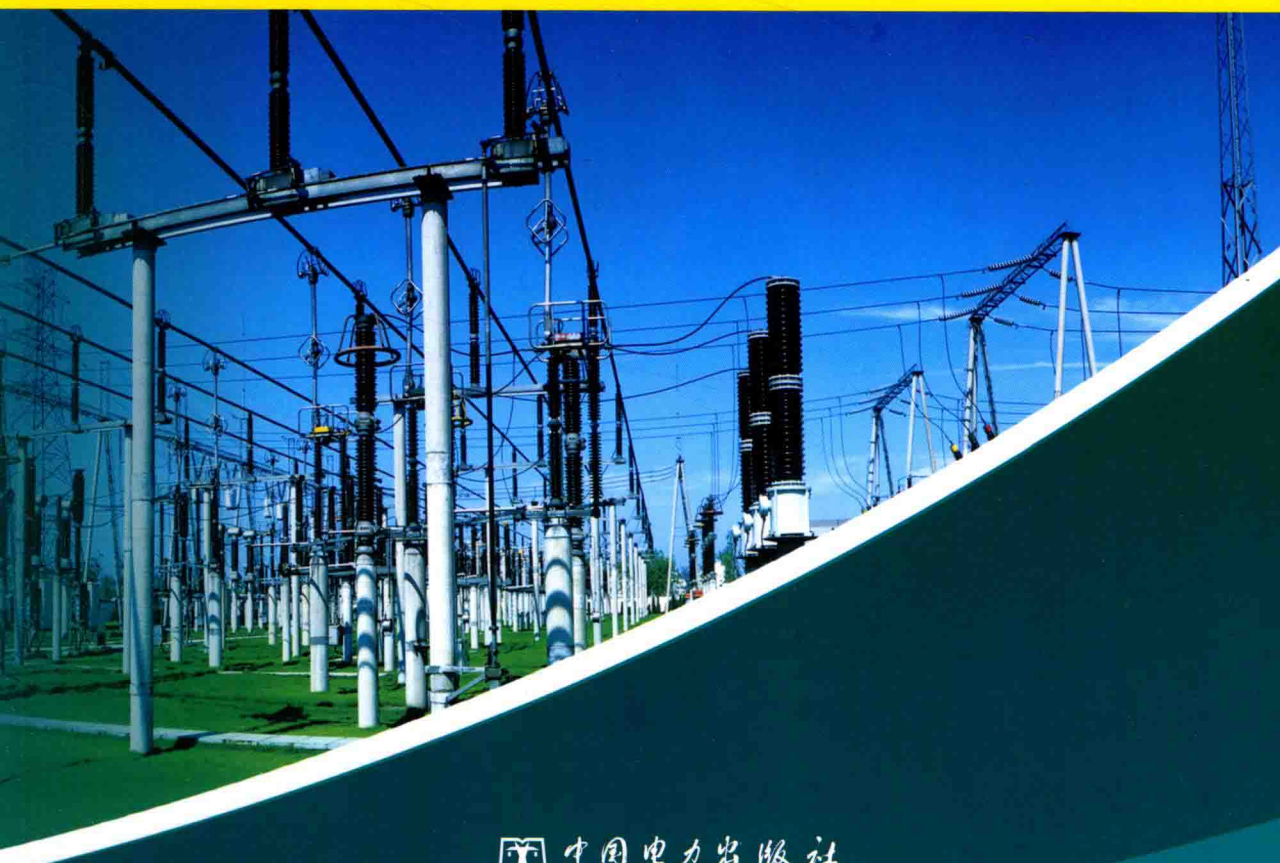


智能变电站 警报处理与故障诊断

ZHINENG BIANDIANZHAN

JINGBAO CHULI YU GUZHANG ZHENDUAN

辛建波 吴越 程宏波◎主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

智能变电站 警报处理与故障诊断

ZHINENG BIANDIANZHAN

JINGBAO CHULI YU GUZHANG ZHENDUAN

主 编 辛建波 吴 越 程宏波

参 编 上官帖 文福拴 廖志伟

苏永春 叶爱民 黄 瑶



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以智能变电站的警报处理与故障诊断为主线,系统全面地介绍了变电站中重要的一次设备及其常见故障类型。本书主要内容包括:智能变电站概述,智能一次设备及其常见故障,智能变电站的在线监测,智能变电站的全景数据采集平台,智能变电站综合监测与智能警报处理系统结构及方法,智能变电站信息综合分析 with 故障诊断系统。

本书内容具体,理论联系实际,可作为智能变电站相关领域的教学、科研用书,也可作为相关领域工作人员日常工作、学习的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能变电站警报处理与故障诊断/辛建波,吴越,程宏波
主编. —北京:中国电力出版社,2016.12

