

◆ 环球揽萃 ◆

DOI:10.3969/j.issn.1009-1831.2020.06.019

基于可再生能源消纳的欧洲需求侧管理经验与启示

李国栋^{1,2}, 李庚银², 周 明²

(1. 北京电力交易中心, 北京 100031; 2. 华北电力大学 新能源电力系统国家重点实验室, 北京 102206)

Experience and enlightenment of demand side management in Europe based on renewable energy accommodation

LI Guodong^{1,2}, LI Gengyin², ZHOU Ming²

(1. Beijing Electric Power Trading Center, Beijing 100031, China; 2. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System With Renewable Energy Sources Control, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

摘要:介绍了德国、英国、比利时、意大利等欧洲国家需求侧管理(demand side management, DSM)项目的几个典型企业案例,其共同特点是结合可再生能源开展需求侧管理,均取得了不错的成效,为企业创造了可观的效益,这对于我国推进需求侧管理和促进可再生能源消纳等工作具有重要借鉴意义。结合我国电力需求侧管理进程,提出几点我国可以借鉴的应用机制,包括基于可再生能源的可中断负荷联动机制、辅助服务市场机制、自备电厂与可再生能源的发电权交易机制、需求侧分时电价机制,为深入推进我国可再生能源消纳提供借鉴。

关键词:需求侧管理;需求侧响应;可再生能源;生产成本;市场机制

Abstract: Several typical DSM project cases in Germany, Britain, Belgium, Italy and other European countries are introduced. The common feature of these projects is that DSM is carried out considering renewable energy, which have achieved good results and created considerable benefits for enterprises. It is of great significance for China to promote DSM and renewable energy accommodation. Based on the promoting progress of DSM in China, several application mechanisms are put forward, including linkage mechanism of interruptible load based on renewable energy, auxiliary service market mechanism, and generation rights trading mechanism of self-owned power plants and renewable energy, demand-side time-of-use pricing mechanism, which will provide reference for further promoting the consumption of renewable energy in China.

Key words: DSM; demand side response; renewable energy; production cost; market mechanism

0 引言

为促进绿色环境发展,可再生能源已在全球范围内得到飞速发展,受到可再生能源装机规模过大、本地负荷有限、外送能力不足等因素影响,一些装机占比较大地区已遇到了可再生能源消纳问题^[1]。为了促进可再生能源消纳,减少弃风弃光弃水,很多学者都提出了创新思路,并且得到了实践。特别是在供给侧方面,电源端的机制创新很大程度上提升了可再生能源消纳机会,但是在需求侧方面仍然存在较大的探索空间。

近年来,基于可再生能源的需求侧管理机制逐步得到应用并取得了一定成效,特别是在欧洲一些

发达国家其应用较为广泛^[2-3]。这一机制主要是在需求侧建立促进可再生能源消纳的市场机制,一方面在需求侧就地新建分布式可再生能源(主要为太阳能、风电等),实现本地负荷尽可能就地平衡,另一方面通过市场机制促进可再生能源消纳(如分时电价、辅助服务市场等)^[4],鼓励企业购买可再生能源满足生产需要。

需求侧管理在欧洲主要国家的工业生产运行中起着十分重要的作用,需求侧管理能够深入挖掘工业生产中电力系统柔性负荷的潜在价值^[5-6],并转化为经济价值,这在欧洲主要国家已经得到广泛认同。根据近年来提出的欧洲清洁能源“一揽子协议”,预计到2030年,电力消费结构中将有大约60%的电能来自可再生能源,目前这在很多其他国家是难以想象的。依据该发展趋势,初步测算得出,只要使得欧洲工业用电需求的10%具有灵活性,每年将可以节省15亿欧元,极强的经济吸引力使欧洲持续推进需求侧管理工作。事实上,DSM一定程度上减少了对发电能力的投资与依赖,需求侧灵活性的增强,还可以提高对

收稿日期:2020-02-25;修回日期:2020-09-25

基金项目:国家重点研发计划(2016YFB0900100);国家电网有限公司科技项目(SGZJ0000KXJS1900181)

This work is supported by National Key Research & Development Program (No. 2016YFB0900100); Science and Technology Project of State Grid Corporation (No. SGZJ0000KXJS1900181)

