

Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.pj.2019.04.003

欢迎按以下格式引用:王宁,郭水文.智慧能源系统研究的学术进展及其应用述评[J].重庆大学学报(社会科学版),2019(5):123-133.

Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.pj.2019.04.003.

Citation Format: WANG Ning, GUO Shuiwen. A review of the academic progress and application of smart energy system research[J]. Journal of Chongqing University(Social Science Edition), 2019(5):123-133. Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.pj.2019.04.003.

智慧能源系统研究的学术进展 及其应用述评

王宁^{1,2}, 郭水文²

(1. 吉林大学 经济学院, 吉林 长春 130012; 2. 中共国家能源集团党校, 北京 102211)

摘要:智慧能源系统是具有智慧特征的能源系统。智慧能源系统的出现主要是因为传统的能源系统难以更好地满足人类社会的需求,以及信息和通信技术的快速发展,及由此带来清洁能源技术和应用的成本下降。在理论方面,学术界关于智慧能源系统的构想出现了两种代表性的理论建构;在应用方面,一些先进国家已经提出了向智慧能源系统转型的目标,并且在实践方面取得了一定的成效。

关键词:智慧能源;系统;信息技术;清洁能源;环境保护

中图分类号:C34 **文献标志码:**A **文章编号:**1008-5831(2019)05-0123-11

一、研究背景及提出问题

来自世界银行的数据显示,最近10年全球燃煤发电量占总发电量的比重约为40%左右,由此显示出很多国家的能源系统依然以燃煤发电为主^[1]。近年来,为了保护生态环境,实现可持续发展,各国都在积极寻求新型可持续的电力供应技术,以替代传统发电方式。一些学者(鲁宗相^[2]、郑漳华和艾芊^[3]、肖世杰^[4]、杨德昌^[5]、Joeri Naus^[6],等等)相继提出了微电网技术、智能电网技术,促使传统电网逐步向智能电网过渡。然而,智能电网依然建立在传统的电力系统基础之上,能量在智能电网中只能以电能这种单一形式传输和使用,其他能源形式如石油、天然气、热能等均采用各自独立的传输网络。从能耗角度看,虽然风能、太阳能等可再生能源接入电网能够减少燃煤发电在总发电量中的比重,但用户对于除了电能以外的其他能源形式的巨量需求(如热能等)却依然消耗着

修回日期:2019-03-19

作者简介:王宁(1976—),女,内蒙古赤峰人,吉林大学经济学院博士研究生,中共国家能源集团党校副校长,主要从事智慧能源及能源经济研究,Email: ecosir@sina.com;郭水文(1979—),男,湖北黄冈人,经济学博士,中共国家能源集团党校研究部高级经济师,主要从事能源经济研究。

大量的化石能源,因此单纯依靠风能、太阳能等可再生能源不能完全满足目前的能源需求。

在此背景之下,近年来不少国内学者相继提出了综合能源系统和多能源系统的构想。如:贾宏杰等^[7]认为,综合能源系统是对各类能源的产生、传输与分配(能源供应网络)、转换、存储、消费等环节进行有机协调与优化后而形成的社会综合能源产供销一体化系统,其中智能电网是综合能源系统的核心和关键;杨经纬等^[8]认为,多能源系统是指煤炭、天然气、石油、核能、水能、风能、太阳能等多种形式的能源在流转的各个环节存在复杂的耦合关系,进而形成相互关联的有机整体;吴建中^[9]以欧洲为对象,分析了欧洲综合能源系统发展的驱动力,并从工业界和学术界两方面介绍了欧洲在综合能源系统领域的发展现状。

然而,综合能源系统或者多能源系统的概念并不能全面反映当前能源系统发生的深刻变化。近年来,国外不少学者提出了智慧能源系统(smart energy system)的概念。相比而言,智慧能源系统的概念更能够全面准确地反映出当今世界很多国家特别是一些发达国家能源系统的发展趋势和所发生的深层次变革。为此,本文谨从经济技术的角度对智慧能源系统的概念、发展动因、理论构想以及部分国家的典型实践进行系统梳理和分析,以期为中国能源转型提供借鉴和参考。

二、智慧能源及智慧能源系统研究的学术进展

(一) 智慧能源的学术成就及其局限性

根据学者Lund等^[10]的考证,智慧能源(smart energy)的概念逐渐出现于2009年以后的学术期刊中。但是,学术界对智慧能源的概念及内涵没有形成一致的认同。

一部分学者着重强调“智慧能源”的技术特征。例如,谢秉正^[11]认为,智慧能源是建立在集成的、高速双向通信网络的基础上,通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用,实现供电的可靠、稳定、经济、高效、环境友好和使用安全;冯庆东^[12]认为,智慧能源将先进信息和通信技术、智能控制和优化技术与现代能源供应、储运、消费技术深度融合,具有数字化、自动化、信息化、互动化、智能化、精确计量、广泛交互、自律控制等功能,可以实现能源的优化决策及广域协调;Loske^[13]认为,智慧能源包括所有的关于能源生产、能源储存、能源传输分配、能源消费和控制的智能技术,它涉及到从能源生产到能源消费的整个价值链,等等。

