

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG  
GAODENG JIAOYU  
SHIWU  
GUIHUA JIAOCAI

# 变电站综合自动化原理与系统

张惠刚 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育



“十五”

PUTONG  
GAODENG JIAOYU  
SHIWU  
GUIHUA JIAOCAI

规划教材

# 变电站综合自动化原理与系统

主 编 张惠刚  
编 写 阚建飞 王 伟  
王宝华  
主 审 潘贞存



中国通信出版社

<http://www.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十五”规划教材。

本书分为九章。其中，第一章变电站综合自动化概述，简要说明变电站综合自动化的基本概念、主要内容、基本功能和发展概况；第二章变电站综合自动化信息的测量和采集，介绍变电站综合自动化系统需测量的信息及其测量方法；第三章数据通信基础与计算机网络，重点介绍了数据通信基础以及现场总线和网络通信技术；第四章和第五章内容包括微机保护的原理与系统、微机线路和变压器保护，以及变电站微机故障录波；第六章变电站综合自动化系统的通信技术，较为全面地介绍了变电站内部以及对外的通信技术，重点介绍了当前使用的通信规约，对国际、国内最新与之相关的标准也作了适当的介绍；第七章变电站运行的自动控制与调节，简要介绍了变电站综合自动化系统相关的控制和调节；第八章变电站综合自动化系统的运行监视与控制操作，介绍了变电站综合自动化系统的人机联系、运行维护和系统调试；第九章以 NS2000 变电站综合自动化系统为例，比较全面地介绍了变电站综合自动化系统的组成部分、系统功能及其实现方案，使读者对变电站综合自动化有一个完整的、深入的认识。

本书主要作为普通高等院校电气工程及其自动化专业、自动化专业的本科教材，也可作为高职高专及函授教材和工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

变电站综合自动化原理与系统/张惠刚主编. —北京:  
中国电力出版社, 2004  
普通高等教育“十五”规划教材  
ISBN 7-5083-2858-2

I. 变… II. 张… III. 变电所-自动化技术-高等学校-教材 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 125963 号

中国电力出版社出版、发行

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2004 年 12 月第一版 2004 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 19.25 印张 446 千字

印数 8001—4000 册 定价 29.00 元

版权所有，翻印必究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

# 序

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专门人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些，都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其他已出版的各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有本学科（专业）的特色，而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同，同一门课程可以有多种教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审，推

荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要不断完善。因此，在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416237）

**中国电力教育协会**

# 前 言

变电站是电力网中的线路连接点，是用以变换电压、交换功率和汇集、分配电能的设施。变电站中有不同电压的配电装置、电力变压器、控制、保护、测量、信号和通信设施以及二次回路电源等。有些变电站中还由于存在无功平衡、系统稳定和限制过电压等因素，需要装设同步调相机、并联电容器、并联电抗器、静止补偿装置、串联补偿装置等。另外，随着用电负荷的不断增长和负荷密度的加大，变电站的电压等级和容量不断提高，对供电可靠性的要求也越来越高，为此需要提高变电站的自动化水平。

变电站综合自动化技术应用计算机技术、通信技术、检测技术和控制技术，将变电站中传统的继电保护系统、测量系统、控制系统、调节系统、信号系统和远动系统等多个独立的功能系统，经优化、组合为一套智能化的综合系统。这一技术的应用，提高了对变电站电气设备和电力系统进行监视、控制和保护的自动化、智能化水平，提高了保护、控制的可靠性和电力系统的安全运行水平，社会效益十分显著。变电站综合自动化技术的研究始于20世纪70年代末，由于微机技术的广泛应用，至90年代，变电站综合自动化技术得到了迅速的发展。目前该技术已经被电力系统广泛采纳，已投运的变电站正逐步进行综合自动化的改造，新建的变电站几乎普遍采用综合自动化系统。

由于变电站综合自动化技术涉及到计算机硬件、软件、通信、网络、信号处理、控制和继电保护等多个方面，而这些方面自身的发展也十分迅速，在高等学校的电气工程及其自动化、自动化专业需要一本介绍变电站综合自动化技术定位适中的教材，本书就是在这种背景下规划的一本教材。

