



电力科技专著出版资金资助项目

现代电网应用技术丛书

数字化变电站 应用技术

高翔 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力科技专著出版资金资助项目
现代电网应用技术丛书



数字化变电站 应用技术

高翔 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分九章,主要包括变电站自动化系统概述,数字化变电站主要技术特征和架构体系,非常规互感器,IEC 61850 标准综述,数字化变电站通信网络系统,智能断路器系统,数字化变电站信息应用,数字化变电站的实现基础和数字化变电站应用分析等内容。

本书可供电力系统运行、设计、试验、制造、科研及管理人员阅读,也可供电力系统专业大学本科及研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字化变电站应用技术 / 高翔编著. —北京: 中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-6101-7

I. 数… II. 高… III. 数字技术—应用—变电站
IV. TM63-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 155529 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 456 千字

印数 0001—3000 册 定价 55.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



改革开放以来，变电站的二次系统经过了两次大变革，第一是保护微机化；第二是以计算机局域网为基础的变电站自动化。几年前我说过，这第二步才走了一半，因为我们只做到了间隔层和变电站层的网络化，过程层仍然是老一套，虽然变电站所有的二次设备都已数字化，我们却仍然用来自传统电流和电压互感器的二次电缆来向这些数字设备提供测量值。我也说过，在我的有生之年希望能看到全数字化的变电站在我国推广应用。

现在看来我的估计过于保守了，本书的出版标志着数字化变电站的技术已有突破性的进展。正像作者所说，新型互感器，IEC 61850 标准、网络通信技术和智能断路器技术的发展已经为全数字化变电站的应用打下了技术基础，并且已有一批这样的变电站投入了试点运行。

我向大家推荐这本书有两个原因：

其一，数字化变电站的应用不仅为变电站内各二次专业提供了一个崭新的发展机遇，而且整个电网的运行和控制都具备了实现重大技术突破的可能性，因此从事电力系统的各个专业的技术和管理人员都应予以关注。例如，继电保护装置在全数字化的环境内将变得面目全非，现在微机保护装置中占体积最大的两大部分——模拟量输入回路（包括隔离变压器和模数变换等）和开关量输入输出回路（包括大量电磁继电器）都将不再存在，新的保护装置将是怎样的，不值得思考吗？

其二，本书作者既有丰富的实践经验又在理论上下过很大功夫，因而此书看起来比较“解渴”，作者好像很知道读者会提出一些什么问题，读者会关心一些什么问题，这是我看全书以后的感想。

杨奇逊



20 世纪 90 年代以来随着微电子技术、信息技术、网络通信技术的发展,以微处理器为核心的智能化自动装置在电网控制领域得到了广泛的应用,促进了作为电网运行重要支撑的变电站综合自动化技术快速发展。变电站综合自动化系统的核心就是利用自动控制技术、信息处理和传输技术,通过计算机软硬件系统或自动装置代替人工进行各种变电站运行操作,对变电站执行自动监视、测量、控制和协调一种综合性的自动化系统,变电站综合自动化的范畴包括二次设备,如控制、保护、测量、信号、自动装置和运动装置等。

变电站综合自动化系统在二次系统具体装置和功能实现上,用计算机化的二次设备代替和简化了非计算机设备,数字化的处理和逻辑运算代替了模拟运算和继电器逻辑。在架构体系上,由“数据采集和控制”、“继电保护”、“直流电源系统”三大体系构成。相对于常规变电站二次系统,增添了“变电站主计算机系统”和“通信控制管理”两部分。“通信控制管理”作为桥梁联系变电站内部各部分之间、变电站与调度控制中心之间使其相互交换数据,并对这一过程进行协调、管理和控制。“变电站主计算机系统”对整个综合自动化系统进行协调、管理和控制,并向运行人员提供变电站运行的各种数据、接线图、表格等画面,使运行人员可远方控制断路器分、合操作,还提供运行和维护人员对自动化系统进行监控和干预的手段。“变电站主计算机系统”代替了很多过去由运行人员完成的简单、重复和繁琐的工作,如收集、处理、记录、统计变电站运行数据和变电站运行过程中所发生的保护动作、断路器分、合闸等重要事件,同时,还可按运行人员的操作命令或预先设定执行各种复杂的工作。

