

Review on Energy Internet Research

Long Xia, Qi Tan

Department of Law and Politics, North China Electric Power University, Baoding Hebei
Email: 648164590@qq.com, tanqi1152@163.com

Received: Sep. 26th, 2018; accepted: Oct. 11th, 2018; published: Oct. 18th, 2018

Abstract

At present, with the rapid development of China's economy, the Chinese government has to face the challenges of energy shortage and serious environmental pollution, and energy problem has become a key factor restricting China's economic and social development. The energy Internet is the main tool to solve such problems. This paper reviews the research on energy Internet from four aspects: academic history, concept and characteristics, function and significance, functional structure and key technology, in order to lay a foundation for further research on energy internet.

Keywords

Energy Internet, Review

能源互联网研究述评

夏 琰, 谭 琪

华北电力大学法政系, 河北 保定
Email: 648164590@qq.com, tanqi1152@163.com

收稿日期: 2018年9月26日; 录用日期: 2018年10月11日; 发布日期: 2018年10月18日

摘 要

当前, 随着中国经济的快速发展, 能源匮乏与环境严重污染问题是中国政府面临的巨大挑战, 能源问题变成了制约中国经济社会等发展的关键因素。能源互联网是解决此类问题的主要工具。本文从能源互联网研究的学术简史、概念与特征、作用与意义、功能结构与关键技术四个方面综述国内外学者对能源互联网的研究, 以为能源互联网的进一步研究奠定基础。

关键词

能源互联网, 述评

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

以化石能源集中式利用为特征的传统经济和社会发展模式正在逐步发生变革, 而以新能源技术和互联网技术为代表的第三次工业革命正在兴起, 作为第三次工业革命的核心技术, 能源互联网力图结合可再生能源技术与互联网技术, 推动分布式可再生能源的大规模利用与分享, 促进电力、交通、天然气等多种复杂网络系统的相互融合。随着能源互联网的进一步发展, 通过梳理文献可以发现, 国外学者对能源互联网的研究成果相对较多, 而在中国, 互联网技术与能源的融合尚处于初级阶段, 能源互联网发展的顶层设计, 以及具体的示范工程项目都刚刚起步, 政策实务与理论学界领域研究成果较少, 也未能形成系统理论与实践经验。现阶段, 我国能源互联网发展及相关政策制定, 仍然需要进一步借鉴发达国家的成功经验。

2. 能源互联网研究学术简史

由于人类大规模开发利用化石能源导致资源紧张、环境污染、气候变化等诸多全球性难题, 对人类生存发展构成严重威胁, 建立在传统化石能源基础上的能源发展方式已经难以为继。新能源的出现为传统化石能源的困境的解开创造了条件, 以新能源为核心的能源互联网的兴起更是将人类能源的进程推动到了一个新的阶段。与此同时, 围绕能源互联网的世界范围内的学界研究的成果也方兴未艾。我国能源互联网研究在世界影响下, 也逐步成熟发展可以概括总结为以下几个阶段:

第一阶段, 能源互联网初创, 国内研究萌芽阶段。早在 2008 年, 美国、德国政府已经开始能源互联网的研究与实践。美国政府自 2008 年开始资助北卡罗纳州立大学的 FREEDM 电网项目, 每年仅官方资助经费就高达 1800 万美元, 此外还联合了其他若干著名大学和跨国企业进行共同研究。德国联邦政府 2008 年提出“E-Energy”并在六个城市推出了“E-Energy”能源互联网示范项目, 以新型的 ICT 通讯设备和系统为基础, 以最先进的调控手段来应付日益增多的分布式电源与各种复杂的用户终端负荷。国内学者曾对德国学者的研究进行关注, 并进行了文献的翻译, 在国内能源学界产生了一定的影响[1]。

