

# 智能变电站 原理及测试技术

冯 军 主编

ZHINENG BIANDIANZHAN  
YUANLI JI CESHI JISHU



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 智能变电站

# 原理及测试技术

冯 军 主编

ZHINENG BIANDIANZHAN  
YUANLI JI CESHI JISHU



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书以智能变电站工程技术应用为主线,系统阐述了智能变电站的原理和测试技术,包括智能变电站概述,IEC 61850 协议体系介绍,电子式互感器原理及测试技术,过程层原理及测试技术,站控层原理及测试技术,智能变电站对时、同步原理及其测试技术,变电站智能状态监测系统,物联网在智能变电站的应用,智能变电站工程测试技术,常用测试仪器及软件等内容。

本书系统介绍了智能变电站的测试技术,对智能变电站的工程实践具有较大的指导价值。本书可供变电站技术管理、运行、检修等专业人员参考,也可供高校、科研单位及制造厂商借鉴学习。

### 图书在版编目(CIP)数据

智能变电站原理及测试技术/冯军主编. —北京:中国电力出版社, 2011. 5

ISBN 978 - 7 - 5123 - 1667 - 6

I. ①智… II. ①冯… III. ①变电所 - 智能技术②变电所 - 测试技术 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 083433 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京瑞禾彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2011 年 6 月第一版 2011 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 452 千字

印数 0001—4000 册 定价 80.00 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

## 编 委 会

主 编 冯 军  
副 主 编 马苏龙 孟庆强  
编委会成员 肖向东 甄玉林 鲁庭瑞 王海林  
张 龙 刘华伟 龚 冰 林 敏  
周志刚 蔡升华 蒯狄正 文乐斌  
许 扬 朱 斌 张 军 王建明

编写组组长 蒯狄正

编写组副组长 文乐斌 陈久林 袁宇波

编写组成员 (按姓氏笔画排)

卜强生 马长征 王立辉 王忠东  
王洪帅 王 展 邓洁清 卢树峰  
伍雪峰 刘 伟 刘孝刚 孙纯军  
孙 健 朱晓燕 严国平 宋亮亮  
张子阳 张小易 张 帆 张佳敏  
李修金 杨世海 苏 麟 洪幼江  
费益军 高 磊 崔晓祥 曹海欧  
黄 伟 黄浩声 魏 旭

# 序

我国电力工业正面临着新的形势，能源发展格局、电力供需状况、电网发展方式正在发生着深刻的变化。加快建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展，以信息化、自动化、互动化为特征的坚强智能电网，努力实现我国电网从传统电网向高效、经济、清洁、互动的现代电网的升级和跨越，为经济社会又好又快发展提供强大支撑。

智能变电站是建设坚强智能电网的重要组成部分，基于 IEC 61850 标准的智能变电站将变革传统的变电站运行、检修模式，同时电子式互感器、智能化保护测控、监控系统、智能状态监测系统等新设备、新技术的应用为电网带来了新的机遇和挑战。为此，尽快编写一本能够阐述智能变电站原理及测试技术的实用教材，有针对性地帮助运行、检修人员全面了解智能变电站技术，更好地推广智能变电站建设，是一件具有重要意义的工作。

江苏省电力公司积极响应国家电网公司的号召，依托国家电网公司变电站智能设备检测技术实验室，全方位开展了变电站一、二次智能设备试验技术的研究。在国家电网公司 220kV 西泾智能变电站、500kV 苏州东智能变电站及 500kV 常熟南智能变电站工程试验及研究过程中，理论联系实际，积极探索新技术、新方法，并将其融入本书的内容中，体现广大专业技术人员的智慧与经验。

希望本书的出版能为电网技术管理、运行、检修等专业人员对智能变电站原理及测试技术有一个全面的了解；同时本书介绍了智能变电站测试过程中遇到的问题及解决方案，可为高校、科研单位及制造厂商对智能变电站的现场应用需求提供有价值的参考，并在智能变电站建设与实践不断探索和提高，为我国坚强智能电网建设作出贡献。

江苏省电力公司总经理

# 前言

智能变电站是智能电网的重要组成部分，随着智能变电站建设和推广应用的逐步深入，迫切需要对智能变电站的工程应用进行阶段性总结，并对智能变电站的工程技术进行深入阐述。

本书以智能变电站工程技术应用为主线，系统阐述了智能变电站的原理和测试技术，总结了江苏省电力公司在智能变电站建设过程中的工程应用经验。本书从电子式互感器、合并单元、智能保护测控、监控系统、状态监测系统等智能变电站的关键设备入手，对智能变电站各模块进行全面深入的阐述，并结合工程实际，阐述智能变电站集中集成测试方法、现场调试的技术方法。