变电站综合自动化系统具有几个基本特征:① 功能实现综合化,变电站自动化系统按运行的要求,将二次系统的功能综合考虑,进行优化组合设计,“综合(Integrated)”并非指将变电站所要求的功能以“拼凑”的方式组合,而是指在满足基本要求的基础上,达到整个系统性能指标的最优化。② 系统构成模块化,保护、控制、测量装置的数字化(即采用微机实现,并具有数字化通信能力),利于把各功能模块通过通信网络连接起来,便于接口功能模块的扩充及信息的共享。另外,方便模块的组态,适应工程的集中式、分布分散式和分布式结构集中式组屏等方式。③ 操作监视屏幕化,当变电站有人值班时,人机联系在当地监控系统的后台机(或主机)上进行,当变电站无人值班时,人机联系功能在远方的调度中心或操作控制中心的主机或工作站上进行,不管哪种方式,操作维护人员面对的都是 CRT 屏幕,操作的工具都是键盘或鼠标。④ 运行管理智能化,体现在无人值班、人机对话及操作的屏幕化、制表、打印、越限监视和系统信息管理、建立实时数据库和历史数据库、开关操作及防误操作闭锁等方面,能够减轻工作人员的劳动及人无法做到的工作。

目前从国内、外变电站综合自动化的开展情况而言,大致存在几种结构:① 集中式系统结构,一般采用功能较强的计算机并扩展其 I/O 接口,集中采集变电站的模拟量和开关量等信息,集中进行计算和处理,分别完成微机监控、微机保护和自动控制等功能。集中式结构也并非指只由一台计算机完成保护、监控等全部功能。多数集中式结构的微机保护、微机监控和与调度等通信的功能也是由不同的计算机完成,例如监控机要担负数据采集、数据处理、

断路器操作、人机联系等多项任务；担负微机保护的计算机，可能一台微机要负责多回低压线路的保护等。这种结构主要问题是：前置管理机任务繁重、引线多，是信息处理的“瓶颈”，降低了整个系统的可靠性，即在前置机故障情况下，将失去当地及远方的所有信息及功能。

② 分布式系统结构，按变电站被监控对象或系统功能分布的多台计算机单功能设备，将它们连接到能共享资源的网络上实现分布式处理。这里所阐述的“分布”是按变电站设备物理上的分布，强调的是从计算机的角度来研究分布式方案问题的，这是一种较为理想的结构。要做到完全分布式结构，在可扩展性、通用性及开放性方面都具有较强的优势，然而，在实际的工程应用及技术实现上必须考虑严酷的运行环境、抗电磁干扰、信息传输途径及可靠性等问题，注重系统的工程实用性。分布式系统结构的最大特点是将变电站自动化系统的功能分散给多台计算机来完成。分布式模式一般按功能设计，采用主从 CPU 系统工作方式，多 CPU 系统提高了处理并行多发事件的能力，解决了 CPU 运算处理的瓶颈问题。各功能模块（常是多个 CPU）之间采用网络技术或串行方式实现数据通信，选用具有优先级的网络系统较好地解决了数据传输的瓶颈问题，提高了系统的实时性。分布式结构方便系统扩展和维护，局部故障不影响其他模块正常运行。③ 分层分布式结构，按变电站的控制层次和对象设置全站控制和就地单元控制的二层式分布控制系统结构。站控系统大致包括站控系统、站监视系统、站工程师工作台及与调度中心的通信系统等。其主要特点是按照变电站的设备、断路器间隔进行设计。将变电站一个断路器间隔所需要的全部数据采集、保护和控制等功能集中由一个或几个智能化的测控单元完成。测控单元可直接放在断路器柜上或安装在断路器间隔附近，相互之间用光缆或特殊通信电缆连接。这种系统代表了现代变电站自动化技术发展的趋势，大幅度地减少了连接电缆，减少了电缆传送信息的电磁干扰，且具有很高的可靠性，比较好的实现了部分故障不相互影响，便于维护和扩展。

尽管 20 世纪 90 年代以来变电站综合自动化技术的发展对于电网运行技术的提高起到了十分积极的作用，改善了变电站自动控制的能力和可靠性，但在实现技术方案上基本上还是维持着常规变电站自动化系统原有的功能和逻辑关系，在工作方式上多数仍然是各自独立运行，形成了各种“信息孤岛”现象。数据交互方面由于规约的限制，不同厂家的设备之间不能互相通信，不能共享资源，装置的冗余配置并不能实现信息的冗余应用。涉及到不同厂家产品同时应用时，系统的联调时间长，系统的稳定性较差，对维护及运行带来了极大的不便，一定程度上影响了变电站自动化系统的投入率。变电站仍然存在大量的二次电缆，因二次电缆可靠性问题引起的设备故障率事件时有发生。

