

智能电网与电力需求响应的研究

袁志坚¹, 刘旭娜^{2,3}

(1. 德阳电业局 四川 德阳 610000; 2. 四川大学 电气信息学院 四川 成都 610065;
3. 智能电网四川省重点实验室 四川 成都 610065)

摘要:智能电网已经成为未来电网的发展方向,将供电侧与用户侧资源全面、动态地整合,才能真正实现智能型的完美电力系统。因此,智能电网势必对需求响应产生极大的推动作用。分析了智能电网与需求响应二者相互包容、相互影响的关系,然后针对智能电网时代引入的与需求响应相关的技术变革进行探讨,最后结合中国电力市场的情况,提出了进一步促进需求响应发展的建议与设想,并探讨了今后的研究方向。

关键词:智能电网;需求响应;完美电力系统;技术变革

Abstract: Smart grid has become the development direction of the future grid. It comprehensively and dynamically combines the resources of supply side with that of user side by which the intelligent perfect power system can only be achieved. Therefore, smart grid is bound to promote the demand response. The mutually inclusive, interactive relationship between smart grid and demand response is analyzed. Afterward, the technological revolution relevant to demand response which is introduced by the epoch of smart grid is discussed. Finally, combining with the circumstance of electricity market in China, the better proposals and ideas which can advance the development of demand response are put forward, and the further research direction is discussed.

Key words: smart grid; demand response; perfect power system; technological revolution

中图分类号:TM76 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)05-0001-04

0 引言

智能电网(smart grid)^[1-3]与需求响应(demand response, DR)^[4-6]是当今电力行业的研究热点^[7]。作为21世纪电力系统的重大科技创新和变革趋势^[2],安全、可靠、经济、清洁、高效、互动的智能电网给电力行业实施需求侧管理(demand side management, DSM)带来了新的机遇和挑战。其中,信息和电能的双向互动,鼓励用户改变传统的用电方式,积极参与电网运行,根据实时电价调整用电模式等内容更是将需求响应设为其主要建设目的。

2005年与2007年,美国前总统布什分别签署了《能源政策法案》与《能源独立与安全法案》,将支持需求响应和智能电网作为美国能源政策的重要组成部分。2009年,美国总统奥巴马签署的高达7 870亿美元的经济刺激计划不但宣布了智能电网时代的到来,也把包括供应侧和需求侧在内的综合资源概念引入了公众关注范围内。目前,许多国家从政府、发电公司、电网公司到相关的IT企业均投入了较多的政

策支持、资金支持和研发力量^[8],这必将推动需求响应的大力发展。

由于电能不能大规模经济存储,需要供需双方证实时平衡,需求响应就是为运用市场机制去影响需求的时间和水平,达到电能平稳运行的目的。但与发、输电环节相比,配电、用电等需求侧资源与系统的联系相对薄弱,这影响了需求响应提高系统的整体性能的效率。智能电网的突出贡献就是利用先进的信息技术灵活地整合、调度需求侧资源,实现信息和电能的双向互动^[9],可以预见未来的智能电网时代,需求响应将会有长足的进步和发展。

首先介绍了智能电网与需求响应的联系,并总结了目前国内外需求响应的研究进展,然后针对智能电网时代引入的技术变革会给需求响应带来的影响和机遇进行了分析,最后就中国面向智能电网的需求侧响应发展做出了展望,并给出了具体的建议。

1 智能电网与需求响应

智能电网的最终目的是实现电网的经济、高效、

可靠、安全运行,实现能源,包括可再生能源的规模化高效利用,实现经济、环境和社会效益的最大化。它不但全面地涵盖了发电、输电、变电、配电、用电和调度的整个电力行业,还涉及到能源、信息、经济、法律等多个学科领域,对技术、经济、社会、环境等因素都会产生相互的作用和影响,因而实施智能电网需要多方参与协作。图1展示了智能电网的利益相关方^[3]。社会与政府希望智能电网能满足环境友好、节能减排的要求;电力企业希望能提升电力系统的各方面性能,提高自身运营业绩;电力用户希望智能电网能给生活带来更大的便利与实惠;设备制造商和服务提供商希望借助智能电网所带来的巨大商机来获取丰厚的利润;倡导者和科研机构也能从智能电网的实施中获利。需求响应则是将这些利益相关方通过用户响应的手段联系在一起,既分享了各自的利益,也推动了智能电网的建设。

