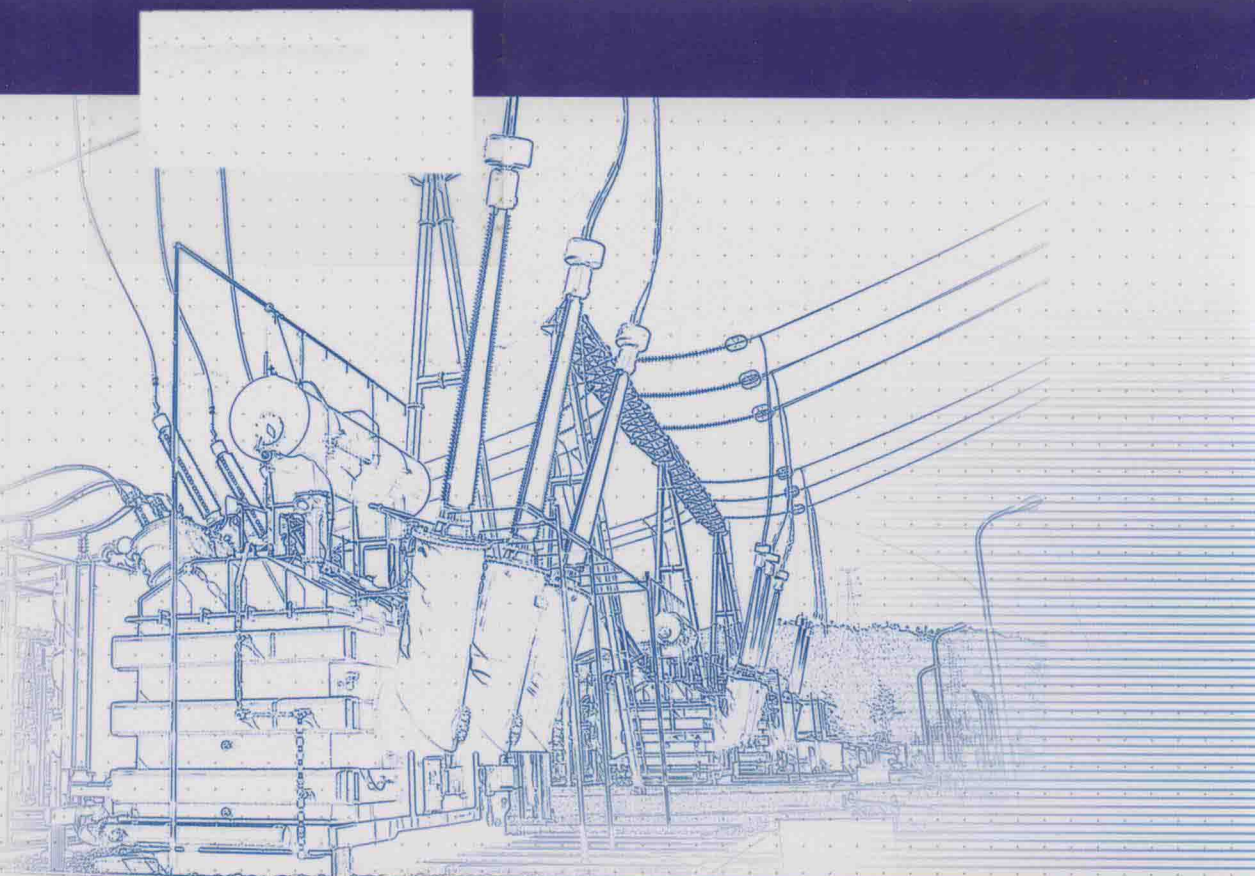




ZHINENG BIANDIANZHAN
ERCI XITONG JIQI CESHJ JISHU

智能变电站 二次系统及其测试技术

国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

ZHINENG BIANDIANZHAN
ERCI XITONG JIQI CESHI JISHU

智能变电站 二次系统及其测试技术

国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从实际应用的角度对智能变电站保护结构、配置、原理、关键技术进行了阐述,并根据现场实践经验重点归纳了智能变电站二次系统的测试技术,其中以智能变电站全站动模测试为实例图文并茂地阐释了智能变电站动模测试技术。

全书共 8 章,主要内容有智能变电站概述,IEC 61850 标准、智能变电站的过程层设备、智能变电站的继电保护、继电保护的发展前景与广域保护、智能变电站网络技术、智能变电站继电保护测试技术和全站动模测试技术。

