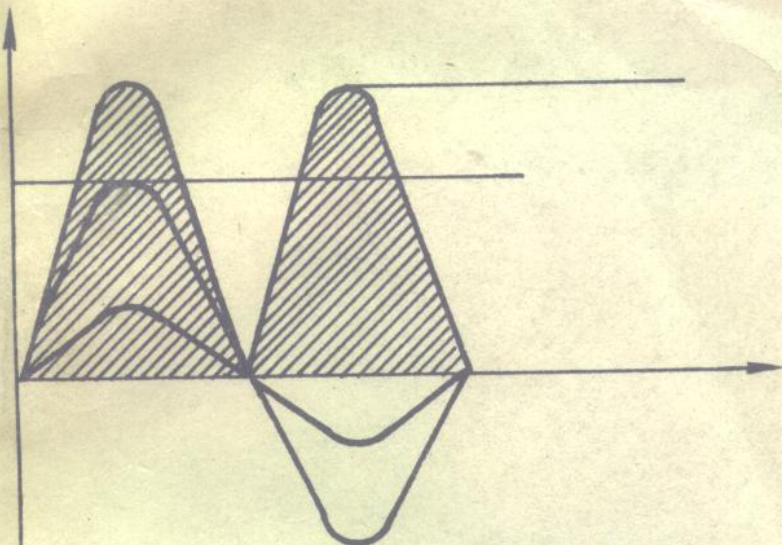


中等职业技术教育用书



电工 原理

北京职业高中电子类教材编审组

1971

电子工

电 工 原 理

北京职业高中电子类教材编审组



电子工业出版社

内 容 简 介

本书内容包括：电路基础，简单、复杂直流电路，电容器，磁场和电磁感应，单相、三相正弦交流电路，应用复数计算正弦交流电路，变压器和感应电动机，谐振电路，非正弦交流电，电路的过渡过程，电工原理实验等。

本书注意基础理论，着重物理概念的叙述，突出应用知识，力求文字通俗、简明，避免较深的数学分析。为加强理论联系实际，书中安排了一些电工原理实验内容，为便于讲授和学习，每章都有小结、习题和习题答案。

本书可作为电子技术、电工专业职业高中教材，亦可供具有初中文化程度的电工、技术人员阅读。

电 工 原 理

2538/30

18

北京职业高中电子类教材编审组



电子工业出版社出版（北京海淀区万寿路）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
铁道部第一工程局印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/16 印张：19.1 字数：465 千字

1986年7月第一版 1986年8月第一次印刷

印数：1—35,000册 定价：3.20元

统一书号：15290.381

出 版 说 明

随着中等教育结构改革的不断深入，职业高中有了很大发展，为了解决当前急需的教材问题，我们和电子工业出版社共同组织了职业高中电子类教材编审组。该组由有经验的职业高中教师，从事多年电子技术研究工作的工程师和高等院校的讲师、副教授组成，并请北京市职业教育研究会理事长、北京教育学院副院长邵绪朱同志担任编审组指导。

按计划首批编写《电工原理》、《电子线路》、《黑白电视机原理与维修》（上）《黑白电视机原理与维修》（下）、《收录机原理与维修》、《脉冲与数字电路》、《彩色电视机原理与维修》共七种，以后还将编写计算机等其他方面的专业课教材，使之成为一套具有职业高中特色的电子技术专业教材。

这套教材的编写原则和编写大纲是遵循国家教委有关对中等职业技术教育的要求和在各职业高中制定的教学大纲（草案）的基础上，经过认真、反复地讨论而拟定的。在编写过程中吸取了北京市几年来职业高中的教学经验，特别注意了知识的完整性、系统性、科学性和实用性。但由于编写这一层次的教材，确实是一个新课题，肯定有不妥之处，希望读者在使用过程中提出宝贵意见，以便进一步改进。

北京教育学院职业教育教研室

1986年3月

前 言

本书为职业高中电子技术、电工专业教材，总参考教学时数为 学时，其中实验课为 学时。本书主要内容除基本电工原理知识外，还讲解变压器和感应电动机、谐振电路、非正弦交流电、电路过渡过程。为便于讲授和学习，每章都有小结、习题和习题答案。

