

基于智能电网的能源互联网研究

近年来能源问题频发，受到了世界各国的广泛重视。可再生能源由于具有取之不竭、清洁环保等特点，成为应对能源危机的有效武器。但可再生能源具有地理位置分散、生产规模小、能量随机性和波动性较大等特点，使之难以得到有效利用。因此，由能源网络与互联网技术进行深入融合构成新型的“能源互联网”成为新能源发展的必然选择。介绍了能源互联网的起源及内涵，深刻探讨了能源互联网与智能电网的关系，并从电力行业角度提出了能源互联网的模型，最后确定了能源调配策略、分布式电源即插即用、分布式储能、商业模式等能源互联网的未来主要研究方向。在提倡环保，可持续发展的今天，对能源互联网的研究具有一定的意义。

吴燕¹ 白茹¹ 金鹏² 汪强³ 孟宪楠¹ 刘柳^{1/1}. 北京国电通网络技术有限公司
2. 辽宁省电力有限公司沈阳供电公司 3. 许昌许继昌南通通信设备有限公司

0 引言

目前的经济与社会发展所依赖的化石能源已经逐步进入枯竭期，能源资源、环境和气候变化等方面的挑战必须全球共同解决、且是一个长期复杂的历史过程，各个国家都高度关注低碳发展和环境保护，开发和利用清洁能源。第三次工业革命思想源于美国未来学家杰里米·里夫金。2011年由里夫金撰写的《第三次工业革命》一书出版，“第三次工业革命”概念不胫而走，引起了国内外的广泛关注。第三次工业革命是经济全球化深入发展、人类共同应对气候变化和能源资源危机等重大挑战的背景下，在信息、能源、生物、材料等技术突破、融合发展及其对产业渗透积累的前提下，由量变到质变，逐渐孕育发生的广泛的工业化方式的深度变革。

里夫金在其书中提出：“我相信我们正处在第三次工业革命的开端，在这次革命中，互联网技术将与可再生能源结合在一起，创造一种强大的、新的能

源基础设施。”新的通信技术和新的能源系统结合——互联网技术和可再生能源的结合会构建一种全新的信息能源融合体——能源互联网。通过能源网和互联网的深度融合来解决人类所面临的能源危机和环境问题，并成为新经济模式变革的强大支柱，引发更大的经济增长点。在众多能源形式中，电能清洁、高效的特性使得以电为中心构建能源互联网成为必然选择。

1 智能电网承载第三次工业革命

2014年国网公司重新定义了智能电网的科学内涵：坚强智能电网是网架坚强、广泛互联、高度智能、开放互动的能源互联网。智能电网作为未来的“能源互联网”，是第三次工业革命的基础平台，对第三次工业革命具有全局性的推动作用。

智能电网推动能源开发方式变革。未来能源生产领域变革的重要内容是利用新能源替代传统化石能源，解决能源总量供给和生态环境问题。近年来国家电网公司大力推进新能源的开发利用和分布式电源的应用，对能源资源进行准确预测和优化调度，提升电网接纳清洁能源的能力；融合传感、通信、自动控制等技术，消弱高渗透率分布式电源接入对电网的影响，实现分布式电源的有序并网、“即插即用”以及与电网的友好互动。

智能电网推动能源配置方式变革。未来能源配置方式变革的核心内容是加强能源资源的大范围、高效率优化配置，提高能源传输系统的整体协调和互动能力。智能电网基于超远距离超大规模输电技术、多种能源协调优化调度技



吴燕/工程师

关键词/Keywords

第三次工业革命 ·
智能电网 ·
能源互联网 ·
微电网 ·

术等,实现各区域电源特性的优势互补,实现电力的大容量、远距离传输,支撑能源基地的集约化、大规模开发。智能电网集能源输送、配置、服务等功能于一体,将成为现代社会最庞大的能源供应系统。

