



电气与信息学科精品课程系列教材

电气工程基础

DIANQI GONGCHENG JICHU

吴文辉 / 主编 宋平岗 / 主审



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

电气与信息学科精品课程系列教材

电气工程基础

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

本书为高等学校电气工程及其自动化(电气工程与自动化)专业与自动化专业的大类专业基础平台课程教材。

全书共分 11 章,内容包括:电气工程概论,电器设备及选择,电气一次系统,电气二次系统,电力系统运行分析,继电保护与安全自动装置,电力系统自动化,高电压工程,电气工程设计,电气工程监理,电气工程管理。全书概括了电气工程的全貌,内容全面,以电力系统为主,着重阐述了电气工程的基本概念、基本理论和基本计算。本书有丰富的工程案例,实用性强,还有电气工程运行、建设、设计、监理、管理等相关基础知识,每章均附有思考题,便于所学知识的巩固提高。

本书可作为电气工程相关理工科专业学生了解电气工程的参考书,也可作为从事电气科学与工程运行、建设、设计、监理、管理等工程技术人员和管理人员的培训教材及参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程基础/吴文辉 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2010.8
ISBN 978-7-5609-6335-8

I. 电… II. 吴… III. 电气工程-高等学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 113393 号

电气工程基础

吴文辉 主编

策划编辑:谢燕群

责任编辑:江 津

封面设计:刘 卉

责任校对:张 琳

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉市兴明图文信息有限公司

印 刷:通山金地印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:23.5

字 数:608 千字

版 次:2010年8月第1版第1次印刷

定 价:38.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

本书是根据普通高等学校应用型电气信息类专业精品课程系列教材编审委员会于2009年7月在武汉会议上讨论通过的编写大纲进行编写的,是高等院校电气工程及其自动化(电气工程与自动化)专业与自动化专业的专业基础平台课程教材。也可作为电气工程相关理工科专业的教学参考书,并可作为从事电气运行、建设、监理、设计、管理等工程技术人员和管理人员的培训教材及参考书。

电气工程及其自动化专业是电气信息类学科的宽口径专业,“电气工程基础”是该专业的专业基础平台课程,该课程的重要使命是初步建立电气工程专业的系统观和工程观,为后续专业课程知识的进一步加深加宽打下基础。

在教材的编写过程中,力求做到以下特点。

整合内容,删繁就简,打造基础平台 既要知识面宽,又要避免多门专业课程知识内容的简单叠加,使教材篇幅过大。本书注重基础,为后续专业课程留下接口。

注重知识的工程应用 以培养注册电气工程师、电力建造师、电力监理工程师为目标,在介绍基本理论的同时,注重实践应用,增加工程应用案例的介绍。

体系新 在以前教材的基础上重构和重组,增加了电力法律法规简介;介绍了电气工程设计、电气工程监理、电气工程概算和预算、电气工程招标和投标、电气工程管理、电力市场、电力需求侧管理等工程应用基础知识。

内容新 在精选内容方面,力求适应电气工程的需要,着重介绍电气工程领域的基础知识,并对电气工程的新设备和新技术进行了介绍,每章的思考题利于启发读者思考和帮助读者总结。

全书共分11章,华东交通大学吴文辉主编并编写第1、8、10和11章,南昌工程学院章顺华编写第5章,华东交通大学罗杰编写第2、3、4章,何人望编写第6章,彭春华编写第7章,程宏波编写第9章。全书由吴文辉统稿,华东交通大学宋平岗教授主审。

