

# 智能变电站

## 运维技术及故障分析

ZHINENG BIANDIANZHAN  
YUNWEI JISHU JI GUZHANG FENXI

高博 主编  
柯艳国 丁津津 副主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 智能变电站 运维技术及故障分析

ZHINENG BIANDIANZHAN  
YUNWEI JISHU JI GUZHANG FENXI

高博 主编

柯艳国 丁津津 副主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

为了方便变电站运维人员了解智能变电站相关知识,掌握智能变电站运维等相关技术,安徽省电力有限公司组织相关技术人员编写了本书。本书以智能变电站运维为主线,系统阐述了智能变电站运维技术、实际生产中相关技术问题的解决方法等,共分为7章,第1章介绍智能变电站的基础知识;第2章为智能变电站网络及设备功能特点;第3章为智能变电站报文及传输机制;第4章为智能变电站设备规范;第5章为智能变电站运维技术;第6章为智能变电站故障及异常处理;第7章为智能变电站典型故障举例。

本书可供电力系统智能变电站运行维护人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

智能变电站运维技术及故障分析/高博主编. —北京:中国电力出版社,2019.3  
ISBN 978-7-5198-2977-3

I. ①智… II. ①高… III. ①智能系统—变电所—电力系统运行 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第042148号

---

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:岳 璐(010-63412339)

责任校对:黄 蓓 太兴华

装帧设计:王英磊 左 铭

责任印制:石 雷

---

印 刷:三河市万龙印装有限公司

版 次:2019年3月第一版

印 次:2019年3月北京第一次印刷

开 本:710毫米×1000毫米 16开本

印 张:12.5

字 数:229千字

印 数:0001—2000册

定 价:80.00元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换

# 《智能变电站运维技术及故障分析》

## 编 委 会

主 任 张 健

副 主 任 胡世骏 田 宇

主 编 高 博

副 主 编 柯艳国 丁津津

参编人员 汪 玉 李远松 俞 斌 张 倩

谢 民 黄少雄 郑国强 徐 斌

朱胜龙 房雪雷 孙 辉 张 峰

李圆智 汪勋婷 陈洪波 郝 雨

陈庆涛 李端超 王同文 叶远波

邵庆祝 程登峰 罗 沙 高夏生

梁 肖 汪 伟 王 松 王 璨

诸钟虎 陈 伟 简燕红 杨经超

甄家林 李宾宾 李坚林 周立军

赵晓东 曹飞翔 周 坤

主 审 罗亚桥 汪胜和

## 前 言

作为智能电网建设发展的重要环节，智能变电站建设和变电站的智能化改造正在大力开展，今后现有的变电站将逐渐被智能变电站所替代。智能变电站运用了大量的新技术，这就对运行维护人员提出了更高的要求，而现阶段相当多的变电站运维人员对智能变电站的运行维护技术和实际生产中的技术问题等还缺乏必要的了解和认识，为了方便变电站运维人员了解智能变电站相关知识，掌握智能变电站运维等相关技术，安徽省电力有限公司组织相关技术人员编写了本书。

本书以智能变电站运维为主线，系统阐述了智能变电站运维技术、实际生产中相关技术问题的解决方法等，共分为7章，第1章的主要内容是智能变电站的基础知识；第2章的主要内容是智能变电站网络及设备功能特点；第3章的主要内容是智能变电站报文及传输机制；第4章的主要内容是智能变电站设备规范；第5章的主要内容是智能变电站运维技术；第6章的主要内容是智能变电站故障及异常处理；第7章的主要内容是智能变电站典型故障举例。

