

智能电网关键技术的分析与探讨

黄国强

(陕西电力科学研究院, 陕西 西安 710054)

● **摘 要:**为了迎接电力行业由工业化向信息化转变的新挑战,国家电网公司提出建设统一坚强智能电网。笔者首先介绍了智能电网的概念,阐述了智能电网的内涵和特点,总结了智能电网技术在国内外的研究现状与发展状况,并对实现智能电网在网络拓扑、通信系统、计量体系、需求侧管理、智能调度、电力电子设备、配电自动化、分布式电源接入等领域需要解决的关键技术问题进行了较为详尽的讨论。

关键词:智能电网;关键技术;通信系统;计量体系;需求侧管理;智能调度

中图分类号:TM727;TM76 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-7598(2009)11-0044-04

0 引言

电网是经济社会发展的重要基础设施,近年来,电网安全稳定运行的客观环境正在发生巨变。电网负荷快速增长,大区电网互联初步形成,电力市场运行因素对电网运行的影响日益显现,加之受全球气候变化的影响,极端气候事件的出现会更加频繁,冰灾、水灾、风灾、热浪以及地质灾害造成的影响会越来越严重,这些都对电网安全稳定工作提出了诸多新挑战。

为了解决电力行业遇到的上述问题,全球电力企业和研究机构提出了“智能电网”的未来电网发展理念,并积极推动其建设和发展。但是截至目前,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来理解智能电网,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。作为倡导智能电网建设的美国电力科学研究院(EPRI),对智能电网的定义是自愈、安全、集成、协同、预测、优化、交互。这个定义主要体现了美国对电网建设的3个重要要求:可靠性要求(自愈、安全、预测)、经济与效益要求(优化、协同、交互)、技术支撑要求(集成)。欧盟委员会对智能电网的定义内容是:支持分布式和可再生

能源的接入,更可靠安全电力供应,面向服务的架构,灵活的电网应用,高级自动化和分布式智能,负荷和电源的本地交互,以客户为中心。从这个定义可以看出,欧盟国家主要反映了电网建设在对市场、能源和环境方面的要求,分布式电网则是欧盟电网建设的重点^[1-7]。我国作为发展中国家,在智能电网建设中密切结合中国电网建设的实际情况,认为智能电网就是以物理电网为基础(中国的智能电网是以特高压电网为骨干网架、各电压等级电网协调发展的坚强电网为基础),将先进的传感测量技术、信息技术、通信技术、计算机技术、自动控制技术和原有的输、配电基础设施高度集成而形成的新型电网,它具有可充分满足用户对电力的需求和优化资源配置、提高电力供应的安全性、可靠性和经济性、减小对环境的影响、保证电能质量和减少电网的电能损耗等多个优点^[8],实现对用户可靠、经济、清洁、互动的电力供应和增值服务。

1 智能电网的特点

尽管各国根据自身的国情对智能电网建设有着不同的重点和目标,但是智能电网建设的驱动都是基于市场、安全、电能质量和环境因素,其特征可归结为:自愈、兼容、交互、协调、高效、优质、集成^[9-10]。

1.1 自愈

自愈是智能电网的一个突出特征,也是电网安

全可靠运行的重要保证。它是指对于无论来自外部还是来自内部的对电网的损害,无需或仅需少量人为干预,实现电力网络中存在问题元器件的隔离或使其恢复正常运行,尽可能小地对系统正常运行产生影响。通过进行连续的评估自测,智能电网可以检测、分析、响应甚至恢复电力元件或局部网络的异常运行。

1.2 兼容

支持风电和太阳能发电等可再生能源的正确、合理的接入,适应分布式发电和微电网的并网运行,做到“即插即用”,可以容纳包含集中式发电在内的多种不同类型电源甚至是储能装置,满足用户多样化的电力需求。

1.3 交互

电网在运行中与用户设备和行为进行交互,将其视为电力系统的完整组成部分之一,可以促使电力用户发挥积极作用,实现电力运行和环境保护等多方面的收益,使需求侧管理的功能更加完善,实现与用户的交互和高效互动。