该书获得华东交通大学教材出版基金资助。

在教材规划和编写过程中得到华东交通大学电气与电子工程学院的支持,南昌工程学院赵志英教授审阅了书稿,在此一并表示感谢。

限于编者的水平和经验,书中难免有不当或错漏之处,诚恳地希望读者批评指正,作者邮箱为 wwh7@ecjtu.jx.cn。

编 者

2010年6月

目 录

第 1 章 电气工程概论	(1)
1.1 电气工程的地位和作用	(1)
1.2 电机工程	(8)
1.3 电力系统工程	(13)
1.4 电力电子技术	(22)
1.5 高电压工程	(25)
1.6 电气工程新技术	(30)
思考与练习题	(37)
第 2 章 电器设备及选择	(38)
2.1 电弧与灭弧	(38)
2.2 高压断路器	(41)
2.3 隔离开关、高压负荷开关、高压熔断器	(45)
2.4 低压电器	(49)
2.5 互感器	(52)
2.6 电气设备的选择	(60)
思考与练习题	(68)
第 3 章 电气一次系统	(69)
3.1 发电工程	(69)
3.2 电气主接线	(76)
3.3 配电装置	(85)
3.4 电力系统负荷	(95)
思考与练习题	(98)
第 4 章 电气二次系统	(99)
4.1 电气二次回路基本概念	(99)
4.2 断路器的控制与信号回路	(102)
4.3 中央信号	(108)
4.4 发电厂变电所的操作电源	(112)
思考与练习题	(115)
第 5 章 电力系统运行分析	(116)
5.1 电力网的参数计算和等值电路	(116)

5.2	电力系统的稳态运行	(127)
5.3	电力系统的经济运行	(148)
5.4	电力系统故障分析	(152)
5.5	电力系统稳定性	(166)
5.6	远距离输电	(177)
	思考与练习题	(185)
第 6 章	继电保护与安全自动装置	(186)
6.1	继电保护概述	(186)
6.2	电力线路的继电保护	(190)
6.3	变压器保护	(209)
6.4	发电机保护	(213)
6.5	安全自动装置	(215)
	思考与练习题	(218)
第 7 章	电力系统自动化	(220)
7.1	电力系统通信	(220)
7.2	电力系统调度自动化	(227)
7.3	电厂自动化系统	(237)
7.4	变电站综合自动化	(239)
	思考与练习题	(244)
第 8 章	高电压工程	(245)
8.1	高电压绝缘	(245)
8.2	高压绝缘试验	(251)
8.3	电力系统过电压及其保护	(260)
8.4	电力系统绝缘配合	(270)
	思考与练习题	(271)
第 9 章	电气工程设计	(272)
9.1	电气工程设计的基本知识	(272)
9.2	电气制图规范	(274)
9.3	电气工程设计的内容	(286)
9.4	电气设计 CAD 简介	(293)
9.5	变配电工程设计示例	(297)
	思考与练习题	(308)
第 10 章	电气工程建设监理	(309)
10.1	工程建设监理概述	(309)

10.2	工程进度控制	(312)
10.3	工程投资控制	(315)
10.4	工程质量控制	(317)
10.5	工程安全控制	(325)
	思考与练习题	(327)
第 11 章	电气工程管理	(328)
11.1	电气工程概、预算编制及其要点	(328)
11.2	电力工程招标和投标	(335)
11.3	电力企业生产管理	(345)
11.4	电力市场	(350)
11.5	电力需求侧管理	(356)
	思考与练习题	(361)
	参考文献	(362)

第 1 章 电气工程概论

1.1 电气工程的地位和作用

1.1.1 电气工程在国民经济中的地位

电能是最清洁的能源,它是由蕴藏于自然界中的煤、石油、天然气、水力、核燃料、风能和太阳能等一次能源转换而来的。同时,电能可以很方便地转换成其他形式的能量,如光能、热能、机械能和化学能等供人们使用。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。电能的生产、输送、分配、使用过程易于控制和远距离传输,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,以及能量之间的相互转化中起着重要的作用。因此,当代高新技术都与电能密切相关,并依赖于电能。电能为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;电能是计算机、机器人的能源。因此,电能已成为工业、农业、交通运输、国防科技及人们生活等人类现代社会最主要的能源形式。

电气工程(EE, Electrical Engineering)是与电能生产和应用相关的技术,包括发电工程、输配电工程和用电工程。发电工程根据一次能源的不同可以分为火力发电工程、水力发电工程、核电工程、可再生能源工程等。输配电工程可以分为输变电工程和配电工程两类。用电工程可分为船舶电气工程、交通电气工程、建筑电气工程等。电气工程还可分为电机工程、电力电子技术、电力系统工程、高电压工程等。

