

“互联网 + 智慧能源”的技术特征与发展路径

牛哲文¹, 郭采珊¹, 唐文虎¹, 李立涅², 蔡泽祥¹, 韩永霞¹

(1. 华南理工大学电力学院, 广东 广州, 510640; 2. 遵义院士工作中心, 贵州 遵义, 563000)

摘要:随着我国能源转型和互联网技术的蓬勃发展, 互联网理念在能源行业中的渗透与融合正逐步颠覆传统的能源生产、经营与消费模式。智能电网与能源网在互联网理念和新能源技术的推动下, 催生了新一代“互联网 + 智慧能源”新形态。本文首先分析了当前我国能源转型与电力体制改革的背景下, 能源系统面临的机遇与挑战。结合“互联网 +”发展战略, 从物理层面、信息层面、市场层面分析了“互联网 + 智慧能源”的技术特征, 并将“互联网 + 智慧能源”与智能电网 2.0 进行了不同层面的比较。最后对“互联网 + 智慧能源”新形态的发展路径及前景进行了展望, 并指出通过能源设备、能源网络、能源系统的智慧化升级, 构建“互联网 + 智慧能源”新形态, 实现构建清洁低碳安全高效的能源体系的战略目标。

关键词: 互联网 + ; 智慧能源; 智能电网; 能源互联网

文章编号: 2096 - 4633 (2019) 05 - 0006 - 05 **中图分类号:** C39 **文献标志码:** B

随着化石能源的资源枯竭与环境污染问题的日益加剧, 传统能源的生产、运营和消费模式与清洁低碳安全高效的能源发展趋势矛盾凸显^[1-3]。与此同时, 新能源开发和使用技术日益成熟、能源转型与电力市场改革、“互联网 +”技术的推动, 共同催生了“互联网 + 智慧能源”的产生和发展^[4]。近年来, “互联网 +”智慧能源的技术和形态成为国内外学术和工程研究的热点, 相关新兴行业也被看作是下一个蓬勃发展的“风口”。

2009 年, 时任美国总统奥巴马将智能电网列入美国国家战略, 利用新型信息技术构建一个高效能、低投资、安全可靠、灵活应变的综合能源系统^[5]。加拿大重点开展社区级综合能源系统 (integrated community energy system, ICES) 研究与建设, 将 ICES 技术研究和工程建设列为 2010—2050 年的国家能源战略, 助力其实现 2050 年的减排目标。在欧盟框架内, 欧洲各国率先启动了综合能源系统的研究与建设。在欧盟第 6 框架和第 7 框架中, 能源的协同优化的相关研究进一步得到深化, 实施了诸如 FP6 中的微网与多微网 (microgrids & more microgrids) 项目、FP7 中的泛欧网络 (trans-european networks) 和智能能源 (intelligent energy) 等一大批具有国际影响力的重要项目。在日本, 学者们对智慧能源的研究侧重于电力

路由器的研发, 可以统筹管理一定区域内的电力, 而且可以通过其进行地区内的电力调度^[5]。

国内方面, 近年来我国政府发布了一系列关于能源生产与消费革命的指导性文件, 为我国能源行业未来发展指明了方向。2015 年国务院发布了“互联网 +”行动计划, 把“互联网 + 智慧能源”列为重点行动领域之一, 旨在推动互联网技术与能源行业的融合, 支撑我国能源革命战略。2016 年 2 月, 国家发改委发布《关于推进“互联网 +”智慧能源发展的指导意见》, 明确了“互联网 +”智慧能源的发展核心是能源互联网的建设。

在学术研究方面, 国内外学者对能源互联网的概念有着不同角度的认识。文献[6-7]认为能源互联网是以智能电网为核心, 多种能源网交互并存的复杂网络; 文献[8-9]认为能源互联网是在配电网层面, 融合大量分布式可再生能源和储能装置, 实现能量和信息流动的电网结构。文献[10]提出建立以特高压电网为骨干网架、清洁能源为先导的“全球能源互联网”; 文献[11-12]认为能源互联网是互联网思维在能源领域的体现。文献[13]提出能源互联网是能源网、智能电网、互联网三者的深度融合。文献[14]提出了一种基于“互联网 +”的电网企业智能化建设与管理方案。文献[15]阐述了

