文件，清晰地指明了构建清洁低碳且安全高效的能源体系这一总体目标，同时还提出要提升电网的灵活调节能力，并且增加负荷侧资源的参与程度。金山区属于上海市重要的工业基地，在这里，分布式

光伏、储能以及可调节负荷资源都较为丰富，不过当前的实际情况却是资源呈现出分散的状态，还存在着数据孤岛这样的情况，并且调控手段也有所欠缺等问题，这就使得在迎峰度夏等关键的时间段里，其负荷削减的能力很难达到系统所提出的需求标准。所以，去构建园区级的灵活资源聚合平台并且让它得以示范应用，这既是对国家双碳战略以及地方节能降碳政策的一种积极响应，同时也对于提升电网的安全运行水平以及优化区域的能源结构有着十分重要的实际意义。

1.2 区域负荷管理现状与问题分析

金山区目前已具备一定规模的分布式光伏、用户侧储能和柔性负荷资源，但多数处于孤立运行状态，缺乏统一聚合与协同调控机制。根据2024年运行数据，上海市发起40次需求侧响应中金山参与25次，但红利传导金额仅占全市6.2%，反映出区域资源调节能力与响应效率存在明显短板。具体问题包括聚合商响应容量不足、用户侧资源四能力偏低、负荷侧调峰能力未能有效形成等问题，严重制约了电网供需平衡与安全稳定运行^[1]。此外，现有

管理模式未能实现跨主体协同，缺乏针对突发情况的快速响应通道，亟需通过技术与管理创新予以突破。

2 灵活资源聚合体系的构建与实现

2.1 整体架构与技术路线

本项目严格依照国家电网公司有关数字化架构以及安全防护方面的规定要求来开展相关工作。其依据业务架构、应用架构、数据架构还有技术架构这四层设计方面的原则，去构建一个能够涵盖资源接入环节、数据处理环节、业务应用环节以及可视化展示环节的完整全链条系统。该系统是在原有的负荷管理系统的基础之上，针对其功能加以完善并实现提升的。并且还充分利用了像有序用电模块、空调调控模块、大数据应用模块等这些已经存在的既有模块。与此系统还通过新增加的资源管理、实时监测、数据分析、运行计划、异常状态监测、可调资源运营以及分层分级分类邀约等一系列多达十九项的看板功能，进而形成了契合金山区域自身特点的灵活性资源聚合业务体系。在技术路线方面，该系统是支持 IPv4 与 IPv6 这两种协议栈的，而且还能与国产自主可控终端以及 Windows 政府采购版终端实现兼容，以此来保证技术的先进程度以及部署时的灵活程度。

2.2 多维度资源看板系统设计

资源聚合看板系统处于项目核心位置，能够实现从资源台账管理一直到调控效果评估的全程覆盖。资源管理看板针对分布式光伏、用户侧储能、充电桩以及柔性负荷展开操作，具体是进行分类录入并实施动态监控，同时会实时呈现出资源的数量、功率还有建设趋势等方面的情况。实时监测看板借助采集电气量、状态量以及环境量的数据，对电源、储能、充电以及其他柔性负荷开展 D-1 预测，并且跟踪其实时运行的状态^[2]。数据分析看板会从资源健康度、响应速度、响应精度、最大响应时间以及最大响应率等多个维度来开展多指标评估工作，以此为精准邀约以及资源优化给予数据方面的有力支撑。运行计划、异常状态、可调资源比选、分层分级分类邀约等一系列看板共同组成了业务运营的决策中枢，达成了资源可观、可测、可调、可用以及碳流、能量流、信息流三流合一的可视化展现效果。

2.3 数据集成与安全架构

在数据集成这块，系统借助智慧能源单元以及安全套件把用户侧的分布式光伏、储能、充换电资源等还有其他可调节资源的四量数据以电力无线专网或者无线虚拟专网的方式接入管理信息大区数据中台，由此形成了金山虚拟电厂区级数据管理模块。其数据架构运用统一模型来设计，以此保证数据从采集开始一直到清洗、整合再到应用的整个流程都规范且一致。安全架构严格按照国家信息系统等级保护的要求以及国网公司安全防护技术规范来进行，在业务安全、物理安全、边界安全、应用安全、数据