电气工程是为国民经济发展提供电力能源及其装备的战略性产业,是国家工业化和国防现代化的重要技术支撑,是国家在世界经济发展中保持自主地位的关键产业之一。电气工程在现代科技体系中具有特殊的地位,它既是国民经济的一些基础工业(电力、电工制造等)所依靠的技术科学,又是另一些基础工业(能源、电信、交通、铁路、冶金、化工和机械等)必不可少的支持技术,更是一些高新技术的主要科技的组成部分。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。可见,电气工程的产业关联度高,对原材料工业、机械制造业、装备工业,以及电子、信息等一系列产业的发展均具有推动和带动作用,对提高整个国民经济效益,促进经济社会可持续发展,提高人民生活质量有显著的影响。电气工程与土木工程、机械工程、化学工程及管理工程并称现代社会五大工程。

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。例如,在电力系统方面,20 世纪 80 年代以来,我国电力需求连续 20 多年实现快速增长,年均增长速度接近

8%，预计在未来的20年电力需求仍需要保持5.5%~6%的速度增长。在电能的生产、传输、分配和使用过程中，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。经过改革开放30多年的发展，我国电气工程已经形成了较完整的科研、设计、制造、建设和运行体系，成为世界电力工业大国之一。至2007年底，我国发电装机容量达7.13亿kW，目前拥有三峡水电及输变电工程、百万千瓦级超临界火电工程、百万千瓦级核电工程，以及全长645km的交流1000kV晋东南—南阳—荆门特高压输电线路工程、世界第一条直流±800kV云广特高压输变电工程等举世瞩目的电气工程项目。大电网安全稳定控制技术、新型输电技术的推广，大容量电力电子技术的研究和应用，风力发电、太阳能光伏发电等可再生能源发电技术的产业化及规模化应用，超导电工技术、脉冲功率技术、各类电工新材料的探索与应用取得重要进展。电子技术、计算机技术、通信技术、自动化技术等方面也得到了空前的发展，相继建立了各自的独立学科和专业，电气应用领域超过以往任何时代。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被电力牵引或电传动机车取代，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、电磁武器等也都离不开电。特别是进入21世纪以来，电气工程领域全面贯彻科学发展观，新原理、新技术、新产品、新工艺获得广泛应用，拥有了一批具有自主知识产权的科技成果和产品，自主创新已成为行业的主旋律。我国的电气工程技术和产品，在满足国内市场需求的的基础上已经开始走向世界。电气工程技术的飞速发展，迫切需要从事电气工程的大量各级专业技术人才。

1.1.2 电气工程的发展

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。1600年，英国的威廉·吉尔伯特用拉丁文出版了《磁石论》一书，系统地讨论了地球的磁性，开创了近代电磁学的研究。

1660年，奥托·冯·库克丁发明了摩擦起电机；1729年，斯蒂芬·格雷发现了导体；1733年，杜斐描述了电的两种力——吸引力和排斥力。1745年，荷兰莱顿大学的克里斯特和马森·布洛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。

1752年，美国人本杰明·富兰克林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。1777年，库伦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，这就是著名的库仑定律。

1800年，意大利科学家伏特发明了伏打电池，从而使化学能可以转化为源源不断输出的电能。伏打电池是电学发展过程中的一个重要里程碑。

1820年,丹麦科学家奥斯特在实验中发现了电可以转化为磁的现象。同年,法国科学家安培发现了两根通电导线之间会发生吸引或排斥。安培在此基础上提出的载流导线之间的相互作用力定律,后来被称为安培定律,成为电动力学的基础。

1827年,德国科学家欧姆用公式描述了电流、电压、电阻之间的关系,创立了电学中最基本的定律——欧姆定律。

1831年8月29日,英国科学家法拉第成功地进行了“电磁感应”实验,发现了磁可以转化为电的现象。在此基础上,法拉第创立了研究暂态电路的基本定律——电磁感应定律。至此,电与磁之间的统一关系被人类所认识,并从此诞生了电磁学。法拉第还发现了载流体的自感与互感现象,并提出电力线与磁力线概念。