基于能量流的多种能源网络和基于信息流的互联网之间的异同。文献[16]则对智能电网和智能能源网的异同做了进一步分析。

“能源互联网”、“互联网+智慧能源”等概念,实质上是一种互联网与能源生产、传输、储存、消费以及能源市场深度融合的能源产业发展的新形态,是推动我国能源革命的重要战略支撑。据此,本文结合所提“互联网+”智慧能源的技术特征,首先分析能源转型中的变化与挑战,接着从不同角度阐述“互联网+智慧能源”新形态的内容,并对“互联网+”智慧能源的发展路径提出展望。

1 我国能源转型的挑战与机遇

1.1 能源供给侧的挑战

我国是世界上最大能源消费国、生产国和净进口国,能源转型面临严峻挑战。近年来,我国能源结构转型迈出了实质性步伐,尽管煤炭仍是我国能源消费的主导燃料(2016年一次能源占比62%),但已是历史最低值。

另一方面,随着我国相应激励政策的支持以及可再生能源关键技术的突破与成熟,加之世界可再生能源快速发展趋势的助推,仅10年间我国可再生能源在全球总量中的份额便从2%提升到了17%。由于我国在新能源建设过程中主要关注资源而忽视市场,风电、光伏等新能源行业普遍遭遇的并网难问题,造成规模相对过剩,导致弃风、弃光问题突出,尤其以西北、东北等部分可再生资源富集区域为甚。

1.2 能源消费侧的挑战

在能源消费侧,我国同样面临着需大幅提高能源综合利用效率、控制乃至减少能源消耗的总量的巨大压力。随着能源结构不断向着清洁化、绿色化调整和优化,电力在终端能源消费中的比重将不断提高,我国电力需求仍将保持中高速增长态势。同时,为支撑新能源消纳和多能交互,以及分布式小微能源即插即用和用户互动,也对构建可靠灵活的能源网络和实现能源系统的多源交互提出了更高的要求。

1.3 能源技术突破的机遇

能源技术发展所取得的突破为“互联网+智慧能源”的实现带来了新的契机,主要体现在可再生能源成本快速下降以及能源领域新材料的涌现两个方面。随着全球各国面对气候变化和环境问题恶化与自身发展和能源不断增长需求的突出矛盾,可再

生能源大规模开发和利用成为了必然发展趋势。

另一方面,再生能源高比例接入和快速增长的能源需求使得能源大规模传输与存储、能源系统安全稳定运行以及终端能源利用效率提升等方面成为了未来能源网发展的关键问题。新材料在能源传输、绝缘防护、装备性能、电能变换和规模化能量存储等领域取得重大突破,将对上述一系列严峻挑战发挥着不可替代的核心作用,为实现能源系统的智慧化升级提供有力的支撑。

2 “互联网+智慧能源”技术特征

“互联网+智慧能源”是一种互联网与能源生产、传输、存储、消费以及能源市场深度融合的能源产业发展的新形态,具有设备智能、多能协同、信息对称、供需分散、系统扁平、交易开放等主要特征。在全球新一轮科技革命和产业变革中,互联网理念、先进信息技术与能源产业深度融合,正在推动能源网新技术、新模式和新业态的兴起。

2.1 物理层面特征

“互联网+智慧能源”新形态在物理层面主要表现为通过多能协同依托高性能能源技术、多能流耦合分析与控制技术、云平台监控运维技术,实现多种能源流的优化协同运行,实现全系统的高效绿色运转。

具体的,“互联网+智慧能源”新形态支持电-热-冷-气-交通等多网络的智慧互联,支持能源的互相转化,以多种能量的互相转化互补的方式来实现能源系统的优化运行,降低某单个系统的负荷,实现能源系统的动态优化配置。

在分布式能源高度渗透的未来,还可以直接由分布式能源转化成为用户所需的各种能源,电网的统治力被削弱。能源互联网以微网单元建设为主要特征。所述的微网,指根据用户对各种能源的需求而构建的多能源耦合系统(包括电、热、冷、气等能源),可孤立运行,亦可与外部跨区域主干网并网运行。“互联网+智慧能源”在物理层面的主要优势体现为:

(1)不同能源系统实现优势互补,避免能源的二次转换,提高综合能源利用效率;

(2)提升可再生能源的消纳水平,对分布式小微能源并网即插即用,方便用户灵活互动;