本书可供供电企业智能变电站二次系统技术人员、电力科学研究测试技术人员学习参考,同时可供电力二次设备供应商和高等院校专业师生阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

智能变电站二次系统及其测试技术 / 国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院编. —北京: 中国电力出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-5198-1427-4

I. ①智… II. ①国… III. ①智能系统—变电所—二次系统—测试技术 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 293146 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: 薛 红

责任校对: 李 楠

装帧设计: 王英磊 赵姗姗

责任印制: 邹树群

印 刷: 北京大学印刷厂

版 次: 2017 年 12 月第一版

印 次: 2017 年 12 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 17.25

字 数: 415 千字

印 数: 0001—1500

定 价: 65.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编 委 会

主 编 沈 力

副 主 编 黄 旭 金世鑫 赵海翔 朱 钰 邵宝珠

王 刚 邵 峰 孙谋成

参编人员 于同伟 姜新民 王 天 吴志琪 王 同

刘一涛 鞠英俊 卢 岩 郑永健 杜红军

张武洋 李华强 李籽良 郑志勤 张文艳

李鹏里 周家旭 王 昊 黄 未 王英明

宋保泉 蔡玉朋 史松杰 东 方 宋 丹

韩子娇 金晓非 武 强 贾松江 田景辅

李希元 徐 江



前言

能源和环境的危机让电力工业的使命更加艰巨，电网的发展也受到了更多的关注。智能电网是解决能源和环境危机的有效途径，是全世界公认的电网发展的新方向。面对新的形势和挑战，我国一方面增加新能源发电装机容量，另一方面加大了在智能电网的研究和发展规划方面的投入。国家电网公司认真落实国家的有关决策部署，增加智能电网研发和建设的投入，努力实现我国电网从传统电网向智能电网的升级。

智能变电站是智能电网的重要组成部分，是智能电网运行数据的采集源头和控制命令的执行终端。智能变电站的建设和发展对智能电网的发展具有重要意义。国家电网公司从2009年开始全面启动了智能变电站试点工程，促进了智能变电站技术的发展、标准的完善、关键设备的研制和经验的积累；在总结智能变电站建设经验的基础上，国家电网于2012年初提出设计和建设“占地少、造价低、效率高”的新一代智能变电站，要求做到“结构布局合理、系统高度集成、技术装备先进、经济节能环保、支持调控一体”，加快了智能变电站技术的发展。

相对于传统变电站，智能变电站实现了一次设备智能化、二次系统网络化、全站信息数字化、信息共享标准化，支持智能电网高级应用需求，在变电站结构、信息传输系统、控制系统、继电保护以及系统调试方面发生了较大幅度的变革。

智能变电站基于 IEC 61850 标准，采用面向对象建模方式。本书在总结智能变电站发展历程的基础上，对 IEC 61850 标准做了简单的介绍，阐述了智能变电站面向对象建模技术、特定通信服务映射以及系统配置，并比较了 IEC 61850 第二版与第一版的区别。

智能变电站二次设备系统发生了比较大的变化，在数据采集、传输、同步，数据处理，数据共享以及控制与保护命令传输等方面均与传统变电站不同。智能变电站中采用电子式互感器取代了传统互感器，采样值经合并单元转换成数字量进行传输。传输方式的改变使智能变电站数据传输、同步，网络稳定性等成了难点。因此本书除了介绍智能变电站关键的二次设备的原理和发展，对二次系统关键技术，如对时同步技术、信息传输技术、网络通信技术、网络冗余技术等网络通信技术进行了归纳和总结。

智能变电站继电保护在核心原理上并没有发生较大变化，但是保护实现的方式变化很大，必须掌握智能变电站的网络通信系统、对时同步系统、信息传输系统等才能做好继电保护工作。本书对智能变电站保护结构、配置、原理、关键技术进行了总结，并展望了智能变电站在广域保护与控制中的发展前景。

最后本书对智能变电站二次系统的测试技术进行了总结和归纳，并重点阐述了智能变

站动模测试技术，以长春南、何家智能变电站全站动模测试为实例，让广大读者对动模实验有一定的了解和认识，对变电站的测试起到一定的借鉴作用。

智能变电站技术和理论的研究方兴未艾，随着智能电网广域控制与保护的发展，智能变电站在自动控制、智能调节、在线决策分析、状态监测评估等高级应用方面的功能将会更加完善。