智能电网的发展是一个渐进的过程，本书仅是对现有研究和实践成果的总结，目的是为今后智能变电站的建设提供借鉴和指导。随着对变电站智能化技术研究的深入，智能变电站的建设模式必将进一步丰富，并形成一套成熟、稳定、可靠、先进的智能变电站技术体系。

本书由江苏省电力公司组织编写，冯军担任主编，马苏龙、孟庆强担任副主编。参加编写的同志都具有丰富的现场实践经验和较强的理论基础，其中，第一章由陈久林、袁宇波、崔晓祥编写，第二章由朱晓燕、黄伟编写，第三章由王立辉、孙健、卜强生、袁宇波编写，第四章由高磊、卜强生、邓洁清、苏麟编写，第五章由张小易、黄浩声、张帆编写，第六章由宋亮亮、高磊、袁宇波编写，第七章由刘伟、张子阳、魏旭编写，第八章由王建明、洪幼江、费益军编写，第九章由邓洁清、袁宇波、卜强生、李修金、张佳敏、马长征编写，第十章由王洪帅、卜强生编写。

在本书的编写过程中，江苏省电力公司电力科学研究院、无锡供电公司等单位的领导高度重视并给予了大力支持；同时本书得到了国电南自、南瑞继保、南瑞科技、北京四方、许继电气等公司的大力支持与帮助。另外本书的编写还参阅了相关参考文献、技术标准和技术说明书等。在此，对以上单位及相关作者表示衷心的感谢！

本书的初稿得到了东南大学陆于平教授，国网电科院李力、陈德辉，国电南自林俊，夏盛铭、兰金波，江苏方天电力技术有限公司李澄等专家的审阅，专家们提出了很多宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢！

由于编写时间仓促，书中难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

# 目 录

序  
前言

<b>1</b>	<b>智能变电站概述</b> .....	1
1.1	智能变电站的基本概念及特点 .....	1
1.2	智能变电站中的主要技术 .....	2
<b>2</b>	<b>IEC 61850 协议体系介绍</b> .....	11
2.1	IEC 61850 概述 .....	11
2.2	面向对象技术.....	12
2.3	变电站配置语言 SCL .....	14
2.4	抽象通信服务接口 ACSI .....	17
2.5	制造报文规范(MMS) .....	18
2.6	面向通用对象事件模型.....	19
2.7	采样值服务.....	22
2.8	一致性测试.....	22
2.9	虚端子.....	23
2.10	配置文件的应用 .....	24
<b>3</b>	<b>电子式互感器原理及测试技术</b> .....	36
3.1	电子式互感器概述.....	36
3.2	电子式电流互感器原理.....	37
3.3	电子式电压互感器原理.....	43
3.4	电子式互感器测试技术.....	45
3.5	电子式互感器应用中注意问题.....	54
<b>4</b>	<b>过程层原理及测试技术</b> .....	57
4.1	智能变电站过程层特点 .....	57
4.2	智能变电站过程层设备.....	58
4.3	智能变电站过程层网络.....	64
4.4	智能变电站过程层典型配置.....	76



4.5	智能变电站过程层测试技术	79
<b>5</b>	<b>站控层原理及测试技术</b>	<b>93</b>
5.1	智能变电站站控层特点	93
5.2	智能变电站站控层原理	94
5.3	站控层测试技术	103
5.4	站控层典型报文解析	108
<b>6</b>	<b>智能变电站对时、同步原理及其测试技术</b>	<b>117</b>
6.1	对时方法介绍	117
6.2	IEEE 1588 精密时钟技术	120
6.3	智能终端 IEEE 1588 对时应用	128
6.4	采样值同步技术	133
6.5	同步测试技术	137
<b>7</b>	<b>变电站智能状态监测系统</b>	<b>143</b>
7.1	电力设备状态监测概述	143
7.2	智能状态监测系统	152
<b>8</b>	<b>物联网在智能变电站的应用</b>	<b>187</b>
8.1	物联网技术概述	187
8.2	物联网应用于智能变电站状态监测和辅助系统	191
8.3	智能变电站辅助系统设计实例	195
<b>9</b>	<b>智能变电站工程测试技术</b>	<b>199</b>
9.1	西泾智能变电站工程配置	199
9.2	西泾智能变电站 IEC 61850 工程应用模型	227
9.3	智能变电站集中集成测试技术	235
9.4	智能变电站现场测试技术	243
<b>10</b>	<b>常用测试仪器及软件</b>	<b>261</b>
10.1	虚端子自动生成系统	261
10.2	数字化继电保护测试仪	264
10.3	电子式互感器校验仪	270
10.4	网络报文分析仪	275
10.5	网络性能测试仪	280
10.6	网络抓包工具	284
	参考文献	290

