

普通高等教育“十二五”规划教材

电气工程及其自动化专业

现代电力工程与技术基础

(上册)

唐 忠 主 编

江友华 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

现代电力工程与技术基础

(上册)

主 编 唐 忠

副主编 江友华

编 写 杨俊杰 朱 武 曹渝昆

主 审 郭威李莹 常李卫 李国书 章倩倩



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本书分为上、下两册，是一套全面系统地介绍现代电力工程与技术基础知识的书籍。上册包括电力发展概论和现代电力工程概论，作为电力工程基础理论，从发、输、变、配、用等环节出发，紧密结合技术发展和工程实际应用情况，使读者对电力工程知识建立起完整的知识体系；下册包括电力系统的现代控制技术和信息技术，作为现代电力技术基础理论，使读者充分了解现代控制技术、计算机技术、通信技术、管理与信息化技术等电力系统中的广泛应用及其所形成的电力新技术。本书将凸显环节与系统相结合、通俗与专业相结合、强电与弱电相结合、传统与现代相结合的编写理念。

本书主要作为电气信息类相关专业的教材和参考书，还可作为电力生产、运行、管理等人员的技术参考书，同时还可供与电能相关的各行各业技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

现代电力工程与技术基础. 上册 / 唐忠主编. —北京：中国电力出版社，2012.4

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-2897-6

I. ①现… II. ①唐… III. ①电力工程—高等学校—教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 066113 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 7 月第一版 2012 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 349 千字

定价 26.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

· 版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

在整个能源体系中,电能之所以成为最重要的能源,是因为其他许多形式的能源都可以转化为电能,而电能又是最方便传输和应用的能源。因此,自1875年世界上最早的发电厂诞生以来,电力技术的不断发展,电能生产的日益增长,迅速改变了社会生产面貌,深刻影响了社会经济发展和人们的生活方式。以至于在当今社会,行行离不开电,人人少不了电。既然如此,那么了解电、认识电、用好电就成为现代生活和工作不可缺少的必备知识和能力,尤其对于高等学校各工科专业的学生更为需要。

要真正了解、学习好现代电力技术知识,除了学习传统经典电力技术外,还必须前后延伸。向前延伸看历史,了解电力技术的学科基础,了解电力技术发展的历程;向后延伸看时代,了解当今电力技术的时代特征和发展趋势。只有通过这种前瞻后顾,对电力技术的了解才具有系统性、全貌性和时代性。

然而,目前的教材和专著都比较专业化、专一化、专注化,缺少系统性、全貌性、通俗性。为此,作者在编写本书时进行了一些新的尝试。本书对接现代电力的发展及时代要求,分为上、下两册。上册由电力发展概论和现代电力工程概论两大模块构成,让读者对电力工程知识建立起完整的知识体系。与传统教材比较,在电力工程基础上,增加了电力学科和技术发展的内容,以电力学科知识和技术发展认知为铺垫,让读者理清知识脉络、了解技术发展历程、建立起完整的知识体系,很好地解决向前延伸的问题;下册由电力系统的现代控制技术和信息技术组成,作为现代电力技术基础,重点让读者充分了解现代控制技术、计算机技术、通信技术、管理与信息化技术等电力系统中的广泛应用,及其所形成的电力新技术。当今社会是信息社会,以计算机、电子、通信、信息为依托的信息技术促进了工业结构优化升级。以信息化带动工业化、以工业化促进信息化,深化二者的融合,走新型工业发展道路已成为我国经济改革的大方向。智能电网就是信息化与工业化深度融合在电力工业上的结晶。但目前还没有比较全面完整的有关电力信息技术的教材。我们根据现代电力技术的时代特征,在下册的传统的电力系统控制技术的基础上,增加了电力信息技术,从而解决了向后延伸展示时代特征的问题。本书通过这种前后延伸的组合,体现了“环节与系统相结合,通俗与专业相结合,强电与弱电相结合,传统与现代相结合”的教材特色,希望对读者建立系统完整的知识体系有一定帮助。

本书参考了目前国内外有关电力工程技术的多部专著、论文以及研究文献,并在编者多年实际工作经验的基础上,整合了近年来的部分科研成果。全书由上海电力学院唐忠教授任主编,江友华副教授任副主编,上海电力学院杨俊杰教授、朱武教授、曹渝昆博士、崔昊杨博士、魏春娟博士参加编写和修改整理工作,并指导研究生郭威、李莹、闵倩倩、黄青、陈琳、谢涛进行了资料收集、编写和校对工作。特别是郭威、黄青对本书稿的整理、校对付出了大量时间和精力。感谢华北电力大学的李卫国教授、长沙理工大学的李景禄教授对本书提出的宝贵意见。在编写过程中还得到了湖南、湖北、广东、上海、浙江、江西、安徽电力部门许多相关专业技术人员的帮助和支持,在此一并致以诚挚的感谢。

由于编者水平有限，加上成书时间仓促，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请选用本书的教师、学生、工程技术人员和读者批评指正。请将您宝贵意见发至 tangzhong64@163.com 邮箱。

