

电工与工业电子学

杭州无线电工业学校 编

国防工业出版社



电工与工业电子学

杭州无线电工业学校 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书分为两篇，第一篇电工学部分共有八章：电荷与电场、直流电路、电容器、电磁、交流电路、变压器、电动机、三相异步电动机的控制线路；第二篇工业电子学部分共有七章：晶体管及其特性、晶体管放大电路、整流电路、脉冲电路、晶体管计数与译码电路、逻辑代数及其应用、集成电路。

本书为中等专业学校机械制造类专业教学用书，也可供从事机械制造的工程技术人员和工人参考。

DL67/29

电 工 与 工 业 电 子 学

杭州无线电工业学校 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092¹/₁₆ 印张21¹/₄ 494千字

1979年12月第一版 1981年6月第二次印刷 印数：38,501—52,500册

统一书号：15034·1946 定价：1.70元

前 言

在各种形态的能量中，电能占有重要的地位。任何形式的能量很容易地转变为电能；同样，电能也很容易地转变为其它形式的能量(如机械能、热能、光能等)。因此，电能
在工农业、科技以及日常生活中得到了广泛的应用。

电工学是研究电、磁现象以及将它们应用于各种技术领域的一门科学。作为无线电机
械制造的中等技术人员，在设计专用机械设备时，需按设备的要求，合理选用电机、电器
元件，并掌握电、磁基本知识以及各类电机、电器的特性及其工作原理。

随着大规模集成电路的研制与使用，在机械制造工业中，数控技术与工业控制机的使
用与日俱增，必须掌握一定的电子技术基础知识。为此，在本书第二篇中，简明地阐述了
放大、整流、脉冲等基本电子线路的工作原理，同时还介绍了计数与译码电路、逻辑代数、
集成电路等内容，为学习数控技术准备必要的基础知识。全书共有十五章，所用教学时数
为 160 学时。

本书由杭州无线电工业学校王启甲、卢季成、寿培清、施红鹰四位同志编写，并经桂
林无线电学校梁先华、秦清俊等同志审阅。

由于编者水平有限和编写时间仓促，书中一定存在不少缺点和错误，恳请读者批评
指正。

目 录

第一篇 电 工 学

第一章 电荷与电场	1	第八节 电感电路的接通与短路、 磁场能量	65
第一节 物质结构	1	小结	68
第二节 电荷与电场	1	习题	69
第三节 电位与电位差	4	第五章 交流电路	71
第四节 静电场中的导体及静电屏蔽	6	第一节 正弦交流电的基本概念	71
小结	7	第二节 交流电路中的电阻、电容与电感	78
习题	7	第三节 电阻、电容、电感串并联电路	83
第二章 直流电路	8	第四节 三相交流电	90
第一节 电路与电流	8	第五节 三相负载	92
第二节 电阻与电阻器	9	小结	95
第三节 电源的电动势	12	习题	97
第四节 欧姆定律	13	第六章 变压器	99
第五节 电功与电功率	15	第一节 变压器的基本结构	99
第六节 电阻的串、并联接	18	第二节 变压器的工作原理	101
第七节 电路中电位计算	23	第三节 三相变压器	106
第八节 克希荷夫定律	27	第四节 变压器的额定值、损耗和效率	108
小结	31	第五节 特殊变压器	108
习题	32	小结	111
第三章 电容器	34	习题	112
第一节 电容器和电容量	34	第七章 电动机	113
第二节 电容器的参数与分类	35	第一节 三相异步电动机的结构	113
第三节 电容器的串、并联接	39	第二节 三相异步电动机的工作原理	115
第四节 电容器的充、放电与电场能量	41	第三节 三相异步电动机的电路分析	119
小结	44	第四节 异步电动机的工作特性	121
习题	45	第五节 异步电动机的起动与调速	124
第四章 电磁	47	第六节 单相异步电动机	127
第一节 磁与磁场	47	第七节 直流电动机的工作原理与特性	129
第二节 磁势、磁阻及导磁系数	50	第八节 直流电动机的起动与调速	135
第三节 铁磁性材料及其磁化曲线	51	第九节 电动机的选择及额定值	137
第四节 电磁铁及磁路计算	54	第十节 特种电机	140
第五节 磁场对载流导体的作用力	57	小结	145
第六节 电磁感应	58	习题	146
第七节 自感与互感电势	62	第八章 三相异步电动机的 控制线路	147