安全、主机安全、网络安全还有安全管理这八个层面去布防，着重对调控指令下发、数据跨区传输以及第三方互联互通这些环节的安全保障予以强化，从而让系统能够在内外网隔离的环境当中稳定并且可靠地运行。

3 核心创新机制：管理、协同与响应

3.1 聚合商考核与动态管理机制

为了提高负荷侧资源的整体响应效率，本项目构建了一套依据多维度指标的聚合商考核以及动态管理机制。考核所涉及的内容包含了响应速度、响应精度、响应一致性、最大响应时间还有最大响应率等一系列关键性能指标。通过对历史运行数据和响应指令加以比对分析，进而计算出单位时间调节量、指令延迟时间、实际响应值与目标值之间的误差等各项参数，最终会形成针对单次以及总体性能的评估报告。该系统每个月都会生成聚合商响应能力的评级情况，对于那些连续评级处于较低水平或者响应偏差超出设定阈值的聚合商，会实施预警、约谈并且最终予以剔除的处理举措。借助这一机制，一方面优化了资源池的构成状况，另一方面也促使聚合商不断提升自身的运营水准，以此来确保日前邀约、日内邀约以及快速调节等多种类型市场品种能够可靠地得以执行。

3.2 多角度协同运营模式

3.2.1 聚合商视角：市场化运营与收益

聚合商属于资源聚合以及市场交易方面的关键主体，其主要目的在于借助参与需求响应和辅助服务市场来达成经济收益的最大化^[3]。就金山示范项目来讲，聚合商能够凭借平台获取到用户侧可调节资源的实时数据以及可调能力预测，从而精准地参与到日前、日内还有快速调节等一系列交易品种当中，并且在响应完成之后依据核定的响应量与价格标准获取收益分配。与此平台所具备的资源健康度分析、响应成本评估以及风险预警等相关功能，能够助力聚合商对资源组合与调控策略加以优化，进而提高其在市场中的竞争力以及长期的盈利能力。

3.2.2 园区视角：碳排管理与区域能源平衡

从园区政府管理的角度来讲，本项目借助资源聚合看板达成了对区域能耗以及碳排的实时监测工作，同时也能够开展相关趋势分析，这为落实金山区减污降碳协同增效实施方案以及重点用能单位节能管理办法给予了技术方面的抓手。该平台和市政数据共享以及碳市场信息进行了对接，可支持园区管委会对企业能耗强度、碳排总量还有可调节能力展开多维度的评估，并且依据行业特性以及资源拓展指数去制定出精准的节能降碳推广路径。通过推动分布式光伏尽可能多地安装、储能设备实现高效利用以及柔性负荷有序地进行调控等方式，使得园区的整体能源自给率以及就地平衡能力都得到了提升，进而有力地推动了区域朝着绿色低碳转型的方向发展，促进了高质量的发展进程。

3.2.3 客户经理视角：属地化管理与穿透式服务

客户经理属于供电公司直面用户的那个服务窗口，就本项目来讲，其肩负着负荷检查以及需求响应协同这双重职责。其借助资源聚合看板能够实时知晓所管辖用户那边可调节资源的具体状态、以往的历史响应记录还有潜在具备的调控潜力，并且在日常工作的进程当中会去开展能效诊断方面的工作，给出优化方面的相关建议，同时也会发出响应邀约。更为关键的是，在像保供电这类任务，又或者是涉及百万千瓦级负荷调控这样比较紧急的任务期间，倘若聚合商在响应上出现不到位的情况，或者存在通信延迟的状况，那么客户经理可以凭借自身在属地管理方面所具有的优势，径直和用户取得联系，进而通过打电话、发短信或者到现场进行通知等方式来下达调控指令，以此来保证关键负荷能够实现快速的削减，从而确保电网的安全无虞。这样的穿透式服务机制很好地弥补了单纯依靠市场化响应所存在的种种不足，进而形成了一套双轨并行的负荷保障体系。