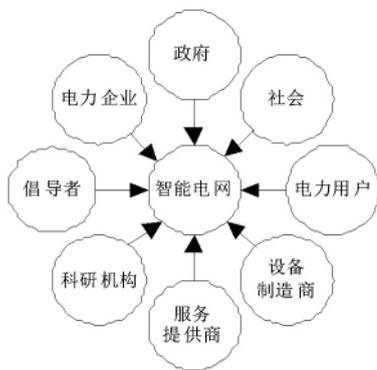


图1 智能电网的利益相关方

需求响应的概念是美国在进行了电力市场化改革以后,针对需求侧管理如何在竞争市场中充分发挥作用,以维持系统可靠性和提高市场运行效率而提出的一种技术途径。需求响应可定义为^[10]:电力市场中的用户针对市场价格信号或者激励机制做出响应,并改变正常电力消费模式的市场参与行为。强调电力用户直接根据市场情况主动作出调整自身负荷需求的反应,从而作为一种资源对市场的稳定和电网的可靠性起到促进作用。

根据美国能源部的研究报告^[11],可以按照用户不同的响应方式将电力市场下的需求响应划分为以下2种类型:基于价格的需求响应和基于激励的需求响应。

(1) 基于价格的需求响应是指用户响应零售电价的变化并相应地调整用电需求,包括分时电价(time-of-use pricing, TOU)、实时电价(real-time

pricing, RTP)和尖峰电价(critical peak pricing, CPP)等。用户通过内部的经济决策,将用电时段调整到低电价时段,并在高电价时段减少用电,来实现减少电费支出的目的。参与此类需求响应项目的用户可以与需求响应实施机构签订相关的定价合同,但用户在进行负荷调整时是完全自愿的。

(2) 基于激励的需求响应是指需求响应实施机构通过制定确定性的或者随时间变化的政策,来激励用户在系统可靠性受到影响或者电价较高时及时响应并削减负荷,包括直接负荷控制(direct load control, DLC)、可中断负荷(interruptible load, IL)、需求侧竞价(demand side bidding, DSB)、紧急需求响应(emergency demand response, EDR)和容量/辅助服务计划(capacity/ancillary service program, CASP)等。

这2类需求响应项目存在一定的内在联系,相互间可以互补,都具备节能、负荷整型的功能。需求响应还是缓解系统短期容量短缺和推迟电网升级投资的有效方法,还能够降低系统高峰期电价、减少电价波动风险、优化资源配置和保证市场稳定运行,对电力工业和经济发展以及环保等方面都有着重要的战略作用,这与智能电网需要达到的目的不言而喻。

需求侧作为智能电网建设的重点环节,需求响应项目的推行对于智能电网建设目标的实现具有举足轻重的作用;另一方面,智能电网框架下的先进的计量、通信和控制手段对于需求响应的支持也起到非常关键的促进作用。因此,智能电网和需求响应二者关系密切,相辅相成,具体表现在以下几个方面。

(1) 需求响应是智能电网框架下的重要组成部分,是实现其建设目标的关键技术保证。智能电网与传统电网的一个重要不同点就是智能电网尤其强调与用户的互动性,包括信息互动与电能互动,而互动性主要是通过部署各类需求响应项目来实现的。

在信息互动方面,主要体现在供需之间的信息交互。需求响应实施机构可及时收集、统计与分析用户需求,来增强系统的安全、可靠与经济运行能力;用户也可以通过需求响应平台及时了解电网的实时动态,并在参与需求响应项目时安排合理的用电方案和响应策略,以更好地管理、优化、节约、监控和理解电能使用。

在电能互动方面,主要体现在供需之间的双向互动供电。普通计费电表为传统电网的计量工具,而在智能电网中,借助于具有双向计量与通信功能的高级

计量系统,用户也可以向电网供电,打破了传统的供需双方的电能单相传输方式。

(2) 智能电网肩负着节能减排、应对全球性环境和能源危机挑战的重任。该目标的实现离不开需求侧资源的积极参与。需求响应项目的直接目的虽然是负荷整形,但有研究发现^[12],在高峰时段减少的需求在非峰时段不会完全反弹,保守估计可以减少4%的总能源需求,甚至还能达到11%,而且需求响应项目通过智能电网的交互性,可使用户随时了解目前电价信息和自己的能源消耗情况,潜意识地起到了节能降耗的启发作用。

