



工业和信息化部普通高等教育“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21st Century Institutions of Higher Learning Materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Integrated Substation Automation

变电站综合自动化 技术及应用

马大中 编著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部普通高等教育“十二五”规划教材



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Integrated Substation Automation

变电站综合自动化 技术及应用

马大中 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

变电站综合自动化技术及应用 / 马大中编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2014. 3
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-33429-9

I. ①变… II. ①马… III. ①变电所—自动化技术—高等学校—教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第286342号

内 容 提 要

本书系统地阐述了变电站综合自动化系统的原理、结构、功能以及实际应用,介绍了相关应用技术和设备,以及具体操作等。

全书共分为11章。主要内容包括变电站综合自动化系统的技术基础;变电站综合自动化系统的装置原理;变电站综合自动化算法;变电站综合自动化微机保护子系统;变电站综合自动化监控系统;变电站综合自动化电压无功控制子系统;变电站综合自动化系统中备用电源自动投入、故障录波、小电流接地系统等二次装置及其他子系统;变电站综合自动化的数据通信系统;变电站综合自动化系统的可靠性问题;变电站综合自动化系统的运行管理、调试与维护;数字化变电站技术。通过对本书的学习可使读者对变电站综合自动化技术及其未来的发展方向有一个完整的、深入的认识。

本书可作为电气信息类专业及其他相近专业的本科教材,也可作为有关工程技术人员的参考用书,还可作为变电站综合自动化系统技术人员的培训教材。

-
- ◆ 编 著 马大中
责任编辑 刘 博
责任印制 彭志环 杨林杰
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京中新伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17
字数: 424千字
- 2014年3月第1版
2014年3月北京第1次印刷
-

定价: 39.00元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010) 81055316
反盗版热线: (010) 81055315

20 世纪 80 年代中期, 变电站综合自动化系统在我国开始投入运行, 并随着大规模集成电路的制造技术、微计算机的应用技术及网络通信技术等新技术的应用而不断发展和完善。目前, 变电站自动化系统具有功能综合化、测量显示数字化、系统构成模块化、结构分布分层化、操作监视屏幕化、通信网络化、运行管理智能化的特点。变电站综合自动化不仅提高了变电站系统自身的自动化水平和管理水平, 取得明显的经济效益和社会效益, 而且推进了配电网自动化和调度自动化的进展和技术水平的提高。因此, 变电站综合自动化是社会经济、技术发展的必然趋势。

本书在取材方面, 除力求讲清基本概念、基本理论之外, 也注意介绍国内外先进科学技术和本学科发展方向; 除尽量保证学科的系统性、完整性之外, 也适当述及我国变电站的现状和有关技术政策。本书每章都有一定数量的例题, 以便于教师授课和学生学习。

本书紧跟变电站综合自动化系统的发展, 系统地阐述了变电站综合自动化系统的功能、原理、理论基础及相关的应用技术。本书是本着重理论基础、拓展专业知识和加强理论应用的教学改革需要编写的, 内容覆盖变电站综合自动化系统的各个方面。本书的主要特点是以工程应用作为出发点, 力求做到深入浅出、通俗易懂, 使读者能够对变电站综合自动化系统有完整的、系统的了解与认识。

本书由马大中编著。在本书的编写过程中, 得到了孙秋野、刘金海、王占山、王雪粉、崔瑾、梁军胜、郭靖的大力支持, 在此表示真诚的感谢。另外, 作者在编写本书的过程中参考了大量专家和学者的著作、学术论文及经验总结等, 在此向他们表示最诚挚的谢意!

由于新技术的不断发展, 加之编者的理论水平和实际开发经验有限, 书中难免存在一些不足之处或者错误, 恳望读者们和相关专家批评指正。

编 者

2013 年 10 月于东北大学

目 录

第 1 章 变电站综合自动化系统	
基础知识	1
1.1 变电站综合自动化的 基本概念及发展过程	1
1.1.1 变电站综合自动化的 发展过程	2
1.1.2 变电站综合自动化系统的 基本要求	4
1.2 变电站综合自动化系统发展的 主要因素及其功能	6
1.2.1 变电站综合自动化系统 发展的主要因素	6
1.2.2 变电站综合自动化的 基本功能	7
1.3 变电站综合自动化的体系结构	12
1.4 实现变电站综合自动化的 优点及发展趋势	18
1.4.1 变电站综合自动化的优点	18
1.4.2 变电站综合自动化的 发展方向	21
1.4.3 变电站综合自动化系统中的 新技术	23
1.5 变电站综合自动化研究的 内容和特点	24
1.5.1 变电站综合自动化的 研究内容	24
1.5.2 变电站综合自动化系统的 特点	25
本章小结	27
习题	27
第 2 章 变电站综合自动化系统的 装置原理	28
2.1 变电站综合自动化装置概述	28
2.1.1 基本测控单元	28
2.1.2 采集的数据信息	30
2.2 模拟量输入/输出系统	30
2.2.1 基于逐次逼近型的模拟量 输入/输出通道	30
2.2.2 基于 V/F 转换的模拟量输入 回路	39
2.2.3 模拟量输出通道	42
2.3 开关量输入/输出系统	43
2.3.1 开关量输入/输出的 基本概念	43
2.3.2 CPU 对输入/输出的 控制方式	44
2.3.3 开关量输入通道	47
2.3.4 开关量输出通道	50
2.3.5 脉冲量输入电路	51
2.4 人机联系系统及电源插件	53
2.4.1 人机联系系统	53
2.4.2 电源插件	53
本章小结	54
习题	54
第 3 章 变电站综合自动化算法	55
3.1 概述	55
3.2 微机保护的基础知识	56
3.2.1 微处理器的基本工作原理	56
3.2.2 数字滤波	57
3.2.3 常用的数字滤波器	58
3.3 变电站综合自动化系统中 常用的算法	62
3.3.1 基于正弦函数模型的算法	62
3.3.2 基于周期函数模型算法	66
3.3.3 基于随机函数模型算法	68
3.3.4 解微分方程算法	69

