

# 传统变电站检修向数字化变电站状态检修转变

刘 阳<sup>1</sup>, 刘俊勇<sup>1</sup>, 张建明<sup>2</sup>

(1 四川大学电气信息学院智能电网四川省重点实验室, 四川 成都 610065;

2 四川省电力公司, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 智能电网的研究依赖于各种基础设施的完善, 数字化变电站建设是实现智能电网的必由之路。根据建立在 IEC 61850 通信规范上的数字化变电站的结构特点, 总结数字化变电站状态检修的进展和不足。现阶段数字化变电站研究集中在各种运行状态的监测, 但要进行全面的状态检修, 面临数字化故障诊断、通信等难题, 还有待进一步研究。

**关键词:** 智能电网; 数字化变电站; IEC 61850; 状态检修

**Abstract:** Smart grid depends on the improvement of various infrastructures. The construction of digital substation is a significant way to achieve the intelligent grid. The progress and shortcomings of condition-based maintenance of digital substation based on IEC 61850 are analyzed. In the end, it is concluded that the study of digital substation focus on condition monitoring at this stage. In order to achieve a comprehensive condition-based maintenance, which faces with the challenges of digital faults and communication, further studies need a lot of work.

**Key words:** smart grid; digital substation; IEC 61850; condition-based maintenance

**中图分类号:** TM 631 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)增-0037-05

## 0 前 言

随着市场改革的推进, 数字经济的发展, 电网的信息化, 网络化迫在眉睫。在北美和欧洲已经组成强大的研究群体, 迅速开展智能电网 (Smart Grid) 的研究<sup>[1, 2]</sup>。从发展路径来看, 如果以变电站为焦点, 则常规变电站—数字化变电站—数字化电网—智能化电网是一条符合技术规律和电网特性的发展道路<sup>[3]</sup>。数字化变电站研究势在必行, 主要集中在建设和检修两大方面, 着重探讨检修方面的研究现状。

现今变电站检修由事后维修发展到周期性预防维修<sup>[4, 5]</sup>, 但传统的周期性检修在新的形式下已经不适应。①某些需要检修的设备没有检修, 不需要的反复检修, 造成了检修过剩。②设备的检测大多都是离线检测, 检测过程中的停电造成了电网供电的可靠性降低。③随着检修设备数量的增加, 造成人力和物力投入过大。④在构建智能电网大环境下, 电压、电流等各种模拟量已转化为光纤传输的数字信号, 检修模式迫切需要转变。

数字化变电站具有智能化的一次设备, 网络化的二次设备。在运行过程中的各种实施状态是数字化

后通过网络传递给二次设备, 需要微电子技术、计算机技术、通信技术、测量检测技术等发展的支持。一方面传统的检修模式迫切需要转变, 另一方面应运而生的数字化变电站急需探讨其检修模式, 而状态检修是实现的最佳途径, 即数字化变电站检修就是新形式下的状态检修。分析数字化变电站各层特点基础上, 总结了现有检修的研究情况, 旨在对数字化变电站实行状态检修提供参考。

## 1 数字化变电站的状态检修

数字化变电站是由电子式互感器、智能开关等智能化一次设备、网络化二次设备分层构建, 建立在 IEC 61850 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, 互操作的现代化变电站。结构分为站控层、间隔层以及过程层。变电站检修由传统的事后维修, 周期性预防维修发展到适应于数字化变电站的状态维修。文献 [6] 提出了变电站的状态检修以开发检测技术为主或者以制定状态检修导则为主, 指出系统需要的数据主要来自变电站生产管理系统、在线监测系统以及变电站 PDA 巡视系统。指明数字化变电站状态检修是基于在线检测和测量技术