## 1

## 智能变电站概述



在发电、输电、变电、配电、用电和调度六个环节之中，变电环节占据着相当重要的地位，智能变电站因此成为建设坚强智能电网的重要组成部分。国家电网公司智能电网规划报告变电环节发展目标中指出：“设备信息和运行维护策略与电力调度实现全面互动，实现基于状态的全寿命周期综合优化管理。枢纽及中心变电站全面建成或改造成为智能化变电站，实现全网运行数据的统一采集、实时信息共享以及电网实时控制和智能调节，支撑各级电网的安全稳定运行和各类高级应用。”网络技术、传感器技术、信息技术的发展，使传统的变电站向智能变电站的转变逐渐成为现实。目前，国内已经陆续有各电压等级的智能变电站投入运行，智能变电站的建成投运可大幅提升设备智能化水平和设备运行可靠性，实现变电站无人值班和设备操作的自动化，提高资源使用和生产管理效率，使运行更加经济、节能和环保。

本章介绍智能变电站的基本概念及特点，阐述智能变电站对电力系统生产运行带来的影响及发展趋势。

## 1.1 智能变电站的基本概念及特点

智能变电站是以数字化变电站为依托，通过采用先进的传感、信息、通信、控制、人工智能等技术，建立全站所有信息采集、传输、分析、处理的数字化统一应用平台，实现变电站的信息化、自动化、互动化。它以全站信息数字化、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，实现与相邻变电站、电网调度的互动。

智能变电站是数字化变电站的延续和发展，以一次设备参量数字化、标准化和规范化信息平台为基础，实现全站信息化、自动化、互动化的变电站。常规变电站的各个子系统是信息的孤岛，相互之间没有充分的联系。随着各种先进技术的发展及 IEC 61850 统一规约的应用，可以将各种应用以统一的规约通信方式交互到统一的信息平台，实现信息资源的共享。因此智能变电站包括了统一的信息平台，统一的传输规约，将一、二次状态信息统一应用到一体化的信息平台中去，实现变电站的信息化、自动化、互动化。

作为智能电网的一个重要节点，智能变电站是指以变电站一、二次设备为数字化对象，以高速网络通信平台为基础，通过对数字信息进行标准化，实现站内外信息共享和互操作，



实现测量监视、控制保护、信息管理、智能状态监测等功能的变电站。智能变电站是坚强可靠的变电站，具有“一次设备智能化、全站信息数字化、信息共享标准化、高级应用互动化”等重要特征。

(1) 坚强可靠的变电站：智能变电站除了关注站内设备及变电站本身可靠性外，更关注自身的自诊断和自治功能，做到设备故障提早预防、预警，并可以在故障发生时，自动将设备故障带来的供电损失降至最低。

(2) 一次设备智能化：随着基于光学或电子学原理的电子式互感器和智能断路器的使用，常规模拟信号和控制电缆将逐步被数字信号和光纤代替，测控保护装置的输入输出均为数字通信信号，变电站通信网络进一步向现场延伸，现场的采样数据、开关状态信息能在全站甚至广域范围内共享。

(3) 全站信息数字化：实现一、二次设备的灵活控制，且具备双向通信功能，能够通过信息网进行管理，使全站信息采集、传输、处理、输出过程完全数字化。

(4) 信息共享标准化：基于 IEC 61850 标准的统一标准化信息模型实现了站内外信息共享。智能变电站将统一和简化变电站的数据源，形成基于同一断面的唯一性、一致性基础信息，通过统一标准、统一建模来实现变电站内的信息交互和信息共享，可以将常规变电站内多套孤立系统集成成为基于信息共享基础上的业务应用。

(5) 高级应用互动化：实现各种站内外高级应用系统相关对象间的互动，满足智能电网互动化的要求，实现变电站与控制中心之间、变电站与变电站之间、变电站与用户之间和变电站与其他应用需求之间的互联、互通和互动。

