

上海市黄浦区商业建筑虚拟电厂典型应用

屠盛春,刘晓春,张皓

(上海腾天节能技术有限公司 上海 200050)

Typical implementation of commercial building virtual power plant in Huangpu district of Shanghai

TU Shengchun, LIU Xiaochun, ZHANG Hao

(Shanghai Tengtian Energy Saving Technology Co., Ltd., Shanghai 200050, China)

摘要:商业建筑虚拟电厂是通过建立一种以消费者为导向的用电能力的控制,形成一个特殊虚拟公共设施,在城市需要时刻输送电能,有效缓解区域用电平衡矛盾。近年来,上海市顺应国家电力体制改革和电网发展的需要,贯彻国家发改委关于在黄浦区开展国家级需求侧管理示范项目的批复精神,开发、建设、运营商业建筑虚拟电厂,全面开展虚拟发电实施实践。通过介绍开展虚拟电厂的背景,阐述虚拟电厂的关键技术运用、外部运营平台建设、内部调控交互机制设计,总结了虚拟发电的实际实施情况和亮点,分析成效以及当前存在的问题,对今后进一步发展提出了设想。

关键词:商业建筑虚拟电厂;运营平台;调控交互;自动需求响应

Abstract: The virtual power plant of commercial building is a special virtual public facility, formed by establishing a consumer oriented control of power consumption capacity. It can transmit power at any time when the city needs, and effectively alleviate the contradiction of regional power consumption balance. In recent years, Shanghai has complied with the needs of the national power system reform and power grid development, implemented the approval spirit of the NDRC on developing the national demand side management demonstration project in Huangpu district, developed, constructed and operated the commercial building virtual power plant, and comprehensively carried out the virtual power generation practice. The background of developing virtual power plant is introduced. The application of key technologies of virtual power plant, the construction of external operation platform, the design of internal control and interaction mechanism is expounded. The actual implementation and highlights of virtual power generation are summarized. The results and existing problems are analyzed. Some suggestions are put forward for further development in the future.

Key words: commercial building virtual power plant; operation platform; regulatory interaction; automatic demand response

0 引言

虚拟电厂(virtual power plant, VPP)是指通过先进的协调控制、智能计量以及信息通信等技术,有效聚合协调控制各类分布式资源所组成的,以实现资源高效利用为目的,具备一定规模及性能以能够直接接受电力系统调度机构调度的特殊集成性电厂。在负荷侧柔性可控资源可调潜力逐渐增强的背景下,原先普遍采用需求响应可在一定程度上解决电力供给平衡问题,然而,需求响应的负荷调节时间尺度较长,无法直接接受调度指令,规模集成困难,也难以满足电力系统安全运行的时效性要求。因此,虚拟电厂的

出现为解决上述问题提供了新的实践路径。

在目前研究多处于理论研究、方案论证阶段,尚未见实质性落地,进入工程实践^[1]。自2016年起,上海市积极开展国家级需求侧管理示范项目“上海黄浦区商业建筑虚拟电厂示范项目”建设,推进虚拟电厂运营平台的开发及项目试点实施:由上海市经济和信息化委员会指导,上海市黄浦区发展和改革委员会具体实施,通过负荷集成商运营管理对用户侧负荷资源进行统一集中调控,商业建筑用户响应参与为主,在全国范围内率先构建了独具特色的面向商业建筑为主要调控对象的虚拟电厂,汇聚商业用户需求响应资源并制定、适配相应策略,提高商业建筑用电的智能化水平和应急保障能力,保证电力供需平衡和促进可再生能源消纳。

上海用电负荷呈现典型国际化大都市特征,空调负荷占比高、负荷波动性强且用电峰谷差较大等问题突出;黄浦区拥有大量商业建筑,区域负荷集中,以空调类为主的商业负荷聚集,成为构成负荷

收稿日期:2019-10-10;修回日期:2019-12-20

基金项目:上海张江国家自主创新示范区专项发展资金重点项目(201705-CN-C1085-009)

This work is supported by Key Project of Special Development Funds for Shanghai Zhangjiang National Independent Innovation Demonstration Zone(No.201705-CN-C1085-009)

高峰的主要原因,大型商业建筑数量超过200幢,面积近1 000万m²,年耗电量约13亿kWh,峰值负荷近500 MW,而这类负荷具有一定的可调性能,加之原有区级建筑能耗监测基础设施建设完善,具备良好的负荷调控基础条件。

