



国家电网
STATE GRID

国网技术学院培训系列教材

电气设备状态监测诊断技术

牛 林 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

国网技术学院培训系列教材

电气设备状态监测诊断技术

牛 林 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为提高培训质量,国网技术学院依据国家电网公司制定的培训方案,结合自身实训设施和培训特点,编写完成了《国网技术学院培训系列教材》。

本书为《国网技术学院培训系列教材 电气设备状态监测诊断技术》分册,共分七个项目,主要内容包括:组合电器等变电设备状态监测概述,高压断路器的监测与诊断,GIS 绝缘故障的在线监测与诊断,电容型设备的监测与诊断,金属氧化物避雷器的监测与诊断,电力电缆的监测与诊断,超声波局部放电检测。

本书可作为电气设备状态监测诊断专业的培训教学用书,也可作为各电力培训中心及电力职工院校的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备状态监测诊断技术 / 牛林主编. —北京: 中国电力出版社, 2013.5

国网技术学院培训系列教材

ISBN 978-7-5123-4366-5

I. ①电… II. ①牛… III. ①电气设备—设备状态监测—职业培训—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 086248 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>)

北京雁林吉兆印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 6 月第一版 2013 年 6 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 9.75 印张 123 千字

印数 0001-3000 册 定价 30.00 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

《国网技术学院培训系列教材》

编 委 会

主	任	赵建国	钱 平		
副	主 任	费耀山	程 剑	马放瑞	李勤道
委	员	康梦君	张效胜	范永忠	石 椿
		孙明晔	肖成芳	黄保海	马敬卫
		王立志	陈威斋	冯 靖	张进久
		马 骐	王立新	王云飞	于洲春
		杨 健	高建国	陈祖坤	商自申
		王付生	刘汝水	赵桂廷	刘广艳
编写组组长		费耀山			
副 组 长		黄保海	杨 健		
成 员		牛 林	战 杰	郑远平	高楠楠
		李金忠	陈春鹰	姜国庆	王 谦
		冯 华	苏雪原		



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

前言

为贯彻落实国家电网公司“人才强企”战略，积极服务公司“三集五大”体系建设和智能电网发展对技能人才的需求，打造高素质的技术、技能人才队伍，提升企业素质、队伍素质，增强培训的针对性和时效性，创新国内一流、国际先进的示范性培训专业和标杆性培训项目，国网技术学院组织院内专职培训师、兼职培训师及国家电网公司系统内生产技术、技能专家，结合国网技术学院实训设施和高技术、高技能员工培训特点，坚持面向现场主流技术、技能发展趋势的原则，编写了《国网技术学院培训系列教材》。

《国网技术学院培训系列教材》以培养职业能力为出发点，注重从工作领域向学习领域的转换，注重情境教学模式，把“教、学、做”融为一体，适应成年人学习特点，以达到拓展思路、传授方法和固定习惯的目的。

《国网技术学院培训系列教材》开发坚持系统、精炼、实用、配套的原则，整体规划，统一协调，分步实施。教材编写针对岗位特点，分析岗位知识、技术、技能需求，强化技术培训、结合技能实训、体现情景教学、覆盖业务范围、适当延伸视野，向受训学员提供全面的岗位成长所需要的素质、技术、技能和管理知识。编写过程中，广泛调研和比较分析现有教材，充分吸取其他培训单位在探索培养高素质的技术技能人才和教材建设方面取得的成功经验，依托行业优势，校企合作，与行业企业共同开发完成。

《国网技术学院培训系列教材》在经过审稿和试用后，已具备出版条件，将陆续由中国电力出版社出版。

本书为《国网技术学院培训系列教材 电气设备状态监测诊断技术》分册。全书分为七个项目：项目一由国网技术学院牛林、战杰、郑远平、高楠楠编写；项目二由国网技术学院牛林、中国电力科学研究院李金忠编写；项目三由国网技术学院牛林、河北省电力公司陈春鹰编写；项目四由国网技术学院牛林、河南省电力公司姜国庆编写；项目五由国网技术学院牛林、重庆市电力公司王谦编写；项目六由国网技术学院牛林、浙江省电力公司冯华编写；项目七由国网技术学院牛林、福建省电力有限公司苏雪源编写。全书由国网技术学院牛林担任主编，国网技术学院杨健担任主审，山西省电力公司史晋生、浙江省电力公司陆伟民、中国科学院孙志锐、山东大学李可军、山东电力集团公司周大洲、朱振华等参审。