本书由南京工程学院张惠刚、阚建飞、王伟、王宝华编写。张惠刚编写了第一、二、六、七、八、九章，阚建飞编写了第三章，王伟、王宝华共同完成了第四、五章的编写。张惠刚负责全书的统稿，并任本书主编。

本书由山东大学潘贞存教授主审，他对本书提出了很多宝贵的意见，在此表示深深的感谢。

国家电力公司南京电力自动化研究院国电南瑞公司有关技术人员为本书提供了大量资料，在此，向他们表示衷心的感谢。

由于新技术的不断发展，加之作者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，恳请专家和读者批评指正。

编 者

2004年9月

# 目 录

序

前言

<b>第一章 变电站综合自动化概述</b> .....	1
第一节 变电站自动化的基本概念 .....	1
第二节 变电站自动化的优越性 .....	3
第三节 变电站自动化系统的主要内容和基本功能 .....	5
第四节 变电站自动化系统的设计原则与要求 .....	14
第五节 变电站自动化系统的硬件结构 .....	15
第六节 变电站自动化的发展简介 .....	23
<b>第二章 变电站综合自动化信息的测量和采集</b> .....	27
第一节 变电站综合自动化信息 .....	27
第二节 变电站模拟量信息的变送器测量及采集 .....	28
第三节 交流采样技术及其应用 .....	40
第四节 变压器油温的测量和采集 .....	53
第五节 变电站状态量信息的采集 .....	55
第六节 变电站实时时钟的建立和应用 .....	60
<b>第三章 数据通信基础与计算机网络</b> .....	64
第一节 数据通信基础 .....	64
第二节 数据交换技术 .....	73
第三节 计算机网络基础知识 .....	75
第四节 网络体系结构及 OSI 基本参考模型 .....	79
第五节 计算机局域网 .....	102
第六节 现场总线技术 .....	111
<b>第四章 变电站微机保护</b> .....	125
第一节 微机保护硬件系统 .....	125
第二节 微机保护软件原理 .....	135
第三节 微机线路保护 .....	150
第四节 微机变压器保护 .....	155
<b>第五章 变电站微机故障录波</b> .....	162
第一节 微机故障录波原理 .....	162
第二节 微机故障录波器实例 .....	168
<b>第六章 变电站综合自动化系统的通信技术</b> .....	175
第一节 电力系统远动通信概述 .....	175
第二节 远动信号的调制与解调 .....	178

第三节	差错控制原理 .....	186
第四节	循环式远动通信规约及其应用 .....	193
第五节	问答式远动规约简介 .....	200
第六节	远动规约 DL/T 634.5104—2002 .....	211
第七节	变电站保护装置与控制系统通信规约 DL/T 667—1999 .....	217
第八节	变电站通信网络和系统系列标准 DL/T 860 简介 .....	227
<b>第七章</b>	<b>变电站运行的自动控制与调节 .....</b>	<b>232</b>
第一节	概述 .....	232
第二节	变电站低频减负荷控制 .....	233
第三节	变电站电压和无功功率控制 .....	236
第四节	变电站主设备的遥控 .....	243
<b>第八章</b>	<b>变电站综合自动化系统的运行、维护及调试 .....</b>	<b>248</b>
第一节	变电站综合自动化系统的人机联系与操作 .....	248
第二节	变电站综合自动化系统运行和维护 .....	252
第三节	变电站综合自动化系统的调试 .....	254
<b>第九章</b>	<b>变电站综合自动化系统实例 .....</b>	<b>258</b>
第一节	NS2000 变电站综合自动化系统简介 .....	258
第二节	NS2000 变电站综合自动化计算机监控系统 .....	264
第三节	NSC200 系列通信控制器简介 .....	280
第四节	NSD200 系列通用测控装置简介 .....	285
第五节	NSR500 系列微机保护装置简介 .....	289
第六节	NSR611 馈线保护测控装置 .....	294
<b>参考文献</b>	.....	298



# 第一章 变电站综合自动化概述

## 第一节 变电站综合自动化的基本概念

### 一、变电站及其自动化

电力系统是指由电力生产、传输、分配、消耗的发电机、变压器、电力线、并联电容器、电抗器和各种用电设备组成的有机整体。发电机生产出的电能，通过变压器、输电线路和配电线路传送、分配到各个电力用户，为生产和消费服务。由于电能从生产到消耗应时刻保持平衡，电力系统的发电量必须跟随电力负荷的变化而变化。为保障电力系统的安全运行，电力系统还装备继电保护、自动装置、远程通信和调度管理等相应的系统和设备。

