

城镇(农村) 工矿企业电工培训教材

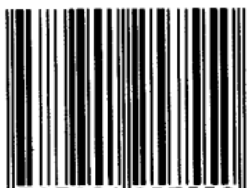
(中级工)

高低压电气
设备试验

山西省电力工业局 编

中国电力出版社

ISBN 7-80125-755-3



9 787801 257550 >

ISBN 7-80125-755-3/TM · 475

全三册定价:28.00 元 (本册:10.00 元)

SI

城镇（农村） 工矿企业电工

高低压设备电气试验

（ 中级工）

山西省电力工业局 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书为《城镇(农村)工矿企业电工培训教材》之一。

本书共分十一章,主要介绍了电介质特性、变压器绕组的连接及并联运行,常用测试设备结构及仪器仪表修理,电子电压表的测量及使用,过电压及其防护,变压器特性试验,变压器的绝缘试验,电力电缆试验,断路器的试验,互感器、电容器、避雷器试验,测量相位相序及冲击合闸试验。为了便于培训和考核,每章后均附有复习题。

本书可作为厂矿及县(市)电业部门从事电气试验中级工培训教材,也可作为从事电气试验专业人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高低压设备电气试验/山西省电力工业局编.-北京:
中国电力出版社,1998

城镇(农村)工矿企业电工培训教材

ISBN 7-80125-755-3

I. 高… II. 山… III. ①高压电器-试验-技术培训-教材 ②低压电器-试验-技术培训-教材 N. TM5

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第29106号

高低压设备电气试验(中级工)

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷 各地新华书店经售

*

1999年1月第一版 1999年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 7.5印张 164千字

印数0001--3850册 全三册定价28.00元(本册10.00元)

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

城镇(农村)工矿企业电工培训教材

编 审 委 员 会

名 誉 主 任：卞学海 李振生
主 任：刘润来
常 务 副 主 任：郭连邦
副 主 任：程忠智 宗 健 徐 奇 贺至刚
张克让 王靖中 杨定鑫 程纪奎
顾希衍 王文杰 郑承平 刘玉柱
委 员：周 新 郭林虎 李 禄 阎刘生
乔文普 李 波 吴秀初 杨 忠
卫克俭 苑连池 杨德水
办 公 室 主 任：杨定鑫 (兼)
办 公 室 副 主 任：乔文普 陈 涛 姜丽敏 郭林虎
办 公 室 工 作 人 员：曹 璘 王荣辉 罗 琳

《高低压设备电气试验》(中级工)

编 写 人 员

主编：刘俊义

参编：史宪泽、田生荣、高世伟

前 言

根据原电力部教育工作会议的精神和中电联教培部《关于电力工业培训教材建设工作的意见》，在部领导的关怀下，山西省电力工业局和中国电力出版社经协商研究后，决定编写出版这套《城镇（农村）工矿企业电工培训教材》。

我国工矿企业和农村，目前约有 300 万电工在从事电力设施的安装、检修、运行维护和试验工作，他们是建设和发展供用电事业，维护供用电设施安全的一支重要生力军。随着我国电力事业的不断发展和电力科学技术的进步，对这支生力军的整体素质也相应地提出了更高的要求。为此，编写一套适用于城镇（农村）工矿企业电工培训学习的教材，是当务之急，也是我们电力管理和电力出版部门义不容辞的责任。

本套丛书的内容覆盖了变配电设备运行、检修、安装，供电线路施工、运行、检修，电机检修，电气试验，电气仪表及内线工程施工和检修等 8 个工种对初、中、高级工的技术要求，每个工种分初、中、高级工 3 个分册出版，共 24 个分册。

在编写本套丛书的过程中，着重根据工人技术等级标准中对每一工种的定义、工作内容、技术等级、适用范围等的规定，紧扣标准提出的知识要求和技能要求，从生产实际需要出发拟出初步的编写提纲；经数月重点调查研究、广泛征求意见、认真修订后形成正式的编写提纲；之后，又历时半年余，始成初稿。初稿形成后，在局系统内进行了专家审稿

和主编者的修改、统稿工作。因此，定稿后的培训教材，深信是紧扣工人技术等级标准的实用性教材。

城镇（农村）工矿企业电工培训教材，体现了工人技术培训的特点以及理论联系实际的原则，尽量反映了新技术、新设备、新工艺、新材料、新经验和新方法，其内容涉及电压等级从高压 110kV 到 3kV，低压 500V 及以下电工所需的技术基础知识和技能知识。与每一工种对应的初、中、高级工 3 个分册，自成一个小的系列，呈阶梯式递进，内容上互不重复。每一分册的具体内容又分为核心内容和复习题两大部分。核心内容主要讲解必备知识以及与技能要求对应的一些专业知识。复习题的形式多种多样，解答习题的目的在于巩固和深化所学知识。