由于编者自身认识水平和编写时间的局限性，本系列教材难免存在疏漏之处，恳请各位专家及读者不吝赐教，帮助我们不断提高培训水平。

编 者

2012 年 11 月



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

目 录

前言

项目一 组合电器等变电设备状态监测概述	1
任务一 组合电器及其绝缘故障和危害	1
任务二 组合电器在线监测技术	7
任务三 其他变电设备在线监测技术	10
项目二 高压断路器的监测与诊断	15
任务一 高压断路器的作用、结构、常见故障及诊断内容	15
任务二 高压断路器机械特性监测	23
任务三 高压断路器故障诊断	35
项目三 GIS 绝缘故障的在线监测与诊断	40
任务一 GIS 概述	40
任务二 GIS 故障类型	44
任务三 GIS 的局部放电检测	46
任务四 SF ₆ 气体泄漏检测	62
任务五 在线监测 GIL	64
任务六 分析典型故障	66
项目四 电容型设备的监测与诊断	73
任务一 电容型设备概述	73
任务二 三相不平衡信号检测	79

任务三	监测电容值 C 和介质损耗角正切	84
任务四	电容型设备故障诊断	90
项目五	金属氧化物避雷器的监测与诊断	95
任务一	认识金属氧化物避雷器	95
任务二	在线监测金属氧化物避雷器	100
任务三	分析典型故障	108
项目六	电力电缆的监测与诊断	111
任务一	认识电力电缆	111
任务二	直流法监测	115
任务三	介质损耗因数监测	120
任务四	局部放电监测	122
任务五	电缆故障点定位	125
任务六	典型故障分析	127
项目七	超声波局部放电检测	130
任务一	认识超声波	130
任务二	超声波检测技术	132
任务三	典型故障分析	137
参考文献		141

项目一



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

组合电器等变电设备状态监测概述

【项目描述】

本项目要求学员掌握组合电器的概念、特点与结构、故障及其危害，在线监测技术，以及其他变电设备的在线监测技术等。

【教学目标】

学习并掌握组合电器及其他变电设备状态监测基本知识理论，掌握相关设备结构特点以及绝缘故障的危害，掌握状态监测系统的组成以及各设备的监测项目，了解状态监测技术的发展趋势，了解状态检修的概念以及意义。对组合电器及其相关设备的状态监测有初步了解，理解相关概念，为接下来具体内容学习奠定理论基础。

任务一 组合电器及其绝缘故障和危害

【教学目标】

掌握组合电器的概念、特点及结构，掌握绝缘故障及其危害。

【任务实施】

一、组合电器的概念及分类

组合电器是将两种以上的电力设备按照统一的接线标准组成一个整



体,但各设备仍然保持原性能相对独立的装置。组合电器由于结构紧凑,外形和安装尺寸较小,使用方便,且各设备的性能相对独立,可以更自由地协调配合等众多优点,在电力系统中得到广泛应用,目前已经成为先进变电站的主流设备。

组合电器按照电压高低可分为低压组合电器和高压组合电器。

低压组合电器常用于工业自动控制系统中,例如将接触器、断路器和过电流继电器组合而成的低压组合电器,可实现远距离控制电动机频繁启动、停止以及各种保护控制功能。

电力系统中的组合电器一般为高压组合电器,根据绝缘结构的差异,高压组合电器可分为敞开式和封闭式两种。敞开式组合电器以高压断路器或隔离开关为主体,将电流互感器、电压互感器、电缆接头等元件组合在一起。封闭式组合电器是将各组成元件的高压带电部位密封于接地的圆柱形金属外壳内,外壳与高压母线间填充绝缘性能良好的气体、固体或液体,各组成元件单独成型,包括断路器、隔离开关、接地开关、电压互感器、电流互感器、避雷器等,按照统一的接线标准,根据设计依次连接组成一个整体。各种高压组合电器中, SF_6 封闭式组合电器由于体积小、安全性能好、长期运行可靠性高、系统检修周期长等优势,逐渐被各国电力系统采纳,得到广泛应用。

