

The Development Prospects of Substation for Smart Grid

Jiatao Zhang¹, Huiting Qiao², Yijie Li³

¹Langfang Power Supply Bureau, Langfang

²Institute of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing

³Hainan University, Haikou

Email: zjtbest@gmail.com; qiaohuiting@163.com; liyijie2007@gmail.com

Received: Apr.18th, 2011; revised: May 20th, 2011; accepted: May 27th, 2011.

Abstract: This paper gives a brief analysis of the definition, features and functions of smart grid, and then presents the differences between smart grid and the existing power grid. The development of a substation is introduced in detail and the main features of the substation in different processes are summarized. Thus, intelligent substation is an inevitable development trend. Research and analysis is focused on the concept and structural model of intelligent substation as well as the main technologies applying in the construction of intelligent substation.

Keywords: Smart Grid; Intelligent Substation; Structural Modeling

面向智能电网的变电站发展前景

张加涛¹, 乔慧婷², 李毅捷³

¹华北廊坊供电公司, 廊坊

²华北电力大学电气与电子工程学院, 北京

³海南大学, 海口

Email: zjtbest@gmail.com; qiaohuiting@163.com; liyijie2007@gmail.com

收稿日期: 2011年4月18日; 修回日期: 2011年5月20日; 录用日期: 2011年5月27日

摘要: 在本文简要分析智能电网的定义、特点、功能实现, 以及智能电网和现有电网之间的区别, 详细介绍了变电站的发展过程, 总结不同发展过程中变电站的主要特征, 指出智能变电站是变电站发展的必然趋势。重点研究分析智能变电站的概念和模型构建, 以及智能变电站建设过程中的主要技术。

关键词: 智能电网; 智能变电站; 结构建模

1. 引言

电力事业是关系到国民经济命脉的基础产业和公用事业。现代电网的发展已经迎来机遇与挑战并存的关键期。随着以特高压为骨干网架和以各级电网为分区的中国特色电网的形成, 风力发电、太阳能发电、燃料电池发电等分布式可再生能源发电资源数量的不断增加, 传统的电力网络以及控制措施已经难以支持如此多的发展要求。为此, 我国提出了发展坚强智能电网的设想。其中, 变电环节是实现坚强智能电网的

关键和基础, 所以面向智能电网的智能变电站的建设也将成为变电站发展的必然趋势。

2. 智能电网概述

2.1. 坚强智能电网的定义

由于发展环境和驱动因素的差异, 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。总的来说，智能电网指的是电力输配系统综合传统的和前沿的电力工程技术、复杂的感应和监控技术、信息技术和通讯技术以提高电网运行效率并支持客户端广泛的附加服务的新型电网。智能电网在广义上包括可以优先使用清洁能源的智能调度系统、可以动态定价的智能计量系统以及通过调整发电、用电设备功率优化负荷平衡的智能技术系统^[1]。针对我国电力需求持续高速增长、电力资源和用电负荷分布极不均衡、输电过程损耗大、能源利用率低等多方面因素，我国将电网建设为以特高压为骨干网架，各级电网为分区的具有中国特色的电网。特别是特高压输电，它具有输电容量大、送电距离长、线路损耗低、工程投资省、走廊利用率高和联网能力强等特点，是输电技术的重要发展方向，对推动世界电力工业的创新发展具有深远的意义。因此特高压的发展是建设智能电网的重要前提，所以我国的智能电网正是以特高压为网络实体基础的坚强智能电网^[2]。

2.2. 智能电网的特点

根据智能电网具有的灵活性、易接入性、可靠性、经济性等多方面优点，智能电网的主要特征可以归纳为：

(1) 自愈：对电网的运行状态进行连接的在线自我评估，并采取预防性的控制手段，及时发现、快速诊断和消除故障隐患；故障发生时，在没有或少量人工干预下，利用分布式电源等设备自动进行恢复，能够快速隔离故障、自我恢复、避免大面积停电的发生。

(2) 互动：系统运行与批发、零售电力市场实现无缝连接，支持电力交易的有效开展，实现资源的优化配置；同时通过市场交易更好地激励电力市场主体参与电网安全管理，从而提升电力系统的安全运行水平。电网将使得用户可以更好地控制自己的用电设备或用电装置，无论是家庭用户还是工商业用户。电网将与智能建筑物的能源管理系统相连以帮助用户管理其能源使用并减少能耗开销。

