

上海市工人业余学校课本

电 工

第 一 册

(试 用 本)

说 明

在毛主席无产阶级革命路线的指引下，本市工人业余教育蓬勃开展。为了适应普及科学技术知识的需要，我们组织有关单位编写了这套电工教材。

电工教材共分四册。第一册讲述电、磁的基本知识，单相交流电路和工厂照明用电等知识；第二册讲述三相交流电路、工厂配电线路、常用电工仪表及电工测量等知识；第三册讲述变压器及交、直流电机等知识；第四册讲述工厂配电装置、低压电器及机床电气控制，计划用电、节约用电及安全用电等知识。为了帮助学员掌握和运用电的技术知识，我们在编写各章节时选编了一些结合工业生产实际的例题和习题。

这套教材是试用本。各单位教学时可根据实际情况选用，也可穿插自编教材。

编写新教材，是教育革命的一个重要组成部分。由于我们缺乏经验，这套教材一定存在很多缺点和问题，希望广大学员和教师在试用中提出批评和修改意见。

上海市工人业余学校教材编写组

目 录

说 明

第一章 电的基本知识1

第一节 从物质结构谈到电.....1

第二节 导体,绝缘体和半导体3

第三节 电路的概念.....5

第四节 电路定律15

第五节 电阻的串联和并联19

第六节 电功和电功率26

第七节 电流的热效应28

第八节 电容,电容器及其充放电.....30

第九节 静电33

习 题

第二章 磁的基本知识.....46

第一节 磁的初步认识46

第二节 磁场的基本物理量及电磁力52

第三节 磁路65

第四节 电磁感应77

习 题

第三章 单相交流电路.....88

第一节 概述88

第二节 正弦交流电的基本概念90

第三节 正弦量的图示法96

第四节 一个常见的单相交流电路——日光灯电路.....103

第五节	纯电阻电路·····	105
第六节	具有电感的电路·····	108
第七节	具有电容的电路·····	111
第八节	交流电路中的基尔霍夫定律·····	115
第九节	电阻、电感、电容相串联的电路及电阻、电感、电容的串 并联电路·····	117

习 题

第四章 工厂中的照明与电热 ·····130

第一节	工厂照明的今昔·····	130
第二节	不同车间灯具的选择·····	131
第三节	照明线路导线的选择·····	149
第四节	照明线路的安装及熔丝的选择·····	154
第五节	照明的维修·····	164
第六节	电热·····	174

习 题

第五节	纯电阻电路	105
第六节	具有电感的电路	108
第七节	具有电容的电路	111
第八节	交流电路中的基尔霍夫定律	115
第九节	电阻、电感、电容相串联的电路及电阻、电感、电容的串 并联电路	117

习 题

第四章 工厂中的照明与电热130

第一节	工厂照明的今昔	130
第二节	不同车间灯具的选择	131
第三节	照明线路导线的选择	149
第四节	照明线路的安装及熔丝的选择	154
第五节	照明的维修	164
第六节	电热	174

习题

第一章 电的基本知识

第一节 从物质结构谈到电

自然界的一切物质都由极小的分子所组成，分子又由原子所组成，原子又由原子核和围绕着原子核高速运转的电子所组成。我们规定原子核所带的电荷为正电荷，电子所带的电荷为负电荷，原子核所带的正电荷数等于核外电子所带负电荷数，故原子平常并不显示电的性能。

不同原子所带的电子数目是不一样的，例如铜原子有 29 个电子，铝原子有 13 个电子，图 1-1 简单地表示出铝原子的结构。在原子中转动着的电子，运动在不同的轨道上，那些在边缘轨道上的电子与原子核的结合比较松散，受到邻近原子的作用或其他原因，可能离开自己的轨道在各原子之间作无规则的运动，这些可以在原子间自由运动的电子称为自由电子。

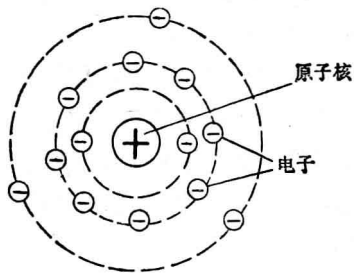


图 1-1 铝原子结构图

一切金属原子都有不稳固的外围电子，因而金属内存在大量自由电子，有良好的导电性能。

还有其它许多物质的原子，其原子核对电子的吸引力非常大，不让它们自由地离开原子，这样的物质，自由电子极少，不善

于导电。

从实验中我们知道,凡是同性电荷互相排斥,凡是异性电荷互相吸引,故而每一物质中的正负电荷都是彼此互相吸引着的。但当原子受到外界影响时,就可能失去或得到一个或数个电子,失去电子的物质带正电,获得电子的物质带负电。在不断的实践中我们也发现,有许多方法能够把原子中的电荷分离开而使物质呈现带电状态。例如:

1. 摩擦生电。用绸子摩擦玻璃棒、呢绒摩擦胶木杆,我们发现玻璃棒、胶木杆等能够吸引细小的纸片,说明它们带有了微弱的电荷。这些电荷可能是正电荷,也可能是负电荷。如玻璃棒经过摩擦后失去电子而带正电,胶木杆经过摩擦后得到电子而带负电。此外其它许多物体也有摩擦生电现象。

2. 光电效应。光线射到某些金属表面时,会使金属发射出电子,这种现象称为光电效应。

3. 热电效应。把金属加热,可以增加自由电子的运动速度,致使电子从金属表面发射出来,这种现象称为热电效应。

4. 化学反应。如酸性、碱性和盐类物质溶于水时,产生电离现象,即这类物质在水溶液中分解为带正电荷和带负电荷的两部份,带正电荷的叫正离子,带负电荷的叫负离子(氢和金属的离子带正电荷,其余物质的离子带负电荷)。正负离子所带电量相等。

此外静电感应,电磁感应也都能使某些物质呈现带电状态。

综上所述,带电荷的元微粒(例如电子带负电荷,原子核带正电荷)是物质最重要的构成单元。因而物质自身包含了正电和负电这一对矛盾,能在外因的作用下引起电现象。物质本身正负电荷之间吸引力的强弱,又决定了它们导电性能的好坏(关

于这个问题在下节中进一步说明)。通过对物质结构的分析使我们认识到电现象的产生并非神秘莫测，而是完全符合唯物辩证法的一般规律，即“事物发展的根本原因，不是在事物的外部而是在事物的内部，在于事物内部的矛盾性。任何事物内部都有这种矛盾性，因此引起了事物的运动和发展。”

第二节 导体、绝缘体和半导体

一、导 体

比较容易传导电流的物体叫做导体。导体的特征是大量的自由电子和带电的离子可以在它内部自由移动。常见的导体有下面几类：

1. 金属。由金属的物质结构所决定，金属内存在大量的自由电子，这些自由电子平时在作无规则的热运动，未形成电流，当受到外加电场力的作用时，自由电子将作有规则的定向运动，形成电流。作为导体的金属材料常见的有铜、铝、铁、铂、银、钨等多种合金材料。

2. 电解质。包括酸、碱、盐的水溶液。由电解质的特性所决定，在电解质内，一部份中性分子分解成为带正电的正离子与带负电的负离子，这些正负离子平时在溶液中自由移动，当它们受到外加电场力的作用时，也将作有规则的定向运动，形成电流。

3. 大地、潮湿土壤和炭也是导电的。

二、绝 缘 体

不善于传导电流的物体叫做绝缘体。这些物体的单位体积内含有极少量的自由电子或离子，在一定的外加电场力的作用

下,这些物体的电流极少,微不足道,一般不予考虑,通常认为它们是不导电的。

作为绝缘体的材料有气体、液体和固体三大类。

第一类气体绝缘材料。有空气、氢气、氮气及含有氟、氯、溴、碘等元素的气体,其中空气是最重要的一种。在架空输电线中,空气就是各导线间唯一的绝缘。

第二类液体绝缘材料。如纯水、矿物油。电气设备中所用的绝缘油,几乎全部为矿物油,矿物油因使用的场所不同,有变压器油、开关油、电容器用油、电缆用油等。矿物油的绝缘性能是比较高的,但在含有水份、尘土、纤维毛等杂质时,绝缘性能将大为降低。其中以水份的影响最大。

第三类固体绝缘材料(包括凝固性绝缘材料)。有树脂、沥青、石蜡、地蜡、油漆、木材、棉纱、棉布、纸、天然丝、人造丝、麻、塑料、橡胶、石棉、有机硅、云母、陶瓷、玻璃及玻璃纤维等。固体绝缘材料一部份是直接使用于电气设备中,多数则制成复制品后使用在电气设备中。

制成复制品的绝缘材料,品种很多,就目前产品举例如下:

1. 酚醛层压纸板。是由绝缘浸渍纸浸以酚醛树脂经热压而成的板状层压制品。电性能好,适用于电气设备中作绝缘结构零部件。

2. 5450 有机硅玻璃云母带。是由甲级白云母片,以 1153 有机硅漆为胶粘剂,双面以电工无碱玻璃布为补强材料,经粘贴烘焙,切割加工而成的带状云母绝缘材料。能耐高温,热处理后电性能高,常态下具有柔软性,适用于作耐高温电机的线圈绝缘。