3.4 算法的评价和选择	70	5.1.3 变电站综合监控系统简介	109
本章小结	73	5.2 变电站综合自动化监控系统的基本功能及特点	113
习题	73	5.2.1 监控系统的基本功能	113
第4章 变电站综合自动化微机保护子系统	74	5.2.2 监控子系统的特点	116
4.1 微机保护的发展及特点	74	5.3 变电站综合自动化监控系统的冗余方式	117
4.1.1 微机保护的发展	74	5.3.1 变电站通信系统的冗余备份	117
4.1.2 微机保护的特点及优势	75	5.3.2 变电站综合自动化监控系统主控单元冗余备份	119
4.2 微机型保护及控制装置的硬件结构与软件功能	77	5.3.3 变电站综合自动化监控系统通信机冗余	120
4.2.1 微机型保护及控制装置的硬件结构	77	5.3.4 后台冗余	120
4.2.2 微机型保护及控制装置的软件功能	81	5.4 无人值班变电站的监控方式	120
4.2.3 微机保护软件主要模块	83	5.4.1 无人值班变电站的设备和特点	121
4.3 输电线路的微机保护	84	5.4.2 无人值班变电站的运行模式	123
4.3.1 线路三段式电流保护	84	5.4.3 无人值班变电站的运行与管理	124
4.3.2 方向过电流保护	86	本章小结	127
4.3.3 自动重合闸	87	习题	127
4.3.4 微机线路距离保护	89	第6章 变电站综合自动化电压无功控制子系统	128
4.4 变压器及母线的微机保护	92	6.1 电力系统的无功功率和电压调整	128
4.4.1 电力变压器的保护类型及配置	92	6.1.1 无功功率	128
4.4.2 变压器的差动保护	94	6.1.2 无功功率补偿	129
4.4.3 变压器的后备保护	98	6.1.3 变电站的电压调整	129
4.4.4 母线微机保护	100	6.1.4 电压无功控制补偿的目标	131
4.5 电力电容器的微机保护	101	6.2 变电站电压、无功综合控制的原理	132
4.5.1 电容器的故障及保护配置	102	6.2.1 电压无功综合控制原理	132
4.5.2 电容器组的保护	102	6.2.2 变电站电压无功控制应满足的约束条件	134
4.6 微机继电保护技术的新发展	104	6.3 电压无功控制方式及控制策略	135
本章小结	104	6.3.1 电压无功控制方式	135
习题	105		
第5章 变电站综合自动化监控系统	106		
5.1 变电站监控子系统的组成	106		
5.1.1 变电站综合自动化监控子系统的典型结构	107		
5.1.2 变电站综合自动化监控系统软件	109		

6.3.2 电压无功控制策略.....	137	8.1.1 数据通信系统.....	172
6.4 变电站电压、无功综合控制		8.1.2 数据传输方式.....	173
系统举例.....	139	8.1.3 异步传输与同步传输.....	174
6.4.1 VQC 系统特点.....	139	8.1.4 数据通信的工作方式.....	175
6.4.2 VQC 系统结构.....	141	8.2 数字信号的调制解调与	
6.4.3 VQC 系统的调节策略.....	142	差错控制.....	176
6.4.4 VQC 闭锁.....	145	8.2.1 数字信号的传输.....	176
6.4.5 变电站综合自动化系统的		8.2.2 数字信号的调制与解调.....	176
VQC 操作界面介绍.....	146	8.2.3 差错控制.....	178
本章小结.....	147	8.3 变电站综合自动化系统的	
习题.....	147	通信基本内容与功能.....	180
第 7 章 变电站综合自动化系统的		8.3.1 变电站综合自动化系统	
二次装置及其他子系统.....	148	通信内容.....	180
7.1 备用电源自动投入装置.....	148	8.3.2 对变电站综合自动化系统	
7.1.1 备用电源自动投入装置概述.....	148	通信的要求.....	182
7.1.2 备用电源自动投入方式.....	149	8.3.3 变电站远传信息的	
7.1.3 备用电源自动投入		通信线路.....	183
装置特点.....	151	8.4 变电站综合自动化数据	
7.1.4 备用电源自投装置的		通信接口.....	185
动作逻辑.....	152	8.4.1 RS-232 标准.....	185
7.2 故障录波.....	153	8.4.2 RS-232D 的特性及优缺点.....	187
7.2.1 故障录波器及其应用现状.....	154	8.4.3 RS-485 标准接口.....	188
7.2.2 故障录波器的主要作用.....	154	8.4.4 RS-232 与 RS-485 通信接口	
7.2.3 电力系统对故障录波器的		存在的问题.....	188
要求.....	155	8.5 变电站信息传输规约.....	189
7.2.4 故障录波器的硬件结构.....	157	8.5.1 循环式传送规约 (CDT).....	189
7.2.5 故障录波器的工作原理.....	158	8.5.2 问答式传输规约.....	194
7.3 小电流接地系统单相接地		8.5.3 循环式传输规约与问答式	
故障检测.....	162	传输规约的比较.....	195
7.3.1 中性点不接地系统单相		8.6 变电站综合自动化系统的	
接地故障的检测.....	163	通信网络.....	195
7.3.2 中性点经消弧线圈接地		8.6.1 局域网信息传输.....	195
系统单相接地故障的检测.....	167	8.6.2 现场总线通信方式.....	197
本章小结.....	170	本章小结.....	199
习题.....	171	习题.....	199
第 8 章 变电站综合自动化的		第 9 章 变电站综合自动化系统的	
数据通信.....	172	可靠性.....	200
8.1 综合自动化系统数据通信的		9.1 变电站综合自动化系统的	
基本概念.....	172	可靠性问题.....	200