1831年10月,法拉第创制了世界上第一部感应发电机模型——法拉第盘。

1832年,法国科学家皮克斯在法拉第的影响下发明了世界上第一台实用的直流发电机。

1834年,德籍俄国物理学家雅可比发明了第一台实用的电动机,该电动机是功率为15 W的棒状铁芯电动机。1839年,雅可比在涅瓦河上做了用电动机驱动船舶的实验。

1836年,美国的机械工程师达文波特用电动机驱动木工车床,1840年又用电动机驱动印报机。

1845年,英国物理学家惠斯通通过外加伏打电池电源给线圈励磁,用电磁铁取代永久磁铁,取得了成功,随后又改进了电枢绕组,从而制成了第一台电磁铁发电机。

1864年,英国物理学家麦克斯韦在《电磁场的动力学理论》中,利用数学进行分析与综合,进一步把光与电磁的关系统一起来,建立了麦克斯韦方程,最终用数理科学方法使电磁学理论体系建立起来。

1866年,德国科学家西门子制成第一台自激式发电机,西门子发电机的成功标志着制造大容量发电机技术的突破。

1873年,麦克斯韦完成了划时代的科学理论著作——《电磁通论》。麦克斯韦方程是现代电磁学最重要的理论基础。

1881年,在巴黎博览会上,电气科学家与工程师统一了电学单位,一致同意采用早期为电气科学与工程作出贡献的科学家的姓作为电学单位名称,从而电气工程成为在全世界范围内传播的一门新兴学科。

1885年,意大利物理学家加利莱奥·费拉里斯提出了旋转磁场原理,并研制出二相异步电动机模型,1886年,美国的尼古拉·特斯拉也独立地研制出二相异步电动机。1888年,俄国工程师多利沃·多勃罗沃利斯基研制成功第一台实用的三相交流单鼠笼异步电动机。

19世纪末期,电动机的使用已经相当普遍。电锯、车床、起重机、压缩机、磨面机和凿岩钻等都已由电动机驱动,牙钻、吸尘器等也都用上了电动机。电动机驱动的电力机车、有轨电车、电动汽车也在这一时期得到了快速发展。1873年,英国人罗伯特·戴维森研制成第一辆用蓄电池驱动的电动汽车。1879年5月,德国科学家西门子设计制造了一台能乘坐18人的三节敞开式车厢小型电力机车,这是世界上电力机车首次成功的试验。1883年,世界上最早的电气化铁路在英国开始营业。

1809年,英国化学家戴维用2 000个伏打电池供电,通过调整木炭电极间的距离使之产生放电而发出强光,这是电能首次应用于照明。1862年,用两根有间隙的炭精棒通电产生电

弧发光的电弧灯首次应用于英国肯特郡海岸的灯塔,后来很快用于街道照明。1840年,英国科学家格罗夫对密封玻璃罩内的铂丝通以电流,达到炽热而发光,但由于寿命短、代价太大不切实用。1879年2月,英国的斯万发明了真空玻璃泡碳丝的电灯,但是由于碳的电阻率很低,要求电流非常大或碳丝极细才能发光,制造困难,所以仅仅停留在实验室阶段。1879年10月,美国发明家爱迪生试验成功了真空玻璃泡中碳化竹丝通电发光的灯泡,由于其灯泡不仅能长时间通电稳定发光,而且工艺简单、制造成本低廉,这种灯泡很快成为商品。1910年,灯泡的灯丝由W. D. 库甲奇改用钨丝。

1875年,法国巴黎建成了世界上第一座火力发电厂,标志着世界电力时代的到来。1882年,“爱迪生电气照明公司”在纽约建成了商业化的电厂和直流电力网系统,发电功率660 kW,供应7 200个灯泡的用电。同年,美国兴建了第一座水力发电站,之后水力发电逐步发展起来。1883年,美国纽约和英国伦敦等大城市先后建成中心发电厂。到1898年,纽约又建立了容量为3万千瓦的火力发电站,用87台锅炉推动12台大型蒸汽机为发电机提供动力。

早期的发电厂采用直流发电机,在输电方面,很自然地采用直流输电。第一条直流输电线路出现于1873年,长度仅有2 km。1882年,法国物理学家和电气工程师德普勒在慕尼黑博览会上展示了世界上第一条远距离直流输电试验线路,把一台容量为3马力(1马力=735.498 75 W)的水轮发电机发出的电能,从米斯巴赫输送到相距57 km的慕尼黑,驱动博览会上的一台喷泉水泵。

