

智能电网风险评估初探

西安邮电大学

【摘要】在智能电网方兴未艾的新形势下，探讨智能电网的风险评估体系，利用智能电网自愈性理念进行电网风险控制，具有重要的理论意义和工程实用价值。本文在广泛收集国内外智能电网相关文献资料的基础上，介绍了国内外智能电网的研究现状及发展动态，回顾了传统电网风险评估的发展历程，并对智能电网与传统电网的风险评估的特点进行了分析和比较。发现智能电网与传统电网的风险评估存在诸多不同之处，包括大规模可再生能源的接入增加了系统的不确定性及系统风险，但其持续使用又从本质上加强了系统的整体可靠性；微网增强了局部供电的可靠性，但其接入本身也可能带来对大电网的冲击；更多用户端的共同参与，可将未来智能电网的风险评估定位为受到全社会高度关注的公用事业及基础能源安全问题等。对于未来智能电网的可靠性及风险评估体系的研究是一个复杂的系统工程，现阶段还处于初始阶段，还有大量的基础性研究工作有待进一步开展。

【关键词】 智能电网，风险评估，自愈性，风险控制

Preliminary Study on Risk Assessment of Smart Grid

Xian posts and telecommunications university

Abstract

Smart grid is the next generation power grid development trend. In the initial stages of the smart grid development,

discuss the smart grid risk assessment system and risk control measurement using the new self-healing concept in smart grid is of great importance. The paper summarized current situation in smart grid, including the definition and character description of smart grid in Europe and America. Then reviews the traditional power grid risk assessment development course and the differences between smart grid and traditional power grid. The differences includes much system uncertainty due to renewable resources involvement, more surge among micro grids and the main power grid, and more customer participation into the risk assessment process as the work is set to be highly concerned issue about the utility and infrastructure energy security as well as national security. The future work on risk assessment of smart grid is a very complex system work. As the initial stage of smart grid, there is much more work remains to be carried out in the future.

Keywords : smart grid, risk assessment, self-healing ability, risk control

1 引言

电力安全问题是一个关系到社会稳定和经济发展的世界共性问题，历来受到各国学术界和工程界的高度关注。现代电力工业已经进入大电网、大机组、高电压、高自动化阶段，为达到更加可靠、安全、经济、环保的

目标，美国、欧盟等发达国家认为最佳的解决途径是建

设一个基于全新技术和架构的“智能电网(Smart Grid)”。

智能电网的概念一经提出，就立即风靡全球，在各国得到了蓬勃发展，成为下一代电网的发展趋势。在中国，今后 5~10 年电网将发展成为世界上技术最复杂、规模最大的电网之一，我国提出加快建设以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，具有信息化、数字化、自动化、互动化特征的统一坚强智能电网。在智能电网方兴未艾的新形势下，探讨各种灾变因素下的风险评估体系，利用智能电网自愈性理念进行电网风险控制，具有重要的理论意义和工程实用价值。

2 智能电网概述

尽管各国专家针对电力工业应致力于提高电网智能化水平及等级已经达成共识，但是，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，不同国家都在以自己的方式来理解智能电网，智能电网概念本身也在不断发展、丰富和明晰中。

2.1 美国电科院的定义

自 2003 年起，美国多个政府及民间组织分别对电力行业现状和智能电网远景进行了分析，并提出了各自的定义

和行动计划建议，其中具有典型意义的是美国电力科学研究院提出的智能电网定义。

2.2 欧盟的定义

欧洲电力企业受到来自开放的电力市场的竞争压力，亟须提高用户满意度，争取更多用户。提高运营效率、降低电力价格、加强与客户互动成为欧洲智能电网建设的重点之一。2004 年欧盟委员会启动了相关的研究与建设工作，提出了在欧洲要建设的智能电网的定义。

(1) 更多不确定性的可再生能源（如风能、太阳能、潮汐能等）的接入。

(2) 更加小型化的发电设备以及即插即用的高效储能设备。

(3) 配电侧形成一些小型而独立的微网系统(Micro grid)。

(4) 与用户之间更多互动。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。

3 智能电网风险评估与传统电网风险评估的差异

鉴于智能电网与传统电网的不同之处，智能电网的风险评估也存在相应的不同。一方面，大规模随机波动的可再生能源的接入使得传统的风险评估更加复杂化；另一方面，可再生能源的发展及微网的接入可满足部分负荷需求，提高整个系统的经济性、可靠性和安全性。

