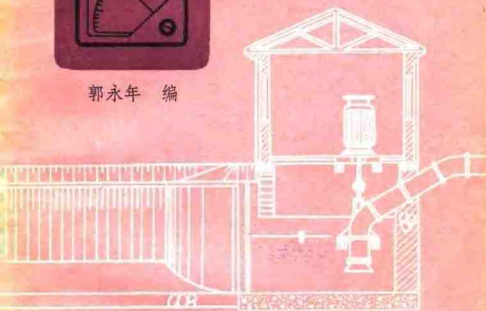




机电排灌培训教材

郭永年 编



电工基础及仪表

水利电力出版社

内 容 提 要

本书共分六章。主要内容有：直流电路的基本概念，直流电路的分析计算，电感和电磁感应，单相交流电路，三相交流电路和电工测量仪表等。

本书是为具有初中文化程度的电力排灌站电气工人编写的培训教材，对其他工业部门的电气工人也有参考价值。

机电排灌培训教材

电工基础及仪表

郭永年 编

*

水利电力出版社出版发行

(北京带胜门牌六楼九)

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 8.125印张 179千字

1983年1月第一版 1983年1月北京第一次印刷

印数00001—34480册 定价0.85元

书号15143·5061

出版者的话

建国以来,我国机电排灌事业发展很快,在农田抗旱排涝中发挥了显著作用。为了提高机电排灌站职工的技术管理水平,水利电力部农田水利司与水利电力出版社共同组织编写了一套比较通俗实用的“机电排灌培训教材”。这套培训教材共有《柴油机》、《农用水泵》、《机械基础》、《电工基础及仪表》、《电动机与电气设备》、《机电排灌站经营管理》等六个分册。其中《农用水泵》分册采用原水利出版社1980年出版的《农用水泵》第二版。

《电工基础及仪表》分册由江苏省扬州水利学校郭永年执笔编写。湖南省岳阳地区水电局谢定武、王谦敏对全书进行了审查并提出了宝贵意见。本书由浅入深地讲解了交直流电路的基础理论及分析计算方法,对常用电工仪表的结构、原理、使用和维护作了重点介绍,并为《电动机与电气设备》分册提供了理论基础。

我们热忱地希望广大读者在使用本书及这一套培训教材时,将发现的问题和改进意见随时告诉我们,以便再版时修改补充。

一九八二年六月

目 录

出版者的话

第一章 直流电路的基本概念	1
第一节 物质的电结构	1
第二节 电场和电场强度	2
第三节 电流	4
第四节 电压和电位	7
第五节 电源和电动势	10
第六节 电路	11
第七节 电阻和电导	13
第八节 欧姆定律	17
第九节 电功和电功率	22
第十节 电流的热效应	24
思考题与习题	28
第二章 直流电路的分析计算	31
第一节 克希荷夫定律	31
第二节 电阻的串联	37
第三节 电阻的并联	42
第四节 电阻的复联	46
第五节 支路电流法	48
第六节 叠加原理	50
第七节 等效电源定理	52
第八节 电桥电路	55
第九节 星形与三角形电阻联接的等效变换	58
第十节 电容器及其充放电过程	62
思考题与习题	69

第三章 电磁和电磁感应	74
第一节 磁的基本概念	74
第二节 电流的磁效应	77
第三节 磁化	81
第四节 磁路的基本概念	84
第五节 磁场对电流的作用	87
第六节 电磁感应	91
第七节 自感应	97
第八节 互感应	99
第九节 涡流	102
思考题与习题	103
第四章 单相交流电路	107
第一节 单相正弦交流电的产生	107
第二节 正弦交流电的周期、频率和角频率	110
第三节 正弦交流电的相位、初相位和相位差	114
第四节 正弦交流电的有效值和平均值	116
第五节 正弦交流电的图示法	120
第六节 交流电路概述	124
第七节 纯电阻交流电路	125
第八节 纯电感交流电路	128
第九节 纯电容交流电路	134
第十节 电阻与电感串联的交流电路	138
第十一节 电阻、电感、电容串联的交流电路	144
第十二节 功率因数的提高	150
思考题与习题	153
第五章 三相交流电路	159
第一节 三相交变电动势的产生	159
第二节 三相电源的星形连接	163
第三节 三相电源的三角形连接	167

