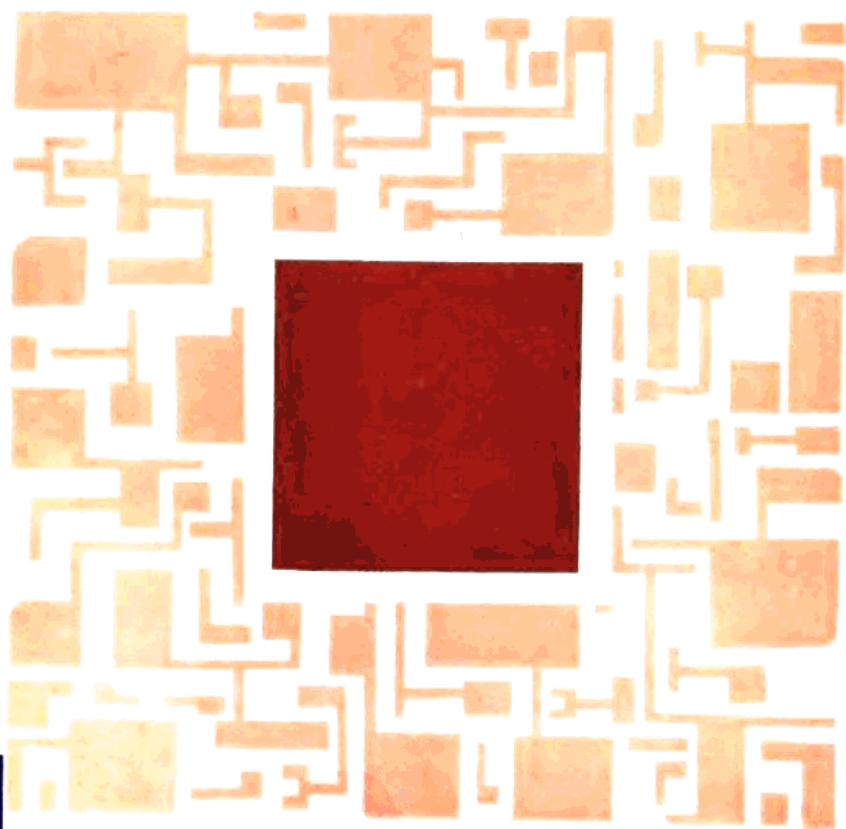




技工学校电工类通用教材

电工材料



劳动人事出版社

本书是根据原劳动人事部培训就业局审定颁发的《电工材料教学大纲》编写，供技工学校招收初中毕业生使用的统编教材。

本书内容包括：绝缘材料、导电材料、半导体材料、磁性材料；线管、润滑脂、锡焊材料及胶粘剂等，并有电工材料性能的附录。

本书也可作为职业高中和企业维修电工、内外线电工中级技术工人培训的教材以及职工的自学用书。

本书由杨东方编写；王璐、徐直正审稿，王璐主审。

电 工 材 料

劳动部培训司组织编写

责任编辑：张伟

劳动人事出版社出版
(北京市和平里中街12号)

北京市新源印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 7印张 173千字

1988年8月北京第1版 1988年8月北京第1次印刷

印数：1—40 000册

ISBN 7-5045-0191-3/TM·010 (课)

定价：1.65元

前 言

为了培养合格的中级电气技术工人，原劳动人事部培训就业局于1986年委托有关省、市劳动人事部门负责组织编写了一套电工类技工学校教材。包括：机械知识、电工基础、电子技术基础、电工材料、电机与变压器、电力拖动与自动控制、电力系统及运行、安全用电、电工仪表与测量、维修电工生产实习以及内外线电工生产实习等11种。这套教材在编写时注意了理论联系实际及其科学性、先进性，反映了电工专业的新技术、新工艺、新材料、新设备，并一律采用了国家统一规定的新标准。它适合于招收初中毕业生、学制为三年的电工类技工学校使用，也可作为职业高中和企业维修电工、内外线电工中级技术工人培训的教材。

技工学校电工专业教学计划中规定开设的政治、语文、数学、物理、制图、企业管理等课程，均采用机械类技工学校的教材。其中数学、物理、制图三门课程另组织编写了教学大纲。

由于编写时间紧促，经验不足，缺点错误在所难免，望各地区、各部门在使用中提出宝贵意见，以便再版时修订。

劳动部培训司

一九八八年七月

目 录

绪 言.....	(1)
第一章 绝缘材料.....	(3)
§ 1-1 概 述	(3)
§ 1-2 气体绝缘材料	(13)
§ 1-3 绝 缘 漆	(14)
§ 1-4 绝 缘 胶	(17)
§ 1-5 绝 缘 油	(19)
§ 1-6 绝缘纤维制品	(21)
§ 1-7 浸渍纤维制品	(22)
§ 1-8 绝缘层压制品	(23)
§ 1-9 电工用塑料	(24)
§ 1-10 云母制品和石棉制品.....	(26)
§ 1-11 绝缘薄膜及其复合制品.....	(27)
§ 1-12 电工玻璃与陶瓷.....	(28)
§ 1-13 电工用橡胶与电工绝缘包扎带.....	(31)
§ 1-14 绝缘材料的选用原则.....	(32)
习 题 一.....	(33)
第二章 导电材料及半导体材料.....	(34)
§ 2-1 概 述	(34)
§ 2-2 电线电缆	(36)
§ 2-3 特殊用途导电材料	(44)
§ 2-4 半导体材料	(53)
习 题 二.....	(55)
第三章 磁性材料.....	(57)
§ 3-1 概 述	(57)
§ 3-2 软磁材料	(60)
§ 3-3 硬磁材料	(66)
§ 3-4 特殊性能的磁性材料	(68)
习 题 三.....	(70)
第四章 其它电工用材料.....	(71)
§ 4-1 线 管	(71)
§ 4-2 润 滑 脂	(74)
§ 4-3 锡焊材料	(76)

