



电力工业技工学校教材試用本

电 工 原 理

沈阳电力学校編

水利电力出版社

电力工业技工学校教材試用本

电 工 原 理

沈阳电力学校編

• 修 訂 本 •

水利电力出版社

内 容 提 要

本书叙述直流电的基本定律、电磁现象及单相交流电、三相交流电的基本原理。内容浅显易懂，有丰富的例题和习题，可以帮助读者更深入地理解并巩固学习所得。

本书是电力工业技工学校教材试用本，也可作为其他电业培训单位的教材，并可供有初中程度的青年工人自习之用。

电 工 原 理

沈阳电力学校编

*

2243 D635

水利电力出版社出版(北京西郊科学院二里沟)

北京市书刊出版业营业许可登记证出字第105号

北京市印刷一厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

850×1168毫米开本 * 436印张 * 103千字 * 定价(第8类)0.49元

1956年10月北京第1版 1960年2月北京第2版

1960年5月北京第8次印刷(114.957—155.076册)

目 录

緒論	3
第一章 直流电路的基本定律	6
第1节 物质的电子结构	6
第2节 电场	8
第3节 电位和电位差	10
第4节 电流和电路	12
第5节 电阻	13
第6节 电导	17
第7节 欧姆定律	18
第8节 串联电路	21
第9节 并联电路	24
第10节 复联电路	27
第11节 电池组	29
第12节 电容	34
第13节 电流的功和功率	37
第14节 电能变为热能——楞次-焦耳定律	42
第二章 电磁现象	42
第1节 磁场	42
第2节 磁场对通有电流导体的作用	44
第3节 磁感应强度和磁通	50
第4节 磁导系数和磁场强度	51
第5节 铁磁体的磁化与反复磁化	53
第6节 通导体体间的相互作用	55
第7节 电磁感应	57
第8节 楞次定律	60
第9节 互感应与自感应、电感	62
第10节 涡流	64

第三章 单相交流电	66
第1节 单相交流电的产生和正弦曲线	66
第2节 周期、频率、角频率、极对数和转数	69
第3节 相位与相位差	73
第4节 正弦量的图示法	74
第5节 交流电路中的自感作用	76
第6节 交流电路中的电容作用	79
第7节 交流的实效值	81
第8节 电阻、电感电抗、电容电抗	82
第9节 阻抗的串联	86
第10节 阻抗的并联	98
第11节 交流电路中的功率	103
第12节 功率因数	110
第四章 三相交流电	116
第1节 三相交流发电机	117
第2节 三相交流电制	118
第3节 “星形”和“三角形”接法	120
第4节 三相交流电功率的计算	127

緒 論

从十九世紀下半叶以来，人类开始了利用电能的时代。現在，电能已广泛的应用到国家建設的各部門和人类生活的各方面。目前在各种生产部門中，广泛应用电动机来拖动各种机器；各种金属和合金的冶炼、电焊、电热都普遍应用电能。农业的机械化也要大量应用电能。电报、电话、无线电、电灯、电炉等都是日常生活中应用电能的实例。

将电能普遍地应用在工业、农业、运输业和日常生活上，称为电气化。实现电气化可以利用一切能源，把它们变成統一的、大量而机动的电力。电力既可以在数量上灵活地分散和集中，又便于远距离輸送，因而可以充分合理地利用国家所有的动力资源（水力、风力、煤、地下热、太阳能、原子能等），并且可以較方便地同其他各种形态的能量（机械能、热能、光能、化学能等）互相轉換。由于电力具有这些特点而且比較便宜，所以电气化是生产过程全盘机械化和自动化的技术基础，是现代技术进步最重要的环节。电力在国民經济中的动力作用正在迅速增长，同时也日益广泛地被用来改进工艺过程（在冶金、化学、机器制造业等方面发展电气自动化、遙控机械、控制測量仪器等等）。

电气化不但革新了国民經济所有各技术部門，提高了劳动生产率，同时也改善了人类的劳动条件和生产状况。在高度的电气化前提下，要求工人不但要有熟練的生产技能，而且还要具备一定的文化科学水平。因此，电气化是消除脑力劳动和体力劳动差别的物质基础，在我国人民文化发展的领域中将起着重大的作用。电灯、电话、无线电、电视等将是教育广大羣众及提高文化水平的重要武器，将使我国公社化以后的农村生活水平逐渐接近于城市，使城市同乡村的差别得以逐渐消除。