国网安徽省电力有限公司电力科学研究院承担了本书的编写工作，国网安徽省电力有限公司设备管理部和调度控制中心审阅了本书，并提出了一定的修改意见。

由于编写时间仓促，书中难免存有疏漏或不足之处，恳请读者批评指正。

# 目 录

## 前言

第 1 章	智能变电站的基础知识	1
1.1	智能变电站的技术演进及特点	1
1.2	智能变电站典型结构	6
第 2 章	智能变电站网络及设备功能特点	11
2.1	过程层网络	11
2.2	站控层网络	16
2.3	过程层设备	17
2.4	间隔层设备	25
2.5	站控层设备	28
2.6	智能一次设备	29
2.7	一体化电源	37
2.8	其他变电站相关设备	55
第 3 章	智能变电站报文及传输机制	58
3.1	阅读智能变电站报文的方法	58
3.2	智能变电站描述文件——SCL 文件	74
3.3	智能变电站报文传输机制	83
第 4 章	智能变电站设备规范	92
4.1	智能变电站设备一般规定	92
4.2	合并单元设备配置规范	97
4.3	智能终端设备配置规范	98
4.4	继电保护信息规范	99

4.5	继电保护装置远方操作	106
4.6	身份识别代码	107
4.7	时间同步管理	107
<b>第5章</b>	<b>智能变电站运维技术</b>	<b>109</b>
5.1	巡视与检查	109
5.2	运行注意事项	111
5.3	智能二次设备状态注意事项	115
5.4	SV和GOOSE相关功能软压板注意事项及典型操作票分析	117
5.5	智能设备检修压板注意事项	121
5.6	智能变电站典型安全措施注意事项	121
5.7	电流电压核相要点	123
5.8	现场第三方人员工作管理注意事项	125
<b>第6章</b>	<b>智能变电站故障及异常处理</b>	<b>126</b>
6.1	故障及异常处理主要原则	126
6.2	合并单元装置故障及异常处理	127
6.3	智能终端装置故障及异常处理	129
6.4	智能控制柜装置故障及异常处理	131
6.5	保护及安全自动装置故障及异常处理	131
6.6	继电保护与故障信息管理子站装置故障及异常处理	134
6.7	一体化监控系统	134
<b>第7章</b>	<b>智能变电站典型故障举例</b>	<b>137</b>
7.1	电磁干扰类	137
7.2	通信异常类	138
7.3	越限异常报文	145
7.4	对时系统故障	146
7.5	装置本身缺陷产生的各类故障	150
7.6	人为原因产生的各类故障	152
7.7	由于设计图纸与现场设备不一致引起的问题	156
7.8	一体化电源组件运行维护与异常处理	158
<b>附录</b>		<b>172</b>
<b>参考文献</b>		<b>192</b>

# 智能变电站的基础知识

## 1.1 智能变电站的技术演进及特点

智能变电站是采用先进、可靠、集成和环保的智能设备，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、计量和检测等基本功能，同时，具备支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策和协同互动等高级功能的变电站。

智能变电站主要包括智能高压设备和变电站统一信息平台两部分。智能高压设备主要包括智能变压器、智能高压开关设备、电子式互感器等。智能变压器与控制系统依靠通信光纤相连，可及时掌握变压器状态参数和运行数据。当运行方式发生改变时，设备根据系统的电压、功率情况，决定是否调节分接头；当设备出现问题时，系统会发出预警并提供状态参数等，在一定程度上降低运行管理成本，减少隐患，提高变压器运行可靠性。智能高压开关设备是具有较高性能的开关设备和控制设备，配有电子设备、传感器和执行器，具有监测和诊断功能。电子式互感器是指纯光纤互感器、磁光玻璃互感器等，可有效弥补传统电磁式互感器的缺点。变电站统一信息平台的功能有两个，一是系统横向信息共享，主要表现为管理系统中各种上层应用对信息获得的统一化；二是系统纵向信息的标准化，主要表现为各层对其上层应用支撑的透明化。

变电站的技术经过了多次演进，先后产生了常规综合自动化变电站、数字化变电站、智能变电站和新一代智能变电站。目前，智能变电站的运行管理已超出了对设备电源等外部设备的管理范畴，需要深入了解设备内部，全面掌握设备状态，以便在方式调整或紧急情况下从容应对。运行人员不仅要掌握智能变电站二次设备的连线方式，更要掌握设备之间的通信行为、逻辑关系及每根连线的数据传输内容。新一代智能变电站的一次接线方式、设备组合方式等较常规变电站有较大变化，刷新了电网运行人员的惯性认知，改变了长期以来的运行习惯，对运