§ 4-4 胶粘剂	(77)
习 题 四	(78)
附 录	
附录一 绝缘材料产品分类及型号编制方法	(79)
附录二(1) 有溶剂浸渍漆的品名、型号、特点和主要生产厂	(81)
附录二(2) 常用有溶剂浸渍漆的性能	(82)
附录三(1) 无溶剂浸渍漆的品名、型号及生产厂	(83)
附录三(2) 几种无溶剂漆的性能	(84)
附录四 常用覆盖漆的性能	(84)
附录五 硅钢片漆的性能	(85)
附录六 绝缘漆布的品种、组成和用途	(85)
附录七 层压板的主要品种、组成、特性与用途	(86)
附录八(1) 架空线路常用铝绞线规格、重量及载流量	(87)
附录八(2) LGJ型钢芯铝绞线	(87)
附录八(3) 架空线路用裸铝绞线安全载流量	(88)
附录九 常用漆包线的品种、规格、特性及主要用途	(88)
附录十 常用绕包线的品种、规格、特性及主要用途	(89)
附录十一 电工产品可供选用的电磁线	(91)
附录十二 通用绝缘电线和软线的选用实例	(91)
附录十三 各种绝缘电力线安全载流量	(92)
附录十四 常用电热材料品种表	(94)
附录十五 常用熔丝规格表	(95)
附录十六(1) 常用电刷品种表	(96)
附录十六(2) 常用电刷的主要技术特性及运行条件	(97)
附录十七 电工用热轧硅钢片磁性能及新旧型号对照表	(97)
附录十八 冷轧无取向电工钢带(片)电磁性能	(98)
附录十九 冷轧有取向电工钢带(片)电磁性能	(99)
附录二十(1) 常用铁镍合金冷轧带材的牌号、主要成分和直流磁性能	(99)
附录二十(2) 常用铁镍合金冷轧带材在不同频率下的交流磁性范围	(100)
附录二十一 铁铝合金的磁性范围	(101)
附录二十二 常用水磁材料部分品种的磁性能和主要用途	(102)
附录二十三(1) 环氧树脂胶粘剂成分及作用	(104)
附录二十三(2) 几种环氧树脂粘接剂配方	(105)
附录二十四 部分胶粘剂及其用途	(106)

绪 言

一、电工材料在国民经济发展中的地位和作用

随着科学技术的迅猛发展,电工技术已广泛应用于生产实际和日常生活各个方面。电能作为国民经济的主要能源,已日益深入到工农业生产、国防、科技等各个领域,在国民经济中占着重要地位。由于电气化、自动化程度的逐步提高,对电工设备、电工器材、电工材料的需求量必将大幅度增长;对电工设备、电工器材的品种、规格、质量提出了更高的要求。因此,作为物质基础的电工材料显得尤为重要,离开它,电能的生产、输送、分配、控制无法实现;离开它,国民经济各部门所用的电工设备和器件无法制造;离开它,大量新技术、新装备及尖端科技的研究和应用,将是一句空谈。所以,电工材料同金属材料、非金属材料一样,对国民经济的发展起着重要作用。

所有电工设备和器件的原材料基本上包括绝缘材料、导电材料、磁性材料、半导体材料和其它材料。因而电工原材料的优劣关系到设备和器件的质量,关系到设备运行的可靠性和使用寿命。特别是近年来新理论、新技术、新产品的发展,为新型元件和整机设备提供了良好的基础,从而使电工材料及其应用,成为一门技术基础学科。

二、电工材料的分类和发展趋向

电工材料通常分为绝缘材料、导电材料、磁性材料、半导体材料、超导体材料和其它电工常用材料等。

绝缘材料。目前常用的有绝缘漆、绝缘胶、绝缘油、浸渍纤维制品、层压制品、薄膜及其复合制品、电工玻璃与陶瓷等。今后绝缘材料的发展趋向是:新一代绝缘材料将具有耐高压、耐低温、耐深寒、耐燃、耐热,无溶剂、无公害、复合绝缘等特性;同时节省能源和资源,并具有先进的工艺水平;新型绝缘材料将向提高绝缘的质量和可靠性方向发展。

导电材料。主要包括电线电缆及高电阻合金、电热材料、电刷、电接触材料等特殊导电材料。今后电线电缆发展趋向有以下几个方面:

1. 在广泛用铝以节省铜、铅等有色金属的同时,用各种途径提高铝的综合性能;
2. 由于高分子合成材料资源丰富、性能优良,将日益取代天然绝缘材料,成为今后电线电缆的主要绝缘材料;
3. 用于电气装备的电线电缆,今后将向着轻、长、耐燃和多用途方向发展;
4. 在电磁线方面,今后耐高温的漆包线(F级以上)将成为电磁线的主要品种。绕包线的用量将逐渐减少;
5. 高压电缆的电压要不断提高,传输容量将不断增加;
6. 通信电缆方面,增加通话线路和光导纤维通信是解决通信紧张的重要手段之一。

