

保存本

高等学校教材

电 工 学

第 一 册

楊 游 之 主 編

人 民 教 育 出 版 社

本书原是浙江大学电工学教研组编写的,于1960年出版,曾在1961年3月經修改后再版。現由編者按照1962年5月高等工业学校教学工作會議审定的高等工业学校本科五年制化工、輕工业类各专业适用的《电工学教学大綱(試行草案)》再次修訂出版。

本书共分三册。第一册包括緒論、直流电路、电介质和电容、电磁、单相交流电路、三相交流电路、磁路及铁心綫圈电路以及电工測量等内容。

本书由华东化工学院張大恒、王春田两同志审閱,并經高等工业学校电工課程教材編审委员会电工学及电工基础課程教材編审小組复审通过。

本书可作高等工业学校本科五年制化工、輕工业类各专业电工学課程的試用教科书,也可供有关工程技术人员参考。

电 工 学

第一册

楊游之主編

北京市书刊出版业营业許可証出字第2号
人民教育出版社出版(北京景山东街)

商 务 印 书 館 上 海 厂 印 装
新 华 书 店 上 海 发 行 所 发 行
各 地 新 华 书 店 經 售

統一書号 K15010·1059 开本 850×1168 1/32 印張 7 7/16

字数 187,000 印数 7,001—17,000 定价(7) 0.85

1960年11月第1版 1964年8月第3版

1964年10月上海第2次印刷

第一册目录

緒論	1
----	---

第一章 直流电路

1-1. 电路的基本物理量	9
1-2. 电路概念	13
1-3. 欧姆定律	14
1-4. 电阻和导电材料	16
1-5. 电流的热效应	20
1-6. 基尔霍夫定律	23
1-7. 串联电路和并联电路	25
1-8. 复杂电路的计算	32
1-9. 叠加原理	36
习题	38

第二章 电介质和电容

2-1. 电介质, 电介质的介电强度和击穿现象	42
2-2. 常用的絕緣材料	43
2-3. 电容和电容器	48
2-4. 电容器的充电和放电	51

第三章 电磁

3-1. 电流的磁場	57
3-2. 电磁感应	62
3-3. 自感和互感	67
3-4. 电感电路中电流的增长和衰减	71
习题	78

第四章 单相交流电路

4-1. 概述	81
4-2. 正弦交变电动势的产生	82
4-3. 正弦交流电的几个基本量	84
4-4. 正弦交流电的有效值	87
4-5. 正弦量的矢量表示法	89

4-6. 纯电阻电路	93
4-7. 纯电感电路	95
4-8. 纯电容电路	99
4-9. 交流串联电路	102
4-10. 交流电路的功率	107
4-11. 交流并联电路	111
4-12. 功率因数及其提高	116
4-13. 正弦量的复数表示法	119
4-14. 非正弦交流电的概念	126
习题	132

第五章 三相交流电路

5-1. 概述	134
5-2. 三相电动势的产生	135
5-3. 三相电源的联接	137
5-4. 三相负载的星形联接	141
5-5. 三相负载的三角形联接	149
5-6. 三相交流电路的功率	154
习题	157

第六章 磁路及铁心线圈电路

6-1. 磁路概念	160
6-2. 铁磁材料	161
6-3. 磁路的基本定律	164
6-4. 简单磁路的计算	168
6-5. 直流电磁铁的吸力	171
6-6. 磁滞损失和涡流损失	173
6-7. 交流铁心线圈电路	175
6-8. 交流电磁铁	181
习题	184

第七章 电工测量

7-1. 概述	186
7-2. 电工仪表的分类及其精确度的等级	186
7-3. 永磁式仪表	190
7-4. 电磁式仪表	192
7-5. 电动式仪表	194
7-6. 感应式仪表	196

7-7. 电流和电压的测量	197
7-8. 功率的测量	201
7-9. 交流电能的测量	207
7-10. 兆欧计	209
7-11. 万用电表	211
7-12. 电测非电量的意义及其基本原理	215
7-13. 参数式变换器	217
7-14. 发电式变换器	219
7-15. 电桥和电位计	221
习题	227
附录 仪表发生故障的原因及其检验方法	230