变电站是介于发电厂和电力用户之间的中间环节。变电站由主变压器、母线、断路器、隔离开关、避雷器、并联电容器、互感器等设备或元件集合而成。它具有汇集电源、变换电压等级、分配电能等功能。电力系统内的继电保护、自动装置、调度控制的远动设备等也安装在变电站内。因此，变电站是电力系统的重要组成部分。

根据变电站在电力系统中的地位和作用，可将其划分为系统枢纽变电站、地区重要变电站和一般变电站。系统枢纽变电站汇集多个大电源和大容量联络线，担负着巨大的电能分配任务，在系统中处于枢纽地位。枢纽变电站的电压等级一般在 220kV 以上。地区重要变电站位于地区电网的枢纽点上，高压侧以交换或接受功率为主，中压侧对地区供电，低压侧则直接向邻近负荷供电。一般变电站位于电网的分支或末端，主要完成降压并向附近负荷供电的任务，其电压等级较低。

发电厂发出的电能需要传输到电力用户。为了提高传输效率，需要将电压提高，而用户实际只能接受低压供电。根据电能输送的需要，还可将变电站划分为升压变电站和降压变电站。升压变电站一般设置在发电厂内，其主要功能是通过升压变压器将发电机发出的电源电压升高，以便把大量的电能送到远离发电厂的负荷中心。降压变电站则设置在负荷中心，通过降压变压器将输电线路上的高压电能转变为低压电能，并把电能分配给高压用户、次一级电压的变电站或配电站。

上述可知，在电力系统的正常运行中，变电站是一个重要环节，它完成电能的传输、电压的变换和电能分配等多方面的功能，在电力系统中起着十分重要的作用。

电力系统是一个连续运行的系统，电能的生产、传输、分配和消耗都是同时完成的。因此，变电站的运行也是连续的。为了掌握变电运行状态，需要对有关电气量进行连续测量，供运行监视、记录；为了保障变压器、输电线路的安全运行，需要实现过流、过压等故障的安全保护；为了向电网调度提供系统运行状态，需要将表征电网运行的有关信息向上级调度传送；为了向用户提供合格的电能，需要进行有关的控制调节。所有这些，绝大部分不可能由人工来完成，需要采用自动化技术。

变电站作为电力系统的一个重要环节，其运行具有电力系统中电能快速变化和电气过程

快速传播的特点。因此,当系统运行中出现异常情况时,变电站必须做出快速的反应,及时处理,这是人工手动操作力所不能及的,必须采用自动化技术。

## 二、变电站综合自动化及其系统

众所周知,一个变电站主要包括一次系统和二次系统两大部分。一次系统完成电能的传输、分配和电压变换工作,二次系统完成对一次设备及其流经电能的测量、监视和故障告警、控制、保护以及开关闭锁等工作。此外,实现对变电站运行工况的测量、监视、控制、信息显示、信息远传的变电站(发电厂)远动系统已显示出越来越重要的作用。通常,也将厂站远动系统纳入二次系统的范畴。

随着电力系统规模的迅速扩大,容量大、参数高的电力设备被广泛使用,为保证这些设备安全、可靠地运行,必须采用自动化技术,这是应考虑的一个方面。为了提高系统运行的安全性和可靠性,向用户提供质量指标更高的电能,变电站自动化技术也必须同步提高,这是必须考虑的另一个方面。

常规变电站的二次系统主要包括四个部分,即继电保护、故障录波、当地监控以及远动部分。这四个部分不仅完成的功能各不相同,其设备(装置)所采用的硬件和技术也完全不同。长期以来,围绕着变电站二次系统,存在着不同的专业和相应的技术管理部门。本质上的同一个系统在技术和管理上的条块分割,已越来越不适应变电技术发展的要求。其主要缺点是:第一,继电保护、故障录波、当地监控和远动装置的硬件设备,基本上按各自的功能配置,彼此之间相关性小,设备之间互不兼容。第二,二次系统的硬件设备型号多、类别杂,很难达到标准化。第三,大量电线电缆及端子排的使用,既增加了投资,又得花费大量人力从事众多装置间联系的设计、配线、安装、调试、修改或扩充。有资料表明,对于一个高压变电站,每一个站间隔大约有248条出线;对于一个中压变电站的间隔,则大约为20~40条出线。第四,常规二次系统是一个被动的系统,不能正常地指示其自身内部故障,因而必须定期对设备功能加以测试和校验。这不仅能加重维护工作量,更重要的是不能及时了解系统的工作状态,有时甚至会影响到一次系统的监视和控制。