本书在编写过程中参考了国内外优秀著作与论文，在此一并表示感谢。

智能变电站技术发展是一个渐进和长久的过程，随着电子技术、网络技术、通信技术、广域测量技术等先进技术的发展以及智能变电站工程建设的深入展开，智能变电站将有更多的新技术涌现。希望本书对智能变电站的发展能起到一定的促进作用。

由于作者水平有限，加之时间有限，书中或有疏漏与不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2017年11月



目 录

前言

1	智能变电站概述	1
1.1	智能电网与智能变电站	1
1.2	智能变电站的基本概念和特点	3
1.3	智能变电站二次系统	6
1.4	新一代智能变电站	7
2	IEC 61850 标准	9
2.1	IEC 61850 概述	9
2.2	面向对象的建模技术	12
2.3	抽象通信服务接口	17
2.4	特定通信服务映射	19
2.5	系统配置	22
2.6	一致性测试	25
2.7	IEC 61850 第二版	26
3	智能变电站的过程层设备	29
3.1	电子式互感器	29
3.2	合并单元	40
3.3	智能终端	48
4	智能变电站的继电保护	50
4.1	智能变电站继电保护的特点与结构	50
4.2	就地级保护	55
4.3	站域保护与控制	68
5	继电保护的发展前景与广域保护	75
5.1	大停电事故与保护控制系统	75

5.2	广域保护控制系统及其应用	79
5.3	广域保护与控制系统的理论	82
5.4	广域保护与控制系统结构	91

6 智能变电站网络技术 95

6.1	智能变电站网络与通信	95
6.2	智能变电站时钟同步技术	103
6.3	采样值传输与同步	116
6.4	“三网合一”技术	123

7 智能变电站继电保护测试技术 132

7.1	概述	132
7.2	智能变电站单设备测试	135
7.3	对时与同步系统测试	147
7.4	智能变电站网络与通信性能测试	154

8 全站动模测试技术 157

8.1	概述	157
8.2	基于 RTDS 的数字动模技术	158
8.3	全站规模接入接口技术	160
8.4	试验测试系统	162
8.5	动模试验方案	175
8.6	工程案例	179

参考文献 264

智能变电站概述

变电站是电力系统中发电、输电和配电系统的集结点，是电力系统进行电压变换、电能分配、功率流向控制、电压调整以及继电保护的重要节点。作为电力系统中不可缺少的环节，变电站不仅是控制和保护中心，也是电力系统中重要的信息来源和信息交换中介，对电网的安全和经济运行起着举足轻重的作用。

随着电子技术、信息技术、传感器技术、网络通信技术的发展，传统的变电站向智能变电站的转变逐渐成为现实。智能变电站以数字化变电站为依托，采用先进、可靠、集成、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、计量和监测等基本功能，同时具有实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能，可以与相邻变电站、电压调度等互动。智能变电站元件设备、通信系统、系统结构的改变，给继电保护带来了新的挑战，智能变电站的继电保护呈现出了新的特点。

当前，智能电网已经成为世界各国电力工业应对全球能源与环境危机问题的共同选择，是国内外电力系统技术研究和工程建设的热点。作为智能电网的基础节点，智能变电站起到关键支撑作用，是智能电网实现全局优化控制的重要基础，因此，智能变电站的建设对智能电网的发展具有重要意义。

1.1 智能电网与智能变电站

传统能源日渐短缺和环境污染日益严重是人类社会持续发展所面临的最大挑战。进入 21 世纪以来，能源短缺、资源紧张、气候变化等问题日益突出。为解决能源危机和环境问题，能效技术、可再生能源技术、新型交通技术等各种低碳技术快速发展，并将得到大规模应用。各种低碳技术的大规模应用主要集中在可再生能源发电和终端用户方面，使传统电网的发电侧和用户侧特性发生了重大改变，并给输、配电网的发展和安全运行带来了新的挑战。电网是国家能源产业链的重要环节，是国家综合运输体系的重要组成部分，其发展状况对以上问题有着直接的影响。与此同时，各行各业对电力的依赖增强，用户对供电可靠性以及电能质量的要求也日益提高，因此，世界各国对于电网的建设提出了更高的要求。在这样的背景下，智能电网应运而生。依靠现代信息、通信和控制技术，提高电网智能化水平，适应未来持续发展需求，建立坚强可靠的智能电网成为世界电力工业的共同发展趋势，也是应对资源和环境挑战的共同选择。