本书共十四章。第一、二、三、八章由184中职业高中教师冯珂正编写，第四至七章和电工原理实验由128中职业高中教师陈其信编写，第九至十一章由团结湖一中职业高中教师欧阳毅工程师编写，第十二至十四章由148中职业高中教师贾丽娜编写，并由陈其信担任主编。

参加本书审定的有：北京教育学院副院长邵绪朱；职业教育教研室贾宝林同志。最后由王昌铭讲师阅改完成全稿的编辑加工工作。

由于编审者经验不足，水平有限，书中会有一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

《北京职工高中电子类教材》编审组

1986年3月

目 录

第一章 电路基础

第一节 电荷、库仑定律	(1)
第二节 电场、电场强度	(1)
第三节 静电平衡与静电屏蔽	(2)
第四节 带电粒子在匀强电场中的运动	(4)
第五节 电路、电源电动势	(6)
第六节 电流和电流强度	(7)
第七节 电压和电位	(9)
第八节 电阻和电导	(10)
第九节 全电路欧姆定律	(12)
第十节 电功和电功率	(14)
第十一节 电流热效应和电器的额定值	(16)
小结	(18)
思考题	(19)
习题	(21)

第二章 简单直流电路

第一节 电阻的串联电路	(23)
第二节 电阻的并联电路	(25)
第三节 电阻的混联电路	(27)
第四节 电池的联接	(31)
第五节 电路中各点电位的计算	(32)
第六节 电桥电路	(34)
第七节 万用表的基本原理	(36)
小结	(39)
思考题	(41)
习题	(41)

第三章 复杂直流电路

第一节 基尔霍夫第一、二定律	(43)
第二节 支路电流法	(45)
第三节 迭加原理	(46)
第四节 戴维南定理(等效电源定理)	(48)
第五节 电压源和电流源及其等效变换	(51)
第六节 最大功率输出定理	(55)
第七节 电阻三角形和星形连接的等效变换	(56)
小结	(59)

习题.....	(60)
第四章 电容器	
第一节 电容器的电容.....	(62)
第二节 电容器的额定值和种类.....	(64)
第三节 电容器的充电和放电.....	(67)
第四节 电容器的串联和并联.....	(69)
第五节 电容器中的电场能量.....	(73)
小结.....	(74)
习题.....	(75)
第五章 磁场	
第一节 磁铁和磁极.....	(77)
第二节 电流和磁场.....	(78)
第三节 磁感应强度和磁通.....	(81)
第四节 磁导率和磁场强度.....	(83)
第五节 铁磁物质的磁化与磁滞回线.....	(84)
第六节 磁场对载流直导体的作用.....	(89)
第七节 磁场对通电矩形线圈的作用.....	(91)
第八节 磁场对运动电荷的作用力.....	(92)
小结.....	(94)
习题.....	(96)
第六章 电磁感应	
第一节 电磁感应的条件.....	(99)
第二节 直导体中的感应电动势.....	(100)
第三节 线圈中的感应电动势.....	(101)
第四节 自感和自感电动势.....	(103)
第五节 互感和互感电动势.....	(107)
第六节 涡流和磁屏蔽.....	(109)
第七节 磁场的能量.....	(110)
小结.....	(111)
习题.....	(112)
第七章 单相正弦交流电路	
第一节 正弦电动势的产生及其表示.....	(114)
第二节 周期、频率和角频率.....	(116)
第三节 初相位和相位差.....	(117)
第四节 交流电的有效值.....	(120)
第五节 正弦量的矢量表示法.....	(121)
第六节 纯电阻交流电路.....	(123)
第七节 纯电感交流电路.....	(126)
第八节 纯电容交流电路.....	(130)
第九节 电阻和电感串联的交流电路.....	(133)