的研究方向。

文献 [7] 针对数字化变电站的一次设备和二次设备, 对数字化变电站状态的检修进行初步探讨。从状态检修的定义可以看出, 状态检修策略应包含以下三个组成部分: 状态信息采集、状态诊断方法和检修策略应用。但是如何科学合理地建立变电设备健康评价体系, 是贯穿整个状态检修维护策略的核心内容。指出数字化变电站虽然具备了状态检修的实施基础, 但是和传统的变电站检修的区别很大, 特别是电气二次设备的状态监测对象不是单一的元件, 而是一个单元或一个系统。监测的是各元件的动态性能, 微机保护和微机自动装置的自诊断技术的发展为保护设备的状态监测奠定了技术基础, 但也是数字化变电站二次设备状态检修的难点。可以看出, 对数字化变电站的检修, 即对数字化变电站的基本结构, 站控层、间隔层以及过程层的状态信息采集、状态诊断和检修, 打破了依据传统一、二次设备的检修模式。

### 1.1 过程层设备状态检修

过程层由电子式互感器, 智能化的一次设备组成。数字化变电站中传统的电磁式电流和电压互感器被电子式互感器代替<sup>[8,9]</sup>。电子式互感器测量的精度和可靠性与智能电网需求的经济和可靠性密切相关。文献 [10] 提出一种高电压电路的冗余设计, 提高电子式互感器稳定和可靠性。文献 [11] 提出当下对电子式互感器测试的两种方法: 一种将电磁式互感器输出的模拟量转变为数字量与电子互感器输出的数字量进行比较测量; 另一种是将电子互感器输出的数字量转变为模拟量与传统互感器输出进行比较, 两种方法的核心是必须保证转换过程的准确度。文献 [12] 利用 NI4070 6 位半高精度模拟量采集插件, RJ45 接口的以太网作为采集通道, 把传统的电磁式互感器模拟量转化为标准量, 与电子式互感器的数字量比较测试, 实现电子式互感器的比差、角差测量。测试结构框图如图 1 所示。但是测试依赖与传统互感器的数模转换, 转换精度还需进一步提高。

过程层重在智能设备在线监测, 目前国内外对变压器、容性设备、高压断路器等电力设备的在线监测都做了大量深入研究, 监测量的范围也越来越广泛。在线监测的主要项目有: 变压器、断路器、电容器、MOA 以及 GIS 等。对于变压器, 在线监测项目主要有油中气体分析、局部放电、微水含量。断路器的监测内容有操作回路的完整性、绝缘特性、开断能力、机

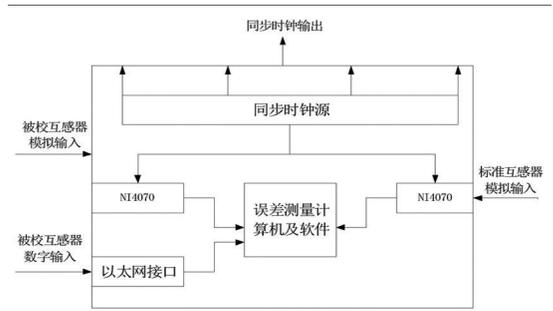


图 1 电子式互感器测试系统结构框图

械特性。容性设备 (包括氧化锌避雷器) 的在线监测, 主要测量容性设备的电容、电容电流、介质损耗、不平衡电压等参量和氧化锌避雷器 (MOA) 的全电流、阻性电流、功耗等参量。对于 GIS 主要监测其局部放电以及机械振动特性<sup>[13~14]</sup>。

文献 [15] 基于智能电网的数字化变电站, 提出智能开关设备 (包括断路器和刀闸) 是过程层数字化的重要组成部分。开关设备配有电子设备、数字通讯接口、传感器和执行器, 不但具有分合闸基本功能, 而且在监测和诊断方面具有附加功能。智能控制功能是保护测控一体化, 一、二次功能一体化。检测包括断路器灭弧室的局放和介损监测, 机构动作特性的监测, 断路器触头和刀闸的行程、速度, 控制回路断线监视, 弹簧储能时间, 开关工作时间、开关动作次数、切断电流累积, 开关柜内温度、触头接触部位的温度监测, 分合闸线圈的电流、电压, 其监测目的在于实现状态检修。