第二阶段, 能源互联网发展国内起步阶段。2012 年美国未来学家里夫金的“第三次工业革命”传到中国之后, 中国学界、政界、企业关于“能源互联网”的研究开始升温。2015 年, 国务院在国发 40 号文《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》中提出建设“互联网+智慧能源”, 意见表示要通过互联网促进能源系统扁平化, 推进能源生产与消费模式革命, 提高能源利用效率, 推动节能减排。2015 年 9 月 26 日, 习近平总书记在联合国发展峰会上发表重要讲话, 倡议探讨构建全球能源互联网, 推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求。现实的需求, 政府的推动成为中国学者研究“能源互联网”的巨大推力, “能源互联网”的研究走向高潮。

第三阶段, 能源互联网在中国全面推进阶段。该阶段以 2017 年由国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部发布的《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》为标志。在《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》中, 明确了能源互联网是推动我国能源革命的重要战略支撑, 对提高可再生能源比重, 促进化石能源清洁高效利用, 提升能源综合效率, 推动能源市场开放和产业升级, 形成新的经济增长点, 提升能源国际合作水平具有重要意义。同时明确了能源互联网发展的两个阶段, “能源互联网是一种能源产业发展新形态, 相关技术、模式及业态均处于探索发展阶段。为促进能源互联网

健康有序发展, 近中期将分为两个阶段推进, 先期开展试点示范, 后续进行推广应用, 确保取得实效”。第一个阶段是着力推进能源互联网试点示范工作, 第二个阶段是着力推进能源互联网多元化、规模化发展。如今, 能源互联网的试点示范工作正在推进过程中。

3. 能源互联网的概念与特征研究

概念及特征界定是进一步研究的基础, 也是相关政策制定的逻辑起点, 事关能源利益的分配, 不同国家对能源互联网的定义并不完全相同。能源互联网作为具有重大影响的新生事物, 其概念、特征等关键问题还在讨论和发展中。学术界和工业界、能源领域和信息领域、技术专家和经济专家都对这个主体做出各自认知。

能源互联网的概念

美国著名学者杰里米·里夫金在其新《第三次工业革命》一书中, 首先提出了能源互联网的愿景, 引发了国内外的广泛关注。里夫金所倡导的能源互联网的内涵主要是利用互联网技术实现广域内的电源储能设备与负荷的协调、最终目的是实现由集中式化石能源利用向分布式可再生能源利用的转变。在他的书中对“能源互联网”的界定是模糊的, 只是一种愿景。

美国的北卡罗来纳州立大学华人教授黄勤(2011)认为“能源互联网”一个消费者能灵活使用居住区配电系统的能源系统。他的概念重点放在用户方面, 目标是每个用户都在电力的传输、分配和交易中扮演更重要角色, 把百年来封闭的电力市场改造成与互联网一般有竞争力的现代化商业发展模式。

中国国家电网董事刘振亚在《全球能源互联网》书中对能源互联网的界定分两个层面: 坚强智能电网与全球能源互联网。他强调能源的全球互联, 强调新能源的开发与利用, 从而加快实现“两个替代”, 即在能源开发上实施清洁替代, 以水能、太阳能、风能等清洁能源替代化石能源, 推动能源结构从化石能源为主向清洁能源为主转变; 在能源消费上实施电能替代, 以电代煤、以电代油、电从远方来, 来的是清洁发电, 提高电能在终端能源消费中的比重[2]。

电力研究机构与大学的学者对“能源互联网”的理解与国网不太一样, 如董朝阳等(2014)认为能源互联网是以电力系统为核心, 以互联网及其他前沿信息技术为基础, 以分布式可再生能源为主要一次能源, 与天然气网络、交通网络等其他系统紧密耦合而形成的复杂多网流系统[3]。

马钊, 周孝信等(2015)在综合国外政府的实践与学者的研究之后, 总结出“能源互联网”是以电力系统为中心, 智能电网为骨干, 互联网、大数据、云计算及其他前沿信息通信技术为纽带, 综合运用先进的电力电子技术和智能管理技术, 能够实现横向多源互补、纵向源-网-荷-储协调的能源与信息高度融合的下一代能源体系, 同时具有扁平化性, 面向社会的平台性、商业性和用户服务性[4]。