另一部分学者则着重强调“智慧能源”的商业特征。例如,刘建平^[14]认为,智慧能源就是拥有自组织、自检查、自平衡、自优化等人类大脑功能,满足系统、安全、清洁、经济要求的能源形式;Abella^[15]认为,智慧能源是一组技术、应用和服务,这些技术、应用和服务使产销者(prosumer)能够发挥更积极的作用,并推动电力工业向更智能的发电和消费模式发展;吴文辉^[16]认为,智慧能源就是充分开发人类的智力和能力,通过不断的技术创新和制度变革,在能源开发利用、生产消费的全过程和各环节集中人类独有的智慧,建立和完善符合生态文明和可持续发展要求的能源技术及能源制度体系,从而呈现出的一种全新的能源形式。

笔者以为,两类学者的观点都存在一定的局限性,应该更加全面地理解智慧能源的学术蕴涵。首先,智慧能源并非是一种新的能源形态,它依然建立在化石能源以及非化石能源基础之上;其次,智慧能源的发展动力是智能化技术,包括先进的信息和通信技术、智能控制以及优化技术等;再次,智慧能源是智慧的能源技术、应用和服务等形成的集合,是一种商业模式的创新;最后,智慧能源的关键在于智慧性,它不仅融入能源开发利用技术的创新过程中,还表现在能源生产和能源消费制度

变革等方面。

(二) 智慧能源系统的学术研究及思路拓展

能源系统通常是指将自然界的能源资源转变为人类社会生产和生活所需要的特定能量服务形式(有效能)的体系。近年来,随着智能技术在能源行业中的应用和推广以及“智慧能源”概念的出现,一些学者陆续提出了“智慧能源系统”的概念,以区分当前以化石能源为基础的传统能源系统。

由于信息和通信技术最早在电力系统中取得了重大突破和广泛应用,因此不少学者将智能电网、智慧电力与智慧能源系统联系在一起。如:Loske^[13]认为,智慧能源系统通常是指电力或电子系统,是构成系统的组件之间的互联以及将系统组件有效结合在一起的高级控制策略。也有一些学者将智慧能源系统拓展到电力部门之外,认为智慧技术使得能源系统不再局限于单一的电力能源部门,而是包括所有的能源部门在内。如:朱良楹^[17]认为,智慧能源系统的基本理念是依托燃气或燃煤的冷热电分布式能源技术、小水电、余热利用、蓄能、热泵、太阳能、风能等新型能源技术和可再生能源技术,与传统能源供应体系相结合形成互补体系,在保证安全可靠供能的基础上尽可能降低化石能源的比例。Connolly等^[18]认为,智慧能源系统是指通过将当前能源系统中各个独立的能源供应部门整合在一起,从而创造新的更具有灵活性的能源供应体系。Lund等^[10]认为,智慧能源系统建立在三大网络基础设施之上,即智能电网、智能热网(集中供热和制冷)以及智能燃气网。还有一些学者将智慧能源系统等同于能源互联网,如:冯庆东^[12]认为,能源互联网就是采用先进信息和通信技术,通过分布式能源管理系统(EMS),对分布式能源设备实施广域协调控制,实现冷、热、汽、水、电等多种能源互补,提高能源利用效率的智慧能源系统。

在上述众多研究成果的基础上,一些学者总结了智慧能源系统的优点。如:Dincer^[19]认为,智慧能源系统具有非常健全、非常安全、环境友好、经济可行、商业可行、社会认可、可集成、可靠等八大优点;智能科技与产业研究课题组^[20]认为,智慧能源系统核心体系主要由能源物联网、共享型能源流数据库与移动能源网、低排放能源等构成,它以能源物联网为基础,以动态定价与智能商务为支柱,以推动共享式能源流数据库发展为重点,以产销者为中心,以实现低排放经济为目标。

综合已有研究,笔者认为,对智慧能源系统的理解应立足于以下四个方面:第一,智慧能源系统借助于信息和通信技术能够使能源的生产、传输、储存和消费高度定制化、自动化和智能化,因而具有智慧的特征;第二,智慧能源系统是建立在各种能源网络基础上的完整体系,而不仅仅局限于某一个能源分支部门的内部,能够实现煤炭、石油、天然气、太阳能、风能、地热能等一次能源和电力、汽油等二次能源的多能互补,以及各种能源网络之间的互联互通,还能够实现能源的生产、加工转化、传输配送、存储、终端消费、回收利用各环节的优化管理,因而是一个完整的系统;第三,智慧能源系统能够提高能源利用效率,推动传统能源的清洁高效利用和可再生能源的稳定充分利用,优化调整能源消费结构,因而具有低碳化乃至零排放的特征;第四,在智慧能源系统中,消费者角色发生了转变,不再是被动的能源使用者,而是与能源系统进行良性互动,根据能源供应的波动性主动地参与能源的生产和消费,并成为产销者。

三、发展智慧能源系统的社会、技术和经济动因

(一) 传统能源系统难以更好地满足人类社会的需求

传统的以化石能源为基础的能源系统形成于19世纪工业革命时期。随着人类社会的变迁和

经济环境的变化,传统的垂直控制和各分支机构彼此孤立的能源系统逐渐产生一系列突出问题和弊端,难以更好地满足人类社会的需求。总体而言,传统能源系统面临着以下三大挑战。