第一节 电力拖动系统的图形符号 及原理图	147	习题	238
第二节 三相鼠笼式异步电动机直接起动的 控制线路	153	第十二章 脉冲电路	240
第三节 三相异步电动机的制动	156	第一节 脉冲及其形成	240
小结	160	第二节 RC 电路	241
习题	160	第三节 晶体管的开关特性	246
第二篇 工业电子学		第四节 门电路	249
第九章 晶体管及其特性	161	第五节 双稳态触发器	254
第一节 半导体基础知识	161	第六节 射极耦合双稳态触发器	259
第二节 PN 结及其单向导电性	163	第七节 单稳态触发器	262
第三节 晶体二极管的结构与特性	164	第八节 多谐振荡器	265
第四节 晶体三极管及其电流放大作用	166	小结	267
第五节 晶体三极管的特性与参数	168	习题	268
第六节 晶体二极管与三极管的 简易测试方法	171	第十三章 晶体管计数与译码电路	273
小结	173	第一节 二进制数及其运算	273
习题	174	第二节 二进制计数器	276
第十章 晶体管放大电路	175	第三节 二-十进制计数器	278
第一节 单管低频交流放大器	175	第四节 译码与显示电路	281
第二节 单管放大器的分析	178	小结	285
第三节 放大器静态工作点的稳定	185	习题	286
第四节 放大器的耦合及多级放大器	188	第十四章 逻辑代数及其应用	287
第五节 射极输出器	194	第一节 逻辑代数的三种基本运算	287
第六节 功率放大器	197	第二节 逻辑代数的基本定律	288
第七节 直流放大器	203	第三节 逻辑代数的应用	290
小结	209	第四节 卡诺图及其应用	294
习题	210	小结	301
第十一章 整流电路	213	习题	302
第一节 整流和滤波电路	213	第十五章 集成电路	303
第二节 直流稳压电路	221	第一节 DTL “与非” 门电路	303
第三节 可控硅及其整流电路	225	第二节 TTL “与非” 门电路	304
第四节 可控硅的触发电路及其应用	232	第三节 HTL “与非” 门电路	308
小结	237	第四节 MOS 电路	309
		小结	313
		附录 I 小型变压器设计	314
		附录 II (国家标准 GB 249-74)	317
		附录 III 部分习题答案	329

第一篇 电 工 学

第一章 电 荷 与 电 场

第一节 物 质 结 构

自然界中存在着各式各样物质，如水、铝、木材等等。这些物质均由化学元素组成。例如，水就是由氢和氧两种化学元素组成。目前，已经发现的化学元素有一百余种。

原子是组成化学元素的最小粒子。不同的化学元素的原子大小、质量和结构均不相同。图 1-1(a)、(b) 为氢原子与铝原子的结构示意图。在原子中间有一个带正电的原子核，原子核外围有若干电子，分层沿着不同的轨道围绕着原子核作高速旋转。

在一般情况下，物质的原子核中正电荷的数量和核外电子负电荷的数量相等。因此，正、负电荷作用抵消，整个原子对外不显电性。

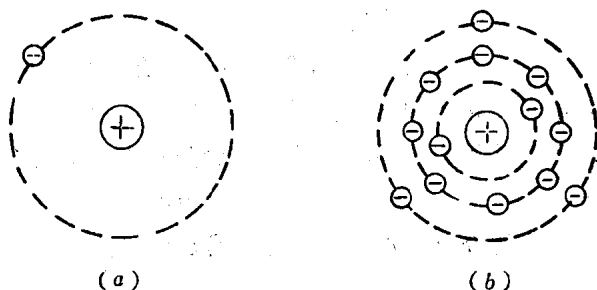


图1-1 原子结构示意图

物体中虽然存在大量的电荷，但是这些电荷并不是都能参与导电的。物质中能参与导电的粒子称作载流子。不同的物质中，载流子的浓度（单位体积中载流子数）不同，所以，它们的导电能力也不相同。

根据导电的性能，物质大体可分为三类——导体、绝缘体（又称介质）和半导体。银、铜、铁等金属很容易导电，称作导体；而塑料、陶瓷、橡胶、云母等材料很难导电，称作绝缘体。为什么有些物质导电性能好，而另一些物质导电性能差呢？这主要取决于物质的结构。金属是良导体，在它的原子中，外层电子受原子核束缚力较小，因此，它们可以摆脱原子核的束缚，在原子之间自由运动，成为自由电子。各种金属内部，在不同程度上存在着大量的自由电子，所以，金属导电性能好。相反，由于绝缘材料内部自由电子数目极少，所以导电性能差。除了导体与绝缘体外，还有一类物质，它们的导电性能介于导体与绝缘体之间，例如，硅、锗等，人们称之为半导体。由于它们导电的特殊性，半导体材料在电子技术中获得广泛的应用。

第二节 电 荷 与 电 场

一、电荷与库仑定律

在一般情况下，物体内部正、负电荷数量相等，物体呈中性，即不带电。当物体受到

1109548

外界作用（如摩擦、加热）时，有可能失去或得到电子，则物体呈带电状态，失去电子，物体带正电；得到电子，物体带负电。

物体所带电荷的数量，简称电量，用符号 Q （或 q ）表示。每一个电子所带的电量是一定的，因此，电量可以用电子数目来表示。不过电子的电量太小，一般是以库仑（C）作为度量电量的单位。库仑简称库，1库仑 $=624 \times 10^{18}$ 个电子电荷量。

