

(第二版)

# 变电站 综合自动化原理 及应用

丁书文 编著



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

要 容 内

# 变电站 综合自动化原理 及应用

(第二版)

丁书文 编著

本书是在原第一版的基础上，根据近年来变电站综合自动化技术的发展，进行了较大的修改和重新编排。与第一版相比，本书在原理、新技术、新装置、新产品等方面进行了删减，添加了一些相对陈旧的内容，对于某些相对陈旧的内容进行了删减，增加了变电站自动化新技术介绍和变电站综合自动化典型应用分析，以及常见故障的诊断与处理，数字化变电站相关技术，本书力求做到使读者既能知其然，亦能知其所以然。

在本书的再版编写过程中，参考了本领域许多著作，整理和引用了部分文献和技术资料，已列于书后参考文献中，在此对资料和文献的编作者表示谢意。

由于本书所涉内容广泛，加之作者的理论水平有限，实践经验不够，理解不深，书中错误和缺点在所难免，望读者批评指正，并欢迎使用电子邮件 [dingshw@sohu.com](mailto:dingshw@sohu.com) 通信联系。

告 告 告

本书封面贴有防伪标签，封底有防伪标签，如有破损，即属盗版，请读者注意。



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

2010年6月于郑州

## 内 容 提 要

本书的再版,是在我国开始全面建设坚强智能电网的背景下,为适应电力系统变配电技术全面改造和提升的需要而编写的。书中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。

全书共分十章,主要包括变电站综合自动化系统技术基础;变电站综合自动化系统间隔层装置;主变压器的保护与监控;输电线路的保护与监控;变电站综合自动化系统的自动控制装置;变电站综合自动化系统的数据通信;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调试、维护、运行;变电站综合自动化系统常见故障的诊断与处理;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应用有一个完整的、深入的认识,同时对数字化变电站技术会有一个深刻的认识。

本书在阐述变电站综合自动化系统原理和技术的同时,密切结合实际,内容系统、实用性强、通俗易懂。可供从事变电站综合自动化系统设计、开发、运行、维护工作的电力工程技术人员和大专院校有关师生参考使用,也可用作变电站综合自动化系统技术人员的技术培训教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

变电站综合自动化原理及应用/丁书文编著. —2版.  
北京:中国电力出版社,2010.6

ISBN 978-7-5123-0394-2

I. ①变… II. ①丁… III. ①变电所-自动化技术  
IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 079316 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)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2003年3月第一版

2010年7月第二版 2010年7月北京第七次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 19.75印张 472千字

印数 15001—18000册 定价 45.00元

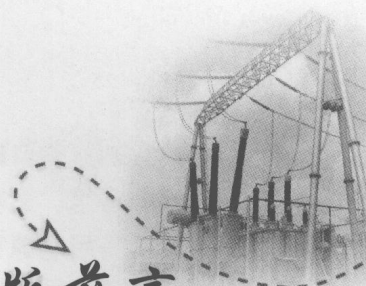
## 敬告读者

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

no.mao.qqee.www





## 第二版前言

本书自第一版出版以来,受到了许多专家和读者的热烈欢迎,在此谨表深切的谢意。

我国电力系统飞速发展,自动化水平不断提高,特别是随着智能电网建设的全面展开,电力系统自动化水平不断提高,自动化设备更新换代进一步加快,尤其是变电站,是现代电网的重要组成部分,其技术水平、安全可靠性及其运行维护水平与电网的安全稳定与经济运行密切相关,变电站技术也在飞速发展,数字化变电站技术,甚至智能变电站技术逐渐应用于实际。本书第二版正是顺应这种发展做了仔细修改。

本书是在原第一版的基础上,充分吸取大家的意见和建议,进行了较大的修改和重新编排。与第一版内容相比较,本书的特点有:展现了近几年变电站综合自动化系统的新原理、新技术;实例分析了近几年的变电站综合自动化技术的新装置、新产品;对于一些相对陈旧或在工程实际中已较少采用的内容进行了删减,添加了变电站自动化新技术介绍和变电站综合自动化典型应用分析,以及常见故障的诊断与处理,数字化变电站相关技术;重视理论与工程实践密切结合以及新技术的应用和发展,在着重实际应用与工程案例的表述与分析的前提下,引入必要的原理、方法、算法,力求做到使读者既能知其然,亦能知其所以然。

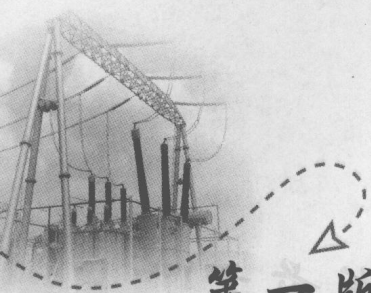
在本书的再版编写过程中,编者参考了本领域许多著作,整理和引用了部分文献和技术资料,已列于书后参考文献中,在此对资料和文献的编作者表示谢意。

