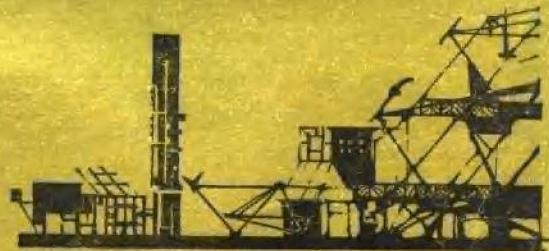


工厂基础电工习题解

GONGCHANG JICHU DIANGONG XITIJIE

李德玉 李汉权 李汉臣 编



黑龙江科学技术出版社

封面设计：李鑫

工厂基础电工习题解

李德玉 李汉权 李汉臣 编

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区分部街28号)

长春新华印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本787×1092毫米1/32·印张20.75·字数426千

1984年10月第一版·1984年10月第一次印刷

印数：1—30,000

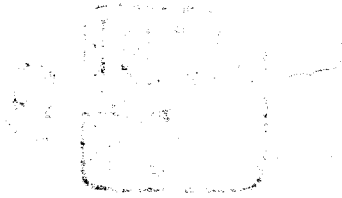
书号：13217·096 定价：2.40元

内 容 提 要

该书对《工厂基础电工》(工人科技教育丛书之一)一书中的习题及中外教材中的典型习题,作了详细的解答。其具体内容包括:电场、电容电场能量、直流电路、磁场、交流电路、符号法、非正弦电流、三相电路、过渡过程、变压器等十部分,有五百多个例题。

为了便于读者自学,本书力求简单明瞭、通俗易懂,并尽量作到理论联系实际。在各个小节中,依次列举了较多的例题,既有证明题,又有计算题。在详解每个例题时还对公式来源和计算过程进行了较为详细的分析。

本书既可作具有初中文化程度职工的自学读本,亦可供职工业余学校教师、中等专业学校电类专业师生教学参考。



前 言

为了适应职工教育的需要，帮助广大职工更好地掌握所学的电工基础知识和电子技术理论，我们根据在职职工的学习的特点，除将云南出版社出版的《工厂基础电工》所附的习题做了解答外，还收集整理我国和美、日、英、苏等国教材的典型例题，编写了《工厂基础电工习题解》一书。

编写本习题解的目的，一方面供使用《工人科技教育丛书》的职工业余学校的教师在布置作业时，能够对习题的分量、难易程度、与课堂讲授内容联系的深度和广度做到事先有所了解，免得在批改学生作业时花费更多的时间，另一方面也是为了起到一定的示范作用，使更多的读者通过对大量习题的解答和计算，更好地理解、巩固和掌握基本理论，达到运用理论分析问题和解决问题的目的。

本书的初稿经王晓岩、薛学明和周世彬同志审阅，在修改和定稿过程中，又经《工厂基础电工》作者宋东生同志又进行了审阅。在绘制插图方面，于凤池、彭焱同志给予我们大力帮助。在此一并致谢。

由于时间仓促，水平不高，经验不多，虽经校核，仍可能有不少错误。不当之处，乞望广大读者批评、指正。

目 录

第一章	电场	1
第二章	电容电场能量	8
第三章	直流电路	27
第四章	磁场和电磁感应	136
第五章	正弦交流电路	200
第六章	符号法	326
第七章	非正弦交流电路	423
第八章	三相正弦交流电路	483
第九章	过渡过程	571
第十章	变压器	615

第一章 电 场

提 要

※库仑定律 在均匀而各向同性的介质中，两个点电荷 Q_1 、 Q_2 的电场，作用在这两个点电荷上的力 F ，与这两个点电荷的乘积成正比，与其间的距离 R 的平方成反比。库仑定律可以下式表示：

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{R^2} \text{单位：牛顿}$$

因为常数 $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 式中 ϵ_0 代表真空介电系数，其数值

$$\begin{aligned} \text{是： } \epsilon_0 &= \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{ 库仑}^2 / \text{牛顿} \cdot \text{米}^2 \\ &= \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{ 库仑}^2 / \text{焦耳} \cdot \text{米} \\ &= \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{ 库仑} / \text{伏特} \cdot \text{米} \end{aligned}$$

所以介质为真空时的库仑定律可用下式表示：

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

在一般情况下库仑定律方程式以下式表示：

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R^2} \text{ 其中 } \epsilon_r \text{ 表示某物质介电系数和真空}$$