4

解放前的旧中国受着帝国主义、封建主义和官僚资本主义的三重压迫，中国的电力工业和其他工业一样，基础是非常薄弱的。1949年全国大陆解放前夕，全国发电容量仅185万千瓦，每年发电量为43亿度。

解放后，在中国共产党的领导下，经过三年的经济恢复时期，到1952年，每年发电量就达72.6亿度。

在1953年到1957年第一个五年计划中，我国电力建设单位达599项，新增生产能力为246.9万千瓦。与解放前旧中国68年间全国安装的发电设备容量仅185万千瓦对比，在解放后的八年中，增加的设备容量即达279万千瓦。1957年的发电量达193亿度，比1952年增长166%。

第二个五年计划的第一年，即1958年，出现了一个我国历史上前所未有的生产大跃进。全国人民，在党的领导下，经过伟大的整风运动，提高了社会主义觉悟，发挥了冲天的革命干劲，贯彻执行了党的鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线，使我国国民经济建设工作取得了空前伟大的胜利。我国电力工业也获得了空前的发展，1958年发电量达275亿度，比1957年增长42%。到1958年底全国发电容量约660多万千瓦，年建设容量为180万千瓦。

1959年的国民经济建设计划，是一个继续大跃进的计划。电力建设方面，全年投入运行的新增容量和年发电量也将有更大的跃进。这样大的年增长速度与规模，在各国电力建设史上是少有的。

电力工业既然要在我国的社会主义建设中大规模地发展，因此就需要大批新的电气技术工人，与其他电气工作者一起来完成大力发展电力工业的任务。他们必须具有社会主义觉悟，掌握一定的文化和科学知识，在学习过程中养成从事生产劳动的习惯，既能从事脑力劳动，又能从事体力劳动，既有电力技术理论知识，又有在实际操作上的独立工作的能力。

电工原理是电气理论及实际操作技能的基础知识，它是一门

极重要的功课，这里将研究电与磁的物理现象和基本定律，阐述交流电路的基本原理与运算。学习电工原理需要积极钻研；每个学生应该时刻记住自己的光荣任务，为日后更好地为人民服务而努力学习。

第一章 直流电的基本定律

第1节 物质的电子结构

科学已经证明，自然界的一切物质，都是分子所组成，而分子又由化学元素的原子所组成。

每一化学元素有它自己的一定特性。现今所知道的化学元素共有102种，其中有几种，我们能遇到纯粹的形态(如碳、白金、黄金、硫黄、水银等)；而大多数的元素，却以各种各样简单或复杂的结合形态存在于自然界中；它们以无数的组合方式，组成各种物质。这样，一切物质的所以彼此相异，仅在于它们分子中所含的各种元素的原子数量和这些原子排列情形的不同。

现代科学已经证明，每一个原子是由一个带正电的原子核和带负电的若干电子组成的；电子以极大的速率(每秒钟达几百米)围绕原子核不断地运动，正象行星绕着太阳运动一样。

物质平常不显示任何电的性能(即中和的)，但这并非表示其中没有电，只是因为各个原子核所带正电的总量和各个电子所带负电的总量相等。

不同的化学元素的原子重量(原子量)，因原子核所带正电的

多少和绕着原子核运动的电子数目的不同而异。例如：氢原子(元素中最轻而结构最简单的)只有一个电子围绕原子核运动，如图1。氦原子有二个电子围绕原子核运动，铜原子有29个电子；金原子有79个电子。

在围绕原子核转动着的电子中，那些在边缘轨道上的电子，与原子核的联系比较弱；那些在靠近原子核的

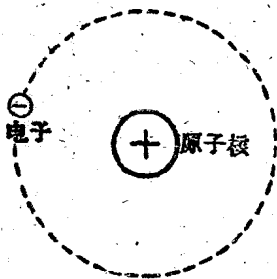


图1 氢原子的结构概图

軌道上的电子，联系比較強。所以在边沿上的电子，因受到邻近原子的作用或其他原因，可能被迫离开它們自己的軌道，而向其他方向运动。

一切金属的原子，都有上述不稳固的外周电子，这些电子容易离开自己的軌道，这也就說明金属为什么有良好的导电性能。这种电子叫自由电子。

还有其他許多物質的原子，把电子坚固地保持靠近原子核，不讓它們自由地离开原子。这样的物質，就不善于导电。

上面已經提到，原子中的正負两种电荷，通常是彼此相等的。但若某物体的原子开始失去电子时(例如由于摩擦)，那么，它的正电荷变成太多了，我們就說这物体带有正电。又若某物体获得了电子，那么，电子成为过剩，而物体带有負电。这样就可以說明：用皮擦玻璃，玻璃因为失去了电子而带正电(阳电，用“+”表示)，皮就因为从玻璃上得到了电子而带負电(阴电，用“-”表示)。电荷的实用单位叫做“庫倫”。

