

# 构建中国智能电网技术思考

肖世杰

(国网电力科学研究院, 江苏省南京市 210003)

**摘要:** 以当前智能电网研究现状为背景,通过对智能电网与传统电网、国内外智能电网建设背景的差异分析,阐述了对构建中国智能电网技术的几点思考,并着重分析了构建中国智能电网需要关注的几个研究方向。

**关键词:** 智能电网; 电网发展; 特高压; 信息化; 自动化

**中图分类号:** TM73

## 0 引言

近年来,美、欧等不少国家都相继开展了智能电网的相关研究。一时间,智能电网一词成为国际上一个关于未来电网发展趋势的热门名词。

1998年,美国电力科学研究院(EPR)推出了复杂交互式网络/系统(CIN/SI),可以认为这是美国智能电网的雏形。2000年前后,EPR正式提出“Intelli Grid”概念,并启动了相关项目,而美国能源部(DOE)当时则提出了“GridWise”。虽然二者称谓不同,但内涵和目标基本一致。此后,在2004年—2005年间,美国智能电网研究开始蓬勃发展,DOE先后发布了“Grid 2030”、“国家输电技术路线图”等,阐述了美国未来国家电网远景和技术战略,开展了“GridWise”和“现代电网(MGI)”等项目,随后几年中,美国电力企业开始在智能电网领域开展了一系列探索<sup>[1-4]</sup>。

在欧洲,则采用了“Smart Grid”。为了应对近年来欧洲电力设施老化、跨欧电力市场建设,以及日益增长的可再生能源并网发电的挑战,欧洲委员会于2005年正式成立智能电网(Smart Grids)欧洲技术论坛,希望把电网转换成用户和运营商互动的服务网,提高欧洲输配电系统的效率、安全性及可靠性,并为分布式和可再生能源的大规模应用扫除障碍。2006年,论坛提出了智能电网远景,之后制定了战略研究议程(SRA),指导欧盟及其各国开展相关项目,推进智能电网的实现<sup>[5]</sup>。2008年DOE出版了一份名为“The Smart Grid”的报告,似乎也开始接受这个名词。

目前,智能电网还处于初期研究阶段,国际上尚无统一而明确的定义。由于发展环境和驱动因素不同,不同国家的电网企业和组织都在以自己的方式

和理解,对智能电网进行研究和实践,各国智能电网发展的思路、路径和重点也各不相同。因此,智能电网概念本身也在不断发展、丰富和明晰中<sup>[6-8]</sup>。

本文针对中国智能电网的建设背景,阐述构建中国特色智能电网的一些技术思考。

## 1 智能电网与传统电网的差异

传统电网是一个刚性系统,电源的接入与退出、电能量的传输等都缺乏弹性,致使电网没有动态柔性及可组性;垂直的多级控制机制反应迟缓,无法构建实时、可配置、可重组的系统;系统自愈、自恢复能力完全依赖于实体冗余;对客户的服务简单、信息单向;系统内部存在多个信息孤岛,缺乏信息共享。虽然局部的自动化程度在不断提高,但由于信息的不完善和共享能力的薄弱,使得系统中多个自动化系统是割裂的、局部的、孤立的,不能构成一个实时的有机统一整体,所以整个电网的智能化程度较低<sup>[9-10]</sup>。

与传统电网相比,人们设想中的智能电网将进一步拓展对电网全景信息(指完整的、正确的、具有精确时间断面的、标准化的电力流信息和业务流信息等)的获取能力,以坚强、可靠、通畅的实体电网架构和信息交互平台为基础,以服务生产全过程为需求,整合系统各种实时生产和运营信息,通过加强对电网业务流实时动态的分析、诊断和优化,为电网运行和管理人员提供更为全面、完整和精细的电网运营状态图,并给出相应的辅助决策支持,以及控制实施方案和应对预案,最大程度地实现更为精细、准确、及时、绩优的电网运行和管理<sup>[9-10]</sup>。

与传统电网相比,智能电网将进一步优化各级电网控制,构建结构扁平化、功能模块化、系统组态化的柔性体系架构,通过集中与分散相结合,灵活变换网络结构、智能重组系统架构、最佳配置系统效

收稿日期: 2009-04-08; 修回日期: 2009-04-20。

能、优化电网服务质量,实现与传统电网截然不同的电网构成理念和体系。

由于智能电网可及时获取完整的电网信息,因此可极大地优化电网全寿命周期管理的技术体系,承载电网企业社会责任,确保电网实现最优技术经济比、最佳可持续发展、最大经济效益、最优环境保护,从而优化社会能源配置,提高能源综合投资及利用效益。

