

地质勘探技工培训教材

电工基础知识

地质部张家口技工学校编



地质出版社

地质勘探技工培训教材

电工基础知识

地质部张家口技工学校 编

地质部劳动工资司编辑

地质出版社出版
(北京西四)

地质印刷厂印刷
(北京安福路47号)

地质出版社经销组内部发行

•

开本: 850×1168^{1/32} 印张: 6^{1/4} 字数: 163,000

1981年8月北京第一版·1981年8月北京第一次印刷

印数1—25,000册·定价1.10元

统一书号: 15038·新674

前 言

《电工基础知识》是根据一九七九年地质部劳动工资司颁发的地质机修工人培训教学大纲的精神编写的配套教材。适用于具有初中文化程度的地质机修工人短期培训班使用，也可作为这些工人的自学读物。

《电工基础知识》的内容包括电工原理和电工应用技术两部分，电工原理部分是在初等数学的基础上，力图深入浅出地讲清物理本质，使具有初中文化水平的工人能够阅读和自修，在电工应用技术方面，则简要地介绍地质机械维修工人经常接触到的电动机、低压电气设备的原理，操作方法和维修知识。

课本内容比大纲中规定讲授的内容多，可在使用本书时，结合具体情况选教部分内容，余者可安排学员自修。

《电工基础知识》由地质部张家口技工学校马永太、陈金海、李改潮等同志编写，一九八〇年七月由地质部劳动工资司主持的教材审定会议上审定，参加审稿工作的有陕西地质技工学校朱佩堂，贵州地质技工学校王林华等同志。

培训地质机修工人，迅速实现地质勘探机械的现代化建设，是当前的一项迫切任务，由地质部劳动工资司组织编写这套培训教材的出版，将对地质机修工人的技术学习起一定的促进作用，由于我们在编写、审定教材时，时间比较仓促和水平所限，书中定会出现不少缺点和错误，希望使用本书的单位和读者批评指正。

编 者

一九八〇年七月

目 录

第一章 概述	1
第二章 电的基本概念	2
第一节 电荷与电场.....	2
第二节 电流和电压.....	4
第三节 电源的概念.....	7
第四节 导体和绝缘体.....	8
第五节 电阻.....	9
第三章 直流电路	13
第一节 电路的组成.....	13
第二节 欧姆定律.....	14
第三节 电功和电功率.....	17
第四节 电阻的串、并联电路.....	19
第五节 混联电路.....	22
第六节 短路及短路保护.....	24
第四章 磁场与电磁感应	28
第一节 磁现象和磁场.....	28
第二节 磁场对载流导体的作用力.....	30
第三节 铁磁材料及性能.....	32
第四节 电磁感应.....	33
第五节 自感应与涡流.....	36
第五章 交流电和单相交流电路	42
第一节 交流电的产生.....	42
第二节 正弦交流电的基本量.....	44
第三节 交流电的有效值.....	48
第四节 正弦交流电的矢量表示法.....	49

第五节	纯电阻电路	52
第六节	纯电感电路	54
第七节	电容器	57
第八节	纯电容电路	60
第九节	电阻和电感串联电路	63
第十节	交流电路中的功率	65
第十一节	提高功率因数的意义和方法	68
第六章	三相交流电路	72
第一节	三相交流电的产生	72
第二节	三相电源的星形连接	74
第三节	电源的三角形连接	76
第四节	负载的星形连接	78
第五节	负载的三角形连接	83
第六节	三相电路的功率	87
第七章	变压器	92
第一节	变压器的作用	92
第二节	变压器原理	93
第三节	变压器的构造和铭牌上的主要数据	97
第四节	自耦变压器及互感器	100
第八章	交流电动机	105
第一节	感应电动机的构造	105
第二节	旋转磁场	108
第三节	感应电动机运行的原理	112
第四节	异步电动机的机械特性	115
第五节	电动机的铭牌	116
第六节	电动机的选择、安装及接线	120
第七节	感应电动机的起动及熔丝的选择	124
第八节	电动机的运行和管理	126
第九章	低压电器和控制线路	131
第一节	概述	131