半导体材料。它是一种导电性能介于导体和绝缘体之间的材料。其种类很多,目前常用的是锗、硅、砷化镓等几种材料制成的器件,广泛应用于无线电、电子工业、自动化技术、动力等各个方面。

超导体材料。某些物质,当温度降低到某一温度值(一般接近绝对零度,即 -273°C),它的电阻突然完全消失,这种现象称为超导现象。具有这种特性的物质称为超导体。超导体有电阻时,称处于正常态,电阻突然消失时称为超导态。电阻消失和完全抗磁性,是超导体相互独立的基本特征。目前已发现有27种元素和数千种合金、化合物具有超导性。

随着科技的发展,超导体已在工业生产、交通运输、医学、科研及测量技术方面得到日益广泛应用,有着远大前景。我国在超导体材料应用技术方面居世界领先地位。

磁性材料。有软磁材料与硬磁材料之分。目前已有超强磁永磁材料——稀土永磁“钕铁硼”的制造和应用,它是当今世界上具有最大磁能积的材料,可以吸着相当于自身重量700倍的物体,故有“永磁王”之称。钕铁硼的应用,对于电气设备性能的提高、重量的减轻、体积的缩小具有重要意义。随着科学技术的发展,今后应加强对特殊性能磁性材料的研制。

三、本课程的性质、任务和学习方法

电工技术在发展,电工材料品种将越来越多,对其性能和技术条件的要求将越来越高。作为从事电气工作的人员,不仅要掌握电工基本理论和电工操作技术,而且还应对工作中所用材料的性能、特点、使用范围有所了解,以便根据需要合理选用材料。

《电工材料》是一门专业课,通过本课程的学习,可获得必要的电工材料基本理论和使用知识;掌握常用材料的特点、用途、使用范围;了解材料的型号、规格表示方法;获得根据需要合理选用电工材料的方法和知识。

学习本课程时应注意以下几点:

1. 要认真阅读教材,掌握材料的特点、特性及使用范围,结合实物或到工程现场联系实际,加深对所学内容的理解。

2. 理解表示材料性能的名词和术语含义,了解材料型号与规格表示方法;

3. 学习中要多与工程实践结合,在实践中锻炼选材能力,以达到合理选材、正确用材的目的。

第一章 绝缘材料

§ 1—1 概 述

绝缘材料又称电介质（一般在研究它的基本性能时称为电介质，而在实际工作中则称为绝缘材料），由于其电阻率大于 10^{17} 欧姆米，因此在外加电压作用下，仅有极微小的电流通过，一般认为是不导电的。绝缘材料是电气工程中用途最广、用量最大、品种最多的一类电工材料。

一、绝缘材料的功用和分类

绝缘材料的主要作用是用来隔断不同电位的导体或导体与地之间的电流，使电流仅沿导体流通。它在不同的电工产品中还起着不同的作用。例如，散热冷却、机械支撑和固定、储能、灭弧、改善电场分布、防潮、防霉以及保护导体等。

随着电工技术的发展，电力设备容量和电压等级的不断提高，工作和环境条件日益改善，要求绝缘材料不但能承受电、热和各种机械应力的作用，而且还要根据需要有承受高温、高能辐射、深冷等外界因素作用的能力。因此，促进了绝缘材料新品种的不断发展。

绝缘材料在电工产品中占有极其重要的地位，由于其涉及面广、品种多，为了便于掌握和使用，通常根据其不同特征进行分类。

按材料的物理状态可分为：气体绝缘材料；液体绝缘材料；固体绝缘材料；弹性绝缘材料等。按材料的化学成分可分为：无机绝缘材料；有机绝缘材料。按材料的用途可分为：高压工程材料；低压工程材料。按材料的来源可分为：天然绝缘材料；人工合成的绝缘材料。

二、电介质的基本理论

电介质在使用过程中会发生电导、极化、损耗、老化、击穿等过程，这些都是电介质的基本特性。

（一）电介质的电导

1. 电介质电导的基本概念

我们知道金属导体中，原子外层的电子受原子核的束缚力很弱，在常温下大量的外层电子能够挣脱原子核的束缚成为自由电子。在外电场作用下，这些自由电子受电场力的作用，做定向运动形成电流。而在电介质中电子受原子束缚力很强，很难成为自由电子，但在外界因素作用下或者绝缘内部存有杂质（水分、酸、碱及其它），就可能在绝缘材料内发生分子的分解现象，形成少量的带电离子，使电介质具有一定的电导。表征电导大小的物理量是电导率 (γ) 。电导率的倒数即电介质的电阻率 (ρ) 。因此，所有电介质在施加电压时都有微小的电流通过，这一电流称为“泄漏电流”，这一现象称为电介质的电导。

2. 气体电介质的电导

气体电介质在外界因素（热、光、放射性等）作用下会发生游离现象，使中性分子变成

带负电的电子和带正电的正离子。因此，气体电介质都有一定的电导。气体的导电现象称为气体放电。根据放电的不同特征气体放电可分为微光放电、辉光放电、电晕放电、电弧放电等多种形式。

3. 液体和固体电介质的电导

液体和固体电介质的电导主要是外来杂质离解引起的。固体电介质的电导分为体积电导和表面电导。体积电导是指电流由电介质内部流通的，而表面电导是指电流沿电介质表面流通的。固体介质表面越脏，吸收水分越多，表面电导就越大。

