

火电建设类中级工培训教材

高压电气设备试验

(试用本)



西北电力建设局编

火电建设类中级工培训教材

高压电气设备试验

(试 用 本)

西北电力建设局编

火电建设类中级工培训教材

高压电气设备试验

(试 用 本)

西北电力建设局编

解放军 7226 厂 印刷

一九八五年 10 月第 1 次印刷

141 千字 6.75 印张

印数: 15,900

定价: 1.20 元

内 容 提 要

本书是电气安装工，变电安装工的专业教材之一。也可作为电气试验工及有关技术人员参考。内容包括发电厂和变电所主要高压电气设备的试验项目，标准和常用的试验方法，对试验结果及出现的异常也作了简明的分析判断。

本书重点介绍了电机、变压器、断路器的试验方法，对电缆、互感器、避雷器、接地装置等也作了简要介绍。

前 言

火电建设类中级工技术理论培训教材是水利电力部委托西北电力建设局组织编写的。包括机、炉、电、送、变电安装、焊接、起重等十个工种、十九种教材。其中基础课教材六本，专业课教材十三本。

这套教材是根据原电力工业部颁发的《工人技术等级标准》中有关工种的四一六级工“应知”部分，结合我国现阶段火电建设的施工需要编写的。在内容选择方面既注意了和学徒工，初级工技术理论培训教材的衔接，又照顾了课程自身必不可少的系统性，完整性。在编写过程中强调了要突出一个“新”字，能反映我国八十年代火电设备和施工水平；围绕一个“用”字，教材内容的详简取舍都要着眼于施工的实际需要，学以致用，以提高工人操作技能、工艺水平，提高施工质量，提高劳动生产率为目的；在文字表达方面力求简明扼要，通俗易懂，尽量突出工人培训教材的特点。

中级工技术理论培训，应是经过初中文化补课和初级技术补课合格的人员参加。否则，程度太低，有些内容难于接受，影响培训效果。

这套教材在编写过程中，得到了有关省（区）兄弟单位的大力支持，提供了资料和施工经验，在此表示衷心感谢！

《高压电气设备试验》系专业教材之一，由西北电建局徐贤德同志主编，西北电力建设技工学校彭中伟同志主审，西北电力建设局王维栋同志作了定稿编审。

由于水平有限，经验不足，编写时间仓促，错误和不妥

之处在所难免，恳请使用单位、教师、读者批评指正，以便进一步修改，提高再版质量。

西北电力建设局教材编写小组

一九八五年五月

目 录

第一章 概述	(1)
§ 1-1 高压设备及高压试验	(1)
§ 1-2 高压试验标准及有关说明	(2)
§ 1-3 试验前的准备工作	(4)
第二章 电介质的基础知识	(6)
§ 2-1 电介质的极化	(6)
§ 2-2 电介质的电导	(9)
§ 2-3 电介质的击穿	(12)
§ 2-4 电介质的绝缘电阻和吸收比	(15)
§ 2-5 介质损耗	(18)
第三章 电气设备的绝缘特性试验	(22)
§ 3-1 绝缘电阻和吸收比试验	(22)
§ 3-2 直流耐压试验和泄漏电流测量	(26)
§ 3-3 介质损失角的测量	(32)
§ 3-4 交流耐压试验	(40)
第四章 交流电机的试验	(50)
§ 4-1 概述	(50)
§ 4-2 绝缘电阻和吸收比的测量	(61)
§ 4-3 水内冷发电机的绝缘试验	(65)
§ 4-4 发电机铁芯试验	(70)
§ 4-5 发电机参数的测定	(75)
§ 4-6 发电机轴电压的测量	(78)
第五章 直流电机的试验	(81)

§ 5-1	直流电机的交接试验项目和标准	(81)
§ 5-2	各绕组的极性 & 连接正确性检查	(82)
§ 5-3	炭刷中性位置的检查	(89)
§ 5-4	换向片间直流电阻和交流阻抗的测量	(92)
第六章	电力变压器的试验	(95)
§ 6-1	变压器试验的项目和标准	(95)
§ 6-2	绝缘特性试验	(100)
§ 6-3	线圈直流电阻测定	(108)
§ 6-4	极性和组别试验	(115)
§ 6-5	带负荷调压装置试验	(128)
§ 6-6	变压器油的色谱分析	(135)
第七章	其它电气设备试验	(139)
§ 7-1	高压断路器试验	(139)
§ 7-2	互感器试验	(146)
§ 7-3	电力电缆的试验	(155)
§ 7-4	避雷器试验	(163)
§ 7-5	接地装置试验	(170)
§ 7-6	线路参数测量	(178)
§ 7-7	相序测量与定相	(187)
附录一	电机、电器和变压器用绝缘材料耐 热分级	(195)
附录二	绝缘电阻温度换算系数表	(196)
附录三	直流泄漏电流和电导电流温度换算 系数表	(199)
附录四	介质损失角温度换算系数表	(202)
附录五	常用高压硅堆规格	(206)