(3) 优化：实现资产规划、建设、运行维护等全寿命周期环节的优化，合理地安排设备的运行与检修，提高资产的利用效率，有效地降低运行维护成本和投资成本，减少电网损耗。电网将在自然状态和计算机状态下更安全，新技术的配置将可以更好地识别和应

对人为的和自然的侵害。

(4) 兼容：电网能够同时适应集中发电与分散式发电模式，实现与负荷侧的交互，支持风电等可再生能源的接入，扩大系统运行调节的可选资源范围，满足电网与自然环境和谐发展。标准化了的电力和通讯的界面接点将使得用户可以接连燃料电池、可再生能源发电及其他分散的电源，并以简单的“即插即用”方式来实现。

(5) 集成：通过不断的流程优化、信息整合、实现企业管理、生产管理、调度自动化与电力市场管理业务的继承，形成全面的辅助决策支持体系，支撑企业管理的规范化和精细化，不断提升电力企业的管理效率。

2.3. 智能电网与现有电网的区别

从宏观上看，与传统电网管理运行模式相比，智能电网是一个完整的企业级信息框架和基础设施体系，它可以实现对电力客户、资产及运营的持续监视，提高管理水平、工作效率、电网可靠性和服务水平。传统的电力分配方式，类似于经济学上的计划经济，电力资源没有被合理配置，造成能源和财富的损失，而智能电网将基本杜绝此类的浪费，它会把暂时不用的电卖给其他需要电力的人，供或需都由电力资源市场决定。

从微观上看，与传统电网相比，智能电网进一步优化各级电网控制，构建结构扁平化、功能模块化、系统组态化的柔性体系结构，通过集中与分散相结合，灵活变换网络结构、智能重组系统结构、最佳配置系统效能、优化电网服务质量，实现与传统电网截然不同的电网构成理念和体系^[3]。

2.4. 智能电网与现有电网的区别

(1) 智能控制中心

智能控制中心(SCC)是现有 EMS、DMS、SCADA、虚拟电厂(virtual power plant)等技术的再升级和结合。中国智能输电网的 SCC 的概念，具备可靠、弹性、协调、绿色、高效和智能等特征^[4,5]。

(2) 智能变电站

智能变电站系统可分为设备层和系统层，各层之间的联系均采用光缆。智能变电站系统融入了现代计

算机技术、现代通信技术、光电技术及具有丰富运行经验的 GIS 技术、测控技术和继电保护技术。此外，智能变电站还能实现预警报警、自动故障诊断和处理等功能^[6]。

(3) 智能线路

在智能线路中，基础设施技术水平将会提高，在线监控和智能检修会投入应用。智能电网能实时远程监测线路上的电压、电流、功率、频率、覆冰、绝缘、污闪、植被、弧垂、杆塔应力、设备状态等；并利用相关信息实现状态检修，进行故障定位、自动融冰等操作。

(4) 智能需求侧管理

智能电网的主要功能体现在两大方面，一个是电力需求侧管理，另一个是电网可靠性管理。需求侧管理是需要有技术和设备投入的，需要一个投资机制的支撑，需要创建一种盈利模式，需要一个专业化管理团队来执行。

就需求侧管理的技术而言，分布式能源是最主要的技术构成。分布式能源是能源需求侧管理的主要技术手段，也正是需求侧管理催生了分布式能源技术的发展，而分布式能源又进一步将需求侧管理推进到一个更高的境界，使需求侧管理不仅能够“节流”，而且还能“开源”，进一步扩大了它的盈利空间，使其更加富有吸引力。

3. 变电站的发展历程

我们回顾一下变电站的发展过程中，不难发现在变电站发展的过程中所经历的阶段，以及每个阶段的主要技术特征；在阶段升级过程中，哪方面的技术是最主要，最核心的；最后又是如何发展到智能变电站的。变电站的发展历程如图 1 所示。