(3)以综合管廊、四网合一等形式充分整合资源,避免重复建设。

2.2 信息层面特征

“互联网 + 智慧能源”新形态在信息层面的特征主要表现为信息透明与信息共享。信息透明体现在能源设备的健康状态透明、能源网络的运行状态透明以及能源市场交易状态透明。利用大数据、云计算和人工智能等新型技术,实现设备运行状态的在线监测,实时感知,电网运行的在线安全风险评估,电网传输能力可靠性等在线实时感知,以及电网输配电价格,各类电力市场交易过程的实时发布。

电力网等传统能源网络具有垂直分层治理结构,电网公司几乎完全占有了能源信息,电网公司与用户的能源信息是严重不对称的。而随着“互联网 + 智慧能源”的发展,信息对称体现在电网与用户之间的信息共享,实时传递;电网运行调度规划与电厂产能规划之间的统筹与信息共享;以及用户侧需求数据与电厂实时共享。在这种情况下,能源市场的传统垄断化垂直化结构将打破,市场会有更多的参与者进入,更为扁平化的能源结构必然将会导致信息交流更为频繁,传统的能源信息被电网公司垄断的情况也会被打破,参与电力、能源市场的各主体都能够享有信息,从而支持其在市场上开展业务。

2.3 市场层面特征

“互联网 + 智慧能源”新形态利用信息通信技术及互联网平台,将互联网与能源行业相融合,能够充分发挥互联网在资源配置方面的优化和集成作用,创造新的发展形态和商业模式,实现能源产消者与其他用户的能源高效共享,互联网数据作用于能源网中的所有生产者、消费者和产消者的效益优化。“互联网 + 智慧能源”新形态在市场方面的特征具体体现在:

(1)利用互联网公平、公开、透明、共享的特性,打破不同能源行业之间的信息壁垒,实现多种能源

在效益和效率两个层面的最优,实现交易开放。“互联网 + 智慧能源”将使得能源市场活力被激发,多主体将参与能源市场,并将基于用能需求提供多种丰富的服务,各能源供应商可以在自由市场上展开竞争,整个市场的运行呈现开放的特点。能源的市场将经过电改等一系列支持以及市场自由发展而充分建立、活跃,在其中用户可以像其它市场一样实现能源的开放、自由交易。

(2)“互联网 + 智慧能源”将建立信息共享平台,以政策、市场机制等引导用户主动参与能源管理,以提高综合能源利用效率;基于区域大量用户负荷数据,结合未来电价政策变化,通过用户电力数据云和数据挖掘级优化控制引擎,优化配置区域储能系统,提供需求侧相应服务,以及调频、提高电能质量等辅助服务,降低用户综合电费,提高电网资产利用率。

(3)在能源市场化的推动下,“互联网 + 智慧能源”将催生出新的能源商业模式及业态,如能源第三方运维服务、能源自主交易、设备租赁服务等,刺激新的经济增长点。

智能电网是通过先进的传感和测量技术、信息通讯技术、分析决策技术和自动控制技术与能源电力技术,以及电网基础设施高度集成而形成的新型现代化电网,能够实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标。与智能电网相比,“互联网 + 智慧能源”让互联网与传统能源行业深度融合,将互联网与能源行业相融合,能够充分发挥互联网在资源配置方面的优化和集成作用。创造新的发展形态和商业模式,实现能源产消者与其他用户的能源高效共享,互联网数据作用于能源网中的所有生产者、消费者和产消者的效益优化。智能电网 2.0^[17-18]与“互联网 + 智慧能源”的区别见表 1。

表 1 智能电网 2.0 与“互联网 + 智慧能源”的比较

Tab. 1 Difference between smart grid 2.0 and “internet + smart energy”

	智能电网 2.0	“互联网 + 智慧能源”
建设导向	建立以电力为中心,以电网为主干的,广域互联的新一代智能电网。	互联网与能源生产、传输、存储、消费以及能源市场深度融合的能源产业发展的新形态
物理层面显著特征	强调以电网的形式实现各种能源互联,终端电能替代。	融合电、气、热、冷、等各式能源网络,多能协同与多能流耦合。
信息层面显著特征	电力专用网为主,大数据、云计算技术服务物理网运行	互联网为主体,所有信息透明、公开并共享对用于服务物理网的运行与运营
市场层面显著特征	能源市场化不足,互联网技术仅用于物理网络优化运行水平的提高,未能还原能源商品属性。	互联网与能源行业相融合,能够充分发挥互联网在资源配置方面的优化和集成作用。创造新的能源发展形态和商业模式。