9.2 电力系统电磁兼容的基本概念	201	10.2.3 交流采样装置的调试	231
9.2.1 差模干扰及共模干扰	201	10.2.4 变电站综合自动化系统的 安装接线	233
9.2.2 电磁干扰的传导路径	202	10.2.5 综合自动化装置的 现场调试	234
9.3 变电站电磁干扰的主要来源	206	10.3 变电站综合自动化系统的 运行维护	238
9.3.1 自然干扰源	206	10.4 变电站故障及处理	239
9.3.2 系统内在干扰源	207	本章小结	240
9.3.3 系统外部干扰源	208	习题	240
9.4 变电站抗电磁干扰的措施	209	第 11 章 数字化变电站技术	241
9.4.1 电磁场的屏蔽机理	209	11.1 数字化变电站	241
9.4.2 变电站综合自动化系统 抗电磁干扰的措施	212	11.2 数字化变电站的体系结构和 技术特征	242
9.5 变电站综合自动化系统的 自动检测技术	216	11.2.1 数字化变电站的体系结构	242
本章小结	219	11.2.2 数字化变电站的技术特征	245
习题	219	11.3 IEC 61850 标准	248
第 10 章 变电站综合自动化系统的 运行管理、调试与维护	220	11.3.1 IEC 61850 标准概述	248
10.1 变电站综合自动化系统的 管理	220	11.3.2 IEC 61850 的几个 重要术语	249
10.1.1 运行管理	220	11.3.3 IEC 61850 的特点	250
10.1.2 制度管理	224	11.3.4 IEC 61850 标准的现状及 发展规划	253
10.1.3 设备管理	225	11.4 数字化变电站的实现基础	254
10.1.4 技术资料管理	226	11.5 数字化变电站自动化系统 功能的发展	259
10.1.5 安全管理	227	本章小结	263
10.2 变电站综合自动化系统的 调试	228	习题	263
10.2.1 调试目的、内容及调试前的 准备工作	229	参考文献	264
10.2.2 电测量变送器的检测与 调试	229		

随着我国国民经济的快速增长，电力系统获得了快速的发展，传统变电站已经不能满足现代电力系统管理模式的需求。因此，变电站综合自动化技术在电力行业中引起了越来越多的重视。信息技术、微电子技术、网络通信技术的发展为电网安全可靠地运行提供了技术的支撑。作为电网控制系统基础的变电站综合自动化技术承担着非常关键的作用。

本章将介绍变电站综合自动化系统的基本功能、体系结构、优点和发展过程。论述影响变电站综合自动化系统发展的主要因素以及发展趋势。最后将介绍变电站综合自动化系统的特点及其研究内容。

1.1 变电站综合自动化的基本概念及发展过程

变电站按电压等级分为特高压、超高压、高压及中低压 4 种类型。根据我国变电站的电压等级，1000kV、750kV 电压等级的变电站为特高压变电站；500kV、330kV 的变电站为超高压变电站；220kV、110kV、66kV 的变电站为高压变电站；35kV、10kV 及以下电压等级为中低压变电站。变电站按运行管理模式可分为有人值班站和无人值班站。

变电站在电力系统中是电网中输电和配电的集结点；是电力系统中变换电压、接收和分配电能、控制电力流向和调整电压水平的重要电力设施；是电网能量传递的枢纽；是分布式微网发电系统并入电网的接入点；是电网运行信息的最主要来源；也是电网操作控制的执行地；是智能电网“电力流、信息流、业务流”三流汇集的焦点。由于变电站在电力系统中的重要地位，它们的运行安全与否，将直接影响到电力系统的安全、稳定运行和供电可靠性。为了监视与处理变电站内电气设备的运行状况，及时处理故障与隐患，长期以来，各级电力部门在变电站采取了许多措施，包括装设各种保护装置和各种自动装置，制定各种操作规程和管理规程。但是，随着电力系统电压等级的不断提高、输电容量的不断扩大，电力设备的安全可靠运行问题也更加突出。

变电站是电力生产过程的重要环节，作用是变换电压、交换功率和汇集、分配电能。变电站中的电气部分通常被分为一次设备和二次设备。属于一次设备的有不同电压等级的电力设备，包括电力变压器、母线、同步调相机、并联电抗器、静止补偿装置、串联补偿装置等。

为了保证变电站电气设备安全、可靠、经济运行，在变电站内装有一系列的辅助电气设备，如监视测量仪表、控制及信号器具、继电保护装置、自动装置等，这些设备被称为二次设备。变电站中二次设备相互连接的电路称为二次回路，也称为二次接线或二次系统。

变电站综合自动化是将变电站的二次设备（包括测量仪表、信号系统、继电保护、自动装置和远动装置等）经过功能的组合和优化设计，利用先进的计算机技术、现代电子技术、通信技术和信号处理技术，实现对全变电站的一次设备和输、配电线路的自动监视、测量、控制和保护，以及与调度中心进行信息交换等功能。

