

电网设备状态检测技术培训教材



开关柜暂态地电压 与超声波局部放电检测

国网技术学院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电网设备状态检测技术培训教材



开关柜暂态地电压 与超声波局部放电检测

国网技术学院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为切实提高电网设备状态检测人员技术水平,确保状态检测人员技术集中培训工作规范、有序实施,国家电网公司组织编写了《电网设备状态检测技术培训教材》丛书。丛书目前有六个分册,本分册为《开关柜暂态地电压与超声波法局部放电检测》。

本分册主要内容包括高压开关柜基础知识、局部放电及其检测技术基础知识、暂态地电压与超声波法局部放电检测技术、局部放电检测数据的分析和管理工作、暂态地电压现场测试工作规范、典型案例剖析。附录包括练习题库、作业指导书、技能操作考核评分表、带电测试记录表和变电站(发电厂)第二种工作票。

本书可供电力系统工程技术人员和管理人员学习及培训使用,也可作为电力职业院校教学及新入职员工培训的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

开关柜暂态地电压与超声波局部放电检测 / 国网技术学院编. —北京:中国电力出版社,2015.5

电网设备状态检测技术培训教材

ISBN 978-7-5123-7567-3

I. ①开… II. ①国… III. ①高压开关柜-局部放电-检测-技术培训-教材 IV. ①TM591

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第072759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>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年5月第一版 2015年5月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 5.5印张 83千字

印数0001—6000册 定价22.00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

《电网设备状态检测技术培训教材》

编 审 人 员

吕 军 彭 江 冀肖彤 张祥全 周新风

杨本渤 徐玲玲 闫春雨 焦 飞 程 序

杨 柳 杨 健 陈威斋 张 鑫 赵义术

马志广 战 杰 牛 林

《开关柜暂态地电压与超声波 局部放电检测》分册

编 写 人 员

- 主 编 崔金涛 (国网技术学院)
- 副 主 编 张 彦 (国网技术学院)
- 编写人员 吴笃贵 (上海鲁毓电子科技有限公司)
- 毛 恒 (上海鲁毓电子科技有限公司)
- 邓 敏 (上海鲁毓电子科技有限公司)
- 程 序 (国网北京市电力公司)
- 满玉岩 (国网天津市电力公司)
- 王 伟 (国网山东电力集团公司)
- 马梦朝 (国网技术学院)
- 黄金鑫 (国网技术学院)
- 鲁国涛 (国网技术学院)
- 李艳萍 (国网技术学院)



电网设备状态检测技术培训教材

开关柜暂态地电压与超声波局部放电检测

前 言

近年来，国家电网公司大力推行电网设备状态检测技术，为切实提高电网设备状态检测人员技术水平，确保状态检测工作规范、扎实、有效开展，公司先后于2013年和2014年委托国网技术学院组织开展了状态检测人员技术集中培训并积累了一定经验。为确保后续培训工作规范、有序实施，国家电网公司组织专家编写了《电网设备状态检测技术培训教材》丛书。

本丛书编写坚持系统、精炼、实用、配套的原则，整体规划，统一协调，分步实施。目前已完成《红外热像检测》《电容型设备相对介质损耗因数及电容量比值测量》《开关柜暂态地电压与超声波局部放电检测》《GIS特高频与超声波局部放电检测》《油中溶解气体分析》和《SF₆气体检测》六个分册，每个分册主要由学习任务、练习题库、作业指导书、技能操作考核、检测报告、变电站（发电厂）第二种工作票组成。

本丛书是在国网技术学院两年集中培训试用基础上经过修改完善形成的任务导向型培训教材，也是国家电网公司各单位状态检测技术研究及应用成果的结晶。本丛书可供电力系统工程技术人员和管理人员学习及培训使用，也可作为电力职业院校教学及新入职员工培训的参考资料。