第十节 电阻和电容串联的交流电路	(136)
第十一节 电阻、电感和电容串联的交流电路	(139)
第十二节 提高功率因数的意义	(144)
第十三节 交流电路中的实际元件	(148)
小结	(150)
习题	(154)
第八章 应用复数计算正弦交流电路	
第一节 复数的概念	(157)
第二节 用复数表示正弦量	(159)
第三节 欧姆定律的复数形式、复阻抗及复导纳	(161)
第四节 阻抗的串联	(165)
第五节 阻抗的并联	(167)
小结	(171)
思考题	(172)
习题	(173)
第九章 三相正弦交流电	
第一节 三相交流电动势的产生	(175)
第二节 三相电源的连接	(177)
第三节 三相负载的连接	(179)
第四节 三相交流电的功率	(185)
第五节 保护接地与保护接零	(188)
小结	(189)
习题	(190)
第十章 互感线圈的连接及变压器	
第一节 互感线圈的串联和并联	(191)
第二节 铁心变压器的构造	(194)
第三节 变压器的工作原理	(196)
第四节 常用变压器	(201)
第五节 铁心变压器的功率和效率	(203)
第六节 小型电源变压器的设计	(204)
小结	(212)
习题	(214)
第十一章 感应电动机	
第一节 三相异步电动机的工作原理	(215)
第二节 三相异步电动机的起动	(218)
第三节 单相感应电动机的工作原理与结构	(220)
小结	(222)
习题	(223)
第十二章 谐振电路	
第一节 串联谐振电路	(224)

第二节	谐振电路的选择性	(228)
第三节	并联谐振电路	(231)
第四节	串并联谐振电路	(234)
第五节	耦合谐振电路	(236)
	小结	(241)
	习题	(244)
第十三章 非正弦交流电		
第一节	非正弦交流电的产生	(246)
第二节	谐波分析法	(247)
第三节	非正弦交流电路的分析与计算	(251)
第四节	非正弦交流电路的平均值、有效值及功率	(256)
第五节	滤波器的概念	(258)
	小结	(260)
	习题	(260)
第十四章 线性电路中的过渡过程		
第一节	电路的过渡过程与换路定律	(263)
第二节	RC电路的过渡过程	(266)
第三节	RL电路的过渡过程	(272)
第四节	LC振荡电路	(275)
	小结	(277)
	习题	(278)
电工原理实验		
实验一	基尔霍夫第一定律	(281)
实验二	基尔霍夫第二定律	(282)
实验三	非理想电源的外特性	(283)
实验四	载维南定理	(283)
实验五	电源向负载输送最大功率的条件	(284)
实验六	叠加原理	(285)
实验七	直流电桥的平衡条件	(286)
实验八	电容器的充电和放电	(287)
实验九	电容器的充电特性	(288)
实验十	电容器的放电特性	(289)
实验十一	R-L串联电路	(290)
实验十二	R-C串联电路	(291)
实验十三	三相电路	(292)
习题答案		(295)

第一章 电路基础

本章先介绍库仑定律、静电场，然后介绍电路的组成、电阻、电流、电压及电功率的物理意义及规律，从而对电路建立起一个较完整的基本概念。

第一节 电荷、库仑定律

一、电 荷

世界上的一切物质都是由许许多多的分子组成的。各种分子又是由更小的微粒——原子组成的。例如水是由水分子组成的，水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的。原子还可以继续分成一个原子核和一些电子。原子核带正电，电子带负电。在通常的情况下，电子又分别在若干层不同的轨道上围绕着原子核不停地运动。由于原子所带的正、负电荷总数是相等的，因此物质不显电性。

由于摩擦或者其它种种原因，可以使某一物体上的电子转移到另一物体上。例如当用丝绸摩擦玻璃棒时，棒中的电子摆脱了它的原子核的束缚脱离玻璃棒进入丝绸中，失去电子的玻璃棒带上了正电，得到电子的丝绸带上了负电。物体失去电子后带有正电荷，获得电子后带有负电荷。电荷是一种客观存在的物质，它既不能创造，也不能消灭，只能从一个物体转移到另一个物体上。可见物体得到或失去电子越多，它所带的电荷也越多。在原子核中带正电的粒子叫做质子。电子和质子带有不同种类的电荷，它们所带的电荷数量是相等的，也是最小的电荷。电量是表示带电体所带电荷多少的一个物理量。通过实验可以测出一个电子的电量

$$e = -1.60 \times 10^{-19} \text{ 库仑}$$

所有带电体只能带电子电量的整数倍，因此人们自然地把 1.60×10^{-19} 库仑叫做基本电荷。库仑是国际单位制中电量的单位，这个单位比较大，比如说一个物体如果带有一库仑的正电，就说明它失去了625亿亿个电子。