曹军威教授(2014)认为, 能源互联网是互联网技术、可再生能源技术与现代电力系统的结合, 是信息技术与能源电力技术融合发展的必然趋势[5]。

曾鸣教授(2015)认为能源互联网是以电力系统为核心与纽带, 构建多种类型能源的互联网络, 利用互联网思维与技术改造能源行业, 实现横向多源互补, 纵向“源-网-荷-储”协调, 能源与信息高度融合的新型(生态化)能源体系。其中, “源”是指煤炭、石油、天然气、太阳能、风能、地热能等各种一次能源以及电力、汽油等二次能源; “网”涵盖了天然气和石油管道网、电力网络等能源传输网络; “荷”与“储”则代表了各种能源需求以及存储设施[6]。

查亚兵等人在《关于能源互联网的认识与思考》中认为, 从政府管理者视角来看, 能源互联网是兼容传统电网的, 可以充分、广泛和有效地利用分布式可再生能源的、满足用户多样化电力需求的一种新型能源体系结构; 从运营者视角来看能源互联网是能够与消费者互动的、存在竞争的一个能源消费市场;

从消费者视角来看, 能源互联网不仅具备传统电网所具备的供电功能, 还为各类消费者提供了一个公共的能源交换与共享平台[7]。

姚建国在《能源互联网的认识和展望》中认为, 广义的 EI 理念是包含广域和局域层面的完整的能源网络系统, 在广域范围主要表现为互联能源网络(主干是电网)的特征, 在局域则主要表现为能源共享网络的特征。狭义的 EI 理念则主要是指按照互联网机制运转的能源共享网络[8]。

张国荣(2017)认为能源互联网是一种建立在电力电子技术与信息通信技术 ICT (Information Communication Technology)的基础上, 利用能量信息管理系统将集中或分布式可再生能源、储能装置、耗能负荷等联结为一有机的整体, 使其协调工作, 通过能量与信息紧密耦合实现安全高效协调共享的新型能源利用体系[9]。

周孝信(2017)综述了国内现有的两部分观点, 他提到一部分研究认为, 能源互联网是以互联网思维与理念构建的新型信息能源融合“广域网”, 它以大电网为“主干网”, 以微网、分布式能源等能量自治单元为“局域网”, 强调用互联网的理念改造传统能源产业的结构、设备和控制形态以实现根本革新, 真正实现信息能源基础设施的一体化, 实现能源的双向按需传输和动态平衡使用。另一部分研究认为能源互联网是以电力系统为中心, 智能电网为骨干, 互联网、大数据、云计算及其他前沿信息通信技术为纽带, 综合运用先进的电力电子技术和智能管理技术, 将电力系统与天然气网络、供热网络以及工业、交通、建筑系统等紧密耦合, 横向实现电、气、热、可再生能源等“多源互补”, 纵向实现“源网荷储”各环节高度协调, 生产和消费双向互动, 集中与分布相结合, 能源与信息高度融合的下一代能源体系[10]。

4. 发展能源互联网作用与意义研究

能源互联网出现之后, 国内外诸多学者就为何要全面发展能源互联网开展了具体的研究, 从多个领域方面论说了该主题的重要作用与意义。

王存华(2016)认为“互联网+”智慧能源会提升清洁能源消费比重, 各类温室气体和污染物排放将显著下降, 困扰人们的环境问题将得到缓解; 大量无电人口都将用上清洁的电力; 推动能源消费向双向互动、灵活智能化的用电方式转变; 提高能源运输时的地域风险能力, 人们用电将更安全、更持续; 人人都将可以生产能源、分享能源、控制能源、定制能源, 甚至可以自由选择用电套餐[11]。