4. 影响绝缘材料电导的因素

绝缘材料的电导率都很小，但电导率受外界影响很大。影响电导率的因素有：

(1) 杂质 绝缘材料本身大多含有杂质，而在制造过程中又会带进新的杂质。因为液体和固体的电导是由杂质离解引起的，因此，杂质越多，电导率就越大，尤其是酸、碱、盐等杂质与水同时存在情况下，由于溶解电离，电导将明显的增加。

(2) 温度 一般绝缘材料的电导率与温度的关系同金属导电材料的电导与温度关系相反。导电金属材料的电导率与温度的关系是电导率随温度的上升而减小，而绝缘材料的电导率却随温度的上升而增加。这是因为当绝缘材料的温度升高时，分子热运动加剧，分子动能增加，绝缘材料本身及绝缘材料内所含杂质，以及酸、碱、盐的溶解程度增加，都使带电粒子增多。因此，绝缘材料的电导率随温度升高而增加。

(3) 湿度 环境湿度越大，绝缘材料吸收水分越多，酸、碱、盐等杂质溶解水中而产生的正、负离子就越多，因此，绝缘材料的电导率随环境湿度的增大而增大。

5. 绝缘电阻在工程应用上的意义

(1) 绝缘材料受潮后，绝缘电阻会显著降低。工程上常以绝缘电阻值的大小，来判别电机、电器、变压器等电气设备是否受潮和受潮程度。绝缘电阻值是判别电气设备受潮程度和决定能否运行的指标之一。

(2) 电气设备的绝缘表面受潮后，绝缘电阻会下降，不但能引起过大的泄漏电流，增大能量损耗，而且由于杂质的分布不均匀，使电场的分布也不均匀。在电场较强处可能发生局部放电，由于局部放电的进一步扩展，可能引起设备绝缘系统的破坏。为此，要定期对绝缘材料表面进行清扫或进行适当的表面处理。

(3) 具有不同电阻率的多层组合绝缘材料，在直流电压作用下，层间承受电压按其电阻率成正比分配。如果组合绝缘中，各种材料的体积电阻率相差很大，则各层绝缘上的电压分布将很不均匀，这对材料的合理利用不利。故直流电气设备的绝缘在设计时，要充分注意所用绝缘材料的电阻率，尽量使材料得到合理的利用。

(二) 电介质的极化

1. 极化现象

电介质在没有外电场作用时不呈现电的极性，而在外电场作用下，电介质的两端出现了等量的异性电荷，呈现了电的极性，这种现象称为电介质的极化。

2. 极化的种类

(1) 电子式极化

图 1—1(a) 为没有外电场作用时的中性原子。原子核所带正电荷的作用中心与旋转电子所带负电荷的作用中心重合，因此对外不呈现电性。图 1—1(b) 是在外电场作用下的原子。

原子核因带正电荷在电场作用下沿电场方向发生位移，而电子在电场作用下向着反电场方向发生位移。正负电荷的作用中心不再重合，对外呈现电的极性。这种极化称为电子式极化。电子式极化是一种弹性极化，在外电场去掉后，极化现象立即消失，而且没有能量损耗。

(2) 离子式极化

有些离子式结构的电介质（如云母、陶瓷、玻璃等），在没有外电场作用时，由于正负离子的中心重合，不呈现电的极性。如图 1-2(a) 所示。

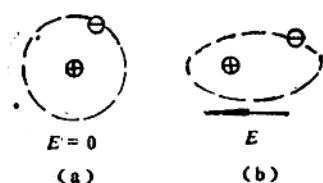


图 1-1 电子式极化

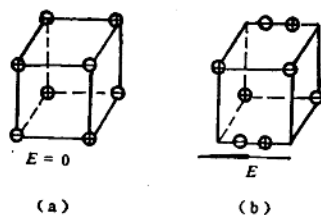


图 1-2 离子式极化

当有外电场作用时，正负离子受电场力作用，而发生弹性位移引起极化。如图 1-2(b) 所示。离子式极化也是一种弹性极化，故而不引起损耗。

(3) 偶极式极化

有些电介质是由偶极分子所组成（如橡胶、胶木、纤维、松香等）。如图 1-3 所示。所谓偶极分子，是由大小相等、符号相反、彼此相距为 d 的两电荷 (q^+ , q^-) 所组成的粒子，称为偶极子。具有偶极子的电介质称为极性电介质。

图 1-3(a) 为没有外电场作用时的极性电介质中的偶极子，由于它不停的热运动，偶极子排列混乱，对外不显示极性。

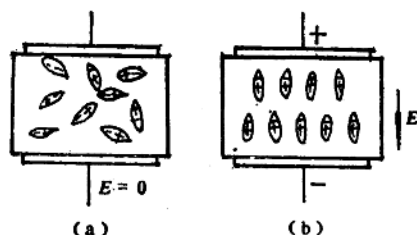


图 1-3 偶极式极化

图 1-3(b) 为在外电场作用时的极性电介质中的偶极子，由于它受电场力的作用，偶极子发生了转向，并顺着电场方向做有规则的排列。电场越强，偶极子排列越规则，对外显示出电的极性。这种极化叫偶极式极化。

极化时，极性分子在转向过程中，要克服分子间的吸引力和摩擦力，所以偶极式极化是属于非弹性极化，极化时消耗的电场能量，在复原时不能全部收回，因此，偶极式极化是有能量损耗的。

(4) 自持式极化

有些强极性电介质（如钛酸钡晶体等），本身具有许多独立的极化区域——“电畴”。在外电场作用下，“电畴”沿电场方向转向而产生强度很大的极化，相对介电系数可达一千以上。这种极化过程有能量损耗。