ISBN 978-7-5198-0147-2

I. ①智… II. ①辛…②吴…③程… III. ①智能系统-变电
所-故障诊断 IV. ①TM63-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 308623 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 12 月第一版 2016 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.5 印张 215 千字

印数 0001—2000 册 定价 36.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

智能电网是电力工业的发展方向和趋势。“十二五”期间，国家电网公司投资了约5000亿元，建成了连接大型能源基地与主要负荷中心，具有信息化、自动化、互动化特征的智能电网。2015年7月，国家发展改革委、国家能源局发布了《关于促进智能电网发展的指导意见》，提出到2020年，中国将初步建成安全可靠、开放兼容、双向互动、高效经济、清洁环保的智能电网体系。

作为电力系统能量流、信息流和业务流三流汇集的重要节点，变电站的智能化是智能电网实现的基础。

智能变电站采用先进、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，不仅能自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等常规功能，还能在线监测站内设备的运行状态，智能评估设备的检修周期，从而完成设备资产的全寿命周期管理；同时具备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。

智能变电站里一、二次设备结合成为现实，全数字化的设备、基于网络的信息共享，使变电站的数据信息变得异常丰富，因而有必要利用这些信息建立一个能防患于未然的变电站安全保障系统，为变电站生产管理集约化提供更好的技术支撑，提升变电站运行的效率与效益，这也是变电站智能化高级应用的重要内容。

国网江西省电力公司电力科学研究院与浙江大学、华南理工大学等合作，针对江西省电网实际，结合变电站智能化改造过程中出现的问题，对变电站的故障诊断及智能告警开展了系列研究并取得了丰富的研究成果，积累了较为丰富的实际运行经验。为更好地总结前期研究和应用成果，交流研究应用的实际经验，对相关内容进行了梳理总结形成此书。

本书以智能变电站的故障诊断与智能告警为主线，系统全面地介绍了变电站中重要的一次设备及其常见故障类型，梳理了智能变电站中重要一次设备的在线监测方法，搭建了智能变电站的全景数据采集平台，在此基础上构建了变电站的故障诊断及智能告警平台，研究了相应的故障诊断及智能告警方法。

第1章对智能变电站的含义及结构进行了概括性介绍，并对新一代智能变电站进行了介绍，以便了解智能变电站的发展趋势。

第2章介绍了变电站中重要的一次设备及其常见的故障类型，并列举了部分设备的典型故障案例。

第3章介绍了变电站设备的在线监测方法及原理，重点对变压器、断路器和互感器的

在线监测原理进行了介绍，分析了目前的在线监测方法存在的问题。

第4章介绍了变电站的全景数据采集平台，介绍了面向对象的变电站信息统一模型，分析了不同平台之间数据统一的方法，介绍了不同协议之间协调和转换的机制及方法。

第5章在变电站全景数据平台的基础上，搭建了综合监测系统的框架，对其实现原理进行了介绍，分析了基于时序约束的警报处理方法的基本原理，并在时序约束网络的基础上建立了变电站的智能警报处理系统。

第6章在警报处理的基础上，进一步研究了变电站设备的故障诊断方法，分析了利用综合信息对变压器、断路器的故障进行诊断的方法，介绍了基于根本原因法的变电站故障诊断方法的原理，并对其在实际项目中的应用进行了介绍。

本书是前期相关研究工作的系统总结，希望本书内容能对相关领域的教学、科研提供一些参考，对我国智能变电站的建设和发展起到一定的推动作用。

由于新技术的快速发展，加之水平有限，书中不足之处在所难免，恳请专家和读者对书稿中的不当之处不吝赐教。

作者

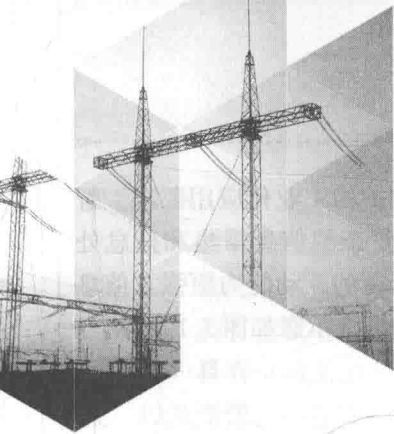
2016年11月

目 录

前言

第1章 智能变电站概述	1
1.1 智能变电站	1
1.2 新一代智能变电站	4
1.3 小结	6
第2章 智能一次设备及其常见故障	7
2.1 智能变压器	7
2.2 智能断路器	19
2.3 电子式互感器	27
2.4 小结	38
第3章 智能变电站的在线监测	39
3.1 变压器的在线监测	39
3.2 智能断路器的在线监测	50
3.3 电子式互感器的在线监测	54
3.4 在线监测及故障诊断存在的问题	58
3.5 小结	61
第4章 智能变电站的全景数据采集平台	62
4.1 简介	62
4.2 系统架构	62
4.3 变电站全景数据采集方法	64
4.4 建立面向对象的变电站信息统一模型	65
4.5 IEC 61970 和 IEC 61850 标准的协调机制	66
4.6 具体实现	69
4.7 小结	72