对于以上的监测, 现阶段建立了基于动量因子的标准 BP 算法, Bold Driver 算法、superSAB 算法和 RPROP 算法的算法模型。探索了变压器故障诊断模型的应用价值<sup>[16,17]</sup>, 取得较好的效果。但是存在问题就是收敛速度慢, 文献 [18] 成功运用 DGA 故障模式识别中 RPROP 算法, 对主变压器进行故障诊断, 进一步提高了收敛速度。

### 1.2 间隔层设备状态检修

间隔层主要包括数字化保护测控装置、继电保护及安全装置、数字式电能表校验。

数字化保护测试装置包括线路测试保护系统、母差保护测试系统、主变压器保护测试系统<sup>[19]</sup>。

线路测试保护, 将测试仪输出的模拟量转化为数字量, 经合并单元同步合并后传送给数字接口的 PCS-900 系列保护, 同时保护测试仪的模拟量接入另一台常规接口保护, 两台保护间通过光纤通道相连, 构

成差动保护,如图 2 所示。

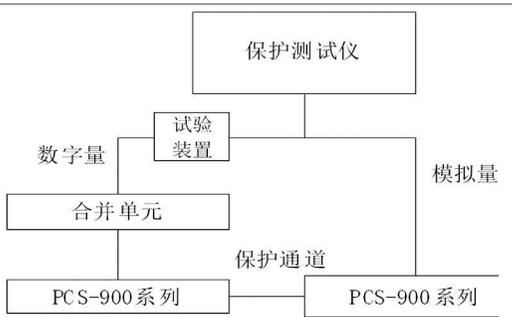


图 2 线路保护测试系统图

母差保护接入三个间隔,两个为电子式互感器,一个来自常规互感器,经各自合并单元接入 PCS-915 母差保护,测试所有保护功能,如图 3 所示。

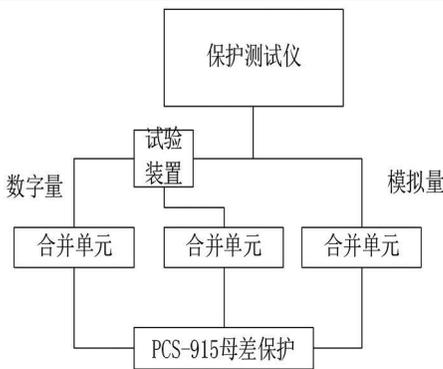


图 3 母差保护测试系统图

主变压器保护模拟一个两卷变压器,高压侧为电子式互感器,低压侧为常规保护,经各自合并单元接入 PCS-978 主变压器保护,测试所有保护功能,如图 4 所示。

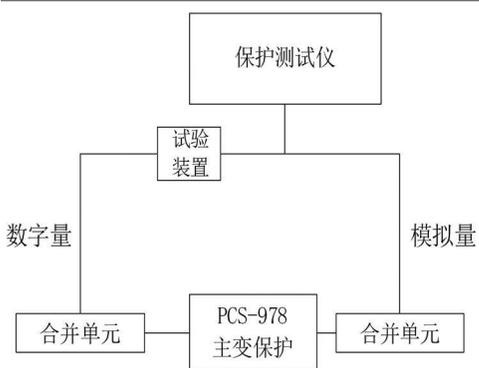


图 4 主变压器保护测试系统图

以上三大测试系统,满足基于电子式互感器数字化变电站测试需要。文献 [20] 进一步提出能量计量问题讨论,对失真的电压、电流测量的时候,考虑斜波的数字化测量,这些问题迫切需要解决。

继电保护及安全稳定装置,文献 [21~23] 提出变电站二次设备检测的难点,文献 [24] 着重指出试

验设备、测试方法、检验标准,特别是 EMC(电磁干扰与兼容)控制与试验还是薄弱环节。文献 [25] 提出,每个制造商对 IEC 61850 不同的理解,全国范围内并没有普及数字化保护,精确的抽样测试并没有进行。文献 [26] 利用 SEL 保护的可编程逻辑功能实现操作回路监视和保护状态的方式,指出微机保护自诊断技术的使用,使设备的状态监测技术上具备了实施的基础。