本分册是《高低压设备电气试验》中级工培训教材，全部内容共十一章。全书由刘俊义主编，罗国祥主审，参编为史宪泽、田生荣、高世伟。

在编写这套丛书的过程中，得到了原电力工业部领导的关怀以及中电联教培部和各有关司局的关心、支持，同时也取得了全国电力系统各有关单位和人员的关注、支持和帮助，他们为本书提供了咨询、技术资料以及许多宝贵的建议，在此一并表示衷心感谢。

各单位和广大读者在使用本套教材过程中，如发现有不妥之处或有需要修改的意见，敬请随时函告，以便再版时修改。

山西省电力工业局 中国电力出版社

1998 年 4 月

目 录

前 言

第一章 电介质特性	1
第一节 电介质的极化	1
第二节 电介质的电导	8
第三节 电介质的损耗及等值电路	14
第四节 电介质的老化与击穿	19
复习题	28
第二章 变压器绕组的连接及并联运行	31
第一节 变压器绕组的极性和连接	31
第二节 三相变压器绕组的接线组别	36
第三节 变压器并联运行	40
复习题	45
第三章 常用测试设备结构及仪器仪表修理	47
第一节 交流试验设备的结构	47
第二节 测量仪表结构	53
第三节 直流电桥及测量仪表的故障修理	59
复习题	66
第四章 电子电压表的测量及使用	68
第一节 电子测量的特点和应用	68
第二节 模拟式电子电压表的类型及测量方法	70
第三节 数字电压表的测量使用	73

复习题	76
第五章 过电压及其防护	78
第一节 内部过电压及外部过电压	78
第二节 过电压保护	85
复习题	95
第六章 变压器特性试验	98
第一节 变压器绕组直流电阻测量	98
第二节 变压器绕组变压比测量	109
第三节 变压器绕组极性及组别试验	118
复习题	124
第七章 变压器的绝缘试验	127
第一节 绝缘电阻和吸收比的测量	127
第二节 绕组泄漏电流的测量	132
第三节 绕组介质损失的测量	135
第四节 变压器交流耐压试验	142
复习题	154
第八章 电力电缆试验	157
第一节 绝缘电阻的测量	158
第二节 直流耐压和泄漏电流试验	160
第三节 电力电缆参数测量	167
复习题	170
第九章 断路器的试验	173
第一节 断路器的绝缘试验	173
第二节 断口并联电阻、电容及导电 回路电阻的测量	179
复习题	183

第十章	互感器、电容器、避雷器试验	186
第一节	互感器的绝缘试验	186
第二节	电容器的试验	201
第三节	避雷器试验	207
复习题		213
第十一章	测量相位相序及冲击合闸试验	216
第一节	测量相位和相序的意义及所用工具	216
第二节	测量相序和相位的方法	219
第三节	变压器额定电压下冲击合闸试验	224
复习题		227
参考文献		230

电 介 质 特 性

电力系统中广泛应用各种绝缘材料作为电气设备的绝缘,电气设备的绝缘情况直接影响着安全发供电。

电介质(或称绝缘材料)在电场作用下有极化、电导、损耗和击穿等物理现象,工程上所用的电介质主要有气体、液体和固体三类。因此,了解绝缘材料在电场作用下的物理现象,及时掌握绝缘材料运行状况是十分重要的。

第一节 电 介 质 的 极 化

一、极化的定义及其意义

1. 极化的定义

一切物质都是由分子组成的,分子是由原子组成的。原子的中间是带正电的原子核,周围有带负电的电子围绕原子核运动,原子核所带的正电荷与电子所带的负电荷相等。正电荷中心在原子核所在的位置上,负电荷可用一个假想的有负电荷中心的等效电荷代替。

电介质的分子结构可分为中性和极性两种。如果原子的正、负电荷作用中心重合,那么由这类原子组成的电介质分子叫无极性分子或中性分子;如果原子的正、负电荷作用中心不重合,那么由这类原子组成的电介质分子叫极性分子。

无电场作用时,电介质分子是中性不带电的。当把电介质放在电场中时,无极性分子的正电荷沿电场方向移动,负电荷逆电场方向移动,即正、负电荷中心发生位移,形成带有正、负极性的偶极子。外电场愈强,位移愈大;电场消失时,电荷又恢复原状。含有固有极性分子的电介质,它们本来就是带有极性的偶极子。在无电场作用时,偶极子因热运动而排列混乱;在电场作用下,这些偶极子顺电场方向排列,形成带正电和负电的两极。电介质在电场作用下发生的束缚电荷的弹性位移与偶极子沿电场方向做有规律排列的现象称为电介质的极化。