由于本书所涉及内容大多数为新原理、新技术,限于作者的理论水平有限、实践经验不够、理解不深等原因,书中错误和缺点在所难免,望读者批评指正。并欢迎使用电子邮件 [dingshw@sohu.com](mailto:dingshw@sohu.com) 通信联系。

作者

2010年6月于郑州





## 第一版前言

目前,中国电力组建(改组)了11家电力公司,实现了厂网分开,引入了竞争机制。它标志着中国电力在建立市场经济机制中,进入了一个新的发展时期。同时,中国城市电力网和农村电力网的建设和改造工作正在深入进行。新的电力体制,逐步要实现“竞价上网”,要按市场规律进行区域电网之间的电力交易和电力调度,这对电网的供电质量、供电可靠性和安全性提出了更高的要求。而变电站在电力网中的地位十分重要,变电站实现综合自动化不仅为变电站实现无人值班和配电网实现自动化奠定了基础,而且也为供电部门提供更加安全、经济、可靠和高质量的电能创造了条件。因此,近年来,变电站综合自动化系统以它独特的优势在电力系统中被广泛地接纳和应用。

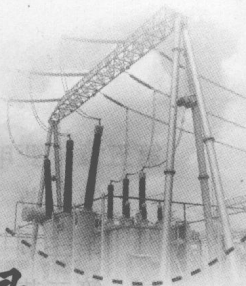
变电站实现综合自动化是传统变电站二次系统的重大变革,其装置形式、功能配置以及操作方法都发生了根本变化,因此,对于从事与变电站综合自动化系统相关的电力工作者就有必要了解变电站综合自动化系统的技术和原理,熟悉它的功能、特性,进而熟练操作应用它。基于上述原因,作者在总结多年从事电力系统自动化的教学和科研的基础上,根据教学和科研的经验,并参考了大量文献写成此书。本书结合变电站综合自动化的实践,贯穿理论联系实际的原则,并力求反应变电站综合自动化系统新技术、新发展,具有较强的适应性和可读性。希望能为我国变电站综合自动化的发展和应用尽一点微薄的力量。

本书第二、三章由黄训诚编写;第七、九、十章由胡起宙编写;第一、四、五、六、八章由丁书文编写,并由丁书文同志进行全书的修改和定稿。本书在编写构成中得到了许多同仁的支持和帮助,尤其是本书稿提纲得到了河南省电力试验所高级工程师赵勇同志的认真审阅,并提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

由于作者的理论水平和实践经验有限,书中错误和缺点在所难免,希望读者批评指正。

作者

2002年12月



# 目 录

|       |  |
|-------|--|
| 第二版前言 |  |
| 第一版前言 |  |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第一章 变电站综合自动化系统技术基础   | 1   |
| 第一节 变电站综合自动化的概念      | 1   |
| 第二节 变电站综合自动化系统的基本功能  | 8   |
| 第三节 变电站综合自动化系统的结构形式  | 11  |
| 第四节 变电站综合自动化系统的配置方法  | 19  |
| 第五节 变电站综合自动化的监控系统    | 28  |
| 第六节 变电站综合自动化与无人值班变电站 | 42  |
| 第七节 变电站综合自动化技术的发展方向  | 45  |
| 第二章 变电站综合自动化系统间隔层装置  | 52  |
| 第一节 间隔层装置简述          | 52  |
| 第二节 模拟量的采集与处理        | 58  |
| 第三节 开关量的输入与输出        | 70  |
| 第四节 人机对话电路           | 76  |
| 第五节 间隔层装置软件常用算法介绍    | 79  |
| 第六节 间隔层典型装置实例        | 95  |
| 第三章 主变压器的保护与监控       | 104 |
| 第一节 主变压器的保护与监控配置     | 104 |
| 第二节 主变压器的本体保护        | 109 |
| 第三节 主变压器的差动保护        | 111 |
| 第四节 变压器后备保护          | 119 |
| 第五节 变压器微机监控、保护装置实例   | 122 |
| 第四章 输电线路的保护与监控       | 133 |
| 第一节 输电线路的保护与监控配置     | 133 |
| 第二节 输电线路继电保护         | 134 |
| 第三节 输电线路的自动重合闸问题     | 142 |
| 第四节 输电线路保护装置实例       | 152 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第五章 变电站综合自动化系统的自动控制装置    | 165 |
| 第一节 电压、无功综合自动控制装置        | 165 |
| 第二节 备用电源和备用设备自动投入装置      | 176 |
| 第三节 故障录波装置               | 184 |
| 第六章 变电站综合自动化系统的数据通信      | 197 |
| 第一节 数据通信概述               | 197 |
| 第二节 远距离的数据通信             | 203 |
| 第三节 RS-232/485 串行数据通信接口  | 214 |
| 第四节 数据传输中采用的通信规约         | 217 |
| 第五节 变电站综合自动化系统的通信网络      | 226 |
| 第七章 变电站综合自动化系统的可靠性问题     | 232 |
| 第一节 概述                   | 232 |
| 第二节 变电站的干扰来源和干扰的影响       | 232 |
| 第三节 变电站综合自动化系统的抗干扰措施     | 236 |
| 第四节 变电站综合自动化系统的自动检测技术    | 240 |
| 第八章 变电站综合自动化系统的调试、维护、运行  | 244 |
| 第一节 综合自动化系统的调试           | 244 |
| 第二节 综合自动化系统的运行管理         | 248 |
| 第三节 综合自动化系统的使用与维护        | 254 |
| 第九章 变电站综合自动化系统常见故障的诊断与处理 | 260 |
| 第一节 故障诊断与处理的原则与方法        | 260 |
| 第二节 微机装置“死机”问题的分析及对策     | 264 |
| 第三节 监控系统常见故障的诊断与处理       | 268 |
| 第四节 间隔层装置常见故障及处理         | 275 |
| 第十章 数字化变电站技术             | 281 |
| 第一节 数字化变电站简述             | 281 |
| 第二节 数字式互感器技术及其应用         | 288 |
| 第三节 智能化的一次设备             | 293 |
| 第四节 IEC 61850 标准简述       | 299 |
| 第五节 数字化变电站的关键技术问题        | 307 |
| 参考文献                     | 309 |