第一章 概 述

§ 1-1 高压设备及高压试验

在发电厂和变电所中，连接在一次回路中的电气设备通常有发电机、变压器、电动机、断路器、刀闸、互感器、电缆、母线等。它们电压等级有：0.22、0.38、3、6、10、35、110、220、330、500千伏等级别。习惯上把额定电压为1千伏以上者称高压设备，1千伏以下者称低压设备。本书仅讨论高压设备的试验问题。

为了保证高压设备在发电和供电系统中能正常和可靠地运行，往往要进行一系列的试验。制造厂要进行型式和出厂试验；施工现场在安装过程和安装结束后，要进行各种试验；运行过程检修后，要定期进行各种试验。

高压试验包括高压设备的特性参数试验和绝缘强度试验。特性和参数试验通常是指：线圈直流电阻、线圈的极性和组别、开关的合闸和分闸时间、横梁移动速度、合闸接触器及分闸电磁铁线圈的最低动作电压；如发电机的各种阻抗测定，空载及短路特性曲线的录制等。这些特性和参数是提供分析、判断设备性能的好坏、安装调整的质量是否合格以及能否投入运行的重要依据。另外，有了上述数据，还可以为今后生产部门的运行监督和检修提供可比的技术数据。

高压绝缘强度的试验方法很多，在施工现场一般分为破坏性试验和非破坏性试验。

非破坏性试验是在较低的电压下，测定电气设备的某些特性（如绝缘电阻、介质损耗、局部放电等）及其变化情况，以此判断制造过程中、运输保管阶段及安装检修过程中所出现的绝缘缺陷。破坏性试验是模仿设备绝缘在运行中可能遇到的过电压状况，对绝缘物加上与之等价的高电压来进行试验，从而考验绝缘的耐压强度。显然，破坏性试验对考验电气设备绝缘的工作可靠性、发现绝缘的缺陷最有效。但在试验过程中却有可能损坏设备的绝缘，因而称为破坏性试验。为了尽可能避免在试验过程中损坏电气设备，应在非破坏性试验合格后，才允许进行破坏性试验。

§ 1-2 高压试验标准及有关说明

高压设备绝缘的各种试验标准（包括试验项目、试验方法以及对试验结果的分析、判断的标准）就是国家标准 GBJ232-82，即电气装置安装施工及验收规范第十七篇电气设备交接试验标准。（以下简称“标准”）

高压设备的某些参数和特性的实验，除按“标准”执行外，还应遵照设备制造厂出厂技术文件的有关规定和设计部门的有关图纸要求进行。

“标准”适用于国产电气设备新安装时的交接试验。对已运行过的并拆迁后重新安装的电气设备，可作参照。

关于同一电压等级的电气设备是否在一起进行耐压试验的问题，以往由于同一电压等级的电气设备虽然出厂试验电压基本一致（除变压器外），但交接试验标准却不一致，施工现场往往将各个连接设备分开进行耐压，因而增加不少工

作量。实际上，大都按其中最低试验电压标准，对同一电压等级的设备一起进行耐压。在“标准”中已作了明确的规定。

在绝缘测量和试验中，个别项目达不到标准的情况是会发生的，但决不能作为不能投产的依据。应进行全面综合性的分析（包括与出厂记录相比、与同类设备相比），才能较为确切地判断绝缘缺陷，决定可否投入运行。为慎重起见，对重大电气设备，如发电机、变压器分析时，应组织有关人员（制造部门、生产部门和安装部门的有关人员）参加，以便集思广益，作出正确的结论，也可供今后运行监督。

使用在污染地区的设备，如绝缘子等，可能因泄漏距离不够，需要提高绝缘子电压等级来加强绝缘。“标准”明确规定了这种为加强绝缘目的而采用额定电压较高设备，其试验电压应按设备的额定电压标准进行。若仅由于增加机械强度为目的，而采用额定电压较高的设备时，仍按额定使用工作电压标准试验。采用较高电压等级的设备如只是适应产品的通用性时，如6千伏的成套柜，采用10千伏的设备；15千伏和20千伏的设备，用于13.8千伏和18千伏等；以及在施工现场中，用高电压等级代用在低电压等级的设备，都不是为了增强绝缘为目的。所以，可按实际使用工作电压标准试验，也可按设备额定工作电压标准来试验。

