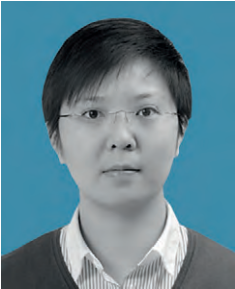


能源互联网发展路径及建设应用

在第三次工业革命的大背景下，全球开展能源互联网建设探索。为顺应趋势发展、迎接新一轮机遇和挑战，国家电网董事长刘振亚也提出“构建全球能源互联网，服务人类社会可持续发展”，号召国家电网公司立足于电力行业在能源互联网领域探索发展模式。主要介绍三次工业革命的发展历程，从电网发展理念角度，印证开展能源互联网建设是第三次工业革命推进的切入点；从电网实现功能角度，分别从发电侧、用电侧及管控侧，提出开展能源互联网建设及应用的拓展思路；各子项建设具体方案作为能源互联网建设基本单元，为未来能源互联网建设发展提供参考。

吴燕¹ 孟宪楠¹ 金鹏² 汪强³ 耿亮¹ 白茹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. 许昌许继昌南通信设备有限公司



吴燕/工程师

1 能源互联网起源

能源是人类生存发展的重要物质基础。如今能源问题和环境问题日益突出，严重威胁到人类的可持续发展。在全球气候变化和能源紧缺的背景下，人们一方面寻找可以持续利用，同时又清

洁无污染的可再生能源资源，如水能、风能、太阳能、生物质能和海洋能等；另一方面思考如何依靠通信信息、互联网、控制技术有效地协调与利用资源，以解决难题。然而，能源问题的解决，已不是通过简单地增加能源供给、提高能源利用效率就可以实现的，而是需要全面的变革。这个变革需要把能量流和信息流进行深度融合，建立一个全新的能源体系，形成能源应用的创新形式。可再生能源为新能源体系提供了能源供给，而信息通信技术的发展与成熟则为可再生能源的利用提供了支撑。随着行业进步、社会发展过程中不断提出新的能源需求，在此情况下出现了第三次工业革命。

工业革命又称产业革命，是指由于科学技术上的重大突破，使国民经济的产业结构产生重大变化，进而使经济、社会等各方面出现崭新面貌的过程，如下表所示。

纵观工业文明的发展历程，发现每

表 三次工业革命

三次工业革命	发生时间	能源方式	通信方式	标志产业	生产方式
第一次工业革命	18世纪中期 英国发起	煤炭	报刊、杂志以及书籍出现的印刷材料	铁路 蒸汽机	工厂机器生产代替作坊手工制作
第二次工业革命	19世纪70年代 美国发起	石油	电话、收音机、电视机	电力、汽车燃油内燃动力机	大规模流水线自动化机器生产
第三次工业革命	21世纪 多个国家发起	可再生能源(太阳能、风能等)	互联网	3D打印 能源互联网	分散合作式、个性化、就地化、数字化生产

关键词/Keywords

能源互联网·
发展建设·
应用·

次工业革命都有一种生产工具给每个行业带来效率的大幅提升。美国学者杰里米·里夫金认为“第三次工业革命”=互联网技术+可再生能源，每个人都将成为可再生能源的制造者，并能够通过互联网技术进行共享，传统的、等级森严的经济和政治权利将被节点式组织的扁平化权利取代。同时随着互联网大潮的兴起，对传统行业的逐步渗透，2015年政府工作报告提出“互联网+”概念，能源互联网作为“互联网+能源”的载体，是能源领域的突破与发展重要方式。

1.1 智能电网承载能源互联网建设

通过先进的电力电子技术、信息技术和智能管理技术，将大量由分布式能源采集装置、分布式能源储存装置和各种负载构成的新型电力网络节点互联起来，实现能源流双向流动的能源对等交换与共享网络，这就是能源互联网。

电力作为最重要的能源形式，以电为中心、以智能电网为平台是新一轮能源变革的根本。智能电网作为未来全球“能源互联网”，是第三次工业革命的基础平台，并带来全局性的推动作用。未来智能电网将发生四个主要变革场景：能源生产方式变革，能源配置方式变革，能源消费方式变革，生产生活方式改变，并对支撑变革场景的电网信息通信提出更高需求。目前公司作为世界智能电网建设的领跑者之一，坚强智能电网的建设理念在国际上得到广泛认可，坚强智能电网的实践成就举世瞩目，客观上已具备承载和推动第三次工业革命的坚实基础。

具体包括智能电网强大的资源优化配置能力，通过特高压输电网络搭建，实现了远距离、低损耗的高效输送；安全稳定运行水平，具备拉手链路，互为备份，有抵御突发性事件和严重故障的能力；显著的兼容性，具备分布式电源和微电网的接入的条件；与用户之间的便捷互动能力，具备电力需求侧管理以及家庭能效管理中心，与互动平台相联通；基础电网有广阔的基础设施增值服务潜力，可与多种平台灵活对接，服务国家“三网融合”战略。

