

智能电网的风险评估

赵珊珊, 张东霞, 印永华

(中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192)

Risk Assessment of Smart Grid

ZHAO Shan-shan, ZHANG Dong-xia, YIN Yong-hua

(China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China)

ABSTRACT: In this paper, basic concept and overall framework of smart grid risk assessment are presented. To solve new uncertainty brought by smart grid, the contents and methods of risk assessment for engineering risk and financial risk are proposed. Present research situation of engineering risk assessment is summarized and its application prospect in various fields of smart grid is analyzed. The financial risk that the new types of power generation, such as distributed generation (DG), large-scale renewable generation as so on, and power supply companies may face with in market environment as well as the impacts of different development stages of electricity market and typical modes on the risk are researched.

KEY WORDS: smart grid; risk assessment; engineering risk; financial risk; electricity market; distributed generation (DG); renewable generation

摘要: 提出了智能电网风险评估的基本思路和总体框架, 针对智能电网带来的新的不确定性, 从工程风险和金融风险两方面提出了评估的内容和方法。总结了工程风险评估的研究现状, 讨论了其在智能电网各领域的应用前景。分析了市场条件下分布式电源、大型可再生能源电源等新型电源和供电公司面临的金融风险, 研究了电力市场不同发展阶段和典型模式对风险的影响。

关键词: 智能电网; 风险评估; 工程风险; 金融风险; 电力市场; 分布式发电(DG); 可再生能源发电

0 引言

作为未来电力行业的发展方向, 具有安全、可靠、经济、环保、友好接入等特征的智能电网是近年来世界各国关注的热点。自 2001 年以来, 美国能源部(department of energy, DOE)和电科院(electric power research institute, EPRI)已经启动多个智能电网相关的项目, 包括 Intelligrid、GridWise、

Modern Grid Initiative(MGI)等^[1-3]。2009 年 2 月, 美国总统奥巴马发布的《经济复苏计划》中提出, 总投资 110 亿 USD, 建设可安装各种控制设备的新一代智能电网。2009 年 5 月底, 美国商务部和能源部共同发布了第一批智能电网的行业标准, 这标志着美国智能电网项目正式启动。

欧洲于 2005 年成立了“智能电网欧洲技术论坛”。2006—2008 年间, 该论坛发布了包括《欧洲未来电网的远景和策略》、《战略研究议程》、《战略部署文件》在内的一系列报告和文件^[4-6]。

我国国家电网公司密切跟踪国际形势变化, 提出了符合中国国情的坚强智能电网的战略构想, 并提出了 3 个阶段的发展计划。至 2020 年, 国家电网公司将全面建成统一的“坚强智能电网”, 技术和装备将全面达到国际先进水平。

目前, 世界上对智能电网的研究和实践尚处于起步阶段, 智能电网的概念和内容也在不断地扩充中^[7-18]。风险评估作为智能电网不可或缺的分析方法和评估手段, 应该在智能电网建设初期予以重视。本文将提出智能电网风险评估的基本思路和总体框架, 针对智能电网带来的不确定性, 从工程风险和金融风险两方面提出评估的内容和方法。

1 智能电网的工程风险评估

工程风险评估主要针对工程系统故障对环境、健康和经济等方面带来的负作用进行评估^[9]。

智能电网引入了大量的新型元件和设备, 主要包括分布式电源, 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。另外, 智能电网还带来了新的结构调整, 主要包括: 1) 分布式电源、大型可再生能源电源随时随地可能接入电网; 2) 与

用户的互动和双向供电；3) 微网与配电网间灵活的连接方式。

传统设备故障带来的系统风险依然存在，大量新设备运行统计数据缺乏，传统设备和新设备运行的协调，智能电网带来的结构变化都使风险分析更加复杂。对于以上问题，首先要打造坚强的电网，从可控因素入手降低风险。其次，要对风险进行定量评估和管理。传统电网下的工程风险评估研究较多，按照系统状态分析的性质，可以将其分为系统充裕性评估和安全性评估。文献[20]对充裕性风险评估在输电发展规划、输电运行规划、电源规划等领域的应用进行了全面介绍。安全性风险评估是目前的研究热点，包括暂态稳定风险评估^[21]、动态稳定风险评估^[22]、连锁故障风险评估^[23]、风险评估的在线技术^[24]等。今后应研究如何将现有方法用于智能电网，以充分考虑智能电网带来的新的不确定因素。

智能电网工程风险评估可以分2个阶段，包括消极评价风险和积极防御风险。第1阶段主要在于形成有效的风险评估方法和指标，第2阶段重点在于开展风险决策、风险预警、在线风险评估等。

智能电网工程风险评估的应用领域如下：

- 1) 针对发电侧，采集发电设备的运行情况，发布风险信息，帮助发电侧实施设备维护；
- 2) 针对输电网，以广域测量系统和智能调度为依托，在安全防御体系的基础上建立综合风险评估体系；
- 3) 提高配电网自动化水平，增强自适应的故障处理能力，并打造配电网的风险智能预警系统；
- 4) 针对用户侧，积极开展与用户的互动，通过智能电表收集用户侧电源及电器的运行信息，并向用户发出风险提醒；
- 5) 考虑到信息及通信技术在智能电网中的重要性，信息安全风险评估值得关注。