数字化变电站,最为革命性的转变就是 GOOSE 报文的使用。测量装置之间,一次设备之间,各保护设备之间都是经过采用了 GOOSE 机制快速通信。在需要执行安全措施的相关回路上必须要有明确的断开点,但是原有的电缆已被光纤代替,文献 [27] 提出通过退出相关保护 GOOSE 压板来断绝相应 GOOSE 报文的收信和发信。文献 [28] 给出了数字化变电站 GOOSE 技术继电保护应用方案,用逻辑来实现压板功能,如图 5、图 6 所示,GOOSE 发送、接收压板设置在保护逻辑一侧,发送压板退出时发送的相关信号值始终为 0;接收压板退出或 GOOSE 通信故障时,信号取保护内部逻辑设定的强制位,就能有效保证保护逻辑可以根据相关压板的状态进行正确处理,解决设备运行检修“隔离”的问题。可见,把 GOOSE 应用到继电保护中,在于实现检修时断开待校装置与交换机之间的联系。安全性提高的同时,数字化变电站发送、接收端均设置了较多 GOOSE 压板,这与传统设置差异较大。

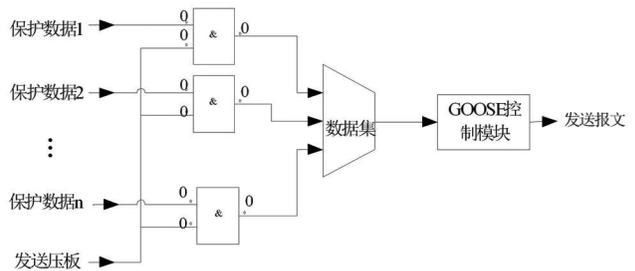


图 5 GOOSE 发送压板示意图

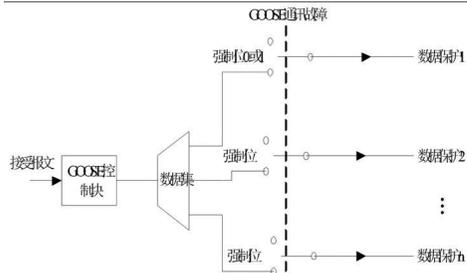


图 6 GOOSE 接收压板示意图

数字式电能表的研究刚刚开始<sup>[29,30]</sup>,它的诞生是基于智能电网的信息化,电力市场互动交易,数字化变电站中信息的采集、传输和处理全数字化。针对其校验的方式,文献[31]提出两种方式。方式一:由传统的电能表标准装置提供标准电压、电流输出,数模转换后与电能表对比。方式二:直观地测试出数字电能表的计量误差,但并没具体提出实施的方法。对于数字式电能表,关键在于电力市场方面实现“峰”“谷”期电价反馈,实现智能需求侧响应;电力系统方面实现数字化电压、电流、频率等数字信号输入的精确计量。可见,数字式电能表在研制和校验方面都有待深入的研究。

### 1.3 站控层设备状态检修

站控层包含变电站监控系统 and 网络监测系统,设备均采用 100 M 工业以太网,并按照 IEC 61850 通信规范进行系统建模并进行信息传输<sup>[19]</sup>。运行监视,事故顺序记录,事故追忆,运行管理和远动功能运行管理等一系列功能的实现,需要采集记录变电站运行的各种数据,电能量,继电保护装置、故障录波器等相关信息,并进行就地处理、显示和分析。由于大量的数据,文献[32]提出基于 CAN 总线,文献[33]提出城域网的分布式 SCADA 系统,用于探讨解决变电站集中监控时的可靠性、通信“瓶颈”等问题。

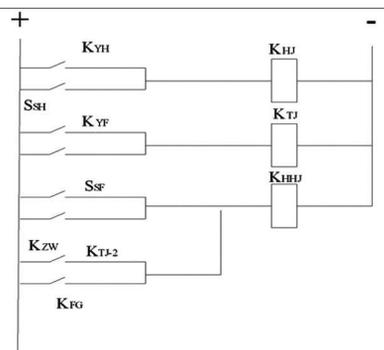


图 7 测控装置原理图

目前监控系统实现变电站事故总信号的 3 种方式,即保护动作信号启动方式、信号定义方式、不对应启动方式。文献[34]针对误发事故给值班运行人员带来的操作安全隐患,提出了组态处理、硬件电路处理的解决方案。组态处理方式实现了断路器分、合操作和 SGZ(变电站自动化系统需向上级调度和集控站自动化系统传送事故总信号)复归、置位操作的逻辑点号、对象的分离,如图 7 所示。设计测控装置电路实现断路器分、合操作和 SGZ 复归、置位操作的物理分离。