(5) 夹层极化（又称空间电荷极化）

在有两种或两种以上不同相对介电系数及电阻率的绝缘材料组成的不均匀绝缘结构中，由于介质内或多或少的存在着带电质点（离子或电子），加上电场后，带电质点沿电场方向

移动, 积聚在材料层间的交界面上, 产生空间电荷, 从而缓慢的形成极化。

夹层极化的极化过程缓慢, 而且有能量损耗。

3. 相对介电系数及其在工程应用中的意义

(1) 相对介电系数

设电容器的电极间为真空时, 其电容量为 C_0 , 而电极间填充某种电介质时, 其电容量为 C , 而 C 总比 C_0 大。具有电介质的电容 C 与真空时的电容 C_0 的比值叫做相对介电系数, 用 ϵ_r 表示 (即 $\epsilon_r = \frac{C}{C_0}$)。相对介电系数 ϵ_r 总是大于 1, 这是由于介质极化所造成的。电介质不同, 相对介电系数也不同。如空气的 $\epsilon_r = 1.00059$, 变压器油的 $\epsilon_r = 2.2 \sim 2.5$, 石蜡的 $\epsilon_r = 2.0 \sim 2.5$, 电瓷的 $\epsilon_r = 5.5 \sim 6.5$, 胶木的 $\epsilon_r = 4.5$, 水的 $\epsilon_r = 81$ 。

(2) 介电系数在工程应用中的意义

1) 由于气体的相对介电系数都很小且约为 1, 因而固体介质中存在气泡是有害的。这是因为在电场中气泡的电场强度和固体介质的电场强度, 按介电系数成反比分布。设含有气泡的固体介质在电场作用下, 气泡的电场强度为 E_1 , 介电系数为 ϵ_1 (取 $\epsilon_1 = 1$), 固体介质的介电系数为 ϵ_2 , 电场强度为 E_2 , 根据电工原理得出:

$$\epsilon_1 E_1 = \epsilon_2 E_2$$

$$\text{则: } E_1 = \frac{\epsilon_2 E_2}{\epsilon_1} = \frac{\epsilon_2 E_2}{1} = \epsilon_2 E_2$$

所以气泡中的电场强度是固体介质电场强度的 ϵ_2 倍。当固体介质介电系数 ϵ_2 较大时, 气泡中的电场强度就可能相当强, 引起气泡局部放电 (游离放电), 并导致局部放电老化, 这是绝缘材料和绝缘结构中极为严重的现象。

2) 在电机、电器的结构中, 由于不同绝缘材料的混合使用, 会影响绝缘系统电场强度分布的不均匀性, 使介电系数小的材料, 承受较大的电场强度, 而介电系数大的材料承受较小的电场强度, 从而降低了系统的绝缘能力。因此, 在电气工程设计中应注意各种材料 ϵ_r 值的配合, 以使电场强度均匀分布。

例如: 高压电缆的绝缘结构, 如果采用一种绝缘材料, 其电场强度沿电缆绝缘厚度方向分布是不均匀的, 内层电场强度大于外层。而若采用具有不同介电系数的绝缘材料作为电缆绝缘, 就可以使电场强度沿厚度方向均匀分布。即高压电缆利用 ϵ_r 不等的材料组成分阶绝缘结构形式。分阶绝缘结构中的电压分布与各层的电容成反比。即:

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{C_1}{C_2} \propto \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$$

假设分阶绝缘结构为两层时, 取 ϵ_1 (内层) 大于 ϵ_2 (外层), 则内层分布电压小于外层, 内层电场强度减小, 外层电场强度增大, 以达到内外层电场强度分布均匀之目的。

3) 电容器是储存电场能量的, ϵ 大的材料做电容器介质, 电容器单位容量的体积和重量都可以减小。用于电机绝缘和电缆绝缘的材料, 则仅从 ϵ 的角度来看应愈小愈好。这样, 可防止过大的充电电流以及减小因极化引起的发热损耗。

4) 电气设备受潮后, 因水的介电系数很大, 致使绝缘材料的介电系数也要大大增加。通过测定电气设备受潮前后的介电系数的变化可以判断材料受潮程度, 以决定电气设备是否需要进行干燥处理。

(三) 电介质的损耗

电介质的损耗是在电场作用下电介质中的能量损耗。

电介质在直流电场作用下, 只有由电导电流引起的电导损耗。而在交变电场作用下, 除电导损耗外, 还有因介质周期性极化而引起的极化损耗。

介质损耗的大小, 可以用单位容积内损耗的功率大小来表示。但是在电工中常用电流与电压相位差 ϕ 的余角 δ 或 δ 的正切 $\tan \delta$ 来表示。前者称为介质损耗角, 后者称为介质损耗角正切。如图 1-4 所示。当介质加上交流电压 U 时, 就有电流 I 通过电介质。绝缘材料的介质损耗为:

$$P = UI \cos \phi = UI \tan \delta$$

由上式可知, 损耗与 δ 或 $\tan \delta$ 成正比。所以电气工程上可用 δ 或 $\tan \delta$ 来表示介质损耗的大小。

在电气设备的绝缘预防性试验中, 对某些设备的 $\tan \delta$ 试验是主要的测试项目之一, 当绝缘受潮或恶化时, $\tan \delta$ 增加。另外当绝缘材料有气泡时, 在试验电压升高的过程中, 由于气泡游离使损耗突然增加, $\tan \delta$ 随电压升高而突然加大, 因此, 可以根据 $\tan \delta$ 值的大小或 $\tan \delta$ 随电压变化情况, 来判断绝缘是否受潮或有气泡存在。