随着电子技术、计算机技术的迅猛发展,微机在电力系统自动化中得到了广泛的应用,先后出现了微机型继电保护装置、微机型故障录波器、微机监控和微机远动装置。这些微机装置尽管功能不一样,但其硬件配置却大体相同,主要由微机系统、状态量、模拟量的输入和输出电路等组成。由于这些设备装置都是从变电站主设备和二次回路中采集信号,并对这些信号进行检测和处理,这使得设备重复、增加了投资、并使接线复杂化,影响了系统的可靠性。

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,实现对全变电站的主要设备和输、配电线路的自动监视、测量、自动控制和微机保护,以及与调度通信等综合性的自动化功能。

变电站综合自动化系统是利用多台微型计算机和大规模集成电路组成的自动化系统,该系统代替常规的测量和监视仪表,替代了常规控制屏、中央信号系统和远动屏。用微机保护代替常规的继电保护屏,还克服了常规的继电保护不能与外界通信的缺点。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。从当前实现的功能和技术水平上衡量,变电站综合自动化系统具有功能综合化、结构微机化、操作监视屏幕化、运行管理智能化等特点。

尽管变电站综合自动化是一种全新的变电站自动化概念,但很快得到了各方面专业人员的认可。目前,变电站综合自动化技术正势如破竹,发展异常迅猛。

## 第二节 变电站综合自动化的优越性

### 一、传统的变电站存在的问题

上述可知,变电站是电力系统中不可缺少的重要环节,它担负着电能传递和电能重新分配的繁重任务,对电网的安全和经济运行起着举足轻重的作用。尤其是大容量发电机组的不断投运和超高压远距离输电和大电网的出现,使电力系统的安全控制更加复杂,如果仍依靠原来的人工抄表、记录、人工操作,依靠原来变电站的自动化设备,而不进行技术改造的话,必然无法满足安全、稳定运行的需要,更谈不上适应现代电力系统管理模式的要求。

传统的变电站存在如下主要缺点。

(1) 安全性、可靠性不能满足现代电力系统高可靠性的要求。传统的变电站大多数采用常规的设备,尤其是二次设备中的继电保护和自动装置、远动装置等(有不少变电站没有自动装置和远动装置)采用电磁型或晶体管式,结构复杂,可靠性不高,本身又没有故障自诊断的能力,只能靠一年一度的整定值校验发现问题、进行调整与检修,或必须等到保护装置发生拒动或误动后才能发现问题。

(2) 供电质量缺乏科学的保证。随着生产技术的不断提高,各行各业对供电质量的要求越来越高。电能质量的主要指标一是频率,二是电压,三是谐波。频率主要由发电厂调节,而合格的电压,不能单靠发电厂调节,各变电站、特别是枢纽变电站也应该通过调节分接头位置和控制无功补偿设备进行调整,使电网电压运行在合格范围内。但传统的变电站,大多数不具备调压手段。至于谐波污染造成的危害,还没有引起足够的重视,缺乏有力的控制措施,且尚无科学的质量考核办法,不能满足目前发展电力市场的需求。

(3) 占地面积大,增加了征地投资。传统的变电站二次设备多数采用电磁式或晶体管式,体积大、笨重,因此,主控制室、继电保护室占地面积大。如果变电站实现综合自动化,则会大大减少占地面积,这对国家眼前和长远的利益都是很有意义的。

(4) 不适应电力系统快速计算和实时控制的要求。现代电力系统必须及时掌握变电站运行工况,采取一系列的自动控制和调节手段,才能保证电力系统优质、安全、经济运行。但传统的变电站不能向调度中心及时提供运行参数和一次系统的实际运行工况,变电站本身又缺乏自动控制和调控手段,因此没法进行实时控制,不利于电力系统的安全、稳定运行。