1.4 协调

与批发电力市场甚至是零售电力市场实现无缝衔接,有效的市场设计可以提高电力系统的规划、运行和可靠性管理水平,电力系统管理能力的提升促进电力市场竞争效率的提高。

1.5 高效

引入最先进的信息和监控技术,优化设备和资源的使用效益,可以提高单个资产的利用效率,从整体上实现网络运行和扩容的优化,降低其运行维护成本和投资。

1.6 优质

在数字化、高科技占主导的经济模式下,电力用户的电能质量能够得到有效保障,实现电能质量的差别定价。

1.7 集成

实现电网信息的高度集成和共享,采用统一的平台和模型,实现标准化、规范化和精细化管理。

2 智能电网的关键技术

2.1 坚强、灵活的网络拓扑

坚强、灵活的电网结构是未来智能电网的基础。我国能源分布与生产力布局很不平衡,为了缓解此现状所带来的不利影响,我国制定了“西电东送”的政策,并开展了特高压联网工程、直流联网工程、点

对点或点对点网送电等工程的实施建设。如何进一步优化特高压和各级电网规划成为需要解决的关键问题^[11]。随着电网规模的扩大、互联大电网的形成,电网的安全稳定性与脆弱性问题越来越突出,对主网架结构的规划设计要求也相应地提高了。只有灵活的电网结构才能应对冰灾、战争等突发灾害性事件对电网安全的影响。

2.2 开放、标准、集成的通信系统

智能电网的发展对网络安全提出了更高的要求,智能电网需要具有实时监视和分析系统目前状态的能力:既包括识别故障早期征兆的预测能力,也包括对已经发生的扰动做出响应的能力,其监测范围将大范围扩展、全方位覆盖,为电网运行、综合管理等提供外延的应用支撑,而不仅局限于对电网装备的监测^[12-13]。

2.3 高级读表体系和需求侧管理

智能电网的核心在于构建具备智能判断与自适应调节能力的多种能源统一入网和分布式管理的智能化网络系统,可对电网与用户用电信息进行实时监控和采集,且采用最经济与最安全的输配电方式将电能输送给终端用户,实现对电能的最优配置与利用,提高电网运营的可靠性和能源利用效率。所以电网的智能化首先需要电力供应机构精确得知用户的用电规律,从而对需求和供应有一个更好的平衡。因此目前国外推动智能电网建设,一般以构建高级量测体系为切入点。

高级读表体系由安装在用户端的智能电表、位于电力公司内的计量数据管理系统和连接它们的通信系统组成,近来,为了加强需求侧管理,又将其延伸到用户住宅内的室内网络(HAN)。这些智能电表能根据需要设定计量间隔,并具有双向通信功能,支持远程设置、接通或断开、双向计量、定时或随机计量读取。同时,高级读表体系为电力系统提供了系统范围的可视性。不但可以使用户参与实时电力市场,而且能够实现对诸如远程监测、分时电价和用户侧管理等的更快和准确的系统响应,构建智能化的用户管理与服务体系,实现电力企业与用户之间基本的双向互动管理与服务功能以及营销管理的现代化运行。

随着技术的发展,将来的智能电表还可能作为互联网路由器,推动电力部门以其终端用户为基础,进行通信、运行宽带业务或传播电视信号的整合^[14]。

2.4 智能调度技术和广域防护系统

智能调度是智能电网建设中的重要环节,调度

的智能化是对现有调度控制中心功能的重大扩展,智能电网调度技术支持系统则是智能调度研究与建设的核心,是全面提升调度系统驾驭大电网和进行资源优化配置的能力、纵深风险防御能力、科学决策管理能力、灵活高效调控能力和公平友好市场调配能力的技术基础^[5]。

调度智能化的最终目标是建立一个基于广域同步信息的网络保护和紧急控制一体化的新理论与新技术,协调电力系统元件保护和控制、区域稳定控制系统、紧急控制系统、解列控制系统和恢复控制系统等具有多道安全防线的综合防御体系智能化调度的核心是在线实时决策指挥,目标是灾变防治,实现大面积连锁故障的预防。