3.3 紧急响应创新：客户经理直联用户机制

当突发性电网出现供需失衡情况，且有保供电任务需求的时候，本项目创新地设计出了一种客户经理直联用户的紧急响应机制。此机制能让客户经理在平台察觉到聚合商响应出现延迟或者容量不够时，直接向所在辖区里那些具备可调能力的用户发出调控邀请，如此一来便跳过了聚合商这个环节，进而使得响应链条得以缩短，执行效率也得到了提升。在实际的操作过程当中，客户经理会依照看板所给出的用户联系信息、历史响应意愿以及实时可调容量等信息，采用一键群发或者是人工指令下发的方式去启动快速调节，并且在后续还会通过响应核定以及偏差分析的方式来对直联效果展开评估并给予反馈。这样的机制一方面强化了负荷控制所具有的实时性与可靠性，另一方面也提升了供电公司极端场景之下的应急处置能力。

4 示范应用与效益分析

4.1 示范工程实施与运营

本项目选取了上海湾区高新技术产业开发区、碳谷绿湾产业园以及上海朱泾工业园区等十个典型的工商业园区当作示范站点，这些站点涵盖了诸如精炼石油产品制造、钢压延加工、电子设备制造、合成材料制造、基础化学原料制造、水泥制造、卫生材料及医药用品制造、金属加工机械制造还有仓储业等诸多不同类别的行业用户。其实施的过程包含了需求调研、看板完善、业务培训以及站点运营这四个阶段，前后历经了八个月的时间才得以完成^[4]。借助于现场的数据采集工作、设备的接入操作、标准化的相关处理流程以及系统的集成事宜，成功达成了让示范用户的分布式光伏、储能、充电桩还有柔性负荷资源能够实现全面的接入以及有效的聚合管理这一目标。运维团队经过专项的培训以及实操方面的演练之后，已然掌握了系统操作的方法、故障排查的技巧以及数据管理的能力，进而

切实保障了平台可以实现长期且稳定的运行状态。

4.2 综合效益评估

在经济效益这块，项目打造出了不低于1万千瓦的调峰能力，所节省的电网投资更是超过了千万元之多。需求响应以及辅助服务所带来的收益，还给参与其中的用户以及聚合商开拓出了全新的利润增长途径。从管理效益来讲，平台把负荷侧资源进行了精准的聚合操作，并且还能实现高效的调控，这无疑提升了供电公司对于日前、日内还有快速调节市场所具备的适应能力，同时也使得运行成本以及调度偏差都有所降低。就社会效益而言，项目通过提高区域能源的利用效率以及可再生能源的消纳水平，成功减少了碳排放量以及环境污染情况，进而为上海市的绿色低碳发展树立了一个实践方面的范例。

5 结论与展望

5.1 项目总结

该项目凭借构建金山典型工商业园区灵活资源聚合业务看板这一举措，达成了负荷侧分布式资源的规模化聚合以及智能化调控的目的。在聚合商考核、多角度协同以及紧急响应机制等方面展开了创新性的探索尝试。经示范应用情况显示，该系统可切实提升区域电网的调节能力以及能源利用效率，减少尖峰负荷对于备用容量的依赖程度，进而为双碳目标之下的电力负荷管理给出了具备可行性的技术解决办法与管理模式。

5.2 推广价值与应用前景

本项目的技术架构以及运营机制有着不错的复制推广价值，能够在其他的工业园区、商业集聚区还有城市能源互联网项目当中广泛地应用起来。在未来，随着虚拟电厂标准体系变得愈加完善以及电力市场建设不断推进，那种基于聚合商考核并且从多个角度展开协同的负荷资源聚合模式将会进一步在全国范围内进行推广，从而给构建清洁低碳、安全高效的新型电力系统增添更多的实践方面的智慧。与此项目在数据安全领域、跨平台互联方面以及碳电协同领域所开展的探索，也为后续能源数字化以及智能化的发展打下了一个十分坚实的基础。

【参考文献】

- [1] 朱珂. 负荷管理终端的电能质量监测技术分析[J]. 电子技术, 2023, 52(11):414-415.
- [2] 贾蓉蓉. 电力负荷控制终端装置的检测技术分析[J]. 集成电路应用, 2025, 42(6):156-157.
- [3] 张文强. 电力负荷管理系统在电力营销中的应用研究[J]. 销售与市场, 2024(21):116-118.
- [4] 斯智嵩. 电力负荷管理系统效益及负荷响应资源研究 [D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2017.

作者简介：琚洁华（1979.6—），毕业院校：上海交通大学，所学专业：电气工程系，当前就职单位：国网上海市电力公司金山供电公司，职称级别：高级工程师。