第四节	三相负载的星形连接	169
第五节	三相负载的三角形连接	176
第六节	三相电路功率的计算	178
思考题与习题		183
第六章	电工测量仪表	186
第一节	电工测量仪表的一般知识	186
第二节	磁电系电流表和电压表	194
第三节	电磁系电流表和电压表	199
第四节	整流系电流表和电压表	208
第五节	电动系功率表	210
第六节	感应系电度表	221
第七节	兆欧表	229
第八节	万用表	232
思考题与习题		244
附表	电工图形符号	245

第一章 直流电路的基本概念

第一节 物质的电结构

在现代的日常生活中，几乎到处都要用电，如电灯、电话、电视机、电风扇、电冰箱等，都是我们熟悉的电器；至于发电机、电动机和变压器等，更是工农业生产上不可缺少的电力设备。

虽然我们可以从许多现象中来证明电的存在，例如：把电接到灯泡里，灯泡就会发光；把电接到电动机里，电动机就会转动。但是要说明电究竟是什么，却不是很容易的事。几百年来，科学家们收集了自然界各种有关电的现象，从这些现象中，归纳总结了一套完整的有关电的学说，这就是电子学说。

根据这个学说，自然界的一切物质，都是由许多称为分子的微粒所组成的，而分子又是由更小的微粒原子所组成。每一个原子，又由原子核和围绕它作高速旋转的电子组成。原子核带正电荷（核内有质子和中子，质子带正电，中子不带电），电子带负电荷。正电荷与负电荷之间是相互吸引的，就是这个吸引力使电子不脱离原子核。但是正电荷与正电荷之间，负电荷与负电荷之间是互相排斥的。同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引，这是电荷的基本特性。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1个电子，而铜原子则有29个电子。氢原子和铜原子的结构如图

1-1所示。在不受外来影响时，原子核所带的正电荷和电子所带的负电荷在数量上相等，所以整个原子并不显出带电特性，不带电的原子或分子，称为中性原子和中性分子。我们知道，物体是由大量原子和分子组成的，所以物体内部存在着大量的电荷。在不受外来影响时，物体内部正电荷总量等于负电荷总量，正负电荷的效果互相抵消，因此整个物体不显出带电特性。当物体受外来影响，而使其内部失去一些电子时，正电荷多于负电荷，物体就带正电；当物体得到一些电子时，负电荷多于正电荷，物体就带负电。由此可见，物体带电是失去一些电荷或得到一些电荷的结果。电荷不会凭空产生或消失，它只能从一个物体转移到另一个物体。

带电物体所带电荷的多少称为电量，电量用符号“ Q ”或“ q ”来表示，实用上用库仑作为电量的单位。1库仑的电量相当于625亿亿（ 6.25×10^{18} ）个电子所带的电量。

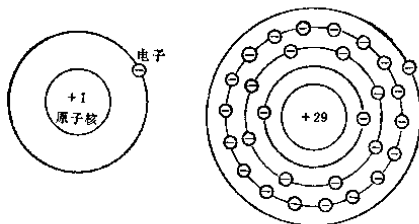


图 1-1 原子结构示意图

第二节 电场和电场强度

一、电场

我们在前而已经讲过，带有同性电荷的两个物体之间具

有互相排斥的力量，带有异性电荷的两个物体之间具有互相吸引的力量。这里，两个物体并没有直接接触，为什么相互之间存在力的作用呢？人们经过深入研究，发现带电物体的周围空间里，存在着一种称为电场的特殊物质，两个带电物体之间的相互作用力，就是通过电场来传递的。虽然电场是一种看不见也摸不着的特殊物质，但我们可由它的特性而知道它是客观地存在的。电场具有两个特性：①力的特性——将一个试验电荷放到电场里去，试验电荷就会受到力的作用，这种由电场产生的力称为电场力；②能量特性——试验电荷在电场力的作用下将发生移动，电场力对电荷的移动要作功，这说明电场具有能量。

电场中不同地方的电场强弱是不相同的。同一个电荷在电场中受到的电场力愈大，就表示那里的电场愈强。实验证明，愈靠近带电物体的地方电场愈强，愈远离带电物体的地方电场愈弱。同一带电物体，所带电荷愈多，它周围的电场愈强。