(5) 维护工作量大,设备可靠性差,不利于提高运行管理水平和自动化水平。常规的保护装置和自动装置多为电磁型或晶体管型,例如晶体管型保护装置,其工作点易受环境温度

影响,因此其整定值必须定期停电校验,每年校验保护定值的工作量相当大,也无法实现远方修改保护或自动装置的定值。

## 二、变电站实现综合自动化的优越性

由于传统的变电站存在以上缺点,无法满足电力系统安全、稳定和经济、优化运行的要求。解决这些问题的出路是提高变电站自动化水平。对于传统的变电站,应逐步进行技术改造;对新建的变电站,要尽量采用先进的技术,增加“四遥”功能或采用变电站综合自动化系统,提高变电站的自动化水平,逐步实现无人值班和调度自动化管理。变电站实现综合自动化的优越性主要有以下几方面。

(1) 提高变电站的安全、可靠运行水平。变电站综合自动化系统中的各子系统,绝大多数都是由微机组成的,他们多数具有故障诊断功能。除了微机保护能迅速发现被保护对象的故障并切除故障外,有的自控装置兼有监视其控制对象工作是否正常的功能,一旦发现其工作不正常,能及时发出告警信息。更为重要的是,微机保护装置和微机型自动装置具有故障自诊断功能,这是综合自动化系统比其常规的自动装置或“四遥”装置突出的特点,可使得采用综合自动化系统的变电站一、二次设备的可靠性大为提高。

(2) 提高供电质量,提高电压合格率。由于在变电站综合自动化系统中包括有电压、无功自动控制功能,故对于具有载调压变压器和无功补偿电容器的变电站,可以大大提高电压合格率,保证电力系统主要设备和各种负荷电器设备的安全,使无功潮流合理,降低网损,节约电能。

(3) 简化了变电站二次部分的硬件配置。在变电站综合自动化系统中,对某个电气量只需采集一次便可供全系统共享。例如,微机保护、当地监控、远动不必各自独立设置采集硬件,而可以共享信息。当微机多功能保护装置兼有故障录波功能时,就可省去专用故障录波器。常规的控制屏、中央信号屏、站内的主接线屏等的作用,或者利用当地计算机监控操作、CRT 屏幕显示来代替,或者由远动监控操作来代替,避免了设备重复。

(4) 提高电力系统的运行、管理水平。变电站实现自动化后,监视、测量、记录、抄表等工作都由计算机自动完成,既提高了测量的精度,又避免了人为的主观干预。运行人员只要通过观看 CRT 屏幕,对变电站主要设备和各输、配电线路的运行工况和运行参数便一目了然。综合自动化系统具有与上级调度通信功能,可将检测到的数据及时送往调度中心,使调度员能及时掌握各变电站的运行情况,也能对它进行必要的调节与控制,且各种操作都有事件顺序记录可供查阅,大大提高运行管理水平。

(5) 缩小变电站占地面积,减少总投资。一方面,由于变电站综合自动化系统采用微计算机和通信技术,可以实现资源共享和信息共享,同时由于硬件电路多数采用大规模集成电路,结构紧凑、体积小、功能强,与常规的二次设备相比,可以大大缩小变电站的占地面积。另一方面,随着微处理器和大规模集成电路的不断降价,微计算机性能/价格比逐步上升,使综合自动化系统的造价也逐渐降低,而性能和功能则逐步提高,因而可以减少变电站的总投资。

(6) 减少维护工作量,减少值班员劳动量。由于综合自动化系统中,各子系统有故障自诊断功能,系统内部有故障时能自检出故障部位,缩短了维修时间。微机保护和自动装置的

定值又可在线读出检查,可节约定期核对定值的时间。而监控系统的抄表、记录自动化,值班员可不必定时抄表、记录。如果配置了与上级调度的通信功能,能实现遥测、遥信、遥控、遥调,则完全可实现无人值班,达到减人增效的目的。

(7) 有利于提高变电站无人值班管理水平。对变电站来说,无人值班和有人值班是两种不同的管理模式,而变电站综合自动化则是指变电站的技术水平问题,无人值班与变电站综合自动化是不同范畴的问题。但是,变电站综合自动化可更好地适应无人值班管理的要求。综合自动化系统可以采集比常规远动装置更多的变电站运行信息和设备状态信息,这些信息可以迅速发往上级调度中心。尤其是可将各微机保护子系统和各自动装置的定值送往调度中心,上级调度也可对其进行修改,而且综合自动化系统还能将二次设备的运行状态和故障自诊断的信息向调度主站报告,这些都是常规的变电所没有办法达到的。因此,采用综合自动化系统不仅可以全面提高无人值班变电站的技术水平,也可提高其可靠性。