第二节	控制电器和保护电器	13
第三节	鼠笼式电动机直接起动、点动、正反转的控制 线路	143
第四节	C 620—1型普通车床电气线路	147
第五节	三相异步电动机的降压起动线路	149
第十章	直流电机	155
第一节	直流电机的基本原理	155
第二节	直流电机的构造	157
第三节	直流发电机	160
第四节	直流电动机	163
第五节	直流电动机的起动、调速和反转	166
第十一章	发电、输电、配电及安全用电	171
第一节	发电、输电、配电概况	171
第二节	保护接地和保护接中线	172
第三节	安全用电的常识	174
附录一	电工系统中常用的图形符号	188
附录二	几种低压电器的技术数据	190

第一章 概 述

电工学是研究怎样把电的现象和理论应用到各种技术部门的科学。

从十九世纪以来，电能开始被应用到实际中去，到了近代，电能已被广泛应用到一切工程技术部门和日常生活中，并且成为目前生产中应用最广的动力。由于人们在应用电能的实践中，不断地摸索与总结出它们的规律，形成了基本理论，使电工学形成一门独立而完整丰富的科学。

电能的主要特点是：

1. 输送方便。只要用一些较简单的设备，电能就可以迅速输送到很远地方的用户，而且损耗很小。

2. 能量转换简便。电能可以比较容易地转换成其它形式的能量，电能可以从价格较低的煤和水力中获得。近代利用原子能来发电，为电能的生产和应用开辟了广泛的前途。

另外，当前近代物理，无线电电子学的高速发展，特别是电子计算机的出现，在解决科研生产课题时，就能用比较经济的计算办法来找出精确的答案，从而推动了科学研究和工农业生产的飞速发展。

随着科学技术的飞速发展，迅速使我国实现四个现代化的宏伟计划，地质勘探事业必然相应地得到发展，以适应国家建设的需要。现代化的地质勘探机械，要求轻便化，以便于移动搬运和携带，自动化，电气化的程度越来越高，要求地质机修人员必须具有一定程度的电工技术知识，才能胜任地质机械的维修工作。

电工学既然是一门系统完整的理论与生产实践紧密结合的科学，所以要求学员在学习中，要利用已学到的数学，物理学的基础文化知识，较彻底地理解电工学的基本理论，并应注意结合生产实践和演算习题等方法，做到理论与实际的紧密结合，达到学以致用目的。

第二章 电的基本概念

由于电力事业的迅速发展，电能在水农业生产中的应用越来越广泛，起的作用也越来越大。如：我们日常生活中经常遇到的照相、电影、广播、电视、电风扇等都离不开电。就连现代比较先进的科学技术电子计算机，数字控制等等，也都离不开电能。随着我国四个现代化的逐步实现，电和我们的关系将更为密切，为深入学习电的知识，必须首先掌握一些电的基本概念。

第一节 电荷与电场

电荷是了解电的基础。我们知道世间一切物质都是由分子组成，分子是由原子组成的，原子是由原子核和核外电子组成的。原子核显正电，用 $(+)$ 表示，电子显负电，用 $(-)$ 表示。不同物质的原子具有的电子数目是不一样的。例如氢原子只有一个电子，而铝原子则有13个电子。图2-1是氢原子和铝原子的结构示意图。

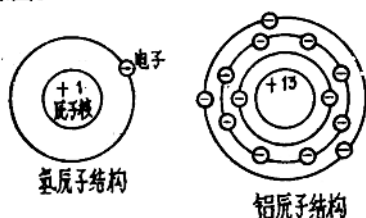


图 2-1 原子结构示意图

正电荷和负电荷具有同性相斥，异性相吸的性质。电荷的多少叫电量，在平时原子并不显电性，这是因为它们的正负电荷相等。如果某种原因使物体的原子得到或失去一部分

电子，原子就呈现出了电性，得到电子就显了负电，失去电子就显了正电。但是如果一个物体得到了几个电子，就一定有另一个物体失去了几个电子。所以，电荷不会凭空产生，也不会被消