# 变电站综合自动化系统技术基础

## 第一节 变电站综合自动化的概念

### 一、变电站综合自动化概念

常规变电站二次系统应用的特点是变电站采用单元间隔的布置形式,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,装置之间相对独立,装置间缺乏整体的协调和功能优化,输入信息不能共享、接线比较复杂、系统扩展复杂,主要有以下几方面的问题。

(1) 信息不共享。变电站二次系统接入的信息大致可以分为:①电力系统运行信息,如电流、电压、频率等;②变电站设备运行状态信息,如一次设备、二次设备是否投运等;③变电站设备异常信息,如测控装置异常、保护装置直流消失等;④电网事故信息,如断路器、保护动作跳闸等。由于信息采集部分来自于不同的TA,因此,作为变电站二次系统应用主要环节的测控、保护、故障录波器等系统,信息的应用、处理分属于不同的专业管理部门。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,独立运行。

(2) 二次系统的硬件设备型号多、类别杂,很难达到标准化。

(3) 大量电线电缆及端子排的使用,既增加了投资,又花费大量人力从事众多装置间联系的设计、配线、安装、调试、修改或补充。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,则为20~40条出线。

(4) 常规二次系统是一个被动的系统,继电保护、自动装置、远动装置等大多采取电磁型或小规模集成电路,缺乏自检和自诊断能力,不能正常的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。这不仅加重了维护工作量,更重要的是不能及时了解系统的工作状态,有时甚至影响对一次系统的监视和控制。

(5) 实时计算和控制性不高。电力系统要做到优质、安全、经济运行,必须及时掌握系统的运行工况,才能采取一系列的自动控制和调节手段。传统变电站远动功能不够完善,提供给调度控制中心的信息量少、精度差,一些遥测、遥信无法实时送到调度中心;且变电站

内自动控制和调节手段不全,缺乏协调和配合力量,难以满足电网实时监测和控制的要求,不利于电力系统的安全稳定运行。

(6) 在常规监控系统的变电站中,主要由人来处理信息,人是整个监控系统的核心。由于人处理信息的能力有限,使信息处理的正确性和可靠性不高。

(7) 常规监控系统中使用的指示性表计绝大多数是模拟式的,即把各种被测量的大小转换成指针机械位置的改变,人根据指针位置和表盘刻度来判断被测量的大小。由于指针位置和被测量之间的对应关系存在误差,且人在观察指针位置时也存在误差,使信息处理的准确性不高。

(8) 常规监控系统的信号装置大多数都是通过音响和灯光来表示事件的发生的。因音响和灯光不能如实地提供给人关于事故发生情况下的具体信息,往往要靠人的经验去判断,这不仅对正确处理事故不利,同时也不能对继电保护和自动装置的动作情况做出全面的考核。

(9) 常规监控系统中采用的表计、光字信号牌、位置指示灯在运行时不仅会产生较大的功耗,而且其体积较大,使得控制室的面积也要大。

(10) 维护工作量大。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的影响,因此其整定值必须定期停电检验,每年校验保护定值的工作量是相当大;也无法实现远方修改保护或自动装置的定值。