二、库仑定律

实验告诉我们，带电体互相靠近时会显示出力的作用，即同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。1785年法国物理学家库仑用实验研究了静止的点电荷间的相互作用力，总结出库仑定律。真正的点电荷是不存在的，但如果带电体间的距离比它们的大小大得多，这样的带电体就可以看成点电荷。

库仑定律的内容是：在真空中两个点电荷之间的作用力和这两个点电荷所带的电量的乘积成正比，和它们之间的距离的平方成反比，作用力的方向在它们的连线上。库仑定律可以表示为

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

式中 q_1 和 q_2 ——两个点电荷的带电量，单位库仑 (C)；

r ——两点电荷间距离，单位米 (m)；

K ——比例常数；

F ——两个点电荷相互作用力，单位牛顿 (N)。

公式 (1-1) 中，应用国际单位制

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

式中 ϵ_0 ——真空中介电常数，也称为真空中的电容率，其数值为 8.85×10^{-12} 库仑²/牛顿·米²。通过计算，式 (1-1) 中 K 值应为 9.0×10^9 牛顿·米²/库仑²。如果点电荷放在电介质中，电荷之间的相互作用力相应减少到真空中的 $\frac{1}{\epsilon}$ ，即

$$F = K \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$$

式中 ϵ 叫做介电常数，其大小由电介质决定 (见第四章第一节)。电荷间的作用力叫静电力，又叫库仑力。静电力的方向如图 1-1 所示。

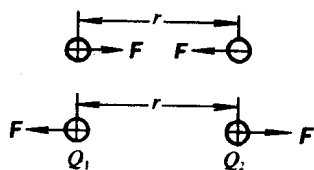


图 1-1 两点电荷之间的作用力

例题 两个电量分别为 1×10^{-8} 库仑和 2×10^{-8} 库仑的点电荷，相距 0.3 米，每个电荷受到的静电力是多大？

解： $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times 10^{-8} \times 2 \times 10^{-8}}{0.3^2} = 2 \times 10^{-5} \text{ (N)}$$

题中两个点电荷是同种的，则相互作用力是斥力。每个电荷都受到对方在它们连线的 2×10^{-5} 牛顿的斥力。

在应用库仑定律时，可以不把电荷的符号代入公式，计算出结果后再根据电荷的正负确定相互作用力的方向。库仑定律不能直接用于带电体相互作用力的计算。

第二节 电场、电场强度

一、电 场

人们推车时，手和车子直接接触，手的力作用在车上，车对手有一个反作用力，这个反作用力作用在手上，手和车之间产生了力的相互作用，这是常见的现象。而两个带电体没有发生接触，就产生了力的相互作用，这种现象怎样解释呢？原来电荷之间的相互作用是通过一种别的物质作媒介发生的。这种特殊的物质就是电场。有了电场的概念，A、B

两电荷的相互作用可以认为是： B 电荷周围空间的电场对 A 电荷有作用，或者 A 电荷周围空间的电场对 B 电荷有作用。静止电荷所产生的电场，叫做静电场。电场最基本的特性是它对放入其中的电荷发生力的作用。现在来分析这个问题。

二、电场强度

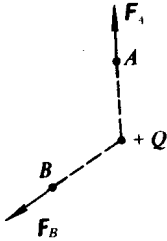


图1-2

设有一个正电荷 Q 在真空中形成电场(图1-2)。我们把另一个电荷 q 放在电场中的 A 点， q 就要受到 Q 形成的电场的作用力 F_A 。如果再把另一个正电荷 q' 放到 A 点， q' 也会受到 Q 形成的电场的作用力 $F_{A'}$ 。在上面的情况下，电荷 Q 被称为场电荷，而电荷 q 和 q' 称为检验电荷。检验电荷是带正电且电量极小的点电荷，由于电量足够小，才不至于因它的存在影响原来电场的分布。