(3) 智能电网背景下的需求响应项目还有利于电力工业的稳定可靠运营,提高整体电网的安全可靠性,以及灾后的自愈能力。针对智能电网的可再生能源计划,需求响应可通过可中断负荷、动态能源储备等手段有效减少高峰能源需求,合理和有效地利用其即插即用特点,排除危险事件的发生。2008年3月,美国得克萨斯州一个风机突然停运,造成系统容量从1700 MW 跌落到300 MW,10 min内系统紧急调度1100 MW需求响应参与,避免了一次全州性的大停电事故。

(4) 智能电网通过创新营销策略,引导用户主动参与电力市场竞争,实现积极的需求响应策略,改善了以往主要由政府或电力公司推动需求侧管理实施的尴尬局面。智能电网提供了双向互动的营销技术和机制支持,使智能电网下的需求利益相关方均能得到收益、投资回报。在经济效益的驱动下,从电力公司到电力用户到整个社会,对于需求响应项目必将投入更多的热情和信心。

2 与需求响应相关的智能电网技术

针对智能电网技术,各国均已经形成强大的研究群体,研究内容覆盖发电、输电、配电和售电等环节,各行业也在如火如荼地开展智能电网建设。其中,以高级计量基础设施(advanced metering infrastructure,AMI)为主的智能电网技术对支持需求响应和促进电网与用户的互动方面起着最为关键的作用。AMI是一个使用智能电表通过多种通信介质,按需或者以设定的方式测量、收集并分析用户用电数据、能够提供开放式双向通信的系统,是智能电网的基础信息平台。

AMI 具有的主要功能包括^[13-14]:改善客户服务、停电管理、窃电监测、远程连接/断开用户、电能质量管理、负荷预测、远程改变计量参数、远程升级仪表固件、与水表或天然气表接口、预付电费购电、电价高峰/紧急事件的通知等。由此可知,AMI支持各类需求响应项目,以AMI为核心的技术体系构成了与需求响应相关智能电网技术的主要部分。这些智能电网技术主要包括:

(1) 智能电表。智能电表是实现响应的信息与控制的终端设备。相对于传统电表不可操作性而言,智能电表能给用户带来更加优质的服务。它可以为用户提供实时用电信息,使用户能更加清楚自身用电习惯和耗电清单,为用户参与各类需求响应项目提供数据支持;它也可以为电力部门传递用电信息,实现对用户远程抄表、更好地掌握用户用电规律、并按动态电价收取用户电费。

智能电表这一关键技术受到了极大的关注,2009年1月25日,美国白宫最新发布的《复苏计划尺度报告》宣布:将铺设或更新4828 km输电线路,并为4000万美国家庭安装智能电表。

(2) 双向通信技术。实时、高速与完全集成的双向通信技术是使智能电网成为动态的与交互式电网的大型基础设施。该系统工程包含从电力网络到用户侧均需要安装大量传感器和先进的测量和控制装置,来支持其先进的能源计量和实时市场交易功能。双向通信技术不但能帮助用户在参与各类需求响应项目时做出合理的策略,还能将该策略快速、准确无误地传送到指定位置。目前常用的通信方式主要有电力线载波、光纤、Internet和无线通信等。

(3) 能量端口(Energyport)技术。能量端口是指包括“门户”、“网关”和“智能仪表”的设备。狭义上讲,是指与通信数据集线器有关的传统电力公司与电力用户的交接界面。实际上,它是指终端子系统和设备间的通信,使得用户设施中的智能设备可通过广域网和远程系统实现无缝连接。通过实施能量端口技术,可让用户在安全性、保护措施、便利性、舒适性、通信、能量管理及娱乐这7个方面受益。该项技术的发展为用户提供了自动管理电能的工具,用户可自行做出定价决策、选择默认的用电曲线,同样也可使供电商通过开关操作控制用电需求。

(4) 智能储能技术。智能电网时代的智能储能技术也为需求响应的发展带来契机,有了智能储能技

术,可以弥补可再生能源发电不确定性的不足,让用户以需求侧竞价的方式将屋顶风电、屋顶光电装置等所产生的电能卖给电网,具有充分的选择权进行供电服务商的选择。该项技术不但提高能源利用的市场性、独立性和安全性,还促进了用户响应,实现真正的电能“智能互动”。

(5) 高效技术。高效技术涉及通过促进用户改变负荷形状(数量和用电模式),努力提高电网利益的各种活动,包括与硬件有关和与非硬件有关的活动,其中,与硬件有关的活动,如改进楼宇热能完整性和增加高效设备,与非硬件有关的活动,包括选择用户用电模式以及通过使用电力取代石化燃料,以减少总体上能量消耗和污染排放。用户通过投资高效的用电装置来提高用电效率和节省用电成本,投资者通过延迟新的投资需求来获得利益,这大大增强了需求响应项目的参与性。