3.1. 传统变电站

20 世纪 80 年代及以前，变电站保护设备以晶体管、集成电路为主，二次设备均按照传统方式布置，各个部分独立运行。其中最重要的是安全性、可靠性不能满足现代电力系统高可靠性的要求。传统的变电站大多数采用常规的设备，尤其是二次设备中的继电保护和自动装置、远动装置等(有不少变电站没有自动装置和远动装置)采用电磁型或晶体管式设备，设备本

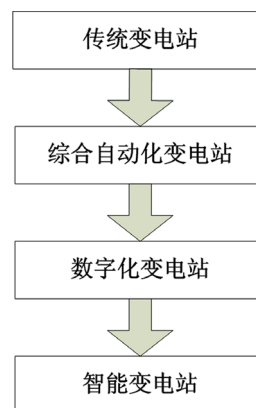


Figure 1. Developments of substation
图 1. 变电站发展历程

身结构复杂、可靠性不高，而且又没有故障自诊断的能力。目前的办法是依靠对常规二次系统进行定期的测试和校验来发现问题，这不但增加了维护人员的工作量，而且仍无法保证装置绝对的可靠，往往是等到保护装置发生拒动或误动后才能发现问题再进行调整与检修，另外维护人员在定期检测中造成装置误动或形成新的隐患的情况也时有发生。同时硬件设备基本上是按功能独立配置的，彼此间联系很少，设备型号庞杂，在组合过程中协调性差，也容易造成设计隐患。

此外，还存在以下问题和缺陷，例如：在供电质量缺乏科学的保证；占地面积大，增加了征地投资；不适应电力系统快速计算和实时控制的要求；维护工作量大，设备可靠性差，不利于提高运行管理水平和自动化水平等。

3.2. 综合自动化变电站

20 世纪 90 年代，随着微机保护技术的广泛应用，以及计算机、网络、通信技术的发展，变电站自动化水平取得实质性进展。所谓综合可以从两个方面去解释：横向综合：利用计算机手段将不同厂家的设备连在一起，替代或升级老设备的功能；纵向综合：在变电站层这一级，提供信息，优化、综合处理分析信息和增加新的功能，增强变电站内部、各控制中心间的协调能力。

利用计算机技术、现代电子技术、通信技术和信息处理技术，对变电站二次设备的功能进行重新组合、优化设计，建成了变电站综合自动化系统，实现对变电站设备运行情况进行监视、测量、控制和协调的功

能。综合自动化系统先后经历了集中式、分散式、分散分层式等不同结构的发展,使得变电站设计更合理,运行更可靠,更利于变电站无人值班的管理。但是,现在的变电站综合自动化系统还是隶属于传统的变电站二次系统的一部分,综合化、数字化还有待提高。其中还存在以下问题:

(1) 电力互感器模拟量到模拟量的转换,误差大、易饱和、体积大、试验及维护工作量大;模拟-数字转换存在较大附加误差;

(2) 站内不同装置重复采样,数据一致性差;

(3) 设备校验必须通入模拟量,工作量大,无法做到自动的、程序化的校验;

(4) 信号采用控制电缆连接,回路复杂,抗干扰性能较差;

(5) 设备之间数据交换形式多样。各厂家的设备不能实现互操作,互换性差,变电站改造或扩容时工作量大^[7]。

3.3. 数字化变电站

对近几年来,针对目前国内变电站现状,同时随着数字化技术的不断进步和 IEC61850 标准在国内的推广应用,国内已经出现了基于 IEC61850 的数字化变电站。数字化变电站具有是数据采集数字化,系统分层分布化,系统结构紧凑化,系统建模标准化,信息交互网络化,信息应用集成化,设备检修状态化,设备操作智能化等主要特征。

智能化的一次设备(过程层)、网络化的二次设备(间隔层)、自动化的综合信息服务管理系统(站控层)等三大层次的总体结构、通信协议、数据结构、数据表达方式等以达到信息畅通无阻的技术要素,不同厂家设备可无缝连接,实现即插即用。构成了现在数字化变电站的统一的标准。

4. 智能变电站

作为统一坚强智能电网的一部分,智能变电站在未来的一段时间内,将是建设智能主网架构的最重要部分。

4.1. 智能变电站的概念

智能电网中的智能变电站是由先进、可靠、节能、

环保、集成的智能化设备组合而成,以高速网络通信平台为信息传输基础,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自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级应用功能^[8]。