行管理方式、运行操作规则、安全措施等产生了很大的影响。相关部门应及时调查、研究制定智能变电站的运行规程、操作手册等一系列规章制度。完备的制度体系是智能变电站安全稳定运行的基本保障。

### 1.1.1 常规综合自动化变电站到数字化变电站的演进

常规综合自动化变电站是将计算机技术和网络通信技术应用于变电站，取代强电一对一控制方式，实现站内监控和远方调控有效整合的变电站。

数字化变电站是由智能化一次设备和网络化二次设备分层构建，建立在 DL/T 860 (IEC 61850) 通信规范基础上，能够实现变电站内智能电气设备间信息共享和互操作的现代化变电站。IEC 61850 是基于通用网络通信平台的变电站自动化系统唯一国际标准，中文名为《变电站通信网络和系统》，由国际电工委员会制定，并于 2003 年发布。

在硬件结构上，数字化变电站首次将变电站设备依据所处地位划分为站控层、间隔层和过程层 3 个层次，并将以太网构架引入过程层，形成“三层三网”的构架体系。在软件结构上，数字化变电站标准建立了变电站设备统一信息模型和通信接口，设备间可无缝连接，实现了不同设备和不同功能的信息共享（互操作）。在此基础上，开始了由传统的综合自动化变电站向数字化变电站的演进。

2005 年以来，我国开始大力推进采用数字化变电站代替常规综合自动化变电站的工作。数字化变电站的本质特点在于就地数字化和光缆传输，这两点可看作专业分工的普遍原理在技术领域的实践应用。就地数字化避免了传统的多个保护测控设备需要进行模/数 (A/D) 转换的重复浪费，从源头上实现更高精度的 A/D 采集，更为经济可行；一、二次设备间需要传输的只有信息，而光缆无疑是信息传输最为合适的载体，具有带宽高、不受电磁干扰的显著优点，因而用光缆替代 10V/5A 这种大能量、传输信息量少的传统技术应顺理成章。从这两个技术出发，再加上信息建模和互操作方面的提升，可以说 IEC 61850 数字化变电站在“可靠、准确、简单、经济”等方面均有突出的优点。

综上所述，从常规综合自动化变电站演进到数字化变电站的优点如下：

- (1) 变电站的各种功能可共享统一的信息平台，避免设备重复，降低投资。
- (2) 便于变电站设备更新等改、扩建工作，降低生命周期成本。
- (3) 通信网络取代复杂的控制电缆，节省投资并降低火灾风险。
- (4) 减少中间环节，提升测量精度。

(5) 通过光缆传输，使用通信校验和自检技术，可从根本上保证信号的可靠性。



(6) 电子式互感器杜绝了传统互感器的 TA 断线导致高压危险、TA 饱和和影响差动饱和、电容式电压互感器 (Capacity Voltage Transformer, CVT) 暂态过程影响距离保护、铁磁谐振、绝缘油爆炸、六氟化硫 (SF<sub>6</sub>) 泄漏等问题。

