



维修电工工艺学

中级电工培训教材

中国劳动出版社

维修电工工艺学

劳动部培训司组织编写

责任编辑：黄未来

中国劳动出版社出版

（北京市和平里中街12号）

国防印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 16.5印张 369千字

1990年9月北京第1版 1990年9月北京第1次印刷

印数：12000册

ISBN 7-5045-0507-2/TM·031 定价：6.15元

内 容 提 要

本书是劳动部培训司、劳动人事出版社委托广州市劳动保护宣传教育中心组织编写的中级电工培训教材之一。这套中级电工培训教材有电工数学、电工与电子基础、维修电工工艺学、内外线电工工艺学等4种。

本书内容包括电工材料、电工测量、低压电器、变压器、异步电动机、同步电机、直流电机、电焊机、电机拖动的基本知识、电力拖动的电气控制等。

本书可作为在职工人的培训教材，也可供青工自习使用。

参加本书编写的有许研文、周文溪、阎斌、关宛平、王羽、李希珍，许研文、周文溪主编；吴俭、王昌泰审稿，吴俭主审。

前 言

为配合全面开展的中二级培训,提高电工队伍的技术素质,加强电气安全技术管理,我们委托广州市劳动保护宣传教育中心编写了这套中二级电工培训教材。

这套教材包括电工数学、电工与电子基础、维修电工工艺学、内外线电工工艺学等四种。在这套教材的编写过程中,注意了理论联系实际及内容的科学性,先进性,反映了电工专业的新技术、新工艺、新材料、新设备,同时结合在职培训的特点,力求做到层次分明、重点突出、文字简练、通俗易懂。

这套教材可供中二级电工考工培训使用,也可作电气专业爱好者和技工学校学生的学习参考书。这套教材对于中小企业及用电面广的地区尤为适用。

搞好在职工人的培训是一项长期的战略任务。我们将根据需要,陆续组织编写机械类及其他专业的在职培训教材。欢迎各地在使用这套教材时,提出宝贵意见和建议,使我们把在职培训教材的编写工作做得更好。

劳动部培训司

1989年7月

目 录

第一章 电工材料	1
第一节 绝缘材料概述	1
第二节 常用的绝缘材料	6
第三节 电线和电缆	15
习 题	22
第二章 电工测量	23
第一节 电气测量和测量仪表的基本知识	23
第二节 电流和电压的测量	26
第三节 电功率和电能的测量	33
第四节 电阻的测量	40
第五节 万能表	52
第六节 电子示波器的使用	58
习 题	65
第三章 低压电器	67
第一节 概 述	67
第二节 低压电器的灭弧	69
第三节 低压熔断器	74
第四节 接触器	76
第五节 自动开关	80
第六节 漏电保护开关	96
第七节 控制继电器	105
习 题	108

第四章 变压器	109
第一节 变压器的工作原理	109
第二节 变压器的向量图	113
第三节 变压器的等效电路	117
第四节 变压器的分类和基本构造	120
第五节 变压器的运行特性	129
第六节 三相变压器	133
第七节 变压器的并联运行	141
第八节 变压器的铭牌及额定值	143
第九节 仪用互感器	145
第十节 变压器的维修	151
习 题	160
第五章 异步电动机	162
第一节 交流绕组	163
第二节 三相单层绕组	169
第三节 三相双层绕组	176
第四节 交流绕组的感应电势	186
第五节 三相交流电机的旋转磁场	195
第六节 三相异步电动机	205
第七节 单相异步电动机	228
第八节 异步电动机的维护	246
第九节 异步电动机的拆装及简单部件的检修	251
第十节 定子绕组的检修和拆换	262
第十一节 低压散嵌绕组	283
第十二节 其他部件的检修	296
习 题	305

第六章 同步电机	312
第一节 同步电机的基本结构和工作原理	312
第二节 同步发电机的空载特性	314
第三节 同步发电机的外特性和调节特性	315
第四节 同步电机的功角特性	316
第五节 同步电动机	320
习 题	323
第七章 直流电机	324
第一节 直流电机的工作原理及结构	324
第二节 直流电机的铭牌数据及主要系列	332
第三节 直流电机的电枢绕组	333
第四节 直流电机的磁场	344
第五节 直流电机的基本方程式	352
第六节 直流电机的换向	357
第七节 直流发电机	362
第八节 直流电动机	366
第九节 直流电机的维护及一般故障处理	374
第十节 直流电机的局部修理	378
习 题	387
第八章 电焊机	392
第一节 对弧焊电源的要求	392
第二节 弧焊变压器	394
第三节 弧焊整流器	397
第四节 电焊机常见故障及处理	398
习 题	400
第九章 电机拖动的基本知识	401
第一节 概 述	401

