

# 智能变电站技术及其工程应用

王庆兵

北京市京怀电力工程安装有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i3.6637

**[摘要]** 智能变电站是一种先进的电力系统管理和监控方案，通过整合先进的数字技术，实现了对电力设备的实时监测、数据分析和远程控制。本文详细探讨了智能变电站的理论概述、技术特征以及具体应用，包括电子式互感器的应用、基于 IEC61850 通信标准的系统设计、智能化终端设备、数据存储与处理系统、数字化保护装置和远程监控与控制系统等方面。此外，对智能变电站工程主要方案实施中的设备布置和网络布置进行了详细阐述。

**[关键词]** 智能变电站；自动化技术；电气控制

## Smart substation technology and its engineering application

Wang Qingbing

Beijing Jinghuai Electric Power Engineering and Installation Co., LTD

**[Abstract]** Smart substation is an advanced power system management and monitoring scheme, through the integration of advanced digital technology, to realize the real-time monitoring, data analysis and remote control of power equipment. This paper discusses the theoretical overview, technical characteristics and specific applications of smart substation in detail, including the application of electronic transformer, system design based on IEC61850 communication standard, intelligent terminal equipment, data storage and processing system, digital protection device and remote monitoring and control system. In addition, the equipment layout and network layout in the implementation of the main scheme of the smart substation project are elaborated in detail.

**[Key words]** smart substation; automation technology; electrical control

## 引言

随着科技的不断进步，电力系统管理正迎来数字化变革的时代。智能变电站作为电力系统先进管理和监控的代表，通过数字技术的应用，实现了对电力设备的高效监测、智能控制以及远程管理。本文旨在深入剖析智能变电站的技术特征和具体应用，为电力系统的现代化提供可靠而先进的解决方案。

## 1 理论概述

智能变电站是一种先进的电力系统管理和监控方案，通过整合先进的数字技术，实现对电力设备的实时监测、数据分析和远程控制。这种变电站利用传感器、通信设备和先进的数据处理技术，将电力系统中的各种数据转化为数字信号，并通过网络传输到中央控制系统。智能变电站的关键在于其智能化和自动化的能力，使得电力运营商能够更加精确地监测电力系统的运行状况、预测潜在故障，并实时响应，提高电力系统的稳定性和可靠性。此外，智能变电站还能够实现对电力设备的远程监控和控制，减少人为操作的风险，提高电力设备的安全性。这一先进的电力管理方案为能源行业带来了效益提升、成本降低以及更加可持续的能源运营模式。



图1 智能变电站

## 2 自动化技术在智能变电站中的具体应用

### 2.1 变电站中电子式互感器的应用

智能变电站中，电子式互感器作为一项关键技术得到了广泛应用。这些先进的互感器通过采用数字化方式获取电流和电压信息，显著提高了测量的准确性和可靠性。电子式互感器不仅具有更高的精度，同时还能够适应复杂多变的电力系统工况。其数字输出使得互感器能够直接与数字化系统通信，通过标准的通信协议如 IEC61850，实现与其他设备的无缝集成。此外，电子式互感器还具备更强大的通信和自诊断能力，能够实

时监测自身状态,从而提高了系统的稳定性和可维护性。这种数字化互感器的应用使得变电站能够更加灵活地应对电力系统的需求,为实现高效、智能、可靠的电力传输和分配奠定了坚实的基础。根据电子互感器工作的原理来看,主要用两种:①基于法拉第光效应或者普克尔效应的无源式;②基于罗科夫斯基线圈的有源式。

## 2.2 基于 IEC61850 通信标准的变电站系统

按照 IEC61850 的相关标准规定,110kV 智能变电站从逻辑的角度上主要是由站控层、间隔层、过程层三个部分组成。

### 2.2.1 站控层

基于 IEC61850 标准的变电站系统站控层的设计标志着电力系统自动化迈向了更智能、高效的年代。该标准为电力设备之间的通信提供了一种统一的框架,使得不同厂家的设备能够以一种协同的方式进行互联。通过站控设备的模型化描述,系统实现了设备之间的智能交互,从而提高了站控系统的整体效率。引入 GOOSE 通信机制进一步加速了站控信息的传递速度,确保了系统在关键时刻的快速响应。同时,支持远程监控和控制的功能使得操作人员可以实时管理变电站设备,提高了系统的可操作性和远程管理效率。

### 2.2.2 间隔层

在 110kV 变电站系统中,隔离层的智能设备遵循 IEC61850 的相关标准,确保其工作状态符合规范要求。特别是线路监测设备,也按照 IEC61850 的规范进行了模型化和通讯,采用数字接口的形式进行输入。然而,值得注意的是,变电站的线路纵差保护装置仍然采用传统的模拟装置,并在电流回路上使用常规的模拟输入方法。