1. 在保证经济持续增长的前提下面临碳减排的压力

在当前能源系统中,为了实现经济增长,通常需要消耗大量的化石能源,因而一个经济体的碳排放量与其经济产出水平之间呈正相关。然而,经济增长与碳排放之间的关系还要受到能源强度和能源碳密度两大因素的影响。能源强度是指单位 GDP 所需的能源量,能源碳密度是指消耗一个单位能源所释放出的二氧化碳量。因此碳排放的总量受经济增长、能源强度以及能源碳密度三者的共同影响。对于世界各国来说,在保证经济持续增长的前提下要减少碳排放,就必须降低能源强度以及使用碳密度较低的能源来替代碳密度较高的能源,这无疑形成了巨大的压力。

2. 保证可负担、稳定且具有普惠性的能源供给的压力

按照不同的能源类型,当前的能源系统由彼此孤立的多个分支机构构成,例如石油、煤炭、天然气等分支机构的规划、建设、投资和运营都是相互独立的,主要取决于本部门能源的供需平衡。这种能源系统没有考虑到不同种类能源的互补,而不同种类能源的特性存在差异,相互间互补协调技术发展滞后,难以在能源生产、运输和使用等环节实现优势互补和有效协调;不同能源分支机构都自成体系、独立运行,不仅在体制方面对彼此关联、互为补充存在障碍,而且在市场方面由于缺乏价值转换的中介和机制,而形成了一系列互补的壁垒。在这种情况下,能源综合利用效率较低,能源资源浪费现象严重。考虑到化石能源资源分布的差异性和储量的有限性,以及可再生能源资源未来面临的空间限制,可负担、稳定且具有普惠性的能源供给将是人类可持续发展面临的一大挑战。

3. 应对全球气候变暖以及生态环境破坏等问题的压力

根据联合国政府间气候变化委员会第五次评估报告,随着人类大量使用化石能源,全球温度从1880年到2012年升高了约0.85摄氏度^[21]。气候变暖给地球环境造成了严重影响,例如南北极的冰川融化造成海平面上升,导致不少地方发生洪涝灾害;极端天气如暴雨雪、干旱、高温等频繁出现,导致农作物歉收、植物生长周期改变、部分昆虫品种消失等。此外,化石能源的燃烧除了释放二氧化碳外,还会产生其他对人体呼吸系统有害的气体和悬浮粒子。上述问题的存在要求传统的能源系统必须进行转型,以更好地满足人类社会对于环境友好的要求。

(二) 信息和通信技术的发展为智慧能源系统奠定坚实的技术基础

20世纪60年代以来,以计算机及网络技术为核心的信息和通信技术飞速发展,并且逐渐渗透到能源生产领域。20世纪70年代,电力公司最先尝试利用信息和通信技术降低运营和维护成本,提高发电机组和电网的生产效率,减少意外停电次数和故障时间,延长资产的使用寿命;石油和天然气公司则使用数字技术对勘探和效益预测进行建模;煤炭企业越来越多地利用信息和通信技术进行地质建模、流程优化、自动化、预测性维护以及改善矿工的健康和安全。

进入21世纪,科技的进步以及无处不在的网络正在创造能源消费的新模式。例如,随着潜在的变革性技术如自动驾驶汽车、智能家居系统和机器学习等的广泛应用,信息和通信技术已被大范围推广应用到能源终端使用领域。高级计量设施、智能家电或双向智能电表等设备不仅为消费者提供先进的用能管理,而且还促使其在能源系统中发挥更加积极主动的角色。在建筑领域,智能恒温控制器通过收集整理分析建筑物的取暖和制冷数据,可以预测住户的行为,并使用实时天气预报来更好地预测供暖和制冷需求;智能照明技术可以随时随地提供照明,在发光二极管(LED)中还可以

设置连接到其他系统的传感器用以帮助定制供暖和制冷服务。

信息和通信技术的发展为能源的生产、运输、存储、消费提供了更高效的沟通和反馈机制,改变了以往能源利用单纯追求规模扩大的定势,更多地将人的智慧融入其中,通过提高非物质性的信息输入,降低能源和资源消耗,使人类由被动使用能源变为主动管理能源,进而极大提高能源利用效率,为传统能源系统向智慧能源系统转型奠定技术基础。

(三) 清洁能源技术进步带来应用成本下降为智慧能源系统创造了经济可行性

人类最初对能源的利用是分布式的自给自足,当电力和电站出现后,传统的集中式供能系统得到发展,能量通过集中大规模生产和长距离输送,大范围地提供给不同区域的用户。随着城市规模的扩大,电网输电电压的不断提高,能量长距离输送带来了一系列问题,如输电损耗不断增加、大设备维护成本日益上涨、峰谷能差造成设备利用率偏低等。然而,纳米技术、生物技术和材料科学的进步极大提高了人类在能源利用方面的生产力,使得清洁能源技术的应用成本不断下降,为智慧能源系统的构建创造了经济方面的可行性。

根据国际可再生能源研究机构 Irena 2017 年发布的报告^[22],自 2010 年以来,陆上风电发电成本下降了大约 25%,太阳能光伏发电成本下降了 73%,预计在未来 2 年内,光伏发电成本还将减半。目前,化石燃料的发电成本在 5~17 美分/千瓦时之间。而到 2020 年,商业形式的可再生能源发电成本将下降到 3~10 美分/千瓦时之间,所有可再生能源发电将比传统化石燃料发电更具竞争力。