## 1.2 智能变电站中的主要技术

智能变电站技术是不断发展的，随着智能化开关、电子式互感器、一次运行设备在线状态监测等技术的日趋成熟和逐步推广应用，原来的自适应技术在继电保护方面的应用取得重大突破，实现变电站全数字化已经成为现实，并逐渐向融合高级功能应用的智能化方向过渡。智能变电站的发展趋势将主要体现以下三个方面：

(1) 设备方面。随着新型互感器数据采集准确性和运行可靠性提高，智能变电站逐步实现一次设备的自动测量、自动调节、自身状态监测及预警、通信功能，实现一次设备的灵活控制，且具备双向通信功能，能够通过信息网进行管理。

(2) 系统方面。智能变电站在全数字化变电站的基础上，通过信息一体化平台采集全站 SCADA 数据、保护信息数据、录波数据、计量数据、在线监测数据，利用变电站自动化系统高级应用模块，对数据进行深度挖掘、分析，实现智能告警、顺序控制、设备状态可视化、故障信息综合分析决策等。引入智能专家决策系统和控制系统，针对分布式电源并网可能产生的稳定与电能质量问题，与配电自动化系统有机结合，建立智能控制系统和储能系统。

(3) 建设与运行管理。采用 IEC 61850 标准建模的智能变电站将逐步向结构紧凑化、功能集成化、设计模块化方向发展。同时，易扩展、易升级、易改造和易维护特性将使智能变电站的运行管理。



鉴于目前智能变电站技术管理评价体系不够完善，一次智能设备和高级应用技术水平不够成熟，在今后智能变电站的发展中，以下四个方面需要重点开展研究：

(1) 智能变电站检验测试平台及评价体系。智能变电站设备的实现方式和应用方式均有较大变化，对智能变电站各种设备的检验测试提出了新的要求，而智能变电站设备的可靠性对整个变电站乃至整个电网的安全稳定性是至关重要的，随着智能变电站技术的推进，单个设备与其他设备的关联性日益紧密，因此，迫切需要探索对设备的系统级测试手段以及相应的测试方法，并建立对智能变电站设备的科学评价体系。例如，统一规范的电子式互感器试验认证体系、电子式电能计量系统的校验体系、基于 IEC 61850 的变电站网络的可靠性及实时性测试体系等。

(2) 智能变电站运维技术研究。智能变电站中应用的很多新技术需要经过长期的实践考验，如电子式互感器、网络等设备的运行，通过运维过程中的经验总结，及时地反馈到智能变电站设备的设计和制造环节，建立智能变电站运维技术标准体系等。

(3) 一次设备智能化研究。逐步实现一次设备的自动测量，自动控制，自动调节，自身状态监测及预警、通信功能（实现一次设备的灵活控制，且具备双向通信功能，能够通过信息网进行管理）。

(4) 高级数据处理技术。开展变电站动态数据分析处理技术研究，实现各种站内外高级应用系统相关对象间的互动，全面满足智能电网运行、控制要求。在初步完成一次设备智能化和高级应用互动化研究的基础上，建设具备全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化、高级应用互动化技术特征的智能变电站。

### 1.2.1 IEC 61850 通信技术体系

IEC 61850 是目前关于变电站自动化系统及其通信的国际标准，它不是一个简单的通信协议，全称是“Communication networks and system in substations”，即变电站通信网络和系统。其技术特点是对变电站的通信进行信息分层、面向对象建模、统一的描述语言和抽象服务接口，区别于常用的通信协议，如 TCP/IP 协议、IEC 60870-5-101 和 IEC 60870-5-104，其他协议只规定了报文的格式和内容。

20 世纪 80 年代，微机远动设备取代了常规远动设备，通信标准从 1985 年开始使用的 CDT、Polling、现场总线等十几种协议，逐渐统一到 IEC 60870-5-101、IEC 60870-5-103、IEC 60870-5-104 几个标准，这也是通信、计算机技术的发展给变电站自动化系统带来的必然结果。随着网络技术给变电站自动化系统带来的根本性改变，必须要有一种适合于百兆、千兆以太网的变电站传输规约技术。IEC 61850 采用了面向对象建模、自描述的方式，因此，比其他的通信标准更具有长久的生命力，实现了变电站内不同厂家电子设备 (IED) 之间的互操作和信息共享，同时，IEC 61850 能为智能变电站的一次设备状态监测提供有效的标准。