(7) 新技术的采用将大量节约铁芯、铜线等金属材料, 在高电压等级变电站具有明显的经济性。

(8) 避免电缆带来的电磁兼容、传输过电压、交直流误碰和两点接地等问题。常规综合自动化变电站与数字化变电站之间的技术差异如表 1-1 所示。

表 1-1 常规综合自动化变电站与数字化变电站之间的技术差异

技术分类	常规综合自动化变电站	数字化变电站
系统架构	分层分布、开放式的计算机监控系统	
设备分层	“站控”“间隔”两层结构	“站控”“间隔”“过程”三层结构
间隔层设备	测控装置	测控、保护、故障录波等
过程层设备	无	“互感器+合并单元”“电力功能元件+智能组件”
通信规约	103 规约为主, 结合各厂商私有协议	IEC 61850
通信介质	WorldFIP、CAN 总线、以太网双绞线等	以太网双绞线、光纤
数据模型	因各厂商而异	IEC 61850 标准数据模型
遥测量传输方式	电气模拟量	数字量
测量系统精度	取决于测量系统各环节传感器精度	较常规综合自动化变电站更高
遥测量采样同步	在保护、测控装置内完成	合并单元负责完成
遥信、遥控、遥调量传输方式	电缆硬接线	网络软报文
遥信、遥控、遥调量传输延时	无	≤4ms
设备互操作	仅限于站控层与间隔层的测控装置间	全站非跨层级的所有智能二次设备
设备间连线	复杂	简单
控制电缆量	较大	较小
交换机数量	较少	较多
调试设备	试验电源、传统校验设备	数字化测试、校验仪等

### 1.1.2 数字化变电站到智能变电站的演进

2010 年初, 国家电网公司发布智能电网标准和研究框架, 全面启动整个智能



电网建设工作。智能电网是以特高压电网为骨干网架、各电压等级电网协调发展的坚强电网为基础,将现代先进的传感测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术与物理电网高度集成而形成的新型电网。它以充分满足用户对电力的需求和优化资源配置的要求,确保电力供应的安全性、可靠性和经济性,满足环保约束,保证电能质量,适应电力市场化发展等为目的,实现为用户提供可靠、经济、清洁、互动的电力供应和增值服务。

相比于数字化变电站,智能变电站拥有更强大的高级应用潜力和更灵活的协调互动功能。针对智能变电站,人们提出了增强变电站系统的适应性及智能愈合的概念,使智能变电站逐渐形成了特有的技术特征。其技术特征主要是增加了实时设备状态监测、完备的辅助控制功能、统一的数据管理平台。

数字化变电站与智能变电站之间的技术差异如表 1-2 所示。

表 1-2 数字化变电站与智能变电站之间的技术差异

技术分类	数字化变电站	智能变电站
设备状态监视	无	配置设备状态监测系统,对关键设备进行实时在线监测,个别监测量采用离线监测手段实现。为计划检修提供数据基础支撑
监控系统功能	测量、控制等常规功能	测量、控制、防误操作、保护管理等功能一体化管理
设备功能	各专业功能由独立装置各自实现	设备功能高度集成
辅助控制系统	系统分散,功能独立实现,无相互协同	建立了服务于运行管理的全面的辅助控制系统,各子功能模块根据需要相互协同,实现智能化管理
数据管理	根据专业划分,自动化、保护等数据分别独立管理	实现站内 I、II、III 区全业务数据的统一管理,包括数据采集与监视控制系统(Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)、保护、录波、计量、状态监测、辅助控制等
应用扩展	无	基于对站内全景数据的深度挖掘,实现智能告警与故障综合分析、事故信息综合分析决策等站内高级应用功能
智能调度支持	无	实现了顺序控制、支撑经济运行与优化控制、源端维护等协同互动功能
建设方式	厂家分散供货,现场安装调试	一体化设计、工厂化加工调试、集成供货、模块化安装、装配式建设,如预制舱式二次组合设备、装配式建筑物等

### 1.1.3 智能变电站到新一代智能变电站的演进

随着智能变电站技术的不断发展,国内和国际上提出了集成式隔离断路器、智能变压器、气体绝缘开关柜及层次化保护控制系统等诸多新技术、新概念,并



逐渐开展了新一代智能变电站的设计、调试与建设。

2012年3月,国家电网公司开始着手新一代智能变电站技术方案的研究与论证。新一代智能变电站在吸收现有智能变电站工程设计、建设及运行等经验的基础上,以“系统高度集成、结构布局合理、装备先进适用、经济节能环保、支撑调控一体”为建设目标,重点攻克隔离断路器、二次设备集成舱、一体化业务平台、层次化保护控制等关键技术,研制完成隔离断路器、集成式测控装置等设备。新一代智能变电站的保护控制层级更加完整、性能更加可靠,基于一体化平台的顺序控制、智能告警等高级功能,其实用化水平进一步提升。

