

基于全寿命周期管理的智能变电站应用方案研究

易永辉¹, 王坤², 王震学³, 陶永健¹, 刘永欣¹, 牛强¹, 姜帅¹

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 河南省郑州供电公司, 河南 郑州 450006;
3. 秦皇岛电力公司, 河北 秦皇岛 066000)

摘要: 基于全寿命周期管理理论设计了一种智能变电站应用方案: 中低压保护的模拟量基于模拟小信号接入; 一部分保护控制功能由网络化保护实现, 并例举了网络型低频减载功能实现; 分析论证了变电站二次设备状态检修的方案。实际工程应用表明本方案可以显著提高系统集成度, 减少运行维护费用, 并降低变电站自动化系统全寿命周期成本。

关键词: 全寿命周期成本; IEC61850; 智能变电站; 全寿命周期管理; IED; 网络化保护; 状态检修

Research of application schemes of smart substation based on whole-life cycle management

YI Yong-hui¹, WANG Kun², WANG Zhen-xue³, TAO Yong-jian¹, LIU Yong-xin¹, NIU Qiang¹, JIANG Shuai¹

(1. XJ Electric Co.Ltd, Xuchang 461000, China; 2. Zhengzhou Electric Power Supply Company, Zhengzhou 450006, China;
3. Qinhuangdao Electric Power Supply Company, Qinhuangdao 066000, China)

Abstract: This paper proposes an application scheme of smart substation based on whole-life cycle management, such as IEDs used in medium and below voltage uses analog small signal from transformer. Some functions such as protections and controls are implemented by network protections based on IEC 61850's principles of free allocation of functions, and an example of network-type under frequency load shedding function is given. A scheme of state maintenance of secondary device is designed. The practical applications show that it can increase integration level of whole system, cut down man-surveillance and decrease substation's whole-life cycle costs sharply.

Key words: whole-life cycle costs; IEC 61850; smart substation; whole-life cycle management; IED; network protections; state maintenance

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)13-0099-05

0 引言

基于 IEC61850 标准的变电站自动化系统的推广应用是一种必然的趋势^[1-2], 国内外大量基于 IEC61850 标准的变电站工程的成功投运, 《智能变电站技术导则》及相关规范的出台, 及国网组织的多座智能变电站试点工程的开展表明, 智能变电站已经从标准理论研究阶段逐渐过渡到了工程应用阶段。

降低变电站全寿命周期成本(LCC)是建设“一强三优”电网的重要内容, 早在 2007 年, 国家电网公司基建部就“两型一化”变电站和“两型三新”线路为契机, 开展了提高变电站工程全寿命周期内效率和效益的研究。变电站 LCC 主要包含最初建设成本、运行维护成本、故障成本等, 其中强调了因发生故障进行修理而不能正常使用所造成的损失(故

障成本)也要计入 LCC。智能变电站的 LCC 是决定其推广应用的重要因素之一。

提高自动化系统智能性、系统集成度、减少运行维护(如以状态检修替代周期检修、以程序化操作取代人工操作等)、降低系统全寿命周期成本是智能变电站的重要特点。然而, 智能变电站增加了合并单元、智能终端、过程层交换机等设备, 过程层设备的建设成本有所增加(对于对成本敏感的中低压系统影响尤其显著); 另一方面, IEC61850 的功能自由分布思想及通信网络高度的实时性、可靠性为进一步提高系统整体的集成度、实现状态检修等创造了有利条件, 它将显著降低 LCC。如何合理抑制过程层的成本增加, 同时充分发挥因提高系统集成度、减少人工干预而降低初建成本和运行维护成本, 是智能变电站全寿命周期管理研究工作的重点。

本文基于全寿命周期管理理论，设计了一种有利于减少智能变电站 LCC 的应用方案：1) 现有中低压保护 IED 所用模拟量以模拟小信号方式接入，节省了合并单元、交换机等。2) 网络化保护方案，即保护/测控功能基于网络信息共享而分布实现在各 IED 中，因此不需要增加专用硬件。例举了分布式周减载方案，该方案将显著提高系统整体的集成度，减少变电站 IED 数量，减少土建投资成本。3) 二次设备状态检修的方案，可以减少或取消相关的运行检修，减少全寿命周期成本。

1 全寿命周期管理

全寿命周期管理主要涉及两大范畴^[3]：工程范畴和财务范畴。工程范畴主要涉及设备可靠性、寿命分析、维修对策分析、设备失效对整个系统的影响、更新部件和维护对系统寿命的影响等。财务范畴主要涉及设备或系统的最初投资成本、设备初投资成本在不同方案时的比较、投资成本和运行成本的比较、设备故障对系统的影响及可能导致的损失比较、设备的维护或更新成本、设备的退役成本等。

