

智能变电站及技术特点分析

李孟超¹, 王允平¹, 李献伟², 王峰¹, 蔡卫锋¹

(1. 商丘供电公司, 河南 商丘 476000; 2. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 智能变电站是坚强智能电网的重要基础和支撑。阐述了智能变电站与数字化变电站的主要区别, 介绍了智能变电站的体系结构、智能一次设备的功能和智能设备与顺序控制的特点, 重点研究了智能变电站对应的高级应用功能。针对智能变电站运行维护及应急事故处理的特点, 在智能变电站设备检修、在线监测和实时分析诊断技术、工作票自动管理系统及智能辅助控制系统等方面提出了建议, 对智能变电站的发展和电网的稳定运行有一定的参考意义。

关键词: 智能电网; 智能变电站; 智能化高压设备; 一次设备; 顺序控制

Smart substation and technical characteristics analysis

LI Meng-chao¹, WANG Yun-ping¹, LI Xian-wei², WANG Feng¹, CAI Wei-feng¹

(1. Shangqiu Electric Power Supply Company, Shangqiu 476000, China;

2. XJ Electric Co. LTD, Xuchang 461000, China)

Abstract: Smart substation is an important foundation and pillar of strong smart grid. This paper describes the main differences between smart substation and digital substation, and simply introduces the system basic structure of smart substation, the function of intelligent primary equipment and the characteristics of intelligent devices and sequence control. The corresponding advanced application function of smart substation is emphasized. Suggestions for smart substation equipment maintenance, on-line monitoring and real-time analysis and diagnosis techniques, working ticket automatic management system and intelligent auxiliary control system are proposed according to the operation maintenance and emergency accident handling characteristic of smart substation. All of them are of certain reference significance for the development of smart substation and the stable operation of smart grid.

Key words: smart grid; smart substation; intelligent high pressure equipment; primary equipment; sequence control

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)18-0059-04

0 引言

2009年5月, 国家电网公司提出了立足自主创新, 以统一规划、统一标准、统一建设为原则, 建设以特高压电网为骨干网架, 各级电网协调发展, 具有信息化、自动化、互动化特征的统一坚强智能电网的发展目标^[1], 并提出了三个阶段的发展计划, 其中变电环节中智能变电站建设是关键技术。智能变电站是坚强智能电网的重要基础和支撑, 设备信息数字化、功能集成化、结构紧凑化、检修状态化是变电站发展的方向, 最终是要实现运行维护的高效化的目标^[2]。本文分析了智能变电站的内涵、技术特点, 重点研究了智能变电站对应的高级应用功能。

1 智能变电站的概念

根据《智能变电站技术导则》的定义, 智能变

电站是采用先进、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。它基于 IEC 61850 标准, 体现了集成一体化、信息标准化、协同互动化的特征。

1.1 数字化变电站涵义

数字化变电站是由智能化一次设备和网络化二次设备按过程层、间隔层、站控层三层结构体系分层构建, 建立在符合国际标准的 IEC 61850 通信规范基础之上, 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。数字化变电站使传统变电站的所有信息采集、传输、处理、输出过程由过去的模拟信息全部转换为数字信息, 并建立与之相适应的通信网络和系统。

数字化变电站强调实现手段的数字化，而智能电网的建设，对变电站自动化系统的一次设备智能化、高级应用、对智能电网的支撑等功能提出了新的要求，数字化变电站技术是智能变电站的技术基础，智能变电站是变电站整体技术的跨越和未来变电站发展的方向。

1.2 智能变电站内涵

智能变电站的设计及建设应遵循“统一规划、统一标准、统一建设”的原则，应按照 DL/T 1092 三道防线要求，满足 DL/T 755 三级安全稳定标准；满足 GB/T 14285 继电保护选择性、速动性、灵敏性、可靠性的要求；遵守《电力二次系统安全防护总体方案》。实现高压设备运行状态信息采集功能的接收、执行指令，反馈执行信息，实现保护宿主高压设备功能的逻辑元件（即测量、控制、保护等单元）应满足相应行业标准；建立包含电网实时同步运行信息、保护信息、设备状态、电能质量等各类数据的标准化信息模型，满足基础数据的完整性及一致性的要求。其采集的变电站数据不仅包含实时稳态、暂态、动态数据，还要有信息模型、设备在线监测、视频等数据。