### 第三节 变电站综合自动化系统的主要内容和基本功能

#### 一、变电站综合自动化系统的主要内容

一般来说,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(如断路器)的状态监视、控制和调节。通过变电站综合自动化技术,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。

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以下两种情况:

(1) 对 220kV 及以下中、低压变电站,采用自动化系统,利用现代计算机和通信技术,对变电站的二次设备进行全面的技术改造,取消常规的保护、监视、测量、控制屏,实现综合自动化,以全面提高变电站的技术水平和运行管理水平,并逐步实行无人值班或减人增效。

(2) 对 220kV 以上的变电站,主要是采用计算机监控系统提高运行管理水平,同时采用新的保护技术和控制方式,促进各专业在技术上的协调,达到提高自动化水平和运行、管理水平的目的。

此外,变电站综合自动化的内容还应包括监视高压电器设备本身的运行(如断路器、变压器和避雷器等)的绝缘和状态监视等,并将变电站所采集的信息传送给调度中心,必要时送给运行方式科和检修中心等,以便为电气设备监视和制定检修计划提供原始数据。

变电站实现综合自动化的基本目标是提高变电站的技术水平和管理水平,提高电网和设备的安全、可靠、稳定运行水平,降低运行维护成本,提高供电质量,并促进配电系统自动化。

#### 二、变电站综合自动化系统的基本功能

变电站实现综合自动化的根本目的是提高变电运行的安全性和可靠性,提高输送负荷的速度,提高供电质量,同时还要减轻运行值班人员的劳动强度和工作环境。

变电站综合自动化是变电站自动化技术发展到现在一定阶段的产物。因此,变电站综合自动化系统的功能首先应包括传统的测量、保护、录波、监控、远动等功能。此外,还应包括常规自动化系统所没有的功能,例如使保护装置能与外界通信等。更重要的是综合自动化应该提高自动化水平,改进自动化系统的性能。例如,用微机测量系统取代常规的操作屏、模拟屏、手动同期及手控无功补偿等装置,用计算机及显示器取代常规的中央信号系统、光字牌、防误闭锁设备和远动装置等。

电力的传输、分配是一个连续的过程。变电站的常规运行与控制已具有一定的自动化水平,变电站实现综合自动化实际上就是要采用先进的自动化技术提高自动化水平,自动或部分自动地完成变电运行人员的工作。因此,变电站实现综合自动化将涉及变电运行、监视控制等方面的工作。

变电站综合自动化能实现的功能是十分复杂的。在变电站综合自动化系统的研究和开发过程中,对变电站综合自动化系统应包括哪些功能和要求,曾经有不同的看法,经过几年的实践,结合发展的趋势,变电站综合自动化应实现的基本功能现已比较明确,可归纳如下。

#### (一) 监视和控制功能

随着电子技术、通信技术和计算机技术的迅速发展,变电站综合自动化广泛采用这些新技术,使变电站的监视和控制发生了根本的变化,传统的监视和控制方式已被现代化的监视和控制技术所取代。变电站监视和控制的功能可分为以下几个方面。

##### 1. 数据采集

变电站综合自动化系统采集的数据主要包括模拟量、状态量和脉冲量等。

(1) 模拟量的采集。变电站综合自动化系统需采集的模拟量主要是:变电站各段母线电压,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,馈出线的电流、电压、功率以及频率、相位、功率因数等。此外,模拟量还包括主变压器油温、直流电源电压、站用变压器电压等。

对模拟量的采集,有直流采样和交流采样两种方式。直流采样是指将交流电压、电流等信号经变送器转换为适合于A/D转换器输入电平的直流信号;交流采样则是指输入给A/D转换器的是与变电站的电压、电流成比例关系的交流电压信号。由于交流采样方式的测量精度高,免调校,已逐渐被广泛采用。