第二节	三相异步电动机的拖动特性	409
第三节	直流电动机的拖动特性	422
第四节	同步电动机的拖动特性	435
习 题		440
第十章	电力拖动的电气控制	442
第一节	电气控制线路及其图示法	442
第二节	电动机控制常用的基本控制环节	447
第三节	电动机常用的参数控制原则	455
第四节	电动机的控制	464
第五节	普通车床的电气控制	499
第六节	万能铣床电气线路故障分析	505
第七节	桥式起重机的电气控制线路故障及维修 ...	508
第八节	机床控制线路的分析和维修	513
习 题		517

第一章 电工材料

电工材料分绝缘材料、导电材料、磁性材料三大类。这里重点介绍绝缘材料、导电材料以及电气维修使用的其他材料。

第一节 绝缘材料概述

绝缘材料又称电介质。它的电阻率一般都在 10^9 欧姆·厘米以上。它的主要作用是隔离带电或不同电位的导体。

一、绝缘材料的分类

1. 按绝缘材料的物理状态分类

(1) 气体绝缘材料 常用的有空气、氮气、氢气、二氧化碳、六氟化硫等。

(2) 液体绝缘材料 常用的有变压器油、电容器油、电缆油等矿物油，还有硅油、三氯联苯等合成油。

(3) 固体绝缘材料 常用的有：绝缘漆、胶和熔敷粉末、纸板、木材等绝缘纤维制品，漆布、漆管和绑扎带等绝缘浸渍纤维制品，云母制品，电工薄膜、复合制品和粘带，电工用层压制品，电工用塑料和橡胶制品等。

2. 按化学性质分类

固体绝缘材料按其化学性质又可分为如下几类。

(1) 无机绝缘材料 如云母、石棉、大理石、电工瓷器、玻璃等。主要用于电机和电器的绕组绝缘、开关底座、绝

缘子等。

(2) 有机绝缘材料 如虫胶、树脂、橡胶、纸、麻、纱、丝等。主要用于制造绝缘漆和绕组导线的被覆绝缘物。

(3) 混合绝缘材料 是以上两种材料经加工合成的成型的绝缘材料，用作电器底座、外壳等。

3. 按耐热性能分级

电工绝缘材料按其能承受的极限温度划分为七个耐热等级（见表 1-1）。

表1-1 常用绝缘材料的耐热等级

级别	绝 缘 材 料	极限工作温度 (°C)
Y	木材、棉花、纸、纤维等天然的纺织品，以醋酸纤维和聚酰胺为基础的纺织品，以及易于热分解和溶化点较低的塑料（脲醛树脂）	90
A	工作于矿物油中的和用油或油树脂复合胶浸过的Y级材料，漆包线、漆布、漆丝的绝缘及油性漆、沥青漆等	105
E	聚脂薄膜和A级材料复合、玻璃布，油性树脂漆、聚乙烯醇缩醛高强度漆包线、乙酸乙烯耐热漆包线	120
B	聚脂薄膜、经合适树脂粘合式浸渍涂覆的云母、玻璃纤维、石棉等，聚脂漆、聚脂漆包线	130
F	以有机纤维材料补强和布带补强的云母片制品，玻璃丝和石棉，玻璃漆布，以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品，以无机材料作补强和石棉带补强的云母粉制品，化学热稳定性较好的聚脂和醇酸类材料，复合硅有机聚脂漆	155
H	无补强或以无机材料为补强的云母制品、加厚的F级材料、复合云母、有机硅云母制品、硅有机漆、硅有机橡胶聚酰亚胺复合玻璃布、复合薄膜、聚酰亚胺漆等	180
C	不采用任何有机粘合剂及浸渍剂的无机物如石英、石棉、云母、玻璃和电瓷材料等	180以上

