

化工行业虚拟电厂（VPP）控制关键技术研究与经济性分析

刘俊青（山东创能电力科技有限公司，山东 滨州 251900）

摘要：化工行业是一个用电量较大的行业，很多大的化工园区或企业都有自己的发电厂。随着人们节电节能意识的不断增强，虚拟电厂作为一种新型能源管理模式已在化工行业的电厂中得到了迅速发展，并对提高化工行业能源利用率、降低用能成本、提高企业经济效益起到了重要作用。本文从虚拟电厂（VPP）控制关键技术研究背景、虚拟电厂（VPP）控制关键技术研究及虚拟电厂经济性分析等方面进行了深入研究，旨在为虚拟电厂行业的发展及传统电力行业的转型升级提供参考。

关键词：虚拟电厂；控制；关键技术；研究；经济性分析

1 引言

化工行业具有生产流程复杂、能源需求多样且负荷波动大的特点。传统的能源供应与管理模式往往难以精准匹配化工生产的动态需求，导致能源利用效率低下、成本较高。虚拟电厂通过整合太阳能光伏发电、风力发电、储能系统等分布式能源资源，采用先进的信息技术和智能控制手段，实现对能源的优化调度与管理，为化工行业提供了一种全新的能源解决方案。近年来，随着新能源产业和数字化产业的快速发展，虚拟电厂逐渐受到了人们的重视，并在化工行业的电厂中逐渐得到了应用。通过建设虚拟电厂，起到了调节电力供需平衡、提高电力调度效率、提高企业经济效益等作用。

2 虚拟电厂（VPP）控制关键技术研究背景

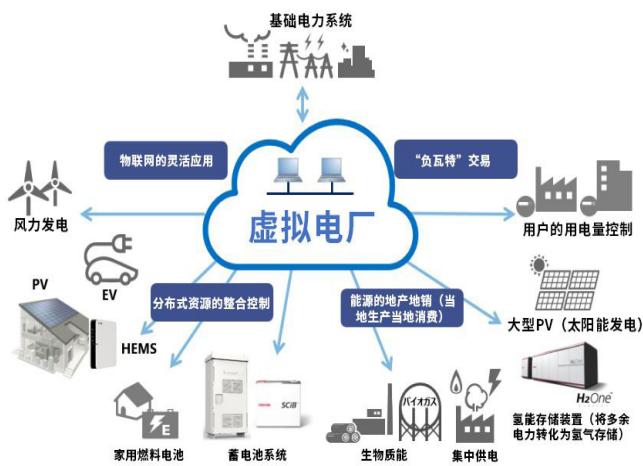


图 1 虚拟电厂演示图

虚拟电厂是一种通过先进信息通信技术和软件

系统，实现 DG、储能系统、可控负荷、电动汽车等 DER 的聚合和协调优化，以作为一个特殊电厂参与电力市场和电网运行的电源协调管理系统（虚拟电厂演示图如图 1 所示）^[1-4]。近年来，为推进虚拟电厂产业的高质量发展，国家有关部门及地方政府密集出台相关政策，通过政策引导、标准引领、技术创新等多措并举，鼓励有关企业、单位积极进行虚拟电厂技术的研究和推广应用，进一步提高我国电力行业工作效能和智能化、绿色化水平。

在政策引导方面，政府有关部门陆续发布了《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》、《关于加强电力可靠性数据治理 深化可靠性数据应用发展的通知》、《关于加强新形势下电力系统稳定工作的指导意见》、《关于进一步加快电力现货市场建设工作的通知》许多政策指导虚拟电厂产业的高质量发展。

在标准引领方面，近年来，一批行业龙头骨干企业牵头制定了多项国家标准、行业标准和团体标准：2023 年 6 月 12 日，深圳市供电局有限公司、南方电网科学研究院有限责任公司、深圳市科技创新委员会等单位联合起草的深证市地方标准《虚拟电厂终端授信及安全加密技术规范》（DB4403/T 341-2013）和《分布式光伏接入虚拟电厂管理云平台技术规范》（DB4403/T 343-2013）两项地方标准正式发布；2024 年 7 月 24 日，国网浙江省电力有限公司、国家电力调度通信中心、南方电网科学研究院有限责任公司、中国南方电网有限责任公司等单位联合起草的国家标准《虚拟电厂管理规范》（GB/T 44241-2024）正式发布；2024 年 7 月 24 日，国网上海市电力公司经济技

术研究院、南方电网科学研究院有限责任公司、东南大学、中国电力科学研究院有限公司等单位联合起草的国家标准《虚拟电厂资源配置与评估技术规范》(GB/T 44260-2024)正式发布;2024年11月20日,上海博英信息科技有限公司、北京金风零碳能源有限公司、山东思极科技有限公司等单位联合起草的团体标准《虚拟电厂建设指南》(T/CIET 794-2024)正式发布……一大批技术标准的制定和发布,对引领行业发展起到了重要推进作用。