3. 聚酰亚胺薄膜、漆布、层压板等,是新发展起来的绝缘材料,电气性能、机械性能和防潮性能都好,能耐高温,耐深寒。目

前均苯聚酰亚胺薄膜用在电机上作绝缘材料,代替了云母,且性能比云母好,能缩小电机体积,提高工作效率。

绝缘材料在电气设备中用来隔开不同的导电部份,大小电气设备几乎都用得到它,占有重要地位。但应当指出,作为绝缘体的各种绝缘材料并非绝对地不导电,绝缘材料随着使用时间的增长会发生老化,使绝缘性能降低。此外温度过高,绝缘体污秽,受潮或强电场的作用也将使绝缘性能降低。在阴雨天高压输电线上往往出现淡青色微光,同时听到嗡嗡声或嘶嘶声,便是空气受潮绝缘性能降低产生放电的一种现象,称为电晕放电。还有我们常见的漏电也是绝缘性能下降的现象。如果使绝缘性能低降的任何一个因素增强,超过了一定限度,绝缘体可能完全失去绝缘性能而成为导电的。这种现象又称为绝缘击穿。例如电气设备的闪络,便是固体绝缘表面的空气层被击穿,并沿此表面放电的故障。又如有的电动机严重受潮,未经烘潮处理投入运行,在启动时就烧坏了。

三、半 导 体

半导体是介于导体与绝缘体之间的一种材料,它的导电性能小于导体但却大于绝缘体。最常见的半导体材料有锗、硅、硒和氧化铜等。

第三节 电路的概念

一、电 路

电流通过的路径叫做电路。最简单的电路由电源,负载和联接电源和负载的导线组成。如图 1-2 所示。

电源是电路中用来供给电能的设备。电源所提供的电能由

其它形式的能量转换而来。例如发电机把机械能转换为电能，蓄电池、干电池把化学能转换为电能等。

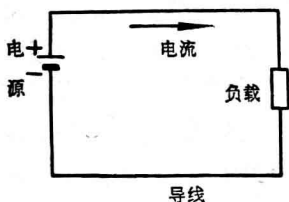


图 1-2 最简单的电路

负载(即用电设备)是电路中把电能转换为其它能量的设备，例如电动机把电能转换为机械能，电烘箱把电能转换为热能，电灯、手电筒把电能转换为光能等。

导线在电路中起传导电流的作用。在一般的电力线路中还装有开关，控制设备，指示器，保护和测量元件等附属设备。

电路分外电路和内电路。对电源来讲负载和联接导线以及开关等附属设备叫外电路。电源内部的通路叫内电路，如电池二极之间的通路。

二、电 流

大家常用的手电筒是由干电池作电源，电珠作负载，金属外壳(塑料外壳的内部另装金属连片)作导线加上开关的简单电路组成的电器。

当我们把手电筒按钮按上时，电珠就亮了。电珠为什么会亮?这是因为按上按钮时，电筒的电路接通了，在电源的作用下，电荷流过电珠的灯丝使电珠发亮。

如果导体内的自由电子或离子受到一定方向的外力(如电场力等)的作用，成群的电子或离子会向一定方向有秩序地移动；电荷有秩序地定向移动，就叫做电流。

习惯上规定正电荷移动的方向作为电流的正方向。因此外电路中电流的方向由正极流向负极，如图 1-3(b) 所示。在金属导体内，实际上移动的是带负电荷的自由电子，它的流动方向与

习惯上规定的方向相反。但这不影响我们对电路的研究。一般，大小和方向不随时间变化的电流叫做“直流。”如干电池，蓄电池所产生的电流就是直流电。

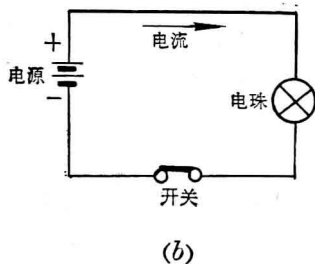
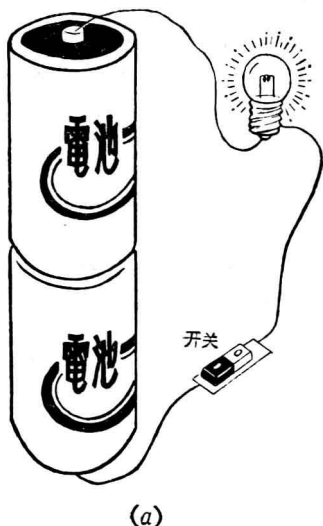