变电站综合自动化系统利用多台微机子系统组成自动化系统，代替常规的测量和监视仪表，代替常规控制屏、中央信号系统和远动屏；用微机保护代替常规的继电保护，解决常规的继电保护装置不能与外界通信的问题。因此，变电站综合自动化是自动化技术、计算机技术和通信技术等高科技在变电站领域的综合应用。变电站综合自动化系统可以采集到比较齐全的数据和信息，利用计算机的高速计算能力和逻辑判断功能，可方便地监视和控制变电站内各种设备的运行和操作。

目前，变电站综合自动化技术发展迅速，已进入大面积推广应用阶段。各项新技术的发展为综合自动化系统的实现奠定了技术基础。

1.1.1 变电站综合自动化的发展过程

随着工农业生产的持续发展和人民生活水平的不断提高，各行各业的用电量和家用电器数量的猛增，缺电的局面时常发生。为满足不断增长的用电量的需求，每年有不少新建的发电厂、变电站投入运行，也有不少老的发电厂、变电站需要进行技术改造或扩容。解决问题的方法就是提高变电站的自动化水平，用先进的技术改造变电站。因此，长期以来许多为电力行业服务的技术部门、高等院校和科研单位都在为提高发电厂和变电站的自动化水平而从事各种研究工作和技术改造工作。从变电站自动化技术的发展过程来看，可分为以下几个阶段。

1. 变电站分立元件的自动装置阶段

通常把变电站的设备分为一次设备和二次设备，一次设备主要指变压器、母线、电容器、电抗器、断路器、隔离开关、电压互感器、电流互感器、交流电源和直流电源等；二次设备有自动装置、继电保护装置、远动装置、测量仪表和中央信号等，为了叙述方便，我们把这些二次设备统称为自动装置。这些一、二次设备都是变电站必不可少的基本组成部分。

为了保证电力系统的正常运行，研究单位和制造厂家长期以来陆续生产出各种功能的自动装置，如自动重合闸装置、低频自动减负荷装置、备用电源自动投入装置和各种继电保护装置等。在计算机化以前，这些自动装置因其功能不同，其实现的原理也完全不同。20世纪60年代以前，这些装置几乎都是电磁式的。20世纪60年代，开始出现了晶体管继电器，可以代替电磁式继电器，也出现了晶体管式无触点的远动设备。这些晶体管式的自动装置，虽然其功能与电磁式装置相同，但实现的原理不同。它们的主要缺点是抗干扰能力较弱、易受温度影响，可靠性较差。

20世纪70年代，随着微电子技术的发展，不少研究单位和厂家开始研究集成电路的继电保护和远动设备及其他控制装置。这些保护和自动装置的体积比晶体管式的同类装置小，可靠性和抗干扰能力都有所提高。自动装置相互之间独立运行，互不相干，而且不智能化，没有故障自诊断能力，在运行中若自身出现故障，不能提供告警信息，有的甚至会影响电网运行的安全。同时，分立元件装置的可靠性不高，经常需要维修，体积大，不利于减少变电站的占地面积，因此，需要有更高性能的装置代替。

2. 微处理器为核心的智能自动装置阶段

由于微处理器和大规模集成电路制造技术的迅速发展及其显著的优势，因此，美国、日

本和欧洲许多国家,从20世纪70年代开始,迅速将微处理器技术应用到发电厂、变电站和调度自动化等电力系统的许多领域,对发电厂、变电站自动化起到了很大的促进作用。我国微处理器在电力系统的应用研究工作,比日本等国大概晚了将近10年。直至20世纪80年代,微处理器技术和相关产品开始引入我国,吸引了许多为电力行业服务的科技工作者,他们都把注意力放在如何将大规模集成电路技术和微处理器技术应用于电力系统各个领域上。

在电力系统发电厂、变电站自动化方面,首次在保持原有功能的基础上先将原来由电磁式或晶体管等分立元件组成的运动装置、继电保护装置和其他自动装置的硬件结构改为由微处理器和大规模集成电路代替。由于采用了数字式电路,统一数字信号电平,缩小了体积,明显地显示出其优越性。特别是由微处理器构成的保护装置及其他自动装置,利用微处理器的智能和计算能力,可以应用和发展新的算法,提高了测量的准确度和控制的可靠性,还扩充了新的功能;同时还具有一些故障自诊断能力,对提高自动装置自身的可靠性和缩短维修时间很有意义,这也是以前任何电磁式或晶体管式的装置所无法实现的。

这些以微处理器为核心的智能自动装置,虽然提高了变电站自动控制的能力和可靠性,但在20世纪80年代,基本上还是维持原有的功能和逻辑关系,只是组成的硬件结构由微处理器及其接口电路代替,扩展了一些简单的功能,多数仍然是各自独立运行,不能互相通信,不能共享资源,实际上形成了变电站的自动化孤岛,仍然解决不了变电站设计和运行中存在的所有问题。由于当时国内实际条件的限制,计算机和大规模集成电路芯片价格昂贵,通信技术受限制,因此,该阶段变电站自动化技术的主要特点如下。

