

# 高电压设备在线监测技术 在智能电网中的研究与实施

拉 贵 扎西曲达 尼玛石达 米玛次仁 贡嘎罗布  
(西藏电力科学研究院 西藏 拉萨 850000)

**摘 要:**分析了智能电网的特征及研究进展,结合今后中国智能电网建设的发展规划,根据高电压设备状态检测的需要,指出了在线监测技术在智能电网建设中的作用,针对智能电网与传统电网的差异,提出了高电压设备智能状态检测的分阶段实施的具体建议。为推进智能电网的深入研究与应,应加强高压设备智能化研发,根据在线监测数据,对设备的可靠性做出判断,对设备的剩余寿命进行预测,应用专家分析诊断系统实现高压设备的智能状态检修。

**关键词:**高电压设备;在线监测;智能电网;状态检修;西藏

**Abstract:** The features and recent progress of smart grid are analyzed firstly. Then, based on the requirements of the detection for high voltage transmission equipment as well as the plans of smart grid construction in China, the importance of online monitoring techniques for smart grid is highlighted. Meanwhile, aiming at the differences of smart grid and traditional grid, some specific proposals for the realization of online monitoring of high voltage transmission equipment are presented. It suggests that the future work should be focused on the high voltage equipment, such as the development of intelligent equipment, the reliability analysis and the estimation of residual life according to online monitoring data, and the realization of intelligent condition-based maintenance for high voltage equipment by means of expert systems et al.

**Key words:** high voltage equipment; online monitoring; smart grid; condition-based maintenance; Tibet

中图分类号:TM835 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2012)03-0078-04

## 0 前 言

随着全球资源环境压力的不断增大,节能减排、绿色能源、可持续发展已成为各国关注的焦点<sup>[1]</sup>。电网作为关系到国民经济命脉的基础产业和公用事业,其发展已经迎来机遇与挑战并存的关键时期。因此期望通过建造能源使用的创新体系,以信息技术彻底改造现有的能源利用体系,最大限度地开发电网体系的能源效率<sup>[2]</sup>。

电力市场化进程的不断推进以及用户对电能可靠性和质量要求的不断提升,要求未来的电网必须能够提供更加安全、可靠、清洁、优质的电力供应,能够适应多种能源类型发电方式的需要,能够更加适应高度市场化的电力交易的需要,能够更加适应客户的自主选择需要,进一步提高庞大的电网资产利用效率和效益,提供更加优质的服务。为此,以美国和欧盟为代表的不同国家和组织不约而同地提出要建设灵活、清洁、安全、经济、友好的智能电网,将智能电网视为未来电网的发展方向。随着中国特高压

电网的建设和电力体制改革的不断深化,智能电网已将成为中国电网发展的一个新方向<sup>[3-6]</sup>。

高电压设备是电网的基本单元,高压设备在线监测技术作为高压设备智能化发展的关键技术,是智能电网的重要组成部分,也是区别传统电网的主要标志之一。高电压设备在线监测技术主要是利用传感器对关键设备的运行状况进行实时监控,然后把获得的数据通过网络系统进行收集、整合,最后通过对数据的分析、挖掘,达到对整个电力系统运行的优化管理。同时随着近几年新技术的发展带动了在线监测技术的进步,为高电压设备的智能发展提供了机遇<sup>[7]</sup>。结合今后中国智能电网建设的发展规划,根据高电压设备状态检测的需要,分析了在线监测技术在智能电网建设中的应用,探讨了区域电网如西藏电网智能电网建设中高电压设备智能化发展的具体建议。

## 1 智能电网的特征及研究进展

智能电网是一个现代化或智能化的电力网络,

是一系列能使电力网络智能化的技术的总称。根据目前收集到的资料和初步研究,智能电网可以理解为是将信息技术、通信技术、计算机技术和原有的输、配电基础设施高度集成而形成的新型电网,它具有提高能源效率、减少对环境的影响、提高供电的安全性和可靠性、减少输电网的电能损耗等多个优点<sup>[7-9]</sup>。因此智能电网也是现有输配电网的智能化升级。智能电网应该具备以下特征<sup>[10]</sup>。

