

破解能源供需时空错配难题,以算法驱动电网柔性平衡

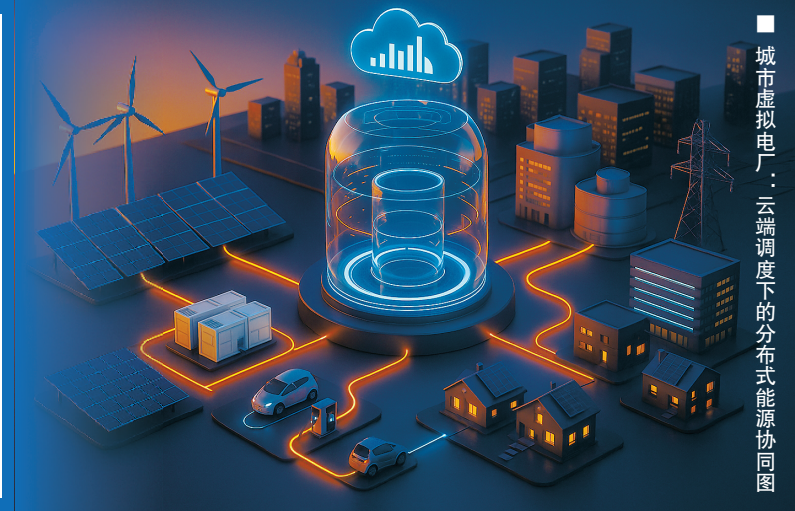
虚拟电厂 开启能源调度新范式

话题主持:本报记者 易蓉

在人工智能生成内容、自动驾驶穿梭街头、智能家居全天候响应的今天,我们正以前所未有的速度消耗着地球的能源。每一次与聊天机器人的对话、每一辆新能源汽车的充电、每一个智能设备的云端交互,背后都是一场对算力与电力的激烈争夺。全球能源负荷被持续推高的同时,风能、太阳能、水能、生物质能等清洁能源正加速替代传统化石燃料,成为电力系统的重要支柱。

然而,新能源装机规模爆发式增长

与电力系统灵活性不足的矛盾日益凸显,能源供需双侧的时空错配问题成为制约绿色转型的瓶颈。作为数字技术与能源系统深度融合的产物,虚拟电厂正以“能源资源聚合器”的创新形态破解解局——通过数字平台把海量分散资源聚合成一个“云端大电厂”,以软件算法替代硬件冗余,实现毫秒级的功率平衡,成为加速构建新型电力系统、实现能源绿色低碳转型的核心引擎。



■城市虚拟电厂:云端调度下的分布式能源协同图

电力“网约车”:聚合能源 灵活送电

上海交通大学国家电投智慧能源创新学院 副教授 李亦言

能源的“供”和“需”正快速变化:供给端从“少数大电厂”走向“多点分布、看天吃饭”;需求端从“白天上班晚上休息”的固定节奏,变成全天候的充电、制冷、生产,电网的平衡变得愈发脆弱。

既要接住更多风光电,又要应对越来越尖的负荷曲线,电网迎来新的“协调手”——不用新建烟囱,而是把城市里的小电源、储能和可调设备组织起来,让电在时间上能“挪一挪”、在空间上能“借一借”,把不均衡变得更可控的虚拟电厂正开启能源系统的智能新纪元。

电力管理模式上新

据国际能源署2024年发布的《可再生能源2024》报告,全球可再生能源在电力发电中的占比预计将从2023年的30%提升至2030年的46%。这一增长主要得益于太阳能光伏和风能的快速发展。2023年,全球新增可再生能源装机容量约为507吉瓦,同比增长近50%,创下20年来的最大增幅。其中,中国的太阳能光伏和风能市场分别增长了116%和66%,推动了全球可再生能源的快速扩张。