2.5 高级电力电子设备

电力电子设备可以实现电能质量的改善与控制,为用户提供电能质量满足其特定需求的电力,同时它们也是能量转换系统的关键部分,所以电力电子技术在发电、输电、配电和用电的全过程中均发挥着重要作用。现代电力系统应用的电力电子装置几乎全部使用了全控型大功率电力电子器件,各种新型的高性能多电平大功率变流器拓扑和DSP全数字控制技术,包括可控硅并联电抗器、多功能固态开关、智能电子装置(IEDs)、静止同步补偿器(STATCOM)、有源滤波器(APF)、动态电压恢复器(DVR)、故障电流限制器(FCL)以及高压直流输电(HVDC)所用装置和配网用的柔性输电系统装置(如SVC和D-Statcom)等。

2.6 高级配电自动化

高级的配电自动化(ADA)将包含系统的监视与控制、配电系统管理功能和与用户的交互(如负荷管理、量测和实时定价等)。通过与智能电网的其他组成部分的协同运行,ADA既可改善系统监视、无功与电压管理、降低网损和提高资产使用率,也可辅助优化人员调度和维修作业安排等^[15-16]。

为此,ADA需要更复杂的控制系统。

(1) 系统全部元件必须在一个开放式的通信体系结构内并具有协同工作能力;

(2) 将使用经由分布式计算的局部分布式控制;

(3) 使用传感器、通信系统和分布式的计算主体,对电力交换系统上的扰动快速做出反应,以使其影响最小化。

在局部分布式控制的概念中,在全配电系统层面上使用分布式的配电运行中心和中央配电控制中心。中央配电控制中心将监视全配电系统(包括遍

布配电系统和其他局部代理的嵌入智能电力电子装置)的微处理器,协调其分布式的控制能力。中央配电控制中心将同输电层面的控制相协调,监视全系统的潮流;它也负责协调在配电层面上DER与在输电层面上的大型发电机的电压管理、无功管理、应急处理和系统恢复等。而局部的配电运行中心将控制局部系统实现传统的配电自动化功能,如故障定位、隔离和服务恢复(FLIR)、多重网络重构(MFR)、继电保护再整定(RPR)和电压/无功优化控制(VVC)等。

2.7 可再生能源和分布式能源接入

分布式能源(DER)包括分布式发电和分布式储能,其中分布式发电技术包括:微型燃气轮机技术、燃料电池技术、太阳能光伏发电技术、风力发电技术、生物质能发电技术、海洋能发电技术、地热发电技术等;分布式储能装置包括蓄电池储能、超导储能和飞轮储能等^[11]。配电网中的DER由于靠近负荷中心,降低了对电网扩展的需要,并提高了供电可靠性,因此被广泛采用。特别是有助于减轻温室效应的分布式可再生能源,在许多国家政府政策上的大力支持下,得到了迅速增长。在我国,风能、太阳能发电的主要发展方式是在沙漠、戈壁滩等偏远地区大容量集中开发,但其在地理位置上分布不均匀,易受天气影响,而且具有波动性和间歇性的特点,会对可靠供电造成冲击,当地电网无法适应可再生能源集中开发和利用,这就需要解决风能、太阳能等可再生能源大规模开发的间歇性、不确定性问题,保证电力的大规模接入和远距离送出,这将是接入各种可再生能源电源和分布式能源电源面临的一大挑战^[17-23]。

3 结语

中国特色的智能电网建设是一项高度复杂的系统工程,本文介绍了智能电网的发展背景、定义和特征、应用和发展现状,详细讨论了智能电网的关键技术,希望对智能电网的了解和研究有所帮助。

参考文献

- [1] HUGHES J. Intelligent Grid Architecture Status Report[R]. EPRI, 2005.
- [2] Alternative Technologies Workgroup. Smart Power Grid[R]. 2005.
- [3] STEVENS B, PUBLIC E, FORGE S, et al. Chapter 3: Outlook for Global Investment in Electricity Infrastructure, Infrastructures to 2030, Telecom, Land Transport, Water