介电系数的比，叫做相对介电系数（又叫介电常数），即

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}。$$

※带有正或负电荷的物体，都叫做带电体。

※不随时间而变化的静止电荷的电场，叫做静电场。

※在电场的各点上电力线的密度和方向都相同的电场，叫做均匀电场。

※把一个单位正电荷，从电场范围外移到电场中某点所做的功，叫做这一点的电位。

$$V = \frac{A}{q} = \frac{Q}{4\pi R\epsilon} \text{ 单位: 焦耳/库仑; 伏特。}$$

※在电场中某一点处带电体所受的作用力的大小和它的电荷量的大小的比，是一个定数值，这个比值用来表示电场

中这一点的电场强度。即 $\mathcal{E} = \frac{F}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon R^2}$ 单位: 牛顿/库

仑; 伏特/米; 焦耳/米·库仑

电介质能够容许的电场强度值叫做容许电场强度。电介质的电场强度极限值叫做击穿电场强度。

例 题

【例1—1】有一力 $F = 0.1$ 牛顿，作用于正点电荷 $Q_1 = 2 \times 10^{-7}$ 库仑上。试求正点电荷 $Q_2 = 4.5 \times 10^{-7}$ 库仑与 Q_1 间的距离（两电荷都处在空气中）。

【解】变化一下库仑定律方程式，得

$$R = \sqrt{\frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon F}}$$

考虑到 $4\pi\epsilon = 4\pi\epsilon_0 = \frac{1}{9} \times 10^{-9}$ 库仑/伏特·米
和 1 牛顿 = 1 焦耳/米

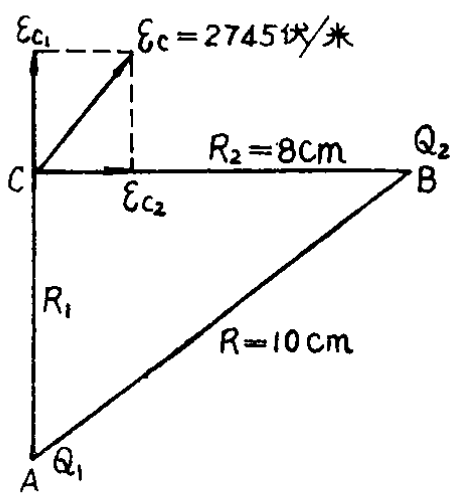
$$\begin{aligned} \text{求得 } R &= \sqrt{\frac{2 \times 10^{-7} \text{库仑} \times 4.5 \times 10^{-7} \text{库仑}}{\frac{1}{9} \times 10^{-9} \text{库仑/伏特} \cdot \text{米} \times 0.1 \text{焦耳/米}}} \\ &= \sqrt{81 \times 10^{-4} \text{米}^2} = 9 \text{厘米} \end{aligned}$$

【例1—2】 在电场内某一点放一个 5×10^{-14} 库仑的试验电荷，所受到的电场力是 4×10^{-8} 牛顿，问这一点的电场强度是多少？

【解】 将已知条件代入公式

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \frac{F}{q} = \frac{4 \times 10^{-8} \text{ 牛顿}}{5 \times 10^{-14} \text{ 库仑}} \\ &= 8 \times 10^6 \text{ 伏/米} \end{aligned}$$

【例1—3】 在空气中有两个点电荷 Q_1 、 Q_2 ，其间的距离 $R = 10$ 厘米，点电荷 $Q_1 = 1 \times 10^{-9}$ 库仑，点电荷 $Q_2 = -8 \times 10^{-10}$ 库仑，空气的相对介电系数 $\epsilon_r = 1$ ，C 点与 Q_1 的距离 $R_1 = 6$ 厘米，与 Q_2 的距离 $R_2 = 8$ 厘米。试求在 C 点的电场强度。



【解】 先求出 Q_1 在 C 点的电场强度，因为空气的 $\epsilon_r = 1$ ，所以

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{c1} &= \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \cdot 1} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-9}}{0.06^2} \\ &\approx 0.25 \cdot 10^4 \text{ 伏/米;} \end{aligned}$$

同样，求出 Q_2 在 C 点的电场强度是：

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{c_2} &= \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_2^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \cdot 1} \cdot \frac{8 \cdot 10^{-10}}{0.08^2} \\ &\approx 0.1125 \cdot 10^4 \text{伏/米} \end{aligned}$$

把 \mathcal{E}_{c_1} 和 \mathcal{E}_{c_2} 的向量相加后就得到 C 点的电场强度，三角形 ABC 是一个直角三角形。

所以

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_c &= \sqrt{\mathcal{E}_{c_1}^2 + \mathcal{E}_{c_2}^2} = 10^4 \cdot \sqrt{0.25 + 0.1125^2} \\ &\approx 2745 \text{伏/米} \end{aligned}$$