3 “互联网+智慧能源”的发展路径

3.1 基于智能材料和智能传感的分布式感知,促进能源设备的智慧化升级

在“互联网+智慧能源”中,能源设备是能源利用的基础,是能源系统基于互联网实现智慧化升级的底层支撑。需从基础材料与装备的研制、一二次设备融合、小微智能传感器等几个方面提高能源设备的信息物理集成度,促进能源设备感知的高可靠、高精度,从底层技术支撑“互联网+智慧能源”的进一步发展。

3.2 基于物联网构建智慧泛在能源网络,支撑分布式能源灵活接入

基于物联网技术,通过丰富的标准化协议与接口,实现能源随时接入、无所不在、无所不接,是促进海量分布式能源接入,推动小微能源发电形式发展,实现最大限度地利用清洁能源的重要手段。需结合泛在能源接入的标准化协议、信息安全接入、物联网技术等核心技术构建智慧泛在能源网络,支撑分布式能源灵活接入。

3.3 基于边缘计算构建智慧能源终端,促进能源系统分布自治与高效运行

以信息透明、泛在互联的能源网络为基础,应用边缘计算技术和能源分布式自治理念,构建智慧能源终端。实现能源系统的边缘管理、边缘应用,适应与云端各区高级应用的交互。以能源消费终端的智慧化升级,实现能源高效就近消纳,提升能源系统综合效率,构建智慧微能源网。

3.4 基于云计算,人工智能构建能源系统智能决策体系,打造智慧能源系统

以云计算技术和理念实现智慧能源系统的分布式感知与集中决策,推进能源系统调度智慧化升级。基于云计算、大数据、人工智能等互联网技术为推进能源系统决策智慧化,基于区块链等技术完善能源市场交易体系,实现能源生产、传输、消费的边际成本趋零,打造智慧、透明的能源系统。

4 结语

以化石能源为主导的集中式能源利用正在发生变革,分布式可再生能源大规模利用是第三次工业革命的重要特征。本文从物理、信息、市场三个层面的技术特征对“互联网+智慧能源”新形态进行阐

述,并对未来发展路径进行了展望。“互联网+智慧能源”新形态同时具有能源产业和互联网产业的特征,集成信息流、能量流、资金流,实现“三流合一”。基于互联网技术的大数据、云计算,将能源与能量的生产、转换、存储、输送、使用等能源产业链的众多节点互联起来,“互联网+智慧能源”新形态将实现信息流、能量流和资金流的自由接入、实时流动、即时交换与动态共享。“互联网+智慧能源”新形态将有效解决能源行业对提高新能源消纳比例、提高能源综合利用效率、深化能源共享等方面的迫切需求,将使得能源生产和消费更加智慧化,随时随地满足人们对能源的需求。

参考文献:

- [1] ALDABAS M, GSTREIN M, TEUFEL S. Changing energy consumption behaviour: Individuals' responsibility and government role[J]. Journal of Electronic science and Technology, 2015, 13(04): 343-348.
- [2] WANG Q, ZENG Y, WU B. Exploring the relationship between urbanization, energy consumption, and CO₂ emissions in different provinces of China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 54: 1563-1579.
- [3] 杨方, 白翠粉, 张义斌. 能源互联网的价值与实现架构研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3495-3502.
YANG Fang, BAI Cuifen, ZHANG Yibin. Research on the value and implementation framework of energy internet[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(14): 3495-3502.
- [4] 彭小圣, 邓迪元, 程时杰, 等. 面向智能电网应用的电力大数据关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(03): 503-511.
PENG Xiaosheng, DENG Diyu, CHENG Shijie, et al. Key technologies of electric power big data and its application prospects in smart grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(03): 503-511.
- [5] 余晓丹, 徐宪东, 陈硕翼, 等. 综合能源系统与能源互联网简述[J]. 电工技术学报, 2016, 31(01): 1-13.
XIAO Dan, XU Xiandong, CHEN Shuoyi. A brief review to integrated energy system and energy internet[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(01): 1-13.
- [6] 董朝阳, 赵俊华, 文福拴, 等. 从智能电网到能源互联网: 基本概念与研究框架[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(15): 1-11.
DONG Zhaoyang, ZHAO Junhua, WEN Fushuan, et al. From smart grid to energy internet: basic concept and research framework[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(15): 1-11.
- [7] 田世明, 栾文鹏, 张东霞, 等. 能源互联网技术形态与关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3482-3494.
TIAN Shiming, LUAN Wenpeng, ZHANG Dongxia, et al. Technical forms and key technologies on energy internet[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(14): 3482-3494.