吕凇杰等人(2016)认为“互联网+”智慧能源是推动能源革命的重要推手。我国乃至世界均仍面临着巨大的能源短缺、能源供需矛盾、能源生产和消费对生态环境损害严重、能源技术水平总体落后等问题, 以往高能低率的生产与消费方式难以为继, 需要从根本上改变传统的能源生产与消费方式, 重塑能源生产、运输、消费、存储的链条, 实现产消结合, 即生产者和消费者的有机整合。以能源互联互通、信息化智能化为特点的“互联网+”智慧能源成为能源生产与消费革命最重要的支撑和推动力, 与此同时, “互联网+”智慧能源将促进能源利用效率的提升并推动能源市场开放。另一方面, 与能源革命相伴而生的就是“互联网+”智慧能源将大大促进可再生能源的规模化发展。面对气候变化承诺和国内大气污染治理的双重压力, 我国正在积极推动能源结构的转型升级, 加大可再生能源在整个能源结构中的比重[12]。

尤石在《从基于服务的灵活性交易到跨行业能源系统的集成设计、规划和运行: 丹麦的能源互联网理念》中认为作为欧洲智能电网领域的领先国家, 丹麦对于能源互联网的发展有着较为独特的视角。《国际互联电网: 为清洁能源发展搭台——结合欧洲情况谈全球能源互联网》中, 廖宇指出: 丹麦加强电网的国际互联, 发展与其他国家的电力系统互联成为了丹麦继续发展可再生能源的必要条件, 与欧盟各国形成一种互惠互利、互相制衡的局面。丹麦国家电网公司以需求为前提, 以社会经济效益最大化为准则, 理性规划与建设电力系统[13]。

《我国能源互联网实施的可行性及发展前景研究——基于德国 E-Energy 计划》中, 王平玉阐述, E-Energy 计划作为绿色 IT 先锋行动计划组成部分之一联邦经济和技术部开启六个示范区的项目 (RegModHarz: 哈茨可再生资源示范区; E-DeMa 项目: 莱茵-鲁尔; SmartW@TTS 项目: 亚琛 MOMA 项目: 莱茵内卡(曼海姆) MEREGIO 项目: 斯图加特)。2008 年 12 月以来, 德国六大项目一直致力于开发和测试能源互联网的核心技术。在不到十年的时间里, 智能电网概念已从最初的输配电过程中的自动化技术, 扩展到电力产业全流程实现智能化、信息化、分级化互动管理。而现在来看, 电网正充分利用现代通信和信息技术成果, 向着智能化的方向发展[14]。

余晓丹阐述, 以德国为代表的欧洲各国研究机构, 主要从先进工业技术出发, 对能源互联网技术展开研究。2008 年, 德国联邦经济和技术部发起一个技术创新促进计划, 以 ICT 技术为基础构建未来的能源系统, 开始着手研发和测试能源互联网的一些核心技术; 并在 2009 年启动的 E-energy 项目中, 提出了能源互联网的框架; 2011 年欧洲启动了欧洲未来互联网计划 FI-PPP, 由众多交叉领域项目构成, 目的是通过行业需求的驱动, 更好地推进欧洲互联网的发展[15]。

《欧洲电网互联现状分析及其对构建能源互联网的启示》一文中, 郑漳华谈到欧洲输电网系统运营机构于 2012 年发布了研究与发展路线图的征求稿。在 2013 年, 欧盟提出了 2013~2022 年的 10 年研究与创新路线图。2014 年, 欧洲输电网系统运营机构公布了到 2030 年的 10 年电网发展规划, 在未来的欧洲能源结构中, 互联电网对于实现能源供应、保障能源安全将发挥越来越重要的作用[16]。

综合以上学者观点, 不难发现对发展能源互联网都持有肯定的态度, 从具体的功能与意义上重点围绕了全球生态视角、能源经济视角、国家与国际政治视角、社会视角进行了阐释。由此, 未来能源互联网全面发展是于国于民之大事, 采取合适恰当的激励政策进行间接性的引导, 促使其在能源领域全面发展, 是当前中央及地方政府应有之责。

4.1. 能源互联网的功能结构与关键技术研究

当前对于能源互联网的结构、框架与实现路径的研究, 国外的成果没有国内的多, 国外的成果多在技术研究。国内从 2012 年以后, 由于国家的大力支持, 研究的学者比较多, 成果也比较多。美国主要以北卡罗来纳州立大学的学者为主, 中国以清华大学、厦门大学、华北电力大学等高校和电力研究机构为主。