随着光电技术在传感器应用领域研究的突破，IEC 61850 标准的颁布实施，以太网通信技术的应用，以及智能断路器技术的发展，使变电站自动化技术面临了一个崭新的发展机遇。这些相关技术的发展和运用意味着可能突破体现为“信息孤岛”现象的变电站自动化技术发展“瓶颈”，实现变电站内各种信息的有机整合，提高系统的集成化度和信息应用的效率，以交换式以太网技术和光缆为媒介的信息通信模式将有效地实现整个变电站自动化系统的运行监视，实现二次系统定期检修向状态检修模式的过渡，并将对于常规变电站自动化系统的工程实施、运行、检修、更新模式带来巨大的变化，同时能提高电网的安全运行水平。

信息化技术在电力系统中的应用已体现为现代化大电网应用技术的一种典型特征，近年来有关“数字化变电站”、“数字化电力系统”、“数字化电网”、“数字化调度”等各种新概念不断被提出，并已成为电网应用技术发展中令人关注的热点。但是这些新概念的涵义又是不

清晰的,或者这可能是新技术发展所带来的一种必然过程,需要在技术发展和应用过程中逐步予以明确。

本书书名定为:“数字化变电站应用技术”,其主要依据是作者认为数字化变电站的主要支撑技术比较确定,即:基于光电技术的互感器应用构成了变电站电气量信息采集的数字化应用,IEC 61850 标准的颁布实施为变电站实现信息的统一建模奠定了基础,以太网技术的发展为变电站内实现基于网络方式的信息交互提供了技术支撑,智能断路器技术的发展使变电站自动化技术实现了二次设备向一次设备的应用延伸。综上所述,数字化变电站主要支撑技术的综合应用意味着数字化变电站较常规变电站在电网运行、控制等信息应用方面具备了实现重大技术突破的可能性。

本书编写的技术基础主要依据以下几个方面:2003 年与上海交通大学电气工程系合作的研究项目“变电站通信网络和系统协议 IEC 61850 的研究”;2005 年华东电力试验研究院开展的研究项目“电子式互感器应用研究”;2004 年与浙江大学电气工程学院合作的研究项目“数字化变电站若干关键技术研究”;2005 年南桥变电站 500kV 变电站监控系统基于 IEC 61850 标准的工程实施等。

本书的编写过程中还借鉴了上海交通大学电气工程系与杭州电力局的研究项目《数字式变电所结构及技术原则研究》的研究成果。同时,通过与 ABB、AREVA、西门子等公司所进行的数字化变电站技术研讨,了解了国外主要制造商开展数字化变电站技术研究和应用的情况。

本书的编写重点是从变电站自动化应用技术的视角,阐述数字化变电站技术和发展的特点,全书共分九章:第一章阐述了变电站自动化的技术发展和基本特点,及变电站自动化技术发展的“瓶颈”。第二章分析了数字化变电站主要技术特征、体系架构,及对于变电站自动化技术的影响,初步描述了数字化变电站的基本内涵。第三章~第六章描述了数字化关键支撑技术:非常规互感器、IEC 61850 标准、网络通信技术、智能断路器技术的基本特点,这些技术构成了数字化变电站发展的应用基础,同时,为变电站自动化技术发展带来了新的机遇和挑战。第七章阐述了数字化变电站信息应用的特点和应关注的问题,分析了数字化变电站信息集成应用的几种模式;鉴于数字化变电站自动化系统体现为典型的分层、分布式结构,介绍了适合于分布式系统的多智能体技术,并提出了信息交互基于网络通信模式下需关注的信息安全问题。第八章从数据采集的稳定性、二次系统的冗余性、设备的互操作性、网络通信的安全性、试验方案的针对性、建设目标的阶段性和技术管理的适应性等方面分析了数字化变电站实现的基础。第九章阐述了数字化变电站技术与常规变电站技术的兼容模式和数字化变电站技术未来发展的不同应用实现模式,列举了目前实现的数字化变电站相关技术典型试点工程应用;同时,从系统可靠性、可用率、安全性的角度对于数字化变电站技术进行了概要性分析,这种分析模式对于未来数字化变电站系统的建设提供了一种可以量化的分析方法和技术,表明了数字化变电站自动化系统各种技术方案具备模型化分析的可能;在经济性分析时引入了变电站自动化系统总成本的概念,这将有助于客观地衡量数字化变电站技术带来的经济性、安全性效益。

