

110 kV 智能变电站技术研究状况

庞红梅¹, 李淮海¹, 张志鑫², 周海雁³

(1. 淮北供电公司, 安徽 淮北 235000; 2. 北京市 142 信箱 47 分箱, 北京 100854;
3. 安徽华电工程咨询设计有限公司, 安徽 合肥 230022)

摘要: 智能变电站是变电站自动化技术发展的延伸, 是信息采集、传输、处理、输出过程完全实现数字化的变电站。描述了智能变电站建设技术特征, 从智能化一次设备、网络化二次设备、IEC61850 标准通信网络、信息交互的差异、投资成本的优化等主要方面分析了智能变电站技术优势, 探讨在满足安全稳定、可靠、经济运行条件下, 智能变电站发展的前景。文中介绍了全光纤电流互感器独特的技术特性, 尤其是 IEC61850 标准通信规约在电力行业中的实现, 为不同制造商之间产品的互相通信奠定了基础。

关键词: 智能变电站; 设备智能化; 全光纤互感器; 通信平台网络化; 信息共享标准化

Research situation of 110 kV smart substation technology

PANG Hong-mei¹, LI Huai-hai¹, ZHANG Zhi-xin², ZHOU Hai-yan³

(1. Huaibei Power Supply Company, Huaibei 235000, China; 2. Beijing, sub-PO box 47, PO box 142, Beijing 100854, China;
3. Anhui Huadian Engineering Consulting and Design Co. Ltd., Hefei 230022, China)

Abstract: Smart substation is an extension of the development of substation automation technology. And it is also a completely digital substation with process of information collection, transmission, processing and output. This paper is mainly describes the technical characteristics of intelligent substation construction, analyzes advantages of intelligent substation technics from major aspects of intelligent primary equipment, network secondary equipment, IEC61850 standard communication network, differences in information exchange, and discusses the development prospects of intelligent substation in meeting operation conditions of security, stability, reliability, and economy. This paper introduces unique technical characteristics of an all-optical current transformer, especially the IEC61850 standard communication protocol in the power industry, the realization of products of different manufacturers to lay the foundation for mutual communication.

Key words: smart substation; intelligent devices; fiber optical current transformer; networked communication platform; information sharing and standardizing

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)06-0146-05

0 引言

智能变电站是以设备全智能化和测控全智能为基础, 具有变电设备的智能监控、供电安全的在线预警、薄弱环节的自动识别等功能。目前, 智能化的一次设备(如光纤传感器、智能化开关等)、网络化的二次设备、符合 IEC61850 标准的通信网络和自动化的运行管理系统, 是智能变电站最主要的技术特征。智能变电站技术日新月异, 发展速度迅猛。常规变电站与智能变电站结构比较见图 1。

现就智能变电站技术优越性从以下几方面与数字化变电站比较进行论述。

1 智能化的一次设备

智能化的一次设备主要包括数字互感器和智能

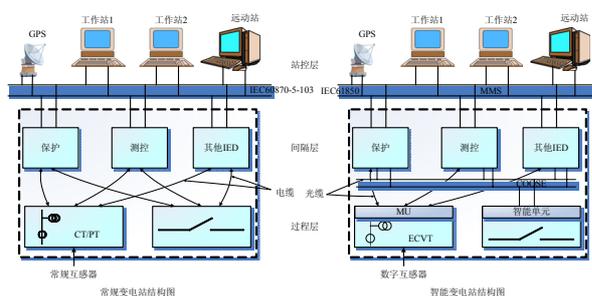


图 1 常规变电站与智能变电站结构比较

Fig. 1 Comparison of conventional substation and smart substation structure

化开关。

1.1 数字互感器的优势

传统电磁式互感器由于使用了铁芯, 不可避免地存在饱和及铁磁谐振等问题, 难以实现大范围测

量, 同一互感器很难同时满足测量和继电保护的需
要。电磁式电流互感器二次回路不能开路, 电压互
感器二次回路不能短路, 否则将危及人身及设备安
全。电磁式互感器由于绝缘降低, 运行中经常发生
爆炸现象, 危及电力系统安全运行。电磁式互感器
钢材、变压器油、SF₆气体等消耗量较大, 不符合节
能、环保要求。