灭，只能从一个物体移到另一个物体。物体所带的正电荷或负电荷的多少，即：电量用符号 Q 表示，单位为库仑

1 库仑 = 625 亿亿个电子所带的电量

电场：

上面我们指出了电荷具有同性相斥，异性相吸的性质，那么为什么两个电荷并没有接触却有这种作用呢？原来两个电荷之间的作用力是通过电场来实现的。就是说一旦物体带了电就在它周围产生一种电场，电场具有吸引和排斥电荷的能力。它是一种特殊的物质，既看不见，也摸不到，但我们能够从电荷受到力的作用来证明它的存在，正如热场一样，我们在屋内放一个火炉，屋内的温度升高，人能感到温暖，我们就可说屋内有一个热场，这种热场我们同样看不见摸不到，但我们可以从人感到温暖来证明它存在。

电场有两种表现：一是对引入电场的另一电荷有作用力，二是顺着电场方向移动时电场力要对它做功。这一点表明电场具有能量。我们把电场对电荷的作用力叫电场力。

电荷受到的电场力越大，表明电场越强。实验证明：靠近带电体的地方电场强，越远离带电体的地方电场越弱。同一带电体带的电荷越多，它周围的电场越强。

导体中有电流流动，就是因为导体两端分别积聚了正负电荷，在导体中产生了电场，所以导体中的电荷就要受到电场力的作用而移动，电荷的移动就形成电流。如图2-2所示就是导体中正电荷受到电场力的作用顺着电场方向移动的情况。

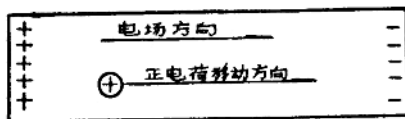


图 2-2 导体中正电荷受电场力情况

第二节 电流和电压

一、电流

用电器中有电流流动才能工作。电灯通入电流就能发光，电动机通入电流才能转动。那么什么是电流呢？我们知道物体中有大量电荷，只要给电荷一个作用力电荷就能移动，但不是所有的电荷都能移动。在金属中原子的原子核和被原子核紧紧束缚在内层的电子是不能移动的，只有金属原子中外层的一部分电子受原子核的吸引力比较弱，受外力后容易脱离原子核而自由移动，这些自由运动的电子叫自由电子。在外力作用下，这些自由电子定向移动就叫做电流。

关于电流方向的规定：由于电流是自由电子定向移动而形成的，电流的方向应当是自由电子（即负电荷）流动的方向，但在没有发现这个规律以前，人们习惯上已规定正电荷移动的方向为电流的方向，这样对我们研究问题并没有影响，我们知道电流的方向和自由电子的流动方向相反就是了。电流和电子的流动方向如图2-3所示。

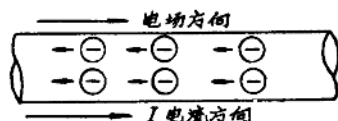


图 2-3

电流的大小：电流是有强弱之分的，同一盏灯流过的电流强，灯就亮，电流弱就暗。表示电流强弱的物理量叫电流强度。用符号 I 表示。为了能够比较电流的大小，规定：单位时间内流过某导体横截面的电量为这个导体的电流强度。即：