编 者

2012 年 2 月 于上海电力学院



目 录

前言

第1篇 电力发展概论

第1章 电学的发展及其应用	1
1.1 静电学	1
1.2 电学	3
1.3 电磁学	3
1.4 电的广泛应用	5
思考题	10
第2章 电力设备技术的发展	11
2.1 绝缘材料和导磁材料的发展	11
2.2 发电机技术的发展	13
2.3 电力变压器技术的发展	19
2.4 高压断路器技术的发展	22
2.5 其他电力设备的发展	25
思考题	31
第3章 发电技术与新能源发电技术的发展	32
3.1 火电技术的发展	32
3.2 水电技术的发展	34
3.3 核电技术的发展	36
3.4 风力发电技术的发展	42
3.5 太阳能发电技术	44
3.6 其他发电技术	46
思考题	48
第4章 输电技术的发展	49
4.1 交流输电技术	49
4.2 直流输电技术	55
4.3 柔性输电技术	58
4.4 电力电缆技术	60
思考题	63
第5章 电网与配电网技术的发展	64
5.1 电网技术发展综述	64
5.2 城市配电网	70
5.3 农村电网技术	75

5.4 我国电网技术水平	77
思考题	81

第2篇 现代电力工程概论

第6章 电力系统概述	82
6.1 电力系统构成	82
6.2 电力系统的基本概念	84
6.3 电气设备及选择	89
6.4 我国电力系统的发展及其特点	97
思考题	99
第7章 电力系统一次部分	101
7.1 发电机	101
7.2 输电线路和电力变压器	105
7.3 开关设备	113
7.4 互感器	119
7.5 电力系统的接线方式及额定电压	120
思考题	123
第8章 电力系统二次部分	125
8.1 电力系统测量	125
8.2 电力系统继电保护	129
8.3 电力系统微机继电保护	135
8.4 电力系统可靠性与故障分析	151
8.5 电力系统自动装置	156
思考题	169
第9章 高压直流输电技术	171
9.1 直流输电概述	171
9.2 高压直流输电系统构成	176
9.3 直流输电系统的控制和运行特征	184
9.4 直流输电工程实例	192
思考题	193
第10章 特高压交流输电技术	195
10.1 特高压交流输电概述	195
10.2 特高压交流输电主要设备	198
10.3 特高压交流输电系统运行与过电压	206
10.4 特高压交流输电系统绝缘配合	213
10.5 特高压交流输电的电磁作用	215
思考题	219
参考文献	220

第1篇 电力发展概论

第1章 电学的发展及其应用

1.1 静 电 学

电学成为一门科学，只有二三百年的历史，但是人们观察自然界电的存在且载入中外史册的，最早可溯源到二千九百多年前。古希腊著名诗人荷马（Homer，公元前9—8世纪）所著的《奥德赛（Odyssey）》史诗中，记载福尼希亚（Phoenicia）商人以琥珀项链献给西拉（Syra）女王。当时人们发现摩擦琥珀会发出电光，感到非常神奇，因此视琥珀如珍宝。大约公元前585年，希腊文明时代自然哲学的始祖、哲学家泰莱斯（Thales）发现静电吸引现象，他用树脂化石（即琥珀）摩擦毛皮后，能够吸引羽毛、纱线。

我国东汉王充（公元27—97年）在《论衡·乱龙篇》载有“顿牟掇芥”的静电吸引现象。也就是说：经过摩擦的玳瑁，能够吸引轻小的芥末。三国西晋张华（公元232—300年）的《博物志》记述：“今人梳头、脱衣时，有随梳、解结有光者，也有咤声。”这就是说：当张华用漆木梳理头发和脱、穿毛皮或丝绸衣服时，可以看到电光和听到声响。唐朝段成式（？—863年）在《酉阳杂俎》续集卷八中载有：“（猫）黑者暗中逆循其毛，即若星火。”这就是说：当在黑暗的夜晚抚摸黑猫时，可以见到由静电感应而引起的小火星。

上述那种摩擦物体而吸引轻小东西和发生光、声的事例，在古代中外书籍中有不少记载。到16世纪，英国吉尔伯特（W. Gilbert，1540—1603）用拉丁文把它命名为“electricity”（电），它是来源于希腊文“electron”（琥珀）。吉尔伯特首先对静电和磁进行研究，制成简单的验电器，用来观察物体的静电感应。1600年，他发现：不仅琥珀，而且玻璃等经毛皮或丝绸摩擦后也能吸引轻小物体。他还观察到空气的干、湿，会影响静电荷的发生。吉尔伯特把他的研究成果写在了英国第一部伟大物理学著作《论磁》之中，该书被伽利略誉为一部“伟大到令人妒忌”的巨著。他是近代第一位系统研究电和磁的伟大科学家，所以在欧洲有人称他是“磁的哲学之父”。

盖利克（O. V. Guericke，1602—1686年）首先用旋转的硫黄球制成摩擦静电起电机，从而发现物体带静电后相互排斥和两个带静电物体接触时发出光、声现象。牛顿（I. Newton，1642-1727年）不仅在力学方面成绩突出，而且在电学方面也作出不少贡献，他以玻璃球代替硫黄球制成更有效的静电起电机。

英国格雷（S. Gray，1670—1736年）于1729年发现物体有传电和不传电的区别。他同惠勒（G. Weeler）曾用能够传电荷的丝绳，把静电荷传到886英尺的远处。1733年，法国化学家杜费伊（Dufay，1699—1739年）对静电荷的性质有了进一步的认识。他发现有两种不同性质的电：用玻璃棒和丝带摩擦所产生的“玻璃电”与用琥珀和法兰绒摩擦所产生的“琥珀电”；并发现同性电相斥，异性电相吸，两种电接触后就消失的现象。1740年，法国德古利埃第一个提出建议：能够自由通过电荷的物体称为“导体”，不能自由通过电荷的物体称为