能显示出电的性質的物体，叫做“带电体”或“有电荷的物体”。使物体显示出电的性質，叫做“使物体带电”。

导电性能良好的物体，叫做导体。各种金属、碳、盐类、酸类、硷类的溶液以及潮湿的土地，都属于这一类。

导电性能不良的物体，叫做“非导体”、“絕緣体”或“介質”。在正常状态下，气体、許多液体和除金属及碳質以外的大部分固体，都是不易导电的，如硬橡胶、火漆、玻璃、瀝青、云母、絲、石蜡、瓷质、硫黃等。但是非导体不是絕对不能导电的，在某种情况下，仍能导电，不过与导体比較，导电的性質相差很多；自然界中沒有絕对不能导电的物質。此外，还有导电性能介乎导体和非导体之間的物質叫做半导体，如錫及氧化銅等。

如果带电体和另一不带电体接触，不带电体便从带电体上获得一部分电荷；这种現象，叫做电的傳导。若带电体是带正电荷的，那么，带电体因为缺少电子，从不带电体上取得部分电子，使不带电体也同样缺少电子而成为带正电的；若带电体是带負电

荷的，那么，它的多余的电子一部分移送到不带电体上，使不带电体也同样带负电荷。

以上说明，带正电荷的物体要吸取电子，带负电荷的物体要送出电子。因此，带异号电荷的两个物体，一个要吸取电子，一个要送出电子，就互相吸引，带负电荷的物体将使一部分电子传到带正电的物体上，如果两物体的异号电荷数量相等，就成为中和。

第 2 节 电 场

由实验证明，两个物体带有同性电时，就互相排斥，带有异性电时，就互相吸引。任何电荷靠近一带电体时，总要受到这带电体的电力作用。科学家库伦反复实验，得出结论说：在空气中，两带电物体间相互作用力的大小，和它们的电荷量的大小成正比，和它们之间的距离的平方成反比。这定律就叫做库伦定律，可用下式来表示：

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

式中 Q_1 和 Q_2 是互相作用的两电荷量， r 是它们之间的距离，而 k 是一比例常数。

若把一个带电的物体①(图 2)，移近不带电的物体②，则②

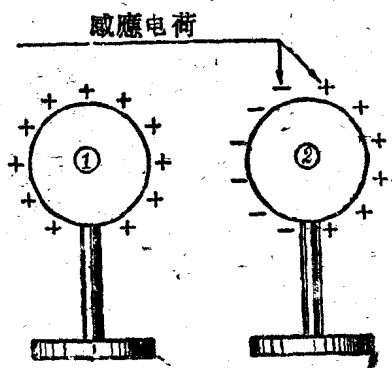


图 2 静电感应

也将带电，在面對带电体①的一面发生和①异性的电荷，而在②的另一面发生和①同性的电荷。

这是由于任何物体都含有分量相等的正电和负电，在平常情形下，这两种电荷互相平衡。但是，当平常不表现带电的物体②靠近带电体①时，由于受到带电体①的影响，物

体②的电子就发生移动。若物体①带有正电(图2),那么,物体②中的自由电子,被它吸引,聚集在接近①的一侧,而有过剩的电子(即有负电荷);而在②的另一侧,电子将变成不足(即有正电荷)。这样,物体在另一带电体的影响下发生电荷的现象,叫做静电感应。在物体②上发生的异性电荷,叫做感应电荷。

这时,若把带电体①移去,那么物体②中原来聚集在靠近带正电荷的物体①的一侧的电子,因为失去了吸引力,又重新均匀地分布在物体②的全部分上,也就是说,感应电荷互相中和而致消失。

在带电体周围具有电力作用的空間,叫做电场。

电场是物质的一种特殊形式,它和一般由原子、分子等微粒组成的“物质”不同。只要有电荷存在,电荷的周围就有电场,所以电荷跟它的电场是不可分割的。

如将一试验电荷放在电场中,就发现试验电荷在电场中的某一点所受的力(F)的大小,跟试验电荷 Q 大小的比,是一个不变的数值;这个数值叫做电场中那一点的电场强度(E)。用公式表示就是,