由于时间仓促，书中疏漏之处在所难免，望广大读者批评指正。

编 者

2015年4月



目 录

前言

任务一

高压开关柜基础知识	/ 1
一、高压开关柜的定义	/ 2
二、高压开关柜的组成	/ 2
三、高压开关柜的分类	/ 2
四、高压开关柜的结构特点	/ 3
五、高压开关柜故障分类	/ 4
六、高压开关柜放电检测的重要性	/ 5

任务二

局部放电及其检测技术基础知识	/ 7
一、局部放电的定义	/ 7
二、局部放电伴随的现象	/ 7
三、局部放电产生的原因	/ 8
四、局部放电的分类	/ 8
五、局部放电的检测技术	/ 9

任务三

暂态地电压和超声波法局部放电检测技术	/ 13
一、基础知识	/ 13
二、暂态地电压检测设备的基本组成	/ 15

三、暂态地电压法局部放电带电检测技术	/ 16
四、超声波局部放电带电检测技术	/ 19
五、声电联合检测的有效性验证	/ 22

任务四

局部放电检测数据的分析和管理工作	/ 24
一、局部放电检测数据的分析技术	/ 24
二、超声波局部放电检测数据分析技术	/ 31
三、综合分析流程	/ 32
四、暂态地电压检测中的管理问题	/ 32

任务五

暂态地电压现场测试工作规范	/ 35
一、检测仪器要求	/ 35
二、检测人员要求	/ 36
三、工作安全要求	/ 36
四、工作条件要求	/ 37
五、检测周期要求	/ 37
六、检测工作准备	/ 37
七、检测部位	/ 37
八、检测步骤	/ 38
九、数据分析方法	/ 39

任务六

典型案例剖析	/ 40
一、案例一	/ 40
二、案例二	/ 43
三、案例三	/ 46

四、案例四	/ 47
五、案例五	/ 50
六、小结	/ 52

附录 A	开关柜暂态地电压与超声波局部放电检测练习题库	/ 53
附录 B	开关柜暂态地电压与超声波局部放电检测作业指导书	/ 63
附录 C	开关柜暂态地电压局部放电检测技能操作考核评分表	/ 70
附录 D	开关柜暂态地电压与超声波局部放电带电测试记录表	/ 73
附录 E	变电站（发电厂）第二种工作票	/ 74



● **学习情境描述** 本学习情境为高压开关柜局部放电带电检测和分析技术的系统性学习，掌握开关柜局部放电带电检测的基本流程，通过案例剖析提高绝缘性缺陷现场诊断的能力。

● **教学目标** 了解典型高压开关柜的基本结构和故障形式，掌握局部放电的基本知识和常见检测技术，能够利用暂态地电压和超声波局部放电检测技术开展开关柜局部放电带电检测，并形成科学的作业程序。

● **教学环境** 多媒体教室，相关音像资料，开关柜状态检修实训平台。

任务一 高压开关柜基础知识

● **教学目标** 通过本任务的学习，了解掌握高压开关柜的基本概念、组成、分类，熟悉典型 KYN28 高压开关柜的结构特点，了解开关柜的故障分类方法，以及近年来故障统计数据 and 主要故障形式。

● **任务描述** 本任务为高压开关柜基本知识的学习，了解开关柜的功能、特点、结构、类型以及现场常见的故障形式等知识。

● **任务准备** 预习高压开关柜的基本概念和相关规定，了解高压开关柜局部放电状态检修开展情况和测试案例，了解电力系统检修模式的划分。

● **任务实施** 系统学习开关柜基本知识，以典型开关柜 KYN28 为例，讲解该类型开关柜的结构特点，总结高压开关柜近年的典型故障统计数据，阐述开展高压开关柜局部放电带电检测的实际意义，帮助学员掌握开关柜故障的主要形式，为故障查找奠定基础。

相关知识 DL/T 404—2007《3.6kV~40.5kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》、GB/T 7354—2003《局部放电测量》、JB/T 8754—2007《高压开关设备和控制设备型号编制办法》。