针对传统电磁式互感器的缺陷, 电子式互感器
逐渐受到国内外的广泛关注。电子式互感器分为有
源与无源两种, 其中全光纤电流互感器为无源型,
它基于磁光法拉第效应原理, 采用光纤作为传感介
质, 不存在铁磁共振和磁滞后饱和, 同时具有频带
宽、动态范围大、体积小、重量轻等优点^[1]。电子
式电流/电压互感器 (ECT/EVT) 与保护设备的接口
实现途径, 从系统可靠性和技术发展两个方面考虑,
一般采用数字化。即: 对 ECT/EVT 所输出的电流、
电压信号进行就地数字化后, 通过光纤、合并单元、
网络设备等传输至保护、测控设备。采样值数字化
传输是数字化变电站区别于当前变电站自动化系统
的重要技术特征之一^[2]。

数字互感器的敏感元件和传输元件都是光纤,
安装维护相对于其它电子式互感器简单。输入输出
光路为统一路径, 提高了抗干扰能力, 安全可靠
性高。以电流互感器为例, 纯光纤式电流互感器主
要由三相敏感环、电气单元和连接光缆组成。采用
独特的闭环控制技术, 动态范围大和精度高。全光
纤电流互感器结构如图 2。

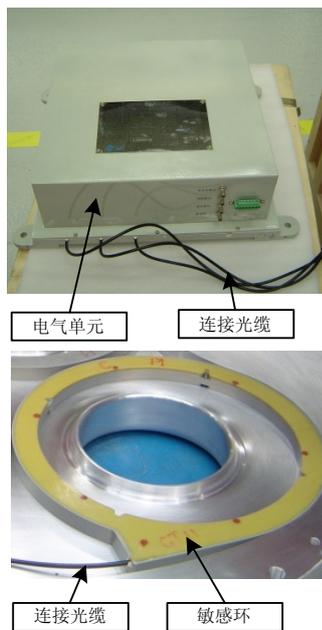


图 2 全光纤电流互感器结构图

Fig. 2 The fiber structure of optical current transformer

上海西门子高压开关有限公司 8DN8-2 型 GIS
在上海 110 kV 封周变电站中首次使用全光纤电子式
电流互感器, 在国内 GIS 产品上是首次应用, 在国
外同等电压等级 GIS 产品上也是首次应用, 结构形
式独创, 装配完成后的全光纤电流互感器外观如图
3。



图 3 全光纤电流互感器外观图

Fig. 3 The outside view of fiber optical current transformer

从电子式互感器发展的趋势来看, 数字互感器
以其简单、可靠等特色引领该产品处于主导地位。

1.2 智能化开关

所谓智能化开关是指断路器操作所需的各种信
息由装在断路器设备内的智能控制装置直接处理,
使断路器装置能独立地执行其当地功能, 而不依赖
于站控层的控制系统。

智能化开关的发展趋势是用微电子、计算机技
术和新型传感器建立新的断路器二次系统, 开发具
有智能化操作功能的断路器。其主要特点是由电力
电子技术、智能控制装置组成执行单元, 代替常规
机械结构的辅助开关和辅助继电器。

非常规互感器的出现以及计算机的发展, 使得
对于断路器设备内部的各种状态监测已经成为可能。
通过收集分析运行参数和检测数据, 判断断路器
设备运行的状态及趋势, 适时安排设备的“状态
检修”。代替传统的定期检查及预防性试验。新型
传感器与智能控制装置相配合, 独立采集运行数据,
可检测设备缺陷和故障, 在缺陷变为故障之前发
出预警信号, 以便采取措施避免事故发生。

智能断路器与常规断路器的根本区别在于断路
器的跳闸方式发生了根本性的变化。从以往电缆
传输跳合闸电流操作方式变为通讯报文操作方式,
从技术和观念上的变化都是巨大的。鉴于 IEC61850
标准的 GOOSE 等快速报文传递跳合闸命令的可靠

性、实时性需要时间来验证，断路器跳、合闸回路在变电站的二次系统内是非常重要的，所以智能断路器在研发和使用中都应给予高度重视。

智能化一次设备采用智能监视和控制手段，机械结构简单，体积小。既减少了设备停电检修的几率和时间、运行成本，也减少了人为因素造成的设备损坏。

1.3 合并单元

合并单元作为数字互感器、智能化一次设备、智能化二次保护、测控和计量设备的中间连接环节，其主要功能是接收一次设备的信号，并对采样的数据进行汇总。根据二次接入设备的要求，输出相同或不同的数值和开关信号，同时可接收二次设备的命令输出信号，至智能化一次设备。