(1) 大规模可再生能源的接入增加了系统的不确定性，从而也增加了系统风险。

可再生能源通常具有间歇性和严重的

不确定性，如变化的风速和太阳辐射，因而可再生能源发电机的出力被视为是不可靠的，具有极强的随机性和不确定性。对于随机波动的可再生能源发电系统来说，电力供应情况受以下不确定性因素影响较大：宏观经济走势；气候因素；新投产的可再生能源发电机组能否按时投产发电、发电设备运行状况能否稳定等。因此，可再生能源发电系统的投入使用，为评估系统风险带来更多更复杂的考虑因素。

(2) 虽然可再生能源发电本身具有随机性和波动性，但可再生能源的持续使用从本质上可加强电力系统的整体可靠性。

实际上，现阶段为解决可再生能源发电的随机性和波动性带来的系统风险，确保系统的可靠性，保守的系统运行部门倾向于将与可再生能源发电量相等的装机容量作为系统备用，这虽然从某种程度上大大减轻了可再生能源的不确定性带来的风险。当然，未来的智能电网风险评估将不仅仅停留在现阶段偏于保守的风险评估及风险控制方法上，而应实时、有效地评估可再生能源发电对整个电力系统能源结构优化带来的积极作用，并可使人们清楚地认识到可再生能源在提高供电可靠性方面所具有的独特的优势，同时也应实时评估出其对大电网安全稳定带来的冲击。

(3) 更多灾变情况下的即插即用小型设备风险评估。由于智能电网中使用了更多更加小型化的新型发电。

设备以及即插即用的高效储能设备，因此，分析这些设备在各种灾变情况下（包括冰灾、台风、洪水等严重自然灾害或人为破坏如恐怖袭击等）停运导致的系统风险也非常重要，利用此项风险指标尽可能地减少灾害损失，做好相应的防护工作。

(4) 微网作为智能电网中极其重要的

组成部分之一，如同可再生能源发电一样，对电力系统而言一方面增强了局部供电的可靠性，另一方面微网的接入本身也可能带来对大电网的冲击。微电网中含有多个微电源，可在主网发生故障时，与主网隔离运行，提高局部供电的可靠性。但由于微网中含有传统的电源方式（燃气轮机等）、新型的 DERs（风电和光伏等）和各种储能元件。这些元件的时间常数各不相同，而电力系统中的能量都是瞬时平衡的，如何协调这些元件的控制策略，保持微电网运行的稳定性，尽量减少这些不可控源对主网的冲击等，都需要做进一步的探讨和研究。另外，微电网中引入了很多先进的电力电子设备，它们大都是灵活可控的，如何实现对这些设备的智能控制和最优控制也是一个很重要的问题。

(5) 包括用户端共同参与的智能电网风险评估。未来智能电网与用户之间有更多的互动，将其视为电力系统的完整组成部分之一，因此，未来的智能电网风险评估不仅要发挥电力企业的技术优势，还要发挥政府以及用户等多方面社会资源方面的优势。事实上，发电、电网、用户环节的风险都是构成电力系统大面积停电的因素，以往这些环节的责任主体都只侧重自身的安全风险分析，发电侧重于单一电厂的安全和运营，电网侧重于利用技术进行稳定分析，用户只关注自身用电的可靠性，但这三方面对于整个电力系统的风险评估有着内在的联系。单一的风险对整个系统风险的影响程度是不同的，本身的风险指数对系统的影响可能大于各环节自身的风险指数，因而要防范系统性的风险，需要对系统整体进行分析评估。未来智能电网风险评估的目的是从社会公共安全角度出发，把握住整个系统的薄弱环节和风险度。由政府、电力企业及用户共同采取措施有效降低风险度，减少大面积停电的可能性，同时根据风险制定应急预案，采取相应的

应急措施。因此,未来智能电网的安全风险评估体系并非简单地指导电力企业自身的安全生产,而是将其定位为受到全社会高度关注的公用事业及基础能源安全问题,对其供电安全风险进行分析、评估和监管。

4 不同市场发展阶段和市场模式对风险的影响

4.1 不同市场发展阶段对风险的影响

电力市场可以分为3个发展阶段:单一买方阶段、批发市场阶段、零售市场阶段。

(1) 单一买方阶段。电网公司既承担输电、配电的任务,又是购售电的主体。电网公司可以充分运用需求侧响应,减小由于供需关系变化带来的现货市场电能价格的波动。同时当出现不平衡量时,电网公司可以在内部自行调整。电网公司面临的主要是工程风险,其金融风险相对可控。

(2) 批发市场阶段。输电元件故障、输电阻塞造成的工程风险由输电商承担。其它金融风险和工程风险由参与市场的发电商、供电公司承担。分布式电源可通过供电公司或代理机构参与市场,其风险较小。