把若干个检验电荷 q 、 q' 、 q'' 等放在电场中的 A 点，这些电荷受的力与它本身所带的电量成正比，即满足

$$\frac{F_A}{q} = \frac{F_{A'}}{q'} = \frac{F_{A''}}{q''} = \dots$$

对不同的点，这个比值也不一定相等。

因此，放入电场中某一点的电荷受到的电场的作用力跟它的电量的比值，叫做这一点的电场强度，写成

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} \quad (1-2)$$

式中 \mathbf{F} —检验电荷受到的电场力，单位牛顿；

q —检验电荷的电量，单位库仑；

\mathbf{E} —电场强度，单位牛顿/库仑(N/C)或伏特/米(V/m)。

电场强度简称场强，它的数值与检验电荷的大小无关，仅与电场的分布有关。与力一样，场强是一个矢量(矢量符号用黑体表示)，它的方向就是正电荷在该点的受力方向，如图1-3所示，场强的方向跟正电荷受力的方向相同，跟负电荷受力的方向相反。

在真空中，距离点电荷 Q 为 r 处 P 点的场强大小可以根据场强的定义及库仑定律求出：

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} = \frac{K \frac{qQ}{r^2}}{q} = K \frac{Q}{r^2} \quad (1-3)$$

如果在空间有几个点电荷存在，对于空间一点的场强应是这几个点电荷分别在该点产生的场强的矢量和。例如图1-4中 P 点的场强 \mathbf{E} 就等于 Q_1 在该点产生的场强 \mathbf{E}_1 和 Q_2 在该点产生的场强 \mathbf{E}_2 的矢量和，即

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$$

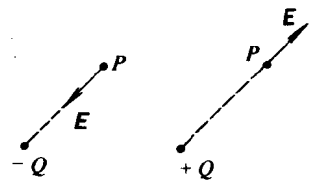


图1-3 电场强度的方向

三、电力线

为了使电场中各点的场强大小能形象地表示出来，一般引入假想的电力线来表示电场。凡是场强大的地方，就把电力线画得密一些，场强小的地方电力线画得稀一些。我们

把从正电荷出发到负电荷终止、其曲线上每一点的切线方向都跟该点电场强度方向一致的这样一些曲线叫做电力线。图1-5是一条电力线，它上面的A、B点的场强 E_A 、 E_B 在各该点的切线上，方向如图中箭头所示。

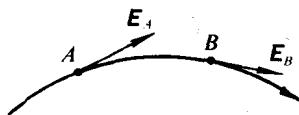


图1-5

电力线的形状可以用实验来观察。把少量锯末撒在橄榄油里，搅拌均匀，再放入电场中。木屑会按照电场强度的方向排列起来，就可以形象地显示出电力线。图1-6表示出了点电荷的电力线。

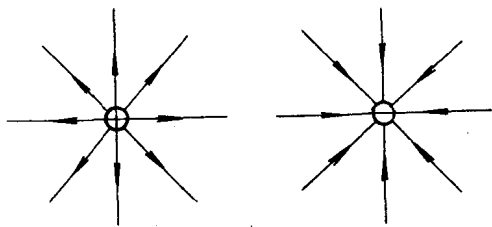


图1-6 点电荷的电力线

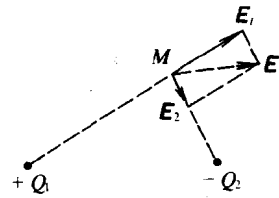


图1-4 电场的叠加

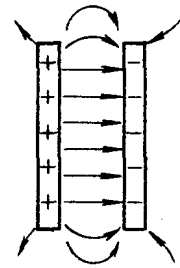


图1-7 两个带异种电荷平行金属板间的电力线

如果把两块平行板带上等量异种电荷，可以得到图1-7用电力线表示的电场，该电场中电力线是一组近似的平行线。我们把各点场强大小相等、方向相同的电场叫匀强电场。两块靠近的大小相等互相正对并且互相平行的金属板，在分别带有等量的正电和负电的时候，它们之间的电场，除边缘附近外，就是匀强电场。匀强电场中的电力线，是距离相等的互相平行的直线。