第5章	智能变电站综合监测与智能警报处理系统结构及方法	73
5.1	综合监测系统结构	73
5.2	综合监测系统软件体系及其功能实现	75
5.3	基于时序约束网络的警报处理方法	82
5.4	在线智能警报处理系统结构及其功能实现	96
5.5	小结	104
第6章	智能变电站信息综合分析与故障诊断系统	105
6.1	故障信息综合分析决策系统原理	105
6.2	变压器综合诊断	106
6.3	断路器综合诊断	118
6.4	基于故障录波信息的故障诊断	122
6.5	基于根本原因法的变电站故障诊断方法	125
6.6	小结	142
参考文献		143



第1章

智能变电站概述

变电站是电力系统的关键环节，电力系统电能的接受、转换和分配，分布式电源并网的接入，电网状态信息的获取，对电网操作控制的执行等都需要通过变电站来实现。作为智能电网“能量流、信息流、业务流”三流汇集的节点，变电站的智能化可为智能电网的实现提供可靠的支撑，变电站的智能化对智能电网的实现起着至关重要的作用。

为提高变电站的运行自动化水平，人们不断地将各种新技术、新产品应用到变电站中。从传统的变电站自动化系统，到数字化变电站，再到智能变电站，直到现在的新一代智能变电站，各种先进新技术的应用使得变电站的自动化程度越来越高，相应地使得变电站的结构和功能也发生了较大的变化。

智能变电站采用先进、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，不仅能自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等常规功能，还能在线监测站内设备的运行状态，智能评估设备的检修周期，从而完成设备资产的全寿命周期管理；同时具备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。

经过几年的发展，智能变电站的技术日趋完善，并且得到了大规模的推广应用，在“十二五”前期，新建智能变电站进度保持较快增速，在后期，智能变电站的改造占比逐步提升。从2009年7月开始，国家电网公司启动建设智能变电站试点工程，在认真总结成果经验基础上，从2011年起开始全面推广建设智能变电站，截至2016年9月底，已投运智能变电站2267座，为智能变电站的建设及运营维护积累了丰富的实践经验。

在智能变电站发展的基础上，2012年1月，国家电网公司正式提出研究与建设“占地少、造价省、可靠性高”的新一代智能变电站。在继承智能变电站设计、建设及运行经验成果的基础上，新一代智能变电站充分体现技术前瞻、经济合理、环境友好、资源节约的先进理念。

新一代智能变电站具有系统高度集成、结构布局合理、装备先进适用、经济节能环保、支撑调控一体等特点，相比一代智能变电站占地更少，设备更智能，建设周期更短，可靠性也更高。

1.1 智能变电站

与常规变电站相比，智能变电站设备具有信息数字化、功能集成化、结构紧凑化、状

态可视化等主要技术特征，符合易扩展、易升级、易改造、易维护的工业化应用要求。智能变电站能够完成比常规变电站范围更宽、层次更深、结构更复杂的信息采集和信息处理，变电站内、站与调度、站与站之间、站与大用户和分布式能源的互动能力更强，信息的交换和融合更方便快捷，控制手段更灵活可靠。智能变电站的概念示意如图 1-1 所示。