电荷之间具有相互作用力，同性电荷互相排斥，异性电荷互相吸引。实验证明：两个点电荷之间作用力的方向在两电荷中心联线上，其大小与两电荷的电量的乘积成正比，而与两电荷间距离平方成反比，即

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2} \quad (1-1)$$

式中 F ——两电荷间的作用力（牛）；

Q_1, Q_2 ——点电荷电量（库）；

r ——两点电荷间距离（米）；

ϵ ——介电常数（库²/牛·米²）。

式（1-1）称作库仑定律。式中的介电常数 ϵ 由电荷周围物质的性质所决定。即同样两对点电荷，距离相同，由于放在不同物质中（例如一组放在油中，另一组放在空气中），它们之间的作用力是不相同的。实验测得真空中的介电常数，为：

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{库}^2/\text{牛} \cdot \text{米}^2$$

其它物质的介电常数与真空介电常数的比值，称为该物质的相对介电常数，用 ϵ_r 表示，即

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1-2)$$

常用介质的相对介电常数，列于表1-1中。

表1-1 常用介质的相对介电常数 ϵ_r

介 质 名 称	ϵ_r	介 质 名 称	ϵ_r
空气	1	聚氯乙烯	3.1~3.5
石蜡	2~2.3	玻璃	5~10
变压器油	2.2~2.5	电容器用陶瓷	12~25
橡胶	2.5~2.8		55~160
云母	6~8		1000~10000

二、电场与电场强度

1. 电场

物体之间的相互作用，或者通过直接接触，例如用手推车；或者通过中间媒质的传递，例如声音通过空气传送到人的耳朵。电荷之间的作用力也不例外。它们既非直接接触，那么必然是通过中间媒质的传递而相互作用。这种中间媒质是什么呢？实验证明：即使在没有任何分子、原子等物质存在的“真空”中，电荷之间也能传递力的作用。可见，电荷之间的相互作用力，是通过一种特殊形态的物质传递的，这种物质就是电场。

电荷与电场是不可分割相互依存的。只要有电荷存在，电荷周围就有电场存在。同性

电荷相斥，异性电荷相吸，就是一个电荷的电场作用于另一电荷的结果。由静止电荷建立的电场称作静电场。

电场的重要特性，就是它对静止电荷具有力的作用。因此，检验某处是否有电场存在，可以通过静止电荷在该处是否受力来判断。电荷在电场中受到力的作用，沿着电场力的方向移动，电场力将做功。这一事实说明了电场具有能量。

2. 电场强度

空间放置一电荷 Q ，如图 1-2 所示。在它的周围存在着电场。若在距 Q 为 r_a 的 a 点引进另一试验电荷 q （通常为电量和体积都很微小的正电荷）， q 将受到力 F_a 作用。如果把 q 放到距 Q 远一些的 b 点，则 q 在 b 点受到的电场力 F_b 比在 a 点的要小。这说明空间各点的电场有强弱之分。

把电量不同的试验电荷放在电场中同一点，从库仑定律不难看出，它们受的力也不相同。试验电荷受力的大小与它的电量成正比。当试验电荷增大一倍时，它受到的电场力也增大一倍。这样，试验电荷受到的电场力与它的电量比值 (F/q)，在同一点是一个固定不变的数值，这一比值称作该点的电场强度，用符号 E 表示。

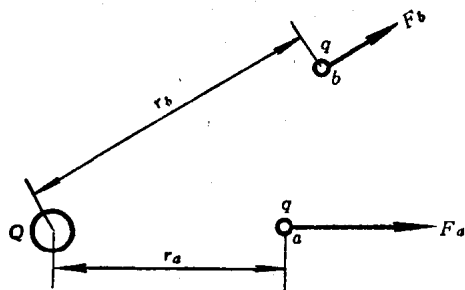


图1-2 电荷及其电场

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-3)$$

一般地说，电场中不同的点，具有不同的电场强度。

当 q 等于一个单位正电荷，从式 (1-3) 可以看出，某点电场强度的大小，就是单位正电荷在该点受到电场力的大小。电场强度是一个向量，它的方向是正电荷在该点受力的方向，它的单位是牛/库(或伏/米)。

3. 电力线

为了形象地描绘电场，引入电力线来表示电场的强弱和方向。电力线上任一点的切线与该点电场强度方向一致，用电力线的疏密表示电场的强弱。电力线密处电场强，电力线疏处电场弱。图 1-3 列举了几种常见的电力线分布图。从图中可以看出，电力线从正电荷出发而终止于负电荷。在图 1-3(a) 点电荷的电场中，正电荷电场的电力线是一族以电荷为中心向外发散的直线；负电荷电场的电力线是一族向电荷中心集中的直线。并且距电荷