大量研究和实践表明^[4]，设备的 LCC 在初步设计阶段结束时就决定了大约 70%，试制阶段结束决定了大约 95%。因此，要实现 LCC 的最小化，就必须充分利用全寿命周期管理理念和实践，尤其是在方案设计和研制阶段，全面和充分考虑设备的集成度、可靠性、维修性等因素。

变电站的 LCC 指变电站整个经济全寿命周期内所支付的总费用，它包括初期建设投资、运行和维护、故障损失成本。LCC 的表达式如下：

$$LCC=IC+OC+MC+FC \quad (1)$$

其中：IC 为最初建设投资成本，包括购买设备和安装、调试费；OC，MC，FC 分别是变电站系统调试后算起，整个经济运行期间所支付的运行成本(含定期巡视、检修等)、维修成本和故障引起中断供电的损失成本。中断供电的损失成本是变电站可靠性、可用率的经济描述。

工程项目的最初建设费用往往得以重视而工程项目的使用费用及故障损失成本容易被忽视。而实际上许多变电站工程项目的使用成本大于制造成本^[5]。在资产使用过程中，因发生故障进行修理而不能正常使用所造成的损失(如美加大停电的损失超过了 400 亿美元)，也要计入全寿命周期费用之中。保证产品质量，提升其可靠性是变电站自动化系统设计的重中之重。

基于全寿命周期管理理论的智能变电站的设计目标是优化各项成本，一方面尽量控制必须增加的

成本(如中低压保护面临的成本增加)，另一方面充分利用智能变电站因提高系统整体的集成度、实现状态检修等而降低成本，使自动化系统的 LCC 最小，使整体经济效益最优。

2 中低压保护产品模拟小信号方案

变电站中低压 IED 数量众多，它是 LCC 的重要组成部分。对于安装于开关柜的中低压保护/测控 IED，由于 IED 与互感器距离很近，电子式互感器基于数字接口方式传输采样值将显著增加过程设备，如合并单元、交换机、智能接口单元，如图 1 所示。这些设备的增加不仅大大增加了初期建设投资，而且过多的设备降低了系统的可靠性，从而直接影响到系统的维修策略和系统的故障损失成本。

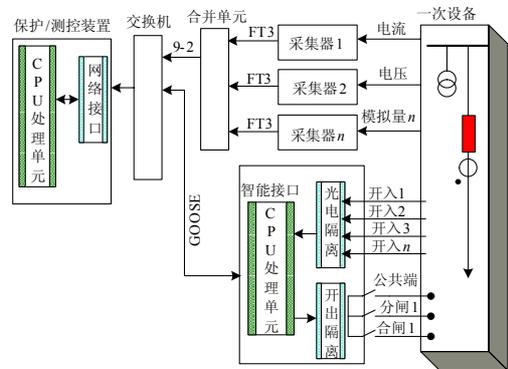


图 1 一次设备与间隔层 IED 的连接

Fig.1 Connection between primary devices and bay-level IEDs

本方案采用遵循 IEC60044-7/8 标准的小信号输出的电子式互感器，其电压互感器基于电阻分压或电容分压，电流互感器则基于 Rogowski 线圈原理，具有测量线性范围大，体积小等优点。连接采用航空插头接口，通过具有专利技术的屏蔽电缆，其传输距离可达 0~20 m 远范围内，可将传感头微弱信号引到需要供电的电子回路进行处理，其调理好的模拟量信号产生 3 类 5 路量程不同的信号，分别输入到计量表计(计量电压、计量电流)、保护装置(保护电流、保护电压)、测控(测量电流、复用保护电压)，如图 2 所示。