数字化变电站技术工程化的推进将为构架数字化电网提供坚实的基础,这种技术的应用同时构成了调度自动化技术发展的内在推动力,有利于促进调度自动化技术向智能化程度发展。

随着各种相关应用技术的成熟和发展,数字化变电站将成为未来变电站自动化技术发展

的主流，数字化变电站技术的影响将主要体现在以下几个方面：

1) 电气量采集环节的数字化可实现一、二次设备之间电气上的有效隔离，常规变电站由于交流电缆引起的传导性电磁干扰现象将不复存在，以往因一次系统故障产生的干扰对于二次系统的影响将得到有效的抑制，二次系统的安全性大大提高；

2) 变电站内信息交互基于对等通信模式，信息交互基于 GOOSE，变电站自动化系统的组网方式变得异常灵活，不同类型的网络结构将直接影响到数字化变电站的可靠性、安全性；

3) 非常规互感器较大的动态范围使得常规变电站自动化系统因互感器精度和动态响应范围引起的测控、保护电气量采集环节分离变得毫无意义，变电站内信息集成应用具备了可靠的基础，数字化变电站自动化系统将实现装置的冗余向信息冗余的转换；

4) IEC 61850 标准体系实现了应用与数据通信的分离，为建立基于 VLAN 的站内局域网信息安全机制，和基于可信计算技术的远程信息完全机制提供了技术基础；

5) 数字化变电站体现为分层、分布式结构，具有自治性、协调性等特征的多智能体技术将在未来数字化变电站技术发展中发挥重要作用，多智能体技术可以有效地综合各种信息，实现信息应用的协调判断和处理，有利于提高变电站自动化系统应用的智能化程度；

6) 基于数字化变电站技术实现的变电站自动化系统将具有设计、制造、工程实施、运行维护、故障分析、系统效用评估等方面的便利性，并将极大地改变变电站的建设和运行模式；

7) 数字化变电站自动化技术是常规变电站自动化技术的发展和延续，数字化变电站技术的实际工程应用与常规变电站技术兼容将有利于促进技术的成熟度，需根据技术的成熟度确定阶段性的建设目标，逐步推进数字化变电站技术工程化应用；

8) 全数字化变电站自动化系统具有典型的结构化特征，可以有效地建立可靠性、安全性、经济性分析模型，对于不同应用模式的全数字化变电站自动化系统进行量化分析，评估不同应用模式（如冗余度、元件重要度等）效用，为合理地确定数字化变电站的配置方案和设计原则提供支撑。

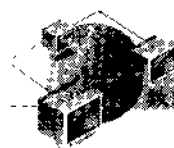
由于作者本人对于数字化变电站应用技术的理解程度有限，书中许多观点需在未来数字化变电站的工程实施和技术发展过程中得到验证。“纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行”。希望本书能对数字化变电站技术的发展和应用起到积极作用，对于本书中的错误及立论不当之处，恳请同行不吝赐教。

感谢杨奇逊院士在本书编写过程中的鼓励、支持，浙江大学韩祯祥院士在作者进行相关博士课题研究过程中的悉心指导，使作者在本书的编写过程中感到受益匪浅，在此表示由衷的敬意。同时，非常感谢上海交通大学张沛超副教授在本书的编写过程中所提供的大量重要素材，感谢浙江大学曹一家、郭创新老师，以及易勇辉、杨文征、李育林学弟在本书编写过程中所提供的帮助。

高翔

2007 年 10 月

目 录



数字化变电站应用标准

序 前言

第一章 变电站自动化系统概述	1
1.1 变电站自动化的基本概念	1
1.2 变电站自动化系统发展概述	2
1.2.1 我国变电站自动化系统的发展历程	2
1.2.2 集中式变电站自动化系统	2
1.2.3 分布式变电站自动化系统	3
1.2.4 国外变电站自动化技术发展历程	4
1.3 变电站自动化系统发展的主要因素	6
1.3.1 经济收益	6
1.3.2 技术能力	6
1.3.3 功能需要	8
1.4 常规变电站自动化系统的不足	9
1.4.1 信息难以共享	10
1.4.2 设备之间不具备互操作性	10
1.4.3 系统的可扩展性差	11
1.4.4 系统可靠性受二次电缆影响	11
1.5 新技术对变电站自动化系统发展的影响	12
1.5.1 非常规互感器	12
1.5.2 IEC 61850 标准	12
1.5.3 网络通信技术	12
1.5.4 智能断路器技术	13
1.6 小结	13
第二章 数字化变电站主要技术特征和架构体系	14
2.1 数字化变电站主要技术特征	14
2.1.1 数据采集数字化	14
2.1.2 系统分层分布化	15
2.1.3 系统结构紧凑化	16
2.1.4 系统建模标准化	17
2.1.5 信息交互网络化	18
2.1.6 信息应用集成化	19