(1) 由于微型自动装置从设计原则上几乎都是面向全厂或全站而不是面向每个间隔或元件的,因此,无论是微机继电保护还是微机自动装置、运动装置等,都采用集中组屏方式。

(2) 处于发电厂、变电站端的运动设备与控制中心或调度中心的接收设备之间的通信,采用一对一方式。

(3) 除了运动装置具有串行通信接口,能与调度中心通信外,多数自动装置和微机保护装置几乎没有对外通信接口,即不具备串行通信功能,因此在发电厂、变电站内各微机自动装置只能各自独立运行,不能互相通信,不能共享资源。

随着数字技术和微机技术的发展,变电站内自动化孤岛问题引起了国内外科技工作者的关注,并对其开展研究和寻求解决的途径。因此,变电站自动化是科学技术发展和变电站自动控制技术发展的必然结果。

3. 变电站自动化阶段

国内外变电站自动化系统从20世纪70年代末开始研制和开发。20世纪80年代末90年代初,DSP技术的应用,使得随一次设备分散布置的分散式测控单元很快发展起来,而且还提供了强有力的功能综合优化手段。比如电压、功率和电能的流量,可以从输电线路、变压器等设备上交流采样,并经过分析、计算不仅可计算出各相电流、相电压的基波和谐波有效值,以及各相有功功率、无功功率、电压等测量的实时数据,还能进一步计算出功率因数、频率以及零序、负序参数等值,并和有关的输入、输出触点一起集成在变电站综合自动化系统中。

随着数字通信设备的发展应用,通信系统的通信容量和可靠性大大提高。同时,通信技术中光纤通信技术正在迅速取代金属电缆和同轴电缆,并用于远距离通信和短距离大容量信息的传输。光纤通信除具有频带宽、信道多和衰减小的特点外,还具有抗强电磁干扰的优点。由于光纤通信实际上几乎不受电磁干扰、浪涌、暂态分量和各端间电位差的影响,非常适用于变电站强电磁干扰的环境,是保护和监控装置最佳的通信信道。随着科学技术水平的不断

进步，计算机网络技术和现场总线技术得到了很大的发展，特别是局域网（LAN）技术的迅速发展和应用成为一种潮流。由于它们能很好地满足电力系统一些特殊要求，因此该项技术在变电站综合自动化中得到了广泛的应用。

20 世纪 90 年代，变电站综合自动化系统主要应用在 110kV、66kV 或 35kV 电压等级的变电站中。但在主流产品由于其通信功能不够完善，系统结构主要是集中组屏结构；其远动功能，由以前的“二遥”（遥测、遥信）发展为“三遥”（遥测、遥信、遥控），也有少数可以实现“四遥”；与调度中心的通信通道，通常采用电力载波、微波、公共电信网，只有少量采用光纤。进入 21 世纪，实现变电站综合自动化成为新建变电站和老站改造的首选。

20 世纪末至 21 世纪初，随着大规模集成电路技术、微型计算机技术、网络通信技术，特别是现场总线和网络技术的发展，使综合自动化系统的技术有可能进一步向前发展，主要表现在以下几方面。

- ① 采用分层分布式的系统结构。
- ② 采用面向对象的设计理念。
- ③ 综合自动化系统具备了继电保护、测量和控制等功能。
- ④ 具备了遥测、遥信、遥调以及遥控的“四遥”远动功能。
- ⑤ 建立标准化、规范化的通信规约。
- ⑥ 现场总线技术和网络通信技术的广泛应用。
- ⑦ 光纤通信应用于发电厂、变电站端与调度中心的通信。
- ⑧ 变电站综合自动化技术逐步向全数字化、智能化发展。

变电站综合自动化系统的研究、生产和应用之所以会引起这么多科技工作者、生产厂家和电力部门的重视，自动化系统本身技术的发展也如此迅速，其根本原因在于变电站实现综合自动化能够全面提高变电站的技术水平，提高运行可靠性和管理水平。另外，近几年来，复杂可编程逻辑器件（Complex Programmable Logic Device, CPLD）和现场可编程门阵列（Field Programmable Gate Array, FPGA）等大规模集成电路技术和数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）以及高性能、低功耗的（Advanced RISC Machines, ARM）处理器技术的迅猛发展，给变电站自动化技术注入了新的活力。现场总线技术、网络技术以及通信技术的迅速发展和应用，给广大科技工作者创造了大显才能的机会，促使变电站综合自动化技术向纵深发展。

1.1.2 变电站综合自动化系统的基本要求

变电站综合自动化的“综合”主要包括两个方面。

- ① 横向综合：利用计算机手段将不同厂家的设备连在一起，替代或升级老设备的功能。
- ② 纵向综合：在变电站层这一级，提供信息优化、综合处理分析信息和增加新的功能，增强变电站内部各控制中心间的协调能力。例如，借用人工智能技术，在控制中心可实现对变电站控制和保护系统的在线诊断和事件分析，或借助变电站自动化功能，完成电网故障后的自动恢复等。

变电站综合自动化与一般自动化的区别关键在于自动化系统是否作为一个整体执行保护、监测和控制功能。变电站综合自动化系统应满足的基本要求如下。

(1) 全面代替常规的二次设备

综合自动化系统应集变电站的继电保护、测量、临视、运行控制和通信于一个分级分布

式的系统中。此系统由多个微机保护子系统、测量子系统、各种功能的控制子系统组成，应能替代常规的继电保护、仪表、中央信号、模拟屏、控制屏和运行控制装置，才能提高变电站的技术水平和可靠性。

(2) 微机保护的软、硬件设置既要与监控系统相对独立，又要相互协调

由于微机保护是综合自动化系统中很重要的关键环节，因此，其软、硬件配置要相对独立，即在系统运行中，继电保护的动作为仅与保护装置有关，不依赖于监控系统的其他环节，保证综合自动化系统中任何其他环节故障只影响局部功能的实现，不影响保护子系统的正常工作，但与监控系统要保持紧密通信联系。