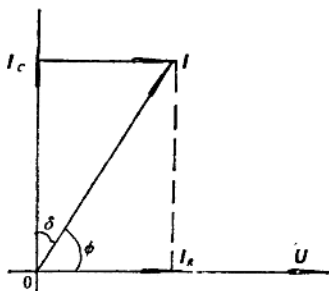


图 1-4 介质中电流电压矢量图

作为绝缘材料, 总希望介质损耗越小越好。介质损耗大, 介质发热严重, 它是导致电介质发生热击穿的原因。

(四) 电介质的击穿

任何电介质, 当外加电压超过某一临界值时, 通过电介质的电流剧增, 从而完全失去绝缘性能, 这种现象称为电介质的击穿。使电介质发生击穿的最低电压称为击穿电压。击穿时的电场强度是单位厚度上所承受的击穿电压。击穿电压用符号 U_i 表示, 击穿场强用 E_i 表示。

1. 气体电介质的击穿

气体电介质是一种绝缘材料。气体在外施电压作用下的导电现象称为气体放电。当电压升高到某一数值时, 通过气体的电流突然剧增, 从而使气体完全丧失绝缘性能时, 称为气体的击穿。气体击穿时除电导突增外, 还常常伴随着发光及发声现象。要使气体发生击穿, 必须使气体介质中出现大量的带电粒子。气体带电粒子来源有两个方面, 一是给电极表面的自由电子以足够大的能量, 使自由电子从电极表面发射出来, 另一方面是给中性的气体分子的外层电子足够的能量, 使电子克服原子核的束缚而变为自由电子。这种由中性气体分子, 变为带负电的电子和带正电的正离子的过程称为游离。

当加在气体电介质上的电压逐渐增高, 气体中的电场强度逐渐增加, 气体中由于各种原因而存在的自由电子 (如由于放射性射线照射使气体分子游离), 受电场力作用而加速, 动能增加。若电场强度足够大, 且电子自由行程较大时, 自由电子在电场中获得的能量足够大, 它和气体分子相碰时, 可能使气体分子发生碰撞游离而形成正离子和电子。新形成的电子, 又在电场中积聚能量而碰撞其它分子, 产生新的碰撞游离, 这是连锁反应过程。每一个电子, 因不断碰撞产生一些新电子, 产生的新电子又继续碰撞, 从而产生越来越多的电子, 这一过程称为“电子崩”。电子崩向阳极扩展, 最后形成一条具有高电导的通道, 导致气体击

穿。电场分布越不均匀，击穿电压就越低。

气体击穿后，若去掉外加电压，气体中的正负带电质点又可交换电荷而变为中性分子（称为复合），气体又可以恢复它的绝缘性能。

2. 液体电介质的击穿

纯净的液体电介质击穿和气体的击穿机理相似，亦是由电子引起碰撞游离最后导致击穿。但由于液体的密度比气体大得多，电子的自由行程很短，不易积聚能量，因此，液体的击穿强度比气体高。可是工程上应用的液体绝缘材料，不可避免地含有气泡、水分、纤维等杂质，这些杂质在电场作用下，可以在电极间形成导电性能较好的“小桥”。当电流通过“小桥”时，由于电导电流引起发热，使液体电介质气化，最后形成气体导电通道而被击穿。

为了提高液体电介质的电场强度，要尽量减少杂质或采用固体绝缘（绝缘板、绝缘筒）放置在电极间，以隔断导电“小桥”的通路。

3. 固体电介质的击穿

固体电介质的击穿主要有电击穿和热击穿两种形式。

电击穿是在强电场作用下，电介质内部的带电质点剧烈运动，发生碰撞电离，破坏了分子结构，增加电导所造成的最后击穿。

热击穿是在强电场作用下的固体电介质，由于其内部结构不均匀，各处电导大小不一所造成的击穿。大家知道，电介质损耗会产生热量，电导较大部位，因电流大亦会产生热量，如果产生的热量来不及散发出去，就会使电介质温度升高，而温度升高反过来又使介质的电导增加，如此恶性循环，最后导致固体介质熔化或烧毁而引起击穿。

为了提高设备绝缘强度，必须避免绝缘材料中存在气泡和受潮。

4. 沿面放电

电气设备的带电部分总要用固体绝缘材料来支撑或悬挂，这些固体绝缘材料的表面在很多情况下都处于空气中，如绝缘子、套管等。当带电体的电压超过一定限度时，常常在固体绝缘表面与空气的交界面上出现放电现象，这种沿固体绝缘表面所发生的放电现象称为沿面放电。

当沿面放电扩展到固体介质整个表面空气层被击穿时称为沿面击穿或沿面闪络，简称闪络。沿面闪络电压比相同条件下纯气体介质击穿电压低得多。这是因为固体介质的表面粗糙、脏污或受潮而使电场变得不均匀，在电场较强处首先发生气体游离，最后导致沿固体介质表面气体的击穿。

为了提高沿面闪络电压，必须保持固体绝缘表面的清洁和干燥。

（五）电介质的老化

电介质在使用过程中，受各种因素的长期作用，会产生一系列缓慢的不可逆的物理、化学变化，从而导致其电气性能和机械性能的恶化，最后丧失绝缘性能。这一不可逆的变化称为电介质的老化。