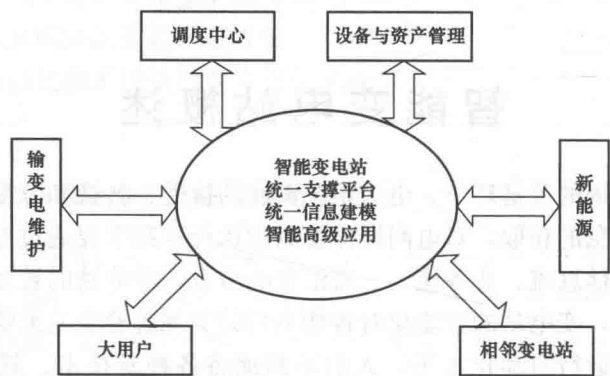


图 1-1 智能变电站概念示意图

智能变电站系统结构从逻辑上可以划分成 3 层，分别是站控层、间隔层和过程层，如图 1-2 所示。

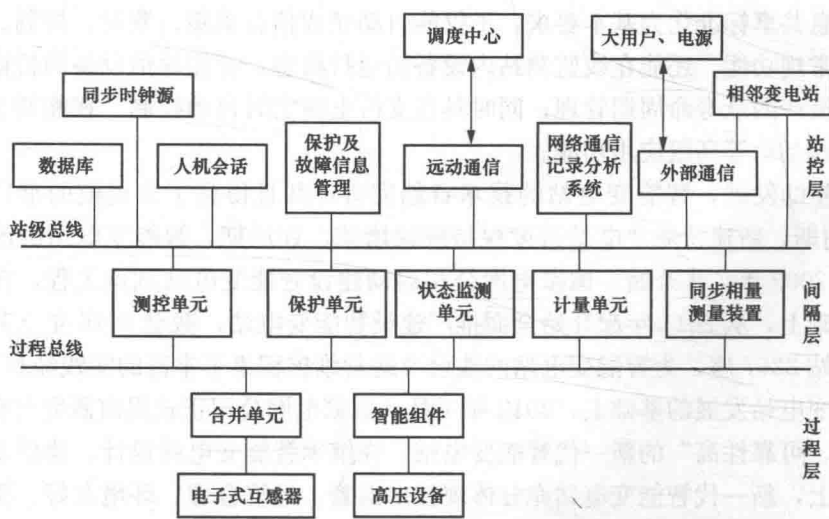


图 1-2 智能变电站系统结构示意图

1. 站控层

站控层包含自动化站级监视控制系统、站域控制、通信系统、对时系统等子系统，实现面向全站设备的监视、控制、告警及信息交互功能，完成数据采集和监视控制（supervisory control and data acquisition, SCADA）、操作闭锁以及同步相量采集、电能量采集、保护信息管理等相关功能。

站控层的主要任务包括：

- (1) 通过两级高速网络汇总全站的实时数据信息，不断刷新实时数据库，按时登录历

史数据库。

- (2) 将有关数据信息送往电网调度或控制中心。
- (3) 接受电网调度或控制中心有关控制命令并转间隔层、过程层执行。
- (4) 具有在线可编程的全站操作闭锁控制功能。
- (5) 具有(或备有)站内当地监控、人机联系功能,显示、操作、打印、报警等功能,以及图像、声音等多媒体功能。
- (6) 具有对间隔层、过程层设备在线维护、在线组态、在线修改参数的功能。

站控层功能高度集成,可在计算机或嵌入式装置中实现,也可分布在多台计算机或嵌入式装置中实现。

2. 间隔层

间隔层设备一般指继电保护装置、系统测控装置、监测功能组的主智能电子装置(intelligent electronic device, IED)等二次设备,实现使用一个间隔的数据并且作用于该间隔一次设备的功能,即与各种远方输入输出、传感器和控制器通信。

间隔层的主要功能如下:

- (1) 汇总本间隔过程层实时数据信息。
- (2) 实施对一次设备的保护控制功能。
- (3) 实施本间隔操作闭锁功能。
- (4) 实施操作同期及其他控制功能。
- (5) 对数据采集、统计运算及控制命令的发出具有优先级别控制。
- (6) 执行数据的承上启下通信传输功能,同时高速完成与过程层及变电站层的网络通信功能,上下网络接口具备双口全双工方式以提高信息通道的冗余度,保证网络通信的可靠性。

3. 过程层

过程层包括变压器、断路器、隔离开关、电压/电流互感器等一次设备及其所属的智能组件以及独立的智能电子装置。

过程层的主要功能分为以下三类:

- (1) 实时运行电气量检测。与传统的功能一样,主要是电流、电压、相位以及谐波分量的检测,其他电气量(如有功、无功、电能量)可通过监控的设备运算得到。与常规方式相比不同的是,传统的电磁式电流互感器、电压互感器被非常规互感器取代,采集传统模拟量被直接采集数字量所取代,动态性能好,抗干扰性能强,绝缘和抗饱和特性好。
- (2) 运行设备状态检测。变电站需要进行状态参数检测的设备主要有变压器、断路器、隔离开关、母线、电容器、电抗器和直流电源系统等。在线检测的主要内容有温度、压力、密度、绝缘、机械特性和工作状态等数据。
- (3) 操作控制命令执行。包括变压器分接头调节控制、电容、电抗器投切控制、断路器、隔离开关合分控制以及直流电源充放电控制等。过程层的控制命令执行大部分是被动的,即按上层控制指令而动作,如接间隔层保护装置的跳闸指令、电压无功控制的投切命令、断路器的遥控分合命令等,并具有一定的智能性,能判别命令的真伪及合理性,如实现动作精度的控制、使断路器定相合闸、选相分闸、在选定的相角下实现断路器的合闸和

分闸等。

在智能电网中,智能变电站的发展目标为:通过全网运行数据分层分级的广域实时信息统一断面采集,实现变电站智能柔性集群及自协调区域控制保护,支撑各级电网的安全稳定运行和各类高级应用;设备信息和运维策略与电力调度实现全面互动,实现基于状态监测的设备全寿命周期综合优化管理;变电站主要设备逐步实现智能化,为坚强实体电网提供坚实的设备基础。