可再生能源发电的消纳。这对工业企业来说是一个诱人的商机,可以在帮助电力系统实现低碳化的同时获得可观的经济效益^[7]。

为了将这一理论付诸实践,欧洲一些国家早在21世纪初就开展此类研究,在分析了适用于工业企业的多种DSM商业模式可行性的基础上,逐步将此计划推广实施。自2013年以来,欧洲铜业协会(European copper institute, ECI)就一直主张工业需求侧管理是深入整合可再生能源电力的一条十分重要的途径。他们结合一系列的DSM案例研究,分析了激励和阻碍DSM项目推广的情况,总结提出不少适用欧洲工业发展的DSM推广先进经验,这对于我国DSM项目落地具有很好的借鉴意义。为了学习欧洲一些典型的DSM实施经验,促进我国DSM项目深入发展,本文介绍了5个国家、6种能源密集型工业类型的DSM项目实施情况,总结了几点经验,希望能为我国DSM项目与可再生能源项目综合发展产生一些作用。

1 基本情况

本文重点介绍在不同能源密集类型工业企业实施需求侧管理的典型案例,主要包括6个欧洲国家:比利时、法国、德国、意大利、西班牙和英国,普遍执行了基于可再生能源消纳的DSM项目的实施与推广^[8-9],取得了一定成效,研究其先进经验可为我国需求侧管理创新实践提供重要借鉴。

随着过去几年可再生能源成本的大幅降低,可再生能源与电力系统的成本效益整合是下一个即将面临的挑战。特别是在高耗能工业企业中实施DSM是实现这一目标最有希望的途径,而且企业在较短时间内就可以实现收益。当然,这需要DSM意识能够广泛普及并得到工业企业的认可,否则生产过程中的需求侧灵活性潜力及其带来的项目机会也难以得到挖掘。

根据市场模式设计和相关法律法规对欧洲工业企业DSM进行分类,可分为4种商业模式:① 电费削减,通过DSM机制调整企业用电曲线,如:移峰填谷等,降低企业整体电费支出;② 提供系统服务,企业主动参与负荷侧市场调节,如:储能,根据需要调整用电方式,从而减轻系统调峰压力;③ 场外可再生能源的平衡服务合同(balancing service contract, BSC),即企业通过与可再生能源企业签订BSC,在后者有调整出力需求时,前者作出对应调整,从而减少系统调整压力,实现共赢;④ 场内可再生能源电费削减,建立基于场内可再生能源的企业负荷调整机制,实现场内可再生能源可靠消纳,也能降低场外电能消纳规模,实现整体电费削减。涉及的6个主要工业领域包括化学品、有色金属、冷藏行业、钢铁、纸张和水处理,其电量消费每年超过

400 TWh,约占其全国电量消费的10%以上。

欧洲主要国家实施工业企业DSM项目时,一般都需对DSM项目进行深入评估,主要目的是识别、评估和利用企业需求侧灵活性的可行性,确定项目实施的最终评判标准是其经济性。在评估DSM项目过程中,一方面需要评估项目的可行性和经济性,另一方面还会根据当前项目方案提出完善措施与建议,进而保证项目实施后能够取得可观的经济效益,这种DSM项目评估方式被定义为灵活性设计,包括3个步骤:① 综合评估项目实施过程中的需求侧灵活性;② 对综合评估结果进行量化;③ 将量化结果进行货币化,确定其经济性,从而判定DSM项目是否实施。在量化步骤中,对每个灵活性负荷的具体灵活性进行建模,一旦企业项目的需求侧灵活性在模型中被量化,那么其灵活性的价值就可以在估值阶段计算出来,即为货币化。

本文主要介绍5个国家在6个主要工业类型中的DSM实施和量化情况。

(1) 德国:废水处理行业,主要通过场内可再生能源减少电费支出;化工行业和有色金属行业,通过现货市场购买可再生能源实现电费削减。

(2) 比利时:造纸工业,主要通过场外可再生能源平衡服务合同实施需求侧管理。

(3) 英国:冷藏行业,提供系统服务(主要是储能)和需求侧电费削减(主要基于分时电价、日前电价购买可再生能源)。

(4) 意大利:钢铁行业,通过需求侧管理实现电费削减(主要基于分时电价、现货市场电价购买可再生能源等),如:增加低谷时段用电、减少高峰时段用电等。

(5) 法国:冷藏行业,通需求侧管理实现电费削减(主要基于现货市场电价购买可再生能源),特别是在可在生能源出力较大时段,其价格偏低,该时段用电有利于企业降低成本。

