



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电气工程概论

(第二版) (配光盘)

范 瑜 主编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电气工程概论

Dianqi Gongcheng Gailun

(第二版) (配光盘)

范瑜 主编

高沁翔 郑琼林 和敬涵 编

胡敏强 主审



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书首先介绍电气工程的地位、发展历史、现状以及今后的发展趋势,然后分章对电气工程的几个主要领域——电机电器及其控制技术、电力系统及其自动化技术、电力电子技术与电力传动、高电压与绝缘技术、电工新技术以及电气工程的其他应用进行全面系统的介绍。各章内容均按相应领域的发展与现状、基本理论的构成、实际应用范围、今后的发展趋势来阐述。本书涉及的专业面宽、内容新、不涉及过多的理论,着重介绍电气工程基本理论的结构和实际应用领域,对电气工程类学生的专业学习可以起到“导航”的作用。本书可作为电气工程及其自动化专业的教学用书,也可作其他理工科专业的教学参考书,同时也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程概论 / 范瑜主编. — 2版. — 北京: 高等教育出版社, 2013. 12

ISBN 978-7-04-038589-2

I. ①电… II. ①范… III. ①电气工程-高等学校-教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第244697号

策划编辑 金春英
插图绘制 于博

责任编辑 许海平
责任校对 孟玲

封面设计 于文燕
责任印制 刘思涵

版式设计 范晓红

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 唐山市润丰印务有限公司
开本 787 mm × 1092 mm 1/16
印张 14.75
字数 330千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2006年7月第1版
2013年12月第2版
印 次 2013年12月第1次印刷
定 价 44.20元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 38589-00

前 言

《电气工程概论》第一版出版以后,得到很多同行的支持和关注,据不完全统计,目前全国已有 50 多所大学采用这本书作为电气工程专业导论课的教材。但是,从第一版问世到今天,已经过去了七年,这期间电气工程学科又有了很大的发展,高等学校专业目录也在 2012 年做了新的调整。因此,第一版的一些内容已经显得有些过时,我们决定对全书内容做一次全面的修改补充后再版。

在这一版中,增加了很多近年来才出现的新技术,比如,在“电力系统及其自动化技术”一章,增加了微电网和智能电网两小节。同时,对电力工业的一些基本数据也做了更新,尽量采用 2012 年以后的最新统计数据。在第一版中,对电气工程在最基础的工农业生产中的应用介绍不足,所以,在“电机电器及其控制技术”一章,更加详细地介绍了机械、冶金、轻工、化工、矿山、油田、港口、建筑、路桥等行业中电机与拖动的应用情况。同时,根据几年来的教学经验和师生的反馈意见,对一些偏深或后续课程还要专门介绍的内容作了适当删节。

本书第一版得到了西安交通大学王兆安教授的大力支持,他不仅承担了主审的工作,还曾专程来作者学校进行面对面的指导。借此机会,作者再次对王兆安教授表示衷心的感谢!第二版的主审由东南大学胡敏强教授担任,作者也对胡敏强教授百忙中接受邀请表示衷心感谢!

编者

2013 年 9 月

第一版序言

王兆安

10年前,我曾承担教育部“电气信息类专业人才培养方案与课程体系改革的研究与实践”的“面向21世纪”教学改革项目,同时我还担任着西安交通大学电气工程学院院长的职务。当时,为了适应教学改革的需要,一直想策划编写一部“电气工程概论”的教材。但是,编写一本好的教材绝非易事,一直未能如愿。现在,范瑜教授主编的《电气工程概论》一书就要出版了,对我而言,也算了却了一桩心愿。

写一部好书,关键在于作者。写一部好的教材,关键在于找到一位合适的主编。近年来,各种书籍、教材的出版有些泛滥。常常是写不好的人想写,也在写;能写好的人不想写,或投不进精力写。范瑜教授主编的《电气工程概论》让我审稿,首先我对这位主编是放心的。我和范瑜教授在全国高等学校电气工程及其自动化专业教学指导分委员会中共事了五、六年。在委员会中,他的学问和人品都令我非常敬重。