4.1.1. 能源互联网的基本架构

《德国能源互联网项目总结及其对我国的启示》一文中, 尹晨晖, 杨德昌结合能源和互联网之间的融合模式, 能源互联网的基本结构分为 2 个层级: 物理结构和信息结构。能源互联网的物理结构是传统气网、电网、热网与交通网等多种能源网络互联互通融为一体, 实现多种能源系统的信息共享[17]。

查亚兵认为能源互联网是由多层次的微电网(能源互联网子系统)互联而成的实现能量和信息双向流动的共享网络。

孙宏斌, 郭庆来认为其分为“能源系统的类互联网化”和“互联网+”两层。前者指能量系统, 是互联网思维对现有能源系统的改造。后者指信息系统, 是信息互联网在能源系统的融入。

4.1.2. 关键技术及发展模式

美国学者 L. H. Tsoukalas 等(2008)提出了能源互联网建设的关键假设、结构和技术要求, 他们认为美国建设能源互联网还有一段距离要走, 相比传统电网, 智能电网已经取得了很大进步, 但是要走到能源互联网还有很多关键技术有待解决, 能源互联网在当时技术条件下还只是一种假设一种愿景[18]。Huang, A. Q. 等学者(2011)勾勒了未来适合即插即用的分布式可再生能源和分布式能源储能设施的分布式能源

体系结构。Yi Xu 等学者(2011)讨论了能源路由器设计的功能,他们在能源路由器的设计和实施方面的工作可以使电力在智能电网上实现智能能源管理[19]。Corzine, K. A.等(2014)介绍了一种可以发送电力到“能量包”的电路,就像信息可以传到计算机的网络路由器一样,这开辟了信息网络理论应用于能源互联的可能性,如路径多样、数据包确认、资源管理、自组网路由、网络拓扑控制、网络安全等,这种电路已由仿真和实验室测量得到了验证[20]。

中国 2012 年以来把“能源互联网”作为国家重点攻克课题,国家自然科学基金和国家重点基础研究发展计划(973 计划)对能源互联网研究都有资助项目:如,董朝阳等的国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2013CB228202)、国家自然科学基金资助项目(511077114, 51177145),目前的成果《从智能电网到能源互联网:基本概念与研究框架》中辨析了智能电网与能源互联网的异同,解释了什么是能源互联网,初步分析了能源互联网的框架(能源互联网事实上由 4 个复杂的网络系统,即电力系统、交通系统、天然气网络和信息网络紧密耦合构成);孙宏斌等的国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2013CB228203)、国家自然科学基金委创新研究群体资助项目(51321005)、国家自然科学基金资助项目(51537006),他们的研究成果之一《能源互联网:理念、架构与前沿展望》,文中从能源网和互联网的关系入手,分析了两者的相互借鉴的互助发展历程及形成的不同理念和特点,在此基础上提出了能源互联网的发展目标、主要理念、主要特征和基本架构,并展望了潜在的前沿问题,以及和智能电网概念的关系。尹晨晖在国家自然科学基金青年基金项目(51407186)成果支持的成果《德国能源互联网项目总结及其对我国的启示》中我国能源互联网的实施路径大体划分为 6 个阶段:家庭型能源互联网、建筑型能源互联网、社区型能源互联网、城市型能源互联网、国家型能源互联网、全球型能源互联网。田世明等(2015)国家 863 高技术基金项目(2015AA050203)支持项目的成果《能源互联网技术形态与关键技术》针对能源互联网前期已开展项目和学术观点展开深入分析,首先分析欧洲、美国和我国开展的能源互联网科研和实践工作,然后提出能源互联网的技术内涵和技术特征,并分析能源互联网的技术要素和技术形态,最后提出了能源互联网关键技术。