其中,比利时造纸工业和德国化工行业的案例主要是通过增加附属投资来提高需求侧灵活性,从而实现可再生能源消纳规模的提升,而在其他案例中,主要是通过通过对现有生产过程的需求侧管理提高可再生能源消纳。

2 基于可再生能源消纳的欧洲需求侧管理典型案例

欧洲DSM案例中,为提升需求侧灵活性,主要采用应急发电机、制冷系统和充电站等设备,其经济性价值大约为2.5欧元/TWh到7.21欧元/TWh不等,可以在一定程度上降低电费支出1%~3%,综合来看,设置应急发电机对于提升需求侧灵活性、减少电费支出的效率最高^[8]。

在意大利钢铁行业,一些大型工厂通过有效利用感应炉的余热,来提升需求侧的灵活性。从电费支出来看,该方式大致可以削减成本3%~4%,略低于企业总能源成本的1%。这种方式在其他很多工业中并不被看好,但是钢铁行业的余热若不被有效利用,可能造成较大的资源浪费,如果增加一些附属设备可以提高余热利用,减少需求侧电费成本。

在德国废水处理行业,主要有2种需求侧管理方式:一种是含场内可再生能源的(主要为风力发电),其需求侧灵活性体现在从多个不同小型工艺的整合、企业自身热电联产(combined heat and power, CHP)灵活性整合。从电费支出来看,采用该方式的需求响应和自身CHP生产的综合灵活性价值大约为常规废水处理厂总电费成本的3%。另一种是不含可再生能源的,对于不含可再生能源的需求侧项目,仅通过整合需求侧资源来提升资源利用率,其减少电费的灵活性价值大约为总电费成本的1%~2%。

在德国有色金属行业中,需求侧管理措施主要是考虑在将合金熔化的间歇,如何将负荷从用电峰值时段转移到其他电价较低时段(以可再生能源为主),通过这种方式减少电费支出,从而降低生产成本,综合测算净节省支出大约低于总电力成本的1%。

在德国化学工业中,将空分装置的液化过程与储气库相结合,使DSM具有一定的灵活性,当然也会增加一定规模的投资,由于负荷侧可中断,可以更多地消纳可再生能源,从而通过DSM有效削减电费支出,综合测算该DSM措施可能带来的生产成本节约量超过1%。

在比利时造纸行业中,实施DSM已有丰富的经验,主要方式是在燃气锅炉旁并联设置电锅炉,在不平衡价格时段,即在单位能耗电力价格相对于燃气价格更有利的时候选择电锅炉,否则选择使用燃气锅炉,这种需求侧管理方式可以有选择性地使用可再生能源,降低大量的生产成本。通过增设电锅炉的DSM措施每年节约的总生产成本约为1.5%。但是从造纸工业投资回报率来看,增加电锅炉可能对电网电价产生的影响(如:导致负荷规模提升),以及与燃气锅炉相比电锅炉的预期寿命较短,这2方面可能导致投资决策的变化。

在英国和法国冷藏行业中,实施DSM措施已经较为普遍,其主要方式包括增加储能设施、分时用电等。储能设施只在必要时启动,可再生能源发电不足时,储能设施放电;可再生能源发电过量时,储能设施充电。长时间运行后,已经形成了一定规律,储能设施得到高效利用,同时可再生能源也得到充分消纳,综合节约生产成本接近2%。

总的说来,上述几类欧洲DSM案例体现了需求

侧响应在各种类型工业企业的广泛适应性,特别是在可再生能源富余地区,通过一定的设备改造或者整合,可以有效提升需求侧灵活性,提升可再生能源消纳规模,并激励各行业积极参与需求响应机制。

考虑具体的电力合同、选定的商业模式、企业所在国家的法律法规以及DSM模式特点,不同企业的DSM措施灵活性将有很大的差异。例如:电力市场模式不同,其价格形成机制、需求侧电价(如:中长期合同、现货市场等)也就不同。在大多数情况下,如果考虑多个DSM措施的综合利用,或者如果使用多个DSM措施分别提供不同的需求侧响应,那么需求侧灵活性价值将会进一步增加。一般来说,如果电力成本占企业运营成本的百分比很高,企业就更有动力引入需求响应机制。