相比于智能变电站,新一代智能变电站的优势主要体现在:系统高度集成、结构布局合理、装备先进适用、经济节能环保、支撑调控一体。着力优化布局,缩减建筑面积,户外站、户内站分别采用二次设备集成舱或二次装置就地布置;全面贯彻“一体化设计、一体化供货、一体化调试”理念,显著提高了设备安装调试效率,建设工期较常规平均缩短了四分之一。

智能变电站与新一代智能变电站之间的技术差异如表1-3所示。

表1-3 智能变电站与新一代智能变电站之间的技术差异

技术分类	智能变电站	新一代智能变电站
间隔内一次设备	断路器、隔离开关、互感器等独立配置、独立安装	集成式隔离断路器将常规断路器、隔离开关、接地开关、互感器等设备功能集于一身,且集成状态监测功能,大大提高了设备及功能的集成度。满足相关内/外部条件时取消母线/出线侧隔离开关
间隔内电气接线	同常规综合自动化变电站	改变了接线形式,简化了间隔内电气接线
间隔内配电装置形式	同常规综合自动化变电站	集成式隔离断路器、气体绝缘母线(Gas Insolated Bus, GIB)等设备组合使得配电装置尺寸较常规空气绝缘的常规配电装置(Air Insolated Switchgear, AIS)方案大大缩减,有效减少配电装置占地及站内道路用地,配电装置布置形式大大简化
智能电力变压器	变压器+智能组件	变压器+智能组件,对于110kV变压器智能组件与变压器本体集成
开关柜	常规开关柜	可配置气体绝缘开关柜,二次设备与开关柜一体化集成设计
二次系统	一体化监控系统	层次化保护控制系统。在一体化监控系统的基础上,设置了站域保护控制系统和就地级保护两级保护。构建了一体化业务平台,站内不划分安全I、II区
测控装置	220kV测控独立配置	测量、控制、计量、电力系统同步相量测量装置(Phasor Measurement Unit, PMU)功能集成,装置功能集成度进一步提升

## 1.2 智能变电站典型结构

智能变电站是由智能化一次设备（电子式互感器、智能化开关等）和网络化二次设备分层（过程层、间隔层、站控层）构建的。根据 DL/T 860（IEC 61850）协议的规定，智能变电站自动化系统可以从功能上划分为“三层”，分别是站控层、间隔层、过程层，如图 1-1 所示。