通过集成互联网+智慧能源技术,建设上海市黄浦区商业建筑虚拟电厂,可为电力系统提供具有成本效益的系统调控能力,从而提高综合运营效率,不仅具有技术上的可行性,而且具有巨大的商业潜力。虚拟电厂的建成不仅只局限于对虚拟发电事件的调控,依托虚拟发电事件量的数据积累,可以扩展实监测参与楼宇的用电情况,还可以为楼宇用户提供节能方案,对用电设备进行异常检测与辅助决策分析。将来通过一个“大数据”平台、一套“虚拟电厂”系统和一系列“第三方系统接口”与商业楼宇“智慧用能服务”的管理系统建设,形成“能源业务精细化管理业务体系”,用能精细化管理体系组成如图1所示。



图1 精细化管理体系组成

Fig. 1 Composition of refined management system

围绕城区商业建筑需求侧的多种典型用户资源的智能再造,能实现精确控制用电需求,并实现供需动态平衡的系统,建立一种以消费者为导向的用电能力的控制,最终形成完备的特殊虚拟公共设施,这种精细化管理可以精确到每小时,虚拟电厂的建设意义凸显。

1 虚拟电厂关键技术

1.1 智能计量技术

智能计量技术是实现虚拟电厂对可控负荷和分布式电源(distributed generation, DG)等进行监测并施以控制的重要基础,其最基本的功能是自动抄表(automated meter reading, AMR),即对用户楼宇内包括电、气、水、热等能源进行自动测量读取。基于AMR功能,智能计量技术可为虚拟电厂提供实时动态的电源和需求侧信息。

在此基础上,高级计量体系(automated meter infrastructure, AMI)和自动计量管理(automated meter

management, AMM)能够完成远程数据收集和管理,并将数据包发送给相关各方。用户可通过用户室内网(home area network, HAN)查看所有的计量数据,从而直观地了解到自己的电能生产消费和相应的费用等信息,并以此为据,自主采取相应合理的调节措施。

示范项目参与虚拟电厂的楼宇,其所涉及的分项计量系统已构建完成,数据计量、采集可支持虚拟电厂调集使用。

1.2 信息通信技术

采用融合能源流与信息流的双向通信技术,虚拟电厂可以接收各个单元发出的状态信息并同时向控制目标发送远程控制指令。虚拟电厂应用的通信技术主要包括:专用虚拟网络,包括互联网协议服务在内的多种互联网技术,电力线路载波技术以及包括全球移动通信系统在内的各种无线技术。另外,室内通信网络主要由位于用户楼宇内的WIFI、ZigBee、蓝牙等通信技术架构而成。

虚拟电厂对于不同通信技术的选择和应用是因地制宜的^[2]。对于大型机组,可以使用基于IEC 60870-5-101或60870-5-104协议的普通遥测系统。考虑到目前小型分散化电力机组数量不断增加的趋势,未来通信渠道以及通信协议的作用将愈发凸显,受到成本的制约,遥测技术将逐渐被电力线路载波技术或基于简单的TCP/IP适配器取代。虚拟电厂要采用融合能源流与信息流的双向通信技术,控制中心不仅可以接受各单元的当前状态信息,而且能够向控制目标发送控制信号。根据不同场合和要求,虚拟电厂要应用不同的通信技术。应用于虚拟电厂中的通信技术主要基于互联网的技术,如互联网协议的服务、虚拟专用网络、电力线路载波技术和无线技术。在欧洲进行的一些虚拟电厂项目中,主要应用有互联网虚拟专用网络技术、移动通信技术、GPRS技术和IEC104协议通信技术等。本文描述的虚拟电厂采用OpenADR及国标DL/T1867—2018。

1.3 自动需求响应技术

自动需求响应技术的优势在于:其可以根据现场实际的情况对需要调控的设备自动进行“按需”管控;改造主要针对中央空调系统、动力设备等。传统的需求响应主要依赖于人工信号传输和人工响应,响应的时效性不强,可靠性得不到保障。用户侧的电能消耗信息也不能及时的传输至测量数据管理系统,无法根据用户响应行为及时调整需求响应触发信号,降低了需求响应的灵活性和效率。并且传统需求响应不具备提供调峰调频等辅助服务所需要的快速响应能力,需求侧主体的多元化也