熟悉电气工程学科的人一眼就能看出,《电气工程概论》这部教材的章目录,大体是按照我国研究生专业目录中电气工程一级学科下的二级学科划分的。这样的划分比较清晰,也能够反映电气工程的全貌。我曾经看到过有的“电气工程概论”教材,基本全是与电力系统相关的内容,作者也全是研究电力系统背景的。当然,我认为范瑜教授主编的《电气工程概论》的结构体系更为科学、全面,也更能反映电气工程的全貌。

电气工程诞生于19世纪末,它把人类带入电气时代,极大地改变了人类社会和人们的生存方式。世界上高等教育中的电气工程专业的创办至今也已有百余年历史。经过一个多世纪的发展,在专业建设、课程设置以及教学内容等方面形成了自己的特色。今天,当我们进入21世纪的时候,电气工程科学技术不仅面临着挑战,也遇到了前所未有的发展机遇;而与此同时,在世界范围内掀起了高等教育的改革浪潮。这两方面的因素必将深刻地影响我国电气工程专业的发展。

1908年,交通大学的前身南洋大学堂设置了电机专科,这是我国大学最早的电气工程专业,已有近百年的历史。我国大学电气工程专业是研究电能的产生、传输、变换、控制、存储及应用的专业。时至今日,我国已有近300所大学设置了电气工程及其自动化(或电气工程与自动化)专业(数据来自2005年教育部高等教育司出版的《中国普通高等学校本科专业设置大全》)。

1996年至2000年期间,我国高等教育在专业设置、人才培养模式、课程体系和教学内容、教学方法与手段、实践条件与内容等方面开展了全方位的改革,并取得了丰硕成果,产生

了很大的影响。其对 1998 年高校本科基本专业目录中的电气工程及其自动化专业的定位是:它是以强电为主,强弱电结合的专业,而 1998 年工科引导性专业目录中的电气工程与自动化专业是强弱电结合,二者并重的专业。在课程设置方面,加强基础,拓宽专业面已成为共识,通过对传统的窄专业课程进行大力的整合、更新和发展,以专业方向模块、选修课或讲座的形式开展教学,初步形成了适应 21 世纪初科技发展的人才培养模式和课程设置。在课程体系和教学内容方面,根据新的人才培养模式和科技发展的需求,各校花大气力组织教师进行整合课程体系、更新教学内容的工作。

在我国 1993—1998 年的普通高等学校本科专业目录中,共分哲学、经济学、理学、工学等十大门类。每个门类下设若干个二级类,其中工学门类包括电工类、电子与信息类等 22 个二级类。电工类下共有 5 个专业,分别是:电机电器及其控制、电力系统及其自动化、高电压与绝缘技术、工业自动化和电气技术。电子与信息类下共有 14 个专业。在 1998 年国家颁布的大学本科专业目录中,把上述电机电器及其控制、电力系统及其自动化、高电压与绝缘技术和电气技术等专业合并为电气工程及其自动化专业,而把上述电工类的工业自动化专业和电子与信息类中的自动控制等专业等合并为自动化专业。同时,还把电工类和电子与信息类两个二级类合并为电气信息类。专业口径大大拓宽。此外,在同时颁布的工科引导性专业目录中,又把电气工程及其自动化专业和自动化专业中的部分合并为电气工程与自动化专业。从上述专业目录的演变中可以看出,电气工程及其自动化专业,特别是引导性专业目录中的电气工程与自动化专业大体和 1998 年前的电工二级类相对应,其中引导性专业目录中的电气工程与自动化专业应包括自动化方面的更多内容。

随着科学技术的进步,专业的内涵也要发生变化。电气工程专业也要与时俱进,主要是要和信息科学、自动化科学、计算机科学、电子科学、能源科学、材料科学等其他学科进行交叉和融合,以求自身发展。电气工程专业的学生今后要更多地学习自动化和信息技术方面的知识,才能跟上时代的步伐。