以美国为例,国际知名投行 Lazard 公司的研究表明^[23],美国市场的风能和太阳能的平准化能源成本(LCOE)在过去 8 年分别下降了 67% 和 86%,如图 1 和图 2 所示。在美国能源结构中,包括风能和太阳能在内的可再生能源占比已经从 1980 年的 6% 上升到 2016 年的 10%。

近年来,中国的可再生能源生产成本也逐渐快速下降。来自工信部的数据显示^[24],2017 年,太阳能光伏发电成本降至 0.5~0.7 元/千瓦时,平均度电成本比 2010 年下降约 78%;陆上风电发电成本约为 0.43 元/千瓦时,平均度电成本比 2010 年下降 7%,已经非常接近火电的上网电价。

综上所述,随着未来可再生能源规模的不断扩大和清洁能源技术的不断进步,规模经济效应将更加显现,新技术的应用成本将不断下降,将为智慧能源系统的不断完善创造更良好的经济条件。

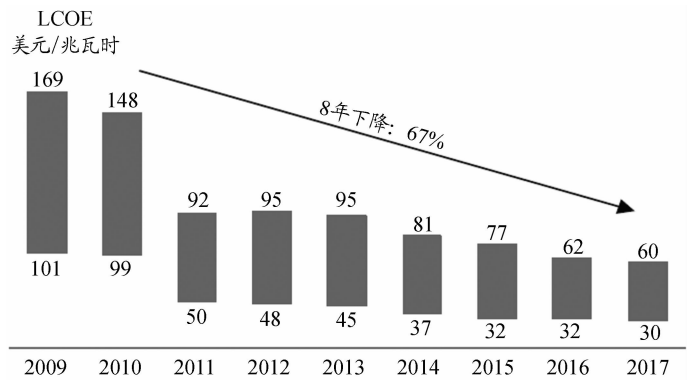


图 1 2009—2017 年美国市场的风能平准化能源成本(LCOE)^[23]

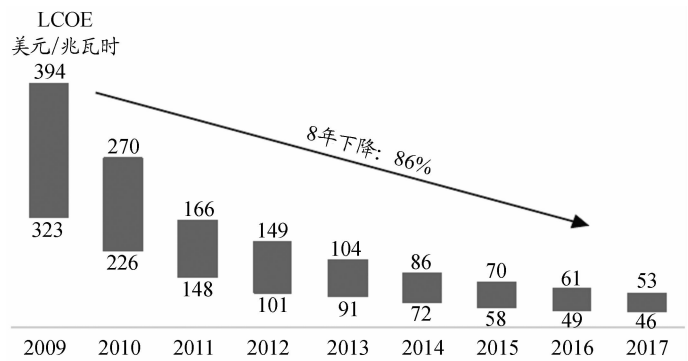


图 2 2009—2017 年美国市场的太阳能平准化能源成本(LCOE)^[23]

四、智慧能源系统的理论构想及比较分析

(一) Connolly 等的理论构想

Connolly 等^[18]认为,当前全球能源系统具有三大主要特征:第一,过去 150 多年来,丰富而廉价的化石能源一直作为全球能源系统的主要来源,当前的能源基础设施也完全建立在化石能源基础之上,石油、天然气和煤炭能够很方便地以液体、气体和固体的形式储存起来;第二,当前能源系统由彼此孤立的能源分支部门构成,例如发电、移动能源、热力等部门之间并没有太多的相互作用,造成能源利用效率低下;第三,在当前能源系统中,化石能源的地位是无法替代的,虽然可以用生物质能替代部分化石能源,但是生物质能也面临供应不足的问题。如图 3 所示。

Connolly 等^[18]针对欧盟提出的未来能源供应将 100% 依靠可再生能源的目标,基于智慧能源系统的概念提出了一个分析模型。他们认为,智慧能源系统与当前的能源系统存在很多技术方面的差异。智慧能源系统类似于智能电网,但是与智能电网不同的是,智能电网仅存在于电力部门,而智慧能源系统是将所有能源分支部门连接在一起,包括电力、供热/制冷以及运输部门等。他们通过模拟计算表明,一旦欧盟成功构建了智慧能源系统,将不再使用化石燃料,也不需要进口能源,只使用可再生能源就可以满足所有的能源需求,并且不会产生碳排放(低于 1%) (图 4)。构建智慧能源系统的核心技术在于:风力发电技术、太阳能发电技术、电动汽车技术、节能技术、热泵技术、大规模储能技术、生物质气化技术、燃料储存技术等。

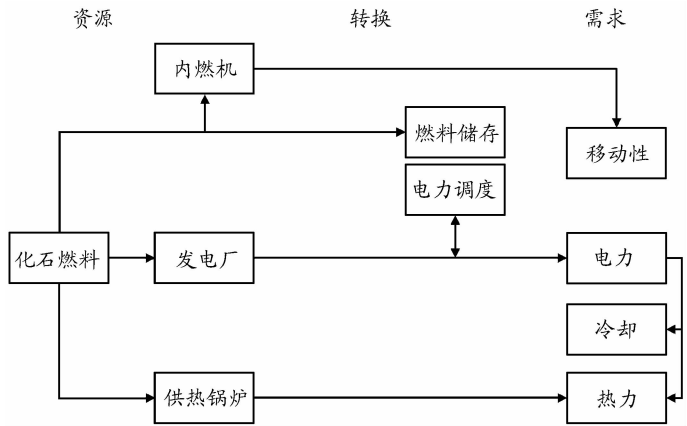


图 3 当前能源系统的特征^[18]