使其集中控制不像发电那么容易,负荷调整量的大小也无法得到保障。

示范项目遵循 OpenADR 协议与国标 DL/T 1867—2018,设计双兼容的通信数据模型进行自动化调度,定义了电力服务提供者和消费者之间信息交换规范,实现时间、调度量、操作方式等信息传递。在虚拟电厂入驻建筑内安装二次开发定制化的自动需求响应网关及智能控制器,架构如图2所示。

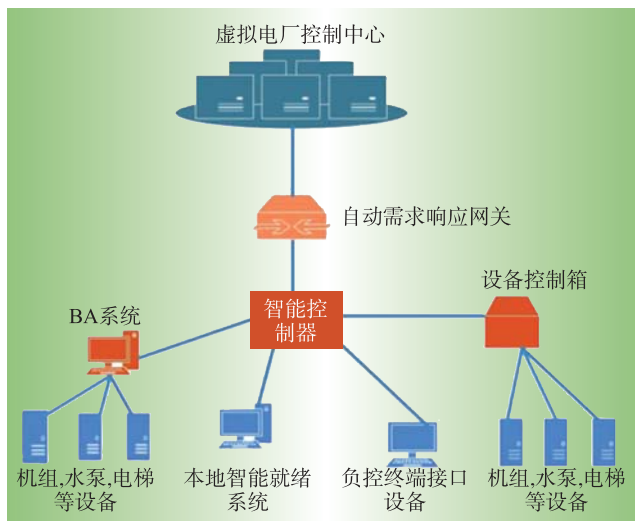


图2 自动需求响应架构

Fig. 2 Automatic demand response framework

2 运营管理平台建设

运营平台作为虚拟电厂业务执行外部入口,将对入驻电厂的发电机组运行、发电任务执行等进行日常运营业务进行监测、管理,同时具备展示、分析等功能,支持与上海市电网调度、交易进行对接。

平台总体架构分为两层:下层为虚拟发电机层(即楼宇用户层),又可以细分为边缘计算层和感知层,通过智能终端与虚拟电厂平台进行数据采集上传和接受削峰指令,实现交互和楼宇系统控制;上层为虚拟电厂层,采集、分析楼宇内海量上传数据,并完成虚拟发电任务执行、监视、结算等任务,实现电厂整体运营管理。总体架构如图3所示。

3 调控交互过程设计

调控交互机制作为的虚拟电厂集成管控内部支撑,将集控命令传输到每一台设备、每一户用户,实现任务有效沟通执行。监测数据的采集通常不是连续的,而是有固定的时间间隔。为了避免15 min间隔数据不漏采,采集时间间隔一般设置为5 min,采集器一般用RS485总线采集电能表数据,通过