第三节 静电平衡与静电屏蔽

一、静电感应

导体的特征是它的内部有大量的可以自由移动的自由电荷。对于金属导体来说，这种自由电荷就是自由电子。在金属中，它的原子的最外层电子跟原子核联系很弱。这些电子在其它原子的作用下脱离了原来的原子，而在整块金属中自由“游荡”，成为自由电子。失去了外层电子的原子变成带正电的离子，在平衡位置附近做热振动。

把不带电的支撑在绝缘座上的导体A移近带电体B，导体A内部的自由电子受到带电体B的电场力作用将发生定向移动，使导体A靠近带电体的部分产生与带电体相反的电荷，

而远离带电体的部分产生与带电体同种的电荷。这时用手指接触一下A后，移开手指，远端的同种电荷被人体导走，导体A就带上与带电体相反的电荷。这种带电的方法叫感应带电。任何导体放在电场中都会使导体内部电荷产生重新分布的这种现象叫静电感应。

二、静电平衡

把金属导体放进场强为 E_0 的电场，如图1-8所示，结果使导体的两端出现正负电荷，这些正负电荷产生一个附加电场 E' 。由于 E' 和 E_0 的方向相反，它们相叠加的结果削弱了导体内部电场。只要合场强 E 不等于零，导体内电荷就继续移动， E' 增大，直到合场强为零为止。这时自由电子定向移动就停止了。导体中（包括表面）没有电荷的定向移动的状态叫做静电平衡状态。

处于静电平衡状态下的导体有如下几个特点：

(1) 导体内部场强必定处处为零。

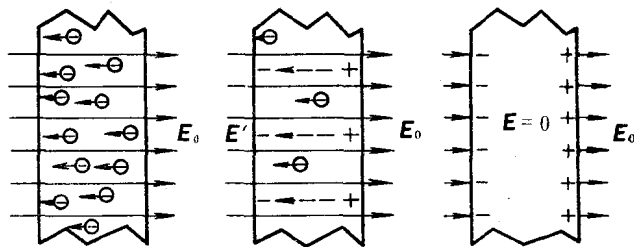


图1-8

(2) 导体表面的电力线垂直于导体表面。这就是说导体表面的场强垂直于导体，否则导体中的电荷还会定向移动。

(3) 导体所带的净电荷分布在导体的外表面上。所谓净电荷就是导体内不被抵销的电荷。通过图1-9所示的实验可以验证净电荷分布特征。

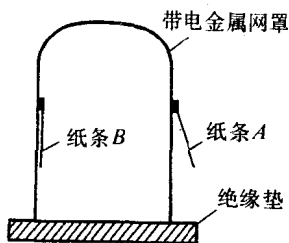


图1-9 净电荷分布在导体外表面上

把一个金属网罩放在绝缘台上，在网的内外两侧各贴一纸条。使金属网带上电以后，网外侧的纸条张开，而网内侧的纸条不会张开。

三、静电屏蔽

利用导体静电平衡时内部场强为零这一现象，可在技术上实现静电屏蔽。

如果把一空腔导体放在静电场中，电力线将垂直终止于导体表面而不能穿过导体进入内腔，即空腔内部场强为零。如图1-10所示。这时放在空腔内的物体，不受外电场影响。

如果在空腔导体内放一带正电的物体，如图1-11

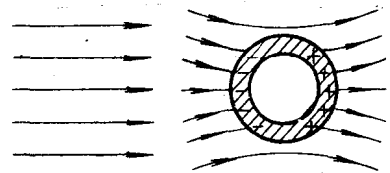


图1-10 空腔导体在静电场中

(a) 所示, 由于静电感应, 空腔内壁感应出负电荷, 空腔外部感应出正电荷。此时将金属外壳接地, 外表面的正电荷消失, 向外的电力线也消失了, 如图 1-11 (b) 所示, 使空腔内电场不会对外面空间有影响。