3 推动需求响应发展的建议

智能电网时代的到来,整个电力行业甚至各行业均将会实现整体的飞跃和提升。在过去的努力建设下,需求响应项目已迈出实质性的步伐,正越来越多地被大众所接受,成为化解电力供求矛盾的有效手段,保证电力安全运行的有力措施和促进可持续发展的重要途径。为将智能电网与需求响应的作用发挥到极致,应结合中国实际情况,现提出以下几点建议。

(1) 与发达国家相比,中国的需求响应项目起步较晚、发展较慢,政府部门电力相关行业应制定适应智能电网背景下的需求响应项目的具体方案和措施,并引导其规划、实施,并将智能电网技术与需求响应有机整合到智能电网发展愿景中,形成智能电网与需求响应相互促进、共同发展的局面。

除此之外,需要成立专门的执行机构来协调各个项目的实际履行工作,并从财政、税收、贷款等方面对智能电网与需求响应项目的发展给予充分政策和资金支持,以创建各利益相关方共赢的局面。

(2) 智能电网与需求响应项目均需要多方的积极参与,但来自系统、公众,以及电力用户等方面的群体尚未意识到实施需求响应的紧迫性和重要性,因而需要多种渠道向各利益相关方展示其发展愿景。

从电力系统部门的角度,认为需求响应会减少电力部门的售电收入,从而削弱其投资的积极性。所以

不但应健全相关政策法规等激励机制,同时加深其对需求响应的进一步认识,看到需求响应项目能延迟发电侧建设,提高运行稳定性等带来的效益。

对于用户而言,应大力开展广泛的宣传与教育,创新营销策略,引导用户主动参与需求侧响应项目,消除其怀疑、回避的态度。

(3) 推广与需求响应相关的智能电网各项技术。随着主动参与需求响应项目的用户日益增多、用户侧分布式电源的大规模部署,系统安全问题将变得更加复杂,应该依靠智能电网的新技术来应对新形势的挑战。

与此同时,除了上一节提到的智能电网技术外,鼓励电力企业、科研机构、设备制造商等开展智能电网与需求响应的专题研究,增大对智能电网与需求响应项目的资金投入,加强自主的新技术研发与国外先进技术引进。在此基础上,应加快建立、完善包含需求响应的智能电网技术规范与行业标准,以支持智能电网技术与需求响应项目的大规模部署。

4 结 语

智能电网已经成为未来电网的发展方向,使电网智能化的核心就是全面、动态地整合用户侧资源,包括负荷以及电力使用的相关信息。它体现了电网发展理念、电力企业发展思路与电力用户角色全面变革的过程。因此可见,需求响应项目是智能电网最重要的组成部分之一。

讨论了智能电网给需求响应所带来的促进作用,以及针对自身特点的完善建议。如何让需求响应在智能电网环境下相得益彰地发展,找准合适的方案,并与供应侧的资源进行合理的综合资源规划,充分发挥其稳定系统运行、节能减排与绿色环保的作用,也是今后研究的热点。

参考文献

- [1] Vojdani A. Smart Integration[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2008, 6(6): 71-79.
- [2] Editorials of Nature. The Greener Grid: Governments Need to Back an Overhaul to Get the Electricity Grid Ready for Renewable Energy [J]. Nature, 2008, 454(7204): 551-552.

(下转第13页)

neers 58th Annual Conference , Apr. 2005: 211 – 216.

[6] J. Mora – Flores , J. Melendez. Comparison of Impedance Based Fault Location Methods for Power Distribution Systems [J]. Electric Power Systems Research ,2008: 657 – 666.

[7] A. L. Dalcastagne and S. L. Zimath ,A Study about the Sources of Error of Impedance – Based Fault Location Methods [C]. Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America 2008 IEEE/PES: 1 – 6.

[8] 陈铮 ,董新洲 ,罗承沐. 单端工频电气量测距算法的鲁棒性[J]. 清华大学学报(自然科学版) ,2003 ,43(3) : 310 – 313.

[9] Girgis A. A et al. A New Fault Location Technique for Two and Three – terminal Lines [J]. IEEE Trans. on Power Delivery ,1992 ,7(1) : 98 – 107.

[10] Magnago F. H. ,Abur A. . Fault Location Using Wavelets [J]. IEEE Transaction on Power Delivery ,1998 ,13(4) : 1475 – 1480.