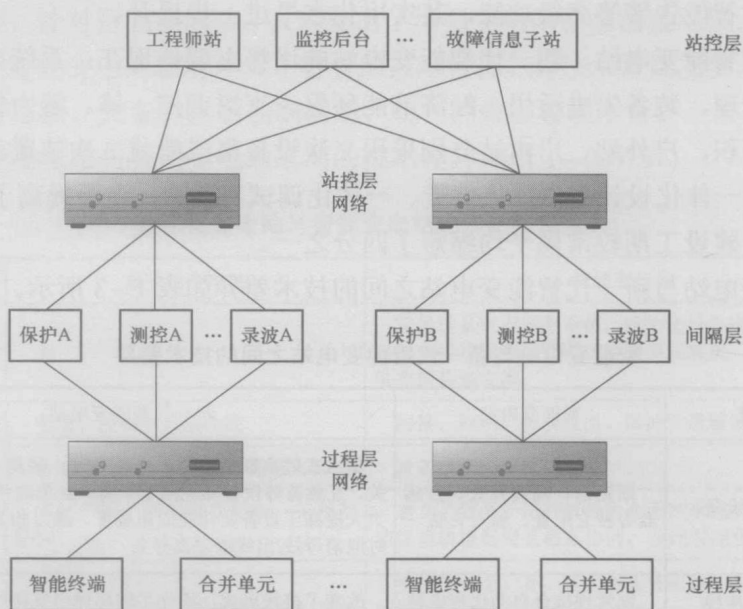


图 1-1 智能变电站网络结构图

站控层位于变电站的顶层，包括工程师站、监控后台、故障信息子站等，其主要功能是汇总实时数据，实现全站设备的监视、告警、控制等交互功能，同时执行调度下达的操作命令；间隔层位于站控层与过程层的中间，包括保护、测控和录波等二次装置，其主要任务是通过智能终端对一次设备进行保护和控制，实现本间隔内的操作闭锁，并进行一次电气量的运算和计量；过程层位于智能变电站的最底层，典型设备包括智能终端（执行单元）、合并单元等，其主要功能是进行一次电气量采集、执行操控命令和检测设备状态。

### 1.2.1 智能变电站体系架构

不同电压等级的智能变电站体系结构因重要性和功能性不同而有所区别，具



体为 110kV 智能变电站体系架构、220kV 智能变电站体系架构和 500kV 智能变电站体系架构。

### 1. 110kV 智能变电站体系架构

110kV 智能变电站装置按单套配置，保护直接采样、直接跳闸，当接入元件数较多时，可采用分布式保护。分布式保护由主单元和若干个子单元组成，主单元实现保护功能，子单元执行采样、跳闸功能。110kV 智能变电站配置一套测控装置，通用面向对象的变电站事件（Generic Object Oriented Substation Event, GOOSE）网络、采样值（Sampled Value, SV）网络组成单网运行，制造报文规范（Manufacturing Message Specification, MMS）网络组成单网运行，如图 1-2 所示。

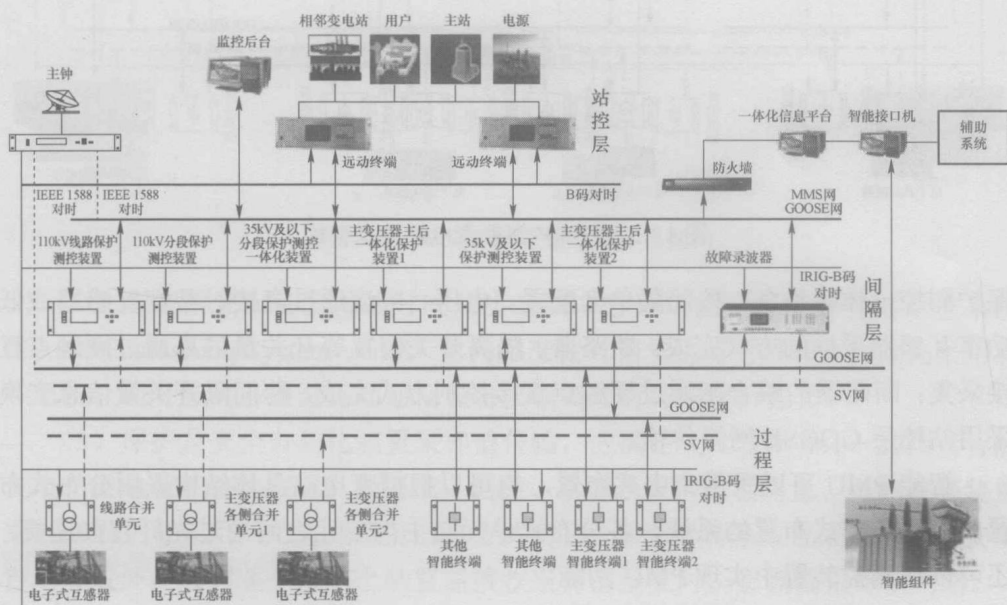


图 1-2 110kV 智能变电站体系架构

### 2. 220kV 智能变电站体系架构

220kV 智能变电站的主变压器保护配置两套独立的主变压器后一体变压器电量保护和一套本体智能单元（含非电量保护）；主变压器各侧均配置独立的测控装置及一套本体测控装置。110kV 变压器保护按单套配置，每套保护包含完整的主、后备保护功能；变压器各侧合并单元按单套配置，中性点电流、间隙电流并入高压侧合并单元，如图 1-3 所示。