2.1.7 设备检修状态化	20
2.1.8 设备操作智能化	21
2.2 数字化变电站的架构体系	22
2.2.1 基本结构	22
2.2.2 变电站二次回路通信模式	24
2.2.3 过程总线的组网方案	27
2.2.4 变电站总线的组网方案	28
2.2.5 系统的冗余性	29
2.3 对变电站二次系统的影响	31
2.3.1 一、二次系统实现有效的电气隔离	31
2.3.2 信息交互采取对等通信模式	31
2.3.3 信息同步采取网络同步机制	33
2.3.4 系统的可观性、可控性提高	34
2.3.5 信息的安全性问题凸现	35
2.4 小结	35
第三章 非常规互感器	36
3.1 传统互感器存在的问题	36
3.1.1 电磁式电压互感器存在的问题	36
3.1.2 电磁式电流互感器存在的问题	37
3.2 非常规互感器简介	37
3.2.1 有源式互感器系统	38
3.2.2 无源式互感器系统	39
3.2.3 非常规互感器基本特点	44
3.2.4 不同原理的互感器性能比较	45
3.3 国内外非常规互感器的研究和应用情况	47
3.3.1 国内新型互感器应用情况	47
3.3.2 国外新型互感器应用情况	52
3.4 非常规互感器的数据接口标准	56
3.4.1 合并单元 MU	56
3.4.2 扩展仪用传感器单元 ITU	57
3.4.3 数据接口	58
3.5 非常规互感器的测试	59
3.5.1 一般试验项目	59
3.5.2 典型试验接线	59
3.6 非常规互感器对二次系统的影响	61
3.6.1 非常规互感器对 IED 的影响	61
3.6.2 非常规互感器对二次回路的影响	62
3.6.3 非常规互感器对保护实现原理的影响	63

3.6.4 非常规互感器对计量系统的影响	64
3.6.5 非常规互感器对网络通信的影响	65
3.7 非常规互感器的应用展望	67
3.8 小结	68
第四章 IEC 61850 标准综述	69
4.1 概述	69
4.2 IEC 61850 标准的几个重要术语	70
4.3 IEC 61850 标准的核心技术要素	73
4.3.1 面向对象建模技术	73
4.3.2 软件复用技术	73
4.3.3 高速以太网技术	74
4.3.4 嵌入式实时操作系统技术	75
4.3.5 XML 技术	75
4.4 面向通用对象的变电站事件模型 (GOOSE)	76
4.4.1 抽象模型	76
4.4.2 GOOSE/GSSE 和 UCA GOOSE 的报文传输比较	78
4.5 变电站配置语言 SCL	79
4.6 制造报文规范 MMS	80
4.7 IED 之间的互操作性	82
4.8 IEC 61850 标准应用展望	83
4.9 小结	85
第五章 数字化变电站通信网络系统	86
5.1 概述	86
5.1.1 网络通信模型描述	86
5.1.2 基本网络通信方案	87
5.1.3 分布式变电站体系结构	91
5.2 网络通信技术分析	93
5.2.1 通信网络的可靠性分析	94
5.2.2 通信网络的实时性分析	95
5.2.3 通信网络的安全性分析	97
5.3 服务质量 QoS	98
5.4 综合服务模型	99
5.5 区分服务模型	100
5.6 多协议标记交换 MPLS	101
5.6.1 MPLS 的工作原理	102
5.6.2 MPLS 的交换过程	102
5.7 流量工程	103

5.8 变电站信息流量控制	104
5.8.1 变电站信息分类	104
5.8.2 带宽分配	106
5.8.3 流量控制	107
5.9 基于 OPNET 的通信网络仿真研究	113
5.9.1 OPNET 网络仿真软件介绍	113
5.9.2 OPNET 仿真软件系统建模和仿真	113
5.9.3 OPNET 仿真结果分析	116
5.10 小结	119
第六章 智能断路器系统	120
6.1 概述	120
6.2 断路器的基本特点	121
6.2.1 断路器的操作特点	121
6.2.2 智能断路器的特点	122
6.3 组合电器系统的应用模式	123
6.3.1 基于 ECT/EVT 的组合电器系统	124
6.3.2 基于 OCT/OVT 的组合电器系统	124
6.4 断路器与二次系统的联结	125
6.5 断路器智能控制装置	127
6.5.1 断路器监视技术	127
6.5.2 程序控制操作技术	129
6.5.3 智能断路器技术应用前景	130
6.6 小结	131
第七章 数字化变电站信息应用	132
7.1 信息属性	132
7.1.1 基本概念	132
7.1.2 信息的应用分类	132
7.2 信息流	134
7.3 信息同步	134
7.3.1 概述	134
7.3.2 GPS 同步技术	136
7.3.3 信息同步的实现方式	138
7.4 信息建模	142
7.4.1 四层元模型体系结构	142
7.4.2 电力系统元模型结构	143
7.4.3 IEC 61850 标准存在的问题	145
7.4.4 IEC 61850 标准的 UML 模型	146