影响老化的因素很多，如光、电、热、氧、辐射、微生物等等，但主要的因素是过热和局部放电。在低压电气设备中促使介质老化的主要因素是过热，而在高压设备中促使介质老化的主要因素是局部放电。为了保证电介质的使用寿命，针对介质老化的各种形式，需采取不同的防老化措施。

三、绝缘材料的基本性能

(一) 电气性能

绝缘材料在电场作用下会发生电导、极化、损耗、击穿等现象,这是绝缘材料的基本特性。我们通常分别以电导率 γ (或电阻率 ρ)、相对介电系数 ϵ_r 、介质损耗角正切 $\tan\delta$ 、击穿强度 E_b 四个参数来表示它们。

在长期使用条件下,绝缘材料还会发生老化,这些都是绝缘材料的基本电性能。

(二) 耐热性能和耐热等级

1. 耐热性

表示绝缘材料在高温作用下,不改变介电、机械、理化等特性的能力。

绝缘材料的耐热性对电工产品的容量、体积、成本都有影响。采用耐热性能高的绝缘材料,可使电机、电器在规定的容量范围内,缩小产品外形尺寸、减轻重量和降低成本。

2. 马丁氏耐热性

对于层压制品、塑料等固体绝缘材料是用马丁法测定其耐热性能的。用这种方法测定出的耐热性,叫马丁氏耐热性。

利用马丁法测量时,材料的标准试样,在马丁氏耐热试验器中,承受490牛/厘米²的弯曲负荷,并以50℃/小时的速度升高温度,当达到弯曲变形(危险变形)时的温度值,即为该材料的耐热指标,称为马丁氏耐热性。

3. 热稳定性

是指材料在温度反复变化情况下,不改变其理化、机械、介电性能并保持正常状态的能力。这个性能与材料本身的膨胀系数有很大的关系。热膨胀系数大的材料,因材料膨胀和收缩会使材料开裂破碎,所以热稳定性,对室外工作的设备和受温度频繁变化影响的设备的绝缘有着重要意义。

绝缘涂层所具有的热稳定性能,是指在规定的温度和持续时间下,不改变外观色泽、无脱层、不剥落和裂纹的性能。

4. 热弹性

表示绝缘材料在高温作用下,能长期保持其柔韧状态的性能。

热弹性和热稳定性的区别是:热弹性表示材料动态下的寿命,以抗弯强度来确定。热稳定性表示材料在静态下对变化的热作用的稳定性,以质量损失的大小来表示。

5. 导热性

表示绝缘材料的传热能力。导热性能的好坏,以热导率(热导系数)的大小来表示。

热导率表示长度为1厘米、横截面为1平方厘米的材料,在温差为1开尔文、时间为1秒钟内轴向所传导的热量。单位是:瓦/米·开尔文(W/m·k)

6. 最高允许工作温度

就是绝缘材料能长期(15—20年)保持所必须的理化、机械和介电性能而不起显著劣变的温度。最高允许工作温度取决于绝缘材料的耐热性。

7. 耐热等级

为了便于电工产品的设计、制造和维修时合理选用材料,将绝缘材料按其正常运行条件下的最高允许工作温度进行统一的耐热分级,称为耐热等级。我国将绝缘材料分为Y、A、E、B、F、H、C七个耐热等级。它们的最高允许工作温度,分别为90、105、120、130、155、180、180℃以上。

绝缘材料的使用温度，如果超过该等级的最高允许工作温度，则绝缘老化加快，寿命大大缩短。因此，选用绝缘材料时，必须根据设备的最高允许温度，选用相应等级的绝缘材料。

(三) 理化性能

为使各种电工产品能在不同的工业部门、不同场所中安全运行，其绝缘材料除具有规定的介电性能和机械性能外，还应有一定的或特定的理化性能。

1. 熔点、软化点

熔点是材料由固体状态转变为液体状态的温度值。

无定形结构的材料没有显著的熔化温度，它是由固体状态逐渐转变为液体状态的，因此，无法测出它们的熔点，我们就把它们开始变软的温度称为软化点。

在电工选用绝缘材料时，一般要求绝缘材料具有较高的熔点或软化点，以保证绝缘结构的强度和硬度。

2. 粘度

粘度是液体绝缘材料和各种绝缘漆、胶类材料的重要性质之一，它表示液体分子存在状况及其应变体积。在绝缘漆、胶类材料中，粘度还用来表示其适用性及工艺特性。

由于材料不同，表示粘度和计量方法也有所不同。常采用以下几种：

1) 相对粘度

相对粘度是指某种液体在相同温度下与水粘度的比较值。

2) 条件粘度

条件粘度是在规定的条件下，测定出某液体在标准容器内，流经规定孔眼所需的时间(秒)，来表示粘度的大小。绝缘漆、胶类材料的粘度多用这种表示方法。

3) 绝对粘度

绝对粘度又叫动力粘度，由测定液体分子间的摩擦力来确定。单位是帕斯卡秒(Pa·s)。

4) 运动粘度

运动粘度是指液体的绝对粘度与其密度之比。单位是二次方米每秒(m²/s)。

3. 固体含量

固体含量表示树脂溶液、绝缘漆、涂料中的溶剂或稀释剂挥发后遗留下来的物质重量。固体含量还代表漆基的实际重量。

4. 灰分

灰分表示绝缘材料内所含不燃物的数量。

5. 吸湿性(吸潮性)

绝缘材料在潮湿空气中或多或少都有吸湿现象。由于水分子尺寸和粘度都很小，对绝缘材料几乎是无孔不入，能透入各种绝缘材料的裂缝、毛细孔和针孔，溶解于各种绝缘油、绝缘漆中，所以吸湿现象是非常普遍的。

