

国外电力需求响应实践及启示

丁 一, 胡怡霜, 崔文琪

(浙江大学 电气工程学院, 杭州 310000)

Practices and enlightenment of foreign power demand response

DING Yi, HU Yishuang, CUI Wenqi

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310000, China)

摘要:随着电力市场的进一步推进,电力用户的需求响应在国内外电力系统中均得到了广泛的研究开展。从实践层面对需求响应进行探讨,首先介绍了美国和欧盟需求响应市场中价格型和激励型需求响应项目实践的特点,然后对欧盟和美国需求响应项目发展进行分析,最后结合我国新一轮电改的现状和国外经验,对我国需求响应发展提出相应的建议。

关键词:需求响应;价格型;激励型;新一轮电改

Abstract: With the further development of the power market, demand response has been further investigated all over the world. The demand response from the perspective of practical cases is described. Firstly, characteristics of demand response program in USA and EU are introduced. In addition, the comparisons between these two electricity markets are analyzed. Finally, combined with the foreign experience and electricity market reform in our country, suggestions are proposed to the development of the demand response programs in China.

Key words: demand response; price-based; incentive-based; new power system reformation

中图分类号:TK018;F407.61;TM715 文献标志码:A

0 引言

由于通信系统和智能电能表的广泛应用,需求侧资源具备了快速响应能力,具有协助电力系统保持网荷平衡的潜力^[1-2]。随着电力市场的进一步推进,电力用户的需求响应在国内外电力系统中均得到了广泛的研究开展。为推进需求响应机制的开展,我国已出台多个政策文件。2011年1月,我国开始实行《电力需求侧管理办法》,从管理职能、实施目标、具体工作、资金来源等方面为需求响应的开展提供指导。2015年3月,中共中央、国务院发布了《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》,指出要积极开展电力需求响应和能效管理,发挥市场机制的作用,促进电力供给侧和需求侧的平衡。河北省是较早开展需求响应的省份,出台了《关于大力开展电力需求侧管理的意见》^[3],用于解决需求响应专项资金;深圳是国内较早开展需求响应试点的城市^[4],在电价机制方面,两部制电价实施范围大并且基本电费比重高,电价政策向环保倾斜,试行可靠性电价,推行峰谷电价政策。在未来电力市场改革和售电侧开放的背景下,我国的需求侧资源应用和需求响应工作具有广阔前景。

1 国外需求响应实践

国外很多发达国家在用户需求响应的开展和研究中都有着较为先进的经验,值得参考借鉴。美国和欧盟在需求响应方面取得了丰富的实践经验,技术和市场机制相对成熟和完善。通过电价激励、需求侧竞价等市场手段引导用户主动参与需求响应、调峰调频等服务,提高用户参与需求响应的积极性。本文以美国和欧盟为例,对电力市场中需求响应的发展过程及现状进行详细介绍。

1.1 美国需求响应项目

美国需求响应起步较早,相关政策比较完备,组织机构也较为完善,实行需求侧调频、调峰和备用。各类电力市场相应推出基于容量市场、电量市场和辅助服务市场的需求响应项目,售电侧采用节点电价的定价方式并实现零售选择权,取得了良好的效果。2005年8月与2007年12月,美国分别颁布了《能源政策法案》与《能源独立与安全法案》,从立法上首先明确了对开展需求响应的支持,并开始正式推进需求响应项目的实施。由此,在需求响应的研究与实践方面美国开展了大量工作,积累了很多经验。

1.1.1 价格型需求响应在美国的应用

让电力用户基于时间和空间变化的价格信号,来自主地做出用电行为的调整,以产生合理的用电

收稿日期:2018-12-20;修回日期:2019-02-25

基金项目:国家重点研发计划(2016YFB0901103)

This work is supported by National K&D Program of China (No. 2016YFB0901103)

曲线,就是价格型需求响应^[5]。在价格型需求响应机制中,分时电价机制、关键峰荷电价机制和实时电价机制^[6-7]为最常用的价格机制,并在美国电力市场建设中得到了良好的实践运用。