(1) 坚强。能够监测电网的实时运行状态,预测电网运行状态,及时发现、快速诊断和消除故障隐患,提高电网运行的可靠性。

(2) 交互。用户积极参与电网的运行,根据实时电价调整用电模式;支持用户使用分布式电源,变电站可以实时监控用户的用电情况。

(3) 环保。支持分布式电源并网运行,做到“即插即用”;支持风力发电和太阳能等大规模可再生能源发电的应用,提高电能利用率。

(4) 经济。优化资源配置,提高设备传输容量和利用率;控制成本,实现电网经济运行。

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>[11-13]</sup>。

美国、加拿大以及欧洲各国都相继开展了智能电网相关研究,从研究现状和产业化进程来看,各个国家和地区的侧重点不完全相同。对美国来说,对复杂大电网的安全稳定控制,是其智能电网发展最初的驱动,主要侧重于推广信息化、新能源、新材料和新元件。而对于欧洲智能电网的发展,严格的温室气体排放政策显然起到了更大的推动作用,分布式能源和可再生能源接入研究也相应获得了更多的支持<sup>[14]</sup>。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。2009年5月,中国国家电网公司在2009年特高压输电技术国际会议上宣布了中国智能电网的发展战略,明确提出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<sup>[3-4]</sup>。

## 2 在线监测技术在智能电网中的研究与应用

与传统电网相比,智能电网将进一步拓展对电网全景信息的获取能力,比如通过在线监测技术能够获得更精确的高压设备的实时状态数据,应用专家分析诊断系统,可准确估测设备运行的状态,预测故障,优化系统运行方式,提高系统的安全稳定性<sup>[15]</sup>。

中国自开始研究智能电网以来,十分重视在线监测技术在未来智能电网中的应用。先后与国内主要高压设备制造商、设备在线监控技术供应商和高等院校进行了交流,在多年从事高压设备检测和诊断技术的基础上,对在线监测技术在智能电网中的作用进行了更加清晰的分析 and 定位<sup>[7]</sup>。认为在线监测技术可以实现智能电网中高压设备状态的可视化和自动化,为智能电网提供了最基础的功能支撑。

对于在线监测技术在智能电网中的应用,需要考虑到所应用的技术应具有通过传感器自动采集设备状态信息的能力,同时应具有上传采集信息到数据网络以及从数据网络自动复制其他状态信息的能力,包括家族缺陷信息、现场试验信息等,便于开展设备状态的综合分析和诊断。在不影响测量和可靠性的前提下,宜采用外置型传感器,确需内置的,仅内置最必要部分。不论内置或外置,传感器的接入不应影响高压设备的安全运行。

变压器、断路器、GIS、电力电缆、高压套管等高压设备,或故障率相对较高,或故障影响较大,因此在智能电网建设中具备了在线监测的需求。另一方面,对于这些设备,可用的在线监测技术已有一定的研究基础和应用经验,具备开展高压设备智能化应用的基本条件。因此可以针对不同设备的故障模式与特点,可以逐步开展在线监测技术的现场应用,具体实施原则是在线监测技术应具有检测价值、技术相对成熟并有一定应用经验。对于油浸式电力变压器,目前可推荐的监测状态参量如表1所示。对于SF<sub>6</sub>断路器以及GIS设备而言,可监测的状态量如表2所示,其中备注为GIS的仅适用于GIS设备。

传感器将设备的状态信息转化为可测量信息,是设备状态的感知元件。以前高压设备制造商很少关注设备的状态检测功能,大多数检测功能是设备投运之后由监测技术提供商加装的。由于一部分传感器需要改装高压设备,这不仅或多或少地影响了设备的安全,传感器也往往不能置于最佳位置。对于外置传感器,虽然不需改装主设备,但影响设备的

