

类号	技
代号	108



№ 0000059

電 工 基 礎 講 義

上 册

211.7

24.1

炮兵学院高射炮兵系技术教研室

一九六〇年九月

电工基础讲义

上册

主 编： 者： 技术教研室

出版日期： 1960.9.30

印刷份数： 001——570

出版编号： 军教字第233号

全册共计： 476面、附圖 幅、附表 张

目 录

第一章 靜电場	1
§ 1—1 庫伦定律	1
一、电荷	1
二、导体与絕緣体	2
三、庫伦定律	3
§ 1—2 电場 电場强度	5
一、电場	5
二、电場强度	5
三、电力綫	9
四、电通量	11
五、高斯定理	13
§ 1—3 电場力的功 电位	18
一、电場力的功	18
二、电位 电位差	19
三、等位面	26
四、場强和电位的关系	28
§ 1—4 靜电場中的导体	30
一、导体上电荷平衡的条件	30
二、导体电荷的分佈	31
三、导体表面的場强	32
四、导体表面上电荷的分佈	33
五、靜电感应	33
六、靜电屏蔽	34
§ 1—5 靜电場中的电介質	36
一、电介質的极化現象	36

二、极化系数 介电系数	38
三、电位移	42
四、电场在界面上的折射 边界条件	44
五、高斯定理的推广	47
六、电介质内带电体间的力	49
七、电介质的介电强度	51
§ 1—6 导体的电容 电容器	52
一、孤立导体的电容	52
二、电容器	54
三、电容器的主要参数	61
四、电容器的种类	62
五、电容器的联接	65
§ 1—7 静电场的能量	68
一、带电导体的静电能量	68
二、静电场的能量	70
第二章 直流电路	73
§ 2—1 电流	73
一、电流	73
二、电流强度	74
三、电流密度	75
四、恒定电流	76
§ 2—2 电动势	77
§ 2—3 欧姆定律 电阻	81
一、局部电路的欧姆定律	81
二、电阻与电导	82
三、欧姆定律的微分形式	88
四、恒定电流的连续性	89
五、全电路的欧姆定律	90
六、金属导电的电子理论	93
§ 2—4 电功 电功率	96

	一、电功	96
	二、电功率	97
	三、楞次——焦耳定律	98
	四、最大功率输出的条件	99
§ 2—5	电阻的联接	101
	一、电阻的串联	101
	二、电阻的并联	104
	三、混联	107
	四、星形联接与三角形联接的变换	111
	五、惠斯登电桥	115
§ 2—6	克希荷夫定律	116
	一、克希荷夫第一定律	117
	二、克希荷夫第二定律	117
	三、克希荷夫定律的应用	119
§ 2—7	复杂电路的计算	123
	一、回路电流法	123
	二、重迭定律	125
	三、互易定理	131
	四、恒压电流与恒流电流的等效条件	135
	五、戴维南定理	136
	六、诺尔登定理	139
§ 2—8	四端网络的基本概念	140
	一、四端网络	140
	二、四端网络的常数	142
	三、四端网络常数的求法	143
	四、四端网络的试验	145
§ 2—9	电容器的充放电和位移电流	146
	一、电容器的充放电	146
	二、位移电流	151
第三章	电流的磁场和电磁感应现象	153

§ 3—1	磁場 磁場对电流的作用	153
	一、磁場 磁感应强度	153
	二、磁感应綫 磁通量	157
	三、磁場对电流的作用力 安培定律	161
	四、磁場对閉合回路的作用	163
	五、磁場对运动电荷的作用	168
§ 3—2	电流的磁場	170
	一、毕奥—沙瓦—拉普拉斯定律	170
	二、毕奥—沙瓦—拉普拉斯定律的应用	173
	三、平行导体間的作用力 度单位的确定电流强	178
	四、全电流定律	179
	五、在磁場中移动載电流的回路之功	182
§ 3—3	电磁感应	185
	一、电磁感应現象	185
	二、法拉第定律	187
	三、楞次定律	189
	四、导体在磁場中运动而产生的电动势	190
§ 3—4	物質的磁性	194
	一、磁介質的磁化現象	194
	二、介質的导磁系数 磁化系数	196
	三、磁場强度 全电流定律的推广	199
	四、磁場的边界条件	204
§ 3—5	鉄磁性	207
	一、鉄磁現象	207
	二、磁滯	210
	三、鉄磁質的本質	213
	四、永久磁鉄磁荷	214
	五、磁路	217
§ 3—6	电感	220