SF_6 封闭式组合电器也称为气体绝缘设备(Gas-insulated switch-gear, GIS),其应用目前已经普及到城市供电、发电厂、大型工矿企业、石油化工、冶金和铁道电力系统等高压输变电系统中,尤其在对体积和环境影响严格的城市供电系统,以及边远地区的水电厂和核电站,超高压 GIS 具有常规设备无法比拟的优越性。

二、GIS 的特点和结构

1. GIS 的特点

GIS 将变电站中除了变压器以外的所有电气设备全部封闭在一组接地的金属外壳内,空腔内填充 $0.34\sim 0.4\text{MPa}$ 的 SF_6 气体作为绝缘以及灭弧介

质。由 GIS 组成的气体绝缘变电站与常规变电站相比有如下特点:

(1) 占地面积和空间显著降低, 且随电压增加而显著减少。以国内桥接式变电站为例, 110kV 的 GIS 变电站占地面积仅为常规站的 7.6%、体积为 6.1%, 而 220kV 的 GIS 则分别为常规变电站的 3.7 和 1.8%。

(2) 高压导体和固体绝缘件都封闭于金属外壳内部, 不受外界环境的影响, 长期运行可靠性高。根据统计资料, GIS 的内部闪络故障通常发生在安装或者大修后投运第一年内, 第一年的故障率为 0.53 次/间隔, 第二年下降到 0.06 次/间隔, 以后稳定在 0.01~0.02 次/间隔。另外, 根据运行经验, 隔离开关和盆式绝缘子的故障率最高, 分别为 30%和 26.6%, 母线故障率为 15%, 电压互感器故障率为 11.7%, 断路器故障率为 10%, 其他结构故障率为 6.7%。

(3) GIS 开断性能好, 检修周期长, 高压断路器等主要部件的维护间隔可达 20 年, 一般不低于 10 年。

(4) 安装方便。由于 GIS 采用分段式结构通过标准接口互连, 因此可以在一次设备生产厂家装配后分段运往现场, 对于运输和安装的要求都大幅度降低, 提高时间利用率, 大大缩短现场安装的工作量和工程建设周期。

由于以上优点, 自从 20 世纪 60 年代 GIS 投入应用开始, 目前已经有数万个间隔投入使用, 电压等级从 60kV 到 750kV, 近些年更有达到 1000kV 的特高压等级 GIS 投入使用。国外的 GIS 变电站和常规站建设比例约为 1:6, 而城市负荷中心变电站, 包括企业内部变电站等对空间要求苛刻处, GIS 变电站已经逐步取代了常规变电站。

2. GIS 的结构

GIS 主要由高压断路器、隔离开关和接地开关、电流互感器、电压互感器、避雷器、母线(三相或者单相)及过渡元件等组成。单相分体式 GIS 结构如图 1-1 所示, 圆盘形结构即为气体隔离绝缘盆, 可拆卸为多个气室运输到现场再进行组装。三相合体式 GIS 结构如图 1-2 所示, 同理也可以分拆为不同的气室进行组合。