在低温下（ 5°C 以下）进行试验时，结果往往不准确。水电部电科院作了调查和统计证实了这一点。但实际工作中，要求试验均在 $+5^{\circ}\text{C}$ 以上进行确有困难。在东北和西北地区调查中，基建和运行单位都反映做不到，特别是新设备往往在冬天投产较多，对设备进行加温也是有困难的，一般

都不加温。所以“标准”规定为“不宜”在低于 $+5^{\circ}\text{C}$ 的条件下进行试验。即要求尽量在 $+5^{\circ}\text{C}$ 以上进行试验。

§ 1-3 试验前的准备工作

试验前的准备工作，包括设备和设备安装工作应具备的条件以及试验本身的一些准备工作。

要试验的设备首先必须是工程所需要且短期内就要使用的设备。如果不是工程上所要求的设备或暂时不安装投付使用的设备，那就不必试验。经过高压试验的设备，就比较放心地知道了是否能投入运行，此后不允许任何人再去进行任何有影响于运行性能的工作。因此，要求高压设备在着手试验前，施工人员要开箱清点、清扫检查、检修、组装、调整和就位。安装工作基本结束后，要经过验收且基本符合规程所规定的工艺和技术要求。除此之外，所安装的电气设备，周围环境应初步具备运行时的条件，不能再因土建和其他安装工作对其有可能损坏。电缆已敷设到位且电缆头已制作，受潮的电机，变压器等已经处理。在基本上达到上述条件时，进行高压试验工作，此时的实验结果能真正反映出设备在运行状态下的各种绝缘性能。

高压试验工作，尤其是高压设备的绝缘性能试验，是一项技术性又是危险性的工作。所以，要求每个工作人员要极其严肃、认真。在试验前应清楚被试设备的安装位置、周围环境、设备的型式规范、数量多少；对制造厂所提供的说明、试验报告等资料要检查是否齐全且全部弄懂。另外，要熟悉“标准”的要求，选择合适的试验设备，采取正确的试验方

案和方法等。对于比较重要的电气设备的破坏性试验，在试验前必须拟订详尽的试验措施，经上级有关部门审批后，才可以执行。

试验开始前、试验过程中和试验结束后，安装人员和试验人员始终应密切配合，相互协作，共同商量，以实事求是的态度处理问题。

复 习 思 考 题

1. 高压电气设备试验的意义和目的是什么？
2. 什么叫破坏性试验和非破坏性试验？他们各自又有哪些试验内容。
3. 高压试验标准的依据是什么？
4. 试验前要具备哪些条件，方可开展工作。

第二章 电介质的基础知识

电力系统常常由于某一部分或某一电气设备的绝缘遭到破坏而引起事故，破坏了电力生产系统的可靠性，给国民经济带来巨大损失。科研、设计和制造部门，为了加强设备绝缘的问题一直在做大量的工作。同样，在安装和检修过程中，为保证今后的安全运行，除了认真细致地进行安装检修外，还需要对电气设备的绝缘进行各种项目的试验，以鉴定各种性能和耐电强度。为了正确掌握试验方法、分析和判断试验结果，了解一下电介质（即绝缘物）在外电场作用下，其内部发生的物理现象以及外界各种因素对它的影响是很有必要的。

§ 2-1 电介质的极化

电介质又称绝缘体。任何绝缘体或绝缘材料都不是完全不导电的。绝缘体、半导体和导体的区别在于电阻率的不同。导体的电阻率为 $10^{-6} \sim 10^{-2}$ 欧，半导体的电阻率为 $10^{-2} \sim 10^0$ 欧，绝缘体的电阻率为 $10^9 \sim 10^{22}$ 欧。

任何电介质都是由中性或极性分子所组成。中性分子的原子由带正电荷的原子核和带负电荷的电子所组成，正、负电量彼此相等且作用中心重合，故对外不呈现电性，而呈中性状态。极性分子则不然，其正负电荷的作用中心保持一定的距离，即有一定的电矩。单个分子对外是呈现电性的，但