一、自感应现象	220
二、自感应系数	222
三、电路自感量的计算	223
四、电感在直流电路中的瞬变现象	226
五、互感应 互感量	230
六、互感现象的应用	233
七、涡流	235
§ 3—7 磁场的能量	237
第四章 交流电路	243
§ 4—1 交流电的基本概念	243
一、交流电的周期和频率	243
二、正弦交流电势的产生	244
三、相位 相位差	246
四、交流电的平均值和有效值	249
五、正弦交流电的矢量表示法	253
六、正弦交流电的加减	255
§ 4—2 简单交流电路	258
一、交流电路的参数	258
二、纯电阻电路	259
三、纯电感电路	260
四、趋肤效应	263
五、纯电容电路	264
六、电阻电感电容的串联电路	267
七、电阻电感电容的并联电路	278
八、交流电路内的功率	288
§ 4—3 符号法的基础及其在交流电路中的运用	302
一、符号法的基础	302
二、符号法在交流电路中的运用	309
三、简单交流电路的计算	315
四、复杂交流电路的计算	321

五、最大功率的输出定理	324
§ 4—4 非正弦电流	326
一、基本概念	326
二、非正弦波的分析	328
三、电路中正非弦电流和电压	337
四、非正弦电流的功率以及 电流和电压的有效值	341
§ 4—5 三相交流电路	346
一、多相电流和多相电路的概念	346
二、三相制的星形联接法	348
三、三相制的三角形联接法	355
四、三相电流的功率	360
第五章 电机与变压器	363
§ 5—1 直流发电机	363
一、直流发电机的构造	363
二、直流发电机的工作原理	365
三、直流电机的电枢绕组	367
四、直流发电机的电动势与电压	373
五、直流发电机的电枢反应	375
六、直流发电机的换向	377
七、直流发电机的分类和特性	380
§ 5—2 直流电动机	387
一、工作原理	387
二、一般性能	389
三、并激电动机	394
§ 5—3 交流发电机	395
一、概述	395
二、交流发电机的构造和频率	395
三、三相交流发电机的工作原理	398
四、高频发电机	399

§ 5—4	感应电动机	401
	一、旋轉磁場	401
	二、三相感应电动机	404
	三、单相感应电动机	410
§ 5—5	单相串激电动机	412
§ 5—6	变压器的基本工作原理	413
	一、变压器的分类	413
	二、变压器的构造	414
	三、单相变压器的工作原理	415
	四、变压器的等值电路	420
§ 5—7	三相变压器	426
	一、組成原理	426
	二、連接法和使用	427
§ 5—8	自耦变压器	426
	一、概述	426
	二、工作原理	427
	三、自耦变压器的优点	429
第六章	电工测量仪表	431
§ 6—1	概述	431
	一、电工测量仪表的分类	431
	二、电工测量仪表上常用的几种符号	432
	三、对电工测量仪表的要求	434
§ 6—2	磁电式仪表	434
	一、結構	434
	二、工作原理	435
	三、磁电式仪表的优缺点	437
§ 6—3	电磁式仪表	438
	一、平綫噐式	438
	二、圓綫圖式	440
	三、电磁式仪表的优缺点	440

§ 6—4	电流的测量	441
§ 6—5	电压的测量	443
	一、电压的测量	443
	二、扩大电压表量程的方法	444
§ 6—6	电阻的测量	447
	一、安培表和伏特表法	447
	二、欧姆表	448
	三、高阻表	452
	四、有关的几点说明	456
§ 6—7	ABO—5 M 复用表	457
	一、直流电压的测量	459
	二、交流电压的测量	460
	三、直流电流的测量	461
	四、交流电流的测量	463
	五、电阻的测量	465
§ 6—8	频率计	466
	一、振动式频率表	466
	二、铁磁电动式频率表	467