知识的创新和发展要求人才不仅具有丰富的科学文化知识,而且还应具有较强的创新精神和创新能力,以及良好的合作精神和组织管理能力,只有这样才能适应时代发展的要求。因此,拓宽专业口径,减少专业课教学时数已经成为大家的共识。

现在的时代是一个“知识爆炸”的时代,知识的产生、更新速度非常之快。几年前学习到的新鲜知识,现在可能就已经落伍了。电气工程也是如此,我们不能指望在 4 年时间内学完电气工程全部的专业知识。但是尽早了解电气工程的概貌的确是非常必要的,这可以帮助学生尽早把握电气工程的基本技术脉络,为进一步深入研究本专业打下扎实的基础。另外,随着教育教学改革的深入,大学的专业选修课程门数越来越多,内容越来越丰富;有的学校还开始按大类招生,允许学生入学后再选择专业。因此,如何根据自己的兴趣设计自己的专业生涯,如何根据自己的爱好选择专业及专业方向,如何根据自己的特长选修最适合的专业课,成为刚入学的新生越来越关心的问题,也使他们迫切要求尽快了解专业的概貌。

由此可见,编写一本《电气工程概论》的通用教材,就电气工程专业的发展史、专业特点、专业知识结构与应用领域进行全面介绍,从而起到对专业及专业方向选择和课程选择的指导作用,是一项很有意义的工作。

这本《电气工程概论》,比较全面地介绍了电气工程的发展历史、地位与作用、理论体系

和应用领域。全书内容丰富、资料翔实,对专业的演进脉络描述得比较清晰,对专业领域进行了全景式的介绍,反映了电气工程专业的最新科技进展,展示了电气工程专业的应用前景,有助于学生了解该专业,培养学生开阔的视野。

该教材注重知识结构的系统性与完整性,也注重内容的启发性,文字表达深入浅出,简明易懂,不涉及复杂的数学公式,并附有大量精美生动的图片,使初次接触该专业的学生面对的不是枯燥概念,而是会对电气工程的概貌得到一个感性的认识,容易引起学生的学习兴趣。该教材时代特色鲜明,介绍了各行业中大量电工高新技术,相信一定有利于培养学生的创新意识。

该教材采用的体系结构合理,内容组织方法新颖,着力拓宽学生知识面,作者重视展示教材内容和更广阔的信息资源之间的开放性联系(如多处介绍了互联网上的信息资源),以突破教材内容的局限性。在写作手法上历史与当代并举,以介绍当代科技进展为重点,体现了人文精神和科学技术的融合。

该教材内容取材广泛,涉及技术领域宽广,内容覆盖面宽,既考虑了电气工程学科本身的科学性与系统性,同时也考虑到不同类型高校的课程教学要求和行业背景。应用领域涉及电力系统、电工装备制造、工业电气自动化、航空航天、船舶、铁路、公交、建筑、军事、生活等领域,较好地兼顾到了国内各类院校电气工程专业人才培养的传统与特点,因此具有较强的通用性。

当然,这本教材的写作出版还是一次探索与尝试。尽管这本书是作者在总结教学实践经验的基础上编写的,而且在指导思想、教材结构和编写方式上也有很多新意,但是,其结构体系是否适合不同类型的高校、内容是否完备,还有待实践的进一步检验。因此,希望采用该教材的教师在使用过程中不断提出改进意见,以使其更加完善。

第一版前言

近年来,随着科学技术的进步和高等教育改革的深入,电气工程及其自动化专业的教学体系与内容发生了很大变化,调整专业结构,拓宽专业口径,增强适应性已经成为各个高校的共识。有些学校开始尝试按电气信息大类专业招生,有些学校还允许学生入学后经过一段学习后再调整专业。在这种情况下,为使学生提前对电气工程及其自动化(电气工程与自动化)专业的概貌有一个全面、系统的了解,很多学校开设了电气工程概论课程。为了满足教学需要,作者结合教学实践尝试编写了这本教材。