图 1-3 手电筒的电路图

(a) 实物示意图

(b) 电路原理图

电流的大小是用电流强度来度量的。电流强度在数值上等于单位时间内流过导体横截面的电量。用符号 I 表示。

电流强度简称电流。因而“电流”不仅表征电荷流动的物理现象，而且也是物理量电流强度的简称。

电流强度可用下式表示

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中 Q 表示电量，单位是库仑；一库仑电量相当于 6.25×10^{18} 个电子的电量。

t 表示时间，单位是秒；

I 表示电流强度，单位是安培。

若在一秒钟内流过导体横截面的电量是一库仑，则导体内的电流就是 1 安培。通常也用符号 A 来表示安培。

根据不同的需要，电流的单位亦用仟安、毫安或微安为单位。

$$1 \text{ 仟安} = 1000 \text{ 安} \quad \text{即} \quad 1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$$

$$1 \text{ 毫安} = \frac{1}{1000} \text{ 安} \quad \text{即} \quad 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \text{ 微安} = \frac{1}{1000000} \text{ 安} \quad \text{即} \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

如果电流在导体的横截面上是均匀分布的，则电流与导体横截面 S 之比叫做电流密度，用字母 J 表示，即

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-2)$$

电流密度的单位是安培/毫米² (或 A/mm^2)。

三、电 阻

“……每一事物的发展过程中存在着自始至终的矛盾运动。”导体是善于传导电流的，但在传导电流的同时又要受到阻力。导体中的自由电子在受到外力(如电场力等)作有秩序的定向运动时，将和导体中其它不断运动着的分子，原子，自由电子相碰撞，减缓它的运动速度，这种阻碍电子运动的特性，我们称它为电阻。

电流通过导线时，导线会发热，这就是导线的电阻把电能转换为热能的一种表现。

电阻是物质的一种物理性质，在同一温度并具有相同的长度和截面时，不同物质具有不同的电阻。

电阻用符号 R 表示。单位是欧姆，简称“欧。”用符号“ Ω ”表示。根据不同需要，电阻的单位亦用仟欧；兆欧为单位。

$$1 \text{ 仟欧} = 1000 \text{ 欧} \quad \text{即} \quad 1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$$

1 兆欧 = 1000000 欧 即 $1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$

导体电阻的大小和那些因素有关系呢?

通过实验可以知道,在一定的温度下,电阻除了和导体的材料有关外,同一导体的电阻与导体的长度成正比,而与导体的截面积成反比。可用下式表示。

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-3)$$

式中 R ——导体的电阻,单位为欧姆。

l ——导体的长度,单位为米。

S ——导体的截面,单位为平方毫米。

ρ ——导体的电阻率,单位为欧姆毫米²/米

导体的电阻率 ρ 是在一定的温度下长一米,截面积为 1 平方毫米的导体所具有的电阻。

几种常见导体的电阻率见表格 1-1。

电阻的大小还与温度有关,在不同温度时,同一导体的电阻也不同。

通常我们把温度每增加 1°C 时电阻所产生的变动数值对原来电阻的比值称为电阻的温度系数,以 α 表示。

如果在温度 θ_0 时,导体的电阻为 R_0 ,在温度 θ 时,电阻为 R_θ ,那末电阻的温度系数 α 等于

$$\alpha = \frac{R_\theta - R_0}{R_0(\theta - \theta_0)} \quad (1-4)$$

从温度系数的公式可以求得 R_θ

$$R_\theta = R_0 [1 \pm \alpha(\theta - \theta_0)] \quad (1-5)$$

式(1-5)中正、负号的意义是,一般金属材料,如铜、铝、银等当温度升高时,电阻升高, α 值为正数,用正号。有的物质如电解液,当温度升高时,电阻减小, α 值为负数,用负号。

少数铜合金如康铜、锰铜的电阻几乎不受温度的影响,即它们的温度系数 α 接近于零。

几种导电材料的平均温度系数见表格 1-1。

金属材料的导电特性不同使用的地方也不同。银的电阻率小,是优质导电材料,但它是贵金属,只用于特殊场合。铜、铝电阻率也很小,广泛用在电力工业中制造导线和多种电器。高电阻合金用来制造各种变阻器和电热器。