4. 按绝缘材料的应用和工艺特征分类

- (1) 漆树脂和胶类, 分类代号为“1”;
- (2) 浸渍纤维制品类, 分类代号为“2”;
- (3) 层压制品类, 分类代号为“3”;
- (4) 压塑料类, 分类代号为“4”;
- (5) 云母制品类, 分类代号为“5”;
- (6) 薄膜、粘带和复合制品类, 分类代号为“6”。

5. 电工绝缘材料的型号

电工绝缘材料的统一型号一般由四位数字组成。

第一位数字即上述分类代号;

第二位数字表示同一分类中的不同品种。常用标号表示为:

(1) 漆、树脂和胶类 “0”表示浸渍漆, “3”表示瓷漆, “6”表示硅钢片漆;

(2) 浸渍纤维制品类 “2”或“4”表示漆布、漆绸, “6”表示半导体漆布, “7”表示漆管;

(3) 层压制品类 “0”表示层压纸板, “2”表示层压玻璃布板, “5”表示层压纸管, “6”表示层压玻璃布管, “7”表示纸棒, “8”表示玻璃布管;

(4) 压塑料类 “0”表示木粉填料压塑料, “3”表示玻璃纤维填料压塑料;

(5) 云母制品类 “1”表示柔软云母板, “2”表示塑型云母板, “4”表示云母带, “5”表示换向器云母板, “7”表示衬垫云母板, “8”表示云母箔;

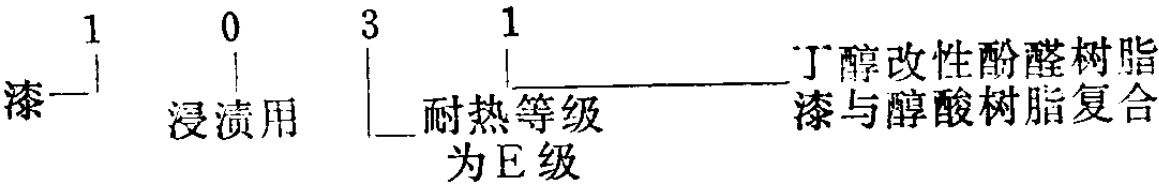
(6) 薄膜、粘带和复制品类 “0”表示薄膜, “5”表示薄膜绝缘纸和薄膜玻璃漆布复合箔。

第三位数字表示耐热等级: “0”表示Y级, “1”表示

A级,“2”表示E级,“3”表示B级,“4”表示F级,“5”表示H级,“6”表示C级。

第四位数字表示同一类产品的顺序号,以示配方、成份或性能的差别。

例如型号 1031 的绝缘材料,称为丁基酚醛醇酸漆。其型号具体为:



二、绝缘材料的性能

电气设备的运行情况很大程度上取决于绝缘材料的电气性能和老化程度。绝缘材料在外电场作用下发生导电、损耗甚至击穿,使用过程中在外界各种条件作用下还会老化,这些影响绝缘材料的寿命,也即影响电气设备的寿命。

1. 绝缘材料的电气性能

(1) 绝缘电阻 绝缘材料并不是绝对不导电的,对其施加一定的直流电压U后,绝缘材料中将流过一个极其微弱的电流I。

为了更清楚表示材料的绝缘性能,通常用表面电阻率和体积电阻率两项指标来比较不同的绝缘材料的性能。绝缘材料的体积电阻率一般都在 $10^9 \sim 10^{21}$ 欧姆·厘米范围以内。

我们通常讲绝缘电阻 R_L , 实际上是体积电阻和表面电阻并联的电阻值,即

$$R_L = \frac{R_v \cdot R_s}{R_v + R_s}$$

其中, $R_v = \frac{U}{I_v}$, I_v 为流经材料内部的体积电流, $R_s = \frac{U}{I_s}$, I_s 为表面电流。绝缘电阻与材料种类、形状、外界条件均有

密切关系。

(2) 击穿电压 当施加于绝缘材料的电场强度超过某一临界值时, 通过绝缘材料的电流剧增, 材料将发生破裂或分解, 从而完全丧失绝缘性能, 这种现象称为击穿。

气体绝缘材料的击穿, 一般是由于气体中的带电质点(主要是电子)在强电场作用下获得巨大的能量, 与其他分子产生碰撞电离, 继而造成连锁反应, 产生大量的电子(电子崩), 在正负极之间形成高电导通道——电弧, 从而造成击穿。