2 智能电网的金融风险评估

2.1 金融风险的来源与组成

金融风险与工程风险的根本区别在于风险的来源不同。前者是由于市场因素造成的，而后者是由于工程系统故障造成的。金融风险包括市场风险、操作风险、信用风险、流动性风险，有时还包括法律风险^[21]。智能电网面临的金融风险主要为市场风险，即价格波动带来的风险。同时，电源所有者和用户的违约也会带来信用风险。

2.2 新型电源的风险评估及管理

第一，风险与参与市场的方式有关。大型的可再生能源电源，可以通过双边合同和集中式交易参与市场，与采用传统能源的独立发电商情况类似。分布式电源可以通过供电公司或代理机构以集中式交易的方式参与市场。此时若出现不平衡量，一般由供电公司或者代理机构设法平衡，风险由供电公司或者代理机构承担。若分布式电源直接参与集中式交易，出现不平衡量时，必须去日前市场或者实时市场购电，风险由分布式电源独立承担。

第二，风险与电源类型有关。电源所有者的风险来源主要包括：一次能源价格波动、二次能源(电能)价格波动、一次能源供应的稳定性(是否受外部环境的影响)。其中一次能源价格波动、二次能源(电能)价格波动为金融风险，而一次能源供应的稳定性属于工程风险，由于其同样影响电源所有者的收入，故对三者一并分析。表1给出了市场条件下不同电源类型面临的风险。

表1 不同电源类型面临的风险
Tab. 1 Risk of various generation sources

电源类型	一次能源 价格波动	电能价格 波动	一次能源供应 是否波动
煤电	是	是	否
天然气发电、石油发电	是	是	否
水电	否	是	是，存在丰水期和枯水期
风电	否	是	是，受外部影响较大
太阳能发电	否	是	是

由表1可知，电能价格波动是所有类型电源必须面对的风险。煤电、天然气、石油发电主要受一次能源价格波动的影响，而水电、风电、太阳能发电则主要受一次能源供应波动的影响，尤其以风电最典型。

针对一次能源价格波动和电能价格波动，首先应对价格波动进行建模，其次采用VaR^[25]、CVaR^[26]等风险评估工具对风险进行量化分析，进而选择合适的电力金融衍生品^[27]，主动规避风险。

考虑到一次能源的供应受外部环境的影响，主要采用工程风险的评估方法进行评估。对于受长期变化规律影响的能源(如水电)，可以研究分时间段的合同策略。对于受短期变化规律影响的能源(如风电和太阳能)，宜采用概率性分析方法。另外，储能装置对风电和太阳能电源出力的影响也值得研究。

2.3 供电公司面临的风险和决策

一方面，供电公司受益于分布式电源、大型可再生能源电源的出现及需求侧响应。新的发电商的

出现,使发电侧的成员增多、竞争加大,有利于降低电价,增加供电公司的收益。分布式电源和需求侧响应在负荷高峰时期的积极参与,还能够平抑日前市场和实时市场的电价波动。另一方面,供电公司也面临如下问题:以风电为代表的可再生能源电源的出力受外界环境影响较大;属于独立发电商或用户的分布式电源,其维护水平不同,机组可靠性参差不齐,且存在违约的信用风险。

可以看出,分布式电源和大型可再生能源电源的引入使日前市场和实时市场的价格波动减小,但也更容易出现不平衡量,供电公司被迫到日前市场和实时市场买电的概率增加,供电公司面临的不平衡量风险增大。

3 不同市场发展阶段和市场模式对风险的影响

3.1 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。

3.2 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^[29]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。

4 结论

1) 本文提出了智能电网风险评估的基本思路和总体框架。针对工程风险,分析了智能电网下新的风险来源、评估步骤及应用领域。针对金融风险,分析了新型电源所有者和供电公司面临的风险。并研究了电力市场不同发展阶段及典型模式对风险的影响。

2) 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。

参考文献

- [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 context-setting framework[EB/OL]. 2008-03-19. <http://www.gridwiseac.org>.
- [3] US Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Modern grid initiative: a vision for modern grid [EB/OL]. 2009-06-19. <http://www.netl.doe.gov/moderngrid/docs>.
- [4] European Smartgrids Technology Platform. Vision and strategy for europe's electricity networks of the future[EB/OL]. 2006-04-07. <http://www.smartgrids.eu>.
- [5] Strategic research agenda for europe's electricity network of the future[EB/OL]. 2006-12-18. <http://www.smartgrids.eu>.
- [6] Strategic deployment document[EB/OL]. 2008-09-25. <http://www.smartgrids.eu>.
- [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 Wenyuan. 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.



赵珊珊

收稿日期: 2009-10-23。

作者简介:

赵珊珊(1983—), 女, 博士研究生, 研究方向为电力经济与安全, E-mail: zhaoss@epri.ac.cn;

张东霞(1964—), 女, 教授级高级工程师, 主要从事电力经济分析、电力系统分析与控制等方面的研究工作;

印永华(1949—), 男, 教授级高级工程师, 博士生导师, 主要从事电力系统分析及控制方面的研究工作。

(责任编辑 杜宁)