$$E = \frac{F}{Q}$$

电场强度是代表电场的力的性质的,它的大小跟试验电荷的大小无关。

电场强度是有方向的。电场内各点的电场强度的方向,就是正电荷在那一点所受的电力方向。所以,电场强度也是一个向量。

研究电荷的电场,必须知道电场中各点电场强度的大小和方向。为了研究方便起见,我们用电力线来描绘电场。

按照电场中各点的电场强度的方向所建成的直线或曲线叫做电力线。

电力线的方向是由正电荷起始,到负电荷终止。

- 图3表示带电体的电力线: (1)带正电体; (2)带负电体;
- (3)带异性电的两物体; (4)带同性电的两物体。

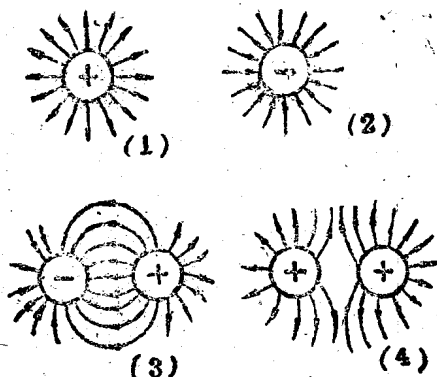


图3 带电体电场的电力线

第3节 电位和电位差

在上节讲过，在带电体的周围都有电场存在。如果我们把一个试验电荷放入由一个正电荷所产生的电场中，那么，这个试验电荷就要受到电场力的排斥而移动，因此，电场力对试验电荷就做了功。

假如，使这个试验电荷在反抗电场力作用下而移动时，那么，就需要外力来克服电场力而做功，这功就用在增加试验电荷的位能。正如把重物举高到某一高度时，克服重力所做的功就用在增加重物对地的位能。

由此可见，一个电荷在电场中某一点时，是具有位能的，这种位能叫做电位能。

如果试验电荷 Q 由电场中的 A 点移到 B 点需要外力来反抗电场力做功时，那么，显然试验电荷 Q 在 B 点时的位能要比 A 点时大，因此，我们就说试验电荷 Q 在 B 点时比在 A 点具有较高的位能。

相反的，如果试验电荷 Q 回到 A 点，这时它就在电场力的作用下而移动，到达 A 点时就获得了一定的功能。这时我们可以说，试验电荷 Q 由 B 点到 A 点时，电场中的一部分位能转变

成了試驗电荷的动能。

因此，当外力反抗电场力使試驗电荷 Q 由电场中的一点移到另一点时，試驗电荷的位能就要增加，也就是說，它由位能較低的位置移到位能較高的位置。相反的，当試驗电荷 Q 在电场力的作用下，由电场的一点移到电场的另一点时，它的位能就要减少，也就是說，它由位能較高的位置移到位能較低的位置。

电荷在电场中的位能跟重物在重力場的位能相似。重物在重力場中的位能大小，跟它的重量和所在的位置有关。同样，在电场中电荷所具有位能的大小，是跟电荷本身的大小和它所处的位置有关。因此，同一个电荷在电场中不同的点上，它們的位能是不同的。但是，試驗电荷在电场中某一点所具有位能的大小 (W) 跟試驗电荷的大小 (Q) 的比却是一个不变的数值，这个数值叫做电场在这一点 的电位 (U)，用公式表示：

$$U = \frac{W}{Q}$$

电场的电位是表示电场的能的性质的，它的大小和試驗电荷电量 的大小无关。

这里必須指出，电场强度和电位都是用来描述电场性质的物理量，所不同的，电场强度是用放进电场中单位电荷所受力的大小来量度，而电位是用放进电场中单位电荷所具有的能量来量度。

下面进一步研究电场中两点間 的电位差。假设在电场中 A 、 B 两点的电位分别为 U_A 、 U_B ，試驗电荷 Q 在两点的电位能分别为 W_A 、 W_B 。由电位定义得