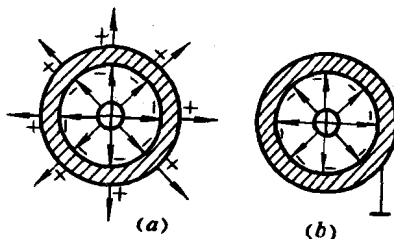


图1-11 带电体在空腔导体内

由此可见, 接地的空腔导体可以隔离内外静电场的影响, 这就是静电屏蔽原理。在高压带电自由作业时, 操作者所穿的“均压服”, 是用铜丝与棉线交织而成的, 均压服就起屏蔽作用, 使人免受超高压电场影响。晶体管常用金属外壳罩起来, 也是为了不受外来电场影响。

第四节 带电粒子在匀强电场中的运动

带电粒子在电场中要受到电场力的作用, 产生加速度, 使速度的大小、方向发生变化。在现代科学实验和技术设备中, 常用电场来改变或控制带电粒子的运动。这种应用大致可以分为两种情况, 一是利用电场使带电粒子加速, 一是使带电粒子偏转。

一、带电粒子的加速

设有一对平行金属板相距为 d , 给两板分别带上等量异种电荷, 板间产生匀强电场 E 。若在图 1-12 (a) 中, 带正电荷的粒子 q 处在 A 板内侧, 它受到电场力 $F = Eq$ 的作用, 使它沿电场方向向右移动, 即电场力对电荷 q 做功, q 的动能增加。

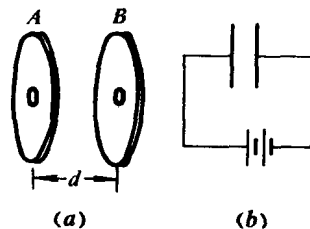


图1-12

如果 q 由静止开始运动, 则电场力在距离 d 内做功为

$$W = Fd = Eqd \quad (1-4)$$

实际上我们可采用图 1-12 (b) 的办法把两个平行板分别接到电池的正负极上, 产生板间电场。在这种情况下, 两板所加电压 U 与其间场强成正比, 即 $U = Ed$, 做功的大小可表示成

$$W = Uq \quad (1-5)$$

(此式在第七节中还要讲到) 电场力做功使质量为 m 的带电粒子获得速度 v , 即电场力做功全部转化成粒子的动能

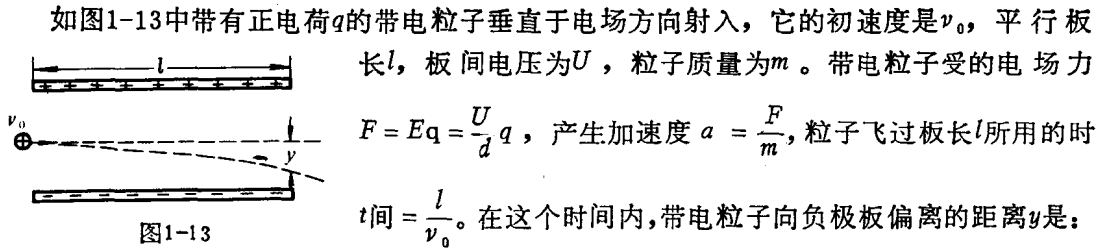
$$Uq = \frac{1}{2}mv^2$$

可以表示成

$$v = \sqrt{\frac{2Uq}{m}} \quad (1-6)$$

我们从图 1-12 (a) 可以看出, 平行板外无电场, 正电荷若从 A 板小孔开始加速, 会从 B 板小孔穿出并保持其匀速直线运动状态。对于非匀强电场的情况, 式 (1-6) 也是适用的。

二、带电粒子的偏转



$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \frac{F}{m} \times \frac{l^2}{v_0^2} = \frac{Ul^2q}{2mdv_0^2} \quad (1-7)$$

对于一定的带电粒子束， m 、 v_0 、 q 是一定的，要想使偏转量 y 变化，就要适当选择两板之间电压 U 、板间距 d 、板长 l ，才能使 y 符合预定的要求。