一旦欧盟成功构建了智慧能源系统,将不再使用化石燃料,也不需要进口能源,只使用可再生能源就可以满足所有的能源需求,并且不会产生碳排放(低于 1%) (图 4)。构建智慧能源系统的核心技术在于:风力发电技术、太阳能发电技术、电动汽车技术、节能技术、热泵技术、大规模储能技术、生物质气化技术、燃料储存技术等。

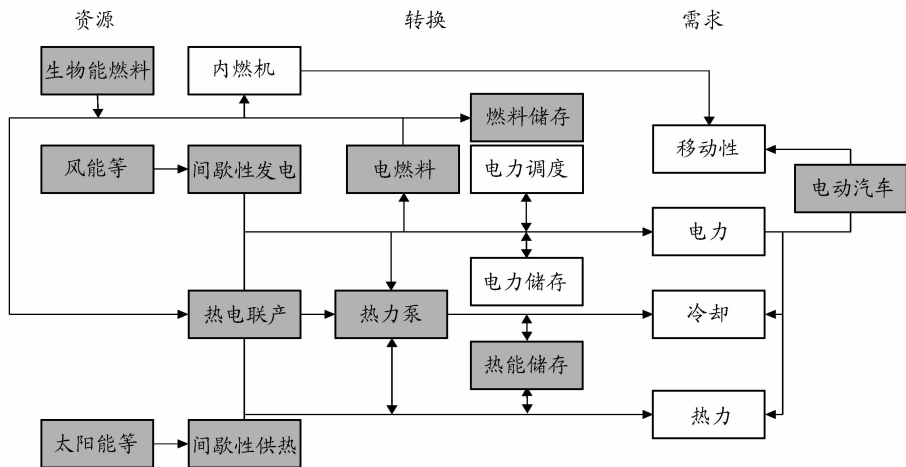


图 4 Connolly 等^[18]为欧盟提出的智慧能源系统的理论构想

(二) Loske 的理论构想

Loske^[13]认为,当今社会正面临着严重的环境问题,需要更多地使用可再生能源,以满足由于全电气化社会的到来,以及不断增长的世界人口而产生的不断增长的能源需求。传统能源系统面临

如下挑战(图5):(1)由于能源的间歇性供给、富余以及生产不足,从而导致电压不稳定,有功无功功率波动,由补偿电容器组、滤波器等引起的共振以及不断上升的故障率水平等,从而给能源网络带来挑战;(2)由非线性负载(例如电力电子转换器)引起的谐波以及不断增加的对于能源效率的需要给小型和局部的能源系统和设备带来了挑战;(3)不断增加的能源效率需求也给移动的可自我维持的应用程序和和设备带来挑战。为了应对这些挑战,传统能源系统必须向智慧能源系统转变。

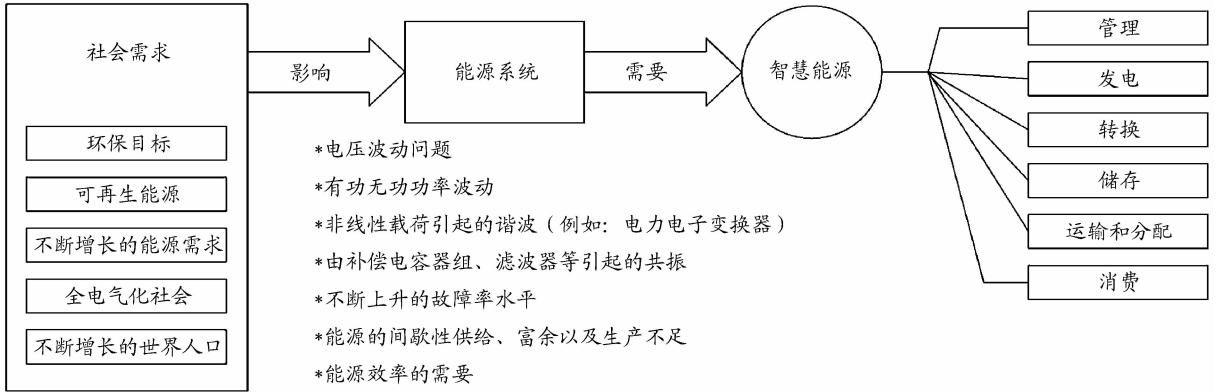


图5 传统能源系统面临的挑战^[13]

Loske^[13]认为,智慧能源系统与传统能源系统之间的区别在于:(1)系统组件之间的互联;(2)应用过程的动态和广泛的可控性;(3)与消费者和用户(需求响应、能源市场等)之间的互动。他认为,所有的智慧能源系统可以用图6来表示。

在图6中,智慧能源系统的主要目标是通过利用信息与通信技术(ICT),开展灵活和先进的能源管理,有效地平衡动态需求和波动的能源生产;为了使整个能源系统变得更加智慧,能源供应链上的发电、存储、传输和分配以及消费都必须变得更加智慧。在智慧发电领域,多能智慧电网将是未来的发展趋势,一方面可以将城市、农村以及区域性能源系统融合在一起,从而弥补可再生能源与化石能源之间的鸿沟;另一方面可以将电力网络、天然气网