(2) 状态量的采集。综合自动化系统采集的状态量有:变电站断路器位置状态、隔离开关位置状态、继电保护动作状态、同期检测状态、有载调压变压器分接头的位置状态、变电站一次设备运行告警信号、网门及接地信号等。

这些状态信号大部分采用光电隔离方式输入或周期性扫描采样获得,其中有些信号可通过“电脑防误闭锁系统”的串行口通信而获得。对于断路器的状态采集,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。对于隔离开关位置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状态往往取自信号继电器的辅助触点,也以开关量的形式读入计算机。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输

入、输出接口量，从而简化了硬件电路。

(3) 脉冲量的采集。脉冲量指电能表输出的一种反映电能流量的脉冲信号，这种信号的采集在硬件接口上与状态量的采集相同。

众所周知，对电能量的采集，传统的方法是采用感应式的电能表，由电能表盘转动的圈数来反映电能量的大小。这些机械式的电能表无法和计算机直接接口。为了使计算机能够对电能量进行计量，开发了电能脉冲计量法。这种方法的实质是传统的感应式的电能表与电子技术相结合的产物，即对原来感应式的电能表加以改造，使电能表转盘每转一圈便输出一个或两个脉冲，用输出的脉冲数代替转盘转动的圈数，这就是脉冲电能表。计算机可以对这个输出脉冲进行计数，将脉冲数乘以标度系数（与电能表常数—— $r/kWh$ 、电压互感器 TV 和电流互感器 TA 的变比有关），便得到电能量。

改进的脉冲电能表就是机电一体化电能计量仪表。它的核心仍然是感应式的电能表和现代电子技术相结合构成的，但它克服了脉冲电能表只输出脉冲，传输过程抗干扰能力差的缺点，这种仪表就地统计处理脉冲为电能量并存储起来，将电能量以数字形式传输给监控机或专用电能计量机。

对电能量的采集还可采用软件计算方法。软件计算方法并非不需要任何硬件设备，其实质是数据采集系统利用交流采样得到的电流、电压值，通过软件计算出有功电能和无功电能。目前软件计算电能也有两种途径：①在监控系统或数据采集系统中计算；②用微机电能计量仪表计算。

微机电能计量仪表是电能量的采集的又一种方法。它彻底打破了传统感应式仪表的结构和原理，全部由单片机和集成电路构成，通过采样交流电压和电流量，由软件计算出有功电能和无功电能。因这种装置是专门为计量电能量而设计的，计量的准确度比较高，它还能保存电能值，可方便地实现分时统计。它不仅具有串行通信功能，而且能同时输出脉冲量。因此，微机电能计量仪表从功能、准确度和性能价格比上都大大优于脉冲电能表，是发展的方向。

## 2. 事件顺序记录 SOE

事件顺序记录 SOE 包括断路器跳合闸记录、保护动作顺序记录。微机保护或监控系统必须有足够的存储空间，能存放足够数量或足够长时段的事件顺序记录信息，确保当后台监控系统或远方集中控制主站通信中断时，不丢失事件信息。事件顺序记录应记录事件发生的时间（精确至毫秒级）。

## 3. 故障记录、故障录波和故障测距

(1) 故障录波与故障测距。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。设置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，一是由微机保护装置兼作故障记录和故障测距，将记录和测距的结果送监控机存储、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；另一种方法是采用专用的微机故障录波器，这种故障录波器具有串行通信功能，可以与监控系统通信。

(2) 故障记录。35kV、10kV 和 6kV 的配电线路很少专门设置故障录波器，为了分析故

障的方便,可设置简单故障记录功能。

故障记录就是记录继电保护动作前后与故障有关的电流量和母线电压。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,则该保护单元在保护启动同时,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的变化过程;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机数据采集系统,记录主变压器电流和高压母线电压。记录时间一般可考虑保护启动前2个周波(即发现故障前两个周波)和保护启动后10个周波,以及保护动作和重合闸等全过程,在保护装置中最好能保存连续3次的故障记录。

对于大量中、低压变电站,没有配备专门的故障录波装置,而10kV出线数量大,故障率高,在监控系统中设置了故障记录功能,对分析和掌握情况、判断保护动作是否正确,很有益处。