“绝缘体”。

1745年,德国克莱斯特(E. C. V. Kleist, 1700—1748年)由于偶然的观察,发明了莱顿瓶(原始电容器),而荷兰马斯切布罗克(P. V. Musschenbrock)创制的莱顿瓶最先应用于实验,他比克莱斯特在荷兰莱顿大学研制成的莱顿瓶稍晚了几个月。英国沃森(S. W. Watson)则首先观察到莱顿瓶放电时的闪光,他与贝维斯(J. Bevis)用锡箔粘贴于莱顿瓶内外,瓶内的电荷能在2m之外放电。

富兰克林(B. Franklin, 1706—1790年)认为天空中之雷电与莱顿瓶所产生的电荷,性质相同。为了证实他的猜想,他在菲拉德尔菲亚(Philadelphia)建造了一座高于屋顶的尖塔,企图取空中的雷电进行实验,但未获成功。1752年7月的一个雷雨天,富兰克林进行了轰动世界的风筝实验。他把带有尖头金属丝的风筝(柏木十字架上扎以丝巾,其四角用铜丝扎牢,十字架中心有尖长铜丝,高出架子,用以取电)放上天空,靠近云层,使之带电,经一根能导电的丝绳,把电荷传至地面。他把手指靠近系在丝绳下端的金属钥匙,钥匙上就发生火花(见图1-1)。这个实验表明:被雨水湿透了的风筝的金属线变成了导体,把空中闪电的电荷引到手指与钥匙之间。这在当时是一件轰动一时的大事。在雷电交加的情况下,利用风筝将大

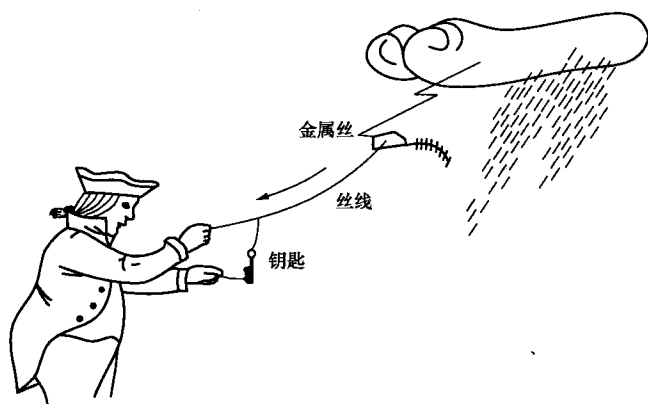


图1-1 富兰克林的风筝实验

气电收集到莱顿瓶中,使其充电。这个冒着生命危险的实验(有些人因此而丧生),终于获知雷电与莱顿瓶充电方法和摩擦所生的电荷,其性质完全相同,令人信服地证实了雷电是一种自然现象,从而破除了人类古老的迷信(西方人称雷电为“上帝的火”)。这项实验成功后,富兰克林于次年就发明了避雷针。避雷针的迅速推广应用,避免了雷电对人畜的严重危害,挽救了千千万万人畜的生命。但目前全世界每年约20亿次的闪电中,因雷

击而死亡、受伤的人数还不少,仅美国平均每年就死亡600人、击伤1500人。

富兰克林对电学贡献卓著,他还用实验证明了电荷不是摩擦产生出来的,仅仅是从一个物体转移到另一个物体,任何一个物体中的总电荷量不变。这就是现代电学中的电荷守恒定律。富兰克林还是正电和负电的命名人,他用数学上的正、负概念,来解释正电和负电的性质。自从富兰克林把物体的两种带电状态称为“带正电”和“带负电”以来,人们习惯地把正电荷的运动方向作为电流的方向,且与电子的运动方向相反。“电子”这一名称,是由斯通尼(1826—1911年)在1891年首先采用的。

英国坎顿(J. Canton, 1718—1772年)通过实验证明了正电荷和负电荷可以产生于同一物体中。他用一半光滑、一半粗糙的玻璃棒,以橡皮摩擦之,光滑侧产生的电荷为正,粗糙侧为负。坎顿最重要的发现为静电感应现象。

在富兰克林风筝实验之前,许多电学探索者所经历的摩擦生电、静电荷形成方法、静电荷的性质及其感应等问题,只是一些定性的观察和实验,严格地说,还缺少电学的基本概念。一直到18世纪末,法国物理学家库伦(C. A. Coulomb, 1736—1806年)对静电的引力和斥

力作了定量的测定。1785年,库仑用一种扭秤测定两个球体带电后其间作用力。同年发表了库仑定律(两个电荷之间的作用力,与他们之间的距离平方成反比)。其实,电量可以测定的实验,英国物理学家卡文迪许(H. Cavendish, 1731—1810年)先于库仑,但未及时把实验结果公布于世。后来高斯(K. F. Gauss, 1777—1855年)从库仑定律中得到了明确的电量定义,把电量的单位确定为:两个相同的单位电量,相距1cm(厘米),能产生1dyn(达因)的排斥力。

库仑发现电荷定律(库仑定律),为电学奠定了科学基础。从此,电学才进入了科学行列。

1.2 电 学

前节所述,人们观察和实验所获得的电学知识的重大成就,只局限于研究物体所带的静电荷,可以说是电学成为科学后的初级阶段。直到动电荷(电流)的发现,才使电学进入了一个新阶段。最先发现动电荷的是意大利解剖学家伽伐尼(L. Galvani, 1737—1798年),他于1786年偶然观察到解剖后的青蛙大腿,在同时接触到两种不同的金属环时,会使之抽搐,这就是最原始的伽伐尼“电池”。青蛙是电解质,也是电流指示器。他又于1790年进行了实验,用“静电起电机”所产生的放电,使解剖后的蛙腿神经抽搐。但他当时误认为青蛙肌肉内含有“动物电”,不明白是由于有电流经过而引起的。