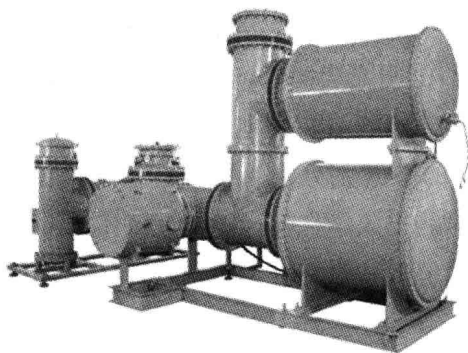


图 1-1 单相分体式 GIS 结构

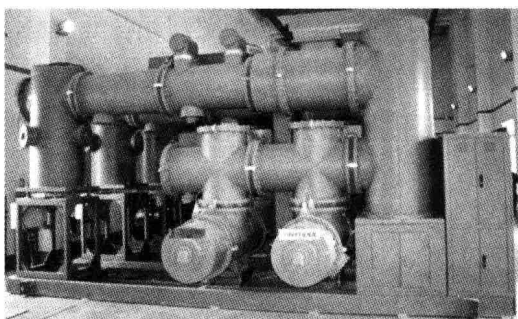


图 1-2 三相合体式 GIS 结构

GIS 的特点是内部结构紧凑，而且各部件相对独立。图 1-3 为一个最简单的单简单母线 GIS 剖面图，包含隔离开关、电流互感器、断路器、母线筒、接地开关和控制柜等结构，其中断路器属于端口垂直布置，以操动机构为其支撑底座。根据不同的电压等级，GIS 的结构会略有区别，例如电压等级不超过 330kV 的电压互感器一般采用电磁式电压互感器如图 1-4 所示；电压等级超过 500kV 的则普遍采用电容式电压互感器。单独的电流互感器会放在一个直径略大的筒内，剖面图如图 1-5 所示。大多数情况下，隔离开关和接地开关成对出现，如图 1-6 所示，某些特殊情况下也可单独使用。