智能变电站是比数字化变电站更先进的应用，智能变电站的重要特征体现为“智能性”，即设备智能化与高级智能应用的综合。

2 智能变电站技术特点

2.1 智能变电站体系结构

智能变电站系统分为三层：过程层、间隔层、站控层，如图 1 所示。过程层包含由一次设备和智能组件构成的智能设备、合并单元和智能终端，完成变电站电能分配、变换、传输及其测量、控制、保护、计量、状态监测等相关功能。根据国网相关导则、规范的要求，保护应直接采样，对于单间隔的保护应直接跳闸，涉及多间隔的保护（母线保护）宜直接跳闸。

智能组件是灵活配置的物理设备，可包含测量单元、控制单元、保护单元、计量单元、状态监测单元中的一个或几个。

间隔层设备一般指继电保护装置、测控装置、故障录波等二次设备，实现使用一个间隔的数据并且作用于该间隔一次设备的功能，即与各种远方输入/输出、智能传感器和控制器通信。

站控层包含自动化系统、站域控制系统、通信系统、对时系统等子系统，实现面向全站或一个以上一次设备的测量和控制功能，完成数据采集和监视控制（SCADA）、操作闭锁以及同步相量采集、电

能量采集、保护信息管理等相关功能。

站控层功能应高度集成，可在一台计算机或嵌入式装置实现，也可分布在多台计算机或嵌入式装置中。

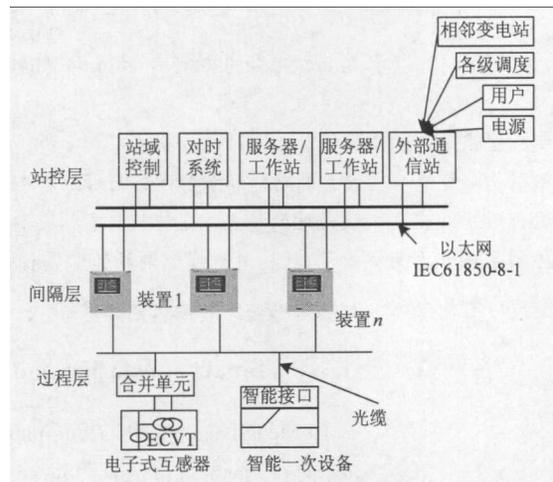


图 1 智能变电站结构图

Fig.1 Structure chart of smart substation

2.2 智能一次设备

高压设备是电网的基本单元，高压设备智能化（或称智能设备）是智能电网的重要组成部分，也是区别传统电网的主要标志之一。利用传感器对关键设备的运行状况进行实时监控、进而实现电网设备可观测、可控制和自动化是智能设备的核心任务和目标。《高压开关设备智能化技术条件》、《油浸式电力变压器智能化技术条件》对一次设备智能化做了相关规定。在满足相关标准要求的情况下，可进行功能一体化设计，包括以下三个方面：

- a) 将传感器或/和执行器与高压设备或其部件进行一体化设计，以达到特定的监测或/和控制目的；
- b) 将互感器与变压器、断路器等高压设备进行一体化设计，以减少变电站占地面积；
- c) 在智能组件中，将相关测量、控制、计量、监测、保护进行一体化融合设计，实现一、二次设备的融合。

2.3 智能设备与顺序控制

实现智能化的高压设备操作宜采用顺序控制，满足无人值班及区域监控中心站管理模式的要求；可接收执行监控中心、调度中心和当地后台系统发出的控制指令，经安全校核正确后自动完成符合相关运行方式变化要求的设备控制，即应能自动生成不同的主接线和不同的运行方式下的典型操作票；自动投退保护软压板；当设备出现紧急缺陷时，具

备急停功能; 配备直观的图形图像界面, 可以在站内和远端的可视化操作。

2.4 智能变电站应实现的高级功能

智能变电站应实现的高级应用功能包括: 设备状态监测、基于多信息融合技术的综合故障诊断、防误功能扩展应用、智能告警及事故信息综合分析决策、智能操作票系统等。

2.4.1 设备状态监测

智能变电站设备实现广泛的在线监测^[3], 使设备状态检修更加科学可行。在智能变电站中, 可以有效地获取电网运行状态数据、各种智能电子装置的故障和动作信息及信号回路状态; 智能变电站中二次设备状态特征量的采集上减少了盲区。但就目前的在线监测发展水平来看, 尚不具备实现囊括所有设备在内的全面在线监测的可能性, 对变电站内主要一次设备采取有针对性的在线监测技术可取得较好的投资效益。对主变、HGIS/GIS、避雷器等设备实现在线监测, 监测的参量为主变油色谱、HGIS/GIS SF6 气体微水和局部放电、避雷器泄漏电流、次数等。