1.2 新一代智能变电站

技术的发展对智能变电站的发展提出了更高的要求,在总结智能变电站设计、建设及运行经验成果的基础上,通过深入梳理智能变电站面临的需求和问题,提出了建设新一代智能变电站的发展规划与技术路线。

新一代智能变电站主要通过优化主接线结构及总平面布置,压缩变电站占地及建筑面积,通过应用隔离断路器、电子式互感器、层次化保护控制系统等智能化设备,从而构建以“集成化智能设备+一体化业务系统”为特征的新一代智能变电站。

1.2.1 新一代智能变电站的特征

新一代智能变电站具有以下几个特征:

(1) 基于站网协调,应用隔离断路器优化电气主接线。

1) 隔离断路器是触头处于分闸位置时,满足隔离开关要求的断路器。隔离断路器同时集成了接地开关与电子式互感器,实现了一、二次设备的高度集成,实现了户外空气绝缘(air-insulated switchgear, AIS)变电站主接线的简化与优化。隔离断路器可靠性高,检修周期长,可减少停电维修时间,同时应用隔离断路器可全部或部分取消隔离开关,相应减少了高故障率隔离开关对变电站安全运行的影响,降低了变电站母线停电的概率,提高了变电站的可靠性。同时可压缩变电站纵向尺寸,减少占地面积。

2) 电气主接线方面,目前我国 220kV 电网已基本形成环网或双环网,大部分地区的 110kV 电网也过渡到至少双电源供电,且在事故情况下具备转供能力。新一代智能变电站可充分利用电网的这种互供能力,结合高可靠性、高集成度设备的应用,基于站网协调理念,简化变电站的主接线形式。

当变电站中 220、110kV 出线上无 T 接线,或有 T 接线但线路允许停电时,可取消线路侧隔离开关。对于 220kV 变电站 110kV 侧,在满足系统要求的条件下,可以优化为以变压器为单元的单母线分段接线,母线侧隔离开关保留或取消应结合地区电网转供能力确定。而对于 220kV 双母线接线,考虑现阶段双断路器接线经济性较差,为保持双母线接线的可靠性、灵活性,在采用隔离断路器情况下,可保留母线侧隔离开关。

(2) 应用小型化、集成化设备,缩减占地面积。在新一代智能变电站中,设备的集成度进一步提高,从而缩小了设备的占地面积。采用隔离断路器可以减少隔离开关的使用,同时,隔离断路器上还集成有电流互感器及接地开关,设备更加紧凑;110kV 配电装置普

遍采用 SF₆ 气体绝缘封闭式管母线代替普通管母线,从而可以取消主变压器进线构架和母线进线构架;应用预制舱建筑实现变电站紧凑布置;采用小型化气体绝缘开关(gas insulated switchgear, GIS)、小型化开关柜、集成式电容器、集成化二次装置等设备。这些措施都显著缩小了变电站横向及纵向尺寸,优化了变电站的总平面布置。

(3) 构建一体化业务平台及层次化保护控制系统,应用集成化的二次设备,优化二次系统功能及配置。

1) 新一代智能变电站构建一体化业务平台,通过标准化的平台接口支持第三方应用模块接入,实现顺序控制、智能告警、二次设备在线监测、保护信息管理、远程浏览、时间同步管理、辅助应用控制等高级应用功能。

2) 构建层次化保护控制系统,实现“就地一站域”协调配合,应用站域保护集中决策,实现全站低频低压减载、备自投等安全自动控制功能,同时优化保护功能配置。全站取消传统的非关口计量表计,考核计量功能全部由测控装置实现。35kV 及 10kV 采用集成保护、测控、考核计量、合并单元、智能终端功能的多合一装置,110kV 全部采用合并单元智能终端集成装置,实现功能高度整合。110kV 站内信息采用共网共口传输方式,减少交换机数量,简化网络结构及二次接线。通过这些措施实现对二次系统功能的优化。

(4) 应用模块化二次组合设备,实现工厂化加工,减少现场接线及调试工作量。

1) 新一代智能变电站中,户内站按间隔配置模块化二次组合设备,智能组件与 GIS 本体采用一体化设计;户外站根据条件设置预制舱式二次组合设备,预制舱内二次屏柜采用单舱双列布置。这些二次组合设备在工厂内完成集成和调试后,整体运至现场,缩短现场调试时间。站内采用预制光缆、电缆实现设备之间的标准化连接、即插即用,大大缩短二次接线时间。

2) 新一代智能户内变电站建筑面积最大可减少 25%,户外变电站建筑面积最大可减少 45%~64%,建设工期可缩短 1/4。

1.2.2 新一代智能变电站的建设目标

新一代智能变电站是在理念、技术、设备、管理上全方位突破性的重大集成创新工作,是一项复杂的系统工程,它涉及多学科理论和多领域技术,必须采用全新的设计思路与方法,通过顶层设计制定新一代智能变电站的发展战略与规划。其建设目标主要体现在如下五个方面:

(1) 系统高度集成。

设备上包括一、二次设备,建筑物,以及它们之间的集成;系统上包括对保护、测控、计量、功角测量等二次系统一体化集成和故障录波、辅助控制等系统的融合;功能上包括变电站与调控、检修中心功能的无缝衔接。

(2) 结构布局合理。对内包括一、二次设备整体集成优化,通信网络优化,以及建筑物平面设计优化;对外包括主接线优化,灵活配置运行方式适应变电站功能定位的转化和电源、用户接入。

(3) 装备先进适用。设备上智能高压设备和一体化二次设备的技术指标先进、性能稳定可靠;系统上功能配置、系统调试、运行控制工具灵活高效,调控有力;通信系统安全

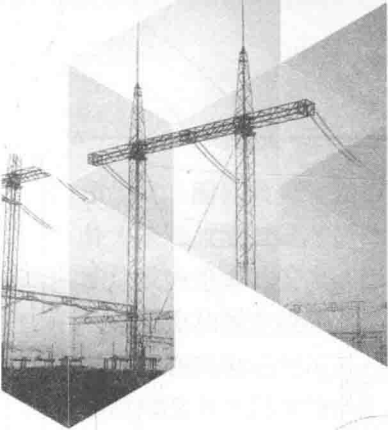
可靠，信息传输准确无误。

(4) 经济节能环保。在全寿命周期内，最大限度地节约资源，节地、节能、节水、节材、保护环境和减少污染，实现效率最大化、资源节约化、环境友好化。

(5) 支撑调控一体。优化信息资源，增加信息维度，精简信息总量。支持与多级调控中心的信息传输；支撑告警直传与远程浏览，为主站系统实现智能变电站监视控制、信息查询和远程浏览等功能提供数据、模型和图形的传输服务。

1.3 小 结

本章对智能变电站的作用、基本结构及工作原理进行了介绍，对智能变电站站控层、间隔层及过程层各自的功能进行了介绍，在此基础上，对新一代智能变电站的原理及基本特点进行了介绍。作为智能变电站技术的进一步发展，新一代智能变电站具有“集成化智能设备+一体化业务系统”的特点，系统集成度更高，结构布局更合理，装备更先进适用，更加节能环保，同时支持调控一体化操作。



智能一次设备及其常见故障

智能高压设备体现了智能变电站的重要特征，是智能变电站的重要组成部分。同传统高压设备相比，智能高压设备具有测量数字化、控制网络化、状态可视化、功能一体化和信息互动化等特征，能满足高可靠性的要求。

2.1 智能变压器

2.1.1 智能变压器的基本结构

变压器是变电站中的核心设备，变电站中电能的转换主要靠变压器来完成，因而变压器的状态对整个变电站的运行影响极大。

电磁式智能变压器的构成包括：变压器本体，内置或外置于变压器本体的传感器和控制器，实现对变压器进行测量、控制、计量、监测和保护的智能组件。

图 2-1 所示是智能变压器的状态监测信息示意图。从图 2-1 中可以看出，变压器的状态监测主要包括局部放电监测、油中溶解气体监测、绕组光纤测温、侵入波监测、变压器振动波谱和噪声监测等。

对于不同电压等级、不同类型及有特殊要求的变压器，其智能组件可以在以上的组件中选取，也可在需要增加功能时增加或改换智能组件。

智能变压器的功能主要体现在以下三个方面：

1. 智能化状态检测

传统变压器的状态检测主要依靠目测、变压器油的离线色谱分析等。这些检查手段简单，无法实现实时检测，且很多检测往往是在变压器内部有故障之后再进行，检测结果很少能起到预防和延长变压器寿命的作用。

智能电力变压器能实时监视变压器的运行温度，实时监视变压器油的色谱，甚至实时监视变压器的老化程度、局部放电和机械应力所致变形等。同时，智能变压器可根据以上完备的内部状态检测结果优化变压器检修计划，以达到预防变压器内部故障和延长变压器寿命的作用。