本书首先介绍电气工程的地位、发展历史、现状以及今后的发展趋势,然后分章对电气工程的几个主要领域——电机电器及其控制、电力系统及其自动化、高电压与绝缘技术、电力电子与电力传动、电工新技术以及电气工程的其他应用进行全面系统的介绍。各章内容均按相应领域的发展与现状、基本理论的构成、实际应用范围、今后发展趋势来阐述。本书涉及的专业面宽、内容新、不涉及过多的理论,着重介绍电气工程基本理论的结构和实际应用领域,对电气工程类学生的专业学习可以起到“导航”的作用。

为了开阔学生的视野,培养学生的创新精神,并考虑到在专业上具有不同特色高校的需要,本书用较大篇幅介绍了国民经济与国防建设各个领域电气工程高新技术的应用,如超导电工技术、聚变电工技术、等离子技术、磁流体技术、现代储能技术、燃料电池技术、磁悬浮技术、微机电系统技术以及可再生能源发电、磁流体发电、全电舰船、多电飞机、电气化高速铁路、电动车等。

本书可作为电气工程及其自动化(电气工程与自动化)专业的教学用书,也可作其他理工科专业的教学参考书,同时也可供工程技术人员参考。

本书共分六章,第一章、第二章和第六章由范瑜编写;第三章由高沁翔编写;第四章由郑琼林编写;第五章、第六章的6.10节由和敬涵编写,全书由范瑜统稿。

本书得到了北京市教育委员会精品教材建设项目的支持;教育部教学指导委员会电气工程及其自动化分委员会也对本书给予了支持,特别是分委员会主任、西安交通大学王兆安教授自始至终对本书的结构体系和内容等给予了具体指导,并主审了全书,高等教育出版社也对本书的出版给予很多帮助,作者在此一并表示感谢。

由于作者学术水平有限,再加上国内还没有正式出版的同类教材,本书的结构体系与内容不一定完全合理,错误之处也在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者的通信地址是:北京交通大学电气工程学院,邮编100044;电子邮件地址 yfan@bjtu.edu.cn。

编者

2006年3月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第一章 绪论 1	4.1 电力电子技术的作用与发展简史 106
1.1 电气工程在国民经济中的地位 1	4.2 电力电子技术的特点 117
1.2 电气科学与工程的发展简史 5	4.3 电力电子技术的研究内容 119
1.3 电气工程的发展前景 16	4.4 电力电子技术的主要应用领域 138
1.4 电气工程的理论基础 21	4.5 电力电子技术的地位 142
1.5 电气工程常用计算机软件简介 23	4.6 电力电子技术的发展方向 144
思考题..... 24	4.7 电力传动概况 146
第二章 电机电器及其控制技术 26	思考题..... 156
2.1 电机的作用与发展简史 26	第五章 高电压与绝缘技术 157
2.2 电机的分类与结构 29	5.1 高电压与绝缘技术的发展 157
2.3 电机的应用领域 38	5.2 高电压与绝缘技术的主要内容 159
2.4 电动机的选用与运行控制 55	5.3 高电压新技术及其在各领域的应用 173
2.5 电机学的研究内容 59	思考题..... 177
2.6 电器的发展历史 61	第六章 电工新技术 178
2.7 电器的分类 62	6.1 电工新技术的发展趋势 178
2.8 高压电器 62	6.2 超导电工技术 178
2.9 低压电器 66	6.3 聚变电工技术 189
思考题..... 67	6.4 磁流体发电技术 191
第三章 电力系统及其自动化技术 68	6.5 磁流体推进技术 194
3.1 电力系统发展简史 68	6.6 可再生能源发电 196
3.2 电力系统简介 72	6.7 磁悬浮列车技术 200
3.3 发电厂 82	6.8 燃料电池技术 205
3.4 电力网 88	6.9 飞轮储能系统 208
3.5 电力应用 93	6.10 脉冲功率技术 215
3.6 电力新技术和发展趋势 97	6.11 微机电力系统 219
思考题..... 105	思考题..... 222
第四章 电力电子技术与电力传动 106	参考文献 223