1.2 电力领域发展是能源互联网发展的切入点

随着新一轮能源变革的到来，新能源技术、智能技术、信息技术、网络技术不断突破，我国

电网也大力开展智能化建设，与能源发展新格局全面融合。以电为中心转变能源开发利用方式，是目前全球能源发展的战略方向，今后的能源变革都将围绕更清洁更经济的发电、更安全更高效的配置、更便捷更可靠的用电展开。

1) 电力能源是唯一能承载信息的能源形式。信息化是一切智能化的基础，随着与传统行业的结合而创新出新的发展方式。为满足能源互联网在能源生产方式变革，能源配置方式变革，能源消费方式变革，生产生活方式改变等场景变革下，对信息通信提出更高的要求，智能电网具有先天的承载优势和能力，引领能源基础设施变革。

2) 电力能源在能源传输效率方面具有无法比拟的优势。未来能源互联网可以定义为互联网式的电网，狭义上实现家庭侧与电网侧的能量流通，广义上讲可实现“一级一道”的能量传递，智能电网支撑的能源互联网使电网由过去的封闭式、单向的电网，转变为互动式电网变成可能。

3) 电力是清洁能源，智慧能源是从根本上实现我国节能减排目标，促进国家产业升级的重要手段，实现国家的绿色可持续发展的基本保障。

4) 电力能源能够与其他能源形式灵活转化，包括电力的蓄冷蓄热，冷热电三联供，能够多角度满足人们生产生活所需，减少碳排放。

5) 电力基础设施完善，智能电网建设取得了一定得成就，包括特高压主网建设，为能源互联网发展建设做好充分准备。

2 能源互联网基本组成及建设应用

能源互联网概念新、范围广，目前属于建设筹划初期，并无系统解决方案。本文考虑从新能源、通信技术以及延伸的负荷管理作为建设实施的重要建设组成环节（建设需根据实际情况开展项目集成和拓展）。首先新能源发展，即在现有传统能源供给系统的基础上，利用新能源技术，实现能量生产装置、信息采集装置、储存装置等的接入和应用，促进新能源的就地生产和消纳，提升清洁能源渗透率；信息通信技术作为第三次工业革命的基础支撑，属于基础设施范畴，既是大规模可再生能源及小型分布式能源的广泛接入

的必要基础,同时也是电网与用户之间的联动的必要支撑;用电负荷单元作为能源互联网的最末端,是能源消纳端,对其智能化、交互式管理可实现清洁能源的高效利用及节能减排。如下图所示。

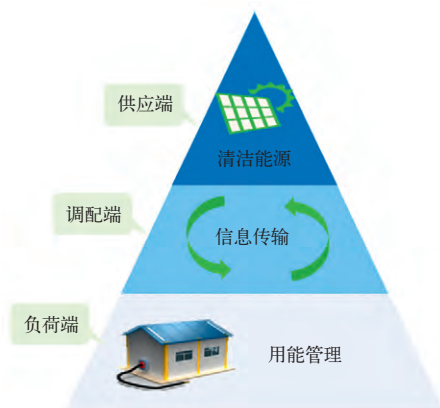


图 能源互联网基本组成架构图

2.1 供应端—发电侧

(1) 分布式光伏及微电网建设

区域多微电网建设,包括嵌套式微电网、低压光储微电网和多点光伏并网等形式。嵌套式微电网是与其他能源形式(包括冷热)联供,同时配有储能,为固定负荷供能;低压光储微电网是配套与负荷及储能同等规格的光伏装机容量,形成小型的定量式的循环使用;多点光伏并网是选择将光伏发电接入用户进线处,或在所属配电站下建设集中式储能,接入低压配电母线。

(2) 储能

安置小型分布式储能控制系统,应用储能调频、调峰技术,配电网孤岛运行技术,对新能源输入进行缓冲,提升电网整体运行安全性和经济性,配合实现新能源多场景应用。另外,发生灾害时“电力路由器”之间通过流通蓄电池储备电力,防止区域停电。

(3) 研发分布式电源即插即用接口装置

研制分布式电源即插即用接口装置,集逆变装置、计量装置、保护装置、滤波装置、通信模块于一体,采用载波、WIFI等通信方式,实现与智慧家庭网络及(智能家居)进行交互,实现发电电量信息、身份认证、电量计费等信息的传输。

(4) 分布式电源即插即用管理系统

系统主要功能包括用户信息的管理与校验、

分布式发电监测与评估、用户计费管理等。基于智慧家庭网络,实现对用户的分布式电源接入装置进行监测、管理和电量结算。实现用户的发电量,电卡标识等信息与营销业务系统交互,实现用户的电量结算。