【例1—4】已知电压 $U_{MN} = 5$ 伏，试验电荷的电量 $q = 2 \times 10^{-10}$ 库仑和线段长 $l_{MN} = 10$ 厘米。求由 M 点至 N 点电场力对试验电荷所做的功，以及电场强度的大小。

【解】因为 $U_{MN} = \frac{A}{q}$ ，所以电场力所做的

功 $A = q U_{MN} = 2 \times 10^{-10} \times 5 = 10^{-9}$ 焦耳

又因 $U_{MN} = \mathcal{E} l_{MN}$

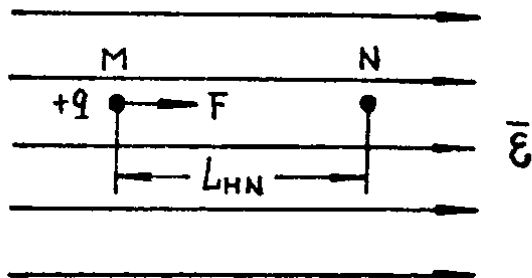
所以 $\mathcal{E} = \frac{U_{MN}}{l_{MN}} = \frac{5}{0.1} = 50$ 伏/米

【例1—5】在下图中，电压 $U_{MN} = U_{NO} = 55$ 伏。如果选取 N 点为参考点，求 M 点和 O 点的电位。

【解】已知 $V_N = 0$

由于 $U_{MN} = V_M - V_N$

因此 $V_M = U_{MN} + V_N$
 $= 55 + 0 = 55$ 伏



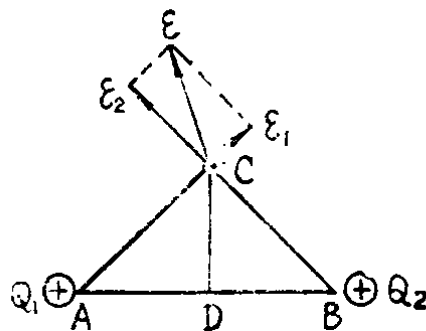
由于 $U_{No} = V_N - V_o$

因此 $V_o = V_N - U_{No} = 0 - 55 = -55$ 伏

【例1—6】在空气中有两个点电荷 $Q_1 = 4 \times 10^{-11}$ 库仑和 $Q_2 = 6 \times 10^{-11}$ 库仑，这两电荷相距 10 厘米，试求 C 点的电位。假设 AB 线上的垂线 CD 平分 AB 直线，同时等于 AB 直线的一半，就是 $AD = BD = CD$ 。

【解】求出 C 点与点电荷 Q_1 之间的距离是：

$$\begin{aligned} R_1 &= \sqrt{(AD)^2 + (CD)^2} \\ &= \sqrt{5^2 + 5^2} \\ &= \sqrt{2} \times 5 \text{ 厘米} \end{aligned}$$



而 C 点与点电荷 Q_2 之间的距离是：

$$R_2 = R_1 = \sqrt{2} \times 5 \text{ 厘米}$$

由第一点电荷在 C 点所产生的电场强度是：

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1^2} = \frac{4 \times 10^{-11}}{\frac{1}{9} \times 10^{-9} \times \frac{(\sqrt{2} \times 5)^2}{10^4}} \\ &= 72 \text{ 伏/米} \end{aligned}$$

因为 $Q_2 = 1.5 Q_1$ ，而且 $R_2 = R_1$ ，所以由第二点电荷在 C 点所产生的电场强度是：

$$\mathcal{E}_2 = 1.5 \mathcal{E}_1 = 1.5 \times 72 = 108 \text{ 伏/米}$$

由于电荷 Q_1 在 C 点的电位是：

$$U_1 = \mathcal{E}_1 \cdot R_1 = 72 \times \frac{5 \times \sqrt{2}}{100} = 5.1 \text{ 伏}$$

由于电荷 Q_2 在 C 点的电位是：

$$U_2 = \mathcal{E}_2 \cdot R_2 = 1.5 \mathcal{E}_1 \cdot R_1 = 1.5 \times \varphi_1 = 7.65 \text{伏}$$

因此C点的电位就是:

$$U = U_1 + U_2 = 5.1 + 7.65 = 12.75 \text{伏}$$

【例1—7】分置三个点电荷于空气中的等边三角形的三顶点上, 三角形每边长度为52厘米, 点电荷的电量分别为:

$Q_1 = 2 \times 10^{-10}$ 库仑; $Q_2 = 3 \times 10^{-9}$ 库仑; $Q_3 = -5 \times 10^{-10}$ 库仑。试求三角形中心的电位。

【解】三角形中心到三角形每一顶点的距离是:

$$R = \frac{52}{2} \times \frac{1}{\cos 30^\circ} \approx 0.3 \text{米}$$

因为空气的相对介电系数 $\epsilon_1 = 1$, 所以三角形中心的电位是:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}{4\pi \cdot 1 \cdot 0.3} (2 \cdot 10^{-10} + 3 \cdot 10^{-9} - 5 \cdot 10^{-10}) \\ &= 81 \text{伏} \end{aligned}$$

【例1—8】在电场内, 当移动点电荷 $Q = 2 \times 10^{-4}$ 库仑时, 所做的功是 $A = 0.4$ 焦耳。试求所经路径起点到终点之间的电压。

$$\text{【解】 } U = \frac{A}{Q} = \frac{0.4}{2 \times 10^{-4}} = 2000 \text{伏}$$

【例1—9】在球心放着点电荷 Q , 而在半径1厘米的等位球面上的电场强度是9000伏/米。试决定: 应当用多大的半径画等位面, 才能使相邻两等位面之间的电压是10伏?

【解】比较点电荷的电位和电场强度的公式:

$$U = \frac{Q}{4\pi R \epsilon_0}, \quad \mathcal{E} = \frac{Q}{4\pi R^2 \epsilon_0}$$

得：乘积 UR 和 $\mathcal{E}R^2$ 都等于同一常数值，

$$UR = \mathcal{E}R^2 = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} = K$$

第一个等位面的电位：

$$U_1 = \mathcal{E}_1 R_1 = 9000 \times 0.01 = 90 \text{伏}$$

所以 $K = 90 \times 0.01 = 0.9 \text{伏} \cdot \text{米}$

因为第二个等位面的电位等于80伏，

由此， $R_2 = \frac{K}{U_2} = \frac{0.9}{80} = 1.12 \text{厘米}$ ，等等。

【例 1—10】 在平行平板之间的空间中填满了腊纸。试求平板间的容许电压和击穿电压，不过容许电压应只有击穿电压的 $1/2.5$ ，板间距离 $d = 0.1$ 毫米。

【解】 查表知腊纸的击穿电场强度值为：

$$\mathcal{E}_{*p} = 10000 \text{伏特/毫米}$$

所以 击穿电压 $U_{*p} = \mathcal{E}_{*p} d = 10^4 \times 0.1 = 1000 \text{伏特}$

$$\text{容许电压 } U = \frac{U_{*p}}{2.5} = 400 \text{伏特}$$

第二章 电容电场能量

提 要

※电容器是一种储存电荷的容器。

※电容器的两极间在单位电压作用下所储存的电荷量叫做该电容器的电容。

$$c = \frac{Q}{U} \text{ 单位: (F) 法拉 (库仑/伏特)}$$

$$1 \text{ 法拉} = 10^6 \text{ 微法拉} = 10^{12} \text{ 微微法拉}$$

※电容的串并联 电容串联，总容量变小，而电容并联，容量增加。

	串 联	并 联
等效 电容	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$ <p>二个串联时 $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ 各电 容容量相等为 C_0 时 $C = \frac{C_0}{n}$</p>	$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$ <p>各电容容量相等为 C_0 时 $C = nC_0$</p>
电量	各电容中电量相同 $Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots$	总电量为各电容上电量之和 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$
电压	$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$ <p>1. 电容串联后, 可以承受较高电压 2. 电压分配与电容成反比</p>	各电容上电压相同 $U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$

※平板电容器的电容可用下式计算:

$$C = \frac{\varepsilon S}{d} = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{d}$$

式中 ε ——电容率 (又称为介电常数);

ε_r ——相对电容率;

ε_0 ——真空电容率。

※在电容电路中, 电流的大小与电容器两端的电压对于时间的变化率成正比:

$$i = c \frac{\Delta v_c}{\Delta t}$$

※设电容器的电容为 C , 两极板之间的电压为 U , 则该电容器中储藏的电场能量为:

$$W_c = \frac{1}{2} C U^2$$

※多片电容器电容的公式为:

电容 = $\frac{\text{介电系数} \times (\text{板数} - 1) \times \text{每一片的单面面积}}{\text{各板间的距离}}$

即
$$C = \frac{\varepsilon(N-1)S}{d}$$

※圆柱形电容器的电容:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2\pi L \varepsilon}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

※两导线间的电容:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\pi L \varepsilon}{\ln \frac{a}{r}}$$