緒 論

一、电工学的研究对象 电能的应用及其与 生产发展的关系 电气化对我国 社会主义建设的重大意义

电工学是研究“电”和“磁”的现象在电工技术上应用的科学。电工学是现代技术的基础之一。

电的应用使生产力的发展进入了一个新的阶段。随着生产力的发展,电能在工业、农业、交通运输业以及日常生活中得到愈来愈广泛的应用,并占着十分重要的地位。

在现代的工业生产中,絕大多数生产机械的原动机都采用电动机。例如,机械工业中的各种金属加工机床,矿冶工业中的矿井卷揚机、軋鋼机,化学工业中的各种泵、鼓風机、压缩机,輕工业中的紡織机、造纸机,以及建筑工业中的挖土机、起重机,等等。

在农业中电能的应用也是很广泛的。例如用电动机拖动排灌机械、打稻机、碾米机、茶叶揉制机,以及电孵禽卵、自动調節蚕室温度,等等。

在交通运输业方面,电力的应用也日益增加。

此外,电工技术还广泛地应用于工业生产的各种工艺过程中,并創造了新的工艺。例如,机械工业中的电焊、机械零件的电加工(钻孔、强化、磨削等),矿冶工业中的电炉炼鋼,化学工业中的电解、电炉燒結、气体电淨,輕工业中的静电植絨,建筑工业中的电热烘焙水泥、冻土,以及逐漸应用于各方面的超声波、紅外線和工业电视等。

在自动化方面,工业电子学、电子离子器件和自动装置用电机

的发展, 丰富并促进了电力拖动和自动技术。电工技术可以說是自动化的基础。半导体的应用开辟了新的科学技术領域。电子計算机可以代替人进行繁复的数学运算、翻譯、自动控制生产过程等能“公式化”的腦力劳动。

电子离子仪器在通訊方面的应用更为广泛, 如无线电广播、电视、电报、电话、雷达等。电能应用在医疗上还可为人类的健康造福, 如X光机、超短波电疗机等。

电能之所以在現代工农业生产中得到广泛的应用, 是由于电能具有无比的优越性:

第一、电能易于轉換。电能可以很方便地由水能、热能、化学能、原子能等轉換而得, 成为廉价的动力来源; 同时, 电能又可以很容易地轉換成我們所需要的能量形态, 例如机械能、热能、光能、化学能等, 以应用于不同場所。

第二、电能易于輸送和分配。这样一方面能圓滿地解决工业企业布局的問題, 可以在儲藏大量动力资源的地方(煤矿、河川)設立发电厂, 而其他工业企业可尽量与原料产地相接近。另一方面, 可以把电能直接分配到每台机器或每个部件上去, 使它們由单独的电动机拖动, 因而大大簡化了机械結構, 为实现自动化創造了必要条件。

第三、电能易于控制、測量和調整。这就为提高劳动生产率和产品质量, 为生产过程的自动化創造了有利条件。

由于电能具有一系列的优点, 所以成为社会主义經濟建設的重要技术基础。实现电气化和自动化可大大提高劳动生产率和产品质量, 因而生产力的高度发展是和电气化分不开的。由此可見, 电气化和自动化在我国社会主义建設事业中占有极其重要的地位。

二、电工学发展簡史 現代电工技术的成就

电工学同自然科学的其他部門一样，是生产斗争知識的結晶，它伴随着生产力的发展而成长，同时又促进生产力的发展。

我国是世界文化发达最早的国家之一，对世界文化作出过許多貢獻。根据已整理出的資料，在磁学方面，我們的祖先早在公元前四世紀左右就已經发现了磁石，知道它能吸铁。战国时《吕氏春秋》一书中有“慈石召铁”的記載。在封建时代，磁石已被用来校正时间和指示方向，这种工具称为“司南”。《韓非子》这本书的“有度篇”中写道：“故先王立司南，以端朝夕。”东汉王充（公元 27—107 年）所著的《論衡》中提到了“司南之杓，投之于地，其柢指南。”

至于电的現象，我国古代学者也曾发现某些静电現象，如王充的《論衡》中就有“頓牟掇芥”的記載。頓牟是琥珀，芥是草屑，琥珀有吸引草屑的能力，这显然是由于摩擦生电而吸引輕微物体的現象。