7.5 信息集成	150
7.5.1 信息应用概况	150
7.5.2 信息集成基本技术	152
7.5.3 信息集成应用模式	157
7.5.4 信息应用的网络管理	160
7.6 多智能体技术	160
7.6.1 基本概念	161
7.6.2 智能体的工作模式	163
7.6.3 组件结构	165
7.6.4 信息管理	166
7.6.5 在线中断	167
7.6.6 基于智能体的变电站自动化系统体系结构	168
7.7 信息安全机制	169
7.7.1 二次系统安全防护基本要求	169
7.7.2 信息安全防护基本策略	170
7.7.3 信息安全防护主要技术	173
7.7.4 IEC 62351 标准的基本特征	178
7.7.5 对等通信模式下的信息安全防护	182
7.8 分布式装置的应用	184
7.8.1 变电站内基于 IEC 61850 标准的对等通信	184
7.8.2 变电站功能化的层次结构	184
7.8.3 分布式变电站自动化系统的应用	185
7.9 小结	188
 第八章 数字化变电站的实现基础	189
8.1 数据采集的稳定性	189
8.2 二次系统的冗余性	191
8.2.1 合并单元配置方案的冗余性	191
8.2.2 以太网的冗余性	194
8.2.3 装置及控制系统的冗余性	198
8.3 设备的互操作性	199
8.3.1 互操作试验的几种基本模式	199
8.3.2 一致性测试的基本要求	201
8.3.3 国内外互操作试验情况	205
8.4 交换技术的适用性	206
8.4.1 交换机基本工作原理	206
8.4.2 数字化变电站数据交换特征	208
8.4.3 数字化变电站对于交换机的基本要求	209
8.5 网络通信的安全性	210

8.5.1 信息安全的主要威胁	210
8.5.2 可信计算平台	212
8.5.3 信息安全基本方案	215
8.6 各种试验方案的针对性	218
8.6.1 基本试验项目差异	218
8.6.2 常规变电站 IED 和数字化变电站 IED 比较	219
8.6.3 基于 IEC 61850 标准的 IED 功能性测试	222
8.6.4 IED 设备的验证性测试	224
8.7 建设目标的阶段性	225
8.8 技术管理的适应性	229
8.9 小结	231
第九章 数字化变电站应用分析	232
9.1 常规系统的兼容模式	232
9.1.1 过程层常规设备接入方案	234
9.1.2 间隔层常规 IED 接入方案	234
9.2 变电站总线不同模式	235
9.2.1 点对点连接方式	235
9.2.2 过程总线方式	236
9.2.3 过程总线和站总线合并方式	237
9.3 典型工程应用	237
9.3.1 南桥监控系统工程	237
9.3.2 NGC 公司 Traws400kV 变电站工程实施介绍	240
9.3.3 EDF 公司 Vielmoulin400kV 变电站试验情况	243
9.3.4 云南曲靖翠峰 110kV 数字化变电站工程实施介绍	245
9.4 技术分析	251
9.4.1 可靠性 (Reliability) 分析	252
9.4.2 可用率 (Availability) 分析	257
9.4.3 安全性 (Security) 分析	266
9.5 经济分析	272
9.6 小结	276
缩略语	277
相关标准	281
参考文献	282

变电站自动化系统概述

信息技术、微电子技术、网络通信技术的发展为现代化电网提供了电网运行信息传输和分析处理技术的支撑,现代化电网运行的可靠性、安全性很大程度上将取决于对于电网各种正常运行、异常事故信息处理的有效性,或者说现代化电网运行将越来越依赖于电网控制技术或系统的可靠性,作为电网控制系统基础的变电站自动化技术承担着非常关键的作用。

本章将介绍变电站自动化系统的基本特点、组成及发展历程,提出常规变电站自动化系统的主要问题,阐述非常规互感器技术、IEC 61850 标准、网络通信技术、智能断路器技术等对于变电站自动化技术发展的影响。