2. 智能化运行

电力变压器的运行主要包括调节运行电压，改变中性点接地方式等。传统的电力变压器，这些运行方式的改变往往依赖人的手动调节，智能化程度不高。

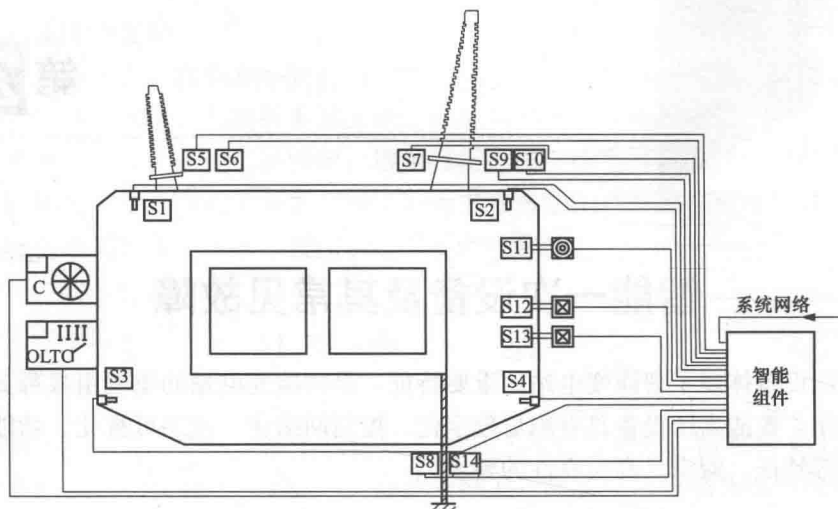


图 2-1 智能变压器状态监测信息示意图

S1、S2—顶层油温；S3、S4—底层油温；S5、S6、S9、S10—电压、电流；S7、S8—局部放电；S11—气体继电器；S12—油中溶解气体；S13—油中水分；S14—铁芯接地电流；C—冷却系统；OLTC—有载调压系统

智能变压器可根据实际电力系统的运行电压、变压器的负荷量等信息自动调节变压器的运行电压，保持负荷电压的稳定性。同时，智能电力变压器可以根据整个系统的接地情况和变压器的运行需要，自动调整变压器的中性点接地方式，保证系统接地方式的稳定性。通过这些智能化的调节，使变压器的运行状态达到最优。

与变压器一次侧的智能化运行相对应，智能变压器二次侧保护也可以根据一次运行方式的改变而自动改变保护的功能配置，从而形成电力变压器的一、二次智能化整体解决方案。

3. 智能化寿命检测

实际电力系统中，各个变压器的运行条件有所区别，理论上各个变压器的运行寿命均应有所不同。但传统上更换变压器时，除了内部发生严重故障导致变压器严重损坏外，变压器达到规定正常运行寿命时都会根据规定强行更换。也就是说，在更换变压器时，并没有充分考虑到变压器的实际运行寿命。

智能变压器除了能实时监视变压器的运行情况外，还可以根据实际变压器运行过程中的负荷情况、经历的外部和内部故障情况、变压器绝缘的老化程度、局部放电情况和机械应力所致变形等实际变压器的内部情况来推测变压器的运行寿命。在掌握了实际变压器的运行寿命情况后，智能变压器可根据实际电力系统的要求，自动给出变压器的改造和更换时间表。

2.1.2 智能变压器的常见故障及典型案例

大型变压器的故障涉及面广，原因复杂多样。常见的变压器故障划分方法通常有：按变压器本体可分为内部故障和外部故障，即把油箱内发生的各相绕组间的相间短路、绕组的匝间短路、绕组或引线与箱体接地短路等称为内部故障，而油箱外部发生的套管闪络、引出线间的相间短路等故障称为外部故障；按变压器结构可分为绕组故障、铁芯故障、油

质故障、附件故障；按回路可分为电路故障、磁路故障、油路故障；从故障发生的部位可分为绝缘故障、铁芯故障、分接开关故障、套管故障等。实际上，变压器的各种故障都可能危及内绝缘的安全，因此，各种外部和内部原因引发的变压器内部故障，按性质又可分为热故障和放电故障。热故障通常指变压器内部局部过热、温度升高；电故障通常指变压器内部在高电场强度的作用下，绝缘性能下降或劣化的故障。根据放电的能量密度不同，电故障又分为局部放电、火花放电和高能电弧放电三种故障类型。

变压器常见的故障类型如表 2-1 所示。

表 2-1 变压器常见的故障类型

故障定位	故障类型	故障定位	故障类型	故障定位	故障类型
绕组故障	(1) 匝间故障。 (2) 冲击。 (3) 受潮。 (4) 外部故障。 (5) 过热。 (6) 绕组短路。 (7) 劣化。 (8) 油道阻塞。 (9) 接地。 (10) 相间故障。 (11) 机械性故障	套管故障	(1) 老化。 (2) 污染。 (3) 裂纹。 (4) 动物闪络。 (5) 冲击闪络。 (6) 受潮。 (7) 油位低。 (8) 法兰接地	铁芯故障	(1) 铁芯绝缘故障。 (2) 接地带断裂。 (3) 铁芯叠片短路。 (4) 夹件、螺栓、楔块等部件松动。 (5) 铁芯接地
	(1) 松动连接。 (2) 引线断开。 (3) 受潮。 (4) 短路	分接开关故障	(1) 机械性故障。 (2) 电气故障。 (3) 引线故障。 (4) 过热。 (5) 油泄漏。 (6) 外部故障	其他故障	(1) 电流互感器故障。 (2) 油中有金属颗粒。 (3) 运输损坏。 (4) 外部故障。 (5) 油箱焊接不良。 (6) 附属设备故障。 (7) 过电压。 (8) 过负荷
端子排故障		油故障	(1) 受潮。 (2) 有杂质。 (3) 氧化。 (4) 泄漏。 (5) 劣化		