伽伐尼对电学的重大贡献,在于创制原始重叠电池(伽伐尼电池)。他发现导体有固体(例如金属,碳)和液体(例如含有杂质的水、液态化合物)两类。他用多块铜、锌板,中间夹以湿布,制造成伽伐尼电池。从此以后,很多人都研制与改进过重叠电池,其中最著名的是意大利物理学家伏打,他于1800年用铜片、浸盐水的纸片、锌片依次重叠起来,创造出最早获得连续电流的“伏打电堆(电池)”(见图1-2)。1806年英国化学家戴维(H. Davy, 1778—1829年)开始关于电解的研究,他在伦敦皇家社装配了几百个电池(电堆),于1806年、1807年用电解法分别发现钾、钠、钡、锶、镁、硼等新元素。当时科学家们尽管还不明白电的化学效应和电子移动来解释电流,但电池组的出现,为电学的迅速发展开辟了崭新的广阔途径,使日后电流的磁性作用,电磁感应等研究得以实现。

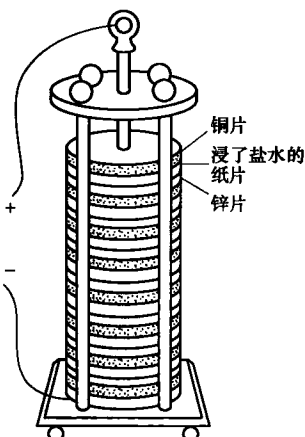


图1-2 伏打电池

1.3 电 磁 学

丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851年)在1820年发现当电池组两端的铜线接近磁针时,磁针会产生偏转现象,这为开展电磁学的研究奠定了基础。1822年,法国物理学家安培(A. M. Ampere, 1775—1836年)(见图1-3)与阿拉戈(D. F. J. Arago)在给法兰西科学社的实验成绩报告中,提出电磁感应作用所产生的电动力学的基本定律(日后被命名为安培定则),并指出:平行两导线内的电流方向相同或相反时,存在相互排斥或吸引的动力作用,确立了电磁作用的电动力学。

1825年,德国物理学家欧姆(G. S. Ohm, 1787—1854年)获得了电学研究的重大成果:

电流强度与电动势差成正比，而与电阻成反比。这就是众所周知的欧姆定律。欧姆还证明了导线的电阻与其长度成正比，而与其横截面积成反比。德国物理学家基尔霍夫(G. R. Kirchoff, 1824—1887 年)在欧姆这一概念的基础上，发展了欧姆定律，于 1847 年发表了两个电路定律，解决了电路中分支电流问题，对电路理论作出了重大贡献。

电磁感应现象被发现后，在电磁学、电动力学基础上，英国物理学家法拉第把电学推进到实际应用方面。法拉第在 1822 年发现永久磁铁能使电路可动部分旋转；在电流的作用下也能使磁铁旋转。1825 年，他用一只铁环，绕上两根铜线，其中一根与伏打电池连接，另一根与电流计相连接，当电池接通或断开铜线的瞬间，发现接在电流计的铜线产生了与之相反方向的电流。到 1831 年，终于取得了由电磁感应所产生的感应电流。

法拉第还用铁屑散布于纸板上，再把纸板置于磁铁上，发现铁屑形成了弧形磁力线。实验证明：导线在磁场中迅速移动，由于横切磁力线，因而产生电流。这种通过运动而感应出来的电流方向，由爱沙尼亚物理学家楞次(H. F. E. Lenz, 1804—1865 年)(见图 1-4)于 1833 年总结出电磁感应现象的基本定律——楞次定律。这个定律阐明电磁感应产生的电流方向，是使它所产生的磁场，与起感应的原有磁场的变化方向相反；同时还阐明了电磁现象。这是现代电工学的重要基础，也为创制感应电机提供了理论依据。从此，电流的产生不再仅仅依赖于电池组了。



图 1-3 安培(1775-1836 年)



图 1-4 楞次(1804-1865 年)

英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879 年)在法拉第电磁工作的基础上，总结了 19 世纪中叶以前对电磁研究的重大成果，建立了电磁场的基本方程，于 1865 年发表了《电磁场的动态理论》，他还提出了光的本质是电磁波的理论。

德国物理学家赫兹于 1887 年发表的有关电磁波存在的实验论文，不但为日后研究无线电通信等技术创造了条件，而且从电磁波的传播规律的研究分析表明，电磁波(赫兹波)具有反射、折射和偏振等性质，与光波完全一样，从而证实了麦克斯韦认为光是一种电磁波的理论。赫兹还最早发现光电效应现象，这使无线电和电视传送的发明成为可能。

1859 年，普拉克发现真空管通过电流时，负极上会发射出阴极射线。1879 年，克鲁斯克证明阴极射线具有动量与能量。1883 年，爱迪生发现热电子发射现象(即爱迪生效应)。英国物理学家汤姆生(J. J. Thomson, 1856—1940 年)于 1897 年通过对阴极射线的研究，从实