3 基于可再生能源消纳的欧洲需求侧管理分析

3.1 主要问题分析

尽管在上述案例中,基本都应用了一些基于可再生能源的需求侧响应措施挖掘企业需求侧灵活性,但短期内实施灵活性潜力挖掘措施似乎不大可能。所有企业都需要面对复杂的实际问题,如成本问题、空间问题、时间问题、经营问题等各个方面,还需要从企业内部实际情况出发,逐步研究企业需求侧灵活性潜力,找出最佳实践项目方案,通过可行性分析后方可落地实施。但目前普遍存在的主要障碍是,大多数公司要求:新增需求侧管理项目的投资回收期少于2年,最多不超过3年,而在现有的商业模式下,由于存在对主要控制硬件和额外运营支出的预期投资,很难实现这一目标。因此,需求侧管理措施的落地实施存在诸多障碍。

除了投资回收周期问题外,企业快速实施需求侧灵活性措施的其他障碍主要包括:

(1) 企业生产运营方案的较大调整以及对人员计划和成本的影响,例如:生产运营方案复杂化之后可能需要雇佣更多员工,而企业负责人都会考虑该措施对企业运营成本带来的提升,过大时往往就会减少需求侧灵活性措施的应用。

(2) 很多常规企业缺乏自动化控制系统,无法根据优化后的灵活性配置对生产线进行灵活监控和调整,这一问题也限制了企业引入新的需求侧管理措施以及需求侧管理项目的实施。

(3) 需要对传统供电合同进行潜在变更(例如:允许在现货市场进行购电),这通常是在影响公司整体层面上进行的。

需求侧响应潜力正在被逐步挖掘出来,如何利用是需要深入讨论的课题,需求侧响应与可再生能源应用也越来越受到关注。在所有上述企业中,需

求侧响应与可再生能源进行了良好的结合,这为我国相关行业的发展提供很好的借鉴。但是,如何有效利用这一结合点,必须通过计算所有必要的资本支出和预期的运营支出,并将其与潜在的节约和收益结合起来,进行全面的成本效益评估,以满足企业允许的回收周期。而最终决定是否实施需求侧响应措施,还需要通过复杂的决策流程,从初期设计到现场实施一般需要1至2年时间。

3.2 实施需求侧响应的方法

除了常规的需求侧响应模式外,一些企业正在积极探索应用新型的需求侧响应模式,主要考虑深入挖掘需求侧灵活性调整的潜力,提升其响应深度和频次,扩大需求侧响应规模。比如:可以通过优化生产流程,利用需求侧分时电价、避免高峰负荷用电,从而减少需求侧用电成本,必要时甚至可以向系统运营商提供一定的负荷调整服务,关键时刻能起到调峰作用^[10]。在大多数情况下,利用需求侧资源灵活性的方法包括:

(1) 跟踪整个生产周期时间内的需求侧电价变化,从而动态调整生产计划。

(2) 通过人工关闭或降低某些用电设备的容量来降低负荷规模,甚至可以在经过成本核算后,在必要时全部关停。

(3) 部分企业可以发挥自身负荷调整优势,根据需要向系统运营商提供电能储备或平衡调整。

3.3 基于可再生能源的DSM

在上述提到的7家DSM案例企业中,有4家企业已经安装或规划了场内可再生能源,主要采用就地消纳形式,包括屋顶太阳能电池板或小型风力发电机,企业一方面使用了绿色环保的可再生能源,另一方面还节约了电费成本。然而,企业投资成本问题不可忽略,一般小型企业可能无法负担引入可再生能源较大的初期投资,成本回收周期将近10年,这在一定程度上阻碍了更广泛地在需求侧安装、使用可再生能源^[11]。一些主要国家的场内可再生能源包括屋顶太阳能和风力发电机,有待进一步关注的问题如下。