自20世纪60年代起,分时电价机制在美国各州得到了开展和普及。从众多的分时电价推行经验来看,亚利桑那州APS的项目经验很具代表性和启示性。加利福尼亚州于20世纪80年代实施了美国第一个实时电价项目。海湾电力公司于2000年实施了关键峰荷电价项目^[8-11]。各类电价项目在美国得到深入的实践运用。

1.1.2 激励型需求响应在美国的应用

与价格型需求响应采用价格信号来调整需求侧不同,激励型需求响应是直接采用奖励方式来激励和引导用户^[12]。在美国,实施的激励型需求响应也得到了广泛的实践运用^[13-16]。1998年PJM开创了容量市场,为美国容量市场的建设取得了宝贵的经验;美国于1968年推行第一个直接负荷控制项目,随后得到了大规模推广,其中直接负荷控制在佛罗里达电力电灯公司得到了最广泛应用;美国中西部的可中断负荷项目于2009年开始实施,在中西部ISO的ASM市场中得到了快速发展。表1为美国典型需求响应项目。

表1 美国典型需求响应项目

Tab. 1 Typical demand response program in USA

类型	项目	实施模式
价格型需求响应	分时电价	在不同的时段收取不同电费 ^[17]
	关键峰荷电价	包含固定期限、变动期限、变动峰荷电价机制、关键峰荷折扣机制
	实时电价	包含日前实时电价、两部制实时电价、强制性实时电价 ^[18]
激励型需求响应	直接负荷控制	空调和热水器等用电设备的远方控制和调节
	可削减和可中断负荷	用户可以直接降低规定负荷,或者恢复负荷到通知前
	容量市场	在紧急情况出现时,用户执行预定的负荷削减并获得补偿

1.2 欧盟需求响应项目

对于存在电费高、负荷过重问题的欧洲电网,需求响应是一个简单、有成本效益的解决方案。2011年10月,苏格兰及南方能源集团与霍尼韦尔公司合作^[19],在欧洲进行首个工商业设备自动需求响应试点项目,应用了Akuacom公司的需求响应自动服务器和Tridium公司的负荷控制器等技术设施,旨在削减高峰负荷,提供安全可靠的电力服务。欧洲地区较为典型的需求响应项目如表2所示。

需求响应在欧盟发展较美国等其他地区缓慢,第1个原因是动态定价机制的缺失^[20]。欧盟大多数

表2 欧洲典型需求响应项目

Tab. 2 Demand response program in EU

地区	项目类型	实施模式
欧盟智能生态电网 ^[21]	Ecogrid EU	支持在较短的时间范围内提供系统所需的平衡服务。 允许小容量的分布式能源电源和终端用户参与电力场和系统的运行。 运营商设定实时电价,配网资源根据电价做出提供平衡资源的响应。
芬兰 ^[22]	分时电价	开展了全方位集约化经营,积极开展电力需求响应。 从2014年开始,芬兰几乎所有实行电力需求响应的用户,电价都采用了分时电价。
英国	分时电价	工商业大用户可以与电力供应方签署分时电价或者中断负荷协议。 小型用户按照时变电价费率缴费,可在夜间享受打折电价。
法国	分时电价	全年分成蓝色日、白色日和红色日3种电价,每天又分峰荷与非峰荷2种电价。

国家依旧实施政府管制电价,这会导致需求响应实施缺乏财政激励。第2个原因是开放的市场或维持电力供需平衡,需要建立响应的市场机制来保证需求响应的实施完善。欧盟曾鼓励需求侧资源参与到批发和零售市场中,并认为会无差别对待需求响应提供者,并提供技术支持。但在实施中并非如此。零售商有用户的用电负荷数据,可能会剥夺用户转移负荷的权利,或向用户收取全部的电费,因此需要建立规范监管的市场来支持需求响应^[23]。第3个原因是小型工业用户、商业用户和居民用户通常需要通过聚合商来进入市场,聚合商需要从售电商、配电商和电力交易所中获得许可,才能与用户签订需求响应合同,所以用户的准入原则不完善也是目前欧盟面临的障碍之一。