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2-1)$$

式中：I——电流，单位为安培(A)；

Q——电量，单位为库仑；

t——时间，单位为秒。

如果在1秒内有1库仑的电量通过导体截面，这个导体的电流强度就是1安培，比安培小的单位有(mA)毫安和(μ A)微安，它们的换算关系是：

$$1\text{A} = 1000\text{mA}$$

$$1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

导体中的电流通常由电流表测定。一般照明电灯的电流大约0.1~0.5A，中型电机一般几十安培，收音机一般几十毫安。

二、电压

导体中能有电流流动，光存在自由电子是不行的，还需要另一个条件，即：给自由电子施加力，这个力我们叫电场力。

如图2-4，是两个金属板，分别带有等量的正负电荷，a板带正电荷，b板带负电荷，因而在ab板间存在着电场，如果我们用导线经过一个灯泡把两个极板连起来，则在电场力的作用下正电荷就要从a极板经过灯泡移到b极板去，正电荷的流动就形成了电流，并使灯泡消耗电能而发光，同时电场移动电荷要做功。为了衡量电场力移动电荷做功的能力，我们使用电压这个物理量。定义为：电场力把单位电荷从a移到b时所做的功称为ab两点间的电压。用 U_{ab} 表示。即：

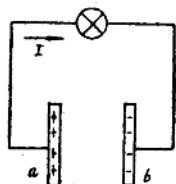


图 2-4

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (2-2)$$

式中： U_{ab} ——电路中ab两点间的电压，单位用伏特(V)；

W——电场力移动正电荷Q所做的功，单位为焦耳；

Q——电量，单位为库仑。

在电工中，电压较大的单位是千伏(kV)，较小的单位是毫伏(mV)，换算关系是：

$$1\text{kV} = 1000\text{V} \quad 1\text{V} = 1000\text{mV}$$

三、电位

在日常生活中,为了说明甲、乙、丙、丁几个地方的高低,而不是说甲比乙高多少,丙比丁高多少……。而是选海平面做为参考,把这几个点的海拔高度表示出来就一目了然了,这几个点的高低也容易比较。在电路中也有类似的情况,由于电压是对电路中某两点来说的,因此,在较复杂的电路中要一一说明每两点的电压是很不方便的。参照地势高低的做法,我们也可以任意选取电路的某一点做为参考点,把其它点到此参考点的电压称为各点的电位。

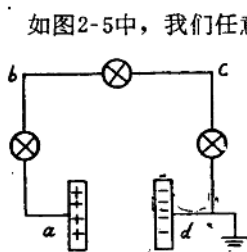


图 2-5

如图2-5中,我们任意选择d点做为参考点,则abc三点的电位分别为 U_{ad} 、 U_{bd} 、 U_{cd} ,为了记法简单起见,我们仅带一个下标的字母来表示电位,即:abc三点的电位记做 U_a 、 U_b 、 U_c ,根据定义电位参考点d本身的电位应为0即 $U_d = 0$,这样,电路中任意两点的电压,就可以用这两点之间的

电位之差来表示。即:

$$\left. \begin{aligned} U_{ab} &= U_a - U_b \\ U_{bc} &= U_b - U_c \\ U_{ac} &= U_a - U_c \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

因此,电压有时也称为两点之间的电位差。

电路中的电位参考点可以是任意选择的,选择那一点为参考点那一点的电位为零。但在电路中通常以电源的负极作为参考点,许多供电线路常把大地作为参考点,所以常把参考点称为“地”,另一些线路中,“地”往往不一定指大地,只不过是指数位参考点而已。

电压在电路图中还可以用箭头来表示,如图2-5中 U_{bc} 电压,此箭头的方向(或者说电压的方向)是从高电位指向低电位的,

U_{bc} 的电压就是由 b 点指向 c 点，这样，沿着电压的方向电位是逐点降低的，所以电压有时也叫电压降。

第三节 电源的概念

在图 2-4 的电路中，电流是不能持久的。因为随着正电荷流向负极，正负电荷不断中和，两极板上的正负电荷逐渐减少，最终达到电场消失，因而电压也为零。没有电压也就没有电流流动，也就不能保证灯泡始终发亮。