二、电场强度

带电物体周围电场的强弱，我们用电场强度 E 来表示。所谓电场强度，就是试验电荷在电场中某一点所受的电场力 F 与试验电荷的电荷量 q 的比值。也就是说，电场中任一点的电场强度，在数值上等于放在该点的单位正电荷所受电场力的大小。用公式表示，即

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-1)$$

式中 F —— 电场力（牛顿）；

q —— 电量（库仑）；

E —— 电场强度（牛顿/库仑）。

电场强度是一种既有大小又有方向的物理量。习惯规定，以正试验电荷在电场内所受力的方向为电场强度的方向。

电场中各点的电场强度都不相等，则此电场称为不均匀电场，如果电场内各点的电场强度大小相等、方向相同，则此电场称为均匀电场。

三、电力线

为了形象而直观地描述电场中各处电场强度的大小和方向，我们用所谓的电力线来表示，如图1-2所示。电力线具有下列特性：

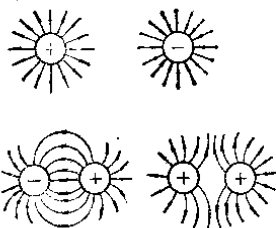


图 1-2 带电体电场的电力线

(1) 电力线上任何一点的切线方向即为该点的电场强度的方向。

(2) 电力线不是封闭的曲线，它由正电荷出发，终止于负电荷，由正电荷指向负电荷。

(3) 任何两条电力线都不会相交。这是因为

电场中每一点都只有一个电场强度的方向。

必须指出，电力线是一种描述电场结构的方法，实际上电场中并不存在这些电力线。

第三节 电 流

一、什么是电流

电灯所以会发光，电动机所以会转动，是因为有电流通

过的缘故。那末什么是电流呢？

大家知道，河道里的水朝一个方向流动就成为水流。与水相似，电荷向一个方向移动就形成电流。

虽然物体内部存在着大量电荷，但是由于正电荷和负电荷之间有相互吸引的特性，所以围绕原子核高速运动的电子受到原子核的束缚。然而电子也有摆脱原子核的束缚的倾向。在金属等物质的原子中，一部分外层电子受原子核的束缚比较弱，有可能脱离原子核的束缚而在金属中自由运动。这些能自由运动的电子称为自由电子。当人们给予一定的外加条件（如接通电源）时，就能迫使金属中的自由电子进行有规则的定向移动。在某些溶液中，也有带正、负电荷的粒子存在。这些粒子在化学上称为正离子和负离子。给这种溶液以一定的外加条件，离子也会发生定向移动。由此可见，电流就是由大量自由电荷（包括自由电子和离子等）有规则的定向移动形成的。

二、导体和绝缘体

各种金属，酸、碱、盐的水溶液以及大地、人体等，因为具有自由电子、离子等带电微粒的存在，所以都能传导电流，这类物体称为导体。橡胶、塑料、玻璃、云母、油类以及干燥的木材、纸张、空气等物体，一般情况下内部几乎没有自由电荷，所以不能传导电流，这类物体称为绝缘体。人们利用导体和绝缘体不同的特性，按需要制成各种用电设备。

导体和绝缘体的区分是相对的，有条件的，不是永恒不变的。如果改变外加条件，可以促使绝缘体中自由电荷的产生，使之变成导体。例如空气在通常情况下是绝缘体，可是在高电压作用下，气体分子被电离而成为离子，气体就成了

导体。高压线的放电现象就是因为这个原因而产生的。

有些物质的导电性能介于导体和绝缘体之间，如锗、硅、硒等，称为半导体。

三、电流的方向

金属导线中的电流是由于自由电子的定向移动而形成的，但是在实际应用中，却将电子移动的相反方向规定为电流的正方向，如图 1-3 所示，电子从 A 端流向 B 端，可是习