第一章 绪 论

1.1 电气工程在国民经济中的地位

电气工程是与电能生产和应用相关的技术,同时它也是工程教育体系中的一个学科。在我国高等学校的本科专业目录中,电气工程对应的专业是电气工程及其自动化或电气工程与自动化。我国 1998 年以前的普通高等学校本科专业目录中,电工类下共有 5 个专业,分别是:电机电器及其控制、电力系统及其自动化、高电压与绝缘技术、工业自动化和电气技术。在 1998 年国家颁布的大学本科专业目录中,把上述电机电器及其控制、电力系统及其自动化、高电压与绝缘技术和电气技术等专业合并为电气工程及其自动化专业。此外,在同时颁布的工科引导性专业目录中,又把电气工程及其自动化专业和自动化专业中的部分合并为电气工程与自动化专业。在随后的十几年中,一些大学又自主设置了 3 个目录外专业,即电气信息工程、电力工程与管理、电气技术教育,以及 1 个目录外试点专业,即电机电器智能化。2012 年,教育部对 1998 年的专业目录进行了修订,形成《普通高等学校本科专业目录(2012 年)》,其中,原专业目录中电气信息类的一个引导性专业和 4 个目录外专业全部纳入电气工程及其自动化专业,并以单一专业独立成为新的专业类别——电气类。在研究生学科专业目录中,电气工程是工学门类中的一个一级学科,包含电机与电器、电力系统及其自动化、高电压与绝缘技术、电力电子与电力传动、电工理论与新技术 5 个二级学科。

“电气工程”的英文是“Electrical Engineering”。美国普林斯顿大学认知科学实验室英语词汇数据库 WordNet (wordnet.princeton.edu/perl/webwn) 对“电气工程”的定义是:The branch of engineering science that studies the uses of electricity and the equipment for power generation and distribution and the control of machines and communication(工程科学的一个分支,研究电气的应用和发配电设备与机械的控制以及通信)。目前,我国的电气工程及其自动化专业不包括通信。

电气工程的理论基础是电气科学。电气科学与电气工程所涉及的领域十分宽广,研究的内容十分丰富,国家自然科学基金委员会划分的电气科学与工程领域和子领域见表 1-1。

电能是最清洁的能源,而且易于远距离传输和控制,所以已经成为人类现代社会最主要的能源形式。电作为一种特殊的能量存在形态,在物质、能量、信息的相互转化过程以及能量的相互转化中起着重要的作用。由于电(或磁、电磁)本身具有极强的可控性,大多数的能量转换过程都以电(或磁、电磁)作为中间能量形态进行调控,信息表达的交换也越来越多地采用电(或磁)这种特殊介质来实施,因此,当代高新技术都与电能密切相关,并依赖于电能:

表 1-1 电气科学与工程学科分类

1. 电磁学与电路理论	电磁场分布与传播 电磁与物质相互作用 电磁场分析 电磁场与其他场的耦合 物理电磁学 高频电磁学 化学电磁学 环境电磁学 电磁测量学 电网络分析与综合 静电学理论及应用
2. 电机电器学	电接触与电弧 电机与电器分析、运行与控制 新型电机 微机电系统 新型电器
3. 电力系统	电力系统分析 电力系统运行与优化 电力系统保护与控制 新型输配电系统 直流输电系统 电力系统自动化 电力系统远动与通信 电能质量 电力市场 电力系统信息集成与安全
4. 电工材料学	材料的介电特性与介电理论 介电材料的性能测试、结构表征与应用 导电材料及其特性 磁性材料及其特性 电工半导体 能量转换材料 表面和薄膜电磁学 纳米电磁材料