## 2 国内外智能电网建设背景不同

电力行业作为社会基础产业,是国家发展的命脉产业之一。电网建设与国家能源资源结构、产业布局、经济发展规划和相关政策密切相关,同时也与本国的能源资源条件、能源资源输入可能性以及国家能源战略安全等密切相关。

随着中国经济社会高速发展,电力需求日益增长,中国电力工业建设进入快速发展时期。一方面,电网建设规模日趋扩大,电网负荷变动剧烈,区域负荷不平衡;另一方面,电网架构依然薄弱,亟待坚固补强。中国能源资源分布、经济发展不均衡,必须提高电网输送能力,发展远距离、大跨距、大容量输电,加强统一协调和规划建设,形成统一调度运行的统一或联合电网。

而国外发达国家的电力工业已步入成熟期,输电网架构变化很小,电网发展趋于平稳,电力需求趋于饱和,电力供应及冗余储备趋向平衡。出于体制和利益需求,他们最为关注的是停电时间最小化和市场效益最大化。因此,从国外对智能电网的研究现状来看,其侧重于建立一个高效、安全、环保、灵活应变的智能电力系统,更多地从市场、安全、电能质量、环境等方面出发,从用户端的角度来看待和研究智能电网,更多地强调信息与电网的结合及基于信息的业务重整。

另外,国外尤其是欧、美国家所倡导的智能电网,更关注于分布式电源及客户端的接入、信息的获取与传输及其之上的高级功能与业务应用。但随之带来的巨额投资及技术不确定性,将是一个巨大的挑战。

中国的国情决定了必然要建立具有中国特色的智能电网。中国的智能电网建设,应该是依据中国能源资源的具体国情、适应国家发展的战略部署、结合国内电网的发展思路、考虑未来中国发展的预期远景,基于不同重点进行规划。中国的智能电网建设,不仅要涵盖欧、美智能电网的概念和范围,还要加强骨干电网建设,即建立一个以特高压电网为骨干网架的各级电网高度协调发展的智能电网。中国特色的智能电网必将引领国际智能电网的发展潮流。

## 3 构建中国智能电网的思考

### 3.1 构建中国智能电网的考虑基点

电网作为极为复杂的人工系统,涉及到社会、经济、技术、管理的诸多层面。智能电网作为电网发展的高级产物,势必带来一场电力工业的变革,必然涉及电力系统的方方面面,也为社会经济各层面带来变化;同时,也要适应社会经济发展和技术进步的需求。基于电网发展和技术发展的客观规律,智能电网的发展和建设,应是一个长期、持续、完善、提高的过程,因此有必要厘清智能电网建设的考虑基点。

智能电网的建设,既要考虑国家发展战略、国家能源政策及产业布局、国家宏观经济发展预期、社会经济的刚性需求、电网架构的成熟度、特殊运营条件下的供电应对及电力储备等,还要考虑综合经济效益、电网安全可靠、环境保护、可持续发展、附加增值服务及溢出价值回报等。

智能电网的建设,不仅应涵盖电网业务、电网运营及电网建设自身,还应包括电网的宏观规划、未来远景、技术创新等诸多方面;同时,不仅要整合电网业务,还应兼顾电源侧和用户侧的服务和需求。对于分布式和可再生能源系统,应考虑其接入的安全性、可靠性、经济性等。

### 3.2 中国智能电网建设的构想

坚强的实体电网与信息化、智能化的控制体系形成一个有机互补的智能电网。实体电网是实现智能电网的基础,智能控制体系是智能电网实现的手段。

因此,智能电网应涵盖电源、电网、用户的全流程,形成有机统一整体;智能电网的业务环节,应覆盖电网建设、生产调度、电能交易、技术管理的全方位;智能电网的管理控制,应贯穿电网规划、设计、建设、运行维护、技术改造、退役的全过程;智能电网的数据流,应包括信息采集、信息传输、信息集成、信息展现、决策应用等各阶段,最终形成电力流、信息流、业务流的高度融合和一体化。智能电网除了为电网安全、稳定、经济、优质和高效运行提供全方位技术支撑外,还将为绿色节能环保、资源最优化配置、防灾减灾等方面提供坚强的技术支持。

未来智能电网在垂直架构上,将由智能装备层、智能生产调度层和决策管理层构成;在横向层面上,将由大、中型区域电网通过坚强骨干电网联系起来,而大、中型区域电网则分层分区柔性接入集中式和分布式电源、各类终端用户。在信息流上,通过纵向贯穿、横向贯通的网络共享平台,实现电网实时信息的交互、共享。