纯净的液体绝缘材料的击穿与气体的击穿类似。但工程上应用的液体绝缘材料不可避免地会渗杂有各种杂质, 在强电场的作用下杂质联成导电小桥贯穿两极之间, 使电流剧增, 局部温度骤升, 从而导致击穿。

固体绝缘材料的击穿大致是这样的: 在强电场作用下其内部带电质点剧烈运动, 发生碰撞电离或者由于内部损耗增加, 温度升高, 导致分子结构被破坏而击穿。

绝缘材料发生击穿时电压称为击穿电压, 此时的电场强度称为击穿强度, 单位是千伏/毫米。影响绝缘材料击穿强度的因素很多, 除了绝缘材料本身的成份和结构以外, 还有温度、受潮程度、电压的作用时间、交流电压的频率等, 其中温度、受潮程度的影响尤为显著。

2. 绝缘材料的老化

电气设备的绝缘材料在运行过程中, 由于各种因素的长期作用, 将发生一系列不可逆转的化学、物理变化, 从而导致电气性能和机械性能的变化。这种不可逆转的变化称为老化, 变化过程称为老化过程。影响绝缘材料老化的因素很多, 如热、电、光、氧化等。老化过程十分复杂, 其机理也随材料和使用条件不同而不同, 但主要是热老化和电老化。

一般在低压电气设备中，促使绝缘材料老化的主要因素是热。所以必须保证电气设备的绝缘材料在不超过其耐热等级规定的极限温度的情况下运行。在高压设备中，促使绝缘材料老化的主要因素是局部放电，因为局部放电时将产生臭氧，这是强氧化剂，易与绝缘材料的分子反应，使其分解；局部放电还产生氮的氧化物或游离的高速粒子，使内耗增加而发热，这些都将加速绝缘材料老化的进程。所以，在高压设备运行中应尽可能避免局部放电的现象。

在合成绝缘材料时添加防老剂是目前减缓老化过程的常用的方法。

3. 机械强度

绝缘材料的机械强度是指各种材料的不同强度指标，如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度等。

第二节 常用的绝缘材料

绝缘材料种类很多，这里只介绍一些常用的品种。

一、空气

空气的电气、物理性能稳定，来源丰富，击穿后恢复快，所以在电力系统中被广泛使用。

空气的电阻率为 10^{18} 欧姆·厘米；直流击穿强度为 33 千伏/厘米（这是在标准状态下，电极距离为 1 厘米的均匀电场中测得的）。

二、变压器油

变压器油是绝缘油的一种，用在变压器、断路器等设备中，起绝缘、散热和灭弧作用。对变压器油的性能有下列要求：

（1）绝缘性能要高。按规定新油的击穿强度不低于 35

千伏/厘米；运行中的油，对 15 千伏以下的变压器不低于 20 千伏/厘米，20~35 千伏的变压器不低于 30 千伏/厘米，44~220 千伏的变压器不低于 35 千伏/厘米。

(2) 粘度要小。粘度小，流动性大，导热性能就好。

(3) 油内杂质要少。特别是酸碱，因为它们对于绝缘破坏作用大。

(4) 油的闪点不得低于 135℃。

(5) 油的化学性质应稳定。

变压器油在贮存、运输和运行过程中，易被污染和老化。为了防止油的老化，一般可加强散热以降低油温，用薄膜使变压器油与空气隔绝，添加抗氧化剂，采用装有再生剂的热虹吸器进行净化再生等措施。如果变压器油老化，已不符合运行时油的标准，则需要对油进行净化和再生。

三、绝缘漆和绝缘胶

绝缘漆、胶都是以合成树脂和天然树脂为基础，能在一定条件下固化成绝缘膜或者绝缘整体的重要材料。

1. 绝缘漆

绝缘漆按用途可分为浸渍漆、覆盖漆(涂漆)和漆包线漆、硅钢片漆和防电晕漆等，这里介绍几种常用的浸渍漆和覆盖漆。

(1) 浸渍漆 主要用于浸渍电机、电器的线圈和绝缘零部件。浸渍漆可分为两大类。

1) 有溶剂浸渍漆。其特点是渗透性好，储存期长，使用方便等；缺点是浸渍和烘干时间长，固化慢，需要使用溶剂等。

有溶剂漆品种很多，其中以醇酸类和环氧类漆应用最广泛。在使用时要特别注意掌握烘焙温度与时间，一般采用多

次浸渍、烘焙和逐步升温的工艺。以免由于溶剂挥发过快，使漆膜形成气泡或者针孔。烘焙温度通常与漆的工作温度相同。电机、电器绕组、各种零件最好采用真空压力浸渍方法，以缩短烘焙时间和提高绝缘结构的性能。