材料的吸湿性，是表示材料在温度20℃和相对湿度为97~100%的空气中的吸湿程度。实际工作中，则以材料放在底部有水的严密封闭、相对湿度接近100%、温度为20℃的容器中，24小时后所增加重量的百分数，作为吸湿性指标。

6. 吸水性(吸水率)

吸水率(吸水性)表示材料在20℃的水中浸没24小时后，材料重量增加的百分数。

7. 透湿率 (透湿性)

透湿率表示水汽透过绝缘材料的能力。透湿性对于电机、电器的覆盖层、电缆软套、塑料、漆膜等作为保护层的材料有着实际意义。对于在水中工作或直接与蒸馏水接触的电工产品,应采用不吸水不透水的绝缘材料作为绝缘保护层。

8. 溶解度

溶解度表示在一定温度和压力下,物质在一定量的溶剂中所溶解的最大量。固体或液体溶质的溶解度,常用在100克溶剂中所溶解的溶质克数表示。气体的溶解度,常用每毫升溶剂中所溶解的气体毫升数表示。

9. 耐油性

耐油性表示绝缘材料耐受变压器油或其它矿物油侵蚀的能力。

10. 化学稳定性

化学稳定性表示材料抵抗和它接触的物质(如氧、臭氧及酸、碱、盐溶液等)的侵蚀能力。也就是材料在这些介质中,其表面颜色、重量和原有特性不发生或只有极微小变化的性能。

(四) 机械性能

机械性能主要包括硬度和强度。

1. 硬度

表示材料表面受压后不变形的能力。对于涂层和漆膜是让标准重锤从规定的高度落到材料的涂层或漆膜上,由重锤回弹的高度来表示硬度的大小。对于柔韧和可塑材料(如沥青),以针入度的多少作为硬度指标。针入度就是对标准针施加一定的压力,使它在规定时间内刺入材料,刺入深度称为针入度。

对于层压制品等材料,一般用布氏法测定硬度。试验时预先将材料表面磨光,然后在30秒钟内压入钢制、淬过火的、直径为5毫米的小球,求得小球压入后留下痕迹的面积,再按下式计算布氏硬度:

$$HB = \frac{P}{S}$$

式中: HB——布氏硬度,帕斯卡(Pa);

P——压入力,牛顿(N);

S——小球留在材料表面痕迹的面积,米²(m²)。

2. 抗拉、抗压、抗弯强度

抗拉、抗压、抗弯强度分别表示在静态下单位面积的固体绝缘材料,承受逐步增大的拉力、压力、弯力直到破坏时的最大负荷。单位是:帕斯卡(Pa)。

3. 抗劈强度

抗劈强度表示层压制品材料,层间粘合的牢固程度。抗劈强度高的材料,不易开裂、起层,可加工性能好。抗劈强度的单位是牛顿(N)。

4. 抗冲击强度

表示材料承受动负荷的能力。以材料单位截面积受冲击破坏时所承受的能量来表示。抗冲击强度大的材料称为韧性材料,抗冲击强度小的材料称为脆性材料。单位是:焦耳/米²

5. 塑性及其衡量指标

塑性是材料的性能之一，表现为引起材料发生变形的应力消除后，变形不能完全消失，即发生塑性变形现象。

材料在断裂前发生塑性变形的能力叫塑性。衡量材料塑性的好坏的指标是延伸率（伸长率）和断面收缩率。

1) 伸长率（延伸率）

表示材料受力后开始断裂时的最大伸长与原长之比的百分数。

2) 断面收缩率

表示材料受力发生塑性变形引起断裂处的横截面积与原始横截面积之比的百分数，叫断面收缩率。

金属材料的延伸率和断面收缩率数值越大表示材料的塑性越好。这样的金属可以在大量塑性变形的情况下而不被破坏，便于通过塑性变形加工成复杂形状的零件。

塑性好的材料，当受力过高时，由于能产生塑性变形而不致发生突然断裂，因此相对而言比较安全。

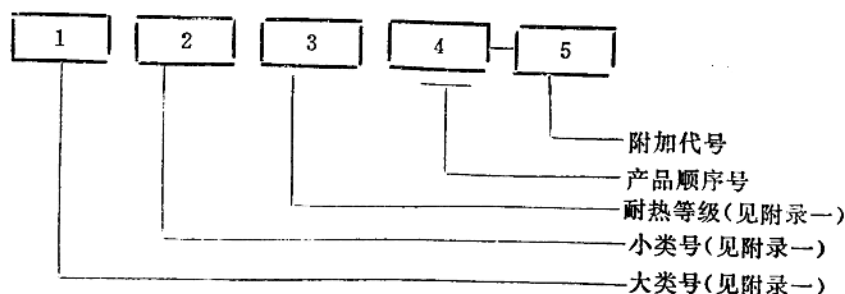
四、绝缘材料的产品分类及型号编制方法

绝缘材料的产品按JB2197-77规定的统一命名原则进行分类和型号编制（详见附录一）。

具体方法是：先按绝缘材料的应用或工艺特征分大类，大类中再按使用范围及形态分小类，在小类中又按其主要成分和基本工艺分品种，品种中划分规格。

产品型号由四位数字组成，必要时可增加第五位数字为基础编制。根据产品的特殊需要可增加附加代号（数字或字母），但尽量少用附加方式。

绝缘材料的型号编制格式



型号举例： 5 5 3 5—2