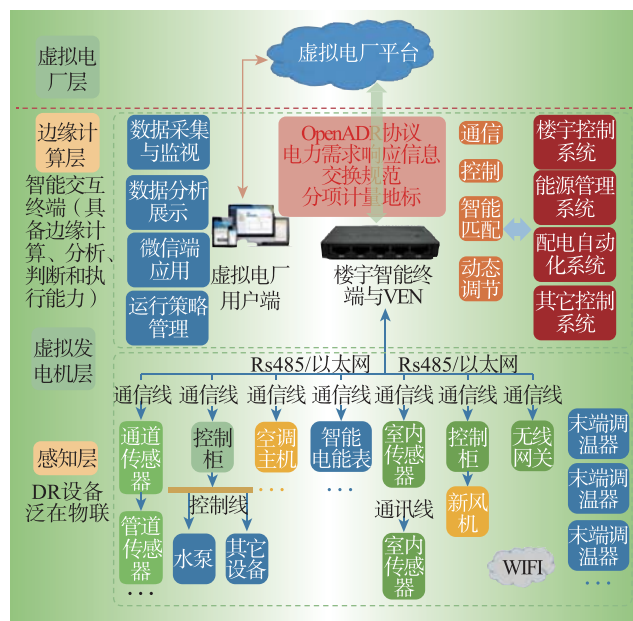


图3 总体架构

Fig. 3 Overall structure

Internet、移动通信网络或本地宽带网络将电能表数据上传给VPP控制中心。通信交互架构如图4所示。

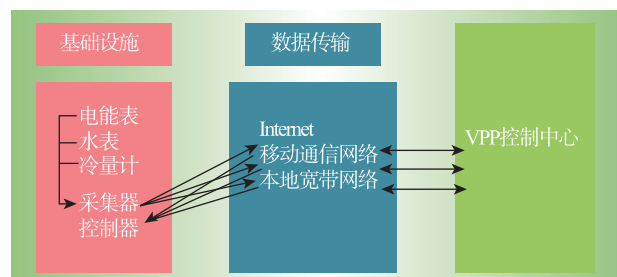


图4 通信交互架构

Fig. 4 Communication interaction framework

电网调度会提前一天或者几个小时将需求下发给VPP控制中心,由于VPP控制中心与电网调度之间尚未建立专用通信通道,目前只能通过电力市场交易外部平台接收电网调度指令。VPP控制中心跟进需求进行内部分解,对不同用户设备的虚拟发电控制操作主要有以下几种方式:

(1) 用户默认:VPP控制中心直接对用户设备进行启停或调节,此过程约需25 s(实测)。交互过程如图。用户虽无需确认,但是会收到通知(默认参与),但用户可以拒绝。交互过程如图5所示。

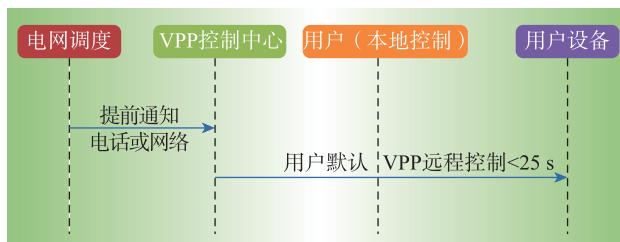


图5 VPP直接控制交互

Fig. 5 VPP direct control interaction

(2) 需用户确认:VPP 控制中心将任务时间及需求量发给用户,征得用户同意,此过程大约需 35 s,然后 VPP 控制中心远程进行设备相关操作,总过程用时约 1 min(实测)。交互过程如图 6 所示。

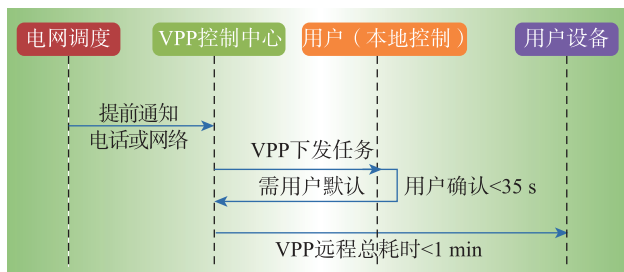


图 6 需用户确认的 VPP 控制交互

Fig. 6 VPP control interaction to be confirmed by user

(3) 还有一种方式为用户确认后,由于 VPP 控制中心对用户部分设备不具备远程控制能力,由用户自己通过就地控制实现设备操作,总过程用时约 15 min。交互过程如图 7 所示。

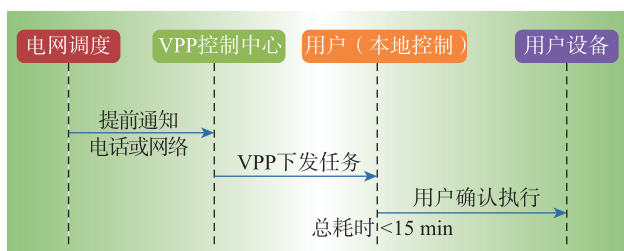


图 7 需用户确认和控制的交互

Fig. 7 Interaction requiring user confirmation and control

目前,接受电网需求侧响应每年约 2—3 次,VPP 运营中心为保持自己的需求响应能力,每月进行一次虚拟发电集中调度。

4 实施情况分析

4.1 发电情况总览

黄浦区商业建筑虚拟电厂的实施经历了由粗放型调控向实用化、精细化转变的过程。区内商业建筑主要为办公楼、酒店、商贸中心和综合大厦等,黄浦区商业建筑的虚拟发电资源潜力主要来源为中央空调系统、照明系统、生活水以及新风系统负荷。

目前,虚拟电厂内按虚拟发电机资源模型注册了 550 个可调资源(其中空调资源占比 74%,其他资源占比 26%),形成 315 种发电组合策略,4 种发电模式;入驻参与楼宇 130 幢,面积达 627 万 m^2 ,其中办公建筑 68 幢,宾馆酒店 30 幢,购物商场 10 幢,综合体 22 幢。总体情况如图 8 所示。



