

The Development of Smart Substation

Yunfu Hong¹, Guotao Song², Zongqi Liu¹

¹Electrical & Electronic Engineering, North China Electric Power University, NCEPU, Beijing, China

²Nanyang Electric Power Corporation, Nanyang, China

Email: xiaohongbuxiao@163.com

Abstract: This electronic document introduces the definition and function of smart substation. The key technologies are analyzed and a new mode of developments are discussed. Intelligent substation is intelligent electric grid hub that is based on digital substation and the system of standard communication protocol. A great quantity of DG access and user interactive requirements are considered. Intelligent technologies are used such as digital measurement, expert system and so on. The construction of smart substation is the necessary condition of smart grid.

Keywords: Smart Substation; Smart Grid; IEC61850; Digital Substation; Distributed Power

智能变电站的发展

洪运福¹, 宋国涛², 刘宗岐¹

¹华北电力大学电气与电子工程学院, 北京, 中国, 102206

²南阳供电公司, 南阳, 中国, 473000

Email: xiaohongbuxiao@163.com

摘 要: 本文介绍了智能变电站的理念, 功能, 分析其关键技术并提出一种新的智能变电站发展模式。智能化变电站是在数字化变电站的基础上, 根据标准的通信协议体系, 考虑到智能电网中分布式电源的大量接入和与用户的互动性要求, 应用数字化测量和专家系统等智能技术构建的智能电网枢纽。智能变电站建设是智能电网发展的基础。

关键词: 智能变电站; 智能电网; IEC61850; 数字化变电站; 分布式电源

1 引言

智能电网是电力近期研究的热点问题, 作为智能电网的重要组成部分和节点, 智能变电站将融合变电站自动化技术、GIS 技术, SCADA 技术等工业技术, 兼容虚拟电厂和微网, 与控制中心实现快速, 高性能的通信, 在控制中心授予的权利范围内进行控制和建模^[1]。

2 智能变电站的理念

2.1 数字化变电站的概念

数字化变电站是由智能化一次设备(电子式互感器、智能化开关等)和网络化二次设备分层(过程层、间隔层、站控层)构建, 建立在 IEC61850 通信规范基础上, 能够实现变电站内智能电气设备间信息共享和互操作的现代化变电站^[2]。

2.2 智能变电站的理念

采用先进、可靠、集成、低碳、环保的智能设备, 以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求, 自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能, 并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能的变电站^[3]。

由此可见, 智能变电站以数字化变电站为依托, 通过采用先进的传感器、电子、信息、通信、控制、智能分析软件等技术, 建立全站所有信息采集、传输、分析、处理的数字化统一应用平台, 实现变电站自动运行控制, 设备状态检修、运行状态自适应、分布协调控制、智能分析决策等高级应用功能, 提高管理和运行水平。

3 智能变电站的功能

尽管国内外学者提出的智能变电站的结构在形态上不尽相似，但其都应具有如下功能。

3.1 提高电压质量，抑制谐波和振荡

随着负荷的不断增多和电网结构的不断扩大，电网会承担更多的电力电子器件，容性负载导致系统中的电压谐波污染和振荡问题已日益突出^[4]。智能变电站应具有保证系统电压水平，抑制电压谐波和振荡的能力。

3.2 高度集成化控制平台，智能自动控制

智能变电站构建需要借助计算机技术的发展，随着变电站发展的智能化，高度集成的控制平台将成为智能变电站不可或缺的一部分^[5]。应整合 EMS，SCADA，FIS，DTS 等系统的资源，利用嵌入式技术实现在线操作系统，建立站内全景数据的统一信息平台，供各子系统统一数据，标准化、规范化存取访问并与调度等其他系统进行标准化交互。

智能自动控制将是智能变电站智能功能中的核心部分，应能参考预测并根据数字化测量系统的结果，比较预优化和最优控制等多种控制方案，满足变电站集约化管理、顺序控制等要求；应能根据系统当前状态识别的结果，对系统可能出现的事故进行预测和预防；应能够建立自动工作的，随着用户用电量增大而系统的可靠性增强的 V 网。

3.3 标准的通信体系，快速、高质量的通信效果

智能变电站将是一个庞大的，集测量、分析、控制于一体的智能系统，保证系统之间各功能模块快速、高质量的通信将是系统功能实现的关键。应实现无线网、以太网等多种方式通信，实时选择最佳通信网络。复杂多样的通信应具有 IT 网一样的兼容性，应规范变电站内智能电子设备之间的通信行为和相关的系统要求，建立全站通用的通信规约。IEC61850 在数字变电站中的应用为智能变电站构建标准的通信体系奠定了良好的基础，将变电站划分为变电站层，间隔层和过程层的思想为智能变电站通信网架划分提供了新思路。