一、高压开关柜的定义

高压开关柜是用于电力系统的成套电气设备，其作用是在电力系统进行发电、输电、配电和电能转换的过程中进行开合、控制和保护等。它由高压断路器、负荷开关、接触器、高压熔断器、隔离开关、接地开关、互感器及站用变压器，以及控制、测量、保护、调节装置，内部连接件、辅件、外壳和支持件等组成，其柜内的空间主要以空气或复合绝缘材料作为介质，用作接受和分配电网的三相电能。

二、高压开关柜的组成

根据相关的功能和应用要求，高压开关柜主要由柜体和断路器两大部分组成。柜体一般由壳体、电器元件、各种机构、二次端子及连线等组成。所有高压开关柜的生产、制造、试验等均满足 GB 3906—2006《3.6kV~40.5kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》的要求。

柜内的电气元件主要由一次设备和二次元件等组成，一次设备主要有电流互感器、电压互感器、接地开关、避雷器、隔离开关、高压断路器、高压接触器、高压熔断器、变压器、高压带电显示器、穿墙套管、触头盒、绝缘子、绝缘护套、主母线和分支母线等；二次元件主要有继电器、电能表、电流表、电压表、功率表、功率因数表、频率表、熔断器、空气开关、转换开关、信号灯、电阻、按钮、微机综合保护装置等。

三、高压开关柜的分类

高压开关柜按不同的回路方案或不同的功能进行划分，一般分为进线柜、出线柜、TV 柜、计量柜、分段联络柜、站用变柜、电容器柜等，因此不同回路方案的开关柜内部的一次电器元件也不同，如电缆进线方案一般包括有断路器、TA、避雷器、带电指示器、电缆等一次元件。

高压开关柜具体的分类如表 1-1 所示。

表 1-1 开关柜的分类

区分方式	类型	主要特点	示例
断路器 安装方式	手车式	主要电气元件安装在可抽出的手车上	KYN28A-12
	固定式	柜内所有的电气元件均为固定式安装	XGN2-10
安装地点	户内	只能在户内安装使用	KYN28A-12
	户外	可以在户外安装使用	XLW
柜体结构	金属封闭 铠装式	主要组成部件分别装在接地的、用金属隔板隔开的隔室中,如断路器等	KYN28A-12
	金属封闭 间隔式	主要电器元件分别装于单独的隔室内,但具有一个或多个符合一定防护等级的非金属隔板	JYN2-12
	金属封闭箱式	开关柜外壳为金属封闭式的	XGN2-12
	敞开式	无保护等级要求,外壳有部分是敞开	GG-1A (F)

四、高压开关柜的结构特点

开关柜内部结构空间有限,布置比较紧密,具有“五防”机械连锁功能,同时采用顶部泄压方式。内部空间一般分为断路器手车室、母线室、电缆室、继电器室等,室与室之间用钢板隔开。目前变电站中应用较为广泛的开关柜为金属封闭铠装的手车式开关柜,俗称中置柜,常用的为 KYN28 系列,如 KYN28A-12、AMS 等,其结构如图 1-1 所示。

1 断路器手车室

断路器手车装有带导轨的断路器,可在运行、试验/隔离两个不同位置之间移动。

2 母线室

母线从一个开关柜引至另一个开关柜,需通过分支母线和套管固定。矩形的分支母线直接用螺栓连接到主母线上,没有任何连接夹。所有的母线一般用绝缘护套覆盖,套管板和套管将柜与柜之间的母线隔离起来,并起到支撑作用。