1882年,法国人高兰德和英国人约翰·吉布斯研制成功了第一台具有实用价值的变压器,1888年,由英国工程师费朗蒂设计,建设在泰晤士河畔的伦敦大型交流发电站开始输电,其输电电压高达10 kV。1894年,俄罗斯建成功率为800 kW的单相交流发电站。

1887—1891年,德国电机制造公司成功开发了三相交流电技术。1891年,德国劳芬电厂安装并投产了世界上第一台三相交流发电机,并通过第一条13.8 kV输电线路将电力输送到远方用电地区,既用于照明,又用于电力拖动。从此,高压交流输电得到迅速的发展。

电力的应用和输电技术的发展,促使一大批新的工业部门相继产生。首先是与电力生产有关的行业,如电机、变压器、绝缘材料、电线电缆、电气仪表等电力设备的制造厂和电力安装、维修和运行等部门;其次是以电作为动力和能源的行业,如照明、电镀、电解、电车、电报等企业 and 部门,而新的日用电器生产部门也应运而生。这种发展的结果,又反过来促进了发电和高压输电技术的提高。1903年,输电电压达到60 kV,1908年,美国建成第一条110 kV输电线路,1923年建成投运第一条230 kV线路。从20世纪50年代开始,世界上经济发达的国家进入经济快速发展时期,用电负荷保持快速增长,年均增长率在6%左右,并一直持续到20世纪70年代中期。这带动了发电机制造技术向大型、特大型机组发展,美国第一台300、500、1 000、1 150和1 300 MW汽轮发电机组分别于1955年、1960年、1965年、1970年和1973年投入运行。同时,大容量远距离输电的需求,使电网电压等级迅速向超高压发展,第一条330、345、400、500、735、750和765 kV线路分别于1952年(前苏联)、1954年(美国)、1956年(前苏联)、1964年(美国)、1965年(加拿大)、1967年(前苏联)和1969年(美国)建成,1985年,前苏联建成第一条1 150 kV特高压输电线路。

1870—1913年,以电气化为主要特征的第二次工业革命,彻底改变了世界的经济格局。

这一时期,发电以汽轮机、水轮机等为原动机,以交流发电机为核心,输电网以变压器与输配电线路等组成,使电力的生产、应用达到较高的水平,并具有相当大的规模。在工业生产、交通运输中,电力拖动、电力牵引、电动工具、电加工、电加热等得到普遍应用,到 1930 年前后,吸尘器、电动洗衣机、家用电冰箱、电灶、空调器、全自动洗衣机等各种家用电器也相继问世。英国于 1926 年成立中央电气委员会,1933 年建成全国电网。美国工业企业中以电动机为动力的比重,从 1914 年的 30% 上升到 1929 年的 70%。前苏联在十月革命后不久也提出了全俄电气化计划。20 世纪 30 年代,欧美发达国家都先后完成了电气化。从此,电力取代了蒸汽,使人类迈进了电气化时代,20 世纪成为“电气化世纪”。

今天,电能的应用已经渗透到人类社会生产、生活的各个领域,它不仅创造了极大的生产力,而且促进了人类文明的巨大进步,彻底改变了人类的社会生活方式,电气工程也因此被人们誉为“现代文明之轮”。

21 世纪的电气工程学科将在与信息科学、材料科学、生命科学以及环境科学等学科的交叉和融合中获得进一步发展。创新和飞跃往往发生在学科的交叉点上。所以,在 21 世纪,电气工程领域的基础研究和应用基础研究仍会是一个百花齐放、蓬勃发展的局面,而与其他学科的融合交叉是它的显著特点。超导材料、半导体材料与永磁材料的最新发展对于电气工程领域有着特别重大的意义。从 20 世纪 60 年代开始,实用超导体的研制成功地开创了超导电工的新时代。目前,恒定与脉冲超导磁体技术已经进入成熟阶段,得到了多方面的应用,显示了其优越性与现实性。超导加速器与超导核聚变装置的建成与运行成为 20 世纪下半叶人类科技史中辉煌的成就;超导核磁共振谱仪与磁成像装置已实现了商品化。20 世纪 80 年代制成了高临界温度超导体,为 21 世纪电气工程的发展展示了更加美好的前景。