2.2 调配端—管控侧

(1) 基于光纤网络的多业务承载

立足电网基础设施,在已有光纤网络的区域,承载分布式电源接入、用电信息采集、智能家居等多项用电业务的基础上,承载配电自动化、配网协调管控等配电业务。

(2) 多微网协调管理系统

通过区域多微电网在嵌套、并列、分散多点接入等多种组网方式下的协调优化运行技术,实现区域多微电网动态最优组网和能量多目标优化。其中,在正常运行状态下的基于发电和负荷需求预测,结合多种分布式电源、储能和负荷控制,实现区域多微电网最优能量管理,提高分布式能源消纳比例,提高多种能源综合利用效率。在故障情况下通过动态最优组网技术,实现多微电网互补协调,快速恢复重要用户供电。有效支撑区域多微电网动态协同优化目标。满足计及区域综合能效、分布式能源消纳、用户分布式电源自用率、经济效益最大化等的不同能量优化需求。

(3) 储能控制系统

选取能耗较高地区安置分布式锂离子电池,形成小范围内的储能系统,实现分散式锂电池多点联合控制模式,实现调频调峰功能;同时将数据上传至调控中心,由调控中心结合整体运行情况对储能发送深度调峰调频指令。

(4) 能源综合展示

针对地区特性及配用电网络的结构,结合需求响应与能效分析、数值气象预报与功率预测等辅助手段,实现区域内多种能源协调运行及综合展示。

2.3 负荷端—用电侧

(1) 居民用户能效分析

系统可以建立主要用能设备能效模型,通过对用户用电负荷、电能质量数据和用能数据进行综合分析,实现用户能源使用的综合评估、分析与比较;提供经济高效的用能策略,引导用户持续改进用能方式。同时,用户可通过系统制定适

合于自己用电情况的控制策略,系统将按照控制策略实现对用电设备的控制,实现能效的闭环优化控制。

(2) 用户侧需求响应

在商业楼宇、工业企业、居民用户能效控制设施的基础上,系统通过和多能源联合优化和协调控制互动,获得需要进行调控的容量,根据不同类型用户用电模式的生成动态协调优化策略,按照预定策略进行调控,有效地降低峰值负荷。系统对用户需求响应进行管理,根据用户需求响应参与时间作为补偿的主要参考依据。

(3) 家庭能效中心

在家庭室内配电箱建设智能家庭能源中心,设备集成用电计量、智能家庭网关模块、WIFI通信模块等,实现家庭用电量总计量、分路计量、即插即用光伏发电计量;室内家庭WIFI覆盖和电力线通信网络覆盖,实现三表抄收;智能家居等智慧家庭功能,同时实现家庭能效管理、智能家居服务、扫描缴费、四网融合等服务。

(4) 电动汽车

公共交通场站、住宅小区、商业中心等地建设电动汽车充换电设施,建设交流充电桩及电动汽车快充设施及集成式充电桩,建成电动汽车充电服务网络,发挥公共服务平台在电动汽车相关领域的信息枢纽和带动支撑功能,最大化发挥信息价值。

3 结束语

智能电网是承载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。从局域范围看,能源互联网目前是以微网形式实现小范围内能源流、信息流、业务流的融合,实现用户与电网之间的双向互动,满足日益多样化的用户需求。广义层面上,刘振亚董事长提出了更宏大的能源互联场景,即推进清洁能源发展和电能替代,构建全球能源互联网,特别是要开发“一极一道”等大型能源基地、构建全球特高压骨干网架、推动智能电网在全球广泛应用、强化能源与电力技术创新。这不仅是传统意义上的能源输送,还是功能强大的能源转换、高效配置和互动服务网络平台,服务智慧城市发展,是未来的能源互联网平台;同时还能够

实现多能互补、协调开发、合理利用,同时能够连接大型能源基地和用电负荷中心,在更大范围内优化能源配置。

参考文献

- [1] Alex Q Huang, Mariesa L Corw, Gerald T Hegdt, et al. The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: the energy internet, [J]. Porceedings of the IEEE, 2011,99(1).
- [2] Palo Alto. Technical and economical evaluation of a solid state current limiter [R]. Electric Power Research Institute (EPRI), 2002: 148-152.
- [3] 刘振亚.智能电网与第三次工业革命[N]. 科技日报, 2013-12-13(12).
- [4] 孙柏林. “第三次工业革命”十问[J]. 自动化博览, 2013(1).
- [5] 浙江经济和信息化委员会.智能电网引领能源变革, 推动经济转型升级[N]. 国家电网报2013-12-17(12).
- [6] 刘辉. 能源互联网[J]. 中国电力教育, 2014(10).
- [7] 查亚兵, 张涛, 谭树人. 关于能源互联网的认识与思考[J]. 国防科技, 2012(5).
- [8] 刘振亚. 全球能源互联网发展构想[C]. 全球可持续电力合作组织2014峰会, 2014.
- [9] 项峰臣. 建设智能电网对我国电网发展的重大意义[J]. 物联网技术, 2011(7).
- [10] 王旭辉. 特高压是“能源互联网”的主动脉(聚焦)[N]. 中国能源报, 2014-02-10(25).
- [11] 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(5):30.
- [12] 晏阳. 能源互联网下的新型配电网系统[J]. 电气时代, 2012(10).
- [13] 龙惟定. 热电冷联供技术分析 & 政策建议[J]. 电力需求侧管理, 2010(7):12.

(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。

孟宪楠, 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。