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。

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,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。相对于常规变电站二次系统,变电站综合自动化系统增添了“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。

变电站综合自动化可以描述为: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。在国内，我们也可以说是包含传统的自动化监控系统、继电保护、自动装置等设备，是集保护、测量、监视、控制、远传等功能为一体，通过数字通信及网络技术来实现信息共享的一套微机化的二次设备及系统。

可以说，变电站自动化系统就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包含各种线路保护、变压器保护、电容器保护、母线保护等。这里提到的智能电子装置 IED，可以描述为“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”。

110kV 变电站综合自动化系统的基本配置如图 1-1 所示。

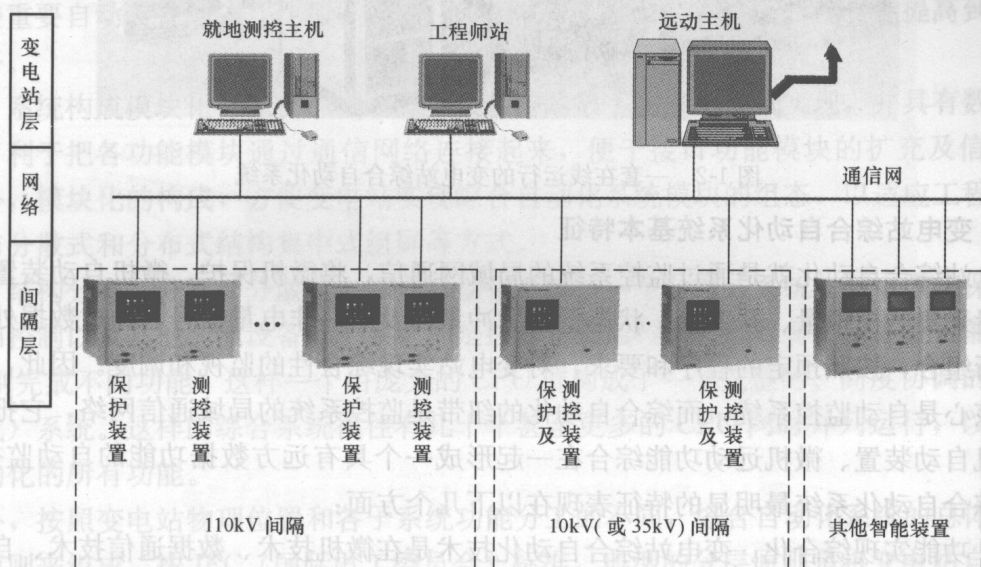


图 1-1 110kV 变电站综合自动化系统的基本配置

在图 1-1 中，就地监控主机用于有人值班变电站的就地运行监视与控制，同时具有运行管理的功能，如生成报表、打印报表等。远动主机收集本变电站信息上传至调度端（或者控制中心），同时调度端下发的控制、调节命令通过远动主机分送给相应间隔层的测控装置，完成控制或调节任务。工程师站用于软件开发与管理功能，如用于监视全厂的继保装置的运行状态，收集保护事件记录及报警信息，收集保护装置内的故障录波数据并进行显示和分析，查询全厂保护配置，按权限设置修改保护定值，进行保护信号复归，投、退保护等。110kV 线路按间隔分别配置保护装置与测控装置。10kV（或 35kV）线路按间隔分别配置保护测控综合装置。每一个保护、测控装置或保护测控综合装置都集成了 TCP/IP 协议，具备网络通信的功能。其他智能设备（如电能表）一般采用 RS-485 通信，通过智能设备接口接入以太网。不同厂家的通信系统具有不同的结构，相关内容将在本书的其他章节详细讲解。

变电站综合自动化系统中以监控主机代替了传统变电站中的控制屏、中央信号系统和远





动屏, 监控主机中运行主界面的数字式显示代替了电磁型或晶体管型仪表, 基于计算机技术的数字式保护代替电磁型或晶体管型的继电保护, 彻底改变了常规的继电保护装置不能与外界进行数据交换的缺陷。因此, 变电站综合自动化系统是自动化技术、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电力系统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, 方便地监视和控制变电站内各种设备的运行和操作。图 1-2 展示了一套在线运行的变电站综合自动化系统。