在技术创新方面,近年来,随着新能源发电的快速增长和电力市场的逐步深化,虚拟电厂在科技创新方面取得了显著成果。虚拟电厂通过大数据、云计算等先进技术,实现了对海量分布式资源的精准预测和优化调度,有效提升了电力系统的稳定性和调节能力。虚拟电厂借助物联网、人工智能等技术手段,实现了对各类能源设备的智能监控和远程控制,提高了能源利用效率和运营管理能力,从而也大大降低了相关企业的电力成本,提高了经济效益。

3 虚拟电厂(VPP)控制关键技术研究与分析

3.1 基于人工智能的虚拟电厂实时调度技术研究

人工智能技术的应用为虚拟电厂的实时调度提供了新的路径。^[5]在虚拟电厂调度中,人工智能技术可以实现对大量分布式能源资源的实时数据采集、处理和分析,提供精准的预测和决策支持。基于人工智能的虚拟电厂实时调度技术主要包括数据采集与预处理、预测分析、优化调度算法、实时控制与反馈等关键环节。数据采集与预处理是指通过物联网技术,虚拟电厂能够实时采集风力发电、光伏发电、储能系统、电动汽车充电站等分布式能源资源的运行数据(如:设备状态、发电功率、负荷需求、环境参数)。为了确保数据的质量和可用性,系统会进行数据清洗,去除异常值和缺失值,并进行时序对齐和格式转换;预测分析是指系统利用机器学习和深度学习算法,对电力需求、可再生能源发电功率、电价波动等进行短期和中长期预测。通过对历史数据的学习,模型可捕捉电力系统的动态变化规律。并且,预测分析还可结合外部数据源,从而提高预测精度;虚拟电厂的优化调度算法需要综合考虑电力系统的运行约束和市场机制。算法必须满足电压水平、频率稳定、传输容量限制等电网的安全稳定运行要求。调度方案应当兼顾经济效益,最大化虚拟电厂在电力市场中的收益;虚拟电厂的实时控制是确保调度指令有效执行的关键环节。通过先进的控制系统,调度中心可以实时下发指

令,调整分布式能源资源的运行状态。此外,基于人工智能的虚拟电厂实时调度策略的核心是构建一个目标优化模型,综合考虑经济性、环保性和可靠性等因素。

3.2 高速率实时通信技术研究

通常情况下,虚拟电厂的控制系统依赖于与分布式能源资源之间的实时通信,以确保数据的准确性和控制指令的及时性。通信网络不仅要具备高带宽和低延迟特性,还必须能够支持大规模设备的接入和管理。稳定、高效的通信技术是虚拟电厂正常运行的基础,特别是在面对复杂多变的电力市场和电网调度需求时,通信系统的可靠性和安全性显得尤为重要。随着5G技术的日趋成熟,为虚拟电厂的实时控制带来了新的机遇。5G网络的超低延迟和高可靠性使得虚拟电厂能够在毫秒级的时间内完成数据传输和指令下发,极大地提高了系统的响应速度和控制精度。近年来,物联网技术、窄带物联网、Wi-Fi 6、时间敏感网络技术等诸多通信技术的蓬勃发展也为虚拟电厂的精准实时控制带来了新的可能。为了应对复杂的通信需求,虚拟电厂通常采用多种通信技术的组合方案。通过混合使用有线和无线通信手段,虚拟电厂可以实现不同场景下的最优通信效果。

3.3 储能技术与虚拟电厂的协同发展研究

近年来,储能技术随着风能、太阳能等新能源的兴起也逐渐受到了人们的重视。2022年9月,由由中国科学院大连化学物理研究所提供技术支持、大连融科储能技术发展有限公司负责设计制造、大连恒流储能电站有限公司负责建设和运营的全球功率最大、容量最大的液流电池储能调峰电站大连液流电池储能调峰电站投入使用。该电站实现了电能和化学能的相互转换,进而实现电能的大规模储存和释放。(大连液流电池储能调峰电站汇流变箱站如图2所示)储能技术在虚拟电厂中起着至关重要的作用,它不仅是平衡电网供需关系的关键手段,还能提升虚拟电厂的灵活性和稳定性。通过在电力供应过剩时存储电能,并在需求高峰时释放电能,储能系统可以帮助虚拟电厂更好地应对电力市场的波动,减少对传统化石能源的依赖,促进可再生能源的高效利用。近年来,锂电池、抽水蓄能、压缩空气储能、液流电池、固态电池、飞轮储能等多种储能技术已在虚拟电厂中得到了广泛应用。比如,锂电池具有能量密度高、充放电速度快、循环寿命长等优点,尤其是在短时间内的功率调节和频率响应方面,锂电池能够快速响应电网的需求变