- and Electricity[R]. Organization for Economic Co-operation and Development, 2006.
- [4] HAASE P. Intelligent: A Smart Network of Power[J]. EPRI Journal, 2005(Fall): 27-32.
- [5] FRANCES C. Intelligent architecture: Power System Functions and Strategic Vision [Z]. Utility Consulting International, 2005.
- [6] Profiling and Mapping of Intelligent Grid R & D Programs[R]. EPRI. 2006.
- [7] 万秋兰. 大电网实现自愈的理论研究方向[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 29-32.
- [8] 胡学浩. 智能电网——未来电网的发展态势[J]. 电网技术, 2009, 33(14): 1-5.
- [9] 张文亮, 刘壮志, 王明俊, 等. 智能电网的研究进展及发展趋势[J]. 电网技术, 2009, 33(13): 1-11.
- [10] 蔡丹君, 胡婧. 智能电网的三个关键词[J]. 国家电网, 2009, (9): 42-43.
- [11] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1-7.
- [12] 钟金, 郑睿敏, 杨卫红, 等. 建设信息时代的智能电网[J]. 电网技术, 2009, 33(13): 12-18.
- [13] 刘骥, 黄国方, 徐石明. 智能电网状态监测的发展[J]. 电力建设, 2009, 30(7): 1-3.
- [14] 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力, 2008, 41(6): 19-22.
- [15] 王哲. 智能电网涉及的关键技术[J]. 电源技术应用, 2009, (10): 65-67.
- [16] 余贻鑫, 栾文鹏. 电网与清洁能源[J]. 智能电网2009, 25(1): 7-11.
- [17] KROPOSKI B, MARGOLIS R, TON D. 太阳能发电技术的应用与发展[J]. 上海电力, 2009, (4): 336-340.
- [18] 赵岩, 胡学浩. 分布式发电对配电网电压暂降的影响[J]. 电网技术, 2008, 32(14): 5-9.
- [19] 迟永宁, 刘燕华, 王伟胜, 等. 风电接入对电力系统的影响[J]. 电网技术, 2007, 31(3): 77-81.
- [20] 林莉, 孙才新, 王永平, 等. 大容量风电场接入后电网电压稳定性的计算分析与控制策略[J]. 电网技术, 2008, 32(3): 41-46.
- [21] 李斌, 刘天琪, 李兴源. 分布式电源接入对系统电压稳定性的影响[J]. 电网技术, 2009, 33(3): 84-88.
- [22] 黄伟, 孙超辉, 吴子平, 等. 含分布式发电系统的微网技术研究综述[J]. 电网技术, 2009, 33(9): 14-18.
- [23] 张玲, 王伟, 盛银波. 基于清洁能源发电系统的微网技术[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 40-43.

(责任编辑 申光艳)

Analysis and Discussion on Key Technologies of Smart Grid

HUANG Guo-qiang

(Shaanxi Electric Power Research Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to meet the new challenges of power industry transition from industrialization to informatization, the State Grid Corporation proposed building a unified, strong and smart grid. The concept of smart grid is introduced with the meaning and characteristics. The research and development of smart grid technology at home and abroad are then summarized. Furthermore, some key technical problems, such as network topology, communication systems, measurement systems, demand-side management, intelligent scheduling, power electronic equipment, distribution automation, distributed power access and so on are discussed in detail.

Key words: smart grid; key technologies; communication systems; measurement system; demand-side management; intelligent scheduling

智能电网关键技术的分析与探讨

作者: [黄国强](#)
作者单位: [陕西电力科学研究院, 陕西西安, 710054](#)
刊名: [陕西电力](#)
英文刊名: [SHAANXI ELECTRIC POWER](#)
年, 卷(期): 2009, 37(11)
引用次数: 0次

参考文献(23条)