美观甚至外绝缘。还有部分传感器,一旦设备制造完毕,就无法植入,如变压器绕组光纤测温等。综合这些情况,首先应从高压设备的设计开始就考虑在线监测技术的需求,对需要内置的传感器在设计时就应充分考虑,制造时就安装好,且有规范的信号接口,出厂试验时应带着传感器进行。对于外置传感器,应留有专门的安装位置,或者也由高压设备制造商集成。这样处理之后,不仅设备的整体性和美观方面得到改进,也会提升自检测的质量,保障高压设备的安全。

表1 油浸式变压器监测状态参量

监测设备	监测参量	应用价值
变压器	油中溶解气体	放电或过热性缺陷
	油含水量	绝缘受潮
	局部放电	放电性缺陷
	绕组温度	过热、老化
	顶层与底层油温	过热、老化

表2 SF<sub>6</sub>断路器(含GIS)监测状态参量

监测设备	监测参量	应用价值
SF <sub>6</sub> 断路器 (含GIS)	局部放电	放电性缺陷(GIS)
	气体压力	密封/受潮缺陷
	气体含水量	受潮缺陷
	气体温度	电气接触不良(GIS)

### 3 在线监测技术在智能电网中的具体实施

为了在区域电网中,比如在西藏电网中积极推进智能电网建设,利用在线监测技术对高压设备的运行状况进行实时监控,进而实现电网设备可观测、可控制和自动化,可分3个阶段开展实施西藏电网的智能电网状态监测建设。第一阶段为规划试点阶段,大约1~2年时间,主要开展高压设备在线监测关键技术研究,实现对设备状态和可靠性水平的在线智能监测和评估,开展智能变电站在线监测系统试点。针对高压设备全面采集能够反映系统主设备运行的电脉冲、气体生成物、局部过热等各种特征量,进行相关参量数字信息的采集,进而根据电网需求进行相关的状态预判,保证设备安全和供电的可靠性。能够监测高压设备的状态参量有:主变压器与高压电抗器(油中溶解气体分析)、GIS(SF<sub>6</sub>气体

密度、微水含量、局部放电)、避雷器(泄漏电流、动作次数)等,为开展智能变电站状态监测积累经验。

第二阶段为全面推广阶段,大约5年时间,在第一阶段基础上,全面推广智能变电站在线状态监测系统建设。变电站内分散的监控系统基本融为一体,进行动态数据处理,深化基于状态的全寿命周期管理,建立精益化的评估体系,基本完成变电站全方位、多层次监控的智能化变电站系统。基本实现的主要监测特征量有:主变压器与高压电抗器(油中溶解气体分析、局部放电、铁心接地电流、高压套管的介损、油中微水含量等)、断路器(SF<sub>6</sub>压力、温升、机械特性、过热)、GIS(SF<sub>6</sub>压力、温度、微水含量、局部放电、机械振动、机械特性)、避雷器(泄漏电流、动作次数)等。高压设备状态监测基本实现一体化设计、集成在线监测功能。

第三阶段为引领提升阶段,大约也为5年时间。在前一阶段智能化建设的经验积累和技术完善基础上,继续提升智能化水平。枢纽及中心变电站全面建成或更新改造成为智能变电站。变电站内各监控系统全面融为一体,全面实现高压设备的智能在线监测,形成变电站全方位、多层次监控的智能化变电站状态监测系统。根据在线监测数据,对设备的可靠性做出判断,对设备的剩余寿命做出预测,应用专家分析系统实现输变电设备的智能状态检修。在智能设备广泛实用的基础上,对设备的检修模式进一步优化,电网可靠性水平和检修效率大幅度提高。

### 4 结论

介绍了智能电网的基本特征及研究进展,结合今后中国智能电网建设的发展规划,根据高电压设备状态检测的需要,提出了高电压设备智能状态检测的分阶段实施的具体建议,为今后规模化的智能电网建设提供可借鉴的参考。

#### 参考文献

[1] 康重庆,陈启鑫,夏清. 低碳电力技术的研究展望[J]. 电网技术, 2009, 33(2): 1-7.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 1-4.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 中国国家电网公司智能电网部. 高压设备智能化技术分析报告[R]. 北京: 中国国家电网公司, 2009.

