



化工技工学校试用教材

电 工 学

天津市化工局技工学校

王荣华 主编

化 学 工 业 出 版 社

内 容 提 要

《电工学》一书共分十五章。主要篇幅是介绍电路的基本概念、基本规律和基本的分析方法。其中,第二章~第四章是直流电路部分,第八章~第十一章是正弦交流电路部分,第十二章是电路的过渡过程简介。为了将以上内容顺利展开,前后穿插安排了第一章静电场、第五章电容器,第六章磁场;磁路,第七章电磁感应。本书另外三个较小的篇幅是第十三章变压器;电动机、第十四章常用的电工测量仪表、第十五章安全用电常识。

本书为化工技工学校化工仪表专业的教材,也可作为化工仪表中级技术工人在职培训的教学参考书。

化工技工学校试用教材

电 工 学

天津市化工局技工学校

王荣华 主编

责任编辑:施承薇

封面设计:任 辉

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张15字数331千字印数1—19,170

1986年6月北京第1版1986年6月北京第1次印刷

统一书号15063·3841(K-300)定价1.90元

前 言

为了适应我国化学工业现代化对仪表工人技术素质的要求,提高技工教育质量,在化工部统一组织下,仪表专业教材编委会编写了《电工学》、《化工测量仪表》、《气动单元组合仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化基础》等第一批统编教材,供化工技工学校 and 中级技术工人培训使用。

本书是根据化工部颁发的技工学校化工仪表专业《电工学教学大纲》编写的,全书分为十五章,与技工学校《物理学》衔接,为《工业电子学》及各门专业课准备技术基础知识,加强了基本技能的训练。每章都附有一定数量的思考题和习题。

本书由天津化工局技工学校王荣华主编,经上海吴淞化工厂技校徐超雄、吉林化工技校李晏新、无锡化工技校沈文进、兰州化工技校方天钊审议,全书由兴平化工技校孟立主审。

本教材在编写过程中也得到天津化工局技校电工学教师王淑芬、房文栋、张大欣,电子学教师王之桐,赵春华,仪表专业教师杨健等同志的帮助指导,在此表示谢意。

由于编者的水平所限,书中难免有不妥乃至错漏之处,敬请读者批评指正。

编者

一九八五年一月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 静电场	4
第一节 电荷、库仑定律	4
第二节 电场、电场强度	8
第三节 电位能、电位	13
第四节 静电感应、静电屏蔽	23
思考题	27
习 题	27
第二章 电路的基本知识	29
第一节 电路中的主要物理量	29
第二节 电阻元件及它的伏安关系	36
第三节 影响电阻的因素	41
第四节 电动势及全电路欧姆定律	45
第五节 电功及电功率	52
第六节 电流的热效应、设备及器件的额定值	58
思考题	60
习题	61
第三章 简单直流电路	65
第一节 基尔霍夫定律	65
第二节 电阻的串联电路	72
第三节 电阻的并联电路	77
第四节 电阻的混联电路	82
第五节 电路中各点电位的计算	85

思考题.....	91
习题.....	93
第四章 复杂电路的分析方法	101
第一节 支路电流法.....	102
第二节 网孔电流法.....	106
第三节 迭加定理.....	110
第四节 电流源与电压源的等效变换.....	113
第五节 戴维南定理.....	119
思考题.....	125
习题.....	125
第五章 电容器	130
第一节 电容器及电容.....	130
第二节 电容的伏安关系.....	137
第三节 电容的串联和并联.....	142
第四节 电容器的贮能.....	148
思考题.....	150
习题.....	151
第六章 静磁场、磁路的基本知识	154
第一节 电流的磁场右手螺旋定则.....	154
第二节 磁感应强度.....	160
第三节 磁路及磁路的欧姆定律.....	162
第四节 磁性材料及其特性.....	165
第五节 直流磁路计算简介.....	171
第六节 磁场对电流及运动电荷的作用.....	174
第七节 电磁铁及其应用.....	181
思考题.....	182
习题.....	183
第七章 电磁感应	187
第一节 感生电流、楞次定律.....	187