但是我国由于封建制度的长期延續，生产力停滯不前，經濟、文化等的发展极其緩慢，更加上近百年来帝国主义的侵略，把中国变成一个半封建、半殖民地的国家，使得中国人民的无限智慧得不到应有的发展。今天中国人民已因革命的胜利而获得解放，在科学技术上的成就是无可限量的。

十八世紀中叶，罗蒙諾索夫研究了雷雨現象，揭露了雷与摩擦电的同一性，并且制出了避雷針的雛形。

到了十八世紀末叶和十九世紀初，在欧洲发生了产业革命，生产由封建时代的手工业形式轉变为資本主义的大机器生产。从这个时候开始，电学的研究才由于伏特发明原电池（1800 年）而扩大到动电方面。1827 年欧姆发现欧姆定律，1845 年基尔霍夫确定了基尔霍夫第一和第二定律，从而为电路的研究奠定了基础。

1820年奧斯特發現了電流的磁效應，在同一年內接着安培又發現了兩載流導體間的作用力和分子磁體，畢奧和沙伐發現了電流與磁鐵間的相互作用，於是把過去認為毫不相干的電和磁的現象聯繫起來了。1831年法拉第發現了電磁感應現象，這是電機的最基本的作用原理之一。1833年楞次更進一步確定了感應電動勢的方向，並闡明了電機的可逆性。1872年斯托列托夫發現了軟鐵的磁化曲線，這條曲線是磁路計算的基礎。

1873年麥克斯韋在法拉第創立的電場和磁場概念的基礎上，從理論上證明了電磁波的存在，指出電磁波的性質與光波一樣，並於1888年為赫茲的實驗所證明，從而奠定了電磁場的理論基礎。

電流的热效應是由焦耳和楞次分別在1841年和1842年各自獨立地以焦耳-楞次定律確定的。熱電現象發現於1821年。1888年斯托列托夫發現了光電現象，並制出了第一個光電管。居里夫婦發現了晶體的壓電現象。

這樣，就為掌握並應用電和磁的基本規律與它們之間的聯繫以及電、磁與力、熱、光之間的關係奠定了基礎。

十九世紀末和二十世紀初，電機的基本理論已形成，其主要類型已造出。此後，繼續進行了深入的理論研究和大量的實驗工作，使電機的結構形式不斷改進，品種大大增加，冷卻方法不斷改進和革新，並尋求新的絕緣材料，改善導磁材料。從而實現成本低，重量輕，尺寸小，单机容量大，性能好，用途廣等各方面的要求。自二十世紀三十年代起，由於自動化的需要，制成了許多類型的自動裝置用電機。

1895年波波夫發明了無線電，為無線電技術的發展奠定了基礎。1881年愛迪生發現的熱電發射效應遂獲得實際應用，1904年和1908年真空二極管和三極管先後制成後，無線電技術邁進了一大步，形成了無線電電子學。第二次世界大戰前夕以來，由於雷

达、电视及远距离控制的需要，超高频技术获得迅速的发展。十九世纪末已应用天然的半导体，第二次大战时期，半导体的能带学说出现，并制成纯度极高的半导体锗和硅。1948年晶体三极管制成后，晶体管的应用遂日益广泛，在很多方面取代了电子管。此外，磁放大器、介质放大器等也由实验发展到实际应用。

电子学的成就应用到工业中来，就形成了工业电子学。近来，工业电子学发展得非常迅速，已形成了一个独立的科学领域。在动力方面，自1908年出现离子元件后，现在已能制成大功率的可控和不可控的整流装置以及大电流的半导体整流元件，应用于直流电气运输、电化学生产（炼铝、电解等）和电力拖动的自动控制（如轧钢机的离子拖动）等方面。在自动控制方面，电子、离子器件已广泛应用于自动检测、自动控制和自动调节系统中，成为生产自动化的基础。超声波、红外线、工业电视、电子显微镜、电子计算机等的发展更加丰富了工业电子学的内容，并显示出工业电子学无限宽广的发展前途。