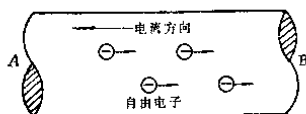


图 1-3 电流的方向

惯上规定电流的流动方向是从 B 端流向 A 端。如果电流的大小和方向都不随时间而变化，那末这种电流称为直流电流。电

池、直流发电机等产生的电流都是直流电。

四、电流的大小和单位

电流是有强弱之分的。同一盏电灯通过的电流强发光就亮，电流弱发光就暗。电流的强弱用电流强度来表示。电流强度在数值上等于一秒钟内通过导体横截面的电荷量（电量）。

电流强度简称电流，用符号 I 表示。若在时间 t 秒钟内通过导体横截面的电量为 Q 库仑，那末电流强度

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

电流的单位是安培（简称安），用符号 A 表示。如果 1 秒钟内有 1 库仑的电量通过导体的横截面，这时导体内的电流强度就是 1 安培，即

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

电流很小时,常用毫安(mA)或微安(μA)做单位。千分之一安培称为1毫安,百万分之一安培称为1微安。即

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

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

电流很大时,则用千安(kA)为单位

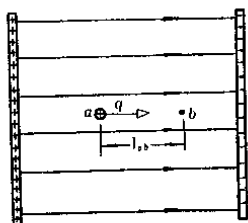
$$1 \text{ 千安}(kA) = 1000 \text{ 安}(A) = 10^3 \text{ 安}(A)$$

第四节 电压和电位

一、电压

我们知道电荷在电场中,总要受到电场力的作用,因此电荷在电场中移动时,电场力对电荷是要作功的。

如图 1-4 所示,在一个均匀电场中放进一个试验电荷 $+q$, 在电场力的作用下,试验电荷沿电场强度的方向从电场中的 a 点移动到 b 点。设移动的距离为 l_{ab} , 这时电场力 F 所做的功是



$$W_{ab} = F l_{ab} = q E l_{ab}$$

图 1-4 电场力移动电荷作功

从上式可知, 电场力移动电荷 q 从 a 点到 b 点所作的功 W_{ab} , 不仅决定于电场强度 E 和两点间距离 l_{ab} , 而且与被移动的电荷所带的电量 q 成正

比。如果电荷的电量增加一倍，那末作用在电荷上的电场力也增加一倍，电场力所做的功也就相应地增加一倍。也就是说，在一定的电场中，比值 $\frac{W_{ab}}{q}$ 是一个恒定不变的量，只和电场本身所具有的能量有关，因此可以用这个比值来反映电场的性质，通常将这个比值称为 a 点和 b 点之间的电压，用符号 U_{ab} 来表示，即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-3)$$

所以电场中 a 、 b 两点间电压的大小等于电场力将单位正电荷从 a 点移动到 b 点时所做的功。

电压的单位是伏特（简称伏），用符号 V 表示；计量很低的电压时用毫伏（ mV ）或微伏（ μV ）做单位；计量高电压时用千伏（ kV ）做单位，它们之间的关系是

$$1 \text{ 毫伏}(mV) = \frac{1}{1000} \text{ 伏}(V) = 10^{-3} \text{ 伏}(V)$$

$$1 \text{ 微伏}(\mu V) = \frac{1}{1000000} \text{ 伏}(V) = 10^{-6} \text{ 伏}(V)$$

$$1 \text{ 千伏}(kV) = 1000 \text{ 伏}(V) = 10^3 \text{ 伏}(V)$$

二、电位

在电场中，电场力移动电荷所作的功，只与电场的性质和电荷移动的起点与终点位置有关，而与移动的路径无关。如果选定电场中某一点 o 为基准点，如图 1-5 所示，那末电场中其他各点，如 a 点 b 点 c 点和 o 点之间的电压就有一个确定的值（ U_{ao} 、 U_{bo} 、 U_{co} ）。这些电压值称为以 o 点为基准点的各点的电位，用符号 φ 表示，如 $\varphi_a = U_{ao}$ ， $\varphi_b = U_{bo}$ ， $\varphi_o = U_{oo}$ 。习惯规定，基准点本身的电位 $\varphi_o = 0$ ，因此基准点又称为零电位点。平时我们说某一点的电位值是多

少，实质上就是指这一点
对基准点的电压值。

电位不是绝对的量，
而是对应于某一基准点的
相对的量。选择基准点的
不同，各点的电位值也就
不同。如图 1-5 所示的均

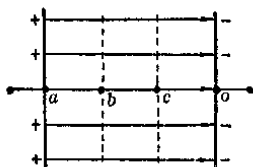


图 1-5 电场中各点的电位

匀电场中，假设两极板间的电压 $U_{ao}=30$ 伏，为了便于计
算，我们选取相等间隔的 a 、 b 、 c 、 o 四点，因此 $l_{ab}=$
 $l_{bc}=l_{co}$ ，则

$$U_{ab}=U_{bc}=U_{co}=\frac{1}{3}U_{ao}=10\text{伏}$$

当选定 o 点为基准点时，各点的电位分别为 $\varphi_o=0$ 伏， $\varphi_c=$
 $U_{co}=10$ 伏， $\varphi_b=U_{bo}=20$ 伏， $\varphi_a=U_{ao}=30$ 伏。如果选定 c
点为基准点时，则 $\varphi_c=0$ ， $\varphi_o=U_{oc}=-10$ 伏， $\varphi_b=U_{bc}=10$
伏， $\varphi_a=U_{ac}=20$ 伏。