信息融合又称数据融合, 是对多种信息的获取、表示及其内在联系进行综合处理和优化的技术^[4]。多信息融合技术从多信息的视角进行处理及综合, 得到各种信息的内在联系和规律, 从而剔除无用的和错误的信息, 保留正确的和有用的成分, 最终实现信息的优化。它也为智能信息处理技术的研究提供了新的观念。

状态监测与诊断系统是一套变电站设备综合故障诊断系统(见图 2), 依据获得的被监测设备状态信息, 采用基于多信息融合技术的综合故障诊断模型, 结合被监测设备的结构特性和参数、运行历史状态记录以及环境因素, 对被监测设备工作状况和剩余寿命做出评估。

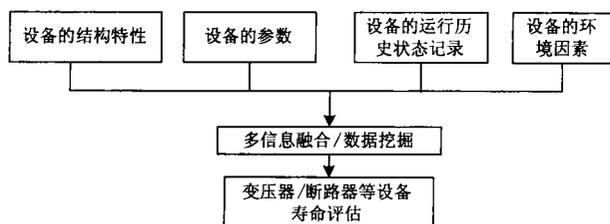


图2 状态监测与诊断系统图

Fig.2 Status monitoring and diagnosis system

2.4.2 防误功能扩展应用

智能变电站主要采用了以下防误闭锁的关键技术:

1) 相对于常规变电站的防误闭锁, 智能变电站

增加了监控中心层面的防误闭锁逻辑, 见图 3。

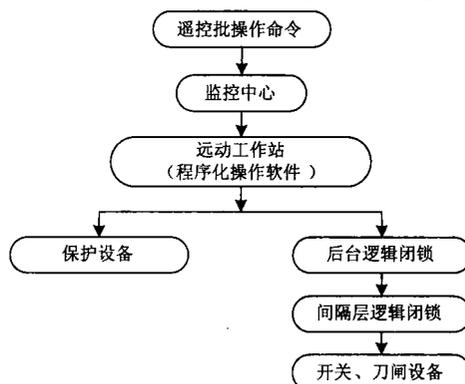


图3 智能变电站防误系统实现框图

Fig.3 Work flow of smart substation fool-proof system

2) 顺序控制操作方式, 所谓顺序控制是指通过监控中心的计算机监控系统下达操作任务, 由计算机系统独立地按顺序分步骤地实现操作任务。全站所有隔离开关、接地开关防误操作方式: 远、近控均采用逻辑防误加本间隔电气节点防误。其中逻辑防误通过 GOOSE 传输机制实现, 取消常规 HGIS 和 GIS 跨间隔电气节点闭锁回路, 通过 GOOSE 信息实现跨间隔操作的闭锁。

2.4.3 智能告警及事故信息综合分析决策

智能变电站监控系统上安装有智能告警及事故信息综合分析决策系统^[5], 对信号进行分类显示处理, 提取故障报警信息, 辅助故障判断及处理(见图 4)。根据变电站逻辑和推理模型, 实现对告警信息的分类和信号过滤, 对变电站的运行状态进行在线实时分析和推理, 自动报告变电站异常并提出故障处理指导意见, 为主站提供智能告警, 也为主站分析决策提供事件信息。

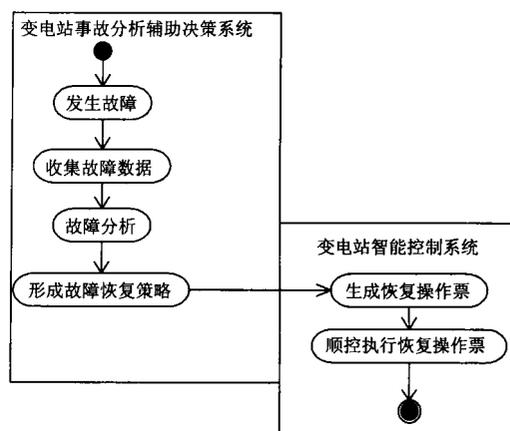


图4 事故信息综合分析决策系统

Fig.4 The system of fault analysis and decision

系统可以根据告警信号重要性, 将每个告警

信号进行定义,标注重要等级,以实现告警信息可按分类分页显示。告警实时显示窗口可由多个页面组成:时序信息、提示信息、告警信息、事故及变位信息、检修信息、未复归告警信息。另外,告警信息可按厂站或间隔进行过滤,即只显示某个厂站或间隔的信息。

2.4.4 智能操作票系统

智能操作票系统应当包含顺序控制软件和五防闭锁软件的功能^[6]。智能操作票系统可以充分利用平台提供的各项功能以及服务,共享实时 SCADA 模型及图形,保护模型,并实现实时态和模拟态数据可靠隔离,保证了整个过程的安全、实时、可靠。系统基于网络拓扑的接线模型识别,开票规则的用户自定义,操作票的智能推理,业务表单的自由定制,多种开票方式的灵活切换,操作票生命周期的全过程管理;采用彻底的图票一体化技术,即图中开票、票中执行,提高了操作票整个运转生命周期的可视性以及直观性;严格地基于系统拓扑五防的校验机制以及完善的权限管理机制。保证整个过程的安全、实时、可靠。