第一章 靜電場

§ 1-1 庫倫定律

一、電荷

一切物質都是由很小的微粒——分子所組成，分子又是由更小的微粒——原子所組成。原子是帶有該元素化學性質的最小單位。各元素的化學性質所以不同，就在於它們的原子結構不同。原子包含原子核和繞着原子核旋轉的若干電子。原子核是由質子和中子組成，它們被核力緊緊地束縛在一起。各種元素的原子的質子、中子和電子的數目是不相同的，但每種元素原子核內的質子數和核外的電子數是相同的。例如，氫原子的原子核由一個質子組成，有一個電子繞着它旋轉（圖 1-1）。而氦原子的原子核內有兩個中子和兩個質子，周圍有兩個電子繞着它旋轉（圖 1-2）。

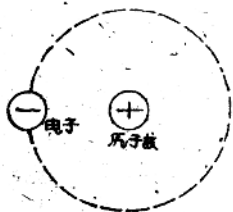


圖 1-1

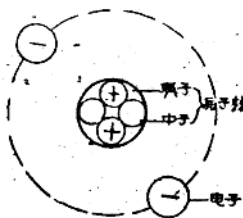


圖 1-2

質子和電子都具有質量，因此它們之間有萬有引力的作用。但實驗發現在它們之間除了萬有引力的作用以外，還有更大的力互相作用着。這說明電子和質子具有一種特殊的性質，這種性質我們稱之為帶

电或带有电荷。电子与質子之間力的作用，是由于它們所带的电荷相互作用的結果。

进一步的試驗还証明，質子所带的电荷与电子所带的电荷在性質上是不相同的。質子施斥力于其它質子，电子亦施斥力于其它电子，但質子与电子則互相吸引，这說明質子所带的电荷与电子所带的电荷具有不相同的性質。我們規定質子带有正（+）电荷，而电子則具有負（-）电荷。上述實驗的結果同时表明，同号的电荷互相排斥，異号的电荷則互相吸引。

實驗表明，所有电子具有完全相同的負电荷，所有質子具有完全相同的正电荷。电子与質子所带的电荷虽然符号不同，但在量上它們是相等的，或者说質子与电子带有数量相同而符号不同的电荷。通常在原子中，电子数目与質子数目相同，它們的作用相互抵消，呈中和状态，因此显示不出带电的特性。

由于外层电子与原子核距离較远，所受原子核的吸引力較弱，所以容易在外界的影响下，离开本原子而跑到其它原子系中去。例如，胶木棒与貓皮摩擦后，貓皮上的部份电子就跑到胶木棒上，使胶木棒带負电，貓皮則由于負电的減少而显示带正电的特性，这就叫摩擦起电。但要注意，在使物体带电的过程中，并没有創造电荷，只是将一个物体上的电荷轉移至另一物体上。电荷是不能創造也不能消灭的。

二、导体与絕緣体

實驗表明，一切物体可分为兩类：（1）传电的物体，称为导体，（2）不传电的物体，称为絕緣体或电介質。

导体又可分为兩类，第一类是金屬。在金屬中，有少数的外层电子与原来的原子分离，而在各原子間自由移动。这种电子叫做自由电子。在外界电力的作用下，这些自由电子会按一定方向运动，因而能传递电荷。这类导体的特点是：电荷在其中运动时，并不引起导体化学性質的变化。第二类导体是酸、碱、盐的溶液。在溶剂的作用下，物質的分子电离为正离子和負离子。在电力作用下这些离子能象金屬中与自由电子一样，在溶液中移动而导电。这类导体在导电时，还伴随