1.1 变电站自动化的基本概念

变电站自动化系统是由基于微电子技术的智能电子装置 IED (Intelligent Electronic Device) 和后台控制系统所组成的变电站运行控制系统,包括监控、保护、电能质量自动控制等多个子系统。在各子系统中往往又由多个 IED 组成,例如:在微机保护子系统中有变压器保护、电容器保护、各种线路保护、母线保护等。IEC 61850 标准对 IED 定义如下:“由一个或多个处理器组成,具有从外部源接收和传送数据或控制外部源的任何设备,即电子多功能仪表、微机保护、控制器,在特定环境下在接口所限定范围内能够执行一个或多个逻辑接点任务的实体”。

变电站自动化技术的典型应用最初体现在远方终端装置 RTU (Remote Terminal Unit) 技术上,国际电工委员会 (IEC) 在 IEC 61850-2 (术语) 中对 RTU 的定义如下:“RTU 是 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 系统中的外部子站,作为通信网络和变电站设备间的接口”。此定义说明,IEC 赋予 RTU 在变电站自动化系统中的重要作用。

1997 年,国际大电网会议 CIGRE WG34, 03 工作组在《变电站内数据流的通信要求》报告中提出了“变电站自动化”和“变电站自动化系统 SAS (Substation Automation System)”两个名词,这些名词立即被 IEC, TC57 技术委员会采纳。

IEC 对变电站自动化系统定义为:“变电站自动化系统就是在变电站内提供包括通信基础设施在内的自动化,变电站自动化系统的功能是指变电站必须完成的任务。”国际大电网会议《变电站内数据流的通信要求》报告中指出,这些功能包括控制、监视和保护变电站的设备及其馈线。同时,还包括变电站自动化系统的维护功能,即系统组态、通信管理和软件管理等 63 种功能,这些功能分为 7 个功能组:

- 1) 远动功能,即传统“四遥”,遥信、遥控、遥调和遥测;
- 2) 自动控制功能,如 VQC (Voltage Quality Control), 备用电源自动投入,故障隔离/网络重组等;
- 3) 计量功能;
- 4) 继电保护功能;
- 5) 保护相关功能,如接地选线、低频减载、故障录波和故障测距等;



6) 接口功能, 如微机防误、GPS、站内空调和火警等其他系统的接口;

7) 系统功能, 如当地监控、调度端通信等功能。

这一定义将原变电站内的保护和自动装置等功能全部纳入了变电站自动化系统。

1.2 变电站自动化系统发展概述

1.2.1 我国变电站自动化系统的发展历程

1954 年, 我国从前苏联引进了远方终端装置 RTU, 东北电网安装了 16 套遥测装置。1956 年, 北京实现了第一个遥控变电站, 到 1959 年全国已经有 29 个变电站实现遥控和无人值班, 此外, 还在 2 个水电厂和 7 个火电厂安装了遥测、遥控、遥信装置。此后, 国内开始了系列远动产品的研制工作, 并且在华北、华东和东北三大网推广应用。

20 世纪 60 年代中期, 随着电子技术的迅速发展, 许多国家都开始了基于计算机的数据采集和监控系统 SCADA 的研制, 20 世纪 70 年代基于微处理器技术的微机型远动装置问世。微机型远动装置相对于晶体管布线逻辑型的远动设备具有两个明显的优势: ① 采用数字通信技术取代了原来的编码传输, 硬件回路得到极大的简化; ② 用微处理器的软件编程来实现各种逻辑和控制, 大大提高了灵活性。此外, 这种微机型的远动装置在可靠性、性能价格比等方面相对于传统的布线逻辑设备来说具有极大的优势, 因此, 这种技术随着微电子技术的发展得到了迅速的应用。

20 世纪 80 年代中期开始的四大网引进工程极大地推动了我国微机型 RTU 技术的发展, 从而也大幅度地提高了我国变电站自动化技术的水平。当时, 从英国西屋公司引进了采用“问答式”传输规约的远动终端设备和调度自动化系统, 国内各技术优势企业联合对这些设备开展技术引进和消化工作, 在此基础上诞生了一系列新产品, 并达到了当时国际中流的技术水平, 迅速缩短了国内变电站自动化技术同国外的差距。由于受到专业划分的影响, 国内远动技术在比较长的时间里处于独立发展的状态。