验中发现电子的存在,并测定了电子的荷质比(电荷 e /质量 m)。英国物理学家理查逊(O. W. Richardson)在1900~1903年间也用实验证实了金属丝在真空中被加热时能够发射电子。他由于这一贡献而获得了1928年的诺贝尔物理学奖。在上述基础上,电子学应运而生,为电的应用展示了更广阔的前景。

1.4 电的广泛应用

电学发展到现代,结合工程技术上的应用,已形成包括电子学在内的电工学。电力与电子科学技术的发展和广泛应用,对现代工业生产的迅速发展和人类物质生活水平的日益提高,起到了难以估量的巨大作用与深远影响。在19世纪和20世纪交替的约20年内,电气技术的发展可谓突飞猛进,电气技术的创新层出不穷,各种发电、输电、配电和用电设备在天才的发明家手中不断涌现,电气技术深入到了人类改造、征服和利用自然的活动中,在人类经济活动的各个领域发挥了日益显著的作用。进入21世纪后,电气技术服务人类发展的能力已远非一百年前可比。下面扼要阐述一百多年来关于电力、电信以及电子技术在生产、生活各个领域应用的几项重要发明创造,以及其技术发展概貌。关于电力技术全面发展历程,在以后各章加以介绍。

1.4.1 电灯(电弧灯、白炽灯、日光灯)

人类近十万年以来,用篝火、火把驱走日落后的黑暗,直到约六千年前才使用灯光照明。历史上记载最早用动、植物油点灯的是公元前四千年左右在埃及王室墓穴里。大约在公元前五百年,人类有用石蜡照明,随后有用鲸鱼烛、蜡烛。到18世纪初期开始用煤气灯和煤油灯。

科学家们为了尝试电力发光的研究,曾经历了七八十年的时间。1807年7月,英国戴维在皇家社用两千个电池组作为电源,利用两根不相接触的碳极产生电弧,创制成碳极电弧(弧光)灯,开始把电能应用于照明。由于当时缺乏充足的电源,因此这种照明只是昙花一现。直至1842年,法国首次在街道、剧场、工厂、灯塔等许多场合试用电弧灯。

1876年,俄国雅勃洛契柯夫(Л. Н. Рोजицкий)留居法国期间发明了新型电弧灯(电烛),一侧为装有两根碳棒的电烛,一侧为去掉玻璃罩、装有四对碳棒的电烛。当时电烛由法国通用电气协会投资制造,在巴黎安装了四千盏,巴黎繁华区顿时变成不夜之城。1880年,美国布拉什制造出更有效的电刷电弧灯(Brusharclamp),开创了商业电弧灯的先河。从此,电弧灯成为最早为人们所喜爱的电光源,直到1879年爱迪生发明白炽灯后,才被逐渐淘汰。

19世纪初,人们就开始研制白炽灯。它是利用电流通过灯丝,把电能转化为热能,使灯丝白炽而发光。1820年由德拉鲁(W. delaRue)研制的白金丝白炽灯,由于真空度低,白金丝灼热就到熔点,寿命很短。1841年,英国德慕林和美国司托用金属丝装在玻璃罩内实验,但也以失败而告终。1847年,斯坦特用铂、铱制成白炽灯,因光效低、寿命短,不能实用。1874年,俄国青年工程师罗德金用碳做灯丝的白炽灯也无实用价值。1878年12月,英国斯旺(Swan, 1828—1914年)在纽卡斯尔化学协会会议上展出第一盏碳丝白炽灯,引人注目,但到1881年才开始生产。1878年,美国爱迪生也同其助手欧普顿、白契勒、安徒生、埃尔等人进行白炽灯试验,因抽气不净,碳丝容易氧化而失败。后经1600次试验,终于在1879年10月21日在新泽西州爱迪生的孟罗公园实验室亮起了有史以来第一盏有使用价值的白炽灯,寿命长达45h(小时),光效3lm/W(流明/瓦),每盏1.25美元,三年后降为0.5美元。

直到1902年开始用钨丝替代碳丝。1910年,美国通用电气公司库利奇用耐热钨丝制成白炽灯,光效与寿命都有较大的提高。1913年兰米尔在玻璃泡内抽去空气后冲入惰性气体——氩,以延缓灯丝在真空中蒸发而熔断。1920年采用螺旋形灯丝并充以氩气的白炽灯,其光效提高到12lm/W。1933年制成的双螺旋形灯丝的白炽灯,光效提高到15lm/W。爱迪生发明的白炽灯泡为人类的文明做出了巨大的贡献。

日光灯(荧光灯)是气体放电灯的一种。1752年,华特生首先试验气体放电可以发出辉光。1830年,威伦发现天然荧光石受电子冲击发出绿蓝色光辉。1866年,巴克雷尔用发光粉剂涂于玻璃管内,放电后发光,这是发明日光灯的先兆。1930年、1931年分别成功研制了充有氩气等的放电灯,适用于广告和标志灯。1932年制成低压钠灯,发出浅黄色光,有能透过浓雾的特性,可用作舰船、港口照明。到1939年最广泛应用的管状日光灯问世,它晚于高压汞灯的发明约8~9年,是一种低压汞灯,光色接近日光,光效达60lm/W,寿命长达7000h左右。日光灯诞生后,很快被广泛采用,成为当今重要照明电光源。