1. HUGHES J. [Intelligrid Architecture Status Report\[R\]. EPRI, 2005.](#)
2. [Alternative Technologies Workgroup. Smart Power Grid\[R\]. 2005.](#)
3. STEVENS B, PUBLIC E, FORGE S, et al. [Chapter 3: Outlook for Global Investment in Electricity in Infrastructures, Infrastructures to 2030, Telecom, Land Transport, Water and Electricity\[B\]. Organization for Economic Co-operation and Development, 2006.](#)
4. HAASE P. [Intelligrid: A Smart Network of Power\[J\]. EPRI Journal, 2005\(Fall\):27-32.](#)
5. FRANCES C. [Intelligrid architecture: Power System Functions and Strategic Vision\[Z\]. Utility Consulting International, 2005.](#)
6. [Profiling and Mapping of Intelligent Grid R & D Programs\[R\]. EPRI, 2006.](#)
7. 万秋兰. [大电网实现自愈的理论研究方向\[J\]. 电力系统自动化, 2009, 33\(17\):29-32.](#)
8. 胡学浩. [智能电网—未来电网的发展态势\[J\]. 电网技术, 2009, 33\(14\):1-5.](#)
9. 张文亮, 刘壮志, 王明俊, 等. [智能电网的研究进展及发展趋势\[J\]. 电网技术, 2009, 33\(13\):1-11.](#)
10. 蔡丹君, 胡婧. [智能电网的三个关键词\[J\]. 国家电网, 2009, \(9\):42-43.](#)
11. 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. [智能电网技术综述\[J\]. 电网技术, 2009, 33\(8\):1-7.](#)
12. 钟金, 郑睿敏, 杨卫红, 等. [建设信息时代的智能电网\[J\]. 电网技术, 2009, 33\(13\):12-18.](#)
13. 刘骥, 黄国方, 徐石明. [智能电网状态监测的发展\[J\]. 电力建设, 2009, 30\(7\):1-3.](#)
14. 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. [面向未来的智能电网\[J\]. 中国电力, 2008, 41\(6\):19-22.](#)
15. 王哲. [智能电网涉及的关键技术\[J\]. 电源技术应用, 2009, \(10\):65-67.](#)
16. 余贻鑫, 栾文鹏. [电网与清洁能源\[J\]. 智能电网, 2009, 25\(1\):7-11.](#)
17. KROPOSKI B, MARGOLIS R, TON D. [太阳能发电技术的应用与发展\[J\]. 上海电力, 2009, \(4\):336-340.](#)
18. 赵岩, 胡学浩. [分布式发电对配电网电压暂降的影响\[J\]. 电网技术, 2008, 32\(14\):5-9.](#)
19. 迟永宁, 刘燕华, 王伟胜, 等. [风电接入对电力系统的影响\[J\]. 电网技术, 2007, 31\(3\):77-81.](#)
20. 林莉, 孙才新, 王永平, 等. [大容量风电场接入后电网电压稳定性的计算分析与控制策略\[J\]. 电网技术, 2008, 32\(3\):41-46.](#)
21. 李斌, 刘天琪, 李兴源. [分布式电源接入对系统电压稳定性的影响\[J\]. 电网技术, 2009, 33\(3\):84-88.](#)
22. 黄伟, 孙超辉, 吴子平, 等. [含分布式发电系统的微网技术研究综述\[J\]. 电网技术, 2009, 33\(9\):14-18.](#)
23. 张玲, 王伟, 盛银波. [基于清洁能源发电系统的微网技术\[J\]. 电网与清洁能源, 2009, 25\(1\):40-43.](#)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [孟凡超, 高志强, 王春璞 智能电网关键技术及其与传统电网的比较 - 河北电力技术 2009, 28\(z1\)](#)
介绍智能电网的特点以及我国发展智能电网的必要性, 从信息技术、量测技术、设备技术、控制技术、决策支持技术等方面分析发展智能电网的关键技术, 并对比分析了智能电网与传统电网的区别。
2. 期刊论文 [童雅芳 智能电网的发展及其关键技术 - 科技创业月刊 2009, 22\(10\)](#)

智能电网是21世纪新兴的一个概念,随着世界多个国家的积极探索和研究,已迅速延伸至政府、电力、信息、经济、金融等多个行业和领域,成为电力系统未来发展的重要方向。阐述了智能电网的内涵和特点,介绍了智能电网的发展历程,分析了智能电网所需的关键技术。

3. 期刊论文 [李威, 徐泰山, 薛禹胜, Li Wei, Xu Tai-shan, XUE Yu-sheng 重要小受端智能电网安全防御系统关键技术 - 电力建设2009, 30\(6\)](#)