3 电缆室

电缆室内空间大,电缆连接高度高,电缆头安装方便,可连接多根电缆。此外,电缆室内还可能安装 TV、接地开关、避雷器等设备。

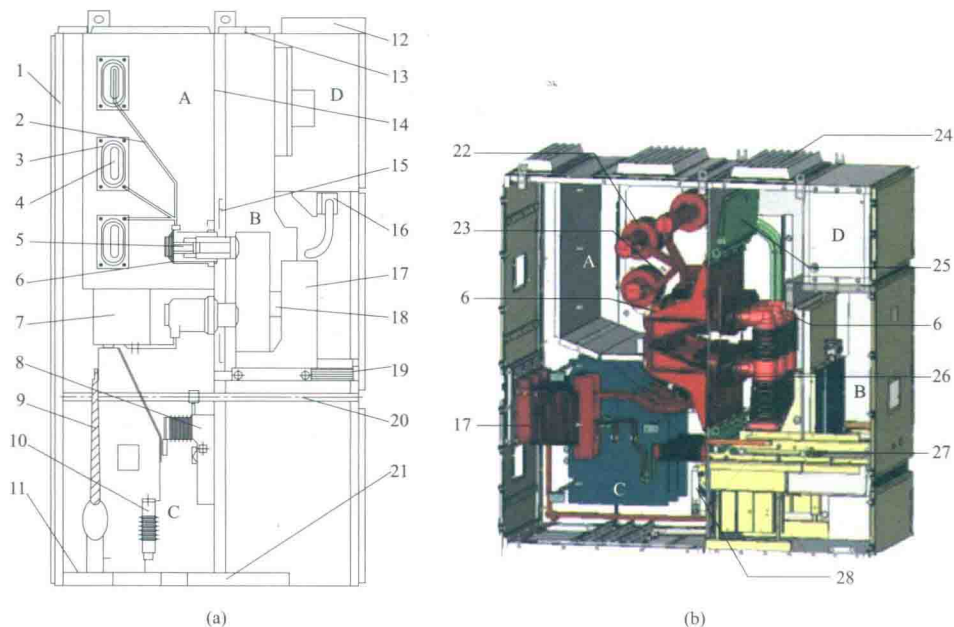


图 1-1 开关柜结构示意图

(a) KYN28A-12; (b) AMS 40.5kV

- A—母线室；B—断路器手车室；C—电缆室；D—继电器仪表室；1—外壳；2—分支套管；3—母线套管；
 4—主母线；5—静触头装置；6—静触头盒；7—电流互感器；8—接地开关；9—电缆；10—避雷器；
 11—接地主母线；12—控制小母线室；13—泄压装置；14—装於式隔板；15—隔板（活门）；
 16—二次插头；17—断路器手车；18—加热装置；19—可抽出式水平隔板；20—接地开关操动机构；
 21—底板；22—半圆形主母线；23—穿墙套管；24—压力释放装置；25—旋转折叠式活门；
 26—VEP 真空断路器或 FEP SF₆ 断路器；27— π 形导轨；28—ESW 型接地开关

4 仪表室

仪表室一般安装有继电保护元件、计量、显示仪表、带电显示器，以及特殊要求的二次设备。

五、高压开关柜故障分类

开关柜的故障类型一般可分为拒动/误动故障、绝缘故障、开断与关合故障、载流故障、外力及其他故障。

1 拒动/误动故障

拒合、拒分故障主要包括操动机构和传动系统的机械故障，以及电气控制和

辅助回路故障两类。操动机构故障的主要表现形式有机构卡涩，部件变形、位移、损坏，分合闸铁芯松动卡涩，轴销松断，脱扣失灵等，原因在于制造质量及安装、调试、检修问题。二次回路故障的主要表现形式为二次接线接触不良、端子松动、接线错误、分合闸线圈因机械卡涩或转换开关不良烧损、辅助开关切换不灵等，主要原因为二次接线、辅助开关、操作电源、合闸接触器、微动开关故障及分合闸线圈绕损、熔丝熔断等。

2 开断与关合故障

主要原因有油式断路器的喷油短路、灭弧室烧损，以及断路器开断能力设计不足、关合时爆炸等。对于真空断路器来说，除上述原因外，灭弧室及波纹管漏气、真空度降低也会导致此类故障。