目前国际范围内尚未形成统一的智能电网定义，美国、欧洲和世界其他国家往往根据本国能源资源分布、能源结构和环境状况等关注点的差异，结合电网和电源发展的状况等因素，选取不同的发展侧重点，相应的提出不同的智能电网定义。

欧盟智能电网特别工作组描述的智能电网是：可以智能化地集成所有接于其中的用户（电力生产者、消费者和产销合一者）的行为和行动，保证电力供应的可持续性、经济性和安全性。

美国 2007 年《能源独立与安全法案》给出的智能电网定义如下：智能电网是一个通过双向的能量流和信息流网络，将分布式电源、高电压网络、大容量储能装置、智能家居、电动汽车等智能体有机连接在一起的现代电力网络，实现发电、输电、配电、供电和服务的全方位监控、保护和优化调度。

国家电网公司将其提出的坚强智能电网描述为以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强网架为基础，以通信信息平台为支撑，具有信息化、自动化、互动化特征，包含电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度六大环节，涵盖所有电压等级，实现“电力流、信息流、业务流”的高度一体化融合，具有坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放和友好互动内涵的现代电网。

综合国内外对智能电网的定义，虽然各个国家侧重不同，但是在对智能电网性能要求上具有一致性，可以认为智能电网是集成了现代电力工程技术、分布式发电和储能技术、高级传感和监测控制技术、信息处理与通信技术的新型输配电系统。在提高用户侧供电质量和可靠性的同时，智能电网能够为用户提供一系列的增值服务，实现电网与用户的友好互动。同时，电网本身应该具有更好的自愈和自适应能力，能实现对新能源的灵活接入控制，对海量监测信息进行智能分析和在线决策。

综合各国对智能电网的定义和国内外智能电网的发展现状，智能电网具有以下特点：

（1）高可靠性。具有强大的预警和预防控制能力，以及自动故障诊断、故障隔离和系统自我快速恢复的能力。在电网发生大的扰动和故障时，智能电网能迅速隔离故障，保持对用户的可靠供电，而不发生大面积停电；在自然灾害、极端天气条件下或外力破坏下仍能保证电网的安全运行。

（2）高灵活性。当系统功率/负荷发生较快的变化、造成较大功率不平衡时，能快速调整发电或消费，保持可靠供电的能力。能灵活调动可再生能源、需求响应、储能系统、新型负荷等资源，保证配电系统供求平衡，增加对新能源的消纳能力，满足不同电源的即插即用。

（3）可测可控性。对于众多的不可控电源和可控资源，必须对可控资源进行有效的检测和控制，可以实现对不可控资源变化的跟踪，保证电力与负荷的平衡。大量分布式能源的接入，给电网控制和检测带来了一定的难度。为了保持电网的安全稳定性，需要进一步提高电网的可观测性和可控性。

（4）集成优化型。智能电网实现电网信息的高度集成和共享，采用统一的平台和模型，实现标准化、规范化和精益管理化，同时实现资产的有效利用，降低投资和运行成本。

随着智能电网建设的推进，柔性直流输电、柔性交流输电以及交直流混合输电的发展和互联电网的逐步进行，电网对变电站的自动化技术提出了更高的要求：①检测电网故障，快速隔离故障区域；②收集、处理、发送各种设备的运行信息和数据；③收集设备状态数据，支持在线状态评估；④对站内设备进行智能控制；⑤实现当地后备控制和紧急控制，作为广域控制与保护的中介和执行者；⑥确保通信安全。

而传统变电站虽然自动化系统有了一定的发展，但是无法满足智能电网的要求，同时存

在着难以克服的缺陷。例如：①传统二次设备、继电保护、自动和远动装置等大多采取电磁型或者小规模集成电路，缺乏自检和自诊断能力，结构复杂、可靠性低；②二次设备信息传输主要依靠电缆，信息量小、灵活性差、抗干扰能力差；③使用电缆多，占地面积大，经济性差，升级改造工作量大；④大量电缆的使用导致电压互感器、电流互感器负担重，二次设备冗余配置多；⑤电路调试、运行维护工作量大，自动化程度低，设备之间关联较少，相互协调控制困难。

现代控制技术、计算机技术、通信技术和电子技术为智能变电站的提出和发展提供了基础。智能变电站以 IEC 61850 标准为基础，按照全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化的要求，实现站内信息统一接入、统一存储，实现运行状态监视、操作和控制，并可以实现智能电网综合信息分析、全局统一优化控制的要求。智能变电站是智能电网的重要基础和关键支撑，是电网运行数据的采集源头和命令执行终端，是数据的传输、分析、验证和存储、管理单元，其建设和发展对智能电网的发展具有重要意义。