第二节	感生电动势、法拉第电磁感应定律	192
第三节	自感应、电感的伏安关系	198
第四节	互感应、互感线圈的同名端	206
第五节	电感的贮能	214
第六节	电磁感应的应用	215
思考题		218
习题		220
第八章	正弦交流电路的基础知识	224
第一节	正弦交流电的产生	224
第二节	正弦量的三要素、同频率正弦量的相位关系	227
第三节	正弦量的有效值、平均值	241
第四节	电阻的伏安关系及功率	244
第五节	电容的伏安关系及功率	250
第六节	电感的伏安关系及功率	257
第七节	交流电路中的实际器件	262
思考题		265
习题		266
第九章	符号法简介	269
第一节	正弦量的复数表示法、相量图	269
第二节	“ R ”、“ L ”、“ C ”伏安关系*的相量关系	275
第三节	R - C 串联电路	281
第四节	R - L 串联电路	291
思考题		302
习题		303
第十章	谐振	307
第一节	电谐振的基本概念	307
第二节	电压谐振	308
第三节	电流谐振	317
第四节	谐振的利弊	325

思考题	328
习题	329
第十一章 三相正弦交流电路	332
第一节 三相正弦交流电的产生	332
第二节 对称三相电源的联接方式	334
第三节 对称三相负载的联接方式	339
第四节 对称三相负载的功率	343
思考题	345
习题	346
第十二章 过渡过程简介	348
第一节 过渡过程及换路定律	348
第二节 RC 电路的过渡过程	350
第三节 RL 电路的过渡过程	364
第四节 振荡电路及振荡规律	369
思考题	373
习题	374
第十三章 变压器、电动机	377
第一节 变压器	377
第二节 小功率变压器的简易设计	386
第三节 三相异步电动机	399
第四节 可逆电机	406
第五节 同步电机	412
第六节 步进电机	417
思考题	421
习题	422
第十四章 常用的电工测量仪表	424
第一节 磁电式、电磁式、电动式仪表	424
第二节 直流电位差计	433
第三节 直流单臂电桥	439

第四节 万用表	444
思考题	454
第十五章 安全用电	456
第一节 触电及急救	456
第二节 保护接地与保护接零	459
思考题	462
附录 复数的四则运算	463
习题答案	467
主要参考书目	470

绪 论

电能有着广泛的应用，它是现代化生产的基础，其表现有如下三个方面：一、各种生产机械的动力来源主要是依靠电力。如机床、轧钢机、电力机车及化工生产中物料输送和搅拌等等，都是用电动机来驱动。二、一些电磁规律为多种生产技术提供了先进的工艺原理。如焊接技术、高频淬火技术、高频熔炼技术、电加热、电腐蚀加工等等。三、以电磁及电子技术为基础的电磁器件为各种自动化设备和系统提供了基本的控制及逻辑器件。如一台大型的龙门刨床中，仅继电器及接触器就有三十余件。总之，现代化的生产都离不开电能的应用。

电能的应用所以如此广泛，其关键是它具有三个方面的特点，其一，电能易于获得和转换。例如，依靠水力发电机能够将水的重力位能转换成电能，依靠火力发电机可将热能转换成电能，化学电池可将化学能转换成电能，光电池可将光能转换成电能……。反之，电能也易于转换成其它形式的能量。如电炉、电烙铁是把电能转换成热能，电灯能把电能转换成光能，扬声器能把电能转换成声能……。其二，电能便于输送及分配。由发电厂（站）生产的电能依靠高压输电网可向远方高效率的输送，工厂把接收下来的电能，依靠供电线路可方便地分配给各种用电设备。其三，电能易于控制，且灵敏，这是因为电磁场的传播速度极快，达每秒三十万公里，使得电信号的传递非常快。再者，一些电磁控制器

件，尤其是用电子电路制成的控制或逻辑器件具有动作快、惯性小、反应灵敏的特点，使得电能的控制与利用非常方便可靠。例如，一个电磁阀门，操作人员可在距离现场很远的地方，通过比较简单的电路就能实现远距离控制。这种装置，开关动作迅速，且降低了操作人员的劳动强度。