图 8 区内总体发电情况

Fig. 8 Overall power generation in the area

2018 年至今,虚拟电厂累计发电调度超过 1 200 幢次,累计响应削峰负荷超 200 MW,其规模化调控能力日趋显现,已经纳入上海电力需求响应日常调度常规资源。

4.2 典型发电事件

(1) 执行特殊天气变化电力运行保障

2018 年 8 月 17 日,正值台风“温比亚”于在上海登陆,全市启动电力调峰预警,黄浦区商业建筑“虚拟电厂”首次投运,在当天 12:00~13:00 电力负荷高峰时段,通过虚拟电厂运营调度,104 幢签约商业建筑作为虚拟发电节点同一时间投入运转,削减各自使用负荷,1 h 实际削减电力负荷 20.12 MW。虚拟电厂整体发电情况如图 9 所示。

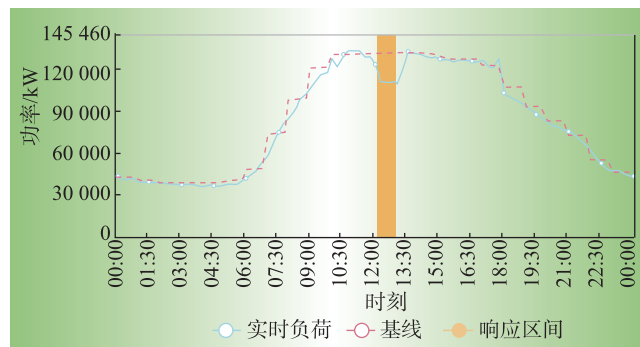


图 9 虚拟电厂整体发电执行情况

Fig. 9 Overall generation performance of virtual power plant

其中,某酒店建筑为 5 星级酒店,位于南京路购物中心的核心地带,建筑基本信息如表 1 所示。

表 1 建筑基本信息

Table 1 Basic building information

建筑类型	酒店	建筑层数/层	B2/47F
建筑年代	2005 年	客房数/间	520
建筑面积/ m^2	70 000	建筑高度/m	208

该酒店建筑用能系统主要包括变配电系统、空调制冷系统、空调采暖系统、末端系统、电梯、生活给水系统等,主要用能系统如图 10 所示。



图 10 该酒店现场用能设备系统

Fig. 10 Energy equipment system of the hotel

根据该建筑用电负荷数据分析,负荷变化较稳定。属于典型酒店建筑用电负荷特性。该建筑典型日用电负荷规律如图 11 所示。

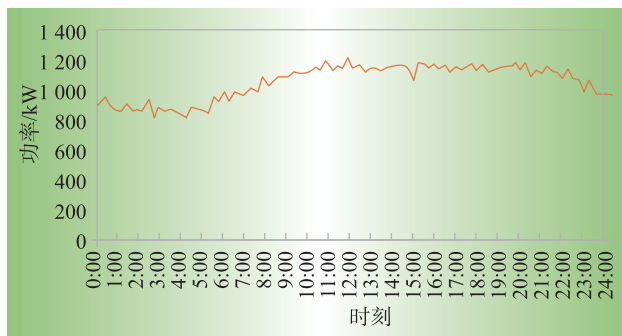


图 11 典型日用电负荷曲线

Fig. 11 Typical daily load curve

该酒店参与虚拟发电,执行效果良好,削减负荷达 727 kW,具体情况如图 12 所示。

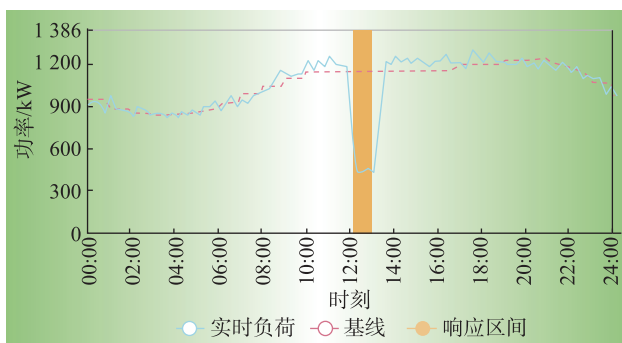


图 12 该酒店虚拟发电执行情况

Fig. 12 Implementation of virtual power generation in the hotel

(2) 执行日常高负荷时段电力运行保障

2019 年 8 月 9 日,上海夏天迎来用电高峰时刻,虚拟电厂实施了迄今投运为止规模最大的一次“虚拟发电”,发电时间段由中午 12:00 启动至 14:00 结束,实际参与发电楼宇 129 幢,通过合理调节各自空调、照明、动力使用负荷,共计削减高峰电力削减负荷 50.51 MW。虚拟电厂整体发电情况如图 13 所示。