(3) 零售市场阶段。一方面,用户可以自己选择供电公司,促进供电公司间的竞争。另一方面,零售市场的电能价格波动、不平衡量的存在都使用户面临的风险增加。

4.2 典型电力市场模式对风险的影响

以英国的 NETA 模式[28]和美国纽约州电力市场模式为例,二者同样处于批发电力市场阶段。英国的 NETA 模式下,90%左右的电力交易通过双边合同进行。美国纽约州电力市场模式下,长期合同电量占 50%,日前市场占 40%~50%,

作为平衡市场的实时市场占 5%以下。上述电力市场模式的重要区别在于对待集中式交易的态度,美国纽约州电力市场模式是将其作为与双边合同同等重要的交易形式,而英国 NETA 模式仅将其作为双边合同的补充。由于多数新型电源和需求侧响应都参与集中式交易,从这个角度上讲,美国纽约州电力市场模式比英国的 NETA 模式更有利于降低新型电源和需求侧响应参与电力市场的风险。

5 结论与展望

随着社会的发展与时代的进步,新一代电力网络——智能电网的发展已经初露端倪。它是全球经济和技术发展的必然结果,预期效益也相当可观,是下一代电网的必然发展模式。

然而,电力系统取得巨大发展的同时,也承受着更大的潜在风险,尤其是自然灾害及人为破坏等各种灾变情况下的安全稳定性问题日趋复杂。在智能电网增加了大量不确定的可再生能源接入、即插即用的高效储能设备、配电侧形成多个微网系统的背景下,为保证电力系统特别是未来智能电网的可靠性和安全性,探讨在自然灾害及人为破坏等各种灾变情况下的智能电网的风险评估和应急减灾机制,具有重要的理论意义和工程实用价值。

如何通过评估含有可再生清洁能源的智能电网的可靠性来降低电力系统的安全风险,是国内外电力行业近年来所关注的重点之一。对于大型电力系统特别是含有大规模可再生清洁能源形势下的智能电网可靠性和风险评估体系的研究,还有大量的基础性研究工作有待进一步开展:

(1) 含有可再生清洁能源及微网的智能电网不确定性及风险分析。由于大多

数可再生清洁能源及微网受自然环境、社会环境及人为因素的影响较多,来源不稳定,具有较强的不确定性。这也造成了利用可再生清洁能源及微网发电具有较强的不确定性这一特点,因此,可再生清洁能源及微网系统虽然一方面可以为电力系统提供额外的电力支持,另一方面可再生清洁能源及微网的不确定性也必然为电力系统稳定送电带来一系列风险及挑战。由其不确定性带来的风险分析这一研究领域迄今并未有太多进展,还有大量工作亟待开展。

(2) 含有大量新型高效储能设备的智能电网设备的风险评估。由于智能电网引入了大量的新型元件和设备,包括分布式电源,大型可再生能源电源,用户侧的智能电器,包括测量、保护、控制装置的二次装置,新型的一次设备,通信设备等。对这些新型一次及二次智能电网设备进行风险评估,并对传统设备

参考文献

备和新设备运行时的协调问题进行研究也是必不可少的。

(3) 包括用户端参与的智能电网动态安全风险评估体系。深入探讨由政府、电力企业及用户共同参与的智能电网实时动态安全风险评估系统,在风险来临时,由各方面共同参与,采取相应应急措施保证电力基础能源的安全运行及用户供电,实现智能电网安全评估动态化、运行控制最优化,将是近几年的一个非常重要的热点研究方向之一。

(4) 智能电网作为未来电网的发展方向,正确认识和定量评估其可能存在的风险,有利于提高风险意识,增强驾驭大电网安全运行的能力。今后应将风险评估和风险管理的思路融入到智能电网的建设和运营中,为构建国际领先、自主创新、中国特色的坚强智能电网铺平道路。

- [1] EPRI. IntelliGrid architecture status report: technology transfer activities and recommendations[R]. Palo Alto, CA, USA: EPRI, 2005.
- [2] Grid Wise Architecture Council. Gridwise interoperability contextsetting framework[EB/OL]. [3] US Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Modern grid initiative: a vision for modern grid [EB/OL]. 2009-06-19.
- [4] European Smartgrids Technology Platform. Vision and strategy for europe's electricity networks of the future[EB/OL]. 2006-04-07.
- [5] Strategic research agenda for europe's electricity network of the future[EB/OL].
- [6] Strategic deployment document[EB/OL]. 2008-09-25
- [7] 周子冠, 白晓民, 李文锋, 等. 基于广域测量系统的电网故障在线智能化诊断与分析方法[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(13): 1-7.
- Zhou Ziguan, Bai Xiaomin, Li Wenfeng, et al. A novel smart on-line fault diagnosis and analysis approach of power grid based on WAMS[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(13): 1-7(in Chinese).
- [8] 刘强, 石立宝, 倪以信, 等. 电力系统恢复控制的网络重构智能优化策略[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(13): 8-15.
- Liu Qiang, Shi Libao, Ni Yixin, et al. Intelligent optimization strategy of the power grid reconfiguration during power system restoration [J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(13): 8-15(in Chinese).
- [9] 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.
- Chen Shuyong, Song Shufang, Li Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-7(in Chinese).
- [10] 王明俊. 自愈电网与分布能源[J]. 电网技术, 2007, 31(6): 1-7.