然而,清洁能源的迅速发展面临不少挑战。风能和太阳能等新能源资源波动性强,难以在用电高峰时提供稳定的电力供应;传统的火力发电厂无法迅速调节输出,导致电网调节能力不足。此外,随着电动汽车的普及,数据中心的能耗激增,智能家居等设备的广泛使用,电力需求的高峰期愈加集中,全球电力需求也在急剧增加。

为应对这些挑战,储能技术和人工智能正在成为能源转型的重要推动力。数据显示,全球储能系统的容量已在过去五年内增长了近60%,锂电池和抽水蓄能够存储过剩电力并在需求高峰时释放,帮助解决风能和太阳能的波动问题。AI技术则通过大数据分析优化电力系统调度,提升电力资源的利用效率。

与此同时,作为一种新型能源管理模式,虚拟电厂正在全球范围内逐渐推广。通过集成分布式能源资源、储能系统和灵活负荷,实现电力供需的动态调节和优化,虚拟电厂解决了传统电力系统难以应对的新能源波动问题,帮助电网提高灵活性,减少对传统燃煤和天然气发电的依赖。

数字赋能优化电网

虚拟电厂不冒烟、不建厂房,不是一座真的电厂,更像一个电力版“网约车”:把分散在城市里的小型电源(屋顶光伏、风力发电机、楼宇或社区电池等)和可以短时间调低用电的设备(空调、充电桩等)组织起来,按统一计划一起行动。用电高峰时,平台发出指令,成百上千个用户把空调温度上调一度、充电桩错峰充电、储能电池放电“顶上去”;用电低谷或风光电多时,再引导设备多用电,把电“存起来”。这样就能“削峰填谷”,让电网更稳定,减少拉闸限电的风险,也更好地消纳风光电,减少浪费。

简单说,虚拟电厂就是靠数字化把“千家万户的小力量”拧成一股绳,哪里紧张就往哪里送,既省钱省电,也更低碳。

【小问答】

问:虚拟电厂会不会影响用户自身用电需求?

答:参与是自愿且可退出的,本质是把“不急用”的那一小部分错峰挪一挪,通常不影响生产生活节奏和舒适性要求。

问:它和新能源有什么关系?

答:虚拟电厂就像“协调器”和“缓冲带”,在风光电多的时候多接住,在紧张的时候多顶一点,让清洁电“发得出、送得进、用得着”,也让城市用电更从容。

谁来指挥?电网企业或经许可的运营商在监管和合同约定下通过云平台 and 智能终端下达指令,过程可计量、可结算,用户自愿参与、可随时调整。它不是停你家的电,而是把“不急用”的那一小部分往前或往后挪一挪,基本不影响正常生活,却能为城市多腾出一大块“机动电力”。

虚拟电厂并非横空出世。随着屋顶光伏、小型风机、楼宇电池、充电桩越来越多,把分散小资源用网络连起来,统一指挥能像一台“大机组”协同工作,这就是“虚拟电厂”的雏形。

不过,早期设备各自为政、通信不稳定、规则也没完全打开,停留在小范围试点。后来随着智能电表、物联网

和云平台普及,电力设备能“上网”、能被远程控制;天气与负荷预测也更靠谱,虚拟电厂才有了可靠的“积木”和“扳手”,终于跨越“看得见却管不了”的尴尬。

再后来,虚拟电厂参与电力市场的通道逐步打通,分布式电源、可调负荷和储能不再是“零散小玩家”,可以组团提供削峰、调频、备用等服务,按规则获得结算。虚拟电厂开始形成应用闭环:先把资源聚合起来,再根据天气和电价做计划,到用电高峰一声令下,有的少用一点,有的多发一点,有的把电池储备电能放出来顶一顶。

当前,为了更好地应对新能源电力波动和电网调节的挑战,虚拟电厂在全球范围市场潜力巨大。在欧美和亚洲多个国家,已成为电力市场的重要组成部分,推动了分布式能源资源的高效利用;全球多个地区正在探索通过虚拟电厂参与电力市场的路径,优化电力资源的配置,提高电力系统的智能化和绿色化水平。

