

# 智能变电站建设关键技术研究

韩 伟

内蒙古电力(集团)有限公司鄂尔多斯供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 017010

**摘 要:** 伴随电力行业的迅猛发展与智能化技术的持续革新,智能变电站作为智能电网的关键构成部分,其建设核心技术的探究具备显著的实际价值。本文着重剖析了智能变电站建设所涉及的关键技术,涵盖智能一次设备技术、智能二次设备技术、通信网络技术以及高级应用功能技术等,详细阐述了这些技术的原理、特性与当前应用状况,并针对智能变电站建设进程中遭遇的难题给出了相应解决措施。通过对关键技术的深入研究,期望为智能变电站实现高效、稳定建设提供理论依据与技术指引,进而促进智能电网的进一步发展。

**关键词:** 智能变电站;关键技术;智能一次设备;智能二次设备;通信网络

## 1 引言

智能变电站借助先进、可靠、集成度高且低碳环保的智能装置,遵循全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化的基本准则,可自主实现信息采集、测量、控制、保护、计量与监测等基础功能,还能按需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。智能变电站建设是智能电网建设的关键一环,对提升电网可靠性、经济性与智能化程度意义重大。但智能变电站建设涵盖诸多关键技术,其研发与应用水准直接关乎智能变电站的性能与质量。所以,深入探究智能变电站建设关键技术具有重要理论与实践价值。

## 2 智能变电站建设关键技术概述

### 2.1 智能一次设备技术

智能一次设备作为智能变电站的根基所在,主要涵盖智能变压器、智能断路器以及智能互感器等类别。这些设备具备自诊断、自监测、自调节等功能,能够实现设备状态的实时感知和信息的数字化传输。

#### 2.1.1 智能变压器

智能变压器通过在变压器本体上安装各种传感器,如温度传感器、压力传感器、局部放电传感器等,实时监测变压器的运行状态,包括油温、绕组温度、油位、气体含量、局部放电等参数。同时,利用智能控制单元对监测数据进行分析 and 处理,实现对变压器的智能控制,如自动调节冷却系统、自动投切无功补偿装置等。此外,智能变压器还具备与上级监控系统的通信功能,能够将设备状态信息及时上传,为电网的运行调度提供决策依据。

#### 2.1.2 智能断路器

智能断路器集成了传感器、微处理器、通信模块等,能够实时监测断路器的机械特性、电气参数等运行

状态信息。通过对这些信息的分析,智能断路器具备提前察觉潜在故障的能力,可达成故障的早期预警与预防性维护。当故障出现时,它能迅速且精准地切断故障电流,还拥有自适应重合闸功能,根据故障类型和电网运行状态自动决定是否重合闸,提高电网的供电可靠性<sup>[1]</sup>。此外,智能断路器还可以实现与智能变电站其他设备的协同控制,优化电网的运行方式。

#### 2.1.3 智能互感器

智能互感器运用电子式互感器技术,把传统互感器的模拟信号转变为数字信号来传输。相较于传统电磁式互感器,智能互感器具备体积小、重量轻、动态范围广、抗干扰能力佳等优势。而且,智能互感器能直接输出数字信号,可与智能变电站的数字化通信网络实现无缝对接,减少了信号转换步骤,提升了测量的精准度与可靠性。智能互感器主要有电子式电流互感器(ECT)和电子式电压互感器(EVT),在智能变电站的测量、保护及控制系统里作用关键。

### 2.2 智能二次设备技术

智能二次设备是智能变电站的核心,主要包括智能终端、合并单元、保护测控装置等。这些设备实现了二次系统的数字化、网络化和智能化,提高了二次系统的性能和可靠性。

#### 2.2.1 智能终端

智能终端是一种智能化的二次设备,主要用于实现一次设备与二次系统之间的信息交互和控制。它接收来自一次设备的状态信息,如开关位置、刀闸位置、温度等,并将这些信息转换为数字信号上传至通信网络。同时,智能终端接收来自保护测控装置的控制命令,对一次设备进行操作控制,如断路器的分合闸、刀闸的投切等。智能终端具备高可靠性和实时性,能够满足智能变

电站对设备控制和状态监测的要求。

### 2.2.2 合并单元

合并单元核心作用在于同步采集并处理多个电子式互感器传来的数字信号，随后按既定格式打包数据上传至通信网络。它确保了不同电子式互感器采样数据的同步性，为保护测控装置提供精准测量数据。在智能变电站里，合并单元常与电子式互感器配合使用，达成互感器与二次设备间的数字化接口，简化二次接线，提升系统可靠性。