因此,未来的智能电网将是更加聪明、灵活、健康、友好、负责的电网。

### 3.3 需要关注的几个研究方向

#### 3.3.1 坚强实体电网

实体电网作为智能电网的物理载体,是实现智能电网的基础。考虑到我国能源资源分布和经济发展的不平衡性,以及今后国家加大对不发达、欠发达地区的政策性发展支持,如何及时、按需、合理、安全地实现全国能源再分配,是中国经济发展所面临的重要问题。以特高压为基础的互联骨干电网可高效地解决这一问题,并为将来中国经济的持续发展提供可持续发展的电力供应。因此,一个坚强的特高压电网是未来智能电网的基础。

为此,国家必须加大骨干电网建设,尤其是特高压电网的建设,以构成坚强的国家电网构架,夯实智能电网基础;加强大区域电网的坚固性建设,实现大区域电网的互联,保证电网的协调发展,为实现大区域电网智能运营创造条件;同时也要加强地区配电网的结构优化及升级,构建灵活、可靠、坚固的配电网,适应未来分布式电源、微网的柔性连接<sup>[11-12]</sup>。

在实体电网建设过程中,必须进行前瞻性的探索、规划和构建,以长远的眼光来研究中国电网的发展。在技术实施手段上,要大力推进先进技术创新,积极采用成熟先进技术,使实体电网在架构上、技术上、装备上满足未来智能电网的需求。中国特高压试验电网的建设给我们在前瞻性电网建设方面提供了大量的宝贵经验。

#### 3.3.2 智能电网装备

信息是智能电网的基础支撑,信息的获取需要大量的智能装备来支持。

在智能电网中,一次与二次、装备与电网、装置与系统将更加融合,复合技术应用日益广泛。专业界限的模糊将使得智能电网中智能系统的外延大大拓宽。

智能电网的装备不仅涵盖传统二次系统的测控、保护、安全稳定控制等装置,还将包括传统一次系统的智能电器、静止补偿装置、固态开关、优质低价和高容量的储能装置等。

可以预期的是,各种智能设备和智能系统在智能电网中将呈现日益整合、相互交融、灵活组态的发展趋势。因此,在今后电网建设和改造中,应该鼓励和优先采用适用于未来智能电网建设所需和可用的智能电网设备。

#### 3.3.3 信息交互平台

多年来,国内电力行业在通信及信息技术方面做了大量工作,对电网自动化水平的提高发挥了巨大作用,而未来智能电网对此方面的技术要求会更高,依赖性也会更强。支撑广域、全景实时信息的传输系统建设成为智能电网的一项重要工作。因此,必须从战略高度重视新型信息、通信网络体系结构

的研究与试验工作。

在对适应于智能电网信息传输平台的建设过程中,应重视结构扁平、多层分布、功能可组及布置灵活等设计。必须注重信息与业务的关联度及整合度,合理构建信息交互与共享的层次架构,避免无谓的、甚至是有害的海量信息操作。同时,新型的信息交互平台必须是坚固的、灵活的、抗攻击的、自防御的<sup>[13]</sup>。

必须考虑现有通信网络改造和构建新兴网络体系结构的并行发展;整合相关研发资源,给予多种新型网络体系结构的研究发展空间;同时结合电网自身优势,开展基于综合能源及通信系统体系结构(IECSA)的研究,构建安全、可靠、稳定、适用、快速的智能电网信息交互平台。

#### 3.3.4 电源电网协调

电源与电网是构成电力系统的不可分割的有机组成部分,两者的发展又共同受到宏观经济政策、负荷变化、环保约束等因素的影响。电源和电网只有协调一致、均衡发展,才能实现社会资源的优化配置,进而实现社会效益最大化。

随着社会经济的快速发展,在国家骨干电网的支撑下,未来智能电网既要适应大型电源基地的接入,还要适应各类分布式电源与保安电源的接入;除了考虑分层分区的电源接入,还要考虑分散式接入。同时,未来智能电网在规范电源接入技术要求和功能后,将具备稳定、无缝、无扰、自动地接入电源的能力,以及迅速、有序、低扰、安全地解列电源的能力<sup>[11-12]</sup>。

同时,智能电网的建设应考虑电力网与其他能源网(如天然气网络、能源资源输送网络等)相结合,系统配套,构成坚固、互补、灵活的国家能源战略互补体系。

#### 3.3.5 双向互动供电

智能电网实现的双向互动供电,将会实现电网企业与电网用户之间的信息交互、需求交互、和谐共赢,使得社会效益最大化。

从用户端来说,个性化、需求化、灵活的电能需求将可以得到实现;自有、富余、投资性电能可以用于电网补充、调和和应急。从电网侧而言,可以实时掌握电能需求、即时掌控负荷分配、预估系统安全稳定、有效调配电能资源、合理引导用户节电、快速应对突发风险、切实提高投资效益。