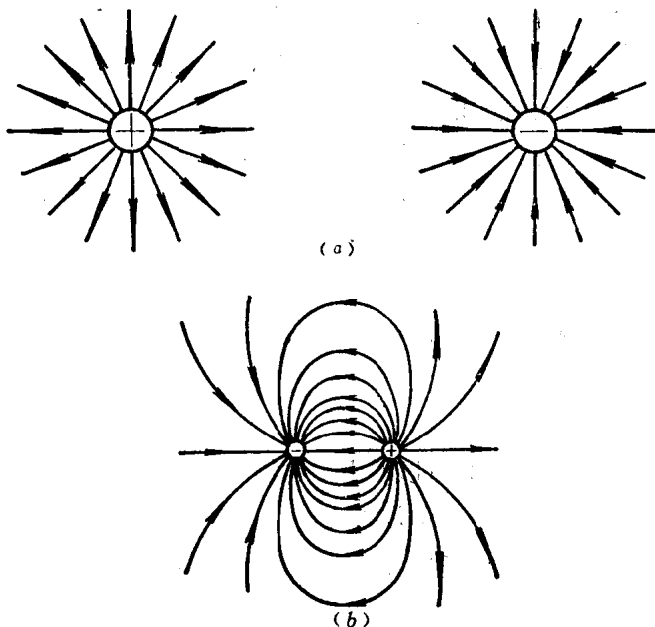


图1-3 点电荷电场

越近，电力线越密，电场越强。图 1-3(b) 示出的两异性等量电荷电场的电力线。以上这些点电荷的电场，各点电力线疏密不均，方向也不相同。这种数值不等或方向不同的电场，称作非均匀电场。

图 1-4 是两个带有异性电荷平板的电场图形。当两板平行，面积很大而两板间距又很小时，平板中间部分的电力线是一族疏密均匀、相互平行的直线。这种数值相等、方向一致的电场称作均匀电场。

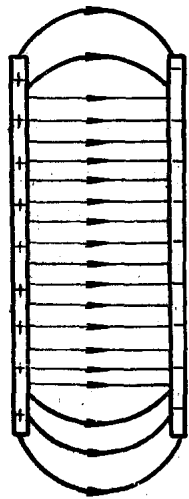


图1-4 均匀电场



图1-5 电场强度计算

思考题

如果电荷 $q = -2 \times 10^{-6}$ 库，放在电场中某点，测得它受到的电场力为 $F = 6$ 牛顿，力的方向如图 1-5 所示，试求该点电场强度大小及方向。

第三节 电位与电位差

一、电位

重力场中，物体在一定高度上就具有一定的位能。物体越高，它的位能越大。所以，高度是衡量物体在重力场中具有位能大小的一个标志。在重力作用下，物体将由高处向低处下跌，在下落过程中重力作了功，物体的高度降低，它的位能也随之减小。

为了说明电场在作功方面的特性，引入了电位的概念。它是一个从电场对试验电荷作功的特性来说明电场性质的物理量。电位也有高低之分。通常规定电场外或电场中某一点的电位为零，并用符号“ $\perp$ ”表示，以它作为参考点来确定电场中各点电位的高低。

实验证明，将电量不等的试验电荷，从电场中同一点移到参考点时，电场力所作的功 W 与试验电荷的电量 q 成正比，但功与电量的比值 W/q 则是一个固定不变的数值。

将电荷 q 从电场中某点移到参考点（零电位点）所作的功，与试验电荷 q 的比值称作该点的电位，并用符号 V 表示，即

$$V = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

从式 (1-4) 可以看出，电场中某点的电位，在数值上就等于电场力将单位正电荷从该点移到零电位点所作的功。

电位的单位是焦/库，又称伏特 (V) 或简称伏。电场力把 1 库仑电量，从某点移到零电位点所作的功为 1 焦耳时，则该点的电位为 1 伏。

电位有正负之分，高于零电位的为正电位，低于零电位的为负电位。电位的数值与零

电位点的选定有关。零电位点选择得不同,各点电位的数值也就不同。

二、电 位 差

在一场强为 E 的均匀电场中,放置一试验电荷 q ,如图 1-6 所示。 q 受到的电场力为 $F = Eq$ 。在它的作用下, q 沿场强方向由 a 点移动距离 l 达到 b 点时,电场力做功为:

$$W_{ab} = Fl = Eq l$$

电场将电荷 q 从 a 点移到 b 点所作的功与电荷 q 的比值,称作 a 、 b 两点间的电压,并用 U_{ab} 表示,即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = El \quad (1-5)$$

在均匀电场中,沿着电场方向两点间的电压,等于两点间距离与电场强度的乘积。

a 、 b 两点间的电压就是 a 、 b 两点的电位差。在图 1-6 中,若将 B 极板定为零电位点,即 $V_B = 0$ 伏,根据电位的定义,则 a 点与 b 点的电位,分别为把单位正电荷从这两点移动到 B 极板时电场力所做的功。它们应为:

$$V_a = El_a, \quad V_b = El_b$$

a 、 b 两点电位之差则为:

$$V_a - V_b = E(l_a - l_b) = El$$

可见,两点间的电压就是两点间电位差。

电压的单位是伏特。对于较小的电压,常用毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 来度量,较大的电压则用千伏 (KV) 来度量。它们与伏的关系是:

$$1 \text{ 毫伏} = 10^{-3} \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 微伏} = 10^{-6} \text{ 毫伏} = 10^{-9} \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 千伏} = 10^3 \text{ 伏}$$