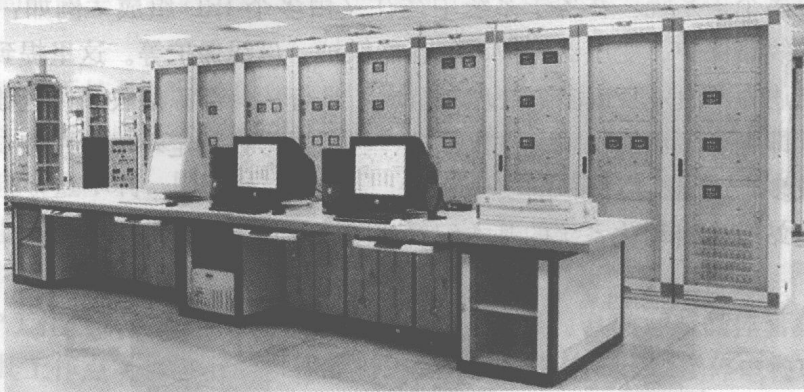


图 1-2 一套在线运行的变电站综合自动化系统

## 二、变电站综合自动化系统基本特征

变电站综合自动化就是通过监控系统的局域网通信, 将微机保护、微机自动装置、微机远动装置采集的模拟量、开关量、状态量、脉冲量以及一些非电量信号, 经过数据处理及功能的重新组合, 按照预定的程序和要求, 对变电站实现综合性的监视和调度。因此, 综合自动化的核心是自动监控系统, 而综合自动化的纽带是监控系统的局域通信网络, 它把微机保护、微机自动装置、微机远动功能综合在一起形成一个具有远方数据功能的自动监控系统。变电站综合自动化系统最明显的特征表现在以下几个方面:

(1) 功能实现综合化。变电站综合自动化技术是在微机技术、数据通信技术、自动化技术基础上发展起来的。它综合了变电站内除一次设备和交、直流电源以外的全部二次设备。

微机监控系统综合了变电站的仪表屏、操作屏、模拟屏、变送器屏、中央信号系统等功能、远动的 RTU 功能及电压和无功补偿自动调节功能。如图 1-2 所示。



图 1-3 保护监控一体化装置例子

微机保护(和监控系统一起)综合了事件记录、故障录波、故障测距、小电流接地选线、自动按频率减负荷、自动重合闸等自动装置功能, 设有较完善的自诊断功能。

图 1-3 是某型号的数字式线路保护测控装置, 适用于 66kV 及以下电压等级, 是线路单元的间隔层设备, 是按间隔设计的保护、测量、控制等一体化装置, 主要具有的保护功能是: 三段式三时限低压闭锁方向过流保护; 三相一次重合闸功能; 两时限零序过流保护; 低压保护; 过负荷保护; 小电流接地选线;



开关控制功能；故障录波功能；TV 断线监视。监控功能（遥测、遥信、遥控及脉冲电能量采集功能等）。面板上具有汉字液晶显示功能，采用键盘操作，可方便的实现测量及状态跟踪、在线修改定值或投退某些保护功能，还具有运行、告警、跳位、合位、保护跳闸和保护重合闸指示灯；装置通过 CAN 现场总线接入变电站综合自动化系统，可完成远方监视、控制和操作功能。

需要指出的是，综合自动化的综合功能，“综合”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。对于中央信号系统及仪表和对设备控制操作的功能综合是通过监控系统的全面综合，而对于微机保护及一些重要的自动装置（如备用电源自动投入）是接口功能综合，是在保证其独立的基础上，通过远方自动监视与控制而实现的，例如对微机保护装置仍然要求保证其功能的独立性，但通过对保护状态及动作信息的监视及对保护整定值查询修改，保护的投退、录波远传、信号复归等远方控制来实现其对外接口功能的综合。这种综合的监控方式，既保证了保护和一些重要自动装置的独立性和可靠性，又把保护和自动装置的自动化性能提高到一个更高的水平。

(2) 系统构成模块化。保护、控制、测量装置的数字化采用微机实现，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，模块化的构成，方便变电站实现综合自动化系统模块的组态，以适应工程的集中式、分布分散式和分布式结构集中式组屏等方式。

(3) 结构分布、分层、分散化。综合自动化系统是一个分布式系统，其中微机保护、数据采集和控制以及其他智能设备等子系统都是按分布式结构设计的，每个子系统可能有多个 CPU 分别完成不同功能，这样一个由庞大的 CPU 群构成了一个完整的、高度协调的有机综合（集成）系统。这样的综合系统往往有几十个甚至更多的 CPU 同时并列运行，以实现变电站自动化的所有功能。

另外，按照变电站物理位置和各子系统功能分工的不同，综合自动化系统的总体结构又按分层原则来组成。按 IEC（国际电工委员会）标准，典型的分层原则是将变电站自动化系统分为两层，即变电站层和间隔层，如图 1-1 所示。