为适应新的生产、技术要求,进一步提出了实现测控装置自动识别断路器事故跳闸功能的建议和方案供探讨。变电站监控系统的故障处理,现阶段只是理论上的探讨,自动识别断路器事故也是研究难点。

## 2 相关的问题和展望

数字化变电站的状态检修技术尚处于探讨阶段。过程层重点在于智能化的一次设备,电子式互感器状态检修。通过继承传统变电站状态检修方式和智能化一次设备结合,在在线检测基础上利用各种算法模型,建立数据统一平台进行故障诊断。电子式互感器的应用研究比较多,但其测量技术的精度有待进一步的提高。

间隔层主要是各种测量和保护装置的检修。①三大测试系统满足基于电子式互感器的数字化变电站的测试要求,为实现检修提供可靠的检测数据。②数字化变电站的继电保护部分,由于二次设备的网络化,仅对实现检修是需要的“明确断点”方式进行了探讨。继电保护除装置本身还有各种网络回路,状态检修也必须作为一个系统性的问题来考虑,检修范畴不能仅局限在装置本身,可以采用校验法、比较法等故障测试的方法,在保护装置中加载诊断程序,提出了设想,还没有相关的研究。③智能电表功能不仅仅是变电站各种数字信号的测量,从智能电网角度看,还不能实现信息交互,而校验的原理也是基于传统模拟信号的模数转换,并没有发生质的转变。

站控层的监控系统和网络监测系统急需解决通信“瓶颈”问题。无人值班变电站监控系统中,图像的传输是个关键问题,图像在传输过程中容易出现延时、抖动、失真等,这些问题的检测,需要结合通信技术进一步深入研究。统一的平台需要新一代的总线技术和测量系统<sup>[35]</sup>。

在研究构建智能电网的大环境下,大胆提出“一个世界、一套标准”,在 IEC 61850 标准下,逐渐实现全世界变电站数字化改造。数字化变电站状态检修是一项复杂的系统工程,涉及到通信、在线监测、数据分析、专家系统、可视化等技术领域,具有广阔的发展前景。在现有的数字化变电站检测技术基础上,还需加大对诊断技术、控制技术更深入的探索和研究。