示波管是利用电场加速、偏转电子的实例。图1-14是示波管内主要构造图。炽热的金属丝 M 前有带孔的金属板，它们之间是加速电子的电场。被加速的电子流前进的路径上有一对水平放置的电极 A 及一对竖直放置的电极 B 。这两对电极使电子流发生偏转，电子流打到荧光屏上的亮点位置不会再与金属板孔心正对。由于亮点偏移量与偏转电极上的电压成正比，所以可以用示波管测量偏转电极所加电压的大小。除了用电场使带电粒子束偏转外，利用磁场也能达到这个目的，这在以后还要讲到。

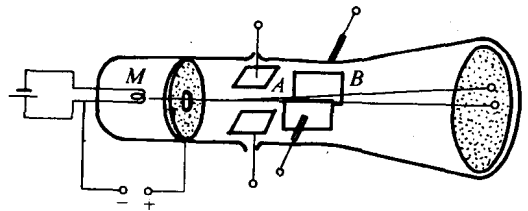


图1-14示波管示意图

第五节 电路、电源电动势

一、电 路

电路就是电流所流经的路径。图1-15(a)示出了一个最简单的电路。它由电池、小灯泡、导线和开关几部分组成。一般地说，一个电路由以下四个部分组成：

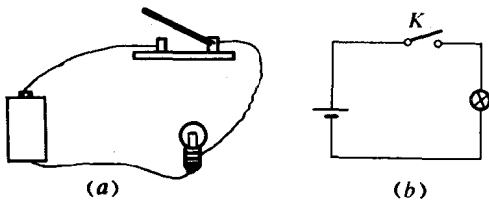


图1-15简单电路

电源—供给电路电能的设备，其作用是将其它形式的能转变成电能。图1-15(a)中的电池就是电源的一种。

负载—各种用电设备的总称，其作用是把电能转化成其它形式的能。图1-15(a)中的小灯泡就是一种负载。

连接导线—用来传输与分配电能，把电源负载联成回路。

连接导线—用来传输与分配电能，把电源负载联成回路。

控制电器——用来控制电路的通断并保护电源与负载不受损坏，开关、保险丝、继电器都是控制电器。

在研究分析电路时，画实物图很不方便，一般把图1-15(a)画成图1-15(b)的形式，即应用电路图符号画电路图。常用的电路图符号见表1-1。

表1-1 电路图常用符号

名称	符号	名称	符号
干电池或蓄電池		伏特表	
电 灯		接机壳	
开 关		保 险 丝	
电 流 表		电 阻	

二、电源电动势

干电池、蓄電池、发电机等都是电源。在电路中由于电源的存在使电路中有持续的电流通过，并使电路产生和保持一定的电压，它们是怎样发生这种作用的呢？

图1-16是一个电源示意图。象所有的电源一样，该电源有正负极，设A为正极板，B为负极板。我们把电源以外的电路叫外电路，电源内部的电路叫内电路。在外电路由于正电荷不断地由电源正极出来通过负载回到电源的负极，两极间的电场就会减弱，并很快消失。电荷不受电场的作用，不会自然发生运动，电流也就停止了。电源的工作就是把正电荷从B极移送到A极，或者把负电荷从A极移送到B极。为了使问题简化，我们只讨论移送正电荷的情况。要把正电荷通过内电路移送到A极，一定要有一种力反抗B板对正电荷的引力，这种力一定不是静电力，我们就叫它非静电力。在蓄電池中，这种非静电力是化学作用，发电机的非静电力来自电磁作用。由于电源的这种作用，才产生并保持了两极之间的电场，使正电荷不断地在内外电路中运动，产生持续电流。

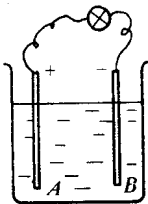


图 1-16

非静电力在电源内把正电荷从负极板移送到正极板，要克服极板间电场力做功。这个做功的过程，实际上就是把其它形式的能转化成电能的过程。因此，从能的转化观点来看，电源就是把其它形式的能转化为电能的装置。电池是把化学能转化为电能的装置，发电机是把机械能转化为电能的装置。

对于同一个电源来说，非静电力把一定量的正电荷从负极移送到正极所做的功，是一