1.2 智能变电站的基本概念和特点

1.2.1 变电站自动化发展历程

变电站自动化技术发展历程大体可分为三个阶段，即早期的远动技术、中期的监控技术和近期的变电站自动化技术。近期的变电站自动化又包括传统变电站自动化、数字化变电站自动化以及当前的智能变电站自动化。

1.2.1.1 变电站自动化系统

我国从 20 世纪 60 年代开始研究变电站自动化技术。早期的远动技术采用的设备是集中式远方终端设备 (Remote Terminal Unit, RTU)，大部分只能完成遥测、遥信 (二遥) 功能；中期的监控技术的发展出现了数据采集与监控系统 (Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)，远动功能由“二遥”发展为“四遥”，并且添加了若干附加功能。

20 世纪 90 年代以来，以微处理器为核心的智能化自动装置在电网控制领域得到了广泛的应用，促进了变电站综合自动化技术的快速发展。传统变电站内原本分离的一、二次设备，通过功能组合和优化设计，实现了对站内主要设备的自动监视、测量、控制、继电保护以及与调度通信等综合性的自动化功能。

20 世纪 90 年代初，在变电站控制室内将设备按照不同功能划分成若干个独立系统，各系统分别采用计算机来实现自身的功能，被称为集中式变电站综合自动化系统。此时的集中式结构并非仅指由一台计算机完成全部任务，也可由多台计算机各自完成相应的功能，但是相互之间没有协同工作。

集中式系统的可靠性和灵活性不能满足变电站工作的要求，随着计算机的发展，变电站自动化开始向分散式结构发展。20 世纪末到 21 世纪初，变电站自动化结构发展为分层分布式结构，变电站信息的采集和控制分为管理层、站控层和间隔层三层布置。其主要特点表现为：①以分层分布式取代了集中式结构，在设计理念上不是以整个变电站作为设备所要面对的对象，而是以间隔设备作为设计的依据，各个间隔单元的设备相互独立，仅通过光纤或电缆由站控机进行管理和信息交换；②在中低压系统物理结构和电气特性完全独立，功能上既

考虑测控又涉及继电保护的测控保护综合装置对应一次系统中的线路、变压器、电容器、电抗器等间隔设备，在高压与超高压系统，以独立的测控单元对应相应的一次单元；③集成了分散式和集中式的优点，简化了二次部分的配置，适用于各种电压等级的变电站。由于采用了分层分布式结构，并且将传统上相对独立的远动、监控与继电保护紧密联系起来，远动技术因此上升到了一个新的高度——变电站自动化技术。

1.2.1.2 数字化变电站

21 世纪初，变电站综合自动化技术经过十多年的发展已经走向成熟，变电站自动化技术的广泛采用提高了电网建设的现代化水平，增强了输配电和电网调度能力，降低了变电站建设的总造价。

国际电工委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）在 1999 年和 2002 年推出了电子式互感器的标准，关于变电站通信规约的标准也已出台，国家质量监督检验检疫总局也在 2007 年发布了相关国家标准 GB/T 20840.8—2007《互感器 第 8 部分：电子式电流互感器》，新的标准包含和兼容了原有的标准，这使得数字化变电站的建设有了标准依据。电子式互感器、智能化一次设备及其在线状态检测、变电站运行操作培训仿真等技术日臻成熟，以及计算机高速网络在实时系统中的开发应用，为全数字化的变电站技术提供了新的契机。随着电子式互感器、智能开关单元等智能一次设备的应用，数字化变电站的概念开始逐渐兴起。

但是由于种种原因，数字化变电站的确切定义一直未明确。业内普遍认为数字化贯穿变电站自动化的始终，数字化变电站是数字化的变电站自动化系统发展过程中的一个阶段。国家电网公司科技部和南京自动化研究院 2007 年提出：“数字化变电站是以变电站一、二次设备为数字化对象，以高速网络通信平台为基础，通过对数字化信息进行标准化，实现信息共享和互操作，并以网络数据为基础，实现继电保护数据管理等功能，满足安全稳定、建设经济等现代化建设要求的变电站”，这一定义基本反映了当时的共识。概括来说，数字化变电站的主要技术特征是符合 IEC 61850 标准、电子式互感器的应用、一次设备智能化、二次设备网络化、运行管理系统自动化。