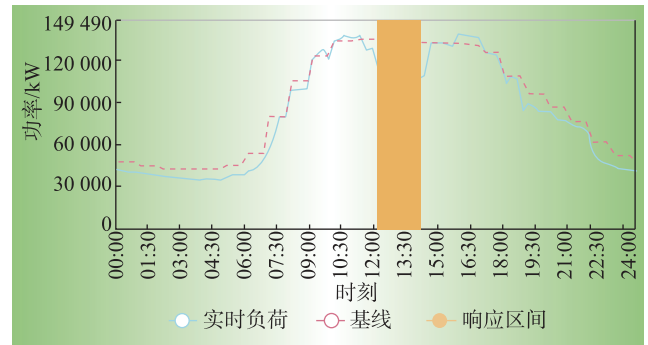


图 13 虚拟电厂整体发电执行情况

Fig. 13 Overall generation performance of virtual power plant

其中,某办公楼建筑为国际甲级写字楼,位于南京西路,建筑基本信息如表 2 所示。

表 2 建筑基本信息

Table 2 Basic building information

建筑类型	办公楼	建筑层数/层	B5~35F
建筑年代	2007 年	出租率/%	95
建筑面积/m ²	64 648	建筑高度/m	161.5

该办公楼建筑用能系统主要包括变配电系统、空调制冷系统、空调采暖系统、末端系统、电梯、生活给水系统等,主要用能系统如图 14 所示。

根据该建筑用电负荷数据分析负荷变化呈现工休差异波动,属于典型商业办公建筑用电负荷特性。建筑典型日用电负荷规律如图 15 所示。

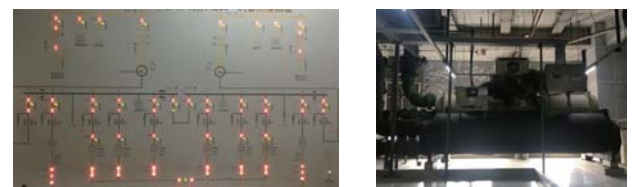


图 14 该办公楼现场用能设备系统

Fig. 14 Energy using equipment system of office building

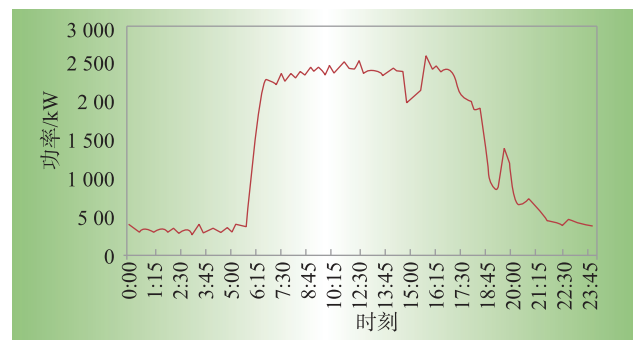


图 15 典型日用电负荷曲线

Fig. 15 Typical daily load curve

该办公楼参与虚拟发电,执行效果良好,该次削减负荷 1 069 kW,具体情况如图 16 所示。

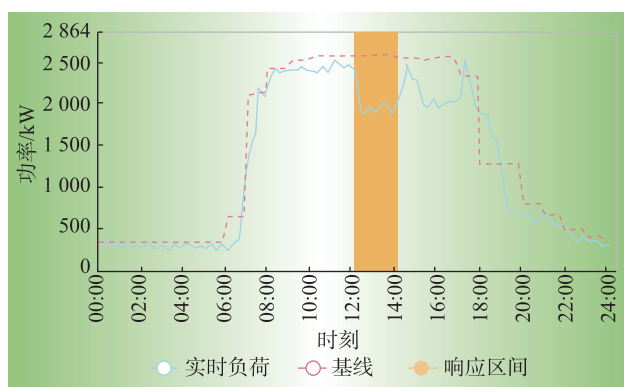


图 16 该办公楼虚拟发电执行情况

Fig. 16 Implementation of virtual power generation in the office building

虚拟电厂通过试运用和不断完善,已初步形成常态化发电机制,示范项目整体资源也成为上海电力需求响应日常调度常规资源不可或缺的一部分。

4.3 成效以及问题分析

通过虚拟电厂的具体实施推进过程,实现累计 59.6 MW 商业建筑需求响应资源开发,其中 10% 的商业建筑具备分钟级自动需求响应能力。完成商业建筑虚拟电厂生产与运营调度应用开发与上线运行,平均柔性负荷调度能力 10%。2019 年已开展建筑内部响应竞价,向市场化目标又前进一步。