为了维持电流，就必须维持两极板的电场不减小，也就是维持两极板的电压不变，保证流走一个正电荷，再从 b 极板分离过一个正电荷，也就是利用其它的外力从负极不断地将正电荷经过另一路径重新回到正极，这样就必须借助于其它设备。发电机、蓄电池等电源设备都能产生这种外力。如图 2-6 中的蓄电池电源，它的正极是二氧化铅 (PbO_2)，负极是铅 (Pb)，浸在硫酸 (H_2SO_4) 溶液中。接于灯泡后，电场力

不断地使正电荷从正极通过灯泡流向负极，电场力做功，电能不断地在灯泡内转变为热能和光能。同时在蓄电池内，二氧化铅、铅和硫酸不断地起化学反应，不断地把负极上的正电荷拉入正极板。因此蓄电池内的外力是一种化学力。当这种化学力在电源内把正电荷从负极拉入正极时，化学力做功，或者说在电池内部存在着化学能变为电能的过程，而在发电机中则是由机械能转变为电能。

电源内的外力把正电荷由负极移到正极时所做功的大小，一方面与被移动的电荷多少有关，另一方面也与电源内的外力有关。电源做功的能力我们用电动势来衡量，就是在电源内，外力

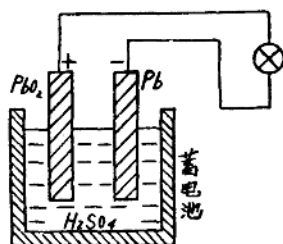


图 2-6

把单位正电荷从负极移到正极时所做的功叫电源的电动势，用 E 表示。

$$E = \frac{W}{Q} \quad (2-4)$$

式中： Q ——被移动电量，单位为库仑；

W ——是外力做的功，单位为焦耳；

E ——电动势，单位为伏特。

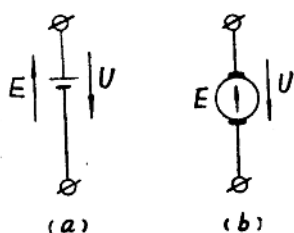


图 2-7

这里注意的是电动势和电压的定义很相似，但电压是电场力做功，电动势是外力做功。电压的方向是正极指向负极，电动势的方向是负极指向正极。

在电路中，电动势的符号如图 2-7 所示，电池常用(a)所示的符号，直流发电机常用(b)所示的符号。电动势和电压的方向如图所示。

第四节 导体和绝缘体

物体按导电性能大致可分为三类：导体、绝缘体和半导体。容易让电流通过的物体叫导体；不容易让电流通过的物体叫绝缘体；导电能力介于导体和绝缘体之间的物体叫半导体。

半导体在电子技术中应用极为广泛，属于半导体的物质也很多，如锗、硅、硒等元素以及一些金属的硫化物和氧化物等都是半导体。但在电工中应用最多的是导体和绝缘体。

导体和绝缘体在电工技术中占有极重要的地位，从输电线到灯泡中的钨丝，电动机的线圈等等，都是用导电材料制成的，而架空线路中的绝缘子，许多导线的外皮等，都是用绝缘材料制成的。

一般金属中有大量的自由电子，因此是良好的导电材料，酸

碱盐溶液也是导体，它们虽然没有自由电子，但它们有缺少电子或多电子的原子或原子团(也称为正负离子)，这些离子在溶液中自由移动，也呈现自由电子的性质，所以也可以导电。

绝缘体基本上没有自由电荷，因此不善于导电，在通常的空气中没有自由电荷，是良好的绝缘体。橡胶、塑料、陶瓷、油类、干燥的木材……等都是绝缘体。

但是导体和绝缘体是相对的，事实上，任何绝缘体内部总存在着少量的自由电荷，因而不是绝对不能导电，只不过导电能力很差而已，如果外界条件促使绝缘体内部的自由电荷增加，那么，绝缘体就向导体方面转化。例如由于外部灰尘和水份的侵入或长期温度过高，绝缘体变质等，都能促使绝缘体内部自由电荷增加，使绝缘性能变差。这个现象就是平常所说的绝缘老化。另外，如果在绝缘体两端加过高的电压也会使绝缘体击穿而导电。为此，在使用绝缘体时，特别是使用和维护电器设备时，要保持设备的干燥清洁，要运用在合理的电压下，一般称为额定电压，以免发生事故。