着化学反应的过程。

絕緣体就是自由电子极少的物質。油类、空气、玻璃、磁器、硬橡皮、云母等，都是絕緣体。

三、庫伦定律

1785年，法国科学家庫伦，从实验結果，总結出关于电荷相互作用的定律，称为庫伦定律，这是靜电学上的基本定律。

一般地說，两个带电体的作用和它們的大小形状以及周围电介質的性質有关，情况很复杂，所以我們从最简单的也是最基本的情况开始，即先研究两个点电荷在真空中的互相作用。

所謂点电荷，是指它們的大小和它們之間的距离相比是非常微小的带电体。显然，任何带电体都可以看成点电荷的集合。

庫伦定律（点电荷在真空中互相作用的定律）是根据用扭秤測定的結果得出的。这种的构造如下：在一个大的玻璃容器中，用一根細綫将一根玻璃棒掛起来，这玻璃棒一端带有一金屬小球 m ，而另一端有一平衡体（图1—3），在另一玻璃杆上还固定有一金屬小球 n 。可以从外面将电荷給与这两个小球，因为小球与周围及兩小球之間是絕緣了的，所以小球能将給予它們的电荷保持相当长的时间。轉动繫着悬綫的称头 S 时，可以改变小球 m 和 n 之間的距离。如果給小球以电荷，它們将开始吸引和排斥（依电荷的符号而定），使带有小球 m 的棒轉过某一角度，轉动秤头，使小球 m 回到原来的位置，在此情况下，綫的扭力矩等于施于小球 m 上的电力矩。由秤头扭轉的角度可知力矩的大小，若再知道棒长，就可决定小球間的相互作用力。

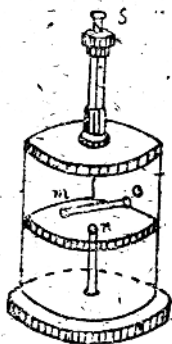


圖1—3 庫倫的扭秤

实验的結果表明，放置在真空中的两点电荷的互相作用力 F 的方

一向在两点电荷的連綫上，力的大小与两点电荷所带的电量 q 及 q' 成正比，而与它們之間距离 r 的平方成反比：

$$f \propto \frac{qq'}{r^2}$$

或写成等式

$$f = k \frac{qq'}{r^2} \dots\dots\dots (1-1)$$

式中 k 为比例常数，决定于所选用的单位。

在米—仟克—秒单位制中，力 f 的单位为牛頓，距离 r 的单位为公尺，电量的单位为庫伦。关于庫伦的精确定义要在学了第三章后才能知道。現在我們只要知道，1庫伦的电量约等于 6.25×10^{18} 个电子或質子所具有的电荷总量。使用这样的单位时， k 的数值等于：

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{牛頓-米}^2}{\text{庫伦}^2}$$

为了避免今后在由庫伦定律所导出的公式中出现因子 4π ，将庫伦定律写成下面的形式：

$$f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qq'}{r^2} \dots\dots\dots (1-2)$$

式中 ϵ_0 称为真空的介电系数。比較(1-1)与(1-2)，就可得到：

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \text{ 或 } \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$$

于是可求得 ϵ_0 的数值等于：

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} = 8.86 \times 10^{-12} \frac{\text{庫伦}^2}{\text{牛頓-米}^2}, \dots\dots (1-3)$$

必須注意，将庫伦定律改写成式(1-2)的形式完全是为了今后使用上的方便，絲毫沒有改变庫伦定律所表达的内容。

〔例题〕計算氢原子中电子和原子核間的静电力与万有引力的比值。

〔解〕氢原子內电子与原子核間的距離为

$$r = 0.529 \times 10^{-10} \text{ 米}$$

电子質量为： $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ 仟克

氫原子核的質量為 $M = 1.67 \times 10^{-27}$ 仟克

電子與原子核所帶電量

$$q_1 = q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 庫倫}$$

萬有引力恒量 $G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{\text{牛} \cdot \text{米}^2}{\text{仟克}^2}$

比例係數 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^6 \frac{\text{牛頓} \cdot \text{米}^2}{\text{庫倫}^2}$

所以電子與電子核間的靜電力 f_e 為

$$\begin{aligned} f_e &= \frac{qq_1}{4\pi\epsilon_0 r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(0.529 \times 10^{-10})^2} \\ &= 8.23 \times 10^{-8} \text{ 牛頓} \end{aligned}$$

而它們之間的萬有引力 f_m 為

$$\begin{aligned} f_m &= G \frac{mM}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{(0.529 \times 10^{-10})^2} \\ &= 3.63 \times 10^{-67} \text{ 牛頓} \end{aligned}$$

故靜電力與萬有引力的比值為

$$\frac{f_e}{f_m} = \frac{8.23 \times 10^{-8}}{3.63 \times 10^{-67}} = 2.27 \times 10^{39}$$

可見靜電力比萬有引力大得不可思議！

§1-2 電場 電場強度

一、電場

在帶電體周圍空間的任何地方，電荷都會受到電力的作用。這表明帶電體周圍的空間里具有一種特殊的物質，這物質的存在首先表現在它施力於其它電荷。這種物質就稱做電場。在帶電體周圍的空間里布滿了電場。相對於觀察者是靜止的電荷所產生的電場稱為靜電場。本章我們只研究靜電場。