常用的溶剂漆有：

沥青漆（1010）。采用二甲苯或 200 号汽油作溶剂。耐热性为 A 级，耐潮性好。用于不要求耐油的电机线圈浸渍。

油改性醇酸漆（1030）。耐热等级为 B 级。耐油性和弹性好，用于浸渍在油中工作的线圈和绝缘零件。溶剂为 200 号汽油。

丁基酚醛醇酸漆（1031）。耐热为 B 级，耐潮性、内干性较好，机械强度较高，可用于湿热地区浸渍线圈。溶剂为二甲苯和 200 号汽油。

三聚氰胺醇酸漆（1032）。耐热为 B 级，耐油、耐潮、内干，机械强度较好，且耐电弧，供浸渍湿热地区使用的线圈。溶剂采用二甲苯或 200 号汽油。

环氧酯漆（1032）。耐热为 B 级，具有较好的耐潮、内干性，机械强度高，粘结力强，用于湿热地区浸渍线圈。采用二甲苯和丁醇作溶剂。

有机硅浸渍漆（1053）。耐热性 H 级，电气性能好，但烘干温度高。用于浸渍 H 级电机、电器的线圈和绝缘零部件。溶剂为二甲苯。

2) 无溶剂浸渍漆 由合成树脂、固化剂和稀释剂组成。其特点是固化快，粘度随温度变化迅速，流动性和渗透性好，绝缘整体性好，固化过程挥发少等。

常用的无溶剂漆主要有环氧型、聚酯型和环氧聚脂型，前者粘结性好，收缩率小，漆膜的电气性能、机械性能、耐

潮性和耐霉性均较好，但漆的贮存稳定性和漆膜的韧性不如聚酯型。环氧聚酯型介于两者之间。

无溶剂浸渍漆可采用沉浸、整浸和滴浸等不同的浸渍方法。

(2) 覆盖漆 覆盖漆有瓷漆和清漆两种。含有填料和颜料的漆称瓷漆，不含填料和颜料者为清漆。覆盖漆是用于涂覆经浸漆处理后的线圈和绝缘零部件，在表面形成一层连续而厚度均匀的漆膜，作为绝缘保护层，以防止机械损伤及大气油污和化学物品的浸蚀，提高表面放电电压。

覆盖漆按树脂的类型可分为醇酸漆、环氧漆和有机硅漆。环氧漆比醇酸漆具有更好的耐水性、耐霉性、耐干性、附着力和漆膜硬度等，广泛用于湿热地区电机、电器零部件的表面覆盖。有机硅漆耐热性高，可用作H级电机、电器的覆盖漆。

同一树脂的瓷漆较清漆的漆膜硬度大，导热、耐热和耐电弧性好，但其他性能稍差。瓷漆多用于线圈和金属表面涂覆；清漆多用于绝缘零部件的表面和电器内的涂覆。覆盖漆可烘干和晾干。晾干漆的性能差些，贮存不稳定，但适用于大型电气设备或不宜烘焙的部件的覆盖，常用的覆盖漆有：晾干醇酸漆(1231)、晾干醇酸质瓷漆(1321)，晾干环氧酯漆(9120)、环氧酯质瓷漆(163)、晾干环氧酯质瓷漆(1641)等。上述覆盖漆耐热等级均为B级。有机硅瓷漆的耐热等级为H级。

2. 绝缘胶

绝缘胶用于浇注电缆头和套管以及浇注一些小型的电气设备，如20千伏以下的电流互感器、10千伏以下的电压互感器、某些干式变压器等。

电气设备的浇注胶多用环氧树脂浇注胶，常用的环氧树脂型号有：E-35(637)、E-37(638)、E-42(634)、