以目前 50 MW 虚拟发电厂运行效果进行测算,通过本项目的用电控制能力和市场机制建设,建筑将实现更主动的精细化管理,以年优化管理 100 h 用电测算,每个建筑可节约 3 万~4 万 kWh 的电能消耗,相当于近 10 tce,百幢建筑可节标煤约 1 000 t,减排二氧化碳 2 700 t,高绩效实现节能减排目标。虚拟发电资源同步进入电力交易市场,还可获取更大的经济效益。

虚拟电厂的实施运营,可以激励用户改变粗放型消费行为,主动参与节能节电活动,并获得相应的收益;实施需求侧管理节约每千瓦的投资远低于新建电厂的千瓦造价;可减缓发供电边际成本的过快增长,抑制电价的上升幅度,有利于稳定电价;可强力推动电网移峰填谷,缓解拉闸限电,改善电网运行的经济性和可靠性,提高电网的运营效益;可减少发电燃料消耗,减少二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物和烟尘等污染控制费用。

存在以下两个问题。一是虚拟电厂相关规范标准制定有待进一步加速,为了更好的推广虚拟电厂操作模式,虚拟电厂作为电力公司与用户之间媒介,尚未有明确的虚拟电厂/电力交易中心/电力公司相关各方责权利设计,这些可能制约虚拟电厂的持续化、有序化、规模化发展。二是虚拟电厂市场化政策制定有待进一步突破,通过本项目的实施、

试运营,市场环境的程序需与技术同步匹配推进,才可保证虚拟电厂运营持续生命力,配套政策不够完善,无法全方位支持、落实电力市场化目标实现。

5 结束语

通过介绍开展虚拟电厂的背景,阐述关键技术运用、外部运营平台建设、内部调控交互机制设计,分析虚拟电厂的实际实施情况及当前存在的问题。

本文有以下 3 点展望:

(1) 继续挖掘并充分调动楼宇参与的积极性。注重楼宇自主参与为主,注重帮助楼宇自身精细化管理能力建设,结合政府在楼宇节能减排以及日常管理服务业务,以政府推动、企业推进、市场主导、行业促进和社会参与多角度结合,不断的重复提升楼宇认知、加强楼宇认同、提高楼宇电力运行管理水平。

(2) 逐步扩大资源参与规模、增加资源参与种类。通过积极引导楼宇(居民)先参与,带动规模楼宇(小区)共同参与;发挥光伏、储能、电动汽车等内在潜力优势,也可推动这类资源作为储能单元参与调峰/填谷事件。

(3) 积极推进负荷集成商为主体运营的商业运营模式,形成政府-电网企业-负荷集成商-用户相互关联的信息链,使虚拟发电实施真正反馈电网所需,保证虚拟发电效果可监测和可验证,同时建议由主管部门对已有平台及监测设备进行整合,减轻负荷集成商和用户二次投入支出。▶

参考文献:

- [1] 张亚明,穆云飞,贾宏杰,等.电动汽车虚拟电厂的多时间尺度响应能力评估模型[J].电力系统自动化,2019,43(12):94-110.
ZHANG Yaming, MU Yunfei, JIA Hongjie, et al. Response capability evaluation model with multiple time scales for electric vehicle virtual power plant[J]. Automation of Electric Power systems, 2019, 43(12):94-110.
- [2] 徐峰,何宇俊,李建标,等.考虑需求响应的虚拟电厂商业机制研究综述[J].电力需求侧管理,2019,21(3):2-6.
XU Feng, HE Yujun, LI Jianbiao, et al. Review of research on commercial mechanism for virtual power plant considering demand response [J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(3):2-6.

作者简介:

屠盛春(1980),男,浙江宁波人,本科,主要从事需求侧虚拟电厂、电力需求侧管理项目等相关规划设计、实施验证工作。

(责任编辑 陈 可)