4.2. 智能变电站的构成

智能变电站分为设备层和系统层两个部分。

4.2.1. 智能变电站的设备层

智能变电站的主要由高压设备、智能组件和智能设备构成,能够实现的功能主要有:

(1) 一次设备被检测的信号回路和被控制的操作回路采用嵌入式微处理器和光电技术设计,机电实现一体化;

(2) 开关设备的操作回路中常规的继电器及其逻辑回路被智能可编程程序控制器代替;

(3) 常规的强电模拟信号电缆和控制电缆被数字光纤代替;

(4) 继电保护、测量控制、防误闭锁、远动、故障录波、电压无功控制、一次设备在线状态检测及其他自动装置等全部基于统一的标准化接口设计;

(5) 设备之间全部采用高速光纤网络通信,并符合标准化的通信协议,实现数据、资源共享,不同厂家的装置可实现互操作。

由于智能变电站采用智能设备,所以随着高压设备智能化的不断发展,传统意义上的一、二次设备间的界限也将逐渐模糊,一次设备通过配备集成的智能组件,将成为智能设备^[9]。

4.2.2. 智能变电站的系统层

系统层是智能变电站的“大脑”,我们把系统层分为决策单元、协调单元、反应单元等三个部分,三个单元相互配合能够实现信息共享、设备状态可视化、智能告警、分析决策等高级智能应用。与智能控制中心实现完美结合。

对于智能变电站系统层我们采用 SPID 系统。美国国家电力科学研究院(EPRI)研究产生的 SPID 系统是当今比较完备的智能控制系统模型,其提出了对智能电网实现基于实时信息的广域、智能、自适应保护与控制系统快速的系统脆弱性评估等比较完备的系统

层控制模型,如图2所示^[9]。

如图2所示,反应单元具有分布自治和快速动作的特性,可实现数据采集与控制;决策单元具有全局响应能力;通过协调单元的设计,解决全局控制方案与局部保护控制之间的配合关系。

现在我们主要总结一下系统层的主要功能:

(1) 自治能力。系统层能在必要时调整 AVR (automatic voltage regulator)的定值以减小线损、提高电能质量和电压稳定性。在智能电网中,分布式发电渗透率将增加,微网、虚拟电厂等技术将逐步得到应用,配网中 AVR 的调整方式将适应这个趋势。

(2) 智能检修是智能变电站的重要特点。系统层能监测分析变电站设备(如变压器、母线、避雷器、隔离开关和断路器、互感器等)的状态,实现状态检修,从而优化资产使用和节约人力成本。

(3) 系统层还能实现预警报警、自动故障诊断和处理等功能。

(4) 建模能力。变电站能实时监测辖区运行状态,辨识设备和网络模型,从而为控制中心提供决策依据。

(5) 协调能力。系统层应服从控制中心指令,故应有专门的系统协调变电站自治和控制中心指令之间的关系。

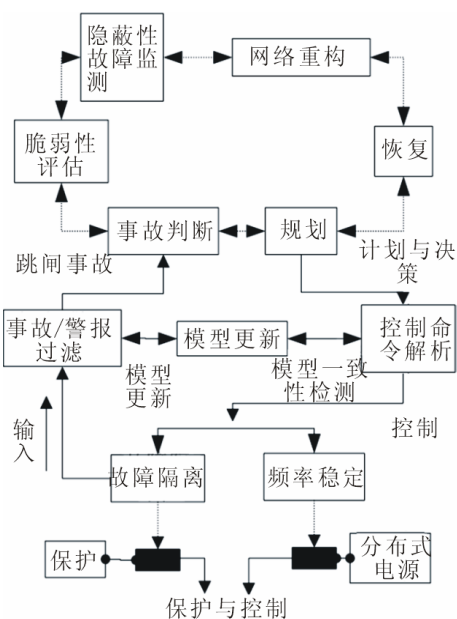


Figure 2. System layer structure of SPID
图 2. SPID 系统层结构

4.3. 智能变电站主要技术分析

4.3.1. 智能断路器技术

智能断路器具有数字化测控技术,而且具有智能化的自检功能,符合操动时间特性,智能化的选相操动技术。

4.3.2. 智能监测装置

基于自诊断功能的数值化监测和设备负载能力评估,可以将监测分为:故障部分和负荷能力评估部分,将以往的 PT、CT 系统化、全面化、智能化。

4.3.3. 系统和设备的自动重构技术

根据智能装置模型分类、描述和“即插即用”功能,建立智能装置的模型自描述规范,实现智能变电站中系统、设备的自动建模和模型重构,在系统扩建、升级、改造时,实现智能化、快速化系统重新构建。