(3) 微机保护装置应具有串行接口或现场总线接口

通过相应的接口，微机保护装置可以向计算机监控系统或 RTU 提供保护动作信息或保护定值等信息。

(4) 系统的功能和配置，应满足无人值班的总体要求

随着我国电力工业进入大电网、大机组的时代，无人值班变电站的实施已成为电网调度自动化深入发展的必然趋势，是电网调度管理的发展方向。传统的“四遥”装置，无论从可靠性、测量精度、传输速率和技术水平等方面，都不能满足现代化电网调度、管理的要求。变电站自动化系统的功能设计，要从电力系统的安全、稳定运行，提高经济效益等综合指标和提高电网基础自动化水平的综合要求出发，其软、硬件的配置必须考虑具备与上级调度通信的能力，必须具备 RTU 的全部功能，以便满足和促使变电站无人值班的实施。

(5) 要有可靠、先进的通信网络和合理的通信协议

数据共享是综合自动化系统发展的趋势，只有实现数据共享，才能简化自动化系统的结构、减少设备的重复，降低造价。必须充分利用数字通信的优势，实现可靠的数据共享。

(6) 具有高的可靠性和强的抗干扰能力

变电站安全运行是变电站设计的基本要求。为此，在考虑系统的总体结构时，对关键环节要有一定的冗余。综合自动化系统中的各个子系统要相对独立，一旦系统中某部分出现故障，应尽量缩小故障影响的范围并能尽快修复故障。各子系统应有独立的故障自诊断和自恢复功能，任一部分发生故障时，应通知告警主机发出告警指示，并能迅速将自诊断信息送往控制中心。

(7) 系统的标准化程度、可扩展性和适应性要好

随着我国经济建设的发展，每年有不少新建变电站要设计、建设和投产，它们需要有技术先进、功能齐全、性能价格比高的自动化系统供选用。此外，每年有大量各式各样的老站需要改造，这些老站由于其投资水平不同，在系统中的地位和原来采用的设备以及基础各不相同，因此，要求自动化设备应根据变电站不同的要求，组成不同规模 and 不同技术等级的系统。新产品应符合国家或部颁标准，使系统开放性能好，也便于升级。

(8) 变电站自动化系统的研究和开发工作，必须统一规划、统一指挥

变电站自动化系统是一项技术密集、涉及面广、综合性很强的基础自动化工程。在研究、开发和应用过程中，各专业要互相配合，避免各自为战，整个系统才能协调工作，对系统的信息才能集中管理和共享，避免不必要的重复和相互的干扰。实现变电站综合自动化的目标是提高变电站全面的技术水平和管理水平，提高安全、可靠、稳定运行水平，降低运行维护成本，提高经济效益，提高供电质量，促进配电系统自动化。

1.2 变电站综合自动化系统发展的主要因素及其功能

1.2.1 变电站综合自动化系统发展的主要因素

20 世纪 80 年代以来, 微电子技术、信息技术、网络通信技术的成熟与发展, 推进了变电站自动化系统的飞速发展, 促使变电站自动化技术发展的主要原因在于经济收益、技术能力、功能(性能)需求, 三者之间的关系如图 1-1 所示。

图 1-1 表达了这样一种概念: ①虚线表达了技术实现能力对于功能需求的满足是一个逐渐发展的过程, 对于变电站自动化功能需求的满足必须有技术实现能力的支撑; ②表示新的功能需求实现可以为应用带来经济价值, 或者说只有符合经济收益的功能需求才是有实现价值的; ③表示技术能力是经济收益的基础和保障。

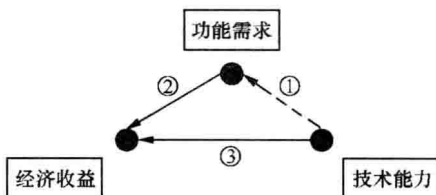


图 1-1 变电站自动化系统发展的因素之间的关系

(1) 经济收益

功能的合并使许多功能集成在保护装置内部, 减少了硬件投资和维护工作量, 同时也减少了网络的数据维护。

供应商越来越趋向于提供标准化的解决方案, 提供可配置平台技术, 减少系统扩展的未来投资费用。从用户的视角看, 意味着可接受对以往系统的兼容性; 同时, 需要考虑技术发展带来的负效应, 如保护的复杂性引起的误整定等。

变电站自动化系统建设至少有两个方面因素需要考虑。

① 系统维护。系统越大维护工作就越关键, 维护策略逐渐成了系统初始建设需要考虑的重要组成部分。

② 最大化系统的剩余生命周期。需要考虑系统升级改造方案, 对于各种方案, 系统的可扩展性成了解决问题的关键要素。

(2) 技术能力

20 世纪 80 年代, 变电站自动化技术的发展主要得益于两个方面。①智能电子设备(Intelligent Electronic Device, IED)的数字化应用, ②局域网通信技术的发展。根据摩尔定律(Moore's Law), 单晶硅芯片的运算处理能力, 每 18 个月就会翻一番, 而与此同时, 价格则减半。因此, 微电子技术的发展使得保护和控制单元具有了成本优化、集成度高的解决方案。在常规变电站自动化系统主/从通信模式的基础上出现了相关的数据通信标准, 同时对于 10Mbit/s 的共享式以太网出现了针对冲突机制的专用解决方案。