三、我国电工事业的发展情况

解放前，处于半封建、半殖民地社会的中国，电工事业同其他重工业部门一样，一直控制在帝国主义和官僚资产阶级的手里。

根据1932年的调查资料，我国电力事业由外资经营的有44万瓩，约占总装机容量的50%。由于电力是工业最基本的动力，因而外资垄断一方面为帝国主义的經濟侵略造成良好条件，另一方面也成为控制和扼杀我国民族工业的利器，使我国长期处于贫困落后的局面。此外，还为帝国主义者榨取了巨额利润。以解放前美商上海电力公司（创办时为英商，在三十年代为美国资本所购买）为例，从1893年至1936年的四十三年内，账面盈利达到其创办资本的1300倍以上。

在国民党反动統治时期,电力事业殘破不堪,电厂全集中于几个城市中,設備陈旧,电费昂貴,事故百出。电能仅供极有限的工业和城市里少数家庭照明之用,广大农村不知电为何物。到全国解放时的1949年,电能生产仅相当于解放前最高年发电量(1941年)的72.3%。

在电机制造工业方面更为落后,只有上海几家小型电机厂生产少量的小型电机和电气設備。从1937年到1945年的七年間,一共才生产了約32000瓩的电动机和約2500瓩的发电机。解放前曾制造过的交流发电机单机容量不超过200瓩,交流电动机不超过300馬力。在电訊工业方面則几乎所有設備都靠进口,自己根本不能制造。

解放后,在中国共产党的领导下,中国人民經過了三年經濟恢复时期和第一个五年計劃以及几年来的大发展,使我国电工事业得到了飞跃的发展。

在电力工业方面,1959年全国发电量与解放时(1949年)的发电量相比,則增加了8.6倍。这样的增长速度是資本主义国家所不能想像的,只有在社会主义国家才能实现。

建国以来,新建了許多巨型发电站,它們都是用先进的現代化技术和机械化自动化的設備所装备起来的。如其中的新安江水电站是完全由我国自己設計、自供設備和自己施工建設起来的。在第一个五年計劃期間,我国发电站总容量增加了一倍以上。1959年新安装的机組总容量大于第一个五年計劃的总和。根据初步調查,我国的水力資源总蘊藏量极为丰富,水力发电大有可为。近几年来,农村小型发电站也有很大的发展。

此外,还修建了大量的輸电綫路和配电綫路。这些綫路把全国发电站联接成一些电力系统,改变了解放前孤立供电的情况,保证了安全供电,發揮了各电站的潛力,并提高了技术經濟指标。同

时,将电能輸送到广大农村,支援了农业建設。

在电机制造工业方面,第一个五年計劃里,1957年电动机的生产容量为1949年年产量的24倍。几年来的大发展,电机制造工业也取得飞跃的发展。1958年电动机生产容量增加到1957年的4.16倍。現在我国已能制造大型的汽輪发电机组和水輪发电机组、大型电动机和各种系列的中小型电机,以及大型的变压器和多种的特殊电机等。

此外,电器制造工业和仪表制造工业也有很大发展。高低压断路器、接触器、继电器和各种电工仪表的生产量也年年增长。

电子学工业在解放后經過三年的恢复和发展,到1952年已經由装配、修理走向制造。在第一个五年計劃期間,重点地建設了一批电子学工业的骨干企业。經過几年大发展,除建成許多大型电子管厂、无綫电器材厂外,中小型工厂也已遍布全国,生产了大批品质优良的产品。

总之,在我国已形成一套电工事业体系。我国电工事业的发展保证了工业、交通运输、基本建設和国防的动力供应,同时也大力支援了农业。近几年来,农村用电量成倍地增长,电力逐步深入到广大农村中,特别是电力排灌事业发展得最快。

这一切都是在党中央和毛澤东同志的领导下,在党的社会主义建設总路綫的指引下,貫徹执行了党和政府的各項方針政策的結果。

四、电工学課程的性质、目的和主要内容

在建設社会主义和今后逐步向共产主义过渡的过程中,迅速地发展生产力和改善生产技术是一项极其重要的任务。由于电能的优越性,电工技术广泛应用于現代各个工业部門中。所以电气化在社会主义和今后的共产主义建設中占着重要的地位。然而如