由以上可知，当选定的零电位点不同时，各点的电位也
会不同，但是任意两点之间的电压却不依零电位点的改变而
变化，仍保持不变。任意两点之间的电压等于这两点电位的
差值，即

$$U_{ab}=\varphi_a-\varphi_b$$

$$\begin{aligned}\text{这是因为 } U_{ab} &= El_{ab} = E(l_{ao} - l_{bo}) = El_{ao} - El_{bo} \\ &= U_{ao} - U_{bo} = \varphi_a - \varphi_b\end{aligned}$$

因此电压又称为电位差。

如果电场中的两点之间存在着电位差，那末正电荷就会
在电场力的作用下，从高电位点移向低电位点，于是就形成
了电流。反过来说，如果两点之间没有电位差，那就不会出

现电流。

第五节 电 源 和 电 动 势

如图1-6所示，两个不同电位的带电体用导线连接起来，由于带电体 a 、 b 间存在电位差，导线中将形成电流，但是

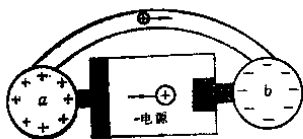


图 1-6 电源的作用

这个电流是不能长久维持的。因为正电荷由高电位的 a 经由导线移向低电位的 b ，其结果是带电体 a 上的正电荷不断减少，电位不断降低，而带电体 b 上的正电荷不断增加，电

位不断升高。这样两带电体之间的电位差不断减少，最后电位差减少到零，电流也就停止。实际上这个过程是很短暂的，只是在两个带电体刚接通时才存在电流。

怎样才能长久地维持电流呢？这就需要有一种机构，能够不断地将移动到 b 的正电荷再送回到 a 去，以保持 a 、 b 之间的电位差不变。能够将电荷从低电位的位置移动到高电位的位置上去的设备称为电源，干电池蓄电池发电机都具有这种能力，它们都是电源。电源内部具有能将正电荷从低电位搬到高电位的外力，这种外力称为电源力。不同类型电源的外力是不同的，例如，电池内部对电荷作用的是化学力，发电机则是电磁力。

在电源内部，由于电源力的存在，将电源内的正电荷移向一端，从而使这一端带正电，称为电源的正极，而另一端由于缺少正电荷而带负电，称为电源的负极，随着两极正负

电荷的出现，电源内部形成了电场，这时继续搬移的电荷除受电源力的作用外，还受电场力的作用。电场力的方向与电源力的方向相反。开始时，由于电源力大于电场力，所以正电荷继续移向正极，其结果必然使电源中的电场继续增强，电荷所受电场力也随之增大。这个过程一直进行到电荷受到的电场力与电源力相等，此时电荷就不再移动。电源的两极由于积聚了一定数量的正负电荷，因此存在了一定的电位差。

电源力既然能使电荷移动，就说明它能够做功。电源力将单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功，就称为电源的电动势，用符号 E 来表示，即

$$E = \frac{W_{ba}}{q} \quad (1-4)$$

式中 W_{ba} 代表电源力将电荷 q 从负极 b 移到正极 a 所做的功。这和用电压（电位差）来衡量电场力做功的能力是类似的。它们的区别在于电场力能够在外电路（电源以外的电路）中将正电荷从高电位一端（正极）移向低电位一端（负极），而电源力却能将电源内部的正电荷从低电位一端（负极）移向高电位一端（正极）。因此电压的正方向规定为自高电位一端指向低电位一端，也就是电位降低的方向，而电动势的正方向规定为在电源内部自低电位一端指向高电位一端，也就是电位升高的方向。当电源的两个电极之间没有导线连通时，两个电极之间的电压在数值上等于电源的电动势。

电动势的单位和电压的单位相同，也是伏特。

第六节 电 路

电流通过的路径称为电路。最简单的电路由电源负载和