续表

5. 高电压与绝缘	高电压的生成与控制 高电压设备的绝缘诊断与监测 过电压及其防护 高电压测量技术 绝缘的老化和击穿 超常环境下的绝缘特性与理论
6. 电力电子学	电力电子器件及集成 电力电子变流技术 电力电子控制技术 电力电子系统
7. 脉冲功率技术	脉冲功率储能技术与器件 脉冲功率开关技术与器件 脉冲功率的形成与控制 脉冲功率能量转换及应用
8. 放电理论与放电等离子体	气体放电特征与理论 特殊条件下的放电 非平衡等离子体的产生和应用 热电离等离子体的产生和应用 等离子体诊断
9. 超导电工学	超导材料电磁特性 超导电磁器件与应用 超导与电力系统
10. 生物电磁学	电磁成像技术 生物细胞、神经及器官电工学 生物电磁信息检测、分析、处理及应用 电磁场生物效应机理 仿生电磁学 生物医学中的电工技术
11. 电磁兼容	电磁兼容性分析与预测 电磁兼容性试验技术 电磁环境污染及控制
12. 新能源与新发电技术	可再生能源发电 新发电原理与技术 节电新技术 电能储存新技术 分布式电源系统与独立电力系统

电能是计算机、机器人的能源;电能为先进的工农业生产过程和大范围的金融流通提供了保证;电能使当代先进的通信技术成为现实;电能使现代化运输手段得以实现。

有人把电气工程和土木工程、机械工程、化学工程以及管理工程并称为现代五大工程。与其他工程相比,电气工程的特点在于:它的出现首先不是来源于文明发展的自发需要,而是来源于科学发现。它以全新的能量形态开辟出一个人类文明的新领域;它的发展又伴生了电子工程,从而孕育出通信、计算机、网络等工程领域,为信息时代的出现奠定了基础。在信息时代,电既是能量的形态又是信息的载体,电气工程渗透到现代社会的各个领域,它的对象既可以是一个庞大的系统,又可以是一种微小的器件。例如,电力系统是地球上最大的人造系统,有的要覆盖几个国家,而最小的微型电机要用显微镜才能看清楚。

电气科学发展至今,虽然从它衍生出的电子技术、计算机技术、通信技术和自动化技术都相继成为独立的学科和专业,但由于它们与电气工程学科之间难以分割的历史渊源,使得这些学科交叉的密切程度,远非其他学科所能比拟。近几十年来,电气学科与生命科学、物理学、化学、军事科学等学科的许多领域存在广泛的交叉,形成了许多新的学科生长点。可以认为,学科交叉和相互渗透是电气科学之所以能保持长期生命力的重要因素。例如,电机的控制,电力系统的稳定性分析,高电压的在线监测技术,电力电子系统与装置,建筑智能化技术等几乎所有的电气新技术都势必涉及大量电子技术、计算机及其网络通信技术、自动控制技术的相关知识。可以说,当今的电气工程及其自动化专业是一个现代高科学技术综合应用的、多学科交叉的前沿学科专业,具有广阔的应用前景。

正因为如此,电气工程在国家科技体系中具有特殊的重要地位,它既是国民经济的一些基本工业(电力、电工制造等)所依靠的技术科学,又是另一些基本工业(能源、电信、交通、铁路、冶金、化工、机械等)必不可少的支持技术,也是一些高新技术的主要科技组成部分。在与生物、环保、自动化、光学、半导体等民用和军工技术的交叉发展中又是能形成尖端技术和新技术分支的促进因素:在一些综合性高科技成果(如卫星、飞船、导弹、空间站、航天飞机等)中,也必须有电气工程的新技术和新产品。所以,在工农业和国防力量的发展以及人民生活水平的提高过程中,电气工程的发展水平具有巨大的作用和广泛的影响。