220kV 线路配置两套独立的保护装置，测控装置配置一套测控装置。

110kV 侧线路配置一套保护测控一体化装置。35kV 及以下电压等级侧采用

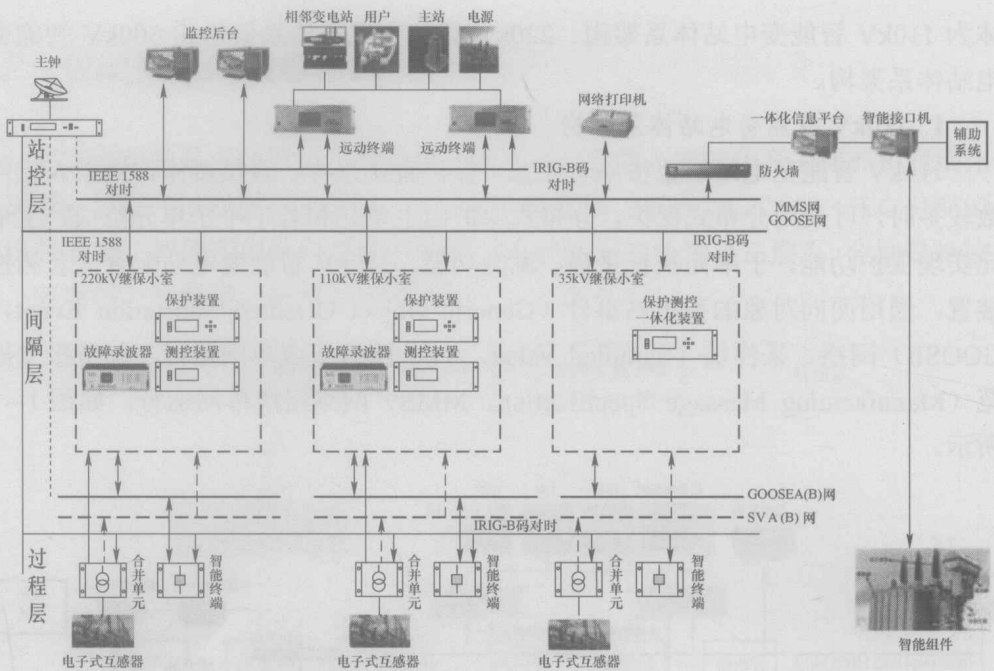


图 1-3 220kV 智能变电站体系架构

保护测控一体化设备，按间隔单套配置。电压、电流通过直接对常规互感器或低功率互感器采样的方式完成；断路器、隔离开关位置等开关量信息通过硬触点直接采集；断路器的跳合闸通过硬触点直接控制方式完成。跨间隔开关量信息交换采用站控层 GOOSE 网络传输。

智能 PMU 可以采用集中式布置，也可以根据变电站具体结构采用分布式布置，对于分布式布置的系统，各分布式单元与主控单元之间通过光纤直接连接；还可以在测控装置中实现 PMU 功能。

GOOSE 网络、SV 网络组成双网运行，MMS 网络组成双网运行。

### 3. 500kV 智能变电站体系架构

500kV 智能变电站体系架构与 220kV 智能变电站基本相同，仅增加了安稳装置等一些保障枢纽变电站安全稳定的设备，如图 1-4 所示。

#### 1.2.2 智能变电站二次系统配置原则

智能变电站二次系统配置原则如下：

(1) 智能变电站自动化系统遵循 DL/T 860.5《变电站通信网络和系统 第 5 部分：功能的通信要求和装置模型》，在功能逻辑上由站控层、间隔层、过程层组成，站内信息宜共享，保护故障信息、远动信息、微机防误系统不能重复采集。