由于热运动，电介质内极性分子的排列杂乱无章，分子的电性相互抵消，故从电介质整体来看，对外不呈现电性。

电介质分子在外部电场作用下，原来中性分子内相互束缚的电荷，在相应于电场的方向产生有限的相对位移，如图 2-1 所示。由于电荷的位移，使原来中性的电介质对外呈现了电性，这种现象称为电介质的极化。

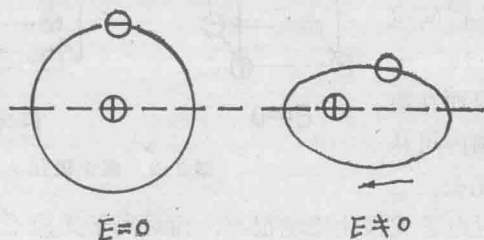


图 2-1 电子极化

图 2-1 左图为无电场作用时的中性原子。右图是外电场作用下的原子，图中电子轨道发生了变形位移，其作用中心与原子核的正电荷不再重合，正负电荷两极分化，对外呈现出一个电偶极子的状态。这种电子式极化是具有弹性的，当外界电场去掉后，由于正负电荷的吸引力，而自动恢复到原来的中性状态。因而这种极化没有能量损耗。

电子的质量很小，极化过程的时间极短，约 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ 秒。因而在各种频率的外加电压作用下，均能产生这种极化。

除上述电子式极化外，还有离子式极化。固体无机化合物多属离子式结构。如云母、陶瓷、玻璃等。无外加电场时，正负离子的作用中心互相重合，如图 2-2 左图所示。在

外电场作用下，正负离子产生位移，电荷作用中心不再重合，对外显示出电的极性，如图 2-2 右图所示。

离子式极化和电子式极化一样，也是一种弹性位移，因而几乎没有损耗；极化时间也很短，约 $10^{-12} \sim 10^{-13}$ 秒。因而在使用频率范围内可认为与频率无关。

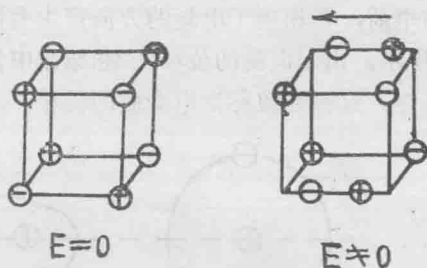


图 2-2 离子极化

温度对电子式极化影响很小，而对离子式极化影响较大。温度升高使离子间的结合力降低，极化程度增加；另一方面由于离子密度随温度升高而减少，而使极化程度降低。两者相比，前者影响较大。

有些介质，如松香、橡胶、聚氯乙烯、纤维素等。本身是偶极子结构，即由极性分子所组成，如图 2-3 所示。单个偶极子虽具有极性，但它们处于不停的热运动中，分子排列混乱，对外不显示极性，如左图所示。在外电场作用下的情况如右图所示，偶极子受电场力而转向，作有规则的排列，因而显示出电的极性。

偶极子的极化是非弹性的，极化时所消耗的能量不可能回收。极化所需时间较长，约 $10^{-10} \sim 10^{-2}$ 秒。因此极性物质在频率很高的外电场作用下，偶极子来不及转动，极化减弱。温度的影响也很大，温度升高时，一方面分子间联系减弱，使极化加强；但另一方面由于分子热运动加剧，妨碍偶

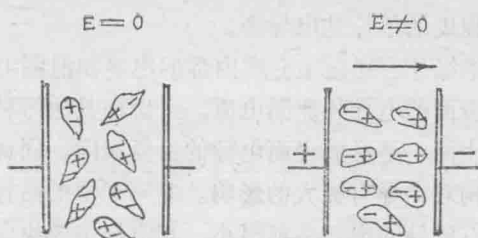


图 2-3 偶极子极化

极子顺电场排列，又使极化减弱。

在实际应用上，高压设备常用分层介质绝缘。如电缆、电容器和变压器绕组等。两层介质之间常夹有油层、胶层等，这时绝缘中就出现了不同介质的分界表面。对于不均匀的或含有杂质的介质和受潮的介质，事实上可以把它等价于这种夹层介质来对待。此介质在外电场作用下，将在两层电介质的分界面上积蓄着自由电荷，这种电荷形成的内电场与外加电场方向相反，构成了夹层式极化。这种极化过程特别缓慢，所需时间由几秒到几十分钟或者更长，而且只有在直流电压或低频 10~1000 赫以下，方能呈现出来。

§ 2-2 电介质的电导

任何电介质都不可能完全不导电，电介质中总有一些联系较弱的带电质点，在外电场作用下，沿着电场方向作定向