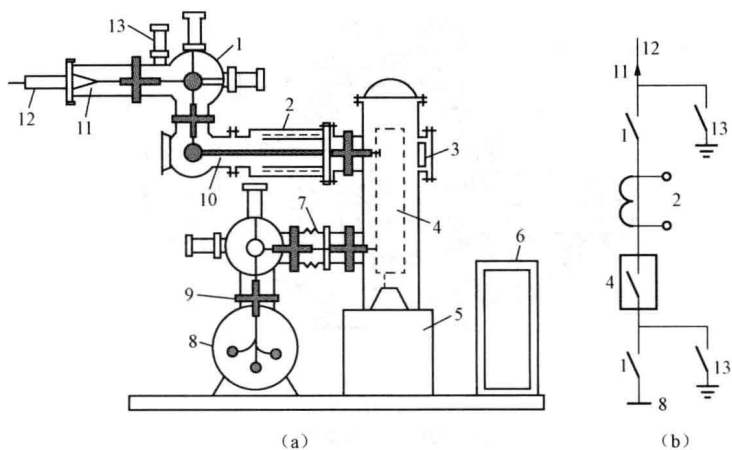


图 1-3 单简单母线 GIS 剖面图

1—隔离开关；2—电流互感器；3—吸附剂；4—断路器灭弧室；5—操动机构；

6—控制柜；7—伸缩节；8—三相母线筒；9—绝缘子；10—导电杆；

11—电缆头；12—电缆；13—接地开关

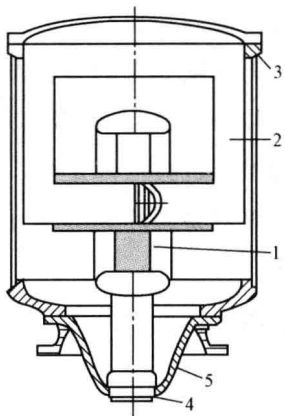


图 1-4 电容式电压互感器

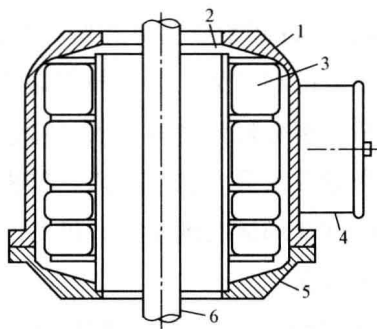


图 1-5 电流互感器剖面图

1—一次绕组；2—铁心和二次绕组；3—外壳；1—外壳；2—屏蔽罩；3—环形铁心；4—二次

4—高压接线端；5—盆式绝缘子

接线箱；5—法兰；6—一次导体

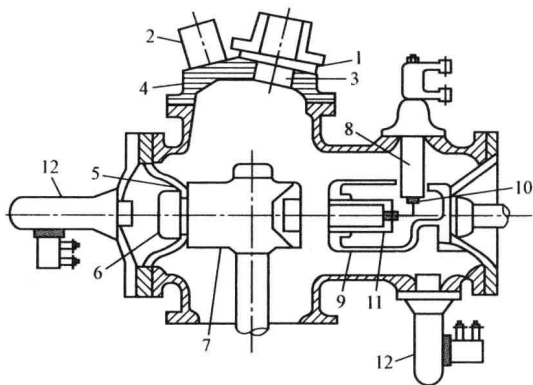


图 1-6 隔离开关和接地开关

- 1—防爆膜片；2—密度继电器；3—吸附剂；4—外壳；5—盆式绝缘子；6—接地
开关静触头；7—主静触头；8—旋转的绝缘杆；9—动触头屏蔽罩；
10—操纵系统；11—动触头；12—接地开关装置

三、组合电器的故障及其危害

尽管组合电器在很多场合具有很大的优势，但同样也存在一些缺陷，具体表现在：①设备完全封闭在金属外壳中，无法依靠人的感官发现故障的早期症候；②紧凑的分布结构导致一个设备的故障很容易波及邻近设备，造成故障范围扩大；③金属屏蔽的全封闭结构很难进行故障定位，检修工作复杂，事故后停电时间长、检修成本高，且很容易破坏无故障元件，检修工作导致水分、灰尘侵入，降低设备可靠性。

经过现场运行的检验，以 GIS 为例组合电器的运行故障及其危害有以下七个方面：

(1) 隔离气室漏气。通常 GIS 的漏气点会发生在相邻设备的连接端面、充气以及监控表计管接头、焊缝沙眼等处。六氟化硫本身无毒无色，但却是极强的温室气体，且放电分解产物有剧毒，因此气体泄漏可能导致有毒气体伤害人员或者污染环境。

(2) 接触不良引起发热。发热问题通常出现在间隔母线连接处、断路器和隔离开关的动静触头等位置。一般是由于触头插入尺寸不够或者断路器开断故障电流后表面烧损等原因导致触头接触电阻增大,造成发热故障。

(3) 断路器储能电动机以及三工位隔离开关操作电动机烧毁,造成无法完成分合闸操作。

(4) 户外本地控制箱、继电器接线盒漏水造成二次设备受潮,引发直流接地或者产生误报警信号。

(5) 开关连锁故障。三工位隔离开关、断路器、母线电压互感器、进出线带电显示闭锁装置的连锁开关触点不可靠,造成分合闸操作失败。

(6) 断路器、隔离开关和接地开关的操动机构元件故障。断路器的行程开关不到位、辅助开关未转换、分合闸线圈烧损,接触器工作不可靠等原因,都可能造成断路器分合闸故障。三工位隔离开关行程开关不到位、接触器工作不可靠也会导致三工位隔离开关机构分合闸故障。

(7) 机构箱内二次线缆松动造成各种故障。

针对上述可能出现的故障类型,运行人员需要加强日常的巡视检查工作。特别是对隔离开关的巡视,应留意 SF_6 气体压力的变化,是否有异常声音出现(音质特性或者持续时间变化)、发热和异常气味、表面生锈等现象。目前,上述常规巡检已经不能满足变电站的可靠性和智能化需求,运行部门和制造厂商都认为需要将二次在线监测技术配合应用,以准确及时发现 GIS 的内部故障。

任务二 组合电器在线监测技术

【教学目标】

掌握组合电器在线监测的内容,掌握 GIS 气体泄漏监测的方法和原理,



掌握 GIS 局部放电的方法以及各种方法的优劣，了解超声波法和超高频法的原理。了解相关技术的发展趋势。

【任务实施】

一、组合电器状态监测项目

组合电器的在线监测主要包括绝缘特性、断路器动作特性、接地故障、导体发热、气体泄漏等。从目前的技术发展来看，绝缘特性、断路器动作特性和气体泄漏是在线监测技术的主要监测手段。图 1-7 所示为组合电器的在线监测项目、故障机理和传感器类型。 SF_6 断路器是 GIS 的主要设备，它的监测内容与 SF_6 落地罐式断路器及常规高压断路器相同。