何使本专业工业部門电气化、自动化,对于每一个从事社会主义建設的各专业技术干部來說,都有責任来完成这一光荣而又艰巨的任务。

正由于上述这些情况,从事电工以外各专业的技术干部,不仅应精通本专业范围内的业务知識,并且不可缺少地要掌握一定程度的电工知識,以便更好地掌握现代化、自动化的生产,并能与电气工程师合作,为提高电气化、自动化的水平而努力。

因此,电工学是高等工业学校电工以外各专业学生所必修的課程。电工学是一門技术基础課。学习电工学課程的目的是掌握电工学的基础理論知識,了解本专业內常用的各种电机、电器、电工仪表以及某些电子离子器件,并受到必要的計算和实验技能的訓練,为学习专业知識和从事工程技术工作打好基础。

电工学課程分为下列三部分:

一、电路、磁路和电工測量。研究电路和磁路的基本定律和物理概念,研究直流电路、简单交流电路和简单磁路的計算方法。学习常用电工仪表的基本构造、工作原理、选择和使用,基本电量的测量和电測非电量的概念。了解常用的电工材料。

二、电机、控制和供电。研究各种常用电机的基本构造、工作原理、运用特性和使用方法。学习根据生产要求选择电动机的方法和常用的继电器接触控制电路。了解发电、輸电、特别是工业企业配电的概念和安全用电知識,以及选择导綫和熔断器的方法。

三、工业电子技术。研究常用的电子、离子器件的基本构造、工作原理和工作特性,研究基本的整流和放大綫路,以及振蕩器的基本概念。学习几种常用的电子仪器。

第一章 直流电路

1-1. 电路的基本物理量

在我们学习电路之前，必须先熟悉一下电路的几个基本物理量。

最基本的物理量是电荷(Q)，或称电量，它是量度物体带电程度的量。电荷可以是正的，也可以是负的，质子带有正电荷，电子带有负电荷。电荷既不能被创造，也不能被消灭，它们只能从一个物体上转移到另一个物体上，或者在一个物体内部移动。电荷的单位是库仑，简称库(本书物理量的单位，除另有指明者外，均用实用单位制)，例如一个电子带有负电荷 1.591×10^{-19} 库，也就是说 1 库电荷约为 6.4×10^{18} 个电子所带电荷的总和。

电荷周围存在着电场，电场是一种物质。实验证明，把电荷放到某一电场内，电荷将受到作用力，这个力称为电场力(F)，其大小与电荷 Q 成正比：

$$F \propto Q,$$

即

$$F = \epsilon Q.$$

式中比例常数 $\epsilon = \frac{F}{Q}$ 是表征电场中给定点性质的物理量，称为电场强度。电场中某点的电场强度是一个矢量，在数值上等于位于该点的单位正电荷所受的力，而方向则与此力的方向相同。它的单位是牛/库。如果电场内各点的电场强度都是大小相同，方向一致，则这种电场称为均匀电场。

在电场内的电荷受到电场力的作用而向一定方向移动时，电场所施的力便作了功，这表示电场具有能量。电场力作功的特性和

重力作功相似，因此与引入重力位能一样，我們也可认为电荷在电场內任何一个位置时，都具有一定的位能，而电场力所作的功是这位能改变的量度。电荷在电场中所具有的位能称为电位能。电荷

Q 在电场中給定点 a 的电位能 A 与电荷 Q 的比值 $\frac{A}{Q}$ 是一个表征电场中給定点 a 的性质的物理量，称为电位 (φ)。电场中某点的电位在数值上等于放在該点的单位正电荷的电位能，也等于单位正电荷从該点移到无限远时电场力所作的功。