二、電場強度

現在來研究電場的某些性質。

我們首先來比較電場中各點對電荷作用力的大小。為此，取一試

驗电荷放到电场中各点去测量它所受的力。我們假定試驗电荷是这样小，它們不能使产生电场的那些电荷的大小和分布情形发生变化（图 1—4）由庫伦定律可知，作用在試驗电荷 q 上的力 f 是和 q 的大小成正比的。因此，对于一定的电场中的每一点，力 f 和电荷 q 的比值是一定的，它不随試驗电荷 q 的大小而改变。所以，

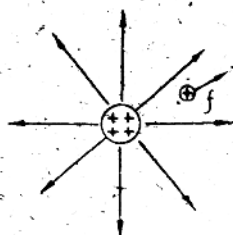


图 1—4

比值 $\frac{f}{q}$ 仅仅决定該点电场的本身的性質，我們就把由它所量度的量称做該点的电场强度（有时簡称为場强），用符号 E 来代表，于是

$$\vec{E} = \frac{\vec{f}}{q} \dots\dots\dots (1-4)$$

由此可見，若取 q 为单位正电荷，則由公式 (1—4) 可知，某点的电场强度在数值上就等于单位正电荷在該点所受的电力。由公式 (1—4) 还可以看出，一点的电场强度 E 是个矢量，它的方向就是正电荷在該点受力的方向。

由以上的討論可見，某点的电场强度 $\vec{E}$ 是由該点电场的性質来决定的。也就是說，是由形成这电场的电荷大小和分布情况来决定的，而与試驗电荷的大小无关。因此，电场强度的矢量的确是表征了电场的某种客观性質的物理量。

由公式 (1—4) 可見，电场强度 E 的单位是

$$[E] = \frac{\text{牛頓}}{\text{庫倫}}$$

作为例题，我們計算几种重要的特殊情形中的静电場强。

1. 点电荷的場强

取一点电荷 q ，試求与此点电荷相距为 r 的任意一点 A 处的場强。按庫伦定律，作用于放在距电荷 q 为 r 的正电荷 q_0 上的力 f 等于

$$f = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

所以点A处的场强 E 等于:

$$E = \frac{f}{q_0} = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

上式决定点A处场强的大小。场强 $\vec{E}$ 的方向与力 $\vec{f}$ 的方向一致。所以 $\vec{E}$ 的方向是沿连接电荷 q 和点A的直线, 如果 q 为正, 则 $\vec{E}$ 的方向远离电荷 q , 如果 q 为负, 则 $\vec{E}$ 的方向指向电荷 q 。

如果场强是由若干个电荷 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 产生的, 则某一点的合成场强等于各个电荷所产生的场强的几何和。这是因为作用于放在该点的电荷 q_0 上的力 $\vec{f}$, 等于各个电荷所产生的力 $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \dots, \vec{f}_n$ 的几何和:

$$\vec{f} = \vec{f}_1 + \vec{f}_2 + \dots + \vec{f}_n$$

由此得出场强 (即力 f 与电荷 q_0 的比值) $\vec{E}$ 等于:

$$\vec{E} = \frac{\vec{f}}{q_0} = \frac{\vec{f}_1}{q_0} + \frac{\vec{f}_2}{q_0} + \dots + \frac{\vec{f}_n}{q_0}$$

上式右方各项代表电荷 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 所产生的场强 $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_n$ 。

所以: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$

2. 电偶极子的场强

电偶极子是两个大小相等而符号相反的点电荷的总体, 这两个电荷之间的距离 l 与它们到欲求其场强的那些点的距离相比, 是很小的。通过这两个电荷的直线叫做电偶极子轴。

在电偶极子轴上取任意一点A (图1—5), 试求该点的静电场强。我们以 r_+ 和 r_- 分别表示电荷 $+q$ 和 $-q$ 与点A之间的距离, 以 r 表示点A至电偶极子中心的距离。于是有:

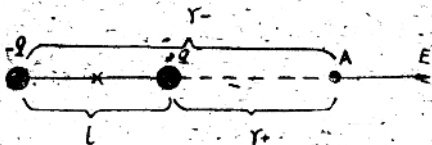


图1—5