### 1.2.2 新型传感器技术

电子式互感器是电力系统中用于电能计量和继电保护的重要设备之一，是实现智能变电站“信息化”的关键设备，其测量准确度及可靠性对电力系统的安全、稳定和经济地运行



有着重要的影响。随着电压等级的升高，电子式互感器的综合优势更加明显，尤其对于超高压和特高压系统，电子式互感器的绝缘性能和暂态特性优良，能承受高水平的动热稳定，适应强电磁环境，有着常规互感器不可比拟的优势。

电子式电流互感器采用低功耗线圈（LPCT）、罗氏线圈或光学材料作为一次传感器。电子式电压互感器采用电阻/电容分压器或光学材料作为一次传感器，利用光纤进行信号传输，通过对测量电量的信号处理，实现数字量或模拟量的输出。

电子式互感器与常规的互感器的区别在于，由连接到传输系统和二次转换器的一个或多个电流或电压传感器组成，用于传输正比于被测量的量，供测量仪器、仪表和继电保护或控制装置使用。若采用数字接口，一组电子式互感器共用一台合并单元完成此功能。合并单元可以是互感器的一个组成件，也可以是一个分立单元，例如安装在控制室内。

### （一）电子式电压互感器

电子式电压互感器主要利用常规的电分压原理和光学传感原理制成，电分压原理主要有电容、电感和电阻三种，光学传感原理主要是电光 Pockels 效应、电网 Kerr 效应、逆电压效应。

电力系统对电压互感器的稳定性与可靠性要求很高，稳定性与可靠性是光学电压互感器所要解决的主要问题。美国、日本、法国等虽已研制出高至 765kV 的系列光学电压互感器，但其稳定性与可靠性还未能达到实用化的要求。影响光学电压互感器稳定性与可靠性的主要因素是运行环境、振动、温度等，目前智能变电站中主要基于电分压原理的电子式电压互感器。

### （二）电子式电流互感器

目前，市场上电子式电流互感器主要有三种，它们的信号转换电路的结构配置如图 1-1 所示：

（1）罗氏线圈 + LPCT。罗氏线圈和 LPCT 属于有源工作方式（即一次侧电路需要电源），敏感元件是空心线圈，与采集电路之间无任何隔离，属于“互感器”，LPCT 为低功耗线圈。

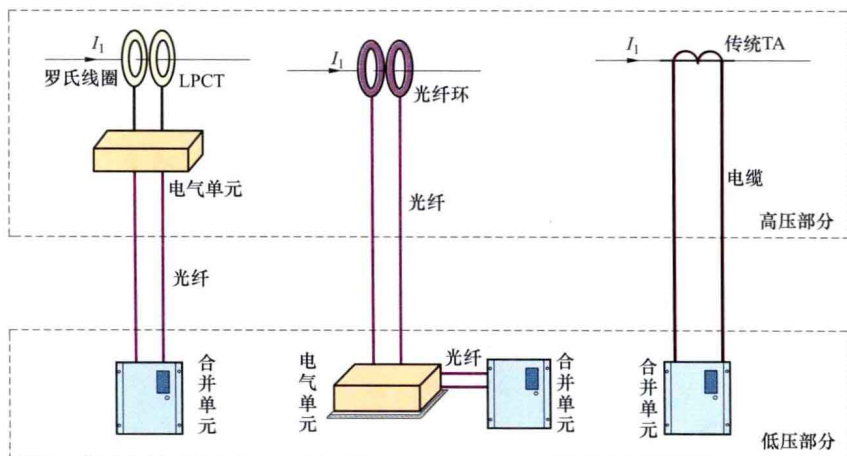


图 1-1 几种典型的电子式互感器信号转换电路的结构配置示意图



(2) 光学器件电流互感器。主要包括磁光玻璃型电流互感器和全光纤型电流互感器，属于无源工作方式，敏感元件是磁光玻璃或光纤，与采集电路之间实现了完全的光隔离，属于“传感器”。

(3) 常规互感器+合并单元方式。这种方式是将常规互感器的二次电流线圈直接接入到合并单元中，转换成数字量送到计量和保护装置，该方式比较适合常规变电站的智能化改造。

### 1.2.3 数字化变电站

智能变电站的早期表现形式主要是数字化变电站。从技术发展的路线来看，智能变电站的技术发展和建设是分阶段完成的。现阶段，以数字化变电站技术体系为基础，探索建设符合智能电网要求的智能变电站；未来几年，随着在线监测技术和资产全寿命周期管理理论的发展，逐步完善具有智能预警监控功能的智能变电站。