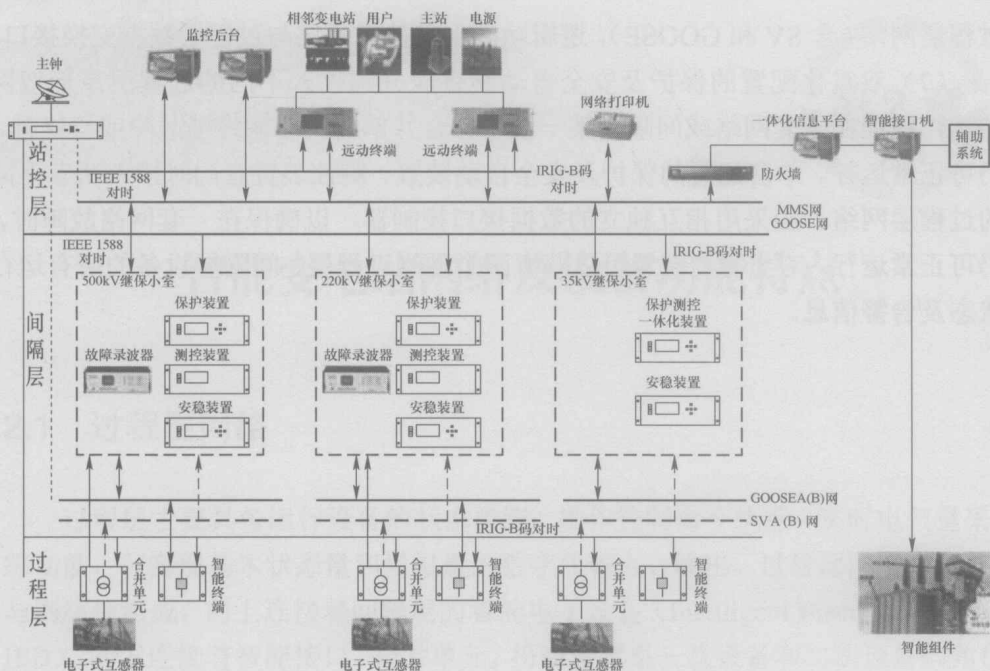


图 1-4 500kV 智能变电站体系架构

(2) 智能站宜配备公用的时间同步系统，宜采用北斗系统和全球定位系统 (Global Positioning System, GPS) 单向标准授时信号进行时钟校正，优先采用北斗系统。同时应具备通过远动通信设备接收调度时钟同步的能力。

(3) 保护及安全自动化装置采样值传输，应满足 Q/GDW 441—2010《智能变电站继电保护技术规范》的要求；测控、故障录波、相量测量、电能表等装置采样值报文可采用网络方式或点对点方式传输；每个间隔除应直采的保护及安全自动装置外，仍有 3 个及以上装置需接收采样值报文时，宜设置采样值网络。

(4) 站控层关键设备应包括：监控系统、远动终端、一体化信息平台、智能接口机、网络通信分析系统、打印机等。站控层网络可传输 MMS 报文和 GOOSE 报文，逻辑功能上覆盖站控层之间的数据交换接口、站控层与间隔层之间的数据交换接口。

(5) 间隔层关键设备应包括：测控装置、保护装置、故障录波器、电能计量装置、区域稳定装置等。间隔层由若干个二次子系统组成，在站控层及网络失效的情况下，仍能独立完成间隔层设备的就地监控功能。间隔层网络可传输 MMS 报文和 GOOSE 报文，逻辑功能上覆盖间隔层内数据交换接口、间隔层与站控层数据交换间隔、间隔层之间数据交换接口。

(6) 过程层及一次设备包括智能终端、电子式互感器、合并单元及智能组件。



过程层网络(含 SV 和 GOOSE),逻辑功能上覆盖间隔层与过程层数据交换接口。

(7) 双重化配置的保护及安全自动装置应分别接入不同的过程层星形双网结构,保证在一套网络或间隔内某一设备如合并单元、智能终端故障或检修时,仍可正常运行。单套配置的保护及安全自动装置、测控装置宜同时接入两套不同的过程层网络。应采用相互独立的数据接口控制器,以确保在一套网络故障时,仍可正常运行。对于测控装置可以获取两个网络过程层、间隔层设备的所有运行状态及告警信息。