$$U_A = \frac{W_A}{Q}$$

$$U_B = \frac{W_B}{Q}$$

那么，上两式相减就得出两点間 的电位差：

$$U_A - U_B = \frac{W_A - W_B}{Q}$$

而 $W_A - W_B$ 为电荷 Q 在电场中由 A 到 B 电位能的减少量，它等于电荷由 A 点移动到 B 点电场力所作的功 (A)。

$$\therefore U_A - U_B = \frac{A}{Q}$$

因此，电场中两点间的电位差 (或称电压)，是在两点间移动一个阳电荷时电力所作的功跟这电荷的电量大小之比。

若已知电场中两点间的电位差，就可以算出电荷移动时电场力所作的功

$$A = Q(U_A - U_B)$$

所以电荷在电场中移动时，电场力所作的功等于电荷的电量大小和移动路程中的起点及终点间电位差的乘积。

在实用单位中，电场力所做的功用焦耳表示，电荷的电量用库仑表示，电位差的单位是“伏特”，简称“伏” (用俄文字母 B 或拉丁字母 V 代表)。

当一库仑的电量从电场中的一点移动到另一点，而电场力所做的功是 1 焦耳时，这两点间的电位差就是 1 伏特。

$$1 \text{ 伏特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}}$$

电位的单位与电位差的单位相同。

第 4 节 电流和电路

取金属球两个 (图 4) 其中 ① 带阳电，另一 ② 带阴电。若用金属线 (导线) 把两球联接，则电子将由电子过多的 ② 球移到电子缺少的 ① 球。这种电子沿着导线的移动，叫做电流。测量电流用电流表，电流的实用单位是“安培” (a 或 A)，简称“安”。1 安就是每秒钟通过导体截面 1 库仑电荷的电流。导线上的电流如果是 2 安，就是每秒钟通过的电荷是 2 库仑；如果是 3 秒钟通过的电荷是 15 库仑，电流就是

$$15 \div 3 = 5 \text{ 安}$$

一般说来，如果用 I 代表电流， t 代表时间，那么，

$$I = \frac{Q}{t}$$

有时用“安”做单位太大，使用不便；就用千分之一安做单位，即“毫安”(mA)。

在电工实用上是把正电移动的方向作为电流的方向，就是和电子在导线中移动的方向相反的。

如果能够继续不断地使①球得到正电，②球得到负电，那么，导线中将继续不断地有电子移动。使电子继续流动的能力的来源叫做电源。

电流经过的路径，叫做电路。电路接通，电流才能流动；如果把电路的任何一处截断，电流就将停止。

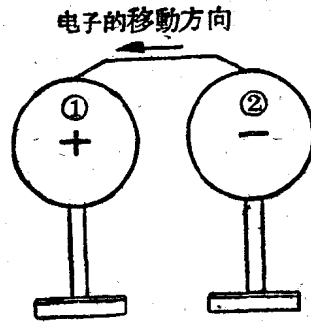


图4 电子沿导线的移动

第5节 电阻

在一切导体中，除了与原子核密切联系的电子外，总有若干个在外力的影响下可以自由移动的电子。受到外来的电力作用时，与原子核联系较弱的电子(自由电子)就将按反对电力的方向而移动。可是导体的分子和原子常在不断的运动中，因此，电子的流动，势将被导线中运动的分子和原子搅扰。所以沿导线流动的电子，总是从导线方面受到阻力，阻碍着它的进行。

导线对于电流所显示的阻力，叫做导线的电阻，用字母 R 来表示。在接线图中表示电阻的符号如图5所示。

电阻的单位是“欧姆”(简称“欧”)。欧姆往往用希腊字母 Ω 来表示；如电阻等于15欧姆，可简写为： $R=15\Omega$ 。



图5 电阻的符号

1,000,000欧叫做1“百万欧”或“兆欧”(或 $1M\Omega$)。

导线的电阻和导线的长度成正比，和导线的截面积成反比，这就是说，导线长，截面积小，对于电流的阻力就大。导线短，截面积大，对于电流的阻力就小。

若有两根导线，它们的材料不同，而长度和截面积都相同，但由于它们的分子构造不同，所以它们的电阻也不相同。

要比较由不同的材料所制成的导线的电阻时，必须取长度和截面积相等的样品，这样才可以判别传导电流的好坏。一般取长1米；截面1平方毫米的导线，把它的电阻的欧数，叫做电阻系数，用希腊字母 ρ 代表。几种物质的电阻系数见表1。

表1 几种物质的电阻系数表(20°C)

导 线 的 材 料	电 阻 系 数 ρ
银	0.016
铜	0.0175
铝	0.029
锡	0.056
铁	0.13
铅	0.217
铜合金(铜、镍、锌的合金)	0.42
锰铜(铜、镍、锰的合金)	0.43
康铜(铜、镍、锰的合金)	0.50
镍铬(镍、铬、铁、锰的合金)	1.10

由上表可见：银的电阻系数最小，用1平方毫米截面的银线62.5米，在20°C时可得电阻1欧。银虽是最好的导体，但价格甚贵，所以不能大量使用。在表中次于银的是铜，截面为1平方毫米的铜线1米，在20°C时有电阻0.0175欧。要得1欧的电阻，须用这样的导线57米。

• 根据上面所述，导线的电阻可由下式算得：

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