(1) 屋顶太阳能方面

① 屋顶结构的静态约束和建筑加固所需的大量投资成本,使得屋顶太阳能成本回收周期较长,这已经成为普遍需要考虑的难题;② 有限的屋顶空间、屋顶倾斜角度等实际问题也限制了屋顶太阳能的安装应用;③ 一些企业担心保险公司会因其他更高风险(如:火灾、恶劣天气等)而提高保险价格;④ 一些用户向外部投资者出租屋顶空间时具有太长的约束期,主要是受到中长期购电协议影响。

(2) 风力发电方面

① 在很多国家,需求侧用户安装使用风力发电机一般需要获得政府部门或有关行业机构的允

许,这一方式在部分地区(例如:可再生能源资源较为集中的地区)仍较为困难;② 不断变化和不确定的市场规则、法律法规(如:补贴减少、上网电价变化、税收增加等)可能也会产生一些负面影响;③ 风力发电出力预测对普通企业来说成为难题,往往需要应对负荷不平衡问题,这一问题通常会造成企业生产成本增加。

4 对我国的启示及有关建议

我国需求侧管理机制的推广应用相对较晚,基于可再生能源的需求侧管理机制也存在着经验不足的问题。在我国一些经济发展较好地区(如:华东沿海)可以探索推广基于可再生能源的需求侧管理机制,特别是负荷规模较大的企业,增加分布式可再生能源投入,实施DSM机制,通过优化自身生产运营流程,增加对可再生能源的消纳。基于上述各国需求侧管理先进案例及我国国情,提出以下几点启示与建议:

(1) 建立基于可再生能源的可中断负荷联动机制。目前我国可中断负荷机制的已得到一定应用,但是多数地区仍未形成规模,除东北等少数地区建立了有关规则外,鲜有基于可再生能源的可中断负荷机制的实际案例。但是对于现阶段我国较为困难的可再生能源消纳问题,可以借鉴欧洲DSM项目实施经验,先从可中断负荷机制入手,深入挖掘需求侧响应资源,通过市场机制鼓励需求侧资源积极参与电力市场,提升消纳水平。考虑到现阶段我国正在推进可再生能源消纳责任权重机制,有关责任主体将会高度重视可再生能源消纳责任考核,下一步可基于两者诉求研究设计市场机制,提升可再生能源消纳水平。

(2) 辅助服务市场机制有待全面实行。目前我国辅助服务市场机制多数通过“两个细则”的方式实施,尚未规模化地通过市场化方式实施,为促进可再生能源的可靠消纳,辅助服务市场机制势在必行。尽管近年来,国家相关部门提出加快建立辅助服务市场机制,但并未达到预期效果。下一步可以结合各地实际,借鉴欧洲国家的需求侧机制措施,选取可再生能源消纳困难地区开展试点,逐步推广至可再生能源消纳地区,将消纳地区辅助服务市场机制建立起来,可再生能源本地辅助服务和消纳地区辅助服务并行开展、协同互济,共同促进可再生能源消纳。

(3) 可进一步推广应用需求侧分时电价机制。分时电价机制是目前我国需求侧管理应用较为普遍的手段,但相比于欧洲电力市场的成熟发展仍有较大差距。为了进一步提升需求侧响应机制灵活性,在我国现货市场建设尚未普及的背景下,仍需要不断扩大需求侧分时电价机制的应用范围,

不断细化需求侧分时电价机制的时间周期,具备条件的地区可以结合电力直接交易、现货市场建设同步推进,实现高峰高价、低谷低价。考虑到我国已经具备一定基础条件,不远的将来需求侧管理机制可以得到很好的推广应用,同时售电公司作为新的市场主体进入电力市场后,可以为需求侧管理提供更好的综合能源服务,从而需求侧分时电价机制的推广应用会变得更加便捷。

(4) 自备电厂与可再生能源的发电权交易机制可因地制宜发展。自备电厂作为需求侧发电企业,更多时候仅作为企业自身电源,其系统调节作用尚未完全发挥,可以考虑进一步挖掘其参与系统调节的深度。新疆、甘肃、上海等省份的自备电厂一定程度上参与了促进可再生能源消纳的系统调节,典型机制就是发电权交易。类似于欧洲的平衡服务合同,这一市场机制是将自备电厂(一般为燃煤发电)的发电指标转让给可再生能源发电企业,后者给前者一定经济补偿,从而实现了发电权交易。现阶段这一交易方式开展地区较少,未来仍有较大发展空间,可再生能源消纳困难地区可以结合本地实际开展相关交易,挖掘自备电厂潜力,发挥需求侧电源调节能力,有效拓展可再生能源消纳空间。