### 参考文献

[1] 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.
- [2] 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.
- [3] 陈建民, 周健, 蔡霖. 面向智能电网愿景的变电站二次技术需求分析 [J]. 华东电力, 2008, 36(11): 37—39.
- [4] 林松, 王庆红, 刘然. 数字化变电站状态检修技术 [J]. 电网技术, 2007, (31): 137—140.
- [5] 阮志荣, 罗艳. 数字化变电站的状态检修 [J]. 贵州电力技术, 2006, (7): 46—48.
- [6] 林承华. 变电设备状态检修管理系统的设计与实现 [J]. 福建电力与电工, 2006, 3(26): 57—59.
- [7] 倪强冰, 容保娣. 探讨继电保护的状态检修及实施 [J]. 电力与水利建设, 2007, (11): 136—138.
- [8] PCS—221A 电子式互感器合并单元技术和使用说明书 [Z].
- [9] 顾正纲, 刘刚, 王学申. 电子式互感器在数字化变电站中的应用 [J]. 电力与能源, 2008, (34): 366—368.
- [10] Zheng Qian, Chao Liu, Yuling Li, Shaoyu Liu. Multifunction realization of active electronic current transformer [J]. IEEE Trans on Power Systems 2009, 1084—1087.
- [11] 谢岳, 徐璟. 电子式电流互感器模拟量输出校验技术研究 [J]. 电测与仪表, 2007, (9): 25—28.
- [12] 曹敏, 梁仕斌, 李毅, 陈郑, 张忠才. 电子互感器测试方法的研究 [J]. 电测与仪表, 2007, (12): 33—36.
- [13] 李岩. 变压器在线状态监测系统研究 [D]. 华中科技大学电气工程系, 2005.
- [14] 梁甲文. 电气设备的绝缘在线监测与状态检修 [D]. 山东大学电气工程系, 2005.
- [15] 数字化变电站的建设说明书 [Z]. 南瑞继保有限公司.
- [16] 黄鞠铭, 朱子述, 胡文华. BP 网络在基于 DGA 变压器故障诊断中的应用 [J]. 高电压技术, 1996, 22(2): 21—23.
- [17] 丁晓群, 林钟云. 神经网络应用于电力变压器故障诊断 [J]. 电力系统自动化, 1996, 20(2): 32—35.
- [18] 章剑光. 变电设备状态检修应用研究 [D]. 浙江大学电气工程系, 2004.
- [19] 数字化方案说明 (二次部分) [Z].
- [20] JUN RONG I, GUI-XIN ZHANG I, XIAO-MEI ZHUI, PENG WANG I. Electric Energy Measurement in Digital Substation on A Number of Issues Discussed [J]. IEEE Trans on Power Systems 2008, 6(16): 1—5.
- [21] 李辉桃, 曹蕤, 梁双印. 电力系统继电保护现状研究及发展探索 [J]. 中国电力教育, 2008, (z2): 200—202.
- [22] 王海玲, 王瑞. 电气二次设备的状态检修 [J]. 黑龙江电力, 2005, 27(1): 78—80.
- [23] 吴杰余, 张哲, 尹项根, 胡文平. 电气二次设备状态检修研究 [J]. 继电器, 2002, 30(2): 22—24.
- [24] 丁书文, 史志鸿. 数字化变电站的几个关键技术问题 [J]. 继电器, 2008, 36(10): 53—56.
- [25] BAO-FENG TANG, YUAN-YUAN KANG, HUI FAN. The Debugging Technique of Relay Protection of Digital Substation [J]. IEEE Trans on Power Systems 2008, 3(12): 1—8.
- [26] 高翔, 刘韶俊. 继电保护状态检修及实施探讨 [J]. 继电器, 2005, 33(20): 23—27.
- [27] 周国庆, 邱子平, 李赛丹, 温信强. 数字化变电站的实现及检修模式探讨 [J]. 浙江电力, 2008, (6): 73—76.
- [28] 朱炳铨, 刘军, 等. 基于 IEC61850GOOSE 技术的继电保护工程应用 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(8): 104—107.
- [29] 赵威. 数字式电能表的设计 [J]. 三峡学院学报, 2006, 3(22): 109—110.
- [30] 钟严平, 高玉良, 等. 数字式电能表研制中的问题探讨 [J]. 1997, (3): 5—7.
- [31] 窦明智. 浅谈数字式电能表的运用 [J]. 云南电力技术, 2009, (37): 27—28.
- [32] 杨如锋, 伍爱莲, 朱华伟. 基于 CAN 总线的变电站监控系统 [J]. 电力自动化设备, 2005, (1): 43—45.
- [33] 许琰, 沈晓东, 钱海峰, 黄申. 220kV 无人值班变电站监控系统建设初探 [J]. 2009, (31): 41—44.
- [34] 朱骏. 变电站监控系统事故总信号解决方案探讨 [J]. 电力自动化设备, 2007, 27(1): 112—114.
- [35] Martin Schumacher, Clemens Hoga. Future digital substation with all signals via one digital platform [J]. IEEE Trans on Power Systems 2007, 7(6): 1—8.

作者简介:

刘阳 (1986—), 男, 四川泸州人, 硕士研究生。主要研究方向为电力系统稳定与控制。

刘俊勇 (1963—), 男, 四川成都人, 教授, 博士生导师。主要从事电力市场、分布式发电、灵活输电与电力系统可视化等方面的研究。

(收稿日期: 2009—10—10)