智能电网推动能源消费方式变革。未来能源消费方式的发展趋势是提高能源消费的电气化水平,促进能源使用效率提升,实现能源的绿色消费。基于灵活的信息网络技术和智能控制技术,使得用户能够根据自身用电习惯和特点自由选择用电方式,用电方式趋于多元;通过需求响应、能效管理等技术,实现主动、智能用电,实现双向互动,满足用户智能用电和互动服务需求。智能电网推动能源消费从单向、被动的用电方式,向灵活、互动的智能化用电方式转变。

智能电网推动生产生活方式改变。与传统电网相比,智能电网建设更注重绿色、智能、服务等生产方式;电力生产更加关注产品的碳足迹,注重产品的环境属性,实现绿色生产;电力设备、智能家居等产品将向数字化、智能化定制方向发展。智能电网与物联网、互联网等的深度融合,有助于实现公共服务的集成化,推动生活的智慧化。

智能电网推动战略新兴产业发展。智能电网是技术密集型产业,智能电网向能源互联网转变将带动产业链条的发展。从能源开采、先进材料等上游产业到发电侧产业、电网侧产业、用电侧产业、信息通信产业及面向终端用户服务的下游产业都起到不同程度的拉动作用,其中对新能

源、新材料、电动汽车、信息产业等行业推动作用最为显著。

2 基于智能电网的能源互联网模型——微能网

受第三次工业革命思想的冲击,国内能源行业开始规划自身的能源进化与产业发展路线。微能网是以智能电网建设为基础,站在电力行业角度提出的能源互联网的模型。微能网的建设不是废旧立新,而是在现有电力基础设施上进行新建改造,在兼容传统电网的基础上,充分、广泛和有效地利用分布式可再生能源,实现多种能源协调控制和综合能效管理,建成多点接入、网络共享、需求感知的区域能源互联网。

微能网是以互联网思维构建的新型信息—能源融合体,是实现能源—电网双向流通、区域能源协调调配、终端用能智慧互动的共享网络。微能网整体架构包含三个层次:以分布式能源、智能小区等微电网形式作为能够实现自循环—自消耗的能量自治单位;以能源路由站作为区域能源自治单位的能源接入和能源调配站;以能源集散中心作为区域间能源调度总站、电网运行状态等信息的能源集散和信息处理的中心,实现在能源路由站之间的协调控制,如下图所示。

能源集散中心是微能网的核心,同时是微能网的电源点、并网点和公共负荷中心。能源集散中心以智能变电站为依托,结合分布式发电、集中大型数据中心、电动汽车充换电站等公共负

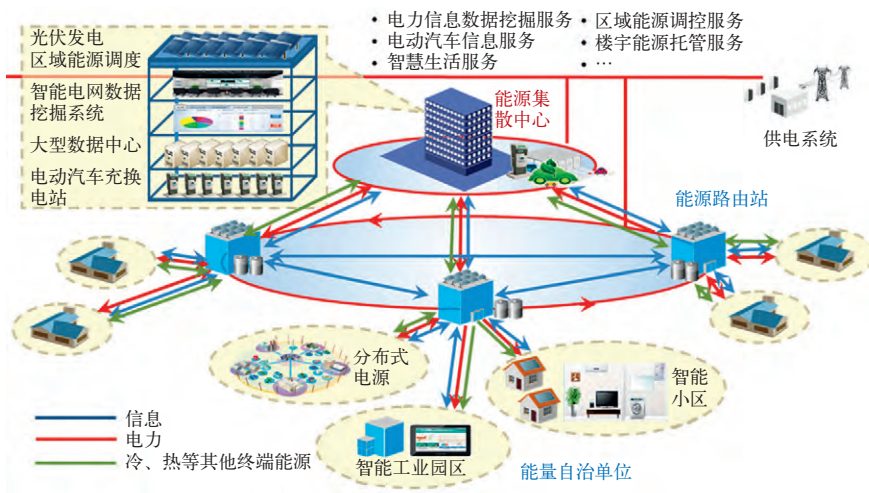


图 微能网架构示意图

荷,实现多种能源转换和区域能源预测、调度与计量结算。能源集散中心能实现管控范围内能源路由站之间能源的汇聚及调度,并依据微网状态和电网运行等信息流,实现电能的双向按需传输和动态平衡使用。