常用干电池正、负极间的电压为 1.5 伏,一般照明用电的火线与地线之间的电压为 220 伏。

电场中电位相等的各点构成的面,称作等位面。例如,在图 1-6 所示的均匀电场中,与极板平行的面就是等位面。由于电力线与这些面垂直,因此,电荷 q 在面上移动时,电场力不需做功,面上各点间电位差为零,即面上各点具有相同的电位。

思 考 题

1. 负电荷在电场中受力方向是从高电位指向低电位呢? 还是相反? 正电荷受力情况又是如何?
2. 带电球体电场的等位面是怎样的形状?
3. 已知球电荷形成的电场中, a 点的电场强度为 E_a , b 点与 a 点的连线通过球心 (见

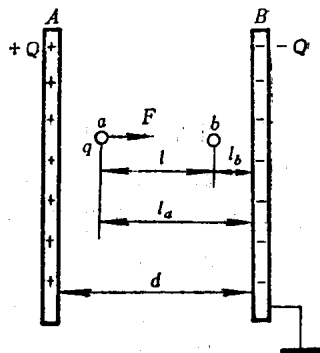


图 1-6 均匀电场中的
电位与电位差

图 1-7), 已知 a 、 b 间距离为 l , 则 a 、 b 两点电压为 $U_{ab} = E \cdot l$, 这样的结论对不对?

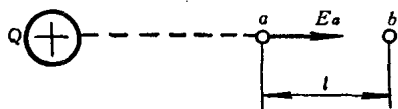


图 1-7 球电荷电场

第四节 静电场中的导体及静电屏蔽

下面介绍导体置于静电场中的情况。导体和绝缘物质不同, 它有大量自由电子, 这些电子在电场作用下, 将沿着电场力的方向移动。如图 1-8(a) 所示, 导体内自由电子受力移向左侧, 并在那里积累多余电子而带负电; 在导体右侧由于失去电子而带正电。这种因外电场作用, 使导体内部电荷重新分布的现象, 称作静电感应。导体两边出现的电荷叫感应电荷。感应电荷在导体内产生一个与外电场相反的附加电场 E' , 如图 1-8(b) 所示, 使总电场削弱。但是, 只要总电场不等于零, 导体内自由电子就要继续移动, 附加电场继续增强, 直到总电场等于零为止, 如图 1-8(c) 所示。所以, 静电场中, 导体内部不存在电场, 也就是说, 在静电场中电力线不穿过导体内部。因此, 导体是个等电位体, 导体表面是等位面, 并由此推论, 导体表面处电力线与表面垂直。

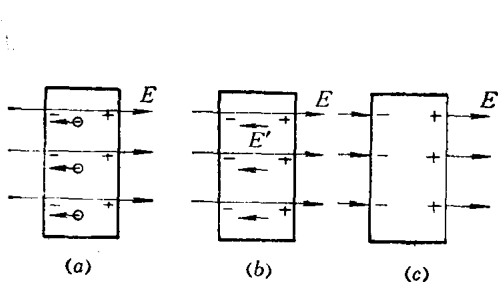


图 1-8 静电场中的导体

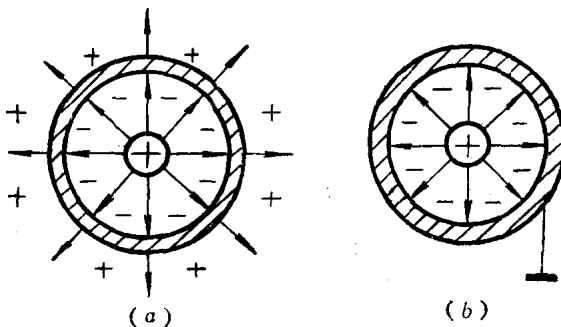


图 1-9 静电屏蔽

以上结论对空心导体也适用。把一个空心导体放在静电场中, 由于静电感应, 感应电荷将分布在导体壳外表面上, 导体内部没有电场, 因而也没有电力线穿过导体内腔。这样, 放在导体内腔的设备, 就不会受到外电场的影响, 这种措施叫静电屏蔽, 它广泛地应用在电子设备中。例如, 晶体管的管芯用金属壳罩起来, 又如一些仪器中微弱信号的传输, 采用了有金属网套着的屏蔽线等等, 这些都是为了避免外电场干扰而采取的措施。另外, 为了把一台设备屏蔽起来, 使它的电场不致影响外界, 这时所用的金属壳必须接地。若不接地, 则不能起屏蔽作用。如图 1-9(a) 所示, 当被屏蔽物体带正电时, 由于静电感应作用, 在壳的内壁感应负电荷, 壳的外表面出现等量正电荷。这些正电荷在周围空间产生电场, 影响其它物体。如果将外壳接地, 如图 1-9(b) 所示, 外壳电荷流入地中, 不再形成电场, 壳外物体就不会受到壳内带电体的影响。

思考题

1. 在静电场中, 金属内部电场强度等于零, 所以金属的电位等于零, 这样讲对不对?