智能操作票系统主要包括以下主要功能:1) 开票功能;2) 系统拓扑五防功能;3) 操作票流程管理;4) 权限的定制。系统功能结构见图 5。

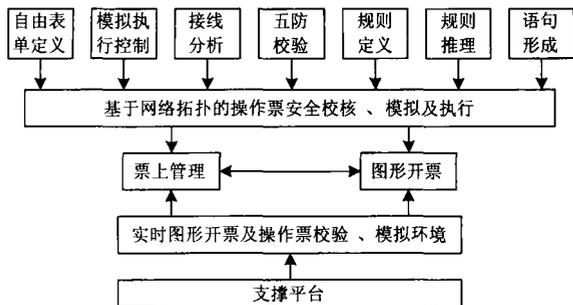


图 5 智能操作票系统功能结构
Fig.5 Structure of smart operation-ticket

2.4.5 电压无功自动分析控制

电压无功控制系统将区域子系统电压控制作为第二级控制,以子系统的电压合格、经济和最少操作次数为目标,实现子系统内上下级变电站之间的智能协调控制,实现子系统内各变电站之间的智能协调控制。无功电压自动控制系统首先从调度自动化系统采集数据,送入电压分析模块和无功分析模块进行综合分析,形成变电所主变分接头调节指令、变电所电容器投切指令、多主变经济运行指令,交由调度中心或集控中心控制系统执行。典型无功电压自动控制系统流程图如图 6 所示。

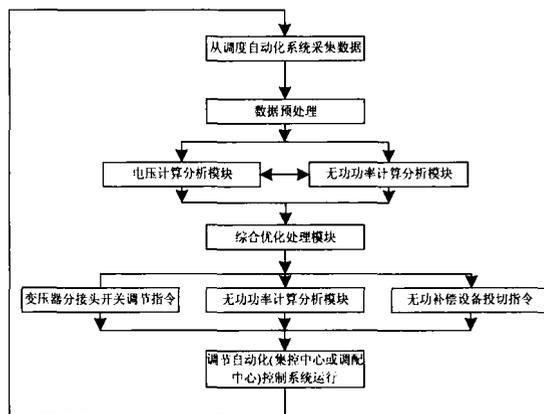


图 6 无功电压自动控制系统流程图
Fig.6 Flow of reactive voltage automatic control system

3 智能变电站运行管理中的几点思考

当前电力系统中相当一部分的变电站还是实行有人值班、设备定期检修的模式。智能变电站的建设与发展无疑给广大从事电力设计、安装、调试、检修、运行人员带来挑战。变电站安全运行将直接影响电网的稳定性,为确保其安全运行,应从以下几个方面考虑:

- 1) 智能变电站设备检修,应能依托顺序控制及工作票自动管理系统,自动生成设备和网络的安全措施卡,指导检修设备进行可靠、有效的安全隔离。
- 2) 工作票自动管理系统应根据系统方式的安排和调度员的指令,自动生成相关内容和步骤,并能与顺序控制步骤进行自校核和自监控。
- 3) 通过在线监测和实时分析诊断等技术,能对站内主要设备健康状况进行监测。建立站内全景数据的统一信息平台,供系统层各高级应用子系统进行统一、标准化、规范化的数据存取访问及向调度系统进行上送。其中,信息一体化平台作为未来变电站的信息出口,可用于变电站的监视与控制,安装于安全一区;为了确保变电站的安全性要求,信息一体化平台独立于目前的监控系统,其实施不影响站内设备正常的运行和控制。
- 4) 明确智能辅助控制系统的功能,研究相关实现技术。

4 结语

《智能变电站技术导则》及相关规范的出台,将为智能变电站建设与在运变电站智能化改造提供指导和规范。智能变电站是坚强智能电网的重要基础和支撑,是变电站建设的发展方向。本文阐述了

(下转第 79 页 continued on page 79)