[11] 徐丙垠 ,李京 ,陈平 ,等. 现代行波测距技术及其应用 [J]. 电力系统自动化 ,2001 ,25(23) : 62 – 65.

[12] 李友军 ,王俊生 ,郑玉平 ,等. 几种行波测距算法的比较 [J]. 电力系统自动化 2001 ,25(15) : 36 – 40.

[13] 董新洲 ,葛耀中 ,徐丙垠. 利用暂态电流行波的输电线路故障测距的研究 [J]. 中国电机工程学报 ,1999 ,19(4) : 76 – 80.

[14] 曾祥君 ,尹项根 ,林福昌 ,等. 基于行波传感器的输电线路故障定位方法的研究 [J]. 中国电机工程学报 ,2002 ,22(6) : 42 – 46.

[15] Hizman H. ,Crossley P. A. ,et al. Fault Section Identification and Location on a Distribution Feeder Using Traveling Waves [C]. Power Engineering Society Summer Meeting 2002 IEEE 25 July 2002 (3) : 1107 – 1112.

[16] 于盛楠 ,杨以涵 ,鲍海. 基于 C 型行波法的配电网故障定位的实用研究 [J]. 继电器 2007 ,35(10) : 1 – 4 ,12.

[17] Tawfik M. M. Morcos M. M. ANN – based Techniques for Estimating Fault Location on Transmission Lines Using Prony Method [J]. IEEE Transaction on Power Delivery , 2001 ,16(2) : 219 – 224.

[18] YU Yue – hai ,BAI Yichuan ,XI Guo – fu ,et al. Fault Analysis Expert System for Power System [C]. 2004 International Conference on Power System Technology 21 – 24 Nov 2004(2) : 1822 – 1826.

[19] 杜刚 ,刘迅 ,苏高峰. 基于 FTU 和“S”信号注入法的配电网接地故障定位技术的研究 [J]. 电力系统保护与控制 2010 ,38(12) : 73 – 76.

[20] Bollen M. Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions IM2. IEEE Press ,New York 2000.

(收稿日期:2011 – 04 – 10)

(上接第4页)

[3] 张钦 ,王锡凡 ,付敏. 需求响应视角下的智能电网 [J]. 电力系统自动化 2009 ,33(17) : 49 – 55.

[4] Bosheli F ,Veloza O P. Review of Developed Demand Side Management Programs Including Different Concepts and Their Results [C]. Proceedings of IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America ,Bogota ,Colombia 2008: 1 – 7.

[5] Rahimi F. Overviews of Demand Response Programs at Different ISOs/RTOs [C]. Proceedings of IEEE Power Systems Conference and Exhibition ,USA ,Seattle ,WA 2009: 1 – 2.

[6] Abreu K. PG&E’s Perspective on Demand Response under the Smart Grid Paradigm [C]. Proceedings of IEEE Power Systems Conference and Exhibition (PSCE’09) ,Seattle ,WA ,USA ,2009.

[7] Rahimi F ,Ipakchi A. Overview of Demand Response under the Smart Grid and Market paradigms [J]. Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) 2010: 1 – 7.

[8] Noreen Parks. Energy Efficiency and the Smart Grid [J]. Environmental Science & Technology ,2009 ,43(9) : 2999 – 3000.

[9] Steve Collier. Ten Steps to a Smarter Grid [C]. 2009 IEEE Rural Electric Power Conference(REPC 09) ,Fort Collins ,Colorado ,USA 2009 : B2 – B2 – 7.

[10] Albadi ,M. H ,El – Saadany ,E. F. Demand Response in Electricity Markets: An Overview [C]. 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting 2007: 1 – 5.

[11] Menniti D ,Costanzo F ,Scordino N ,Sorrentino ,N. Purchase – Bidding Strategies of an Energy Coalition With Demand – Response Capabilities [C]. Power Systems ,IEEE Transactions 2009 24(3) : 1241 – 1255.

[12] Dam Q B ,Mohagheghi S. Stoupis ,J. Intelligent Demand Response Scheme for Customer Side Load Management [C]. Energy 2030 Conference ,2008: 1 – 7.

[13] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考 [J]. 电力系统自动化 2009 ,33(9) : 1 – 4.

[14] Mak S. T. A Synergistic Approach to Implement Demand Response ,Asset Management and Service Reliability Using Smart Metering ,AMI and MDM Systems [C]. IEEE Power & Energy Society General Meeting 2009: 1 – 4.

(收稿日期:2011 – 04 – 10)