能源路由站由较低电压的等级变电所或配电所升级而成,包含小型的储能设施、分布式电源集中接入点、终端多能协调控制中心、通信网络汇聚点。能源路由站位于微能网的中间层,路由站下游的分布式电源和负荷一般形成小型微电网,在路由站处并网。能源路由站之间应实现源-荷动态平衡,因此至少应有联络3个站的配电/冷/热环网,实现能源转发,并进行跨网结算。

能量自治单位是能源互联网的基层单元,由能源路由站下辖的局部微电网升级而来。能源自治单位主要包括微电网、分布式能源和智能小区等能够利用风能、太阳能等清洁能源进行发电的单位,这些单位既可以独立运行,能源自给自足,又可将冗余能量上传至能源路由器的储能设施,参与调度转发,并通过“分布式电源即插即用”,实现随时自动报装、自动上网、自动计费。在自身能源供给不足的情况下,除使用区域能调配的清洁能源外,可自动切换利用大电网中的电能,保证自身用电的可靠性和连续性。

3 微能网的主要研究方向

由于微能网是在智能电网的基础上融入互联网的思维模式和关键技术构建而成的,与信息互联网存在很多相似之处。研究和建设微能网可以从信息互联网的构建中汲取很多经验。但是也应当注意到电能和数据之间存在很大差异。大量的电能长距离输送过程中管理和调度的难度都会增加,而信息的传输和管理则容易很多。另外,电能很难像互联网中的数据那样实现大规模存储且存储成本很高,但能量存储可以起到缓冲作用,对复杂系统的稳定性至关重要。在架构微能网的过程中需要充分考虑这些差异和问题,并对其中的关键技术和难题进行深入研究,下面介绍构建微能网研究重点。

(1) 能源调配策略

城市的终端能源消费结构相对复杂,要在城市

实现电能和其他多种复合能源的互联和协同调配,能源路由策略、技术是必须突破的技术核心。首先构建能源路由器技术架构,研究能源路由器的能量传输、存储、控制、信息通信、接口、分散自治协调管理;其次还要根据负荷的要求以及电网的运行状况,对控制策略进行优化完善,尤其是不同控制策略的整合、协调和平滑过渡。

(2) 分布式电源即插即用

分布式电源即插即用技术可以实现多种形式的用户侧分布式电源、储能的规模化灵活并网,是微能网建设的重要内容。首先需要研制模块化的接入转换、控制设备和适应性系统,研究分布式通信与控制统一架构,实现分布式电源设备在通信和控制层面的即插即用。其次研究适用于多电源、多支路、不同电价计量计费的双向计量技术,实现多电源供电的用户购、售电和用户发自用电补贴的计量计费。

(3) 分布式储能

分布式发电的能量波动与用户能量需求的随机性导致能量流的不确定性与无序性。由于分布式储能技术可以有效消除能量流的不确定性,并使能量的有序流动成为可能,成为微能网重要基础支撑。分布式储能技术需要研究冰蓄冷、水蓄冷、热泵蓄热、蓄电池等冷热电多元典型储能特性,并开展分布式冷热电储能的协调优化布局和容量配置研究。通过选用合理的储能装置,使之更加符合分布式可再生能源发电的稳定性和容量要求。