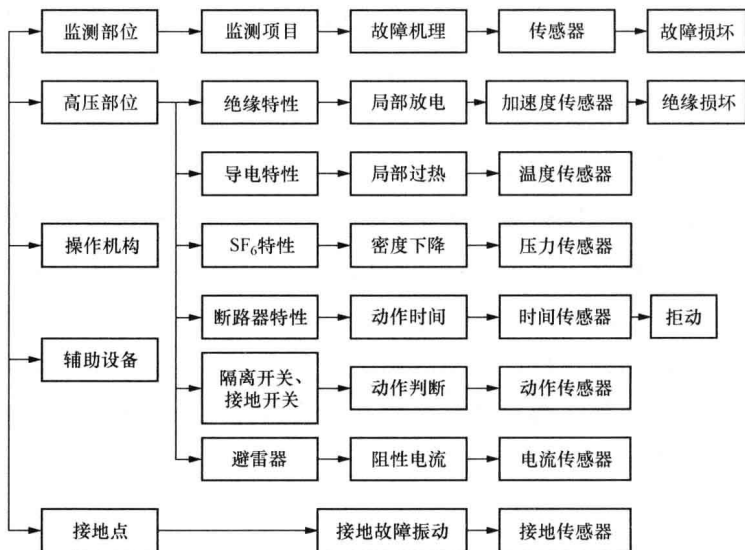


图 1-7 组合电器的在线监测项目、故障机理和传感器类型

二、组合电器在线监测系统的实现

组合电器在线监测系统一般从气体密度监测、局部放电检测和断路器动作特性三个方面实现。

1. SF₆ 气体密度监测

气体密度监测系统通常采用压力表和密度继电器组成气体泄漏传感器,其中 SF₆ 压力表可供值班人员直接检查,对照无泄漏情况下标定的 SF₆ 压力和温度分布曲线和参数对照表可判断气室是否有泄漏。图 1-8 是 SF₆ 密度继电器(即温度补偿压力开关)的工作原理,两个波纹管分别支撑在一个杠杆的两端,左侧与 GIS 气室连通,右侧与标准气室连通,环境温度变化对两边波纹管的变形相同,不会影响杠杆平衡。如果 GIS 中气体泄漏导致密度下降,波纹管失去平衡会使报警开关闭合,如果泄漏进一步发展,则杠杆倾斜增大直到闭锁开关闭合。

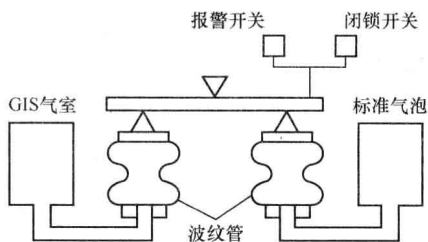


图 1-8 SF₆ 密度继电器工作原理

2. 局部放电在线监测

局部放电在线监测系统相比其他在线或者离线监测手段,能够提前发现电气设备中的绝缘故障,在造成危害之前提前进行检修维护,因此在智能电网建设中得到了广泛应用。目前比较成功的局部放电在线监测技术有机械振动法和电测法两类。

局部放电的机械振动信号可以通过加速度传感器和超声传感器实现。根据实验,灵敏度最高能达到 30PC,工作频率在几十到几百千赫之间,其中超声传感器由于具有较强的抗机械干扰能力和更高的数据可靠性,更适用于变电站现场环境。机械振动局部放电在线监测的优点是抗电磁干扰能力好,不会因为超高压环境下的强电脉冲而损坏,且频率较高的振动传感器对局部放电的定位比较精确,但是灵敏度远远不能满足需求,而且振动信号传播衰减太快,如果作为主要的监测手段则需要在 GIS 本体上安装大量的传感器。

电测法监测局部放电以电气法和超高频法为主要手段。其中,电气法以外置或者内置的电极,接收局部放电在金属壁上感应出的高频电流信号;