20 世纪后半叶以来,电气科学的进步使电气工程得到了突飞猛进的发展,其发展深度与广度远远超出人们的预期和想象。不仅在电子技术、计算机技术、通信技术、自动化技术等方面得到了空前的发展,相继建立了各自的独立学科和专业,仅就电气工程本身而言,在电能的产生、传输、分配、使用过程中,无论就其系统(网络),还是相关的设备,其规模和质量,检测、监视、保护和控制水平都获得了极大的提高。因此,今天的电气工程领域对高级技术人才的需求,无论就其数量,还是就其质量,都将超过以往任何时代。例如:建筑电气与智能化在建筑行业中的比重越来越大,现代化建筑物、建筑小区,乃至乡镇和城市对电气照明、楼宇自动控制、计算机网络通信,以及防火、防盗和停车场管理等安全防范系统的要求越来越迫切,也越来越高;在交通运输行业,过去采用蒸汽机或内燃机直接牵引的列车几乎全部都要由电力牵引或电传动取代,磁悬浮列车的驱动、电动汽车的驱动、舰船的推进,甚至飞机的推进都将大量使用电力;机械制造行业中机电一体化技术的实现和各种自动化生产线的建设,国防领域的全电化军舰、战车、电磁武器等等,都迫切需要从事电气工程的技术人才。

在我国当代高等工程教育中,电气工程及其自动化专业是一个宽口径综合性专业。它涉

及电能的产生、传输、分配、使用全过程中,系统(网络)及其设备的研发、设计、制造、运行、检测和控制等多方面各环节的工程技术问题,所以要求电气工程师掌握电工理论、电子技术、自动控制理论、信息处理、计算机及其控制、网络通信等宽广领域的工程技术基础和专业知识。

电气工程及其自动化专业不仅要为电力工业与机械制造业,也要为国民经济其他部门,如交通、建筑、冶金、机械、化工等,培养从事电气科学研究和工程技术的高级专门人才。所以说电气工程及其自动化专业是一个以电力工业及其相关产业为主要服务对象,同时辐射到国民经济其他各部门,应用十分广泛的专业,因而在此专业学习的学生有着大量和广阔的市场需求。

1.2 电气科学与工程的发展简史

1.2.1 电气科学的萌芽与理论形成

人类最初是从自然界的雷电现象和天然磁石中开始注意电磁现象的。古希腊和中国的古代文献都记载了琥珀摩擦后吸引细微物体和天然磁石吸铁的现象。公元前 1100—前 771 年,中国的青铜器上就出现了篆文的“电”字。战国时期,出现了用磁石指示方向的仪器——司南,成为中国古代四大发明之一。公元 1 世纪王充所著《论衡》一书中,记载了“顿牟掇芥,磁石引针”的现象(顿牟:琥珀,掇:吸引,芥:很轻的植物籽),最早把静电现象和磁现象相并列。《论衡》中还对司南的形状和用法做了明确的记录,图 1-1 是后人根据书中的描述复制的司南模型。到了宋代,用磁铁制成的指南针已经得到广泛应用。



图 1-1 司南模型

近代电磁学的研究,可以认为开始于英国的 W. 吉尔伯特(William Gilbert 1544—1603)。1600 年,他用拉丁文发表了《论磁石》(De Magnete, 英语译为 On the Magnet)一书(如图 1-2 所示),系统地讨论了地球的磁性,认为地球是个大磁石,还提出可以用磁倾角判断地球上各处的纬度。现代英语中 Electricity(电)这个字就是他根据“琥珀”的希腊文字(ηλεκτρον)和拉丁文字(electrum)创造的。

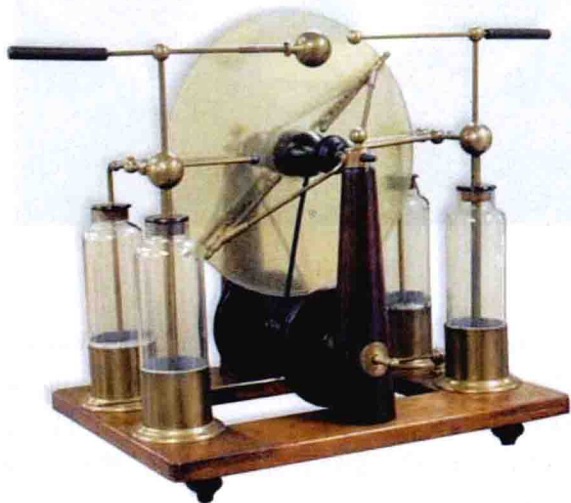
吉尔伯特的实验和研究发展了有关电的知识。在他之前,人们对电的认识基本上停留在古希腊哲学家泰勒斯所描述的琥珀经摩擦会产生电的水平上。吉尔伯特设计制作了一台验