数字变电站智能化的功能之一就是充分考虑到用户的需求，应利用调度信息系统，加强与用户的互动。在用户端安装通信设备，间接实现变电站—用户双向

通信：智能变电站将能提供用户分时分段用电的指导信息，用户反馈的用电情况和需求趋势将作为智能变电站分析决策的参考。通过与用户互动能够达到“削峰填谷”的目的，保证系统安全、稳定运行。

3.4 智能化的监视系统，安全兼容分布式电源

智能化的监视系统主要采集一次设备状态信息，进行状态可视化展示并发送到上级系统，为实现优化电网运行和设备运行管理提供基础数据支撑。对网络所有节点的工况监视并在故障时报警，实现包含谐波、电压闪变、三相不平衡等监测在内的电能质量监测、分析与决策，为电能质量的评估与治理提供依据。

电网规模不断扩大带来的一个问题是大量的分布式电源接入对电网造成的影响。智能变电站应能基于市场调控的理念，在电厂，用户和电网之间寻求最优匹配。应与配电自动化系统结合，构建智能化的储能系统，抑制分布式电源对系统造成的影响。

4 智能变电站的关键技术

4.1 数字化测量技术

能够真实反映系统状态的测量结果是进行分析的基础，具有高可信度的测量数据是智能决策必不可少的条件。数字化测量系统是智能变电站的感官系统。传统的电磁式互感器绝缘成本随着绝缘等级的增加呈指数增长，磁饱和问题将造成继电保护装置误动或拒动，另外铁磁谐振、易燃易爆、动作范围小等都是传统互感器无法克服的缺点^[6]。光电互感器适应了智能电网数字化信号处理的要求，还可用于保护、监控和测量为目的的高速遥感、遥测系统，各个功能模块相对独立，便于安装和维护，适于网络化测量。

4.2 标准网络化通信技术

标准化通信网络是智能变电站的神经系统，IEC61850 标准是关于变电站自动化系统的第一个完整的通信标准体系，它的制定和发布为构建数字化变电站的通信网络提供了理论基础和技术依据。智能变电站可参考 IEC61850 标准，结合嵌入式系统，以太网技术，智能断路器技术，满足信息传输的实时性和可靠性要求，简化网络结构，减少投资。

4.3 智能分析决策技术

高度集成的智能分析决策平台是智能变电站的大

脑,采用可编程的逻辑器件和智能的专家系统为决策提供参考。可根据计算机的存储思想,将系统的内存分为 RAM 和 ROM,专家系统根据历史数据形成知识库,利用推理机和启发式算法提出操作建议。

智能分析决策应建立变电站故障信息逻辑和推理模型,分类、过滤故障告警信息,实时分析和推理变电站运行状态,自动报告变电站异常并提出故障处理指导意见。对包括事件顺序记录信号及保护装置、向量测量、故障录波等数据进行数据挖掘、多专业综合分析,并将变电站故障分析结果以简洁明了的可视化界面综合展示。

4.4 智能控制技术

智能控制系统是智能变电站的四肢,其核心技术包括智能开关技术、电压无功综合智能控制、综合潮流智能控制等智能控制技术。智能控制系统是智能变电站的主要实现方式,应与智能分析决策系统快速、准确通信并受在线监测系统的实时监测。综合利用无功补偿设备自动调节,变压器自动调压等手段,协同智能电网调度技术,支持系统安全运行及优化控制。

5 智能变电站的发展

5.1 半数字化变电站的发展

考虑到与数字化变电站相关技术虽已成熟,但其价格昂贵,普及应用尚需要一定时间,另外对传统变电站的改造也需进行巨大的投资,不可能在短时间内一次完成。因此现阶段某些数字变电站只是数字化变电站的某一项或多项技术应用在传统装置上的半数字化变电站。

随着变电站功能的不断增加,将各种功能高度集成化将是变电站设备发展的趋势^[8]。半数字化变电站到全数字化变电站的发展以设备功能集成化、智能化为突破口,实现局部到整体的统一。

5.2 全数字化变电站的发展

智能化开关、光电式电流电压互感器、一次运行设备在线状态检测等技术日趋成熟和逐步推广应用,已非常成熟的自适应技术在继电保护方面的应用取得重大突破,全数字化的变电站自动化系统大面积推广即将成为事实^[7]。目前,光电式互感器已经进入实用化阶段,国内外均已开始生产实用化产品,并均有挂网运行的例子。智能开关处于理论研究阶段,国外已

有实验性产品问世,国内还处于实验室研究阶段。基于 IEC61850 建模并通信的二次装置,国内外研究的都比较成熟。

表 1 列出了数字化变电站产品研发现状^[9]。

Table 1. Product development of domestic digital substation

表 1. 国内数字化变电站相关产品研发情况汇总

	理论状态	实验室研发	挂网试运行	成熟产品
数字化开关	√	√		
数字化变压器	√			
其他数字化电气辅助设备	√			
电子式电流互感器(光学原理)			√	
电子式电流互感器(罗氏线圈或低压功率线圈)				√
电子式电压互感器(光学原理)		√		
电子式电压互感器(分压原理)				√
支持 IEC61850 的二次设备			√	√