20 世纪 80 年代中期, 我国开始了微机型继电保护装置的研究工作, 最早通过鉴定的微机型继电保护装置是 WXB-01 型, 随后研制的 WXB-11 型线路保护性能得到了很大的提高, 产品的实用化水平也不断提高。在微机型线路保护广泛使用的同时, 微机型的元件保护、微机型的故障录波器等设备也逐渐在电力系统中投入了使用。这些微机型智能设备的广泛使用, 为变电站综合自动化理论的提出提供了一个基本的技术基础。与此同时, 国外变电站自动化技术开始走上系统协同设计的道路, 再一次拉开与国内技术水平上的领先差距。国内变电站自动化理论最初是在 1993 年提出来的, 当时国内微机型远动装置逐渐走向成熟, 变电站内的微机化保护和控制设备的使用量大幅度增加。这个理论提出来的另外一个背景是国外技术发展的影响, 国外的变电站自动化系统设计思路对国内变电站自动化技术发展的影响巨大。迄今为止, 国内外变电站自动化技术的应用和发展大体经历了集中式和分布式两个阶段。

1.2.2 集中式变电站自动化系统

传统 35kV 以上电压等级变电站的二次回路部分是由继电保护、当地监控、远动装置、故障录波和测距、直流系统与绝缘监视及通信等各类装置组成, 各自采用独立的装置来完成自身的功能且均自成系统, 由此不可避免地产生各类装置之间功能相互覆盖, 部件重复配置, 耗用大量的连接线和二次电缆。20 世纪 80 年代的变电站自动化系统实际上是在 RTU 基础上

加上 1 台微机为中心的当地监控系统, 见图 1-1, 不但未涉及继电保护, 就连原有的传统控制屏台仍予保留, 这可以说是国内集中式变电站自动化技术的第一阶段。

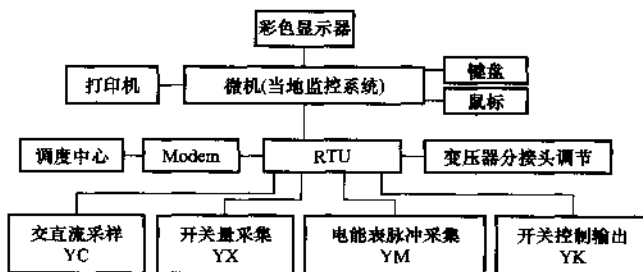


图 1-1 以 RTU 为基础的变电站自动化系统

20 世纪 90 年代数字式保护的广泛应用, 使变电站自动化技术取得快速的进展。90 年代初研制出的变电站自动化系统是在变电站控制室内设置计算机系统作为变电站自动化的控制中心, 另设置数据采集和控制部件用以采集数据和发出控制命令。微机保护柜除保护元件外, 每柜有一管理单元, 其串行口和变电站自动化系统的数据采集和控制部件相连接, 传送保护装置的各种信息和参数, 整定和显示保护定值, 投/停保护装置。此类集中式变电站自动化系统可以认为是国内集中式变电站自动化系统的第二阶段, 图 1-2 是此类系统的典型框图。

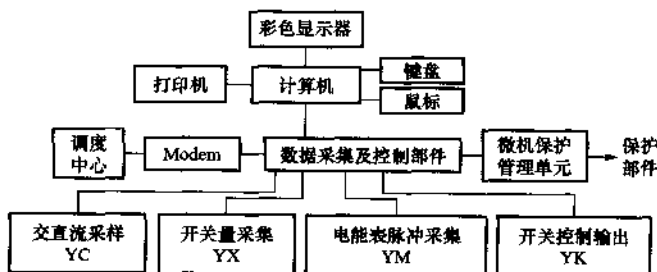


图 1-2 集中式变电站自动化系统典型框图

这种结构的主要问题是: 前置管理机任务繁重、引线多, 形成了信息的“瓶颈”, 降低了整个系统的可靠性。在前置机故障情况下, 将失去当地及远方的所有信息及功能; 此外, 扩展一些自动化需求的功能较难。变电站二次产品早期开发过程是按保护、测量、控制和通信部分分类、独立开发, 没有按整个系统设计的指导思想进行, 工程设计时大多采用的是按功能“拼凑”的方式开展, 从而导致系统工程化实施后的性能指标不尽人意。

1.2.3 分布式变电站自动化系统

20 世纪 90 年代中期, 随着计算机技术、网络通信技术的飞速发展, 出现了分布式变电站自动化系统。系统按变电站的控制层次和对象设置全站控制(站控层, 又称变电站层)和就地单元控制(间隔层)的二层式分布控制系统结构。站控层大致包括站控系统 SCS (Substation Control System)、站监视系统 SMS (Substation Monitoring System)、站工程师工作台 EWS (Engineer Working Station) 及与电网调度中心的通信系统 RTU/SCADA。

一、站控层系统的基本功能划分

1) 站控系统 (SCS), 具有快速的信息响应能力及相应的信息处理分析功能, 完成站内