1.2.1.3 智能变电站

数字化变电站的提出和发展给智能变电站的发展提供了条件。随着智能电网的提出，建设智能变电站的思想很快取代了数字化变电站。智能变电站建立在数字化变电站的构架上，建立全站统一的信息采集、传输、分析、处理平台，使变电站具备自动运行控制、设备状态检修、运行状态自适应、智能分析决策等高级应用功能。

智能变电站与数字化变电站在结构、技术特征等方面颇有共性。二者差别主要体现在以下三点：

（1）数字化变电站从变电站自身需求为出发点，实现站内设备的数字化通信和控制，建立全站统一的通信平台，提高站内设备与系统间的互操作性；而智能变电站则是从智能电网的角度出发，在满足变电站自身需求的同时，更多地注重为智能电网提供辅助服务，作为全网运行的重要节点。

（2）数字化变电站要求站内设备应用的所有智能电子装置（Intelligent Electronic Device, IED）满足统一的标准，拥有统一接口，实现互操作性，数字化变电站实现了一、二次设备的初步融合；而智能变电站设备集成化程度更高，注重保护与控制装置的就地化、一体化、

智能整合和集成。

(3) 智能变电站面向的传统电网,旨在满足传统电网应用的同时实现数字化、自动化;而智能变电站面向的是智能电网,要适应大量新型柔性交直流输电技术及装备、新能源发电、需求侧响应、负荷双向流动等新特点。

从变电站发展的历程来看,数字化是变电站发展的手段,而智能变电站则是变电站发展的最终目标。在智能变电站技术研究和需求的推动下,变电站的数字化、智能化会有更高提升。

1.2.2 智能变电站的概念

2009年12月,国家电网公司发布了Q/GDW 383—2009《智能变电站技术导则》,给出了智能变电站的基本概念:智能变电站是采用先进、可靠、集成、低碳、环保的设备组合而成的,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,并可根据需求支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级应用功能的变电站。

智能变电站是数字化变电站的延续和发展,在数字化、标准化和规范化的基础上,实现全站信息化、自动化、互动化。随着IEC 61850标准的应用,智能变电站将各种应用信息发送到统一的交换平台,实现了信息资源的共享。

1.2.3 智能变电站的特点

智能变电站能够完成比常规变电站范围更宽、层次更深、结构更加复杂的信息采集和信息处理,实现变电站之间、变电站与调度中心之间、变电站与新能源发电场之间的良好互动。

智能变电站有以下技术特征:

(1) 高可靠性。高度的可靠性是智能电网对智能变电站的最基本、最重要的要求。智能变电站采用光纤传输取代了电缆,提高了信息传输的可靠性;保护和控制功能就地化、集成化,增加了变电站保护控制功能的可靠性。除了关注自身设备和全站系统的可靠性,智能变电站更关注故障的诊断和预防功能,能在故障发生时,自动隔离故障,将损失降到最小。

(2) 一次设备智能化。一次设备是电网电能传输的基本单元,一次设备的智能化、信息化是智能变电站信息化的关键,也是智能电网的重要组成部分。随着电子式互感器、合并单元和智能终端的应用,实现了一次设备与智能组件的有机结合。常规模拟信号和电缆传输控制信号的模式被数字信号和光纤传输代替,实现了一次设备的测量数字化、控制网络化、状态可视化、功能一体化和信息互动化等特征。随着一次设备智能化的发展,一次设备逐渐向集成化、结构一体化转变,一、二次设备融合更加紧密。

(3) 二次设备网络化。智能变电站采用IEC 61850标准,将二次系统分为过程层、间隔层、站控层三层,采用工业交换机网络技术,通过面向通用对象的变电站事件(Generic Object Oriented Substation Event, GOOSE)网络、采样值(Sample Value, SV)网络传输跳合闸信息、采样信息、控制信息等。智能变电站设备之间的连接全部采用网络通信,二次设备不再出现常规功能装置重复I/O现场接口。传统的硬件设备被分布式网络化功能所取

代，控制功能的实现基于网络信息的交互和共享，而不是依赖于硬件设备冗余。

(4) 全站信息数字化。智能变电站从数据的采集、传输、处理，直至跳合闸命令的发送，均采用数字化信息。数字化信息也方便智能变电站与相邻变电站、调度总站以及用户之间的通信。