5.3 智能变电站的发展

智能变电站的发展主要是在全数字化变电站的基础上,引入智能的专家决策系统和控制系统。针对分布式电源大量并网对电压质量影响问题,智能变电站可与配电自动化系统有机结合,建立大功率的智能储能系统。为了适应电力市场化和与用户互动性的要求,可将通信网络扩展到用户端,通过动态电价等手段调节用户用电方式、增强用户用电积极性,合理用电。同时将用户用电信息反馈到专家决策系统,实时调节控制策略,更好地为用户服务。

半数字化变电站、全数字化变电站、智能变电站的发展关系如图 1 所示。

从图我们可以清晰地看到,智能变电站的发展需要整合计算机网络技术、通信技术、非常规互感器与智能开关技术,专家决策等技术。这些技术有些已经非常成熟并广泛于变电站中,智能变电站的发展将是一个现代智能技术与传统工业融合的过程。

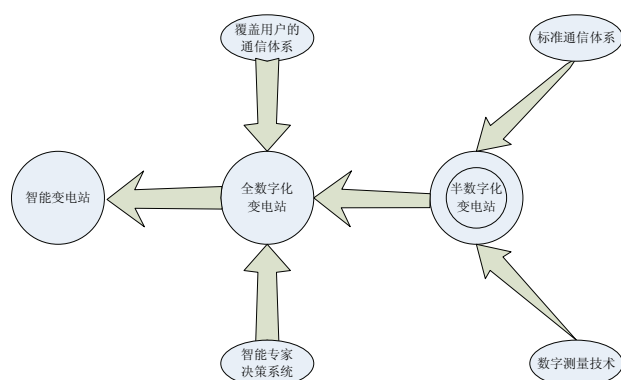


Figure 1. Curve: development process of smart substation

图 1. 智能变电站发展过程图

6 结论

作为复杂的智能化系统，智能变电站需经过多阶段，多目标发展才能完成。改造原有的变电站需要应用上的平稳过渡和重点技术突破，逐步达到完善。智能变电站的发展将为智能电网的建设奠定坚实基础。

致 谢

感谢张建华教授对本论文的悉心指导，感谢各位专家对论文的评审。

References (参考文献)

- [1] Pang Hongmei, Li Huaihai, Zhang Zhixin, Zhou Haiyan, Research situation of 110 kV smart substation technology [J],

Power System Protection and Control, 2010, 38(6), P146-150 (Ch).

- 庞红梅, 李淮海, 张志鑫, 周海雁, 110 kV 智能变电站技术研究状况[J], 电力系统保护与控制, 2010, 38(6), P146-150.
- [2] Gong Quan, Liu Lin, Yang Fan, System testing of digital substations based on IEC-61850 [J], *East China Electric Power*, 2009, 37(6), P0936-0940 (Ch).
- 龚泉, 刘琳, 杨帆, 基于 IEC-61850 标准的数字化变电站系统测试[J], 华东电力, 2009, 37(6), P0936-0940.
- [3] State Grid Corporation of China, Technical Guideline for Smart Substation[Z], 2009
- 国家电网公司, 智能变电站技术导则[Z], 2009
- [4] Josco, Peter and so on, A Smart MV/LV-Station that improves power quality reliability and substation load profile, 21th International Conference on Electricity Distribution, 8-11 June 2009, pp.0776-0780.
- [5] Hak-Man Kim, Jong-Joo Lee, Dong-Joo Kang, A platform for Smart Substations, *Future Generation Communication and Networking*, 6-8 Dec 2007, pp579-582.
- [6] Song Renjie, Li Hongbo, Wang Xiaodong, a new photoelectric current and voltage Integrated transformer[J], *Automation of Electric Power Systems*, 2009, 33(6), P73-75 (Ch).
- 宋人杰, 李虹波, 王晓东, 一种新型光电式一体化电流电压互感器[J], 电力系统自动化, 2009, 33(6), P73-75.
- [7] Wang HaiFeng, Ding Jie, Xu Wei, A Dual-networking Control Strategy for Digitized Substations [J], *Automation of Electric Power Systems*, 2009, 33(8), P48-50 (Ch).
- 王海峰, 丁杰, 徐伟, 数字化变电站中双网控制策略[J], 电力系统自动化, 2009, 33(8), P48-50.
- [8] Volberda, Frans, Van Loon, Sebastiaan, Baldinger, Frank, Van Riet, Maarten, Challenge of managing organisational changes, necessary for new substation automation systems, 21th International Conference on Electricity Distribution, 8-11 June 2009, pp.0874-0880.
- [9] Chen Wensheng, Tang Hongde, Key technologies of digital substations and related engineering implementation [J], *East China Electric Power*, 2009, 37(1), P124-128 (Ch).
- 陈文升, 唐宏德, 数字化变电站关键技术与工程实现[J], 华东电力, 2009, 37(1), P124-128.