我国最早于1883年在上海的外滩装有电弧灯,以代替煤气灯和煤油灯,作为街灯。最早安装白炽灯的是广州,1888年,两广总督张之洞,向国外订购了一台发电机,7月18日发电机运到广州,随带白炽灯100盏,7月23日这些电灯就利用安装在总督衙门旁的发电机发出的电力而照亮了整个衙门。到1891年,广州街上、店铺和公共场所共装电灯700盏。1890年,西苑(今中南海)亮起了北京最早的白炽灯。1909年,北京商店、街道、官府中装有白炽灯八千余盏。上海也于1890年开始装有白炽灯,到1893年共有6325盏。1927年创办的上海华德灯泡厂是我国最早自行生产白炽灯泡的工厂。

1.4.2 电信(电报、电话)

电信技术的发展已有近一百七十多年历史。美国莫尔斯(S. F. B. Morse, 1791—1872年)是有线电报的发明者。1837年,他研制成世界上第一台传递电码的电磁式实用电报机——莫尔斯电报机,曾在纽约公开表演。1844年5月24日,他在华盛顿向40英里以外的巴尔的摩城发出人类历史上第一份有线电报,并于1842年进行了不用导线、相距80英尺的无线电报试验,以华盛顿运河的水作媒介。

出生于英格兰、移居美国的贝尔(A. G. Beer, 1847—1922年)根据赫尔姆霍茨的声学研究进行了实验,于1876年发明了有线电话,在费城一百周年纪念展览上公开实验。次年开始了电话业务,最初电话用户只有7个,到1879年,美国已有20个城市装设了有线电话网。

1882年,美国的贝尔教授获得无线电报机的专利权,该机能传送1.5英里以外的电报信号。

1895年,意大利马可尼(G. Marconi, 1874—1937年)利用赫兹发现的电磁波做通信试验,次年7月在英国伦敦邮政局做无线电试验,把信息传递到100码(1码=0.9144米)以外。1897年6月他宣布发明无线电报,并于11月在米德尔斯(Meedles)建成世界第一座无线电台,通信范围14.5英里。

1904年,英国电气工程师弗莱明(J. A. Fleming)应用了爱迪生效应,发明了二极电子管(真空管)。1907年,美国德福雷斯特(L. DeForest)创制成三极电子管。三极电子管起“放大器”的作用。它的发明,为无线电装置中应用电子管开辟了广阔的前景,为无线电技术的电子化奠定了基础,促使无线电技术由电报进入电话阶段。1915年,美国阿灵顿至法国巴黎相距约5000英里,利用无线电电话试验成功。

20世纪以来,无线和有线通信技术不断完善和发展。无线通信从长波、中波、短波、超

短波、分米波、毫米波、微波,发展到激光;有线通信则从明线、对称电缆、同轴电缆、波导,发展到光导纤维。光导纤维通信已进入了第五代。

我国最早有线电报线路出现在上海。1871年,丹麦大北电报公司的海底电报电缆在长江口外大戢山岛登陆,私自沿长江南岸和黄浦江,架设到上海。我国自行修建的第一条电报线是从台湾府到旗后,全长90华里(1华里=0.5公里),1877年8月18日动工,同年10月11日完工。到中华民国初年,全国电报线长约5万km。到抗日战争前一年(1936年)全国电报线:架空95300km,地下200km,水下3800km,中日合营海底2250km。

无线电报发明后也很快传入中国。1905年,北洋大臣袁世凯创设无线电学校于天津,聘请意大利海军军官葛拉斯为教习,通过他向意大利购买7台马可尼电火花式无线电报机,其中4台装于军舰,3台分别装于北京南苑、天津和保定,供军用,通报距离可达150km。

我国最早无线电话开始于1918年,我国政府与意商马可尼无线电公司签订合同,购买无线电话机200台和功率为25kW的无线电台3座。

1925年建成的北京双桥电台是我国当时最大的长波无线电台,输出功率500kW。该电台即使天气恶劣,也能和巴黎、伦敦、脑印(属德国)和美国太平洋沿岸各电台通报。

1929年我国政府向美国无线电制造厂订购短波无线电机,在上海真茹镇等地建成无线电台多座,直接与柏林、纽约及欧美其他城市通信。1930年南京和柏林间装设传真电报机,不久北京与上海间也装设传真电报机,公开商用。

1.4.3 无线电广播和收音机

1920年11月,美国威斯汀豪斯电气公司首次在匹兹堡建立广播电台KDKA。这是世界上第一座无线电广播电台。数年后,欧、美各国广播电台如雨后春笋般地建立起来。据万国电政公会报告,到1924年,全世界广播电台共有16122座。

在无线电收音机方面,美国物理学家费森登(R. A. Fessenden)作出了重大的贡献。他设计了一种系统来对无线电波进行“调制”,使高频交流发射器能携带声波信号。1903年,他还发明外差式电路,使真空管收音机的灵敏度大为提高。1906年圣诞节前夜,有史以来首次从无线电收音机里传出了音乐和说话的声音。1918年,他又发明超外差式电路,为现代化无线电远距离收听的发展打下了基础。到1959年世界各国已生产无线电收音机约3亿台。

我国最早的无线电广播电台为外国人创办。1922年,美国记者奥斯朋(Osborn)在上海设立我国历史上第一座广播电台,随后美商新孚洋行创办起第二座广播电台。之后美商开洛公司在上海法租界建立了电台,1924年开始播音。1927年,南京中央大学物理系建成10W功率的小型广播电台。当时国民党中央党部建立了500W广播电台,南京政府下令只许有一个电台,中央大学广播电台寿终正寝。1928年春,南京中央党部广播电台扩建,1932年秋完成,功率为75kW。这座电台是当时东南亚最大的。