- Wang Mingjun. Self-healing grid and distributed energy resource [J]. Power System Technology, 2007, 31(6): 1-7(In Chinese).
- [11] 丁明, 张颖媛, 茆美琴. 微网研究中的关键技术[J]. 电网技术, 2009, 33(11): 6-11.
- Ding Ming, Zhang Yingyuan, Mao Meiqin. Key technologies for microgrids being researched[J]. Power System Technology, 2009, 33(11): 6-11(In Chinese).
- [12] 黄伟, 孙昶辉, 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.
- Huang Wei, Sun Changhui, Wu Ziping, et al. A review on microgrid technology containing distributed generation system[J]. Power System Technology, 2009, 33(9): 14-18(In Chinese).
- [13] 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(3): 12-18.
- Zhong Jin, Zheng Ruimin, Yang Weihong, et al. Construction of smart grid at information age[J]. Power System Technology, 2009, 33(3): 12-18(In Chinese).
- [14] 林宇峰, 钟金, 吴复立. 智能电网技术体系探讨[J]. 电网技术, 2009, 33(12): 8-14.
- Lin Yufeng, Zhong Jin, Wu Fuli. Discussion on smart grid supporting technologies[J]. Power System Technology, 2009, 33(12): 8-14(In Chinese).
- [15] 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.
- Zhang Wenliang, Liu Zhuangzhi, Wang Mingjun, et al. Research status and development trend of smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(13): 1-11(In Chinese).
- [16] 汤奕, Manisa P, 邵盛楠, 等. 中国、美国和欧盟智能电网之比较研究[J]. 电网技术, 2009, 33(14): 46-54.
- Tang Yi, Manisa P, Shao Shengnan, et al. Comparative study on smart grid related R & D in China, the United States and the European Union[J]. Power System Technology, 2009, 33(14): 46-54(In Chinese).
- [17] 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.
- Hu Xuehao. Smart grid: a development trend of future power grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(14): 1-5(In Chinese).
- [18] Han Feng, Yin Ming, Li Jun, et al. Discussions on related issues of smart grid development in China[J]. Power System Technology, 2009, 33(15): 47-53(In Chinese).
- [19] Mohammad Modarres. Risk analysis in engineering: techniques, tools and trends[M]. CRC Press, 2006: 36-45.
- [20] Li Wenyan. Risk assessment of power system: model, methods, and applications[M]. New York, USA: John Wiley & Sons, 2005: 108-164.
- [21] 王伟, 毛安家, 张粒子, 等. 市场条件下电力系统暂态安全风险评估[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(1): 68-73.
- Wang Wei, Mao Anjia, Zhang Lizi, et al. Risk assessment of power system transient security under market condition[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(1): 68-73(In Chinese).
- [22] 赵珊珊, 周子冠, 张东霞, 等. 大区互联电网动态稳定风险评估指标及应用[J]. 电网技术, 2009, 33(2): 68-72.
- Zhao Shanshan, Zhou Ziguan, Zhang Dongxia, et al. Risk assessment index of dynamic stability for large-scale interconnected grids and its application[J]. Power System Technology, 2009, 33(2): 68-72(In Chinese).
- [23] 宋毅, 王成山. 一种电力系统连锁故障的概率风险评估方法[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(4): 27-33.
- Song Yi, Wang Chengshan. A probabilistic risk assessment method for cascading failure of power system[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(4): 27-33(In Chinese).
- [24] 吴文传, 吕颖, 张伯明. 继电保护隐患的运行风险在线评估[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(7): 78-83.
- Wu Wenchuan, Lü Ying, Zhang Boming. On-line operating risk assessment of hidden failures in protection system[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(7): 78-83(In Chinese).
- [25] Philippe J. Value at risk: the new benchmark for managing financial risk[M]. Second Edition. New York: McGraw-hill, 2001:

15-22.

[26] Rockafellar R T, Uryasev S. Optimization of conditional value-at-risk [J]. *Journal of Risk*, 2000, 2(3): 21-41.

[27] Deng S J, Oren S S. Electricity derivatives and risk management [R]. Power Systems Engineering Research Centre, 2005.

[28] 国家电力监管委员会. 欧洲、澳洲电力市场[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 48-88.

[29] 国家电力监管委员会. 美国电力市场[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 198-256.