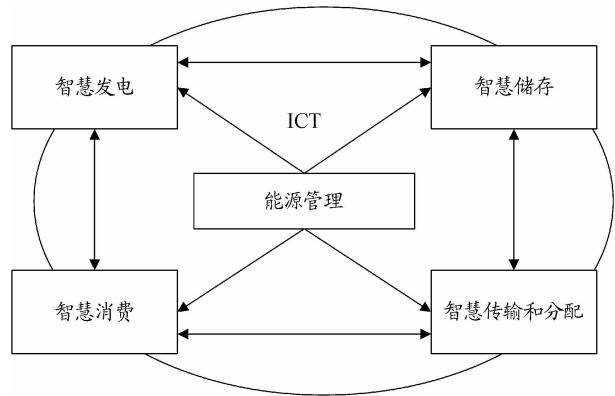


图6 Loske^[13]提出的智慧能源系统的理论构想

络以及热力网络结合在一起,使得不同能源分支部门之间产生互动。在智慧存储领域,能源存储系统对于分布式的智慧能源系统具有非常重要的作用,小型固定电池系统可以调节区域建筑物能源需求的波动,中型能源存储系统则能够调节城市工业生产的负荷峰值。在智慧传输和分配领域,采用电力电子设备管理的高压输配电系统有助于智慧能源系统实现长距离的能源输送。在能源消费领域,以传感器网络以及可穿戴和移动设备等为代表的能量收集系统方兴未艾;随着电动汽车的普及,半导体技术在能源系统中将得到更加广泛的应用。

(三) 两种理论构想的比较

比较 Connolly 等和 Loske 的构想不难发现,他们对于传统能源系统向智慧能源系统转型的必要性认识观点一致。两者都认为,传统能源系统中,不同的能源分支部门都是孤立发展的,没有形成

太多的相互作用。因此他们都强调智慧能源系统的整合性和整体性,就是要将不同能源分支部门有效连接在一起,形成互动,彼此互补,提升能源综合利用效率。同时,他们认为能源技术创新与变革至关重要,特别是信息与通信技术在能源生产、运输、消费、存储等各个环节的应用,使得整个系统变得更加智能、安全和高效。

当然,他们的构想也存在差异。在 Connolly 等的模型中,智慧能源系统建立在可再生能源基础之上的,完全放弃了化石能源;而在 Loske 的模型中,智慧能源系统建立在多能智慧电网的基础之上,并没有完全摒弃化石能源,而且强调能源的多元化和互补性。

五、智慧能源系统的应用进展及其共性与差异性分析

(一) 应用进展

1. 欧盟国家向智慧能源系统的转型

欧盟各国向智慧能源系统转型主要迫于气候变化和环保压力。2009年,欧盟通过《2020气候和能源一揽子计划》,提出“20-20-20”目标,即到2020年欧盟的温室气体排放至少比1990年减少20%;20%的能源消费来自于可再生能源;能效至少提高20%。2014年10月,欧盟在此基础上通过了《2030气候和能源框架》,提出“40-27-27”目标,即到2030年,温室气体排放至少比1990年减少40%;可再生能源在能源消费结构中的比重至少达到27%;能效至少提高27%。2018年6月,欧盟对这一目标进行了修订,将可再生能源的比重从27%提高到32%。为了实现上述目标,欧盟各经济体纷纷提出技术和制度创新计划,升级本国的能源系统,努力向智慧能源系统转型。

作为欧盟的主要经济体,德国在2008年提出了“E-Energy”计划,主要目标是将信息和通信技术充分应用于智能发电、智能电网、智能消费和智能储能中,研究开发信息和通信技术与能源系统深度耦合的路径,以寻求能源系统的高效和优化运行的最佳模式。E-Energy计划选出6个示范项目,分别围绕高密度供电的大都市、低密度供电的乡村地区、异质性局域网络供电来源、最低限度的排放量、未来的能源市场、促进能源平衡等内容进行实证研究。在4年的时间里,不仅研究解决了许多涉及智能电网建设、多源互补、分布式能源、需求侧响应等方面的技术问题,而且围绕未来智慧能源系统的整体架构、商业模式、配套法规等进行了有益的探索。目前该项目已经结束,其创新成果为其他企业和地区构建智慧能源系统提供了很好的技术支撑和示范作用,也成为政府制定能源和经济政策的重要参考。在E-Energy项目结束后,德国继续探索需求侧管理(Demand Side Management)、主动配电网、虚拟电厂、产能式主动房等智能应用,一方面把不同类型的发电机组和储能设备集合起来,通过需求侧负荷管理,实现供需平衡;另一方面通过信息和通信技术优化能源供应系统,实现统一调度和智能控制,从发电到输配电实现全流程自动化、智能化和信息化管理。此外,英国于2009年发布“低碳转型计划”,将智能电网列为发展重点,并于2010年制定了“2050年智能电网线路图”,为输配电运营商进行智能电网研发与开展示范项目提供了指导性意见。其路线图提出,从2010到2050年,可再生能源与核能的有效整合、供热与运输电气化、分布式发电将作为智能电网发展的三大重点。2017年10月,英国发布《清洁增长策略》,提出为在2050年实现碳减排与改善气候的目标,将投资9亿英镑建设智慧能源系统,包括发展核能和可再生能源技术。