由电能的特点所导致的电能广泛应用，使它无论是在生产力的开发，还是在劳动生产率的提高上都发挥着巨大的作用。因此，让电能充分利用，使生产与科学技术实现电气化是国民经济高速度发展的必要条件，是我国实现四个现代化不可缺少的因素。

化学工业是整个工业体系中的一个重要的组成部分，随着科学技术的不断发展，化学工业对其生产过程中各种参数（压力、温度、流量、物位）的控制与调节的要求越来越高。化工自动化技术就是针对这一要求而逐渐形成的。化工自动化技术主要是通过各种化工仪表及一些辅助的机电器件来实现对工艺参数的控制与调节。其中，电动仪表是以电磁技术与电子技术为基础来实现其技术要求的。因此，从事于化工自动化的技术工人，要想正确地使用和维护电动仪表，就必须掌握这些仪表的工作原理及技术要求。然而，要掌握这些知识必须在过去物理课的基础上，进一步学习电工学。再者，学好电工学并为今后学习电子学以及化工检测仪表、电动调节仪表等课程奠定坚实的基础。因此，电工学是一门很重要的技术基础课。

针对我们专业的特点及实际的需要，本书主要的篇幅是介绍电路磁路问题中的基本概念、基本理论及基本的计算技能。电路与磁路是以电路为主。同时，还简要介绍了一些比较重要的机电器件，目的是为专业课的学习创造条件。另

外，还比较重点的介绍一些常用的电工测量仪表，这些电工仪表是化工仪表维护工作中不可缺少的工具。

电工学是一门理论性和系统性较强的课程。它与生产实际有着密切的联系。学习电工学时，要注意以下几点：

一、基本概念及基本理论要深刻理解，牢固掌握。在此基础上，循序渐近，系统地进行学习。电工学中的公式较多，但也要注意公式的使用条件、适用范围及物理量之间的关系。要注意公式推导的物理基础以及推导过程的思路，公式切不可死记硬背。

二、要注意理论和实际的结合，联系实际地思考理论问题。在学习电工技术的应用部分以及遇到实际问题时，要注意知其然也知其所以然，避免只注意实际而忽视理论的倾向。另外，必须重视电工实验，通过实验巩固所学的理论，加深对理论的理解。并学会一定的实际操作技能。

三、通过习题课、习题、作业的练习、实验报告的书写等，掌握必要的电工计算技能和熟悉分析电路的基本方法。

总之，我们只要认真学习、刻苦钻研，电工学这门课也是一定能够学习好的。

第一章 静 电 场

本章的任务是重点的介绍静电学中的一些基本概念及基本规律，其目的是为今后学习电路理论及掌握一些电工技术奠定必要的基础。

第一节 电荷、库仑定律

一、电荷

人们对电的认识来源于对一些电现象的观察。摩擦起电就是人们较早接触到的一种电现象。一些物体经过摩擦之后，具有了吸引轻小物体的能力，其原因是物体受到摩擦的影响而带上了电，或是说带上了电荷，这就是所谓的摩擦起电现象。

电荷存在于自然界中只有正电荷与负电荷两种。物体无论是带上了正电荷，还是带上了负电荷，对外都将显出电性。这种状态下的物体都称为带电体。

一般情况下，物体对外不显电性。而物体受到某种影响时，带上了电荷，显示出电性，这是物体本身的电结构所导致的。

一般的物质都是由分子组成的，分子又由原子组成。而原子是由带正电荷的原子核及围绕它旋转的一些带负电荷的电子所组成。这就是物质的电结构。

在平常不受外来影响的情况下，由于原子核所带正电荷的数量与核外所有电子所带负电荷的数量是相等的。整个的

原子呈电中性。那么，由原子组成的物体对外必然不显示电性。

用摩擦和其它的一些方法使物体能够带上电荷，是因为通过某种方法可以使某一个物体失去电子，也可以使某一个物体得到电子。失去了电子的物体有了过剩的正电荷，处于带正电的状态，而得到电子的物体有了过剩的负电荷，处于带负电的状态。这样便形成了带正电及带负电的两种带电体。