式中 a ——轴心的距离; r ——导线的半径。

例 题 解

【例2—1】 有两只电容器，一只电容较大，另一只较小，如果两只电容器所带的电荷量相同，试问哪一只电容器的端电压较高。

【解】 将公式 $C = \frac{Q}{U}$ 改写成

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

从上式可看出，当电荷量一定时，电容的端电压的高低和电容器电容的大小成反比。所以电容较小的电容器两端的电压较高，电容较大的电容器两端的电压较低。

【例2—2】 现有一个电容器，它的电容为45微法，加在电容器两端的电压为200伏特，试求该电容器极板上储存的电荷量为多少？

【解】 已知 $C = 45 \text{微法} = 45 \times 10^{-6} \text{法}$ ，

$$U = 200 \text{伏}$$

根据电容的基本公式 $C = \frac{Q}{U}$ ，可求得电容器极板上储存的电荷量为：

$$Q = CU = 45 \times 10^{-6} \times 200 = 0.009 \text{库仑}$$

【例2—3】 两个平板电容器，它们的极板面积和极板间距离都相同。一只电容器的介质是腊纸，另一只电容器的介质是人造云母，如果腊纸电容器的电容是0.086微法，云母电容器的电容是多少？

【解】查表得知，腊纸的相对介电系数是 4.3，人造云母的相对介电系数是 5.2。那么，人造云母的相对介电系数比腊纸的相对介电系数大 1.2 倍。即

$$\frac{5.2}{4.3} = 1.2$$

所以人造云母电容器的电容为：

$$0.086 \times 1.2 = 0.1032 \text{ 微法}$$

【例2—4】平板电容器的面积是 15 厘米²，两极板相距 0.2 毫米，试求：（1）当两极板间的介质是空气时的电容，（2）若其它条件不变，而把电容器中的介质换成另一种介质，测出其电容值为 132 微微法，求这种介质的相对电容率。

【解】（1）当两极板间的介质是空气时，可查得 $\epsilon_r = 1$ ， $\epsilon_0 \approx 0.00886$ 微微法/毫米，已知 $S = 15 \text{ 厘米}^2 = 1500 \text{ 毫米}^2$ ， $d = 0.2$ 毫米，代入平板电容器电容的计算公式得：

$$\begin{aligned} C_{\text{空气}} &= \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} = \frac{1 \times 0.00886 \times 1500}{0.2} \\ &= 66.45 \text{ 微微法} \end{aligned}$$

（2）已知 $C = 132$ 微微法， $S = 1500$ 毫米²， $d = 0.2$ 毫米， $\epsilon_0 = 0.00886$ 微微法/毫米，将公式

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \text{ 改写为 } \epsilon_r = \frac{cd}{\epsilon_0 S}$$

然后将已知各值代入得：

$$\epsilon_r = \frac{132 \times 0.2}{0.00886 \times 1500} = \frac{26.4}{13.29} \approx 2$$

【例2—5】有一电容为 0.005 微法的电容器 C_1 ，是用 26

块金属片分隔云母而制成。假设用同样形式的金属板，以及云母片，制成电容为0.004 微法的电容器 C_2 ，问要用金属片及云母片各多少？

【解】因电容器的电容是与介质片数成正比，所以

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{C_2 \text{中的介质片数}}{C_1 \text{中的介质片数}}$$

$$\begin{aligned} \text{所以, } C_2 \text{ 中所需介质片数} &= \frac{C_2}{C_1} \times C_1 \text{中的介质片数} \\ &= \frac{0.004}{0.005} \times (26 - 1) \\ &= \frac{4}{5} \times 25 = 20 \end{aligned}$$

所以，要制成电容 0.004 微法的电容器，需用同样形式云母片20片，金属片21片。

【例2—6】一固定电容器中，有九块金属片，每片面积为15平方厘米，各金属片间用云母片分隔，云母的相对介电系数是6.3，设电容器为0.00223微法，试求云母片的厚度。

【解】因为多片电容器电容公式：

$$\text{电容} = \frac{\text{介电系数} \times (\text{板数} - 1) \times \text{每片单面面积}}{\text{各板间的距离}}$$

$$\text{即} \quad C = \frac{\epsilon(N-1)S}{d}$$

所以，各片间的距离

$$\begin{aligned} d &= \frac{6.3 \times \frac{10^{-9}}{36\pi} \times (9-1) \times (15 \times 10^{-4})}{2230 \times 10^{-12}} \\ &= 3 \times 10^{-4} \text{米} = 0.03 \text{厘米} \end{aligned}$$