1.4.4 电影和电视

电影的发明,起源于美国医生罗吉特(P. M. Roget),他在1824年最先观察到视觉的暂留现象。1832年,比利时物理学家普拉多发明了“诡盘”,它是最原始的手摇“影戏”。法国雷蒙首先把柔软带孔的图片带使用于放映机,1889年,他在世界博览会连续表演了几分钟的影戏。

爱迪生创制成世界上第一部影片,他使用长条形胶卷,拍摄下一连串照片,于1894年放映。法国卢米埃尔(Lumiere)兄弟,应用他们自己研制的放映机,于1895年12月28日傍

晚,在巴黎卡普辛路大咖啡馆地下室举行电影公映,有“拆墙”、“火车到站”、“婴儿喝汤”、“卢米埃尔工厂的大门”和“水浇园丁”等几部短片。广告贴出后轰动了整个巴黎城,人们怀着极大地好奇心,争先恐后地前往观看有史以来第一次公开放映电影。影片无对话、解说和音乐伴奏。1914年大型无声电影“一个国家的诞生”第一次在电影院公开放映。1927年,在无声电影上加记录声音的“声迹”,第一部有声电影“爵士歌手”问世。20世纪30年代末,彩色电影诞生,50年代出现宽银幕电影。

我国最早放映电影,始于1902年1月,地址在北京前门外打磨厂的福寿堂,是国外的无声滑稽短片。不久北京丰泰照相馆利用法国木壳手摇电影摄像机,制成了我国第一部无声电影短片,片名“定军山”。1917年,有声电影由日本刻纳托何公司传入我国,并于该年6月开始在北京东单牌楼三条胡同大和俱乐部放映。

1873年,英国约瑟夫梅发现光线照射到含砷(Se)的物体上有异常现象。1879年,布朗展示了第一只阴极射线管,后来俄国罗森将它利用到“电气视像”中去。英国贝尔德(J.L.Baild)于1926年制成了第一台简易电视机,曾在伦敦皇家学院表演过。同年6月,这架电视机安放在一家大商店首次公演,轰动了全世界。1928年,斯卡尼克塔的一家电台开始最早电视发射的实验。1929年,英国广播公司首先定期播送机械扫描的第一代电视节目。1936年,该公司正式开始电视广播。1943年3个美国工程师发明了超级摄像管,在二次世界大战中用于军事目的。第二次世界大战结束后,电视发射和接收技术迅速发展。1946年美国第一次播送电子扫描黑白电视。1953年彩色电视广播问世,进入第二代电视时期。国外正在研制多路广播的第三代电视的同时,1982年美国首创第四代电视(广泛与计算机、录像机、自动电话、传真等兼容,可直接接收卫星电视,并带有立体声、程控、遥控等设备)。1983年,联邦德国生产了3万台,投放市场,立即被一抢而空。1993年底,美国98%的家庭拥有至少一台电视机,其中99%为彩色电视机。

1958年,中国第一台黑白电视机在天津诞生,同年,开始试播。当时,全国只有50多台黑白电视机。1971年,全国已建有电视台32座。1973年开始播送彩色电视。21世纪初,中国内地的电视覆盖率高达94%。

电视机经历了从黑白到彩色,从电子管、晶体管电视迅速发展 to 集成电路电视,目前,电视正在向智能化、数字化和多用途化迈进,电视转播也由卫星传播到卫星直播。

1.4.5 电子计算机

电子计算机是电应用于人类文明的最新成果。它的出现虽然很晚,但其技术更新神速,不到四十年已发展为第五代。

世界上第一台电子计算机的问世,普遍认为是莫奇勒和埃克特于1946年发明的。这台电子计算机取名“埃尼阿克”(ENIAC),他俩于1950年取得了发明专利权。但电子计算机发明权之争,引起诉讼,延续了许多年,直到1973年10月,美国州联邦法院最后审理定案,确认塔纳索教授是电子计算机方案和设计的发明者,而宣判莫奇勒、埃克特两人所取得的发明专利权无效。

“埃尼阿克”电子计算机占地 167m^2 ,重30t,使用了18000个电子管,消耗功率156kW,运算速度每秒5000次加法或400次乘法,比人工计算快20万倍。用当时最快的机电式计算机做40点弹道计算,需要2h,而“埃尼阿克”只要3s,快两千多倍;计算圆周率 π ,19世纪著名法国数学家契依列,用了毕生的精力,只算到小数后700位,而100年后,“埃尼阿克”

仅用几秒钟即进行了核算, 并发现他的运算有 528 项计算错误。1947 年创制了记忆装置, 解决了编排算题所消耗的大量时间问题。1949 年英国制成世界第一台程序内存计算机。从此, 以电子管组成基本逻辑电路、用磁鼓作为主存储器、使用符号语言汇编程序的第一代电子计算机, 进入了实用阶段。

20 世纪 50 年代中期第二代电子计算机问世, 其基本电路采用晶体管, 以 1953 年发明的磁芯为主存储器, 并出现了程序设计语言。20 世纪 60 年代初, 大型晶体管计算机问世, 运算速度提高到每秒数十万次。1964 年每秒二、三百万次电子计算机宣告制成。与电子管计算机相比较, 晶体管计算机的体积约缩小了 1000 倍, 效率约提高了 100 倍, 寿命延长了 100 倍以上。到 20 世纪 50 年代末, 全世界电子计算机约有 5000 台。