带电体所带电荷的多少用电量这个物理量来表示，电量的代表符号是 Q (或是 q)。在国际单位制中，电量的单位是库仑，其代表符号为 c 。1 库仑电量的数值相当于 6.25×10^{18} 个电子电量的数值。电子的电量常用符号 e 表示：

$$e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ 库仑}$$

二、库仑定律

人们通过长期的电现象的观察，发现带电体之间存在着相互作用，并以“同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引”这句话概括的描述了带有不同性质电荷的带电体相互作用的规律。至于，如何精确的描述两个带电体之间的相互作用，直到库仑定律发现后，才有了定量解决这种问题的基础。

库仑定律的内容是：真空中，两个点电荷之间的作用力的大小与它们所带电量的乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比；作用力的方向在它们的连线上，其方向由电荷的性质所决定。如图1-1(a)(b)所示。该定律的数字表示式为

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

式中 K 为比例系数在国际单位制中

$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ($\epsilon_0 = 8.9 \times 10^{-12}$ 库²/牛·米²称为真空的介电

系数) 故式 (1-1) 也可写为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\epsilon_1\epsilon_2}{r^2} \quad (1-2)$$

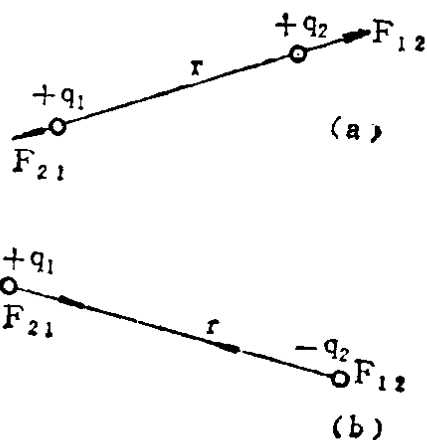


图 1-1

在此需指出：定律中所讲的点电荷不要误认为是几何点。如果带电体本身的几何尺度与两带电体之间的距离相比可以忽略不计时，这样的带电体就可以看作为点电荷。

式 (1-1) (1-2) 所表示的只是真空中两个点电荷之间的相互作用力的公式。如果点电荷不是在真空中，而是在其

它的均匀的介质中(如空气、煤油、纯水、陶瓷、云母……)、点电荷之间的作用力就会因介质的不同而有不同程度的减小。任意介质中，库仑定律的数学表示式应写为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1q_2}{r^2} \quad (1-3)$$

式中 ϵ_r 是介质相对于真空的介电系数，简称相对介电系数，它是介质的介电系数 ϵ 与真空的介电系数 ϵ_0 之比，即 $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ 。表1-1给出了几种常见介质的相对介电系数。

例1-1 真空中有两个均匀带电的球体A和B。A的直径为5厘米，所带的电量 $q_A = 2 \times 10^{-8}$ 库伦，B的直径为8厘米，所带的电量 $q_B = 4 \times 10^{-8}$ 库伦，A、B之间相距3米。问

表 1-1

电 介 质	相对介电系数 ϵ_r	电 介 质	相对介电系数 ϵ_r
空 气	1.0005	瓷	5.7~6.8
水	78	纸	3.5
云 母	3.7~7.5	聚 乙 烯	2.3
玻 璃	5~10		

每个带电球体所受的库仑力是多少？

解：由于两个球体的几何尺度与它们之间的距离相比小得多，两个带电球体可看作为电荷，故库仑定律可直接应用。

根据式 (1-2)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1\epsilon_2}{r^2}$$

可有

$$F = \frac{1}{4\pi \times 8.9 \times 10^{-12}} \times \frac{2 \times 10^{-8} \times 4 \times 10^{-8}}{3^2}$$

$$= 7.95 \times 10^{-7} \text{ (牛顿)}$$

由于两个带电球体所带的电荷均为正电荷，故每个球体均受到对方在它们的连线上 7.95×10^{-7} 牛顿的斥力。

最后需要说明的是：库仑定律与万有引力定律很相似。人们目前虽然还未能说明这两个定律为什么如此相似，但这种相似是客观的。因此，它可使我们借助于力学的比喻（或是说，借助于力学来模仿）去理解许多电学的问题，从而给我们分析和研究电学问题带来一定的方便。