备用设备方面,110kV 变电站也按照 IEC61850 国际标准建立,其中电流和电压回路以数字接口形式输入。在变电所中,主变差动保护、后备保护和测控装置均经过模型化和通讯处理,实现了对整个控制回路主变 GOOSE 控制网络的有效运行。然而,对于纵差保护装置,主要采用硬接点的方式,且监测设备的相关报警遥信量主要通过硬接点进行传输。

### 2.2.3 过程层

根据变电站运行情况,在变电站的一次设备方面,包括断路器、刀闸等尚未具备数字化基础,因此通过操作箱实现对整个控制单元的遥感信息操控。通信则主要依赖于工艺层 GOOSE 网络完成操作箱与二次装置之间的信息传输。对于线路纵差 TA,仍然采用传统的电磁互感器,而在电流方面,主要通过模拟量的方式将其传输至二次设备。其他 TA、TV、主变高压侧等则使用光学电子式互感器和分压原理的电压互感器。值得注意的是,在变电站的主变低压侧,采用集成电子式 TA/TV 的方式,传输功能通过模拟测量单元将其数字化后传送给相应的二次装置。这说明电站在一次设备的数字化方面尚存在一些限制,但通过在二次设备中引入数字化技术,逐步提升系统的智能化和信息传输效率。

## 2.3 110kV 变电站通信网络结构分析

110kV 变电站通信网络结构设计显得相当重要,直接关系到整个变电站二次系统信息的传输效率和安全性。在站控层网络方面,使用常规的工业级工作网络实现交换设备的构成,而过程层则采用双网网络措施。主变控制层则依据 IEC61850 标准,将主变相关的 IED 和智能操作箱连接到工业级网络设备,通过合并各个单元实现对电流和电压采样值的传输。

为实现数字化,网络设备需满足高要求,110kV 变电站主要采用以太网交换机。这类交换机具备 QoS、优先级、组播等优势,同时开放 SNMP 功能,使得变电站的电磁兼容性高,适应广泛的工作温度范围,能够实现直流供电,而且无需风扇设计即可实现诸如警告和端口流量配置等功能。这种网络结构为 110kV 变电站提供了高效、可靠、安全的通信基础,促进了系统的数字化发展。

## 2.4 智能化终端设备

首先,智能化终端设备在监控方面通过先进的传感器和监测技术,能够实时获取变电站各个参数的数据。这有助于运维人员及时发现潜在问题,提前采取措施,防范运行风险。同时,用户友好的人机界面使得监测数据的可视化呈现,更易于理解和分析。

其次,智能化终端设备在操作方面提供了便捷的手段。通过先进的控制技术,运维人员可以远程操控设备,实现对变电站的远程控制。这样的操作方式大大提高了变电站的灵活性和响应速度,使得在复杂环境下的运维工作更为高效。

最后,智能化终端设备在维护方面通过自动化的诊断和报警系统,能够及时发现设备的故障和异常,减少了人工巡检的工作量。此外,设备的智能诊断功能还有助于提前预测设备寿命和维护周期,优化了维护计划,降低了运维成本。

## 2.5 数据存储与处理系统

首先,针对历史数据的存储需求,110kV 变电站通常采用高性能服务器作为数据的中心处理单元。这些服务器具备足够的计算能力和存储容量,能够快速、可靠地记录和存储来自各个设备的历史性能数据。这为后续的数据分析、故障诊断以及运行优化提供了基础。

其次,为了执行各种保护算法,110kV 变电站使用高效的数据库系统。这些系统能够迅速响应保护装置的需求,提供实时的数据查询和更新。通过数据库的支持,变电站能够实现对电网状态的实时监测,及时采取保护措施,确保系统的安全稳定运行。

## 2.7 数字化保护装置

首先,数字化保护装置采用先进的数字信号处理技术,能够对电力系统中的各种电压、电流等参数进行高速、精确的采样和处理。相较于传统的模拟保护装置,数字化装置在信号处理方面更为灵活,具备更高的精度和抗干扰能力,从而能够更准确地感知电网的实际状态。

其次,数字化保护装置支持多种保护功能的集成,具有灵活可编程的特点。通过软件配置和升级,可以实现对不同工况下的多重保护策略的快速切换和适应,满足电力系统工作环境的复杂多变性。这种灵活性使得数字化保护装置更适用于现代电力系统中频繁变化的运行条件。

## 2.7 远程监控与控制系统

远程监控与控制系统在智能变电站中充当着关键的角色,通过实现对变电站的远程实时监测和操控,有效提高了系统的远程管理水平。

首先,远程监控系统通过现代通信技术,实现了对变电站各个关键参数的实时监测。无论是电流、电压、频率等基本参数,还是设备运行状态、故障信息等,都可以通过远程监控系统传输到中央监控中心。这种实时监测的能力使运维人员能够及时了解变电站的运行状况,快速响应异常情况,提高了系统