数字化变电站是由电子式互感器、智能化开关等智能化一次设备、网络化二次设备分层构建，建立在 IEC 61850 通信规约基础上，能够实现变电站内电气设备间信息共享和互操作的变电站。

IEC 61850 将变电站在逻辑上分为变电站层（第三层）、间隔层（第二层）、过程层（第一层）三层体系架构，如图 1-2 所示，变电站层通常也称为站控层。在变电站层和间隔层之间的网络通信采用抽象通信服务接口映射到制造报文规范（MMS）、传输控制协议/网际协议（TCP/IP）；在间隔层和过程层之间的网络采用单点向多点的单向传输以太网。变电站内的智能电子设备、测控单元和继电保护均采用统一的协议，通过网络进行信息交换。

图 1-2 中各逻辑接口的定义如下：

IF1：间隔层和变电站层之间保护数据交换，如保护动作事件等。

IF2：间隔层与远方保护之间保护数据交换，如线路差动保护中光纤通道之间的数据

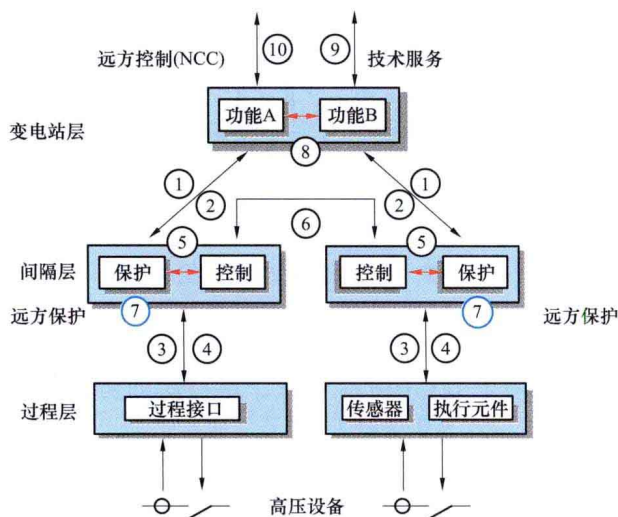


图 1-2 数字化变电站的三层体系结构

- ①—IF1；②—IF6；③—IF4；④—IF5；⑤—IF3；⑥—IF8；  
⑦—IF2；⑧—IF9；⑨—IF7；⑩—IF10



交换。

IF3: 间隔层间隔内数据交换。

IF4: 过程层和间隔层之间电子式互感器瞬时数据交换, 如保护接收瞬时采样值 SV 数据。

IF5: 过程层和间隔层之间控制数据交换, 如保护向智能终端发送的 GOOSE 跳闸信号。

IF6: 间隔层和变电站层之间控制数据交换, 如监控后台发送给测控装置的保护控制命令。

IF7: 变电站层与远方工程师站的数据交换。

IF8: 间隔层间隔之间直接数据交换, 尤其是“五防”联/闭锁这样的快速功能。

IF9: 变电站层内数据交换。

IF10: 变电站(装置)和远方控制中心之间控制数据交换。

数字化变电站具有一次设备智能化、互感器数字化、二次设备网络化、传输介质光纤化、通信标准统一化、信息应用集成化六大特征。主要表现在: 硬件上由智能化一次设备(电子式互感器、智能化开关等)和网络化、数字化二次设备组成; 软件上以 IEC 61850 标准作为通信协议, 实现设备间充分的信息共享和互操作。数字化变电站典型网络结构如图 1-3 所示。