随着技术的发展，自动化装置逐步按照一次设备的位置实行就地分散安装，由此可构成分散（层）分布式综合自动化系统。

(4) 操作监视屏幕化。变电站实现综合自动化后，不论是有人值班还是无人值班，操作人员不是在变电站内，就是在主控站或调度室内，面对彩色屏幕显示器，对变电站的设备和输电线路进行全方位的监视与操作。常规庞大的模拟屏（如图 1-4 所示）被 CRT 屏幕上的实时主接线画面取代（如图 1-5 所示）；常规在断路器安装处或控制屏进行的跳、合闸操作，被 CRT 屏幕上的鼠标操作或键盘操作所取代；常规的光字牌报警信号，被 CRT 屏幕画面闪烁和文字提示或语言报警所取代，即通过计算机上的 CRT 显示器，可以监视全变电站的实时运行情况和对各开关设备进行操作控制。

(5) 通信局域网络化、光缆化。计算机局域网络技术和光纤通信技术在综合自动化系统中得到普遍应用。因此，系统具有较高的抗电磁干扰的能力，能够实现高速数据传送，满足实时性要求，组态更灵活，易于扩展，可靠性大大提高，而且大大简化了常规变电站繁杂量



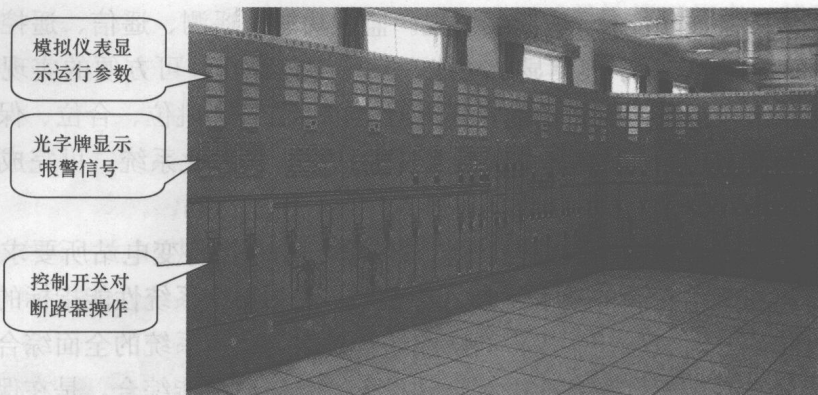


图 1-4 常规变电站的监视、操作、光字牌报警信号屏

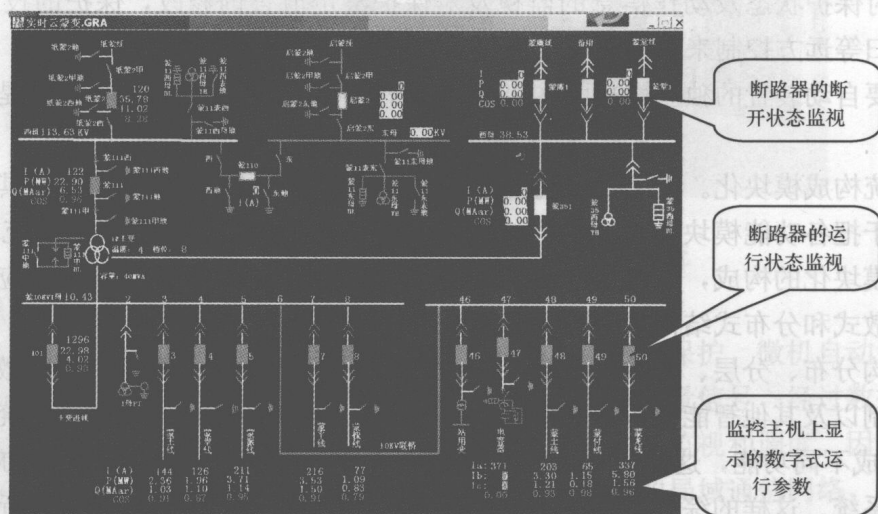


图 1-5 变电站综合自动化系统实时监视与操作主界面

大的各种电缆，方便施工。

(6) 运行管理智能化。变电站综合自动化另一特征是运行管理智能化。智能化不仅表现在常规的自动化功能上，如自动报警、自动报表、电压无功自动调节、小电流接地选线、事故判别与处理等方面，还表现在能够在线自诊断，并不断将诊断的结果送往远方的主控端。这是区别常规二次系统的重要特征。简而言之，常规二次系统只能监测一次设备，而本身的故障必须靠维护人员去检查、去发现。综合自动化系统不仅监测一次设备，还每时每刻检测自己是否有故障，这就充分体现了其智能性。

运行管理智能化极大地简化了变电站二次系统，取消了常规二次设备，功能强大，信息齐全，可以灵活地按功能或间隔形成集中组屏或分散（层）安装的不同的系统组态。进一步说，综合自动化系统打破了传统二次系统各专业界限和设备划分原则，改变了常规保护装置不能与调度（控制）中心通信的缺陷。