第二节 电场、电场强度

一、静电场

通过库仑定律的学习可以看到：两个带电体之间，即使有着一定的距离，而它们之间的相互作用是客观存在的。我们知道，带电体是带上了电荷的物体，带电体之间的相互作用实质上是电荷之间的相互作用所至。这里不妨要问：没有直接接触的电荷之间，其相互作用是怎样发生的呢？

两个物体间的相互作用，或者是由于直接接触而发生，或者是通过别的物质作媒介而发生，二者必居其一。具有一定距离的两个电荷发生相互作用，显然没有进行直接的接触，因此，它们之间的相互作用，肯定是通过某种特殊的物质作媒介而发生的。我们把这种特殊的物质称为静电场（以后简称为电场）。

电荷与电场是相互依存的。只要有电荷存在，在电荷的周围就存在着电场。

按照这样的观点，两个不相接触的带电体 A 和 B 之间的相互作用应做如下的解释：带电体 A 的周围有自己的电场，带电体 B 的周围也有自己的电场，这两个电场同时存在于空间中。带电体 B 所受到的力是带电体 A 的电场施予的电场力，而带电体 A 所受到的力是带电体 B 的电场施予的电场力。

电场这种物质。跟常见的由原子，分子组成的物质不同。看不见，摸不着，好像不好理解，这就是它特殊性的一面。其实，电场与其它物质一样都是不依赖于我们的感觉而客观存在的东西，并且也都是在跟其它物体发生相互作用时表现出自己的性质。我们只要从电场表现出来的一些性质出发，加以分析研究，我们就可以认识电场，了解电场。

二、电场强度

电场的基本性质之一就是它对放入电场中的电荷发生力的作用。现在我们从这一性质出发来研究和认识电场，并进一步的描述电场。

为了精确、定量地研究电场中任何一点的性质，可以通过试验电荷 q_0 来进行。试验电荷是一种电量足够小的点电荷。具体地说，就是它的电量与场源电荷

（形成所研究的电场的电荷）的电量相比是足够小。

如图（1-2）所示*。假设有一个正的点电荷 Q 在真空中形成的电场，我们将试验电荷 q 放入电场中的 a 点， q 就要受到电场力 F_a 的作用，设 a 点与 Q 的距离为 r_1 ，从库仑定律

可知， $F_a = K \frac{Qq}{r_1^2}$ 。同样，如果把另一个试验电荷 q' 换取

q ，也放入 a 点， q' 受到的电场力 $F'_a = K \frac{Qq'}{r_1^2}$ 。可以看出

$$\frac{F_a}{q} = \frac{F'_a}{q'} = K \frac{Q}{r_1^2}$$

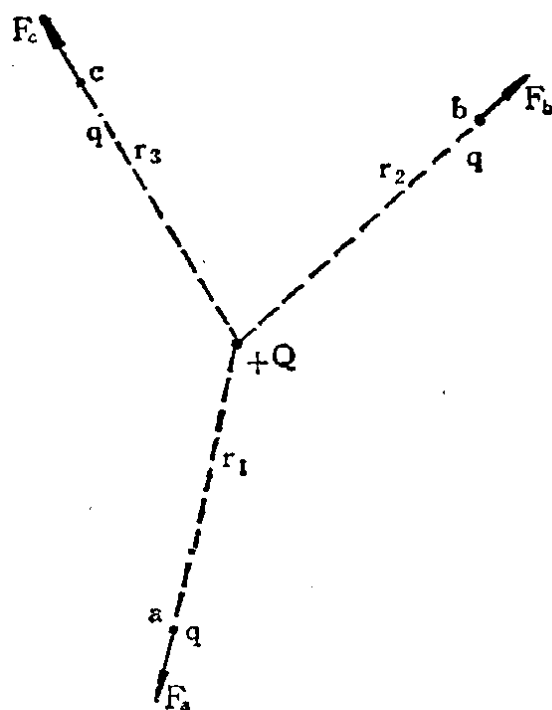


图 1-2

* 图（1-2）中力的方向均以试验电荷为正电荷标出的。