- [8] 于慎航,孙莹,牛晓娜,等. 基于分布式可再生能源发电的能源互联网系统[J]. 电力自动化设备,2010,30(05):104-108.
YU Shenhang, SUN Ying, NIU Xiaona, et al. Energy internet system based on distributed renewable energy generation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(05): 104-108.
- [9] 蒲天骄,刘克文,陈乃仕,等. 基于主动配电网的城市能源互联网体系架构及其关键技术[J]. 中国电机工程学报,2015,35(14):3511-3521.
PU Tianjiao, LIU Kewen, CHEN Naishi, et al. Design of ADN based urban energy internet architecture and its technological issues[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(14): 3511-3521.
- [10] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京:中国电力出版社, 2015.
- [11] 杨方,白翠粉,张义斌. 能源互联网的价值与实现架构研究[J]. 中国电机工程学报,2015,35(14):3495-3502.
YANG Fang, BAI Cuifen, ZHANG Yibin. Research on the value and implementation framework of energy internet[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(14): 3495-3502.
- [12] 孙宏斌,郭庆来,潘昭光. 能源互联网:理念、架构与前沿展望[J]. 电力系统自动化,2015,39(19):1-8.
SUN Hongbin, GUO Qinglai, PAN Zhaoguang. Energy internet: concept, architecture and frontier outlook [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(19): 1-8.
- [13] 李立涅,张勇军,陈泽兴,等. 智能电网与能源网融合的模式及其发展前景[J]. 电力系统自动化,2016,40(11):1-9.
LI Licheng, ZHANG Yongjun, CHEN Zexing, et al. Merger between smart grid and energy-net: mode and development prospects[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(11): 1-9.
- [14] 汪兴. “互联网+”模式下电网企业智能化建设与管理[J]. 电力大数据,2018,21(12):3-46.
WANG Xing. "Internet + " mode of intelligent construction and management of power grid enterprises[J]. Power Systems and Big Data, 2018, 21(12): 43-46.
- [15] YUSHENG XUE. Energy internet or comprehensive energy network [J]. Journal of Modern Power Systems & Clean Energy, 2015, 3(03): 297-301.
- [16] 王明俊. 智能电网与智能能源网[J]. 电网技术,2010,34(10):1-5.
WANG Mingjun. Smart grid and smart energy resource grid [J]. Power system technology, 2010, 34(10): 1-5.
- [17] 常康,薛峰,杨卫东. 中国智能电网基本特征及其技术进展评述[J]. 电力系统自动化,2009,33(17):10-15.
CHANG Kang, XUE Feng, YANG Weidong. Review on the basic characteristics and its technical progress of smart grid in China [J]. Automation of Electric Power System, 2009, 33(17): 10-15.
- [18] FADAEENEJAD M, SABERIAN A M, FADAEI M, et al. The present and future of smart power grid in developing countries [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 29: 828-834.

收稿日期:2019-02-22

作者简介:



牛哲文(1993),男,博士研究生,主要研究方向为人工智能技术在电力系统中的应用以及能源互联网。

(本文责任编辑:范斌)

Technical features and development path of "internet + smart energy"

NIU Zhewen¹, GUO Caishan¹, TANG Wenhui¹, LI Licheng², CAI Zexiang¹, HAN Yongxia¹

(1. School of Electric Power Engineering South China University of Technology, Guangzhou 510641 Guangdong, China;

2. Zunyi Academician Work Center, Zunyi 563000 Guizhou, China)

Abstract: With China's energy transformation and the rapid development of Internet technology, the penetration and integration of the internet concept in the energy industry is gradually subverting the traditional energy production, operation and consumption patterns. Driven by the internet concept and new energy technologies, the smart grid and energy network have spawned a new generation of "internet + smart energy". This paper first analyzes the opportunities and challenges of the energy system in the context of China's current energy transformation and power system reform. Combined with the "internet + " development strategy, the technical characteristics of "internet + smart energy" are analyzed from the physical, information and market aspects. Besides, "internet + smart energy" and smart grid 2.0 were compared comprehensively at different levels. Finally, the development path of the new form of "internet + smart energy" is prospected. It is pointed out that through the intelligent upgrade of energy equipment, energy network and energy system, "internet + smart energy" will be established, which will achieve the strategic goal of building a clean, low-carbon, safe and efficient energy system.

Key words: internet + ; smart energy; smart grid; energy internet