电场內某两点 a 和 b 的电位之差，称为 a 、 b 两点間的电位差，在数值上等于单位正电荷从 a 点移到 b 点电场力所作的功。

电位差也称电压 (U)，电压不是矢量，而是一个代数量，故在规定的正方向下，它可以是正的，也可以是負的，电压的正方向规定为从高电位到低电位，也就是說，在电压的作用方向上电位是降落的。电压和电位的单位均为伏特 (简称伏)。如果 1 庫电荷从 a 点移到无限远时，电场力作功 1 焦耳，則 a 点的电位为 1 伏特。如果 1 庫电荷从 a 点移到 b 点，电场力作功 1 焦耳，則 a 、 b 两点間的电位差，亦即电压，为 1 伏特。关于伏特的具体概念，可从下面这些数字来看：电灯綫路的电压为 220 伏；有軌电車在接触导綫与軌道之間的电压約为 600 伏；市內高压綫路的电压約为 10.5 千伏；远距离輸电綫的电压約为 35 千伏、110 千伏、220 千伏 (1 千伏 = 1000 伏)。

局外力把单位电荷从 a 点移到 b 点所作的功，称为 a 、 b 两点間的电动势 E ，它的单位是伏特。例如局外力把 1 庫电荷从 a 点移到 b 点，作功 1 焦耳，則 a 、 b 两点間的电动势为 1 伏特。电动势也是一个代数量，我們預先规定了它的正方向。电动势的正方向规定为局外力推动正电荷移动的方向，它的作用方向总是指向电位升高的方向，也就是說，在电动势方向上电位是升高的。

伴随着物体的带电和中和过程，必定有电能和其他形式的能量的转换，同时也必定有电荷的移动，所以电荷移动的原因不外乎受电场力和其他局外力（电磁力、化学力等）的作用。电荷的有规则移动，就形成电流。电流在金属导体中是自由电子的有规则移动，在电解液中是离子的有规则移动，在气体中是离子或电子的有规则移动，此外带电物体的机械移动，也可形成电流。

在单位时间内通过某面积的电荷的代数和，称为电流强度。电流强度在电工学中常简称为电流（ I ）。电流也是一个代数量，我们也预先规定它的正方向。电流的正方向规定为正电荷移动的方向。

设在极短时间 dt 内，通过面积 S 的微量电荷为 dq ，则电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

电流 i 随时间而变化时，称为变化电流。

强度和方向不随时间变化的电流，称为直流，即

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

式中 Q 为在时间 t 内通过面积 S 的电荷。

电流的单位是安培（简称安）。在 1 秒钟时间内通过导体截面的电量为 1 库时，则电流为 1 安培。安培的千分之一称为毫安。关于安培的具体概念，可从下面这些数字来看：日常电灯中的电流是 0.25—1 安；电动机的电流从几安到几百安；收音机真空管中的电流是几个毫安；当 0.005 安电流通过人体时，就会有感觉，超过 0.05 安就有生命危险。

在垂直于电流方向的单元表面 dS 中所通过的电流 di 与此单元表面面积的比值称为电流密度（ δ ），即

$$\delta = \frac{di}{dS},$$

它的单位是安/毫米² (导线截面一般以毫米²为单位)。

如果在电场中某两点 a 、 b 之间的电压为 U , 电荷 Q 受到电场力的作用, 在时间 t 内从 a 点移到 b 点, 那末电场力所作的功为

$$A = UQ,$$

即

$$A = UI t, \quad (1-3)$$

而对应的功率为

$$P = \frac{A}{t} = UI. \quad (1-4)$$

在这些公式里, 若电压单位用伏特, 电流用安培, 时间用秒, 则功率的单位为瓦特 (简称瓦), 功的单位为焦耳 (瓦秒)。这些单位如果在电工实用上有时还嫌太小, 则可采用千瓦和千瓦小时分别作为功率和功的单位。1 千瓦小时等于功率为 1 千瓦在 1 小时内所作的功, 1 千瓦小时俗称一度电。很明显, $1 \text{ 千瓦小时} = 1000 \text{ 瓦} \times 60 \times 60 \text{ 秒} = 3600000 \text{ 瓦秒}$ 。

如果电压和电流并非恒定而是随着时间变动的, 则在很短的一段时间 dt 内, 电场力所作的功为

$$dA = ui \, dt.$$

在电工学中, 通常用小写的字母 u 和 i 分别表示随时间变化的电压和电流, 用大写字母 U 和 I 分别表示恒定的电压和电流。

在时间 t 内电场力所作的功为

$$A = \int_0^t ui \, dt,$$

相应的随着时间而变化的功率为