(4) 商业模式

按照里夫金的观点,能源互联网的提出更多的是来源于一种哲学和经济学层面上的思考,而没有提出具体的实现模式。从能源互联网基本构成来看,其建设更多是基础设施建设,投资量较大,并且资金回收期较长。要实现能源互联网的可持续发展,需要深度结合政府、企业、社会等多方资源,通过设计合理的模式,构建良好的融资渠道并实现长期稳定的收入。对于微能网的建设模式,应考虑建设微能网的参与方构成,明确政府、国网公司以及企业等参与方的角色分工,平衡各方利益。以电力行业角度提出的能源互联网模型应考虑以国网公司牵头建设,积极争取政府优惠政策,建立能源互联网产业联盟,广泛吸

收各类企业资源优势,进行微能网基础设施及服务平台建设,提供多样化的能源服务,推动能源生产和消费模式的转型。

4 结束语

自2009年起,国家电网公司已经开展了多项智能电网综合工程建设,实现了电网智能化水平的全面提升。坚强智能电网的建设理念在国际上得到广泛认可,实践成就举世瞩目,客观上已具备承载并推动第三次工业革命的坚实基础。构建以智能电网为基础的能源互联网不仅能够有效解决可再生能源的汇集、传输和消费问题,而且可以推动能源开发方式、能源消费方式、生产生活方式的改变,为新工业革命开辟更广阔的空间。但是如何实现能源互联网的全面建设,对智能电网的建设和电力市场改革等方面提出了更高的要求。能源互联网的发展尚处于起步阶段,其发展方向和特点都有待于专家学者们的进一步研究。同时能源互联网的建设是一项长期的系统工程,它不仅仅涉及技术问题,还需要政府引导、全社会的参与,要实现能源互联网的全面建成的确还有很长的路要走。

(上接第577页)

作也将根本性变革。不断变化着的能源秩序所调整的能源外交和国际合作,也重新塑造世界能源秩序。

基于上述原理的需求侧响应将进一步与客户需求相结合,适应世界各国经济社会发展形势、符合客户用能需求及习惯的用能新模式建立,回归能源电力的商品本质属性,能源互联网的益处持续彰显。鉴于发展的持续深入性,电力智能化将不仅仅局限于生活必需品的单一范畴,探索更大范围内需求响应技术的应用及商业化运营机制有待视野的进一步放开。可以预见未来需求响应的广泛实施,将使需求侧资源成为电网调节和消纳新能源的重要手段,实现能源资源优化和能源效率提升。

由此得出结论:智能电网作为大数据应用的良好基础,必将使电力事业发展焕发新的活力,同时电力缺口预测仅是大数据应用的冰山一角,

参考文献

- [1] Maibritt Pedersen Zari. Biomimetic app roaches to architectural design for increased sustainability [C]. Sustainable Building Conference (SB07) 2007,Auckland,New Zealand, 2007.
- [2] Tsoukalas L H, Gao R. From smart grids to an energy internet: assumptions, architectures and requirements [C]. DRPT 2008, April 6-9, 2008, Nanjing, China.
- [3] 杰里米·里夫金. 第三次工业革命[M]. 张体伟, 孙毅宁, 译. 北京: 中信出版社, 2012.
- [4] 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(5).
- [5] 贾要勤, 杨仲庆, 曹秉刚. 分布式可再生能源发电系统研究[J]. 电力电子技术, 2005, 39(4).

(收稿日期: 2015-03-30) EA

作者简介

吴燕, 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为能源互联网、智能电网、智慧城市。

白茹, 女, 硕士, 经济师, 主要研究方向为能源互联网、智能电网、智慧城市。

参考文献

- [1] 王震. 能源互联: 网络全球的大革命[J]. 国家电网, 2014, 10 (10) : 42.
- [2] 许勤华. 能源互联下的世界能源秩序[J]. 国家电网, 2014, 10 (10) : 52.
- [3] Stock, James H, Watson Mark W. Introduction to econometrics[M]. U.S.:Pearson Education, 2012.

(收稿日期: 2015-03-30) EA

作者简介

王彦力 (1985-), 女, 工程师, 电力信息通信应用研究。

刘畅 (1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 电力建设信息化应用。