2 我国新一轮电力体制改革下的需求响应发展建议

需求响应的发展与电力市场化改革进程是紧密相关的,随着电力市场化改革的深化,需求响应也要从行政化手段为主发展到以市场化手段为主。基于国外需求响应项目的经验,对我国新一轮电力体制改革下的需求响应发展提出如下建议。

(1) 定价结构由分时电价逐步向实时电价演变。居民用户现有的电价机制只有阶梯电价和峰谷电价2种,在现有电能表功能可以实现的基础上,完善电价机制,设置更小时间尺度、反应系统状态的电价机制。电价机制包括实时电价、分时电价和尖峰电价,其中实时电价对电能表设备、通信速度、数据处理

速度等要求较高,我国还不适用。因此可以探索结合分时电价和尖峰电价的电价机制。在峰谷电价的基础上,增加尖峰电价和凹谷电价,从1天2个电价变为1天4个电价。在谷值电价处增加凹谷电价,在峰值电价处增加尖峰电价。从峰谷电价转变为结合尖峰/凹谷电价的峰谷电价,再转变为较小时间尺度的分时电价,最终实现实时电价,从而将居民负荷的电量交易逐步转变为电力交易,还原电力的商品属性。

(2) 探索居民用户的新型需求响应模式。居民需求响应的实施主要包括家庭能效监测设备的安装部署以及补贴政策的实施。家庭能效监测设备的安装部署可以考虑采用3种方式:① 实现家庭配电箱的智能化,实现家庭分项用电回路监测及控制;② 依托智能插座和智能家庭,通过APP、智能交互终端等实现智能家庭控制;③ 在户外智能表箱中安装非侵入量测设备,实现用电设备非侵入量测和智能化控制。对于居民需求响应补贴政策的实施,可以考虑2个阶段:第一阶段,通过激励补贴机制(如现金和积分奖励方式)实现居民负荷柔性调控;第二阶段,电力市场放开且国家理顺居民电价后,通过尖峰电价、实时电价等措施,引导居民用户负荷参与互动。

(3) 将电能市场和辅助服务市场分别竞价上网。优势有3点:① 在电能市场中,发电企业公平公开竞价,促进企业升级改造、降低生产成本、提高产出效率,促使价格降低,电力用户可享受到改革红利;② 在辅助服务市场中,发电企业与实时需求响应提供商公平公开竞价,向电力用户收取辅助服务费用,电力用户同时也可以作为实时需求响应提供商,既存在获利的可能、又存在出资的可能;③ 电能市场和辅助服务市场分开,可以帮助理清电价形成机制,发电企业利用自身优势,分别在电能市场和辅助服务市场中寻求利益最大化。

(4) 研究多种措施协同运行策略。① 建立协同运行流程,明确不同场景下各类需求侧管理措施的协同处置流程;② 针对紧急控制、不同时间维度下可预知的电力供应不足等多种场景,制定不同的协同策略;③ 在明确负荷协同控制流程的同时,进一步完善负荷恢复的策略和工作流程,实现在不同场景下用电负荷的快下快上。

(5) 建立需求响应分级分区管理机制。① 根据电网安全运行和经济运行的需求,在不同场景下启动相应级别的需求响应措施;② 梳理分区电网响应资源,将需求响应资源从现在的省、市两级管理转变为省、市、分区三级管理;③ 进一步优化需求响应管理平台,建立负荷集成商分区管理功能,在分区电网出现缺口时能够按需启动需求响应。

(6) 探索需求响应与电力系统的有机结合。
① 提升全负荷管理覆盖面,扩大空调调控范围,实

现供电系统空调调控全覆盖,有效提升实时需求响应能力;② 全面推动各类系统整合,将现有有序用电智能决策系统、需求响应平台等需求侧管理系统整合,实现资源的统一配置;③ 进一步完善激励机制,与需求响应分级分区管理理念相匹配,建立多档次、适应不同要求的需求响应激励机制供用户选择。