5 结束语

本文介绍了德国、英国等欧洲国家基于可再生能源开展的典型需求侧管理项目,此类项目取得了较好的经济效益和社会效益,对我国促进可再生能源消纳等工作具有重要借鉴意义;结合我国可再生能源消纳情况,提出基于可再生能源的可中断负荷联动机制、辅助市场机制、自备电厂与可再生能源的发电权交易机制、需求侧分时电价机制,对我国从需求侧促进可再生能源消纳提出了具体建议,具有参考价值。D

参考文献:

- [1] LIU Y, ARI K. Wind power in China: policy and development challenges [J]. Energy Policy, 2010, 38(3): 5 520-5 529.
- [2] 国家发改委. 欧洲电力需求侧管理对中国的启示(上) [J]. 电力需求侧管理, 2007, 9(2): 1-6.
National Development and Reform Commission. Enlightenment of European DSM to China (1) [J]. Power Demand Side Management, 2007, 9(2): 1-6.
- [3] 国家发改委. 欧洲电力需求侧管理对中国的启示(下) [J]. 电力需求侧管理, 2007, 9(3): 8-11.
National Development and Reform Commission. Enlightenment of European DSM to China (2) [J]. Power Demand Side Management, 2007, 9(3): 8-11.
- [4] 李国栋, 李庚银, 严宇, 等. 新能源跨省区消纳交易方式研究与应用分析 [J]. 中国电力, 2017, 50(4): 39-44.
LI Guodong, LI Gengyin, YAN Yu, et al. Research and application of trans-province trading modes of renewable energy [J]. Electric Power, 2017, 50(4): 39-44.
- [5] 喻小宝, 谭忠富, 马佳乐, 等. 计及需求响应的售电公司正偏差电量考核优化模型 [J]. 电力系统自动化, 2019, 43(7): 120-131.
YU Xiaobao, TAN Zhongfu, MA Jiale, et al. Optimal model for positive deviation penalty of power retailers considering demand response [J]. Automation of Electric Power System, 2019, 43(7): 120-131.
- [6] 黄博文, 潘轩, 彭雪莹, 等. 用户侧储能对电网的影响及经济性分析 [J]. 电器与能效管理技术, 2020(5): 7-13.
HUANG Bowen, PAN Xuan, PENG Xueying, et al. Impact of user-side energy storage on power grid and economic analysis [J]. Electrical & Energy Management Technology, 2020(5): 7-13.
- [7] 许勤华. 欧盟能源一体化进程及前景 [J]. 现代国际关系, 2012(5): 41-45.
XU Qinhu. Progress and prospect of European single energy market [J]. Contemporary International Relations, 2012(5): 41-45.
- [8] 李国栋. 欧洲与美国需求侧管理创新与发展趋势(上) [J]. 电力需求侧管理, 2012, 14(5): 59-62.
LI Guodong. DSM innovation and development trends in European countries and the United States (1) [J]. Power Demand Side Management, 2012, 14(5): 59-62.
- [9] 李国栋. 欧洲与美国需求侧管理创新与发展趋势(下) [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 (2) [J]. Power Demand Side Management, 2012, 14(6): 59-61.
- [10] 李建林, 孟高军, 葛乐, 等. 全球能源互联网中的储能技术及应用 [J]. 电器与能效管理技术, 2020(1): 1-8.
LI Jianlin, MENG Gaojun, GE Le, et al. Eenergy storage technology and its application in global energy Internet [J]. Electrical & Energy Management Technology, 2020(1): 1-8.
- [11] 黄越辉, 王跃峰. 德国新能源消纳的经验与启示 [J]. 国家电网, 2017(7): 83-85.
HUANG Yuehui, WANG Yuefeng. Experience and enlightenment of German new energy consumptive [J]. State Grid, 2017(7): 83-85.

作者简介:

李国栋(1985),男,湖北通山人,高级工程师,博士研究生,主要研究方向为电力市场、电力交易、新能源消纳等。

(责任编辑 徐文红 赵雨昕)