综上所述研究成果中可以发现,国外的学者认为能源互联网主要解决的是适合即插即用的大规模可再生能源分布式能源接入电网的关键技术,电网与信息网络深度融合的关键技术等,对能源互联网发展的清晰的路线图的研究成果较少;国内的研究者在能源互联网的概念解析、框架结构、发展路径、未来展望有一个完整的研究,并且在互联网技术层面有着突破的研究,但我们的学者喜欢先把自己研究的对象整体分析透彻,然后再在自己的研究框架下做细节的研究。国内这一点上研究明显有所不足。

基金项目

感谢北京市社会科学基金的支持,本文是《京津冀协同发展中的能源互联网建设政策支持系统研究》的阶段成果,项目编号为:16JDGLB024。

参考文献

- [1] 于慎航,孙莹,牛晓娜,赵传辉. 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(5): 104-108.
- [2] 刘振亚. 全球能源互联网与中国电力转型之路[J]. 当代电力文化, 2015(11): 12-13.
- [3] 董朝阳,赵俊华,文福拴,薛禹胜. 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.
- [4] 马钊,周孝信,尚宇炜,盛万兴. 能源互联网概念、关键技术及发展模式探索[J]. 电网技术, 2015, 39(11): 3014-3022.
- [5] 曹军威,孟坤,王继业,杨明博,陈震,李文焯,林闯. 能源互联网与能源路由器[J]. 中国科学:信息科学, 2014,

44(6): 714-727.

- [6] 曾鸣. 能源变革与能源互联网[J]. 现代国企研究, 2015(23): 24-26.
- [7] 查亚兵, 张涛, 谭树人, 黄卓, 王文广. 关于能源互联网的认识与思考[J]. 国防科技, 2012, 33(5): 1-6.
- [8] 姚建国, 高志远, 杨胜春. 能源互联网的认识和展望[J]. 电力系统自动化, 2015(23): 9-14.
- [9] 张国荣, 陈夏冉. 能源互联网未来发展综述[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(1): 1-7.
- [10] 周孝信, 曾嵘, 高峰, 屈鲁. 能源互联网的发展现状与展望[J]. 中国科学: 信息科学, 2017(2): 149-170.
- [11] 王存华. 走近全球能源互联网[M]. 北京: 水利水电出版社, 2016.
- [12] 吕凛杰. “互联网+”智慧能源发展现状及挑战[C]//中国电机工程学会. 2016 电力行业信息化年会论文集. 北京: 中国电机工程学会, 2016: 3.
- [13] 尤石, 林今, 胡俊杰, 宗毅. 从基于服务的灵活性交易到跨行业能源系统的集成设计、规划和运行: 丹麦的能源互联网理念(英文) [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3470-3481.
- [14] 王平玉, 付子怡, 刘梦贤, 金道虹. 我国能源互联网实施的可行性及发展前景研究——基于德国 E-Energy 计划 [J]. 市场周刊(理论研究), 2016(3): 77-78.
- [15] 余晓丹, 徐宪东, 陈硕翼, 吴建中, 贾宏杰. 综合能源系统与能源互联网简述[J]. 电工技术学, 2016, 31(1): 1-13.
- [16] 郑漳华, 殷光治, 宋卫东, 诸嘉慧. 欧洲电网互联现状分析及其对构建能源互联网的启示[J]. 电力建设, 2015, 36(10): 40-45.
- [17] 尹晨晖, 杨德昌, 耿光飞, 范征. 德国能源互联网项目总结及其对我国的启示[J]. 电网技术, 2015, 39(11): 3040-3049.
- [18] Tsoukalas, L.H. and Gao, R. (2008) From Smart Grids to an Energy Internet: Assumptions, Architectures and Requirements. *Proceeding of the Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, Nanjing, 6-9 April 2008, 94-98.
- [19] Xu, Y., Zhang, J.H., Wang, W.Y., et al. (2011) Energy Router: Architectures and Functionalities toward Energy Internet. *IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, Brussels, 17-20 October 2011, 31-36.
- [20] Corzine, K.A. (2014) Energy Packets Enabling the Energy Internet. *Clemson University Power Systems Conference*, Clemson, 11-14 March 2014, 38.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-9219, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: se@hanspub.org