(7) 需求响应机制的实现需要信息通信手段作为有力支撑。通信技术、物联网、自动控制设备、智能家电设备等技术已经为我国电力需求响应的发展提供了强有力的技术支撑,营造了良好的发展环境。利用这些技术,需求响应可以实现更小的时间尺度。参与主动响应的用户也不再局限于工商业等大型电力用户,可以实现更小容量的电力用户(如普通家庭用户)参与到市场中来。因此,鼓励企业大力发展电力智能管理系统可以促进电力需求响应的顺利安全可靠实施。

(8) 鼓励分布式储能技术的发展。分布式储能技术是实现电力需求响应的关键,更多用户拥有储能设备将极大地促进需求响应和清洁能源的发展。拥有储能设备的用户可以作为电力消费者,根据需求在电价较低时,从电力市场买入电能;也可以作为电力供应者,将家庭分布式电源发出并储存的电能或电价较低时段买入的电能,在电价较高的时段卖出。

3 结束语

本文系统性地介绍了美国需求响应市场中价格型需求响应和激励型需求响应项目的特点、规则以及运营情况,介绍了欧盟典型需求响应项目,并对欧盟和美国需求响应项目发展进度不同之处进行分析,总结了3条需求响应在欧盟发展较美国等其他地区缓慢的原因。针对我国开展需求侧管理的现状,本文参照国外需求响应市场的成功实践经验提出了8条相关建议,为需求响应项目的开展提供借鉴。D

参考文献:

- [1] 江苏省经信委. 关于印发《江苏省电力需求响应实施细则》的通知(苏经信电力[2015]368号)[Z]. (2015-08-10)[2019-02-15]. http://www.jseic.gov.cn/xwzx/gwgg/gwfb/201506/t201506_25_162408.html.
- [2] RAHUL W, STEPHEN F, NETRA T, et al. Evolution and current status of demand response (DR) in electricity markets: Insights from PJM and NYISO [J]. Energy, 2010 (35):1 553-1 560.
- [3] 郝振宇. 抓住机遇,全面推进河北省电力需求侧管理[J]. 电力需求侧管理, 2002, 4(4): 10-12.
HAO Zhenyu. Catch the opportunity to advance power DSM in Hebei entirely [J]. Power Demand Side Manage-