(5) 信息共享标准化。智能变电站采用 IEC 61850 规约，建立标准化信息模型，实现了站内、站外信息共享。

(6) 高级应用互动化。智能变电站的高级应用包括设备状态检修、综合故障诊断、自动控制智能调节、在线分析决策、协同互动等。智能变电站可根据智能电网的需求，实现站内外高级应用系统相关对象之间的互动，满足智能电网互动化的要求。

1.3 智能变电站二次系统

1.3.1 IEC 61850 通信技术体系

20 世纪 80 年代，微机远动设备取代了常规远动设备，各个制造商开始制定通信标准，包括由设备制造商制定的、针对特定硬件接口的规约，如 Modbus、profibus、can 等规约，由 IEC（国际电工委员会）颁布的基于串口的 IEC 60870-5-103 规约，还有国内制造商指定的各种扩展网络 103 规约，林林总总几十种协议。

由于各个厂家设备采用的规约不同，不同制造商的智能电子设备互联时需要付出大量复杂且花费高昂的协议转换工作，给变电站通信和控制带来了很大的困难。1999 年 3 月，IEC 3 个工作组提出了 IEC 61850 委员会草案版本。2004 年国际电工委第 57 技术委员会（TC57）正式颁布 IEC 61850 标准，该版本共包含 14 个标准，是基于网络通信平台的变电站自动化系统唯一的国际标准。2009 年开始，TC57 开始发布 IEC 标准第二版。新标准对第一版的近 90 个逻辑节点（Logic Node，LN）进行了修订，并新增 LN，使 LN 总数达到了近 170 个，同时新增了 8 个相关的标准或技术规范，并完善了一致性测试，将应用范围突破了变电站的限制。

IEC 61850 具备以下特点：面向对象建模，抽象通信服务接口，面向实时的服务，配置语言，整个电力系统统一建模。因此，IEC 61850 标准比其他的通信标准更具有长久的生命力，实现了不同厂家电子设备之间的互操作和信息共享。

1.3.2 智能变电站二次系统结构

根据 IEC 61850 标准，智能变电站根据功能可分为三个层次，即站控层、间隔层和过程层，网络结构有“三层两网”结构、“三层三网”结构以及“三层一网”结构，但各种结构都遵循三层的原则。本书介绍的变电站结构基于比较典型的“三层两网”结构，即由智能变电站三层结构和站控层网络、过程层网络组成。

过程层主要实现所有与一次设备接口相关的功能，包括合并单元、智能终端、智能组件等设备。过程层是变电站信息的来源，也是控制命令执行者。

间隔层采集本间隔一次设备的信号，操作控制一次设备，将相关信息上送给站控层并接收站控层的控制命令。继电保护装置、测控装置、故障录波装置、网络记录分析仪及稳控装

置等设备均布置在这一层。

站控层利用全站信息对全站一次、二次设备进行监控，是站域控制以及广域控制通信中心。站控层设备包括监控主机、数据通信网关机、数据服务器、综合应用服务器、操作员站、同步相量测量（Phasor Measurement Unit, PMU）数据集中器以及计划管理终端等。

智能变电站二次系统通过交换机网络连接，整个网络系统分为站控层网络和过程层网络。站控层网络是间隔层设备和站控层设备之间的通信网络，实现站控层内部以及站控层与间隔层之间的通信，站控层与间隔层之间的通信协议采用抽象通信服务接口映射到制造报文规范（Manufacturing Message Specification, MMS），故也称为 MMS 网；过程层网络是间隔层设备与过程层设备之间的网络，可分为用于间隔层与过程层设备之间状态与控制数据交换 GOOSE 网和用于间隔层与过程层设备之间采样值传输的 SV 网，GOOSE 数据和 SV 数据也可以采用共网传输。

1.4 新一代智能变电站

目前的智能变电站依旧存在占地大、效率不高问题。特别是一次设备的智能化程度低，虽然实现了一次设备与二次设备之间的数字化联络，但是无法实现一次设备与二次设备的整体设计；二次系统实现了全站的信息化、数字化，但网络的实现过于复杂，信息传递的可靠性还需要进一步验证，未能实现站内信息一体化。