- [7] 徐志伟,李伟. 织女星网络的体系结构研究[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39 (8): 923-929.
XU Zhi-wei, LI Wei. Research on VEGA grid architecture[J]. Journal of Computer Research and Development, 2002, 39 (8): 923-929.
- [8] Foster I, Kesselman C, Tuecke S. The anatomy of the grid: enabling scalable virtual organizations[J]. International Journal of Supercomputer Applications, 2001, 15 (3): 200-222.
- [9] Foster I, Kesselman C, Nick J, et al. Grid services for distributed systems integration[J]. IEEE Computer, 2002, 35 (6): 37-46.
- [10] 祝延波. 国内外网格研究现状浅析[J]. 青海科技, 2005 (4): 60-61.
ZHU Yan-bo. Present research situation analysis of the grid in China and foreign countries[J]. Qinghai Science and Technology, 2005 (4): 60-61.
- [11] 徐志伟, 李晓林, 游赣梅. 织女星信息网络的体系结构研究[J]. 计算机研究与发展, 2002, 38 (8): 948-951.
XU Zhi-wei, LI Xiao-lin, YOU Gan-mei. Architectural study of the VEGA information grid[J]. Journal of Computer Research and Development, 2002, 38 (8): 948-951.
- [12] 李伟, 徐志伟. 一种网格资源空间模型及其应用[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40 (12): 1756-1762.
LI Wei, XU Zhi-wei. A model of grid address space with applications[J]. Journal of Computer Research and Development, 2003, 40 (12): 1756-1762.
- [13] 王峰. 网格资源的一种组织方式——社区模型[J]. 河南科技学院学报:自然科学版, 2006, 34 (1): 87-89.
WANG Feng. An organizational approach of grid resources—the model of community[J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology: Natural Sciences Edition, 2006, 34 (1): 87-89.
- [14] 徐志伟. 关于网格社区的若干注记[J]. 织女星网格文档 VGS-6, 2003 (9): 1-8.
XU Zhi-wei. Certain remarks about grid community[J]. Vega Grid documents VGS-6, 2003 (9): 1-8.

收稿日期: 2009-10-09; 修回日期: 2009-11-07

作者简介:

李汉成 (1972-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统运行管理、企业信息化研究与应用等;

张佳琦 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为网格技术在配电自动化中的应用、配网理论与实际线损分析;

杨明皓 (1953-), 女, 博士生导师, 教授, 主要研究方向为电力系统运行与控制、配电自动化、电能质量与谐波。

E-mail: mhyang @cau.edu.cn

(上接第 62 页 continued from page 62)

智能变电站与数字化变电站的区别, 揭示了智能变电站的技术特点, 重点研究了智能变电站对应的高级应用功能。针对智能变电站的运行维护及应急事故处理特点, 提出了几点建议。

参考文献

- [1] 胡学浩. 智能电网—未来电网的发展态势[J]. 电网技术, 2009, 33 (14): 1-5.
HU Xue-hao. Smart grid-future grid development trend[J]. Power System Technology, 2009, 33 (14): 1-5.
- [2] 王明俊. 智能电网热点问题探讨[J]. 电网技术, 2009, 33 (18): 9-16.
WANG Ming-jun. Smart grid hot topic problems research[J]. Power System Technology, 2009, 33 (18): 9-16.
- [3] 张金江, 郭创新, 曹一家, 等. 变电站设备状态监测系统及其 IEC 模型协调[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (20): 67-71.
ZHANG Jin-jiang, GUO Chuang-xin, CAO Yi-jia, et al. Substation equipments status-monitoring system and IEC model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (20): 67-71.
- [4] 朱传柏, 郭创新, 曹一家. 基于调度综合数据平台的大规模电网分层故障诊断[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (1): 51-55.
ZHU Chuan-bai, GUO Chuang-xin, CAO Yi-jia. Big scale grid hierarchical faults diagnosing based on dispatch comprehensive data platform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (1): 51-55.
- [5] 王修庞, 罗虎, 李朝阳. 变电站集控运行管理模式探索[J]. 继电器, 2008, 36 (8): 91-94.
WANG Xiu-pang, LUO Hu, LI Zhao-yang. Substation centralized control operation management model research[J]. Relay, 2008, 36 (8): 91-94.
- [6] 徐俊杰, 许先峰, 杜红卫, 等. 电网智能操作票管理系统[J]. 电力自动化设备, 2009, 29 (11): 98-101.
XU Jun-jie, XU Xian-feng, DU Hong-wei, et al. Smart grid operation record management system[J]. Electric Power Automatic equipment, 2009, 29 (11): 98-101.

收稿日期: 2010-03-18; 修回日期: 2010-08-04

作者简介:

李孟超 (1968-), 男, 硕士, 从事电力系统管理工作;
E-mail: iandu66@126.com

王允平 (1973-), 女, 高级工程师, 主要从事电力系统运行及设备技术监督工作;

李献伟 (1982-), 男, 硕士, 工程师, 从事智能电网方面的研究。