20 世纪 60 年代中期, 出现采用集成电路(把晶体管、二极管、电阻、电容、电感等分立的元件做在一块硅片上)的第三代电子计算机。它的体积、质量、功率消耗明显减小, 大大提高了可靠性, 价格也大幅度下降。20 世纪 60 年代中期世界上拥有电子计算机 3 万台左右。到了 20 世纪 70 年代, 集成电路的集成度, 提高到了大规模、超大规模集成电路的水平, 出现了第四代电子计算机。这一代计算机的逻辑、存储元件集成度达到 1000~10000 个, 计算机体积缩小了 30 万倍, 重量仅 500g(克), 电功率只需两节电池。这一代计算机具有两极分化的特点: 一方面向微型化发展, 产生了微型计算机和微处理机, 在一片集成电路芯片上, 实现了运算、记忆、输入和输出控制功能; 另一方面向巨型化发展, 制造出每秒运算数亿次的巨型计算机。这一时期, 微型计算机与通信技术相结合, 把许多终端联成网络, 实现信息资源共享, 从而使计算机更深入地普及到社会生活的各个方面。

由于第三、第四代计算机的设计和生进入通用化、系列化、标准化阶段, 因而得以大规模生产。1970 年初全世界大型计算机总数达 10 万台, 1975 年超过 30 万台。而微型计算机 1976 年全世界有 200 万台, 到 1977 年猛增到 800 万台。

到了 20 世纪 80 年代, 微电子技术向超大规模集成电路发展。它能在几平方毫米的硅片上集积几十万、几百万甚至几千万个逻辑元件。同时, 先进软件技术的发展, 促进了第五代电子计算机的诞生, 它是仿真信息技术的发展和应用, 具有近似人脑的功能, 因此也称人工智能计算机。美国于 1985 年研制成第五代计算机的原型。

1984 年, 日本科技厅开始部署研制第六代电子计算机, 第六代电子计算机是模仿人的大脑判断能力和适应能力, 并具有可并行处理多种数据功能的神经网络计算机。其功能要尽量接近或超过人脑, 将由心理学家、大脑生理学家、语言学家等一起参加设计。它将为人类做许多比较复杂的工作, 如收集经济情报, 进行交通管理, 预测地震, 诊断疑难病症, 以及帮助老年人克服智力迟钝和记忆力衰退等。从 1984 年以来, 美、日、西欧等国家在生物工程的启示下, 开始研制生物计算机。短短二十几年的时间, 人们已经将其发展成为一门新型的学科, 成为生物与计算机的交叉学科。由于各国均看好其在将来的应用, 于是均投入了大量的资金用于研究, 过去的几年中已形成百家争鸣, 每年的成果不断。

1958 年, 我国试制成功第一台小型数字式电子计算机(103 机), 次年又试制成功大型数字式电子计算机(104 机)。这两台计算机是属于以电子管为主要元件的第一代电子计算机, 在我国两弹试验中发挥了重要作用, 被用户誉为“功勋机”。

1958 年, 我国研制晶体管成功。1964 年以晶体管为主要元件的第二代电子计算机(108 机)问世, 运算速度每秒 11 万次。

1964年,我国小规模集成电路研制成功。1971年以小型集成电路为主要元件的第三代电子计算机(111机和112机)问世。

20世纪70年代末,我国开始向计算机两极发展。1979年,DJS₀₅₁型微型计算机通过鉴定。1983年,第一台巨型计算机(757型)研制成功,运算速度每秒1000万次。同年12月,又研制成第二代巨型计算机(银河一号),运算速度每秒一亿次。它标志着我国电子计算机科学技术达到一个新的水平。

2008年我国首台突破百万亿次运算速度的超级计算机“曙光5000”由中国科学院计算技术研究所、曙光信息产业有限公司自主研制成功。其浮点运算处理能力可以达到230万亿次,除了超强计算能力,它还拥有全自主、超高密度、超高性价比、超低功耗以及超广泛应用等特点。曙光5000使中国成为继美国之后第二个能制造和应用超百万亿次商用高性能计算机的国家,也表明我国生产、应用、维护高性能计算机的能力达到了世界先进水平。该系统在大规模集群计算和网格使能技术方面有所突破,形成了鲜明的技术特色,将我国通用高性能计算机系统的研制水平提升到了一个新的高度。

随着信息技术和电子技术的快速发展,无论发电、输电、配电,还是电能利用技术都将进行重大的变革和发展。走过一个半世纪,使人类生活变得无比绚丽的电气技术定将焕发更旺盛的生命力。实际上,电气技术在进入21世纪的第二个十年之际,正在发生历史上难遇的巨变。

今天,世界正在发生一场以低碳经济为代表的深刻变革,作为现代经济高效发展核心动力的电能开发和应用正面临一场空前的革命。以节电、智能电网、可再生能源发电、电动汽车等为代表的新兴电气技术产业已成为全球经济的制高点和重大战略产业,电气技术的创新能力和效率已成为决定一个国家在新时期竞争力的核心产业。电气技术正处在其一百多年历史上最具活力的创新期,也是今天人类极具创新空间和创新成效的技术领域。

思 考 题

- 1-1 什么是导体?什么是绝缘体?
- 1-2 什么是电荷守恒定律?什么是静电感应现象?
- 1-3 最原始的伽伐尼“电池”是怎么发现的?
- 1-4 欧姆定律和电导率的含义。
- 1-5 楞次定律的基本原理。
- 1-6 电灯的发展历程。
- 1-7 电学广泛应用于生活中,请举例说明。