2. 美日向智慧能源系统的转型

由于电力系统复杂化与老化,美国历史上多次出现大规模停电事故,带来巨大经济损失。2001

年,美国电力研究院(EPRI)提出“智能电网”(IntelliGrid)的概念。2003年,美国能源部(DOE)发布“Grid 2030”报告,提出电力系统的百年愿景,即未来电力系统将利用信息和通信技术提升其运行的稳定性及控制效率,构建有效、可靠的电力网络。2009年,美国政府提出“复苏与再投资法案”(ARRA),其中计划对智能电网及相关设备投资45亿美元,对象包括智能电表安装、智能电网区域实证研究以及储能实证研究等^[25]。

日本在2010年启动了“智慧能源共同体”示范项目,开展能源和智能电网等领域的研究,提出了需求侧响应能源系统,在系统中创造性地引入了智慧热能供应链,借以实现各建筑间的热能共享。该项目选取了横滨、东京、京都、北九州四地作为示范区域,采用城市与大型技术企业结对的方式,各有侧重地开展了对智慧能源系统的研究。从整个项目看,日本没有提出明确的智慧能源系统建设的构想,而是鼓励企业和研究机构在此方面进行创新,并围绕智慧能源消费开展了“智慧社区”试点项目。2011年,日本开始推广“数字电网”计划,该计划是受到互联网的启发,构建一种基于各种电网设备的IP地址来实现信息和能量传递的新型能源网络,通过提供异步连接、协调局域网内部和不同局域网之间的数字电网路由器,将其与现有电网及互联网相连,通过相当于互联网地址的“IP地址”来识别发电设备以及包括用电设备在内的各个装置,由此进行统筹管理与能量调度^[13]。2018年,日本发布“第5次能源基本计划”,首次提出到2050年可再生能源将成为日本电力市场的主力电源,为此要大力发展蓄电池等储能技术、分布式能源的虚拟电厂技术(VPP)、电转气技术(P2G)等^[26]。随着可再生能源发电规模的持续扩大和智慧能源技术的不断进步,需求响应(DR)和虚拟电厂(VPP)成为日本向智慧能源系统转型的创新应用。

3. 中国向智慧能源系统的转型

近年来,为了顺应世界能源转型的大方向,紧跟欧美等发达国家向智慧能源系统转型的步伐,同时也为了应对国内能源发展面临的诸多挑战,中国也正积极向智慧能源系统转型。早在2008年,以天地互连、中国电信等中国企业为代表的众多企业就联合发起成立了IEEE 1888工作组,并于2011年正式发布了编号为1888的“泛在绿色社区网络”国际标准,成为能源互联网国际标准。2013年11月,“智慧能源产业技术创新战略联盟”成立,目的在于将IEEE 1888标准转化为适合在中国推广应用的联盟标准。

2015年7月,中国政府发布《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》,明确提出“互联网+”智慧能源的新型战略,计划通过互联网促进能源系统扁平化,推进能源生产与消费革命。2017年,国家能源局发布《能源发展“十三五”规划》,提出将积极推动“互联网+”智慧能源发展,构建能源生产、输送、使用和储能体系协调发展、集成互补的能源互联网。同年,首批55个“互联网+”智慧能源(能源互联网)示范项目正式开始启动,包括城市能源互联网综合示范项目、跨地区多能协同示范项目、基于电动汽车的示范项目、基于绿色能源灵活交易的示范项目等,标志着中国向智慧能源系统转型迈出了重要一步。显然,这些不同类型、不同规模的项目计划在两年内建成,将带动技术和商业模式创新,形成一系列技术规范 and 标准,探索可推广、可复制、可持续的发展模式。

(二) 共性与差异性分析

综合分析欧盟以及美日向智慧能源系统转型的实践可以发现,他们都非常重视智能电网建设,特别是通过信息和通信技术的应用提升电网的安全性、灵活性和智能化,以适应可再生能源发电间隙性和波动性的特点以及不断扩大的发电规模。他们都在大力推动综合能源系统建设,特别是热

电联产、冷热电三联产和小型分布式能源,提升能源的综合利用效率;积极探索需求侧响应机制的建设,通过智能电表、终端用电智能管理等手段,加强对能源消费行为的分析、预测和引导;通过建立示范项目,鼓励技术和商业模式创新,使其能够充分发挥示范引领作用,为更大范围的推广和下一步的体制和技术革新奠定基础。在实践中,他们也遇到不少问题。例如超高压电网建设、热泵等储能设备的大规模安装等基础设施建设和改造需要大量的资金支持,如何调动投资者和相关企业的投资积极性成为一大挑战。公众参与是推动转型不可或缺的重要因素,如何获得公民理解、支持和参与,使转型与社会参与形成良性互动,已经成为欧盟、美日向智慧能源系统转型的另一大挑战。

与欧盟和美国、日本相比,中国开展智慧能源系统方面的研究和示范项目时间并不太晚,在标准制定、技术和商业模式创新等方面积累了一定经验。但是中国目前的能源结构仍然是以煤炭为主导,电力市场化机制尚未形成,能源消费与经济增长尚未脱钩,能源利用效率仍然偏低,在这种背景下,中国向智慧能源系统转型将面临更多挑战,但也更具紧迫性和重要性,因为智慧能源系统的发展将推动中国加快构建清洁低碳、安全高效的能源体系,顺利实现从以化石能源为主导的高碳能源时代向以可再生能源为主导的低碳能源时代的转型。