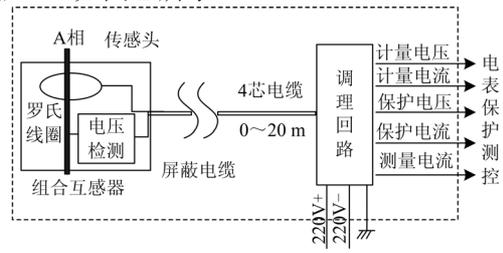


图 2 小信号实现及输出示意图

Fig.2 Structure and output of small signal transformer

该方案节省了合并单元、交换机、智能接口单元, 如图 3 所示。

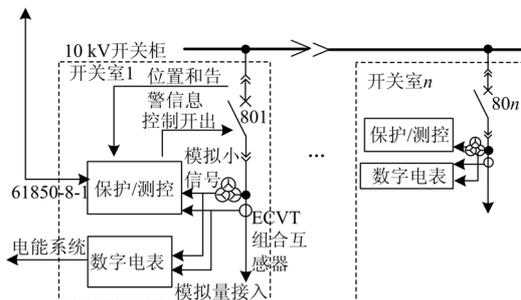


图 3 小信号接入开关柜 IED

Fig.3 Small signal connecting with IED in panel

对于需要在控制室内集中组屏的变电站工程, 参考文献[6]提供了一种集中式 IED 方案, 它将目前变电站内多台间隔层 IED 集中在一台或二台 (其中 1 台作为冗余) IED 上完成, 有利于减少网络节点, 降低系统成本。

3 网络化保护方案

目前变电站自动化系统在设计理念上不是面向整个变电站, 而是面向间隔和元件, 因此 IED 数量较多, 功能单一且重叠, 并占用了较多的柜体及空间。

IEC61850 标准将变电站的功能分为保护、控制、监测、记录, 它定义了丰富的 LN、ACSI, 淡化功能与物理设备的关联, 强调不同物理设备间的数据交换和功能自由分布实现, 即功能的实现在物理上可以是分布的或集中的, 如图 4 所示。

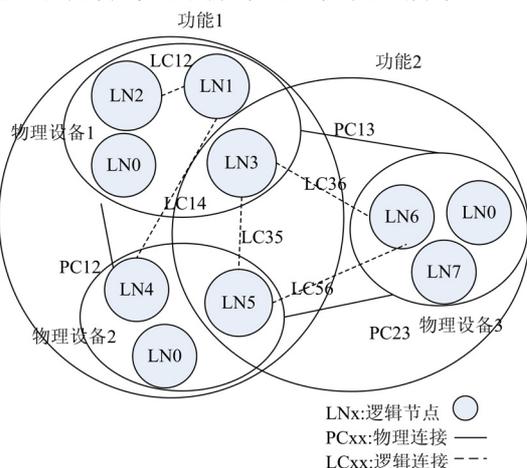


图 4 逻辑节点和连接关系

Fig.4 Logical node and link concept

网络化保护及控制技术, 就是采用智能变电站中过程层 GOOSE (Generic Object Oriented

Substation Event, GOOSE) 机制、间隔层 GOOSE 机制, 实现常规变电站自动化系统依靠专用设备实现的保护及控制功能。GOOSE 网络机制, 实现了变电站间隔层二次设备的网络化信息快速交互, 为变电站网络化二次系统各种应用功能的实现提供了技术支持。

变电站一般采用低频自动减载^[7]功能控制电力系统因功率缺额造成系统频率下降。现有的低频减载功能一般集成在出线保护装置中, 当检测到系统频率降低到整定门槛以下, 在满足滑差闭锁和低电压闭锁条件时, 动作切除该条出线, 减少系统负荷, 以期满足系统功率平衡, 维持系统频率稳定。

在智能变电站中, 数字网络为网络化实现低频减载功能提供了便利。以图 5 所示的低频减载功能配置原理图为例, 在母线 PT 测控装置中完成对频率的测量和主逻辑判断, 按照设定的跳闸顺序发出跳闸 GOOSE 命令; 出线保护测控装置接收到对应本间隔的跳闸命令后, 切除本线路, 以期恢复系统频率。

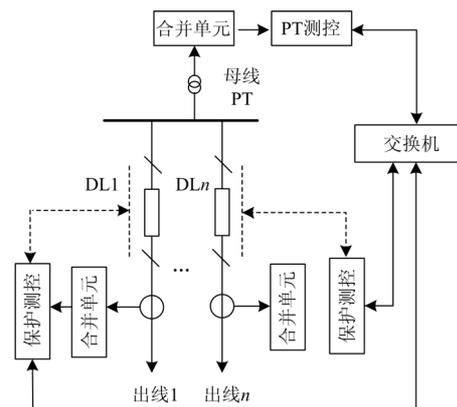


图 5 低频减载各功能单元配置原理

Fig.5 UFLS functional unit configuration

母线 PT 测控装置中配置低频减载功能模块。检测系统频率, 根据预先制定的动作逻辑工作, 满足条件发跳闸 GOOSE 命令。

出线 1 测控装置中配置低频减载功能模块, 当出线 1 检测到跳本线路的 GOOSE 信息后, 驱动 DL1 跳闸, 切除出线 1 所带负荷。出线 n ($n=2, 3, 4, \dots$) 实现机理与此类似。