(7) 测量显示数字化。长期以来，变电站采用指针式仪表作为测量仪器，其准确度低、读数不方便。采用微机监控系统后，彻底改变了原来的测量手段，常规指针式仪表全被 CRT 显示器上的数字显示所代替，直观、明了。而原来的人工抄表记录则完全由打印机打



印、报表所代替。这不仅减轻了值班员的劳动，而且提高了测量精度和管理的科学性。

正是由于变电站综合自动化系统具有的上述明显特征，使其发展具有强劲的生命力。因此，近几年来，研究和应用变电站综合自动化进入了高潮，其功能和性能也不断完善。目前，变电站综合自动化技术的应用日益普及。

### 三、变电站实现综合自动化的优越性

与常规变电站二次系统相比，变电站实现综合自动化可以在下面几个方面体现出独特的优越性：

(1) 在线运行的可靠性高。变电站综合自动化系统可以利用软件实现在线自检，具有故障诊断功能。微机系统的软件设计，考虑到电力系统各种复杂的故障，具有很强的综合分析和判断能力，在软件程序的指挥下，微机系统可以在线实时的对有关硬件电路中各个环节进行自检；利用有关的硬件和软件相结合技术，可有效防止干扰进入微机系统后可能造成的严重后果，更为重要的是变电站综合自动化系统中的各子系统如微机保护装置和微机自动装置具有故障自诊断功能，使变电站的一次、二次设备运行的可靠性方面已经远远超过了常规变电站。

(2) 供电质量高。由于在变电站综合自动化系统中包括电压无功自动控制功能，故对于具有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电器设备的安全，使无功潮流合理，降低网损，节约电能损耗。

(3) 专业综合，易于发现隐患，处理事故恢复供电快。变电站传统的二次设备专业分工过细，每块配电盘都固定地隶属于一个专业来维护，这样不利于综合监视运行情况，也不利于发现隐患，一旦发生事故，恢复供电的时间较长。实现综合自动化以后，各专业综合考虑，并装备有先进的计算机，可以收集众多需要的数据和信号，利用计算机高速计算和正确判断的能力，将数据和信号经计算机处理后，以综合的结果反映给值班人员，还可提供事件分析的结果以及如何处理的参考意见。这样可以很快的发现问题，很快处理事故，尽早恢复供电。对提高供电的可靠性起着重要的作用。

(4) 变电站运行管理的自动化水平高。在常规变电站中，由于装设的二次系统仅适合于肉眼监视、人工抄表、手动操作，很难采用计算机技术进行高水平的自动化管理。最简单的例子，人工抄表所记录的数据，误差大、离散性高、可信度低，更重要的是所记录的报表无法再利用，长年累月大量堆积，无法从中得到有用的数据。采用综合自动化以后，可以将这些宝贵的数据记录在历史库中，必要时可以从中得到重要的数据，对电力调度、系统的规划等方面提供重要的依据。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进行，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和控制，且各种操作都有事件记录可供查阅，大大提高运行管理水平。

(5) 减少控制电缆，缩小占地面积。变电站实现综合自动化以后，需要获得电力系统测量数据和运行信息的各个部分都可以统一考虑，统一规划，获得所有数据和信号，可以由各个部分分享，这样就可以节省大量的控制电缆。变电站综合自动化系统，由于采用计



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,而且随着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,发展的趋势是综合自动化系统的造价会逐渐降低,而性能功能会逐步提高,因而可以减少变电站的总投资。

(6) 维护调试方便。由于综合自动化系统中各子系统有故障自诊断能力,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可在线读出检查,可节约定期核对定值的时间。

(7) 为变电站实现无人值班提供了可靠的技术条件。变电站有人值班和无人值班是变电站运行管理的一种模式,而变电站综合自动化是自动化技术在变电站应用的一种集中体现。变电站综合自动化系统可以收集到比较齐全的数据信息。有强大的计算机计算能力和逻辑判断功能,可以方便地监视和控制变电站的各种设备。如监控系统的抄表、记录自动化,值班员可不必定期抄表、记录,可实现少人值班,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。因此,目前新建的变电站在投资允许的情况下,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,也为变电站安全稳定运行提供了可靠保证。

## 第二节 变电站综合自动化系统的基本功能

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(如断路器等)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 及以上的变电站,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气设备本身的运行(如断路器、变压器和避雷器等绝缘和状态监视等),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订检修计划提供原始数据。

总之,变电站综合自动化系统实现的内容应包括:

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,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;

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。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。在变电站综合自动化系统的研究与开发过程中,对其应包括哪些功能和要求曾经有不同看法。经过几年来的实践和发展,目前这些看法已趋于一致。这些功能分为7个功能组:

- 1) 远动功能,即传统“四遥”,遥测、遥信、遥控、遥调;
- 2) 自动控制功能,如VQC,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。