合并单元与二次设备的连接：合并单元与二次设备之间一般通过光纤相连，按照 IEC61850-9-1/2 或 IEC60044-8 的规范进行通信。目前国内少数厂家正在研究这一方式，可将数据采样、断路器跳合闸、开关位置、遥信等同组在一个 GOOSE 网上，但此种方式的稳定性有待经过实践检验。

2 网络化的二次设备

随着光纤通讯技术、网络技术的飞速发展及其在变电站自动化系统中的不断深入应用，加上电力系统规模的扩大和自动化水平的提高，用数字通讯手段传递电量信号，用光纤作为传输介质取代传统的金属电缆，构成网络通信的二次系统是智能变电站的必然选择。

智能变电站系统网络化的二次设备架构采用三层网络结构：站控层、间隔层、过程层。

2.1 站控层

站控层包括监控主机、远动通信机等。

站控层由计算机网络连接的系统主机、工作站、远动主机、保护信息子站等设备组成，提供变电站内运行的人机联系界面，实现管理控制间隔层设备等功能，形成全站监控、管理中心，并可与调度中心、集控中心、保护信息主站通信。智能变电站相比传统变电站，整个站控层网络采用 IEC61850 通信标准，其模型描述能力大大提高、装置互操作性大大增强。

站控层设备间用双以太网实现横向通信。

2.2 间隔层

间隔层一般按断路器间隔划分，具有测量控制单元或继电保护元件。

站控层、间隔层设备组双光纤以太网，间隔层保护测控设备直接连接到站控层网络中。间隔层由

各种不同间隔的装置组成，这些装置直接通过局域网或者串行总线与变电站层联系；也可设有数据管理机或保护管理机，分别管理各测量、监视元件和各保护元件，然后集中由数据管理机或保护管理机与变电站层通信。

2.3 过程层

过程层是一次设备与二次设备的结合面，或者说过程层是指智能化电气设备的智能化部分。过程层的主要功能分为三类：实现运行电气量检测；运行设备状态检测；操作控制命令执行。

智能断路器或紧凑型断路器设备、数字互感器及变电站中低压侧的保护测控一体化，实现了变电站机电一体化设计。

3 符合 IEC61850 标准的通信网络

实现语音、数据、视频图象三网合一的综合业务服务，需要无处不在的信息通信系统支持^[3]。IEC61850 标准是迄今为止最为完善的关于变电站自动化的通讯标准，它吸收了面向对象建模、组件、软件总线、网络、分布式处理等领域的最新成果，形成了智能变电站应用技术的重要支撑。

实施 IEC61850 标准可以在规范、设计、制造、安装、运行维护等方面获得益处，大大降低作业成本。

3.1 规范

IEC61850 标准定义了变电站自动化功能的数据名称，标准为供应商提供了系统设计框架，符合 IEC61850 标准的 SAS 将非常便于拓展，对于未来的应用具有适应性；所有系统的应用将基于以太网和 MMS，以太网的应用为根据可用率的要求制定变电站自动化系统 SAS 提供了可实现性。

3.2 设计

IEC61850 标准定义的数据模型可以直接用于系统设计阶段，节省了时间，SAS 的硬件设计变得十分简单。因为 IED 之间不需要网关，工业级的以太网元件可以用于高压等级的电网，需要额外采取一些措施以防止电磁干扰的影响；由于元件减少需要协调的工作量下降。

3.3 制造

由于采用了变电站配置语言 SCL，结构定义工作简单化，部分可以自动实现，协调工作减少，系统建设和运转迅速；数据交换的错误率下降，调试人员基于共同的标准工作，不需要去熟悉不同的规约。在工厂内完全可以用以太网连接方式模拟现场试验，大大提高系统测试的效率。对于 SAS 问题的发现和修改变得十分有效。

3.4 安装

应用以太网通讯大量减少了电缆和接口, 由于接线引起的错误大大降低; 由于以太网应用的普遍性, 变电站现场试验时很容易获得以太网测试的工具; TCP/IP 技术的应用, 利用 MMI 在变电站内可以随处方便地获取试验数据, 尤其变电站内不同地方的许多试验涉及因果关系。因此, 在某个地方具有完整信息的数据可以提高试验的效率。