图 1-2 简要地描述了技术发展对于变电站自动化技术标准带来的影响, 每次技术突破将带来技术应用初期的有限调整, 然后又进入快速发展期。因此, 随着 IEC 61850 标准的发展, 伴随着其他成熟技术, 如信息安全、数据分析、非常规互感器技术等, 将形成变电站自动化应用领域新技术发展的跨越, 并在整个电力系统中形成梅特卡夫法则发展效应。

所谓梅特卡夫法则就是指网络经济的价值等于网络节点数的平方, 即网络产生和带来的效益将随着网络用户的增加而呈指数形式增长。常规变电站的数据流是按主/从模式实现变电站与电网调度之间的信息交互。由于带宽的限制和应用层传输数据的复杂性, 变电站与电网

调度之间所传输的信息量是有限的。IEC 61850 标准的应用将成为电网技术发展中梅特卡夫法则效应的催化剂。而 IEC 61850 标准带来了两个基本变化：采取对等通信方式和基于 XML 的变电站配置语言。

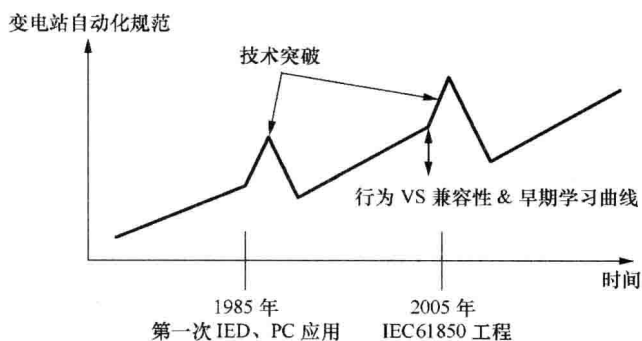


图 1-2 技术发展对于标准的影响

变电站配置语言（Substation Configuration Language, SCL）是基于 XML 的，它可实现不同应用之间的逻辑数据自动连接，有效管理大量数据的传送。这种特性可以延伸到用通用信息模型（Common Information Model, CIM）实现与电网调度之间的信息交互，同时，可以容易实现整定管理、基于状态监视的系统性数据分析等应用。

集成化应用是降低成本的内在驱动力，在变电站自动系统发展过程中出现了物理性集成，如保护测控一体化。未来将进一步推进物理性集成应用，如：保护装置内部实现数字化远方通信功能，消除传统的保护通道接口；具备认证技术的计量功能集成于测控单元；变压器状态监视具有保护或电压调节功能等。

母线电压互感器和分布式应用模式等未来可以容易地被两个数据流所取代：一个是变电站动态网络拓扑信息，另一个是出线和变压器的电压。另外，在变电站与电网调度之间通过 XML 实现逻辑集成，可以节省大量人工。

（3）功能需要

从价值链分析的角度看变电站自动化系统处于价值链的末端，对于电网的安全运行起着支撑性的作用。随着变电站自动化技术的发展，电网的安全运行将越来越依赖于控制系统的可靠性和安全性。

根据 Norwegian 调查报告，47%保护不正确动作是由人员责任引起的，因此，用户对于变电站自动化系统运行维护方便的应用需求与日俱增，这也是 IED 功能集成化、应用功能通用化的原因之一，并在装置层面和系统层面的技术规范上均有所体现。

综上所述，成本压力、技术发展、应用需求构成了变电站自动化系统技术发展的内在驱动力，IEC 61850 标准的应用将对变电站自动化系统技术的发展产生更大的影响。

1.2.2 变电站综合自动化的基本功能

变电站综合自动化的内容应包括变电站电气量的采集和电气设备的状态监视、控制和调节，以实现变电站正常运行的监视和操作，保证变电站的正常运行和安全。当发生事故时，由继电保护和故障录波等完成瞬态电气量的采集、监视和控制，并迅速切除故障，完成事故后的恢复操作。从长远的观点来看，还应包括高压电气设备本身的监视信息（如断路器、变

压器、避雷器等的绝缘和状态监视等)。

由于变电站有多种电压等级，在电网中所起的作用不同，变电站综合自动化在实现的目标上可分为 220kV 及以下中、低压变电站和 220kV 及以上的高压变电站两种情况来考虑。此外，变电站综合自动化的内容还应包括将变电站所采集的信息传送给调度中心，必要时送给调度科和检修中心等，以便为电气设备监视和制订检修计划提供原始数据。

综上所述，变电站综合自动化系统实现的内容应包括以下几方面。

① 随时在线监视电网运行参数，设备运行状况，自检、自诊断设备本身的异常运行，当发现变电站设备异常变化或装置内部异常时，立即自动报警并使相应的闭锁出口动作，以防止事故扩大。

② 电网出现事故时，快速采样、判断、决策，迅速隔离和消除事故，将故障限制在最小范围内。

③ 完成变电站运行参数在线计算、存储、统计、分析报表、远传和保证电能质量的自动和遥控调整。实现变电站综合自动化的目标是全面提高变电站的技术水平、管理水平和运行水平，降低运行维护成本，提高经济效益，提高供电质量，促进配电系统自动化。

实现变电站综合自动化是实现以上目标的一项重要技术措施。

变电站综合自动化是一门多专业性的综合技术，它以微型计算机为基础，实现了对变电站传统的继电保护、控制方式、测量手段、通信和管理模式的全面技术改造，实现了电网运行管理的一次变革。仅从变电站自动化系统的构成和所完成的功能来看，它是将传统变电站的监视控制、继电保护、自动控制和远动等装置所要完成的功能组合在一起，用一个以计算机硬件、模块化软件和数据通信网构成的完整系统来代替。变电站综合自动化系统的基本功能主要包含以下几个子系统。