#### 4. 操作控制功能

变电站运行人员可通过人机接口(键盘、鼠标和显示器等)对断路器、隔离开关的开关进行操作,可以对变压器分接头进行调节控制,可对电容器组进行投切。为防止计算机系统故障时无法操作被控设备,在设计上应保留人工直接跳合闸手段。操作闭锁应包括以下内容:

- (1) 操作出口具有跳、合闭锁功能。
- (2) 操作出口具有并发性操作闭锁功能。
- (3) 根据实时信息,自动实现断路器、隔离开关操作闭锁功能。
- (4) 适应一次设备现场维修操作的电脑“五防”操作及闭锁系统。五防功能是:①防止带负荷拉、合隔离开关;②防止误入带电间隔;③防止误分、合断路器;④防止带电挂接接地线;⑤防止带地线合隔离开关。
- (5) 盘操作闭锁功能。只有输入正确的操作口令和监护口令才有权进行操作控制。
- (6) 无论当地操作还是远方操作,都应有防误操作的闭锁措施,即只有收到返校信号后,才执行下一项;必须有对象校核、操作性质校核和命令执行三步,以保证操作的正确性。

#### 5. 安全监视功能

在监控系统运行过程中,对采集的电流、电压、主变压器温度、频率等量,要不断进行越限监视。如发现越限,立刻发出告警信号,同时记录和显示越限时间和越限值。另外,还要监视保护装置是否失电,自控装置工作是否正常等。

#### 6. 人机联系功能

当变电站有人值班时,人机联系功能在当地监控系统的后台机(或称主机)上实现;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实现。无论采用哪种方式,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。人机联系的主要内容是:

- (1) 显示画面与数据。其中包括:时间、日期;单线图的状态;潮流信息;报警画面与提示信息;事件顺序记录;事故记录;趋势记录;装置工况状态;保护整定值;控制系统的配置(包括退出运行的装置以及信号流程图表);值班记录;控制系统的设定值等。



(2) 输入数据。运行人员代码及密码；运行人员密码更改；保护定值的修改值；控制范围及设定的变化；报警界限；告警设置与退出；手动/自动设置；趋势控制等。

(3) 人工控制操作。断路器及隔离开关操作；开关设备操作排序；变压器分接头位置控制；控制闭锁与允许；保护装置的投入或退出；设备运行/检修的设置；当地/远方控制的选择；信号复归等。

(4) 诊断与维护。故障数据记录显示；统计误差显示；诊断检测功能的启动。

对于无人值班变电站，应保留一定的人机联系功能，以满足变电站现场检修或巡视的需求。例如能通过液晶或小屏幕 CRT，显示站内各种数据和状态量；操作出口回路具有人工当地紧急控制设施；变压器分接头应备有当地人工调节手段等。

#### 7. 打印功能

对于有人值班的变电站，监控系统可以配备打印机，完成以下打印记录功能。

- (1) 定时打印报表和运行日志。
- (2) 开关操作记录打印。
- (3) 事件顺序记录打印。
- (4) 越限打印。
- (5) 召唤打印。
- (6) 抄屏打印。
- (7) 事故追忆打印。

对于无人值班变电站，可不设当地打印功能，各变电站的运行报表集中在控制中心打印输出。

#### 8. 数据处理与记录功能

监控系统除了完成上述功能外，数据处理和记录也是很重要的环节。历史数据的形成和存储是数据处理的主要内容。它包括上级调度中心、变电管理和继电保护要求的数据。这些数据主要包括：

- (1) 断路器动作次数。
- (2) 断路器切除故障时故障电流和跳闸操作次数的累计数。
- (3) 输电线路的有功功率、无功功率，变压器的有功功率、无功功率，母线电压定时记录的最大值、最小值及其时间。
- (4) 独立负荷有功功率、无功功率每天的最大值和最小值，并标以时间。
- (5) 指定模拟点上的趋势、平均值、积分值和其他计算值。
- (6) 控制操作及修改整定值的记录。

根据需要，该功能可在变电站当地实现（有人值班方式），也可在远方操作中心或调度中心实现（无人值班方式）。

#### 9. 谐波分析与监视

谐波是电能质量的重要指标之一，必须保证电力系统的谐波在国标规定的范围内。随着非线性器件和设备的广泛应用，电气化铁路的发展和家用电器的不断增加，电力系统的谐波含量显著增加。目前，谐波“污染”已成为电力系统的公害之一。因此，在变电站综合自动