整个低频减载功能是由不同保护对象的间隔层装置共同完成, 由母线测控单元负责低频逻辑判别, 判别结果以 GOOSE 信号方式通过数字网络传给各出线测控装置 (分散执行单元), 由测控单元驱动智能开关跳闸切除负荷完成整个逻辑功能。

此外, 网络化控制保护还可实现程序化操作 (配备直观的操作进程图形界面)、网络化备自投功能、

网络化母线保护功能、网络化间隔层五防功能以及网络化录波、网络化电表等,所有网络化保护控制出口均采用基于 GOOSE 机制的跳合闸技术,实现跳合闸操作。

该方案将显著提高系统整体的集成度,减少变电站 IED 数量,节约安装空间,减少土建投资成本。其中程序化操作方式能显著减少人工干预,避免人为误操作。

4 二次设备在线监测技术

深化生产管理,形成基于资产全寿命周期管理要求的检修管理模式,进一步提升电网资产管理效率和经营效益是统一坚强智能电网建设的重要目标。目前变电站设备状态监测主要围绕着一一次设备展开,这方面的应用很多^[8-9]。传统的继电保护、安全自动装置及二次回路接线通过定期检验完成,具有一系列的弊端^[10]。借鉴一次设备状态检修的方式实现二次设备状态检修已成为共识^[10-11]。

微型二次设备本身具备了很强的自检功能,但二次设备交流输入、直流回路、操作控制回路等,由若干继电器和连接各个设备的电缆组成,点多、分散,要通过在线监测技术完整实现继电器触点的状况、回路接线等的有效监视比较困难,即设备状态特征量采集方面存在盲区,状态检修范畴局限性大,很难有实施推广的价值。

智能变电站则在二次设备状态特征量的采集上几乎没有盲区,原因如下:

(1) 电子式互感器的应用,进入二次设备的是数字信号,装置本身可以对接收的采样值报文进行监视,如有接收中断、丢数据帧、接收数据帧 CRC 不正确等现象,立即告警 SMV 采样异常。

(2) 智能开关(或常规开关+智能接口单元)的使用,使二次控制系统的操作回路通过软件编程的方式实现智能化,具备较强的在线监测功能。

(3) 保护的投退用软压板控制,不存在常规变电站连接片(压板)状态监测的困难。

(4) 大量光纤取代铜缆,也不再需要回路绝缘状况监测(直流回路除外)。

(5) 过程层、站控层以太网通信的应用,使智能变电站继电保护设备的状态检修网络灵活、强壮、可靠性高。

显然,智能变电站二次设备的状态监测较少依靠额外的传感器,且监测范围几乎没有盲区。因此,无论是在技术上还是在经济方面都更容易实现。具体监测包括以下几个方面:

CPU 负载率、硬件健康状态、装置功能逻辑监

测;电源工作时间、开关次数、电容曲线;以太网通信口运行情况监测,包括接收的 SMV 报文、GOOSE 报文速率、误码率统计、是否丢帧、通信是否中断等。

在对二次设备的上述项目进行实时监测的基础上,各台二次设备的监测信息通过网络汇集到站级状态监测中心,从而建立起一整套二次设备状态检修系统,使运行人员在站级监测中心能实时查询监控二次设备的运行状况,如设备的投停状态、工作环境温湿度情况、逆变电源的负荷、累计工作时间等,并在站级监测中心综合分析各项数据监测结果,评估设备健康状况,做出检修决策,最终实现“应修必修,修必修好”。

基于以上分析,实现智能变电站二次设备状态监测后可以延长定期检验周期、简化检验项目,甚至取消定期检验,降低检修费用,减少停电时间,因此降低了变电站全寿命周期成本。

河南郑州 110 kV 叠彩变电站在设计阶段即基于全寿命周期管理理念,在 10 kV 间隔的保护测控 IED 采用了小信号互感器接入,并实现了网络化低频低压减载、网络化备自投、网络化间隔层五防、程序化操作等功能,实现了一二次设备在线监测技术。二次设备初建成本下降了约 30%,二次设备数量及屏柜占地面积减少了 40%,其后期运行管理费也将有显著的下降。该站自 08 年投运以来,运行情况良好。

5 结语

全寿命周期管理既是一种先进的管理理念,也是一种科学的管理方法,它将推进电网企业的成本节约和效益提升。智能变电站的设计目标应是优化各项成本,一方面尽量抑制由于数字化而必须增加的成本(如中低压保护面临的成本增加),另一方面充分挖掘智能变电站提高系统整体的集成度、实现二次设备状态检修等技术特点而降低成本,使变电站的 LCC 最小,整体经济效益最优。