在毛主席革命路线指引下,我国工人阶级自力更生,发奋图强开创社会主义工业的新体系。成功地制成了不少新材料,新产品。如不含镍的新康铜电阻合金材料,这种新材料性能和康铜相似,已被广泛用来代替康铜、锰铜制造标准电阻和变阻器。还制成各种铝导线,各种型式铝母线,铝线异步电动机,铝线变压器以及铝母线穿墙套管。在发扬铝质轻,价格低廉的优点,克服铝性脆易断的缺点方面作出了不少成绩。为在我国工业中以铝代铜创造了宝贵的经验。

例 1-1 试计算长度为 2 公里的 LJ-16 铝导线的电阻。

解 LJ-16 导线截面 $S = 16\text{mm}^2$ $\rho = 0.029 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

$$\therefore R = \rho \frac{l}{S} = 0.029 \times \frac{2000}{16} = 3.63 \Omega$$

例 1-2 某容量为 1.7 瓩的异步电动机,在未运行前,气温为 30°C 时,测得每相绕组的电阻为 3.7 欧,运行一小时后由于电机发热而温度上升,停机后立即再测其电阻已升高至 4.1 欧,试求此时绕组的温度 θ_0 (铜的温度系数为 $0.0041/^\circ\text{C}$)

解 铜的电阻随温度而变化,其关系可根据(1-5)求得

即
$$R_\theta = R_0 [1 + \alpha(\theta - \theta_0)]$$

$$\therefore \frac{R_\theta}{R_0} - 1 = \alpha(\theta - \theta_0)$$

$$\theta = \frac{\frac{R_{\theta}}{R_0} - 1}{\alpha} + \theta_0 = \frac{\frac{4.1}{3.7} - 1}{0.004} + 30 = \frac{0.10}{0.004} + 30 \\ = 25 + 30 = 55^{\circ}\text{C}$$

表 1-1 几种导电材料的电阻率, 平均温度系数

材 料	电 阻 率 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	平 均 温 度 系 数 $1/^{\circ}\text{C}$
银	0.016	0.004
铜	0.0175	0.004
铝	0.029	0.004
钨	0.056	0.0046
铂	0.106	0.003
钢	0.13~0.25	0.006
铁	0.13~0.3	0.006
黄 铜	0.07~0.08	0.002
青 铜	0.021~0.4	0.004
锰 铜	0.42	0.000006
康 铜	0.4~0.51	0.000005
镍 铬	1.1	0.00015
铁 铬 铝	1.4	0.00005

四、电位、电位差(电压)

1. 电位。大家都有这样的生活经验, 水流是由高处流向低处。高处的水位高, 低处的水位低, 它们之间存在水位差, 使水产生流动, 形成水流。同样带电物体也具有电位。电位和水位的意义相似, 正电荷总是由高电位移向低电位的。

我们通常以大地的电位为另电位,当物体带有正电荷时,它的电位就比大地高,当这物体接触大地时,正电荷就从物体流入大地。当物体带有负电荷时,它的电位就比大地低,当这物体接触大地时,大地的正电荷就流到物体上来抵销负电荷。故当导体和大地直接接触时就和大地同电位。

2. 电位差(电压)。正如水位差是形成水流的原因一样,电位差是产生电流的原因。没有电位差就不可能有电流,要使电路中不断地有电流流过,电路两端就要维持一定的电位差。

电路中任意两点的电位差称为该两点的电压,负载两端存在的电位差称为负载的端电压。用符号“ U ”表示。

应当指出,电位与电压是有区别的。电位的数值和高度一样是个相对的概念而不是绝对的概念。某点电位的数值与接地点即另电位的选择有关。电压则是两点的电位差与另电位的选择无关。

电位和电压的单位都是伏特,简称伏,通常也用符号“ V ”表示。

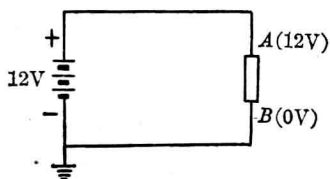


图 1-4 负载一端接地的电路图

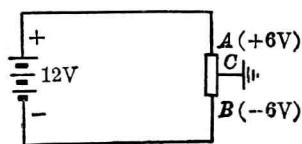


图 1-5 负载中点接地的电路图

如图 1-4 负载电阻的 B 端和电源负极连通并接地,则 B 端和电源负极电位为另。电源正极的电位为 $12V$,负载电阻 A 端和正极相联,即与正极同电位,故 A 端电位为 $12V$ 。

在图 1-5 中如果将电路中的 C 点接地,于是 C 点的电位为另,电源负极和 B 点的电位将是负 $6V$,电源正极和 A 点的电位