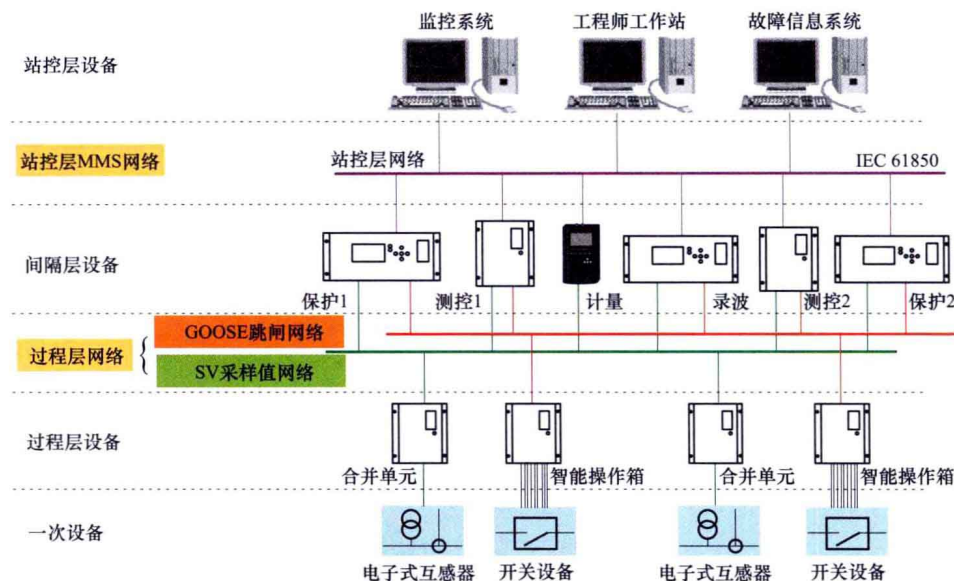


图 1-3 数字化变电站的网络结构

变电站数字化的程度可从图 1-4 中三个网络的数字化程度来判断:

(1) 站控层网络是否采用了 IEC 61850 协议; 站控层的协议由 IEC 61850 替代原来的 103 或 104。

(2) 开关量跳闸二次回路是否实现了网络化、数字化; 过程层 GOOSE 实现开关量信号采集传输及跳闸功能。

(3) 模拟量采集二次回路是否实现了网络化、数字化; 过程层 SV 实现模拟量采样及传输, 通过网络方式实现数据交换和共享。

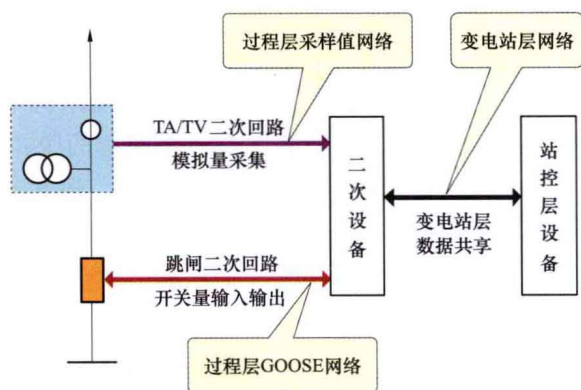


图 1-4 数字化变电站中网络数字化程度

### 1.2.4 智能化一次设备

开关设备是输配电网络的基础设备，一般分为一次设备和辅助设备两个部分：一次设备即开关设备的高压部分，用于高压绝缘、载流和开合等；辅助设备即开关设备的低压部分，用于主元件的控制和监测，随高压部分分散安装。

一次设备如断路器、隔离开关等高压部件，其技术已非常成熟，其故障率远低于控制设备的故障率。鉴于传统开关设备存在不足且电力系统要求的可靠性及自动化越来越高，随着电子技术的快速发展，催生了智能开关设备的概念。智能开关设备是指具有较高性能的开关设备和控制设备，配装有电子设备、变送器和执行器，不仅具有开关设备的基本功能，还具有附加功能，尤其是监测和诊断功能。目前，智能开关设备是智能变电站技术体系中技术相对滞后的环节。开关设备仅限于通过智能终端（也称智能操作箱，相当于控制执行、采集单元）与开关设备接口实现网络化操作和接入，与智能变电站信息化、自动化、互动化有较大的差距。目前智能化一次设备有以下三种表现形式：

(1) 机构执行器（如弹簧钳夹、液压阀即断路器的脱扣/合闸线圈、隔离开关或接地开关的电动机、弹簧或液压泵的电动机等）及其机电控制回路不变，按间隔设置智能终端和在线监测单元，分散安装于各断路器汇控柜，如图 1-5 所示。