第五节 电 阻

一、电阻的概念

电流在导体中流动时并不是畅通无阻的。自由电子在导体中运动时，不断地和导体中的原子相碰撞，阻碍了电荷的定向移动。电子在导体中运动的情况如图 2-8 所示。

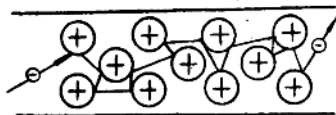


图 2-8

自由电子在运动中存在着阻力，这种阻力我们叫电阻。不同的物体加上相同的电压一般来说电流并不相同，通过电流大的导

体表明它内部的电阻小，电流较小的表明它内部的电阻大。电阻的符号用 R 表示，单位是欧姆(Ω)，电阻更大的单位是千欧($k\Omega$)，兆欧($M\Omega$)，换算关系是：

$$1 M\Omega = 1000 k\Omega$$

$$1 k\Omega = 1000 \Omega$$

二、电阻的计算

水在水管中的流动情况是水管越长、越细，水流动时遇到的阻力越大。而导体中的电阻和水流动时所遇到的阻力很相似，即导体越长横截面越小，电阻也就越大。此外，导体的电阻还与导体的材料有关。例如：同样粗同样长的铜就比铁的电阻小。即导体中的电阻和导体的电阻率及长度成正比和横截面积成反比，可表示为：

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中： L ——长度，单位为米；

S ——横截面积，单位为毫米²；

ρ ——电阻率，单位欧姆·毫米²/米，也就是长1米横截面是1毫米²导线的电阻值。

导体的电阻率越小表明这种材料的导电性能越好，银铜铝的电阻率比较小，因此是良好的导电材料，银的导电性能最好，但较为贵重，不宜在电工中大量使用，在电器设备中多是铜或铝材料制成的，铜是贵重的战略物资，应注意节约。而铝价格便宜，重量轻，我国贮量丰富。应尽量坚持以铝代铜。

计算电阻时，各种导体的电阻率已做了测定，可查阅有关手册。表2-1列出了一些常用的导体的电阻率，计算时可查阅。表2-1给出的是近似值，它们随材料的纯度和成份的不同而有所改变。

例：有一条铝导线长650米，截面为16毫米²，求这根导线的纯电阻是多少欧？

解：查表2-1 铝导线的电阻率 $\rho = 0.0283$ ，代入公式：

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.0283 \frac{650}{16} = 1.15 \text{ (欧)}$$

表 2-1 几种常用电材料的电阻率和电阻温度系数

材 料 名 称	电 阻 率 ρ [20°C] (欧·毫米 ² /米)	电 阻 温 度 系 数 α [0~100°C] (1/°C)	用 途
银	0.0165	0.0036	导 线 镀 银
铜	0.0175	0.004	导线主要的导电材料
铝	0.0283	0.004	导 线
铂	0.106	0.00398	热电偶或电阻温度计
康 铜	0.44	0.000005	标 准 电 阻
锰 铜	0.42	0.000006	标 准 电 阻
镍 铬 铁 合 金	1.12	0.00013	电 炉 丝
铜 铬 铁 合 金	1.3~1.4	0.00005	电 炉 丝
碳	10	-0.0005	电 刷

三、温度的影响

导体的电阻除与材料的性质、尺寸有关外还受温度的影响，也就是同一种导体，长度和截面积相同，在不同温度下使用它们的电阻略有变化。

实验指出：温度在 0~100°C 范围内，温度增高，导体的电阻略有增加，每欧姆电阻的变动量 $\left(\frac{R_2 - R_1}{R_1} \right)$ 与温度的变动量 $(t_2 - t_1)$ 成正比。可表示为：

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1); \quad (2-5)$$