[8] 傅书邈. 中国智能电网发展建议[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(20): 23-26.

[9] Ipakchi A, Albuayeh F. Grid of the Future[J]. IEEE Power & Energy Magazine, 2009, 7(2): 52-62.

[10] 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.

[11] 常康, 薛峰, 杨卫东. 中国智能电网基本特征及其技术进展评述[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 10-15.

[12] The National Energy Technology Laboratory. A Systems View of the Modern Grid [R/OL]. [2007-01-22]. <http://www.netl.doe.gov/mordemgrid>.

[13] The National Energy Technology Laboratory. The Mod-

ern Grid Initiative. Pittsburgh, PA, USA: NETL, 2007.

[14] 林宇锋, 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.

[15] Novosel D. Emerging Technologies in Support of Smart grids [C]. IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2008.

作者简介:

拉贵(1978),男,助理工程师,主要从事高电压绝缘技术研究;

米玛次仁(1970),男,助理工程师,主要从事高电压设备现场试验技术研究;

扎西曲达(1985),男,助理工程师,主要从事电力变压器技术研究;

尼玛石达(1979),男,助理工程师,主要从事高压开关设备技术研究;

贡嘎罗布(1987),男,助理工程师,主要从事高电压设备防雷技术研究。

(收稿日期:2012-03-23)

(上接第47页)

[3] Canizares C. A., Mithulananthan N., Berizzi A., et al. On the Linear Profile of Indices for the Prediction of Saddle-node and Limit-induced Bifurcation Points in Power Systems[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 2003, 50(12): 1588-1595.

[4] 马冠雄, 刘明波, 王奇. 一种识别静态电压稳定分岔点的混合方法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(24): 17-20.

[5] Ajarapu V., Christy C. The Continuation Power Flow: A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1992, 7(1): 416-423.

[6] Feng Z., Ajarapu V., Long B.. Identification of Voltage Collapse Through Direct Equilibrium Tracing [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(1): 342-349.

[7] Yorino N., Li Huaqiang, Sasaki H.. A Predictor/corrector Scheme for Obtaining Q-limit Points for Power Flow Studies [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(1): 130-137.

[8] Canizares C. A., Alvarado F. L.. Point of Collapse and Continuation Methods for Large AC/DC Systems [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(1): 1-8.

[9] 郭瑞鹏, 韩祯祥. 电压崩溃临界点计算的改进零特征根法[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(5): 63-66.

[10] Rosehart W. D., Canizares C. A., Quintana V. H. Multiobjective Optimal Power Flows to Evaluate Voltage Security Cost in Power Networks [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(2): 578-587.

[11] Irisarri G. D., Wang X., Tong J., et al. Maximum Load Ability of Power Systems Using Interior Point Non-linear Optimization Method [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(1): 162-172.

[12] 韦化, 丁晓莺. 基于现代内点理论的电压稳定临界点算法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(3): 27-31.

[13] 李华强, 刘亚梅, YORINO N. 鞍结分岔与极限诱导分岔的电压稳定性评估[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(24): 56-60.

[14] 赵晋泉, 江晓东, 张伯明. 一种静态电压稳定临界点的识别和计算方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(23): 28-32.

[15] 熊宁, 程浩忠, 马则良, 等. 基于连续潮流的极限诱导分岔检测方法[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(18): 35-38.

[16] 徐晓春, 万秋兰, 顾伟, 等. 在线电压稳定分析中快速连续潮流的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(14): 37-41.

[17] 周双喜, 朱凌志, 郭锡玖, 等. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[18] Antonio C. Z. de Souza, Claudio A. Canizares, Victor H. Quintana. New Techniques to Speed up Voltage Collapse Computations Using Tangent Vectors [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(3): 1380-1387.

作者简介:

李林(1984),男,硕士,从事电力系统稳定运行与控制方面的研究。

(收稿日期:2012-01-11)