小 结

1. 电荷之间的力，同性相斥，异性相吸。力的大小与电量大小、距离远近、周围介质有关，由库仑定律决定。
2. 电场的重要特性就是电荷置于电场中，要受到力的作用。电荷在电场力作用下移动，电场力作功，表明电场具有能量。
3. 电场强度是描述电场特性的物理量。其大小是单位正电荷在该点受力的大小，其方向是正电荷受力的方向。
4. 可以用电力线描绘电场，电力线上各点切线与该点场强方向一致，用电力线的疏密表示电场的强弱。电力线从正电荷出发，而终止于负电荷。静电场中金属表面的电力线与金属表面垂直。与电力线垂直的面是等位面。
5. 电位与电位差也是描绘电场特性的物理量。电场力将电荷从某点移至零电位点所作之功与电荷的比值，就是该点的电位。两点电位之差，称作两点电位差或两点间电压。电位的数值与零电位点选择有关。

习 题

1. 电场中某点放置一正电荷 $q = 0.001$ 库，如果作用在电荷上的力为 50 牛顿，求该点电场强度。
2. 在真空中两电荷相距 40 厘米，相互作用力为 F ，若把它们放在变压器油中，相距 27 厘米相互作用力也是 F ，试计算变压器油的相对介电系数。
3. 如图 1-10 所示均匀电场中，电场强度为 $E = 3$ 伏/毫米， a 、 b 两点距离为 2 毫米， ab 连线与 E 的夹角为 60° ，问 a 、 b 两点间电压多大？如果定 a 点电位为零伏，则 b 点电位是多大？

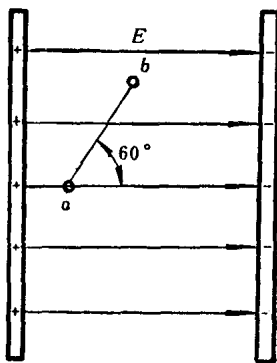


图1-10 均匀电场中电位计算

第二章 直流电路

第一节 电路与电流

一、电路的组成

日常生活与生产中,用电设备种类繁多,但它们绝大多数都是由各式各样的电路组成的。图 2-1 所示,是一个由电池、开关、灯泡和导线组成的最简单电路。由于电池的正、负极上积聚着正、负电荷,正、负极间形成一个电场。电路接通后,导线和灯丝中的电子受到电场力的作用而流动。电场移动电荷做功,使灯丝发光、发热,把电能转变为光能与热能。在电路中电池是电能的供应者,称作电源。灯泡从电源中吸取电能,并把它转化为光能,灯泡是电能的消耗者,称作负载。一般电路是由电源、负载、开关和联接电源与负载间的导线四者组成的。电源外部电路称作外电路,电源内部电路称作内电路。图 2-1 (a) 实际电路可以用图 2-1 (b) 电路原理图来表示。

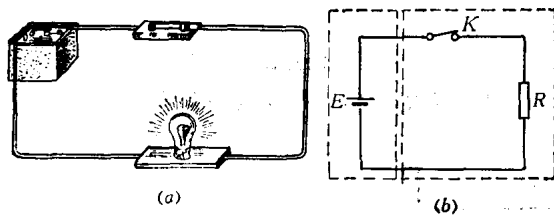


图2-1 电路的组成

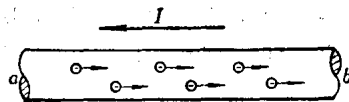


图2-2 电流的方向

二、电 流

上述电路中,当开关接通时,电子在电源作用下,通过导线、开关,经灯丝从电源负极向电源正极流动。这种电荷在导体中有规则的运动形成了电流。此外,在某些液体和气体中,由于存在着正、负离子(失去或得到电子的原子),它们在电场力作用下,分别向着一定的方向运动,也能形成电流。习惯上人们把正电荷流动的方向作为电流的方向。在导线中,电流实际上是带负电的电子流动形成的,但其效果与等量的正电荷向相反方向流动完全相同。因此,电流的方向与电子的流动方向相反,如图 2-2 所示,导线中电子从 a 端流向 b 端,而电流则是从 b 端流向 a 端。

电流的大小用电流强度 I 来表示。如果电流不随时间变化,在时间 t 内通过导线横截面的电荷量为 Q ,则该导线内的电流强度为:

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

即导体内电流强度就是单位时间内,通过导体横截面的电荷量。通常把电流强度简称为电流,单位为库/秒,称作安培(A)简称安。一秒钟通过一库仑电荷的电流为 1 安培。对于