2. 电介质极化在工程实践中的意义

现以图 1-1 为例说明真空和电介质的极化现象。

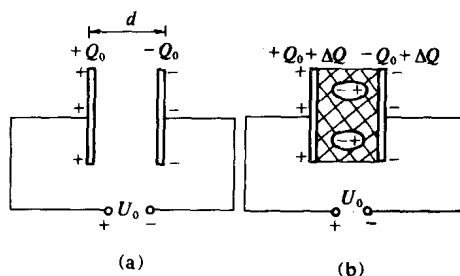


图 1-1 真空和电介质的极化现象

(a)真空;(b)电介质

设有一平板电容器,中间介质为真空,如图 1-1(a)所示,则电容器的电容为

$$C_0 = \frac{Q_0}{U_0} = \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad (1-1)$$

式中 C_0 ——电容器的电容,F;

Q_0 ——电容器的电荷,C;

U_0 ——极板间的电压,V;

ϵ_0 ——真空的介电系数, F/m;

S ——极板面积, m^2 ;

d ——极板间距离, m。

如果在极板间放入电介质, 如图 1-1(b) 所示。由于电介质的极化, 在靠近电极的电介质表面形成束缚电荷, 它将从电源吸引一部分额外电荷来“中和”, 则靠近正极板的界面上是负电荷, 靠近负极板的界面上是正电荷, 使极板上储存的电荷增加 ΔQ , 因此加大了极板间的电容量。如用 ϵ 和 C 表示电介质的介电系数和电容, 用 ϵ_0 和 C_0 表示真空的介电系数和电容, 则

$$\frac{Q_0 + \Delta Q}{Q_0} = \frac{CU_0}{C_0U_0} = \frac{\frac{\epsilon S}{d}}{\frac{\epsilon_0 S}{d}} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r \quad (1-2)$$

ϵ_r 称电介质的相对介电系数。

相对介电系数 ϵ_r 是反映电介质极化特性的一个物理量, 它表示由极化引起的电介质的电容量与真空时的电容量之比。空气的介电系数接近于 1, 一般介质的介电系数在 2~7 之间。所以, 在一定的几何尺寸下, 为了取得更大的电容量, 要选择介电系数大的电介质。

二、电介质极化的形式

1. 电子式位移极化

当把电介质放在电场中时, 电介质原子中的电子受电场作用而产生位移, 这种现象称为电子式位移极化。图 1-2 是一个氢原子电子式位移极化示意图。极化时, 正、负电荷中心不再重合, 且极化程度随电场增强而增大。电场消失后, 由于正、负电荷之间的吸引力, 电子立即象弹簧一样很快恢复, 所以这种极化称为弹性极化, 极化时不消耗能量。

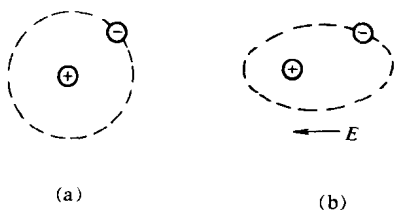


图 1-2 氢原子电子式位移极化示意图

(a) $E=0$; (b) $E \neq 0$

温度对电子式位移极化的影响不大。当温度升高时,电子运动的能量大,电子与原子核之间的束缚力减弱,位移极化稍有加强。同时,温度升高,电介质体积膨胀,单位体积内的带

电质点减少,极化又有所减弱。由于后者的作用较前者作用大些,所以电子式位移极化时,电介质的相对介电系数 ϵ_r 随温度的升高而有所下降,具有较小的负温度系数。

2. 离子式位移极化

离子式结构电介质(如云母等)的正、负离子作用中心是重合的。在电场作用下,正、负离子会产生有限弹性位移,正、负离子作用中心分离,形成偶极子,使整个分子呈现极性。这种由正、负离子的相对位移引起的极化称为离子式位移极化。图 1-3 为离子式位移极化示意图。

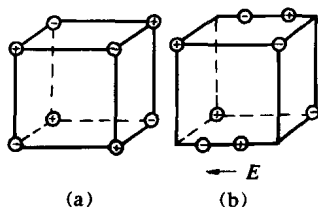


图 1-3 离子式位移极化示意图

(a) $E=0$; (b) $E \neq 0$

在电场作用下,离子所产生的位移是有限的,且随电场强度的增强而增大。当电场一消失,位移又立即象弹簧一样很快复原,故离子式极化也称为弹性极化。极化时不消耗能量。

温度升高时,由于离子间的结合力减弱,离子式位移极化有所加强。另一方面,由于温度升高而密度减小,使极化减弱。两者相比前者影响较大,所以离子式位移极化的电介质具有

正的温度系数。

3. 热离子位移极化

电介质中多少含有一些带电质点(如杂质离子),它们与周围的分子联系较弱。在没有电场作用时,这些带电质点随分子热运动而呈无规律分布,整个电介质宏观表现为中性。当有电场作用时,这些带电质点的热运动将按一定规律分布,即顺电场方向在有限范围内位移,造成电介质中电荷分布不对称和不均匀,对外显出极性,这种极化称为热离子位移极化。这些带电质点的位移,受分子热运动影响很大,温度愈高,热运动愈强,极化愈困难。由于极化受到热运动的阻碍,它的建