- ment, 2002, 4(4):10-12.
- [4] 黄昆彪,贾振旺. 浅谈深圳地区的电力需求侧管理[J]. 电力需求侧管理,2002,3(Z1):63-68.
HUANG Kunbiao, JIA Zhenwang. A few ideas on DSM in Shenzhen [J]. Power Demand Side Management, 2002, 3 (Z1):63-68.
- [5] 王冬容. 价格型需求响应在美国的应用[J]. 电力需求侧管理,2010,12(4):74-77.
WANG Dongrong. Application of price-based demand side response in the U.S.A.[J]. Power Demand Side Management, 2010, 12(4):74-77.
- [6] 王彦. 反映供需关系的新型分时电价及定价机制研究[D]. 北京:华北电力大学,2016.
WANG Yan. Research on new time-of-use power price reflecting supply and demand relationship and pricing mechanism [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [7] 张粒子,叶红豆,陈道潇,等. 基于峰荷责任的输配电价定价方法[J]. 电力系统自动化,2017, 41(14):92-98.
ZHANG Lizi, YE Hongdou, CHENG Xiaoxiao, et al. Transmission and distribution pricing method based on peak-load pricing [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(14):92-98.
- [8] 陶莉. 国外分时电价政策简介及探究[J]. 电力工程技术, 2007, 26(1):58-60.
TAO Li. Brief introduction and research of oversea time-share electrovalence policies [J]. Electric Power Engineering Technology, 2007, 26(1):58-60.
- [9] AHMAD F, STEPHEN G. The value of dynamic pricing in mass markets [J]. The Electricity Journal, 2002, 15 (6):47-48.
- [10] 宋宏坤. 美国加州如何通过 DSM 解决能源危机[J]. 电力需求侧管理,2004,6(3):34-36.
SONG Hongkun. How to resolve energy crisis by DSM in california [J]. Power Demand Side Management, 2004, 6 (3):34-36.
- [11] 黄岩,张国春. 峰荷电价的定价模式分析[J]. 系统工程,2001,19(1):43-46.
HUANG Yan, ZHANG Guochun. The analysis of peak load electricity pricing model [J]. System Engineering, 2001,19(1):43-46.
- [12] 王文华,唐永伟,张少华,等. 电力需求响应的激励性补偿方法比较[J]. 电力需求侧管理,2010,12(6):12-15.
WANG Wenhua, TANG Yongwei, ZHANG Shaohua, et al. Comparison of incentive compensation methods in power demand response [J]. Power Demand Side Management, 2010, 12(6):12-15.
- [13] 田雨,李如锋. 基于电价与激励的需求侧资源可调度容量评估技术[J]. 电器与能效管理技术,2016(21): 63-70.
TIAN Yu, LI Rufeng. Technology of schedulable capacity assessment of demand side resources based on electricity price and incentive [J]. Electrical & Energy Management Technology, 2016(21):63-70.
- [14] KOLIOU E, EID C, CHAVES-ÁVILA J P, et al. Demand response in liberalized electricity markets: Analysis of aggregated load participation in the German balancing mechanism [J]. Energy, 2014(71):245-254.
- [15] 王冬明,李道强. 美国 PJM 电力容量市场分析[J]. 浙江电力,2010(10):50-53.
WANG Dongming, LI Daoqiang. Analysis of electric power capacity market of PJM [J]. Zhejiang Electric Power, 2010(10):50-53.
- [16] Federal Energy Regulatory Commission. Assessment of demand response and advanced metering: 2006 staff report [EB/OL]. [2008-12] (2019-02-15). <http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/demand-response.pdf>.
- [17] Honeywell implements first automated demand response project for commercial and industrial facilities in Europe [EB/OL]. [2011-10-06] (2019-02-15). <http://Honeywell.com/News/Pages/pr ess-releases.aspx?Page=8>.
- [18] 董军,王秉晶,冯琪,等. 国外电力需求响应研究与实践[J]. 电力需求侧管理,2014,16(5):62-64.
DONG Jun, WANG Bingjing, FENG Qi, et al. Demand response research and practice at abroad [J]. Power Demand Side Management, 2014,16(5):62-64.
- [19] 李国栋. 欧洲与美国需求侧管理创新与发展趋势 [J], 电力需求侧管理,2012,14(6):59-61.
LI Guodong. DSM innovation and development trends in European countries and the United States [J]. Power Demand Side Management, 2012,14(6):59-61.
- [20] 丁一. 以需求侧平衡资源为基础的实时市场设计示范项目——欧盟智能生态电网(Ecogrid EU)项目介绍 [J]. 电力需求侧管理,2015,17(3):1-5.
DING Yi. Real-time market design demonstration project based on demand side resources equilibrium——Ecogrid EU project [J]. Power Demand Side Management, 2015, 17(3):1-5.
- [21] 潘小辉,王蓓蓓,李扬. 国外需求响应技术及项目实践 [J]. 电力需求侧管理,2013,15(1):58-62.
PAN Xiaohui, WANG Beibei, LI Yang. Demand response technology abroad and its practice [J]. Power Demand Side Management, 2013, 15(1):58-62.
- [22] 周明,李庚银,倪以信. 电力市场下电力需求侧管理实施机制初探[J]. 电网技术,2012,29(5):6-11.
ZHOU Ming, LI Gengyin, NI Yixin. A preliminary research on implementation mechanism of demand side management under electricity market [J]. Power System Technology, 2012,29(5):6-11.
- [23] 需求响应+新电改:看国外发展如何?[EB/OL]. [2015-10-13] (2019-02-15). <http://mp.ofweek.com/smartgrids/a545643529316>.
Demand response + new electricity reform: How about foreign development? [EB/OL]. [2015-10-13] (2019-02-15). <http://mp.ofweek.com/smartgrids/a545643529316>.

作者简介:

丁一(1978),男,北京人,教授,研究方向为电力市场;
胡怡霜(1995),女,浙江海宁人,博士研究生,研究方向为电力市场;
崔文琪(1994),女,江苏南京人,硕士研究生,研究方向为电力市场。

(本栏责任编辑 孙晶水 鹄)