本文基于全寿命周期管理理论设计了一种智能变电站应用方案:开关柜安装方式的中低压保护/测控的模拟量基于模拟小信号接入;一部分保护控制功能由网络化保护实现,并举了网络型低频减载功能实现方案;分析论证了变电站二次设备状态检修的方案。模拟小信号接入方式及网络化保护已在河南郑州叠彩变等实际变电站工程中得到了应用,它显著降低了系统 LCC,有利于智能变电站的推广应用。

参考文献

- [1] 窦晓波, 吴在军, 胡敏强. 借鉴IEC 61850功能分层的保护装置的设计[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(23): 65-70.
DOU Xiao-bo, WU Zai-jun, HU Min-qian. Design of protection by referring to function leveling in IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(23): 65-70.
- [2] 童晓阳, 李岗, 陈德明, 等. 采用IEC 61850的变电站间隔层IED软件设计方案[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(14): 54-58.
TONG Xiao-yang, LI Gang, CHEN De-ming, et al. IEC 61850 based software design scheme of bay level IED in substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(14): 54-58.
- [3] 张国庆. 全寿命周期管理引领基建未来[J]. 国家电网, 2008(12): 22.
- [4] 童良. 全寿命周期成本管理与可持续发展[J]. 国家电网, 2008(12): 31.
- [5] 输电线路建设工程全寿命周期管理的探讨[J]. 山西电力, 2007. 143(S1): 88-92.
- [6] 易永辉, 等. 基于IEC 61850 标准的新型集中式IED[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(12): 36-40.
YI Yong-hui, et al. A new centralized intelligent electrical device based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(12): 36-40.
- [7] 陈俊山, 洪兰秀, 郑志远. 电力系统低频减载研究与应用发展[J]. 继电器, 2007, 35(14): 79-82.
CHEN Jun-shan, HONG Lan-xiu, ZHENG Zhi-yuan. Investigation and application of under frequency loading shedding[J]. Relay, 2007, 35(14): 79-82.
- [8] 黄建华, 全零三. 变电站高压电气设备状态检修的现状及其发展[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(16): 56-61.
HUANG Jian-hua, QUAN Ling-san. Current status and development of condition-based maintenance of high-voltage electric power equipment in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(16): 56-61.
- [9] 苏鹏声, 王欢. 电力系统设备状态监测与故障诊断技术分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(1): 61-65, 82.
SU Peng-sheng, WANG Huan. Technology analysis of state monitoring and fault diagnosis in electric power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(1): 61-65, 82.
- [10] 丁茂生, 王钢, 贺文. 基于可靠性经济分析的继电保护最优检修间隔时间[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(25): 44-48.
DING Mao-sheng, WANG Gang, HE Wen. The optimum routine maintenance interval of protection based on reliability economic analysis[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(25): 44-48.
- [11] 李永丽, 李致中. 继电保护装置可靠性及其最佳检修周期的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(6): 63-64.
LI Yong-li, LI Zhi-zhong. Study of reliability and optimal routine test interval of protective relays[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(6): 63-64.
- [8] Ang B W. Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: from energy-GDP ratio to composite efficiency index[J]. Energy Policy, 2006, 34: 574-582.
- [9] 周黎莎, 于新华. 基于网络层次分析法的电力客户满意度模糊综合评价[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 191-197.
ZHOU Li-sha, YU Xin-hua. Fuzzy comprehensive evaluation of power customer satisfaction based on analytic network process[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 191-197.
- [10] 吴蓉晖, 荣宏. 数据预处理在电力远程智能监测系统的应用[J]. 高电压技术, 2005, 31(7): 58-60.
WU Rong-hui, RONG Hong. Application of data preprocessing in power remote intelligent monitoring system[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(7): 58-60.

(上接第 98 页 continued from page 98)

收稿日期: 2009-08-18; 修回日期: 2009-11-08

作者简介:

易永辉(1969-), 男, 工学博士, 研究方向为智能变电站及电力系统继电保护等; E-mail: yyh6006@163.com

王坤(1972-), 男, 高级工程师, 研究方向为变电站运行及管理;

王震学(1976-), 男, 高级工程师, 研究方向为电力系统调度自动化。

收稿日期: 2009-08-06; 修回日期: 2009-12-29

作者简介:

吴剑飞(1985-), 男, 硕士, 主要研究方向为电网规划、电网安全稳定、电力市场及电力系统自动化; E-mail: jianfei23@163.com

姚建刚(1952-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力市场、电网安全、电力系统自动化和高压外绝缘等; E-mail: yaojiangang@126.com.cn

陈华林(1984-), 男, 硕士, 主要研究方向为电力市场、电力系统自动化。