■ 图 1-2 吉尔伯特和他的著作《论磁石》

电器,由一个尖顶支承一根能够灵活转动的指针。他把钻石、宝石、玻璃、水晶、硫黄、树脂等各种物体摩擦后靠近指针,看指针是否被吸引向这些物体。通过这样的实验,他得出结论:琥珀的性质是许多其他物质共有的。他把这些物质称为“带电体”,而把金属物质列为“非带电体”。他当时还没有认识到,金属在摩擦时也会产生电荷,只不过因为是导体,静电荷会瞬间流失。

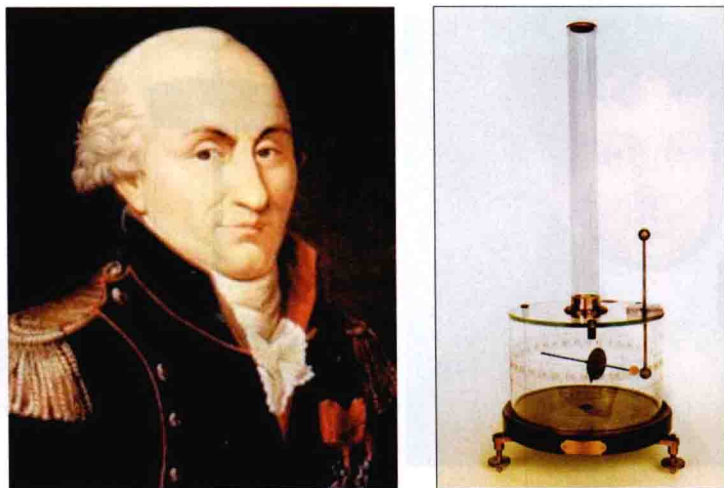
在吉尔伯特之后,奥托·冯·库克于 1660 年发明了摩擦起电机;斯蒂芬·格雷于 1729 年发现了导体;杜斐于 1733 年描述了点的两种力——吸引力和排斥力。1745 年荷兰莱顿大学的克里斯特与莫什布鲁克发现电可以存储在装有铜丝或水银的玻璃瓶里,格鲁斯拉根据这一发现制成莱顿瓶,也就是电容器的前身。图 1-3 所示为一台 19 世纪制造的带有莱顿瓶的摩擦起电机。



■ 图 1-3 带有莱顿瓶的摩擦起电机

(www.sparkmuseum.com 网站 John Jenkins 提供)

1752年,美国人本杰明·富兰克林(Benjamin Franklin, 1706—1790)通过著名的风筝实验得出闪电等同于电的结论,并首次将正、负号用于电学中。随后,普里斯特里、泊松、库伦、卡文迪许等一批杰出的科学家对电学的理论做出了重要贡献:普里斯特里发现了电荷间的平方反比律;泊松把数学理论应用于电场计算;库伦(Charles Augustin de Coulomb, 1736—1806)在1777年发明了能够测量电荷量的扭力天平,利用扭力天平,库伦发现电荷引力或斥力的大小与两个小球所带电荷电量的乘积成正比,而与两小球球心之间的距离平方成反比的规律,这就是著名的库伦定律。图1-4所示为库伦与他发明的扭力天平。



■ 图 1-4 库伦与他发明的扭力天平

1800年,意大利科学家伏特(Alessandro Volta, 1745—1827,也译为伏打)发明了伏打电池,也译为伏打电堆,从而使化学能可以转化为源源不断输出的电能。这一装置使电不再是微弱的或转瞬即逝的现象,从而让电学终于迈出了静电学的狭小范围,极大地推动了电学的研究与应用。因此,伏打电池被称为电学的一个重要里程碑。图1-5所示为伏特与伏打电池。



■ 图 1-5 伏特与伏打电池