这一功能描述,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。因此,综合自动化系统的基本功能主要有以下几个方面。

### 一、测量、监视、控制功能

综合自动化系统应取代常规的测量装置,如变送器、录波器、指针式仪表等;取代常规的告警、报警装置,如中央信号系统、光字牌等。

变电站的各段母线电压、线路电压、电流、有功及无功功率、温度等参数均属模拟量,将其通过模拟量输入通道转换成数字量,由计算机进行识别和分析处理,最后所有参数均可在自动化装置的面板上或当地监控主机上随时进行查询。在变电站的运行过程中,监控系统对采集到的电压、电流、频率、主变压器油温等量不断地进行越限监视,如有越限立即发出告警信号,同时记录和显示越限时间和越限值;出现电压互感器或电流互感器断线、差动回路电流过大、单相接地、控制回路断线等情况时也发出报警信号;另外,还要监视自控装置本身工作是否正常。

变电站综合自动化系统应能取代常规的操动机构;取代常规的电磁式和机械式防误闭锁设备;取代常规远动装置等。无论是无人值班还是少人值班变电站,操作人员都可通过CRT屏幕对断路器和隔离开关进行分、合操作,对变压器分接头位置进行调节控制,对电容器组和电抗器组进行投、切控制;同时,要能接受遥控操作命令,进行远方操作。为防止计算机系统故障时无法操作被控设备,在设计上还应保留人工直接跳、合闸手段。





## 二、继电保护功能

变电站综合自动化系统中的继电保护主要包括输电线路保护、电力变压器保护、母线保护、电容器保护等。微机保护是综合自动化系统的关键环节,它的功能和可靠性如何,在很大程度上影响了整个系统的性能。各类装置能存储多套保护定值,能远方修改整定值并根据要求可以选配有自带故障录波和测距系统。

## 三、自动控制智能装置的功能

变电站综合自动化系统必须具有保证安全、可靠供电和提高电能质量的自动控制功能。为此,典型的变电站综合自动化系统都配置了相应的自动控制装置,变电站的自动控制功能有系统接地保护、备用电源自投、低频减载、同期检测和同期合闸、电压和无功控制(此功能可分自动和手动两种方式实现),当在调度中心直接控制时,变压器分接开关调整和电容器组的切换直接接受远方控制,当调度中心给定电压曲线或无功曲线的情况下,可由变电站自动化系统就地进行控制。

(1) 电压、无功综合控制。变电站电压、无功综合控制是利用有载调压变压器和母线无功补偿电容器及电抗器进行局部的电压及无功补偿的自动调节,使负荷侧母线电压偏差在规定范围以内。在调度(控制)中心直接控制时,变压器的分接头开关调整和电容器组的投切直接接受远方控制,当调度(控制)中心给定电压曲线或无功曲线的情况下,则由变电站综合自动化系统就地进行控制。有关电压、无功综合控制的目的、要求、原理等详细技术问题,请参考本书第六章。

(2) 低频减负荷控制。当电力系统因事故导致功率缺额而引起系统频率下降时,低频率减载装置应能及时自动断开一部分负荷,防止频率进一步降低,以保证电力系统稳定运行和重要负荷(用户)的正常工作。当系统频率恢复到正常值之后,被切除的负荷可逐步远方(或就地)手动恢复,或可选择延时分级自动恢复。

(3) 备用电源自投控制。当工作电源因故障不能供电时,自动装置应能迅速将备用电源自动投入使用或将用户切换到备用电源上去。典型的备自投有单母线进线备投、分段断路器备投、变压器备投、进线及桥路器备投、旁跳断路器备投。

(4) 小电流接地选线控制。小电流接地系统中发生单相接地时,接地保护应能正确的选出接地线路(或母线)及接地相,并予以报警。

对于不接地系统,可采用零序功率方向、零序电流大小和方向等零序分量判据;对于经消弧线圈接地系统还应考虑其他判据(如5次谐波判据等)进行综合判断。

## 四、远动及数据通信功能

变电站综合自动化的通信功能包括系统内部的现场级间的通信和自动化系统与上级调度的通信两部分。

(1) 综合自动化系统的现场级通信,主要解决自动化系统内部各子系统与上位机(监控主机)和各子系统间的数据和信息交换问题,它们的通信范围是变电站内部。对于集中组屏的综合自动化系统来说,实际是在主控室内部;对于分散安装的自动化系统来说,其通信范围扩大至主控室与子系统的安装地,最大的可能是开关柜间,即通信距离加长了。

(2) 综合自动化系统必须兼有RTU的全部功能,应该能够将所采集的模拟量和状态量信息,以及事件顺序记录等远传至调度端;同时应该能够接收调度端下达的各种操作、控