### 2.2.3 保护测控装置

保护测控装置是智能变电站中达成保护、测量、控制等功能的重点设备。其运用先进微处理器技术与数字化通信技术，可实时采集合并单元和智能终端的数据并加以分析处理，进而实现对电力设备的保护与控制。相较于传统保护测控装置，智能变电站的保护测控装置集成度更高、数据处理能力更强、通信功能更灵活<sup>[2]</sup>。它能依据电网运行状态和故障状况，自动调整保护定值与控制策略，提升保护可靠性与选择性。此外，该装置还支持远程维护与在线升级，便于设备运行管理与维护。

## 2.3 通信网络技术

通信网络是智能变电站信息传输的通道，其性能直接影响到智能变电站的运行效率和可靠性。智能变电站采用分层分布式的网络架构，主要包括站控层网络、间隔层网络和过程层网络。

### 2.3.1 站控层网络

站控层网络主要负责站内监控主机、远动工作站、工程师站等设备之间的信息交互，实现变电站的运行监视、控制操作、数据管理等功能。站控层网络通常采用以太网技术，具有较高的带宽和传输速率，能够满足大量数据的实时传输需求。同时，为了保证网络的安全性和可靠性，站控层网络采用了冗余设计、访问控制、加密传输等安全措施。

### 2.3.2 间隔层网络

间隔层网络连接着各个间隔的保护测控装置、智能终端等设备，实现间隔内设备之间的信息共享和协同控制。间隔层网络一般采用工业以太网或现场总线技术，具有实时性好、抗干扰能力强等特点。在智能变电站中，间隔层网络通过标准化的通信协议，如IEC 61850标准，实现了设备之间的互操作性，提高了系统的集成度和可扩展性。

### 2.3.3 过程层网络

过程层网络是智能变电站中实现一次设备与二次设备之间信息交互的关键网络，主要传输采样值（SV）和

面向通用对象的变电站事件（GOOSE）报文。过程层网络对实时性和可靠性要求极高，通常采用高速以太网技术，并采用点对点或组网的方式进行数据传输。为了确保报文的实时传输，过程层网络采用了优先级队列、时间同步等技术手段，减少报文的传输延迟和抖动。

## 2.4 高级应用功能技术

智能变电站的高级应用功能是智能变电站区别于传统变电站的重要标志，主要包括在线监测与诊断、智能告警与分析决策、顺序控制、源端维护等功能。

### 2.4.1 在线监测与诊断

在线监测与诊断功能借助对智能一次、二次设备实时监测数据的剖析处理，达成设备运行状态评估与故障诊断<sup>[3]</sup>。运用大数据分析、人工智能等技术，深度挖掘并分析设备历史与实时数据，提前察觉设备潜在故障隐患，为设备维护检修提供决策支撑。此功能可提升设备运行可靠性，减少设备故障，降低运维成本。

### 2.4.2 智能告警与分析决策

智能告警与分析决策功能对变电站内的各种告警信息进行集中管理和分析，通过关联分析、故障推理等技术，快速准确地定位故障原因，并提供相应的处理建议。同时，该功能还可以根据电网的运行状态和故障情况，自动生成分析报告，为电网的运行调度和故障处理提供决策支持。智能告警与分析决策功能能够提高变电站的应急处理能力，减少故障处理时间，保障电网的安全稳定运行。

### 2.4.3 顺序控制

顺序控制功能根据预设的操作流程，自动完成变电站内一系列设备的操作任务，如倒闸操作、设备投退等。通过与智能终端和保护测控装置的协同配合，顺序控制功能实现了操作的自动化和智能化，减少了人工操作的失误，提高了操作的安全性和效率。同时，顺序控制功能还具备操作过程的记录和回放功能，方便对操作过程进行审计和追溯。

### 2.4.4 源端维护

源端维护功能实现了变电站配置文件（SCD）的集中管理和远程维护。通过在变电站端建立源端维护系统，运维人员可以在本地对SCD文件进行编辑、修改和验证，并将修改后的文件远程下发至各个智能设备，实现设备的自动配置和更新。源端维护功能提高了设备配置的效率 and 准确性，减少了现场调试的工作量，方便了变电站的运行维护。