从“能聚合”到“会调度”

今天的虚拟电厂,已经从“能聚合”走到“会调度”。向前看,更多新成员会加入资源池,比如电动车与车网互动(V2G)、热泵、数据中心负荷等,届时响应会更快、更细、更聪明。

近几年,国家层面的顶层设计已把路铺好:明确虚拟电厂等新型主体可以进市场、参与现货与辅助服务;发布专项指导意见,提出“先试点、再推广、再规模化”的路线图,并把“聚合—调度—交易—结算”的闭环写进规则。简单说,中国的思路是:规范身份—打通市场—做大规模,逐步形成全国性调节能力,让虚拟电厂从“救急”走向常态化和市场化。

可以预见的是,未来虚拟电厂的规模将从核心商圈和园区扩到社区、城郊与交通枢纽,电动车与电网互动、家庭储能、数据中心可转移负荷等都会列入;计划更前瞻,执行更自动,日常化微调将从按小时、按分钟走向按秒级响应;数据与接口标准也将更统一,隐私与安全边界更清楚,价格信号更灵活、补偿更稳定,参与者“愿意来、留得住”。

未来,虚拟电厂技术不断发展,将在全球实现能源转型目标中发挥越来越关键的作用,使得全球电力系统向更智能、绿色和低碳的方向转型。

打造智慧能源示范「小城市」

上海交通大学国家电投智慧能源创新学院 副教授 平健 李康平

大学校园是一个真实的“小城市”,也是能源革命最好的微型试验场。在上海交通大学与国家电力投资集团有限公司共商共建下,在创始院长黄震院士的牵头下,上海交大国家电投智慧能源创新学院正推进智慧能源示范校园建设项目,一系列前沿探索正努力让每一栋楼宇都成为“发电站”,每一位师生都成为“能源管理者”,让绿色低碳的未来变成现实。

为虚拟电厂“装上更聪明的大脑”,要把分散的光伏和可调设备找得更准、算得更准、调得更稳。上海交大在面积130亩的学院园区内建设智慧能源数字化平台,覆盖近2万个数据测点,校园内的电表、光伏、储能、空调、充电等设备物联接入,建立统一档案,连续产出1Hz的高频实时曲线与历史数据;同时汇集分时电价、负荷、光伏出力、碳排等关键信息,并提供预测、统计、告警与运维管理。目前,研究团队所开发的“基于深度神经网络的分布式光伏发电功率预测”以及“基于深度强化学习的暖通空调系统无感智慧温控策略”等一系列前沿研究成果,已在智慧能源创新学院落地应用。

智慧能源数字化平台成为虚拟电厂运营仿真平台的数据底座,可复用、可追溯的真实数据得以成为科研和教学的基础。团队构建的“电力市场价格联合预测模型”“AI辅助交易申报方案”等先进算法,已部署在虚拟电厂仿真运营平台,支撑聚合校园碎片化资源,具备1.2MW可调节能力,满足上海电力市场交易要求。师生不仅可以直观看到各类资源的状态与边界,调用预测与分析模块形成负荷、出力等指标,而且策略下发与执行结果全流程留痕,能够复盘对比与改进。两平台联动让“聚合—预测—调度—结算”在真实数据上闭环验证。

可以预见的是,向着更节能、更高效的目标迈进,虚拟电厂的应用将越发普及,需要复合型人才参与资源聚合与建档、信息预测与评估、策略制定与交易、执行监视与结算评价等核心环节,以适配“聪明电厂”。仿真教学平台为“未来电力人”提供了削峰、现货、调频等真实场景的练兵场。产学研合作也有了标准化的试验环境,使虚拟电厂从概念讲解走向可操作、可检验、可迁移的系统能力。



■上海交通大学国家电投智慧能源创新学院搭建的虚拟电厂运营仿真三维可视化平台