3 绝缘故障

主要表现为：外绝缘及内绝缘的对地闪络、相间绝缘闪络击；因雷电、操作过电压等引起的闪络击穿；绝缘子/套管的闪络、污闪、击穿、爆炸；提升杆闪络；TA 闪络、击穿、爆炸；绝缘件开裂等。一般来说，开关柜内部出现绝缘故障的主要原因包括绝缘部件本身内部存在杂质或气泡，柜内一次电器元件积污、受潮，绝缘尺寸或安装的绝缘间隙不够、导体接触不良、螺丝松动、绝缘子开裂、电缆接头制作不合格、过电压等。

4 载流故障

主要原因在于断路器以及隔离开关的触头接触不良、触头接触电阻偏大、触点烧蚀严重、断路器插接不到位、偏心等。开关柜内部发热的突出部位主要有：主变压器总开关大电流回路内手车的触头部位、断路器/隔离开关引线连接处、电流互感器接线板、闸刀主刀口接触部位等。

5 外力及其他故障

故障形式主要有驱动机构和断路器本体的漏油、漏气，零部件损坏，驱动电机动作频繁，小动物等异物侵入引起短路等。

六、高压开关柜放电检测的重要性

中国电力科学研究院对 1989~1997 年和 2004 年 40.5kV 以下开关设备的故障类型进行了统计分析，如图 1-2 所示，其中，绝缘与载流性故障（含障碍）占

30%~53%。而广东电网公司对 1992~2002 年开关设备故障类型的统计结果显示，绝缘与载流性故障的比例甚至高达 66%。上述两种故障均与放电现象密切相关。近年来，英国电力企业对其国内使用的中压真空开关进行故障统计的结果如图 1-3 所示。其中，误操作和机械性两类故障类似于拒动/误动故障，占比为 30%~38%；放电、互感器和电缆箱类故障类似于绝缘和载流故障，占比为 26%~44%，也就是说这部分故障都是可用采用暂态地电压法和超声波法检测的部分，因此划分在一起。结果表明，高达 44% 的故障都可以通过局部放电检测技术检测出来，而 85% 的破坏性故障都是与局部放电现象相关的。因此，对中压开关设备实施放电检测可显著减少配电设备的故障概率。