的故障诊断和处理效率。

其次，远程控制系统使运维人员能够通过远程方式对变电站进行操作和控制。无论是切换设备状态、执行保护措施，还是调整设备参数，都可以通过中央监控中心的操作界面实现。这种远程操控的灵活性不仅提高了操作的便捷性，也降低了现场操作的风险，特别是在某些特殊环境或危险区域的情况下，

远程操控系统显得尤为重要。

### 3 智能变电站工程主要方案实施

#### 3.1 设备布置

智能变电站系统按逻辑功能划分为过程层、间隔层、站控层设备。各逻辑功能由相关物理设备实现，单一物理设备可以实现多个逻辑功能。具体布置如表1所示：

表1 智能变电站系统设备布置

层次	主要组成	功能与特点
站控层	-自动化站级监视控制系统 -通信系统 -对时系统-智能远动机	-实现全站设备的监视、控制、告警及信息交互 -数据采集和监视控制 (SCADA) -提供人机交互界面 -一体化电网运行智能系统
间隔层	-继电保护装置 -系统测控装置 -监测功能组主 IED -计量-智能录波器 -相量测量装置 -站域保护控制装置	-实现间隔的测量、控制、保护、计量、监测等功能 -多合一装置提高集成化水平 -配置站域保护控制装置提高运行可靠性与速动性
过程层	-变压器、断路器、隔离开关、电流/电压互感器等一次设备 -智能组件 -智能电子装置	-一次设备智能化和采样数字化为建设目标 -实现一次设备测量、控制及监测信息的数字化采集与网络化传输 -支持或实现电测量信息状态信息的实时采集和传送 -配置在线监测应用提高在线监测水平 -配置智能作业调控中心、云计算大数据分析平台实现设备的在线监测 -综合实现远动、电能量、PMU、保护及故障录波信息、在线监测、AVC、辅助服务等功能 -满足实时性和可靠性要求工作可靠、结构简单、易于维护的架构

上述表格总结了智能变电站的系统层次、主要组成、功能与特点。站控层实现对全站设备的监视和控制，采用一体化网络结构；间隔层实现对间隔的测量、控制、保护等功能，多合一装置提高集成化水平；过程层实现一次设备智能化和采样数字化，配置在线监测和智能作业调控中心；通信网络采用工作

可靠、结构简单的架构，满足实时性和可靠性要求。

#### 3.2 网络布置

主要由过程层网络、变电站层网络及 GOOSE 网络三部分构成。具体布置见表2：

表2 智能变电站网络布置

网络类型	描述	主要功能
过程层网络	点对点的光纤以太网，用于监测并保护装置与光 CT/PT 合并器之间的通信过程，CT 合并器一般按间隔布置。	监测并保护装置与光 CT/PT 合并器的通信过程
变电站层网络	采用星型方式连接，依据以太网进行组网，用于监测并保护装置与后台系统之间的通信过程，通常采用 IEC61850-8 进行网络通信。	监测并保护装置与后台系统的通信过程
GOOSE 网络	用于执行测控、控制输出、开关量输入以及保护各装置间联锁信息的任务，主要通过 GOOSE 报文进行通信。	执行测控、控制输出、开关量输入，传递保护信息，实现各装置之间的联锁任务。

上述表格总结了智能变电站的网络类型，包括过程层网络、变电站层网络以及 GOOSE 网络。过程层网络是点对点的光纤以太网，用于监测装置与光 CT/PT 合并器的通信；变电站层网络采用星型连接，依据以太网进行组网，用于监测装置与后台系统的通信；GOOSE 网络通过 GOOSE 报文执行测控、控制输出、开关量输入以及传递保护信息。

### 4 结束语

智能变电站的广泛应用为电力系统带来了诸多益处，提高了系统的稳定性、可靠性和远程管理效率。通过电子式互感器、IEC61850 通信标准等先进技术的运用，智能变电站在数据采集、处理、传输方面取得了显著的进展。随着智能变电站工程的不断推进，电力行业将迎来更加智能、高效的未来。

### [参考文献]

- [1]程远,樊金泽,易斌.智能变电站自动化系统软件的可靠性评估方法研究[J].电工技术,2018(20):51-53.
- [2]周嫣蕾,傅笑梅.智能变电站的建设[J].光源与照明,2022(4):123-125.
- [3]刘千宽,刘宏君,丁晓兵,等.服务于变电站数字化设计的二次设备建模技术研究[J].电力系统保护与控制,2021,49(2):166-172.
- [4]陈文杰.基于 IEC61850 的智能变电站技术的实用化探讨[D].广州:华南理工大学,2012.
- [5]周井生.智能变电站一次设备在线监测系统的研究[J].中国高新技术企业,2012(19):45-47.