3.5 运行维护

IEC61850 标准是全世界唯一的变电站网络通讯标准, 也将成为电力系统中从调度中心到变电站、变电站内、配电自动化无缝自动化标准。IEC61850 标准的发展方向是实现“即插即用”, 在工业控制通信上最终实现“一个世界、一种技术、一个标准”。IEC61850 标准为电力系统自动化产品的“统一标准、统一模型、互联开放”的格局奠定了基础, 使变电站信息建模标准化成为可能, 信息共享具备了可实施的基础前提。

4 信息交互的差异

常规变电站的 IED 往往需要大量辅助触点来完成信息的传递, 如跳闸信号、告警信号、事件记录信号。设备之间的连线十分复杂, IED 设计环节繁杂, 往往由于辅助接点不够, 需要额外增加单独的辅助继电器以完成变电站二次系统的控制、跳闸、事件记录等功能。

智能变电站内设备之间的信息交互由常规变电站以硬接点信号交互为特征的方式变为基于 IEC61850 标准的对等通信模式 (Peer to Peer)。这种应用模式改变了以往由大量二次电缆构成的变电站控制、跳闸、告警、事件记录等信息传递、交互模式, 变电站内部可实现光纤通信方式, 一方面可以实现整个二次系统的有效监视, 另一方面节省了大量的二次电缆, 简化了系统设计和工程实施。

随着智能电网的发展, 还可利用低压电网的电力导线直接为信息化电器提供更加便捷实用的数据交换^[4]。

5 投资成本的优化

主要体现在几个方面:

1) 一次性投资成本上的效益, 占地面积少, 基建投资少; 实现信息集成化应用和共享, 设备的重复性投资少; 由于系统集成度高, 大量的调试工作在工厂完成, 大大缩短现场调试时间。

2) 智能变电站采用数字互感器, 传感器体积小, 容易集成在一次设备内, 或安装在紧靠一次设

备现场, 节省空间, 大大减少土建投资成本; 同时, 一、二次系统电气上完全隔离, 省却了交流电缆代之以光缆, 变电站内用于防止故障时产生的传导性电磁干扰二次系统接地铜排将不再需要; 保护/测控一体化应用、PMU/故障录波器性能集成应用可有效地减少变电站内硬件设备配置; 采用光纤局域网作为通信系统, 可减少可观的二次电缆。

3) 整个变电站二次系统具有自我诊断和监视能力, 可为运行和维护提供综合、有效的信息, 更容易实现远方维修和远方运行控制, 实现变电站无人值班, 减少系统的运行维护成本。

6 智能变电站发展情况

国网公司在《国家电网公司“十一五”科技发展规划》中明确提出在“十一五”期间要研究、实施示范智能变电站。国内各网省公司纷纷开始智能变电站试点工程的建设。

目前, 智能变电站技术很多, 有些已成熟, 有些还在研究阶段, 有的还处于概念阶段。如:

1) 一次设备智能化的实践: 目前已有应用, 如淮北桓潭 110 kV 智能变电站。

2) 二次功能网络化的实践: 目前已有工程应用, 如洛阳金谷园 110 kV 数字化变电站。

3) 设备状态检修的实践: 智能一次设备状态检修的实践; 继电保护二次设备状态检修的实践, 目前正在开展研究。

4) 站内智能高级应用方案研究: 智能告警及分析决策经济运行与优化控制等, 正在研究阶段。

5) 分布协同智能控制与智能保护研究: 目前正在研究阶段。

6) 主变压器应用新型光栅式温度在线监控系统: 目前正在研究阶段。

7) GIS 组合电气应用 SF₆ 压力、微水在线监测系统。

智能变电站研究、建设工作尚处在起步阶段, 重点工作主要集中在智能化开关设备、光纤传感器、设备状态在线监测等技术与设备的研究开发, 尚不具备大范围推广应用的基本条件。主要问题表现在:

1) 智能变电站没有相应的设计规范、验收规范、装置检验规程、计量检定规程、运行规范等, 需要在实践中不断研究、摸索、制定。

2) 智能变电站技术尚不成熟, 在智能设备检测装置、一体化信息、平台开发等方面还存在不足之处。

3) 智能变电站的投产, 使得原有的检验手段已不能满足现场检验的需要, 亟待研究新的检测方法, 配置相应的检测仪器。

4) 智能变电站与传统变电站的差异导致在维护界限、人员分工等方面需要重新划分。

7 小结

智能变电站将整合变电站自动化, 地理信息系统、SCADA 等技术, 并兼容微网和虚拟电厂; 在控制中心授予的权限范围内进行控制和建模^[5]。其技术成熟度需要在兼容综合自动化变电站技术的基础上, 实现应用上的平稳发展和重点技术突破, 逐步达到完善。智能变电站建设将为智能电网发展奠定坚实基础。

参考文献

[1] 陈文中. 数字化变电站全光纤电流互感器准确度校验[J]. 华东电力, 2009, 37(12): 22-28.
CHEN Wen-zhong. Accuracy Calibration for Fiber Optical Current Transformers of Digital Substations[J]. East China Electric Power, 2009, 37(12): 22-28.

[2] 殷志良. 数字化变电站中采样值同步技术研究[J]. 华东电力, 2008, 36(7): 38-41.
YING Zhi-liang. Synchronization of Sampled Values in Digital Substations[J]. East China Electric Power, 2008,

36(7): 38-41(in Chinese).

[3] 苗新, 张恺. 支撑智能电网的信息通信体系[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 8-13.
MIAO Xin, ZHANG Kai. Information Communication System Supporting Smart Grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 8-13(in Chinese).

[4] 李力, 曹荣. 以创新精神建设坚强智能电网[J]. 电力需求侧管理, 2009, 11(5): 4-10.
LI Li, CAO Rong. Building a Strong Smart Grid by Innovation Spirit[J]. Power Demand Side Management, 2009, 11(5): 4-10 (in Chinese).

[5] 林宇锋. 智能电网技术体系探讨[J]. 电网技术, 2009, 33(12): 8-14.
LIN Yu-feng. Discussion on Smart Grid Supporting Technologies[J]. Power Demand Side Management, 2009, 33(12): 8-14 (in Chinese).

收稿日期: 2009-09-04; 修回日期: 2009-11-04

作者简介:

庞红梅 (1964-), 女, 工程师, 本科, 从事输变电工程安全监督与管理工作, 主要研究方向电力安全管理与技术; E-mail: Redmay0561@126.com

李淮海 (1964-), 男, 教授级高级工程师, 研究生, 研究方向为智能传感器, 电力电子技术、智能电网建设等;

张志鑫 (1964-), 男, 研究员, 研究生, 研究方向为光电传感器, 光电控制技术。

(上接第 128 页 continued from page 128)

2) 部分早期建设的线路, 保护装置型号陈旧, 缺少通信规约相关技术资料。

3) 同一个站所使用的备自投装置和线路保护装置采用通信接口不一致, 需要两台代理装置或更新保护装置。

4) 个别装置使用特殊的网络总线, 本次研发不能支持全部网络总线。

随着 3G 网络的建设和运用, 带宽瓶颈不再是制约因素, 可以考虑对系统的功能进一步扩充, 如增加实时动态图像传输等, 增加对配电所直流系统的监控, 对智能表计的远传等。

参考文献

[1] DL/T 599-2005, 城市中低压配电网改造技术导则[S].

[2] DL/T 814-2002, 配电自动化系统功能规范[S].

[3] 陈堂, 赵祖康, 等. 配电系统及其自动化技术[M]. 北

京: 中国电力出版社, 2003.

[4] DL/T667 1999, 第 103 篇 继电保护设备信息接口配套标准[S].

[5] IEC 60870-5-5, 远动设备及系统第 5 部分 传输规约第五篇 基本应用功能[S].

[6] 许继 Q/XJS 11.050 -2001 电力系统保护与监控装置通信规约[S].

[7] 许继 103 通信规约(2004-07-01)[S].

收稿日期: 2009-12-02

作者简介:

郑瑞晨 (1962-), 男, 高级工程师, 博士研究生, 从事输、变、配电运行维护管理工作;

阎东升 (1963-), 男, 工程师, 本科, 从事配电网运行维护管理工作; E-mail: lydlyands@live.cn

张福刚 (1963-), 男, 高级工程师, 研究生, 从事输、变、配电运行维护研究工作。