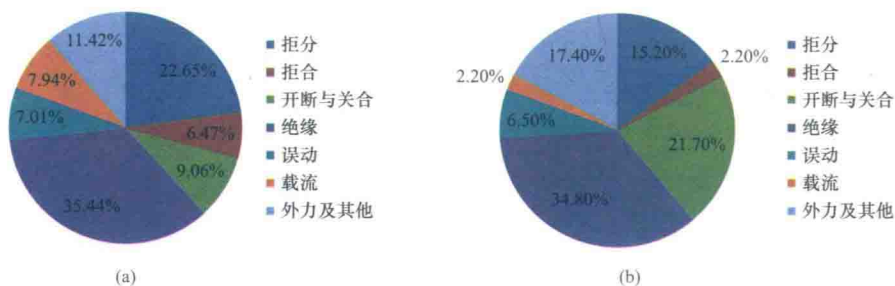


图 1-2 统计结果图

(a) 1989~1997 年高压开关设备事故按类型分布统计；

(b) 2004 年高压开关设备事故按类型分布统计

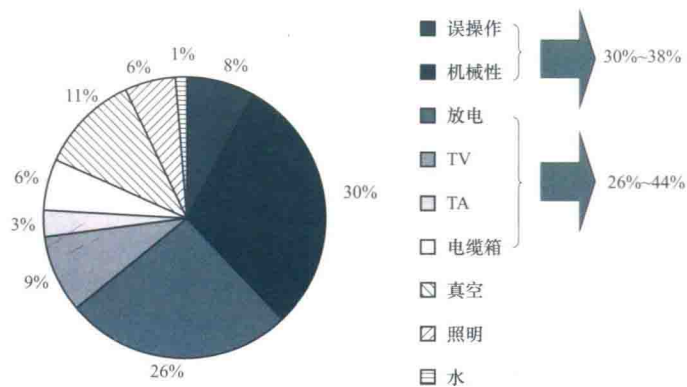


图 1-3 英国对中低压真空开关故障统计结果

任务二 局部放电及其检测技术 基础知识

教学目标 通过本任务的学习了解局部放电的定义、产生原因及分类，熟悉局部放电伴随的各种现象和危害，掌握局部放电传统检测方法、检测指标和带电检测新技术。

任务描述 本任务为局部放电知识学习的制定，学习局部放电的基本知识和检测技术，为暂态地电压检测技术的应用积累基础知识。

任务准备 预习局部放电的相关内容以及相关标准的规定，了解暂态地电压检测技术的应用情况和测试案例，为暂态地电压检测技术的应用奠定基础。

任务实施 系统学习局部放电的内容，熟悉局部放电产生的原因，了解不同放电类型的特点，了解局部放电检测现状和目前出现的新型检测技术。

相关知识 GB/T 7354—2003《局部放电测量》、《局部放电检测技术的现状和发展》

一、局部放电的定义

局部放电为导体间绝缘仅被部分桥接的电气放电，一般是由于绝缘体内部或绝缘表面局部电场特别集中而引起的。

二、局部放电伴随的现象

局部放电是一种复杂的物理过程，除了伴随着电荷的转移和电能的损耗之外，还会产生电磁辐射、声音、超声波、光、热、气体以及新的化学生成物等。从电特性方面分析，产生放电时，在放电处有电荷交换、电磁波辐射及能量损耗。



局部放电的伴生现象主要包括：

1) 电磁波辐射：局部放电发生时出现的电荷快速迁移会引起周围电磁场的快速变化，从而激发电磁波现象，其频段可能覆盖高频到超高频范围。对配电设备来说，局部放电产生的电磁波信号的频谱范围一般在 100MHz 以下。

2) 声音信号：局部放电时导致的机械振动会激发声音信号，频谱范围从人耳可直接听到的频段到人耳无法直接听到的超声波频段都有，主要与具体的放电类型有关，但以超声波频段为主。为了降低环境噪声的影响，一般选择超声波频段作为局部放电检测的主要频段。

3) 气体生成物：局部放电现象的热效应会引起绝缘介质的分解，从而生成氮化物、碳化物或氟化物。对气体生成物浓度的检测构成了局部放电现象的化学检测技术。

4) 光现象：放电导致的空气电离会激发红外光或紫外光，对红外或紫外光的检测则构成了局部放电现象的光学检测法。

5) 温度异常：局部放电导致的发热现象会导致电气设备的局部温度升高，对设备进行温度扫描，可以发现绝缘劣化的关键部位。由于温度测量的灵敏度较差，因此温度扫描仅用于极度劣化或者接触不良导致的放电现象。

局部放电对电气设备绝缘会产生严重的危害，主要表现在由于放电产生的局部发热、带电粒子的撞击、化学活性生成物以及射线等因素对绝缘材料的损害。这种对绝缘的破坏作用是一个缓慢发展的过程，对运行中的高压电气设备是一种隐患。

三、局部放电产生的原因

局部放电产生的主要原因是介质内部或表面的电场强度过高，具体的表现形式有绝缘部件内部存在气泡或杂质导致击穿场强不同、某一金属部件没有电的连接形成悬浮电位体放电、导体间连接点接触不良形成电位差、绝缘表面脏污引起电场分布不均、高压导体尖端附近的电场强度达到了空气的击穿场强等。

四、局部放电的分类

局部放电一般分为内部放电、表面放电、电晕放电、悬浮放电。

1 内部放电

在绝缘介质内部或介质与电极之间的间隙放电，属于内部放电。内部放电产