较小的电流，常用毫安 (mA)、微安 (μA) 来度量，它们与安培的关系是：

$$1 \text{ 毫安} = 10^{-3} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 微安} = 10^{-6} \text{ 毫安} = 10^{-9} \text{ 安}$$

一般晶体管收音机的电流在 30~100 毫安之间，通常车床用的电动机电流约几安到几十安；而电镀，电焊用电的电流可达几十安至几百安。

大小与方向恒定，不随时间变化的电流称作直流。相应的电路称作直流电路。若导体中电流的大小与方向随时间作周期性改变，则称作交流电，与之相应的电路称作交流电路。

第二节 电阻与电阻器

一、电 阻

在电场作用下，导体内自由电子作定向运动，运动过程中自由电子要与原子核相碰撞，因此要受到一定阻力，这种阻力叫电阻，用 R 表示。导体电阻的大小，主要取决于导体材料的导电性能和几何尺寸。实验证明，用同一材料做成的导体，在外界条件相同情况下，电阻阻值与导体长度成正比，与导体截面积成反比，用公式表示为：

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2-2)$$

式中 R —— 导体的电阻(欧姆)；

l —— 导体的长度(米)；

S —— 导体的截面积(毫米²)；

ρ —— 导体的电阻系数(欧·毫米²/米)。

电阻的单位是欧姆 (Ω) 简称欧。较大的电阻用千欧 ($\text{K}\Omega$) 或兆欧 ($\text{M}\Omega$) 来度量，它们与欧的关系是：

$$1 \text{ 千欧} = 10^3 \text{ 欧}$$

$$1 \text{ 兆欧} = 10^3 \text{ 千欧} = 10^6 \text{ 欧}$$

电阻系数 ρ 是材料导电性能的一个参数。即用长度为 1 米，截面积为 1 毫米² 的某种材料做成的导线，具有电阻为 ρ 欧。必须指出，各种材料的电阻系数与温度有关，一般金属的电阻系数与温度的关系如下：

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (t - t_0)] \quad (2-3)$$

式中 t_0 —— 参考温度，一般取为 20°C；

t —— 实际温度；

ρ_0 —— 20°C 时的电阻系数；

ρ —— 温度为 t 时的电阻系数；

α —— 电阻温度系数。

常用金属在 20°C 时的电阻系数和温度在 0~100°C 时的电阻温度系数平均值，列在表 2-1 中。

从表 2-1 中可以看出，铜的导电性能仅次于银，由于银是贵金属，因此，铜是用得最广泛的导电材料。铝的导电性稍次于铜，由于价格便宜，所以在允许条件下，应尽量用

表2-1 常用金属的电阻系数和电阻温度系数

材 料	电阻系数(20°C时) (欧·毫米 ² /米)	电阻温度系数 (1/°C) (0~100°C时平均值)	材 料	电阻系数(20°C时) (欧·毫米 ² /米)	电阻温度系数 (1/°C) (0~100°C时平均值)
银	0.0158	0.0038	铂	0.106	0.0039
铜	0.0175	0.0039	康铜	0.44	0.000005
金	0.022	0.0037	锰铜	0.42	0.000005
铝	0.029	0.0042	镍铬合金	1.1	0.00013
钨	0.049	0.0044	铝铬铁合金	1.2	0.00008
铁	0.098	0.0062			

铝代替铜，锰铜与康铜的电阻系数较大，而电阻温度系数很小，它的阻值受温度变化影响小，适宜做成标准电阻器。镍铬合金与铝铬铁合金的电阻系数大，且能长期承受高温，它们是做电热丝的理想材料。此外，还可利用电阻随温度变化的特点，用电阻的变化来反映温度的变化，这就是通常所说的热敏电阻。

例 1 有铜导线，长度为 15 米，截面积为 2 毫米²，问该导线在 20°C 和 45°C 时阻值各为多大？

解 由表 2-1 可知，在 20°C 时，铜的电阻系数 $\rho_0 = 0.0175$ 欧·毫米²/米，这时导线电阻应为：

$$R = \rho_0 \frac{l}{S} = 0.0175 \times \frac{15}{2} \approx 0.131 \text{ 欧}$$

表中查得铜的电阻温度系数为 $\alpha = 0.0039$ ，在 45°C 时电阻系数为：

$$\rho_1 = \rho_0 [1 + \alpha (45 - 20)] = 0.0175 [1 + 0.0039 \times 25] = 0.0192 \text{ 欧·毫米}^2/\text{米}$$

45°C 时电阻为：

$$R_1 = \rho_1 \frac{l}{S} = 0.0192 \times \frac{15}{2} = 0.144 \text{ 欧}$$

二、电 阻 器

人们欲控制电路中电流为一定数值，常把具有一定阻值的电阻接在电路中，这种用导电材料做成的而具有一定阻值的电阻，称作电阻器，简称电阻。电阻是组成电路的一种基本元件。它在电路中的符号，如图 2-3(c) 所示。