智能安全防御系统是智能电网的基础保障和重要特征。不同调度层面电网安全防御系统的构建、协调整合,是构筑适应国家电网特高压互联大电网安全稳定要求的智能协调防御体系的恰当途径。本文针对诸如重点城市等负荷中心电网特点,讨论了此类重要小受端智能电网安全防御系统的开发。最后介绍近期开发的一个试点实例,该地区安全防御系统已初步形成了地区和上一级省调安全防御系统的协调接口,实现了地区级安全防御系统框架和初步的安全预警功能。

4. 期刊论文 [王哲 智能电网涉及的关键技术 - 电力系统通信2009, 30\(11\)](#)

介绍了天津大学召开的第一届智能电网研究论坛的情况,对智能电网关键技术进行了阐述,列举了美国智能电网研究应用情况,对智能电网技术实现的功能进行了归纳和总结。

5. 期刊论文 [智能电网实现的若干关键技术问题研究 - 电力系统保护与控制2009, 37\(19\)](#)

面对目前电力系统已越来越无法满足社会对电力能源和供电可靠性日益增长的需求的问题,具备着自愈、清洁、经济等优点的智能电网成为了今后电网发展的一个重要趋势。介绍了智能电网的概念、特征和结构,提出了智能电网实现的几方面关键技术问题,并对每一方面问题进行了深入探讨和阐述,从而为智能电网今后的发展指明研究方向。

6. 期刊论文 [易丹, 马涛, 叶任时 智能电网发展前景与关键技术 - 科技创业月刊2009, 22\(10\)](#)

介绍了智能电网的概念及其发展历程,阐述了智能电网发展的关键技术,并展望了智能电网的发展前景。

7. 期刊论文 [任培祥, 朱中耀, 李鑫, 吴萍, REN Pei-xiang, ZHU Zhong-yao, LI Xin, WU Ping 三维全景智能电网支撑平台的关键技术研究与应用 - 电力勘测设计2009\(4\)](#)

本文研究了三维全景智能电网支撑平台相关的多源、多尺度空间数据组织与分布式管理技术以及网络环境下异构GIS数据集成与互操作技术,创建了基于网络渐进传输的三维调度与渲染引擎。结合现阶段智能化电网相关需求,实现了信息模式的共享、系统数据的整合,跨区电网线路相关数据的整体展现,通过此种手段最终能够达到优化电网的运行和管理。

8. 期刊论文 [谢开, 刘永奇, 朱治中, 于尔铿, XIE Kai, LIU Yong-qi, ZHU Zhi-zhong, YU Er-keng 面向未来的智能电网 - 中国电力2008, 41\(6\)](#)

随着电力系统运行环境的日趋复杂与电力体制改革的不断前进,传统电力网络亟待进一步提升,实现向智能电网的转变。智能电网为电网的发展方向,它的内涵是由绩效目标、性能特征、关键技术与功能实现等4个方面及其之间的关系综合体现的,它们分别规定了智能电网的未来期望收益、应具备的特征性能力、为实现此能力而应当采用的关键性技术以及技术与具体业务需求的结合方式。通过对上述内容的详细阐述,描绘出未来智能电网的框架。

9. 期刊论文 [严胜, 姚建国, 杨志宏, 高宗和 智能电网调度关键技术 - 电力建设2009, 30\(9\)](#)

智能调度是建设统一坚强智能电网的关键内容,是智能输电网的神经中枢,是维系电力生产过程的基础和保障电网运行发展的重要手段。在建设统一坚强智能电网的背景下,分析了建设智能调度的意义、目的,阐明了国内外研究现状。描述了智能调度的内涵、特征、体系架构,剖析了建设中国智能调度所需的关键技术,分析了在建设智能电网调度方面已经具备的技术基础。

10. 期刊论文 [王哲 智能电网涉及的关键技术 - 电器工业2009\(11\)](#)

智能电网的技术概况 智能电网是为了实现能源替代和兼容利用,它需要在开放的系统和共享信息模式的基础上,整合系统中的数据,优化电网的运行和管理。

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_xbd1js200911013.aspx

下载时间: 2010年3月9日