## 3 智能变电站建设关键技术应用问题分析

尽管智能变电站建设取得了一定进展，但在实际应

用中仍面临若干挑战。首先,设备的可靠性和稳定性需进一步提升,尤其是智能一次和二次设备采用的新技术和新器件,如电子式互感器长期运行可能产生测量误差增大、抗干扰能力下降的问题,以及智能终端和合并单元在复杂电磁环境下可能出现通信故障和数据丢失的情况,这些问题均可能影响变电站正常运行甚至导致电网事故。其次,随着通信网络的数字化和网络化,网络安全问题愈发显著,承载大量敏感信息的通信网络一旦遭受攻击可能导致设备误操作或电网瘫痪,当前的安全防护措施尚不完善。最后,尽管IEC 61850标准为设备互操作性提供了框架,但不同厂家设备在标准实现上的差异及多专业领域、设备厂家间缺乏统一标准规范与协调机制,给智能变电站的建设和运行带来了困难。

#### 4 智能变电站建设关键技术问题解决策略

##### 4.1 提高设备可靠性和稳定性

设备厂商需加大研发力度,持续优化设备设计与制造工艺,提升设备可靠性与稳定性。同时,强化设备测试与验证工作,构建完备的测试标准及流程,对设备开展全面性能测试与可靠性试验,保障设备在各类工况下均能稳定运行。在智能变电站设计与建设环节,要充分考虑设备运行环境需求,采取有效举措优化环境。比如,合理规划设备布局,降低设备间电磁干扰;强化设备散热设计,确保设备在合适温度下运行;对设备进行防潮、防尘、防腐蚀等处理,增强设备抗环境干扰能力<sup>[4]</sup>。借助在线监测技术,实时掌握设备运行状态,搭建设备健康管理系统。通过对设备状态数据的分析处理,及时察觉设备潜在故障隐患,提前实施维护措施,达成设备状态检修,提升设备可靠性与使用寿命。

##### 4.2 加强通信网络安全防护

建立完善的智能变电站通信网络安全防护体系,包括物理安全、网络安全、系统安全、应用安全等多个层面。采用防火墙、入侵检测系统、加密技术等安全手段,对通信网络进行全方位的安全防护,防止网络攻击和数据泄露。建立健全的安全管理制度,加强对通信网络的安全管理。定期对运维人员进行安全培训,提高运维人员的安全意识和技能水平,确保运维人员能够正确操作和维护通信网络,及时发现和处理安全事件。定期

对智能变电站通信网络进行安全评估,及时发现安全漏洞和风险,并采取相应的措施进行整改。同时,制定完善的应急预案,定期开展应急演练,提高应对网络安全事件的能力。

##### 4.3 推进标准统一和互操作性

相关部门应加强对智能变电站标准的制定和完善,进一步明确IEC 61850标准的实施细则和技术要求,推动标准的统一和规范。同时,加强对标准的宣传和推广,提高设备厂家和运维人员对标准的认识和理解,促进标准的有效实施。建立智能变电站设备互操作性测试平台,对不同厂家生产的设备进行互操作性测试。通过测试,发现设备之间存在的问题,并及时反馈给设备厂家进行改进,确保设备之间的互操作性。加强设备厂家、科研机构、电网企业等之间的协作和沟通,建立有效的协调机制。共同开展智能变电站关键技术研究 and 标准制定工作,解决智能变电站建设和运行过程中遇到的问题,推动智能变电站产业的健康发展。

#### 结语

智能变电站作为智能电网建设的关键一环,其关键技术对于提升电网智能化程度、可靠性与经济性而言意义重大。本文深入分析了智能一次设备、二次设备、通信网络及高级应用功能等核心技术,并针对建设过程中存在的设备稳定性、网络安全、标准统一及互操作性等问题提出了应对策略。随着科技进步,智能变电站将向更智能、自动、集成方向发展,进一步保障电网安全与供电质量。未来需持续加强关键技术研发与应用,推动产业健康发展,为我国智能电网建设提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1]华涛,孙卫华.智能变电站建设关键技术应用分析[J].中国设备工程,2020,(06):152-154.
- [2]张桓浩.智能变电站二次系统建设的关键技术及应用[J].地产,2019,(17):138.
- [3]韩益斌.110 kV智能变电站建设技术要点及质量控制措施[J].大众标准化,2024,(19):24-27.
- [4]崔凯.智能变电站建设中的自动化设备选型与检修技术优化研究[J].现代制造技术与装备,2023,59(11):186-188.