化；抽水蓄能则是通过将多余的电能转化为势能储存起来，在需要时再通过水力发电释放电能具有储能容量大、使用寿命长、维护成本低等优点，主要在虚拟电厂中的应用主要集中在大型电网调峰和长期储能场景；压缩空气储能是一种新兴的储能技术，它通过将空气压缩并储存在地下洞穴或压力容器中，在需要时释放空气驱动涡轮发电，其优点是储能容量大、成本较低，不受地理条件的严格限制，在虚拟电厂中的应用目前处于探索阶段。



图 2 大连液流电池储能调峰电站汇流变箱站

4 化工行业建设虚拟电厂的经济性分析及典型案例

整体来说，虚拟电厂为化工企业带来的经济效益是多方面的。通过对分布式能源的有效利用，化工企业可以实现部分能源的自给自足，减少对传统电网的依赖，从而降低购电成本。以山东某大型化工企业为例，在建设虚拟电厂之前，该公司能源成本占生产成本的比例较高，且经常面临因电网供电不稳定而导致的生产中断风险。在建设虚拟电厂后，通过整合企业内部的分布式光伏发电系统和储能设施，并接入了能源管理平台进行统一调度，不仅实现了部分生产时段的能源自给，还通过参与电力市场的调峰服务获得了较大的额外收入。经核算，在虚拟电厂投入运营后的2年内，企业的能源成本得到了显著降低，经济效益得到了明显提升。

从长期发展来看，随着全球对节能减排的要求日益严格，化工行业面临的碳排放压力也越来越大。虚拟电厂的建设有助于化工企业优化能源结构，减少碳排放，符合可持续发展的战略要求。比如，山东某化工园区内聚集了多家化工企业，大多数化工企业生产过程复杂，电力负荷波动较大。为改善这一状况，园区联合相关企业建设了虚拟电厂。虚拟电厂整合了企业自备的小型太阳能电站、余热发电装置等园区内化工企业的分布式能源资源，并对企业的储能设备进行统一管理；搭建了先进的智能调控平台，通过实时监测企业的用电数据、分布式能源发电数据以及储能设

备状态，实现了对电力的精准调度。当某企业生产负荷增加时，智能调控系统可以迅速调配其他企业多余的电力或储能设备释放的电力，保障电力稳定供应。通过虚拟电厂的建成，大大降低了园区企业的运营成本，并提高了企业经济效益：通过虚拟电厂的智能调控，化工企业能够更好地利用谷电，避开峰电高价时段。据统计，园区内化工企业整体用电成本平均降低了7%，每年节省电费支出数百万元。同时，虚拟电厂作为一个整体参与电力市场交易，通过峰谷价差套利以及提供辅助服务获取收益。在过去一年，通过参与电力市场交易，虚拟电厂获得了较大的额外收入。此外，分布式能源资源的有效整合和利用，减少了对传统电网供电的依赖，提高了能源利用效率，降低了碳排放。

5 结束语

2024年12月，国家能源局局长王宏志曾表示：“实施电力系统调节能力优化、配电网高质量发展、新一代煤电升级等专项行动，加快推进虚拟电厂发展，开展车网互动规模化试点应用”。未来，随着可再生能源和分布式能源的高速发展，虚拟电厂将作为一种新型能源管理模式，通过整合分布式能源、可控负荷与储能设备，可有效提升系统灵活性与可靠性，助力我国化工行业高质量发展。但是，在虚拟电厂发展过程中也会遇到诸多技术难题，有关企业应结合实际情况积极进行技术攻关，确保虚拟电厂的安全、高效运营。

参考文献：

- [1] 卫志农, 余爽, 孙国强. 虚拟电厂的概念与发展 [J]. 电力系统自动化. 2013, 37(13):1-9.
- [2] 黎静华, 桑川川. 能源综合系统优化规划与运行框架: 电力建设. 2015, 36(08):41-48.
- [3] 陈启卷, 刘宛莹, 吕怡静. 能源互联网形态下多元融合高弹性电网: 水电与新能源角色 [J]. 水电与新能源. 2022, 36(01):6-12.
- [4] 雷庆生, 方华亮, 夏勇军. 考虑需求侧响应的电力碳银行结构及模型分析 [J]. 电工技术. 2024, (11):5-10.
- [5] 邹晓明, 徐嘉恒. 基于人工智能的虚拟电厂实时调度技术研究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024(33):69-71.

作者简介：

刘俊青（1982-），男，汉族，山东滨州人，毕业于国家开放大学，工程师。研究方向：电力工程、购售电、轻工工程及虚拟电厂等。