(2) 机构执行器及其机电控制回路不变，按间隔设置智能终端，智能终端兼在线监测功能，分散安装于各断路器汇控柜，如图 1-6 所示。

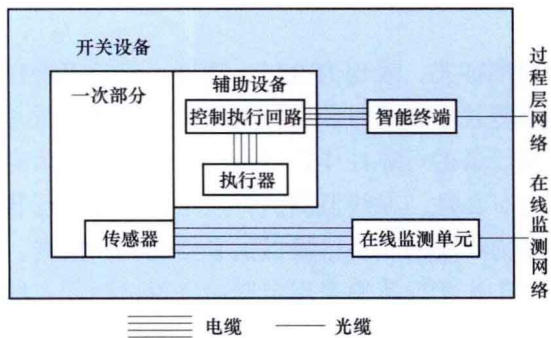


图 1-5 开关设备 + 智能终端 + 在线监测单元

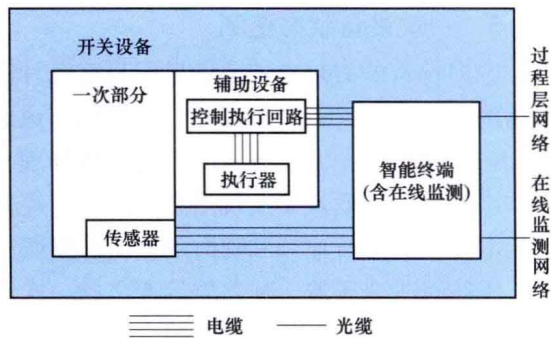


图 1-6 开关设备 + 智能终端（含在线监测单元）



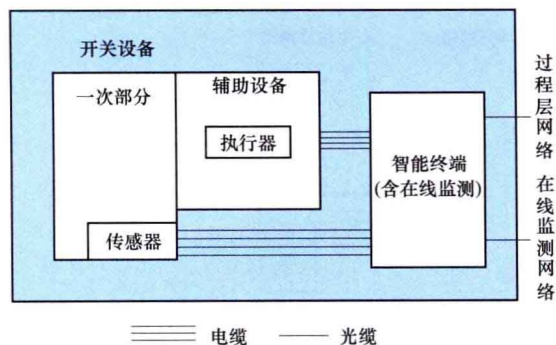


图 1-7 智能开关设备

线监测技术，不仅能够及时发现电气设备的早期缺陷，防止突发性事故发生，而且可以减少不必要的停电检修，将某些预试项目在线化，避免传统试验对电气设备“过度检修”所造成的巨大损失，实现对设备运行状况的综合诊断，促进电力设备由定期试验向状态检修过渡，有效延长设备使用寿命。

### (一) 智能终端

智能终端是一次设备的智能化接口设备，采用电缆与一次设备连接，采用光纤与保护、测控等二次设备连接。智能终端以 GOOSE 方式上传一次设备的状态信息，同时接收来自二次设备的 GOOSE 下行控制命令，实现对一次设备的实时控制功能。

### (二) 智能化一次设备

将传感器、微处理器、操作箱、通信接口等全部或部分部件集成于一次设备本体，集智能诊断和控制技术于一身，对外数据传送通过光缆实现。

将智能终端作为一次设备的智能化接口，实现智能一次设备的功能要求。在不改变现有的一次设备本体结构或是改动较小（如加装传感器等）的前提下，实现一次设备部分智能化功能。

对于保护、测控、通信、状态检测等各种组件与高压设备集成，需要充分考虑传统二次设备与一次设备融合的技术难度与复杂性。在技术发展的不同阶段，应考虑不同的技术方案，但原则上还是应在保证安全可靠性的前提下，尽可能采用设计紧凑的集成方案，同时兼顾经济性。

## 1.2.5 一次设备状态监测

电力设备的劣化、缺陷的发展具有统计性和前期征兆，表现为电气、物理、化学等特性参量的渐进变化，通过传感器、计算机、通信网络等技术，及时获取设备的各种特征参量并结合一定算法的专家系统软件进行分析处理，可对设备的可靠性作出判断，对设备的剩余寿命作出预测，从而及早发现潜在的故障，提高供电可靠性。在线监测的特点是可以对运行状态的电力设备进行连续和随时的监测和判断，为电力设备的状态检修提供必要的判断依据。

以往对于变压器、断路器等变电站一次设备的工作状况普遍采用定期检修预试制度，即定期停电后通过预防性试验（离线）以决定能否继续运行，存在需要停电、试验真实性和实时性差等缺点。

(3) 机构执行器不变，取消其机电控制回路，开关机构集成智能终端，智能终端实现原机电控制回路功能，直接驱动断路器的脱扣/合闸线圈、隔离开关的电动机、弹簧或液压泵的电动机等，智能终端兼在线监测功能，形成所谓智能机构，如图 1-7 所示。

为全面掌握开关设备的运行情况，保证电网的安全可靠性，更广泛地对开关设备进行监测成为一个趋势。采用在