2012 年国家电网公司提出了设计和建设“占地少、造价省、效率高”的新一代智能变电站，要求做到“结构布局合理、系统高度集成、技术装备先进、经济节能环保、支持调控一体”。新一代智能变电站采用通用、紧凑、易维护、节能环保的智能一、二次集成设备，实现信息统一采集，集中分析处理，一体化监控、分层分布上传。变电站内统一组网、网络结构将更加清晰简洁，并能实现站域后备保护、站内优化控制等高级功能，同时还能通过站间互动，实现广域优化控制、区域备自投等更高层次的高级应用功能。

国家电网公司提出的新一代智能变电站依然采用 IEC 61850 标准，变电站结构体系依旧为三层结构。在技术路线方面有了较大的提升：

（1）近期技术路线。近期技术方案以设计集成优化、支撑管理改革为重点，通过整合系统功能、优化结构布局，采用“一体化设备、一体化网络、一体化系统”技术构架，有效提升变电站智能化水平。

1）一体化设备。将集成封装技术、智能控制技术结合，一体化设计制造，实现设备小型轻便、运行智能。

2）一体化网络。深化 IEC 61850 标准应用，采用多源信息分层与交互技术，组建变电站一体化高速以太网，实现全景数据多维优化交互。

3）一体化系统。构建变电站一体化业务平台，实现与调度、检修、营销系统的协调互动，全面支撑智能电网运行管理。

（2）远期技术路线。远期技术方案以推动技术变革、展示理念创新为重点，通过前沿技术突破，采用“新型设备、新式材料、新兴技术”的支撑体系，推进变电站装备和技术的重大突破。

1) 设备上,采用超导变压器、超导限流器、电力电子变压器、固态开关、光子保护装置等新型设备,实现电网控制精确、调控灵活,设备自动诊断、自动隔离、易维免维。

2) 材料上,采用超导材料、复合材料、节能环保材料等新式材料和工艺,实现设备轻型、低碳、节能高效。

3) 技术上,采用光计算、云计算、系统级芯片、物联网、自取(储)能等新兴前沿技术,实现应用系统对设备的即时感知、精准计算、快速响应和可靠控制。

IEC 61850 标 准

2.1 IEC 61850 概述

随着变电站自动化技术的快速发展,国内外厂家相继推出了多种变电站自动化系统的产品。在 IEC 61850 标准出现之前,不同厂商使用的网络和通信协议各式各样、互不兼容,几乎每个厂商都有一套自己的标准,造成不同厂商设备间互操作性差、兼容性差的问题。一个普通的变电站使用的产品可能是多家公司的产品,不同厂商 IED 互联时需要大量复杂的协议转换工作且花费昂贵。制定 IEC 61850 标准的目的是要实现不同厂商设备之间的互操作性。IED 之间互操作性是指变电站内不同厂商的 IED 通过网络通信技术实现信息共享,并能够达到控制命令的兼容,同时还可以实现互换性的目的。当变电站中设备维护、升级过程中,可以由一个厂商的装置替换另一个厂商的装置。

IEC 61850 标准全称为《变电站通信网络与系统》,是基于通用网络通信平台的变电站自动化系统唯一的国际标准,由国际电工委员会(IEC)第 57 技术委员会(TC57)于 2004 年颁布,共包含 14 个标准。我国于 2004~2006 年间将该系列标准等同采用为电力行业标准,编号为 DL/T 860。自 2009 年开始,TC57 开始发布 IEC 61850 标准第二版,目前尚未全部完成。本书以第一版为基础进行介绍。

2.1.1 IEC 61850 组成

IEC 61850 系列标准采用自顶向下的方式对变电站自动化系统进行系统分层、功能定义和对对象建模,并对一致性检测进行了详细的定义。IEC 61850 系列标准各个部分的名称和内容见表 2-1。

表 2-1

IEC 61850 系列标准

名称	内容
IEC 61850-1 介绍和概述	介绍了 IEC 61850 的概貌,定义了变电站内 IED 之间的通信和相关系统要求等
IEC 61850-2 术语	收集了系列标准中涉及的特定术语及其定义
IEC 61850-3 总体要求	详细说明系统通信网络的总体要求,包括质量要求(可靠性、可维护性、系统可用性、轻便性、安全性)、环境条件、供电要求等,并根据其他标准和规范相关的特定要求提出建议
IEC 61850-4 系统和项目管理	描述了对系统和项目管理过程的要求以及对工程和实验所用的支持工具的要求,具体包括工程要求(参数分类、工程工具、文件)、系统寿命周期(产品版本、停产、停产后的支持)、质量保证(责任、测试设备、型式试验、系统测试、工厂验收、现场验收)等