电阻种类很多，常用有以下几种：

1. 铸铁电阻

铸铁电阻是由铸铁浇铸成曲折蜿蜒的栅形元件串联叠成，如图 2-3(a) 所示。这种电阻阻值小，允许通过较大的电流，适用于交、直流电动机的起动、制动与调速。

2. 板形电阻

板形电阻如图 2-3(b) 所示，由金属电阻丝绕在瓷质框架上做成。它的体积较铸铁电阻小，允许通过电流，一般也比铸铁电阻小。多用于小容量电动机起动、制动与调速电路中起限流作用。

3. 小功率电阻

小功率电阻一般用于电子线路中。按材料性质不同，常用的小功率电阻分为，碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻等几种，它们的外形如图 2-4 所示。碳膜电阻，是将碳氢化合

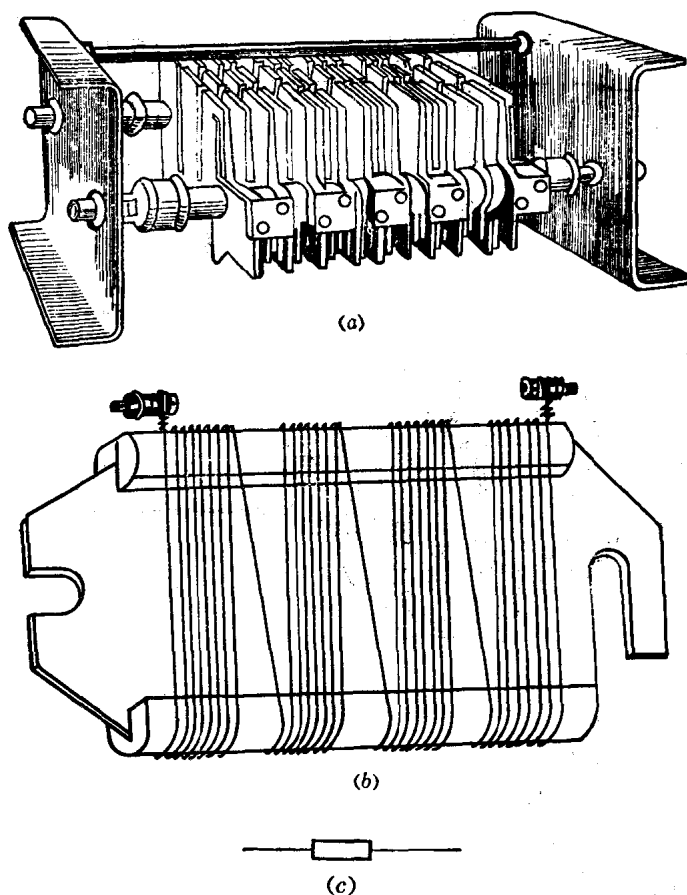


图2-3 铸铁电阻与板形电阻

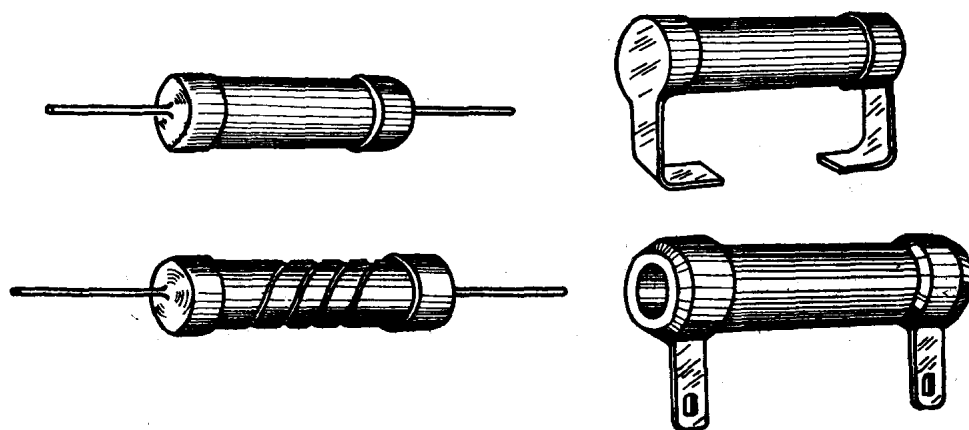


图2-4 小功率电阻

物在高温真空下分解，使它在瓷管或瓷棒上形成一层结晶碳膜，然后再用刻槽的办法刻成一定阻值。这种电阻有一定的稳定性，价格较低，在一般设备中应用很广。金属膜电阻制作工艺过程与碳膜电阻相似，只是材料不同，它是用金属粉在瓷棒上形成金属薄层做成的，与碳膜电阻相比，它具有体积小，性能稳定的特点，但价格较贵。在要求较高场合下，可选用这种电阻。线绕电阻是用铜合金丝，绕在瓷管上做成的。工作稳定可靠，可以通过较