六、结论

笔者在系统梳理已有文献的基础上,对智慧能源以及智慧能源系统的学术蕴涵进行了阐述,强调应该从智慧性、整合性、低碳化和产销者四个方面来理解和把握智慧能源系统的内涵;在此基础上,笔者从需求、技术和成本三方面论述了智慧能源系统出现的三大动因,并分别从理论和实践的角度归纳分析了智慧能源系统研究的学术进展和世界各国的应用情况。

习近平同志在党的十九大报告中首次提出要建设智慧社会,而智慧社会强调更多以新网络设施、新数据环境、新理念模式和新技术应用为基础推进以人为本的可持续创新。显然,智慧社会的建设离不开智慧能源系统的发展,后者代表了高效、安全、低碳、经济、共享、可持续的现代能源体系。在这个体系中,能源流将如信息流一样多元、双向、顺畅和自由,由信息配置能源,由能源创造价值,最终实现能源的安全、可负担和可持续,增强人民的获得感和幸福感。我们相信,智慧能源系统将为我国解决能源发展问题、实现经济社会可持续发展提供更广阔的思路 and 路径。

参考文献:

- [1] 世界银行数据库[EB/OL].[2018-08-10].<http://data.worldbank.org.cn>.
- [2] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等.微电网研究综述[J].电力系统自动化,2007(19):100-107.
- [3] 郑漳华,艾芊.微电网的研究现状及在我国的应用前景[J].电网技术,2008(16):27-31,58.
- [4] 肖世杰.构建中国智能电网技术思考[J].电力系统自动化,2009(9):1-4.
- [5] 杨德昌,李勇,C.Rehtanz,等.中国式智能电网的构成和发展规划研究[J].电网技术,2009(20):13-20.
- [6] NAUS J, SPAARGAREN G, VAN VLIET B J M, et al. Smart grids, information flows and emerging domestic energy practices [J]. Energy Policy, 2014, 68:436-446.
- [7] 贾宏杰,穆云飞,余晓丹,等.对我国综合能源系统发展的思考[J].电力建设,2015(1):16-25.
- [8] 杨经纬,张宁,王毅,等.面向可再生能源消纳的多能源系统:述评与展望[J].电力系统自动化,2018(4):11-24.
- [9] 吴建中.欧洲综合能源系统发展的驱动与现状[J].电力系统自动化,2016(5):1-7.
- [10] LUND H, ALBERG P, CONNOLLY D, et al. Smart energy and smart energy systems[J]. Energy, 2017, 137:556.

- [11]谢秉正.中国智慧城市建设纵论[M].南京:江苏科学技术出版社,2013.
- [12]冯庆东.能源互联网与智慧能源[M].北京:机械工业出版社,2015.
- [13]LOSKE M. Smart Energy[M]// LOSKE M. eds. Nanoelectronics. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2017: 471-488.
- [14]刘建平.智慧能源 我们这一万年[M].北京:中国电力出版社,2013.
- [15]ABELLA A, ÁLVAREZ E, ARGÜESO J, et al. Smart energy: new applications and business models[EB/OL]. [2018-05-16]. http://www.orquestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/smart_energy_en_15072015.pdf.
- [16]吴文辉.互联网+商业顶层设计[M].北京:中华工商联合出版社,2015.
- [17]朱良楹.智慧能源[M].北京:清华大学出版社,2012.
- [18]CONNOLLY D, LUND H, MATHIESEN B V. Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 60:1634-1653.
- [19]DINCER I, ACAR C. Smart energy systems for a sustainable future[J]. Applied Energy, 2017, 194:225-235.
- [20]智能科技与产业研究课题组.智慧能源创新[M].北京:中国科学技术出版社,2016.
- [21]联合国.气候变化[EB/OL]. [2018-08-18]. <http://www.un.org/zh/sections/issues-depth/climate-change/index.html>.
- [22]国际可再生能源署.State of Green.: 陆上风电价格降低[EB/OL]. [2018-07-28]. <http://stateofgreen.cn>.
- [23]星展银行.2030年能源结构:主要区域趋势化石燃料无淘汰之忧[EB/OL]. [2018-06-28]. http://www.dbs.com/aics/pdfController.page? pdfpath=/content/article/pdf/AIO/082018/20180704-01-SECTOR-66-REPORT_ENERGY_CH.pdf.
- [24]刘满平.新能源产业新时代的趋势及特点[N].中国能源报,2018-07-16(18).
- [25]王喜文.美欧智能电网建设动机分析[J].物联网技术,2012(3):8-10.
- [26]周杰.日本能源发展规划六大新看点[J].经济,2018(16):72-74.

Areview of the academic progress and application of smart energy system research

WANG Ning¹, GUO Shuiwen²

(1. School of Economics, Jilin University, Changchun 130012, P. R. China;

2. Party School of National Energy Investment Group Co., Ltd., Beijing 102211, P. R. China)

Abstract: Smart energy system is the energy system with the characteristic of intelligence. The emergence of smart energy systems is mainly due to the difficulty of traditional energy systems to better meet the needs of human society, the rapid development of information and communication technologies, and the decline in the cost of clean energy technologies and applications. In theory, there are two representative theoretical constructs in the academic world about the idea of smart energy system. In terms of application, some advanced countries have already proposed the goal of transforming to smart energy system, and have achieved certain results in practice.

Key words: smart energy; systems; information technology; clean energy; environmental protection

(责任编辑 彭建国)