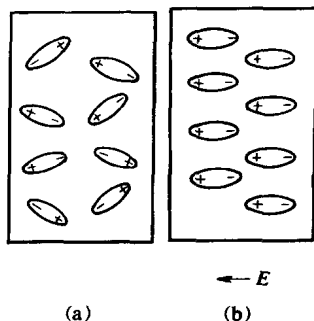


图 1-4 偶极松弛极化示意图
(a) $E=0$; (b) $E \neq 0$

立是缓慢的,电场消失以后,复原也是缓慢的,所以这种极化也称为偶极松弛极化。图 1-4 为偶极松弛极化示意图。

4. 偶极子极化

有些固体介质含有固有的极性分子(如橡胶、胶木等),它们本来就是带有极性的偶极子。单个偶极子具有极性,多个偶极子在没有电场作用时排列混乱,宏观地看,电介质不显极性。对分子间联系较紧密的电介质,在外电场作用下,这些偶极子顺着电场方向扭转,整个电介质形成了带正电和带负电的两极,这种极化称偶极子极化。图 1-5 为偶极子极化示意图。

极性介质的相对介电系数 ϵ_r 与电源频率有关。频率高

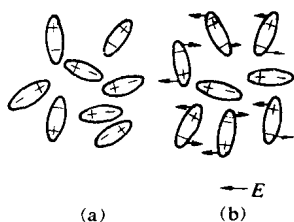


图 1-5 偶极子极化示意图

(a) $E=0$; (b) $E \neq 0$

时,偶极子来不及随外电场转动,故 ϵ_r 减小。

另外,极性介质的相对介电系数 ϵ_r 还与温度有关。温度升高,热运动很强,妨碍偶极子极化,因而 ϵ_r 减小。另一方面,随着温度升高,分子间联系减弱,有利于偶极子极化。所以,极性介质的相对介电系数 ϵ_r

最初随着温度升高而增大,温度继续升高时,由于热运动加强,极性介质的相对介电系数 ϵ_r 又随温度升高而减小。

5. 夹层式极化

由两层或多层不同绝缘材料组成的不均匀电介质,叫夹层电介质。如变压器胶木筒、绕组引线的油纸绝缘、电力电缆及电容器中的油浸纸等。另外,不均匀介质中含有的杂质、水分、气隙等都相当于夹层电介质。

在夹层电介质中,由于各层的介电系数和电导系数不同,在电场作用下,各层中的电位也不同。电位最初按介电系数分布(即按电容分布),以后过渡到按电导系数分布(即电阻分布),此时,在各层电介质的交界面上的电荷必然移动,以适应电位的重新分布,最后在交界面上积累起电荷。这种电荷的移动和积累就是一个极化过程,叫夹层式极化。夹层式极化的示意图及等值电路如图 1-6 所示。

假设一平板电容器中有两层不均匀电介质,其电容、电导分别为 C_1 、 C_2 和 g_1 、 g_2 。在最初加压瞬间,两层电介质上的电压按电容大小成反比分布,稳态时按电导的大小成反比分布,即

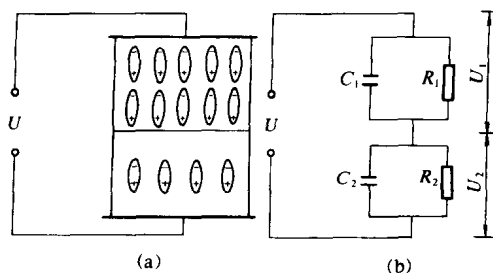


图 1-6 夹层式极化示意图及等值电路图

(a) 夹层式极化示意图; (b) 等值电路图

$$t = 0 \text{ 时} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

$$t \rightarrow \infty \text{ 时} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{g_2}{g_1}$$

电介质均匀时

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{g_1}{g_2}$$

$$g_1 = \frac{1}{R_1}$$

$$g_2 = \frac{1}{R_2}$$

$$\text{则} \quad \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{t=0} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{t \rightarrow \infty} \quad (1-3)$$

即电介质均匀时, 不发生电压重新分布, 电荷也不会重新分布。

电介质不均匀时

$$\frac{C_1}{C_2} \neq \frac{g_1}{g_2}$$