① 监控子系统：主要包括数据采集、事件顺序记录 SOE、事故追忆、故障录波、控制及安全操作闭锁、运行监视与人机联系、安全监视报警、数据处理与记录、谐波分析与监视等功能。

② 微机保护子系统：负责全变电站的主要设备和输电线路的保护，主要包括高压输电线路的主保护和后备保护、主变压器的主保护和后备保护、无功补偿电容器组的保护、母线保护、配电线路保护，以及不完全接地系统的单相接地选线等。

③ 自动控制装置子系统：主要包括电压及无功功率综合控制、低频减负荷控制、备用电源自动投入控制、小电流接地选线控制等。

④ 远动及通信子系统：主要包括综合自动化系统内部通信以及综合自动化系统与上级调度的通信。

下面就对这些系统进行简单的介绍。

1. 监控子系统

(1) 实时数据采集

变电站需采集的模拟量有各段母线电压、线路电压、电流、有功功率、无功功率，主变压器电流、有功功率和无功功率，电容器的电流、无功功率，馈线的电流、电压、功率以及频率、相位、功率因数等。此外，模拟量还有主变压器油温、直流电源电压、站用变压器电压等。

变电站需采集的开关量有断路器的状态、隔离开关的状态、有载调压变压器分接头的位置、同期检测的状态、继电保护动作信号、运行告警信号等。这些信号都以开关量的形式通过光电隔离电路输入至计算机，但输入的方式有区别。对于断路器的状态，需采用中断输入

方式或快速扫描方式,以保证对断路器变位的采样分辨率能在5ms之内。对于隔离开关状态和分接头位置等开关信号,不必采用中断输入方式,可以用定期查询方式读入计算机进行判断。至于继电保护的動作信息输入计算机的方式有两种情况:常规的保护装置和早期的微机保护装置。由于不具备串行通信能力,故其保护动作信息往往取自信号继电器的触点,也可以开关量的形式读入计算机中。新型的微机继电保护装置,大多数具有串行通信功能,因此,其保护动作信号可通过串行口或局域网络通信方式输入计算机,这样可节省大量的信号连接电缆,也节省了数据采集系统的I/O接口量,从而简化了硬件电路。

(2) 事故顺序记录与事故追忆

事故顺序记录就是对变电站内的继电保护、自动装置、断路器等在事故时动作的先后顺序自动记录。记录事件发生的时间应精确到毫秒级。自动记录的报告可在显示器上显示和打印输出。顺序记录的报告对分析事故、评价继电保护和自动装置以及断路器的动作情况是非常有用的。事故追忆是指对变电站内的一些主要模拟量,如线路、主变压器各侧的电流、有功功率、主要母线电压等,在事故前后一段时间内做连续测量记录。通过这一记录可了解系统或某一回路在事故前后所处的工作状态,对于分析和处理事故起辅助作用。

(3) 故障录波及故障测距

110kV及以上的重要输电线路距离长、发生故障影响大,必须尽快查找出故障点,以便缩短修复时间,尽快恢复供电、减少损失。故障录波和故障测距是解决此问题的最好途径。变电站的故障录波和故障测距可采用两种方法实现:一种是由微机保护装置兼做故障记录和测距,再将记录和测距的结果送监控机存储及打印输出或直接送调度主站,这种方法可节约投资,减少硬件设备,但故障记录的量有限;另一种是采用专用的微机故障录波器,并且故障录波器应具有串行通信功能,可以与监控系统通信。

35kV和10kV的配电线路很少专门设置故障录波器,为了方便分析故障,可在相应部分设置简单故障记录功能以代替故障录波功能。故障记录是记录继电保护动作前后与故障有关的电流和母线电压。故障记录量的选择可以按以下原则考虑:如果微机保护子系统具有故障记录功能,则在该保护单元的保护启动同时,便启动故障记录,这样可以直接记录发生事故的线路或设备在事故前后的短路电流和相关的母线电压变化过程;若保护单元不具备故障记录功能,则可以采用保护启动监控数据采集系统,记录主变压器电流和高压母线电压。

(4) 控制及安全操作闭锁

操作人员可通过显示器屏幕对断路器、隔离开关进行分闸、合闸操作;对变压器分接头进行调节控制;对电容器组进行投、切控制,同时要能接受遥控操作命令,进行远方操作;上述所有的操作控制均能就地和远方控制、就地 and 远方切换相互闭锁,自动和手动相互闭锁。

操作管理权限按分层(级)原则管理且监控系统设有操作权限管理功能,使调度员、操作员、系统维护员和一般人员能够按权限分层(级)操作和控制。操作闭锁包括以下内容:操作系统出口具有断路器跳闸、合闸闭锁功能。根据实时信息,自动实现断路器、隔离开关操作闭锁功能,适应一次设备现场维护操作的“电脑五防操作及闭锁系统”。“五防”功能是指防止带负荷拉、合隔离开关,防止误入带电间隔,防止误分、合断路器,防止带电挂接地线,防止带地线合隔离开关。显示器屏幕操作闭锁功能是指只有输入正确的操作口令和监护口令后才有权进行操作控制。

(5) 运行安全监视、报警及人机联系

运行监视是指对变电站的运行工况和设备状态进行自动监视,即对变电站各种状态量变