2.1.2.1 过热故障

变压器过热故障是常见的多发性故障，对变压器的安全运行和使用寿命带来严重威胁。变压器运行时有空载损耗和负载损耗产生，这些损耗来自于变压器绕组、铁芯和金属结构件，损耗转化为热量后，一部分被用于绕组、铁芯及结构件本身的温度升高，另一部分热量向周围介质（如绝缘物，变压器油等）散发，使发热体周围介质的温度逐渐升高，再通过油箱和冷却装置对环境空气散热。

2.1.2.1.1 分类

过热故障按发生部位可分为内部过热故障和外部过热故障。内部过热故障包括绕组、铁芯、油箱、夹件、拉板、无载分接开关、连接螺栓及引线等部件；外部过热故障包括套

管、冷却装置、有载分接开关的驱动控制装置以及其他外部组件。

1. 直环流或涡流在导体和金属结构件中引起的过热

(1) 铁芯过热故障。变压器铁芯局部过热是一种常见故障,通常是由于设计、制造工艺等质量问题和其他外界因素引起的铁芯多点接地或短路而产生。变压器正常运行时,充当电极的各绕组、引线与油箱间将产生不均匀的电场,铁芯和夹件等金属结构件就处于该电场中,由于它们所处的位置不同,因此,所具有的悬浮电位也各不相同,当两点之间的悬浮电位达到能够击穿其间的绝缘时,便产生火花放电。这种放电可使变压器油分解,长此下去,会逐渐损坏变压器固体绝缘,导致事故发生。

(2) 绕组过热故障。变压器绕组过热故障可分为发热异常型过热故障、散热异常型过热故障和异常运行过热故障。如果变压器绕组材料质量不高,会出现较高的电阻,在变压器带负荷运行的情况下,会使绕组出现异常发热现象。一些变压器生产企业为了控制变压器的铜损,在绕制变压器绕组过程中使用带绕包绝缘的换位导线,此类换位导线在使用一段时间后会 出现绕包绝缘膨胀、脱落,造成变压器内部油路的堵塞,油路不畅,造成散热异常,匝绝缘得不到充分冷却,因而会严重老化,以致发糊、变脆,在长期电磁振动的影响下,绝缘脱落,局部露铜,导致匝间短路,出现异常运行过热故障。

(3) 引线分流故障。由于引线安装工艺问题,使高压套管的出线电缆与套管内的铜管相碰,运行或检修过程中,接触部位受力摩擦,会导致引线绝缘层损伤或半叠绕白布带脱落,引起裸铜引线直接与铜管内壁及均压球接触,形成由铜管壁和引线组成的交链磁通的闭合回路,由此产生引线分流和环流,使电缆铜线烧断、烧伤,使铜管熔成凹形坑等。

(4) 铁芯拉板过热故障。大型变压器铁芯拉板,是为保证器身整体强度而普遍采用的重要部件,通常采用低磁钢材料,由于他处于铁芯与绕组之间的高漏磁场区域中,因此,易于产生涡流损耗过分集中,严重时会造成局部过热,其影响因素涉及铁芯拉板材料、几何结构形式与尺寸、漏磁场源等。

(5) 涡流集中引起的油箱局部过热。对于大型变压器或高阻抗变压器,由于其漏磁场很强,若绕组平衡安匝设计不合理或漏磁较大的油箱壁或夹件等结构件不采取屏蔽措施或磁钢板错用成普通钢板,使漏磁场感应的涡流失控,引起油箱或夹件等的局部过热。

2. 金属部件之间接触不良引起的过热

(1) 分接开关动静触头接触不良。分接开关接触不良出现的过热故障,通常有以下几个原因:

1) 无励磁分接开关的动触头片数过少,由于接触电流增加,分接开关在运行中烧损。

2) 有载分接开关或无励磁分接开关,由于操动机构的缺陷、固定触头的支架变形或压紧弹簧失效,造成动触头和静触头间的接触不良,甚至接触不上,使其触头表面腐蚀、氧化,或触头之间的接触电阻增大,引起分接开关烧坏。

3) 在有载调压变压器中,特别是调压频繁、负荷电流较大的情况,会造成触头之间的机械磨损、电腐蚀和触头污染,电流的热效应会使弹簧刀弹性变弱,从而使动、静触头