而且,双向交互式的信息沟通,将会大大提高真实、有效信息的传递,提升智能电网的反应速度和效能;还可以拉近与用户的距离,体验用户需求,铸就良好企业形象,切实履行企业社会责任;促进用户主动关注和参与电网稳定运行,培养用户主动节能。

## 4 结语

智能电网已为国际上众多国家能源决策部门及电力企业所认可。但基于不同的国情、出发点和认知,对其的发展和实施内容上各具特色。中国的智能电网发展,必须遵循中国特色进行规划实施。既要立足于目前处于发展期的现实,又要兼顾未来成熟期的前景;既要满足近期的需求,又要适应未来的要求。

对于国外发达国家目前关于智能电网的一些发展思想和技术思路,我们应汲取其精华,在中国智能电网建设的过程中结合国内特点,适应智能电网需求,加强统一协调规划,强化基础支撑建设,实现跨越发展。

## 参考文献

- [1] EPRI. Power delivery system and electricity markets of the future, 1009102 [R]. Palo Alto, CA, USA: EPRI, 2003.
- [2] EPRI. Technical and system requirements of advanced distribution automation, 1010915 [R]. Palo Alto, CA, USA: EPRI, 2004.
- [3] EPRI. Profiling and mapping of intelligent grid R & D programs, 1014600 [R]. Palo Alto, CA and EDF R & D, Clamart, France: EPRI, 2006.
- [4] U. S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Modern grid initiative: a vision for modern grid [EB/OL]. [2008-10-10]. <http://www.netl.doe.gov/moderngrid/docs>.
- [5] European Commission. European technology platform smart grids: vision and strategy for Europe's electricity networks of the future [EB/OL]. [2008-10-10]. [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf).
- [6] VON DOLLEN D. IntelliGrid: enabling the power delivery system of the future// Proceedings of 9th International Symposium on Power-Line Communications: ISPLC2005, April 6-8, 2005, Vancouver, Canada.
- [7] The National Energy Technology Laboratory. A systems view of the modern grid. Pittsburgh, PA, USA: NETL, 2007.
- [8] The National Energy Technology Laboratory. The modern grid initiative. Pittsburgh, PA, USA: NETL, 2007.
- [9] Research Reports International. Understanding the smart grid, RRI00026 [R]. 2007.
- [10] The National Energy Technology Laboratory. Modern grid benefits. Pittsburgh, PA, USA: NETL, 2007.
- [11] 王成山,王守相.分布式发电供电系统若干问题研究.电力系统自动化,2008,32(20):1-5,31.  
WANG Chengshan, WANG Shouxiang. Study on some key problems related to distributed generation systems. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(20): 1-5, 31.
- [12] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等.微电网研究综述.电力系统自动化,2007,31(19):100-107.  
LU Zongxiang, WANG Caixia, MIN Yong, et al. Overview on micro-grid research. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 100-107.
- [13] The National Energy Technology Laboratory. Integrated communication. Pittsburgh, PA, USA: NETL, 2007.

肖世杰(1962—),男,高级工程师,国网电力科学研究院院长,主要研究方向:电力系统自动化。E-mail: xiaoshijie@sgepri.com

## Consideration of Technology for Constructing Chinese Smart Grid

XIAO Shijie

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Taking the current situation of smart grid research as the background, and from the analysis of the difference between smart grid and traditional grid as well as situation of constructing smart grid at home and abroad, some viewpoints of constructing Chinese smart grid are expatiated, and the research directions of concern about constructing Chinese smart grid are analyzed emphatically.

**Key words:** smart grid; power grid development; ultra-high voltage; informationization; automation

## “智能电网”专题征文

近年来,“智能电网”成为业内外的热点议题。作为普通用户,期望“智能电网”给生活带来更大的便利和实惠;作为供电部门,希望“智能电网”的负荷控制与供电服务更科学、更便捷;作为电网运行和调度部门,则更加注重提升电网抵御风险的能力,为全社会提供更加安全、可靠、经济、清洁、优质和高效的电力服务。如何正确和全面理解“智能电网”的内涵与外延,如何打造中国特色的“智能电网”,如何确定建设的基本思路、技术方案和开发实践,以及对需要解决的关键问题进行剖析等,都是当前电力系统自动化领域的重要课题。

《电力系统自动化》真诚征集有关的学术观点、研究论文和成果,欢迎从事电网运行、调度、控制和管理的专家、学者、工程技术人员通过本刊网站投稿([www.aeps-info.com](http://www.aeps-info.com)),也欢迎向编辑部发邮件([aeps@nari-china.com](mailto:aeps@nari-china.com)),邮件主题务必含“智能电网”,阐述自己的观点和认识。征文截止日期:2009-07-31。编辑部尽快将有价值的观点和论文汇编成专题研讨,发表在《电力系统自动化》上。