4.3.4. 基于智能电网的广域测量与保护技术

特高压电网的建设、电网规模的扩大;分布式电源的灵活接入、多变压器的运行方式带来的后备保护配合、双向潮流、系统阻抗的变化等问题均会给继电保护定值整定带来困难,保护定值的适应能力也将受到严峻考验。同时基于智能电网的电子式或光电式互感器不受传统电磁式互感器饱和的影响,对故障时电气量的采集更为精确,简化了保护的数据算法,缩短了数据处理时间。也可为新原理的实现、工业控制技术在电力系统的应用提供技术支持,为广域保护的新原理、新算法和实际应用提供了基础支撑。

4.3.5. 智能电网故障柔性定位技术

研究广域同步故障数据的数据提取和大批量数据猝发远程传输技术,建立融合多种故障测距方法的综合性智能测距算法模型,实现分层分布式柔性的广域故障定位网络^[10]。

4.3.6. 信息数据交互规约技术

对智能设备信息管理和共享规约进行标准化,实行统一的规约技术,实行符合智能设备要求的自诊断传感器与主设备接口技术规范和自诊断设备信息交互技术规范。

智能变电站是智能电网的基础环节,从变电站技术发展的现状出发,按照统一智能电网总体目标和阶

阶段性建设需求，应该从国家电网层面制定智能变电站相关标准规范，探索全新的电网运行管理模式。

5. 结论

本文简要分析了智能电网的定义，特点、功能实现，以及智能电网和现有电网之间的区别，详细介绍了变电站的发展过程，并分别总结了不同发展过程中变电站的主要特征，而智能变电站是在智能电网的背景下，变电站发展的必然趋势。另外，本文还重点研究了分析智能变电站的概念和模型构建，以及智能变电站建设过程中的主要技术。

6. 致谢

首先感谢贵杂志能提供这么好的交流机会和展示平台，可以让我们普通的电力人为我国的能源发展和电网建设建言献策。同时感谢我的培养单位华北电网公司，它提供很多培训和学习的机会，使公司员工能够透析世界能源技术的发展，结合自身发展，为我国智能电网技术做出贡献。另外，非常感谢华北电力大学培养了我，在华北电力大学度过的4年大学生活是

我人生的宝贵财富。

参考文献 (References)

- [1] 国家电网公司. 统一坚强智能电网综合报告[R]. 北京: 国家电网公司, 2009.
- [2] European Technology Smart Grids Platform. Smart Grids: Vision and Strategy for European Electricity Network of the Future [URL]. <http://www.smartgrids.eu/documents/vision.pdf>, 2009.
- [3] 李兴源, 巍巍, 王渝红等. 坚强智能电网发展技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 1-7.
- [4] 张伯明, 孙宏斌, 吴文传等. 智能电网控制中心技术的未来发展[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 21-27.
- [5] 李斌, 薄志谦. 面向智能电网的保护控制系统[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(20): 7-11.
- [6] 国家电网公司. 数字化变电站技术现状及发展分析报告[R]. 北京: 国家电网公司, 2009.
- [7] 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.
- [8] Office of Electricity Delivery and Energy Reliability. Multi-year Plan FY3008-2013[URL]. http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/DOE_OE_NST_B_Multi-Year_Plan.pdf, 2009.
- [9] C. C. Liu, J. Jung, and G. T. Heytd. The strategic power infrastructure defense (SPID) system. A conceptual design. IEEE Control System Magazine, 2000, 20(4): 40-52.
- [10] 余贻鑫. 智能电网的技术组成和实现顺序[J]. 南方电网技术, 2009, 3(2): 1-5.