半导体的发展为电气工程领域提供了多种电力电子器件与光电器件。电力电子器件为电机调速、直流输电、电气化铁路、各种节能电源和自动控制的发展做出了重大贡献。光电池效率的提高及成本的降低为光电技术的应用与发展提供了良好的基础,使太阳能光伏发电已在边远、缺电地区得到了应用,并有可能在未来电力供应中占据一定份额。半导体照明是节能的照明,它能大大降低能耗,减少环境污染的压力,是更可靠、更安全的照明。

新型永磁材料,特别是钕铁硼材料的发现与迅速发展使永磁电机、永磁磁体技术在深入研究的基础上登上了新台阶,应用领域不断扩大。

微型计算机、电力电子和电磁执行器件的发展,使得电气控制系统响应快、灵活性高、可靠性强的优点越来越突出,因此,电气工程正在使一些传统产业发生变革。例如,传统的机械系统与设备,在更多或全面地使用电气驱动与控制后,大大改善了性能,“线控”汽车、全电舰船、多电/全电飞机等研究就是其中最典型的例子。

1.1.3 电气工程学科分类

电气工程学科是当今高新技术领域中不可或缺的关键学科。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、电工理论与新技术等5个二级学科。在我国当代高等工程教育中,电气工程及其自动化专业(或电气工程与自动化专业)是一个新型的宽口径综合性专业。它涉及电能的生产、传输、分配、使用全过程,电力系统(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,掌握电气工程运行、电气工程设计、电气工程技术咨询、电气工程设备招标及采购咨询、电气工程的项目管理、电气设计项目和建设项目的监理等基本技能。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。可见,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。

《学科分类与代码》(GB/T13745—1992)由国家技术监督局于1992年11月1日发布,1993年7月1日实施。其中,一级学科名称代码为3位数,二级学科名称代码为5位数,三级学科名称代码为7位数,一级学科名称代码无分隔点,二、三级学科名称代码有分隔点。电气工程是一级学科动力与电气工程下的二级学科,包含18个三级学科,如表1.1.1所示。

表 1.1.1 电气工程学科分类与代码

学科代码	学科名称	学科代码	学科名称
470.4011	电工学	470.4041	电热与高频技术
470.4014	电路理论	470.4044	超导电工技术
470.4017	电气测量技术及其仪器仪表	470.4047	发电工程(包括水力、热力、风力、磁流体发电工程等)
470.4021	电工材料	470.4051	输配电工程
470.4024	电机学	470.4054	电力系统及其自动化
470.4027	电器学	470.4057	电力拖动及其自动化
470.4031	电力电子技术	470.4061	用电技术
470.4034	高电压工程	470.4064	电加工技术
470.4037	绝缘技术	470.4099	电气工程其他学科

注:一级学科(动力与电气工程)代码为470;二级学科(电气工程)代码为40。

1.1.4 电气工程法律法规简介

《中华人民共和国电力法》(以下简称《电力法》)由第八届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议于1995年12月28日通过,1996年4月1日起施行。

《电力法》的立法宗旨是为了保障和促进电力事业的发展,维护电力投资者、经营者和使用者的合法权益,保障电力安全运行。适用范围是中华人民共和国境内的电力建设、生产、供应和使用活动。《电力法》明确:电力事业应当适应国民经济和社会发展的需要,适当超前发展。国家鼓励、引导国内外的经济组织和个人依法投资开发电源,兴办电力生产企业。电力事业投资实行谁投资、谁收益的原则。电力设施受国家保护。禁止任何单位和个人危害电力设施安全或者非法侵占、使用电能。

《电力法》明确环境保护的重要。电力建设、生产、供应和使用应当依法保护环境,采用新技术,减少有害物质排放,防治污染和其他公害。国家鼓励和支持利用可再生能源和清洁能源发电。

《电力法》明确各部门的职责。国务院电力管理部门负责全国电力事业的监督管理。国务院有关部门在各自的职责范围内负责电力事业的监督管理。县级以上地方人民政府经济综合主管部门是本行政区域内的电力管理部门,负责电力事业的监督管理。县级以上地方人民政府有关部门在各自的职责范围内负责电力事业的监督管理。电力建设企业、电力生产企业、电网经营企业依法实行自主经营、自负盈亏,并接受电力管理部门的监督。国家帮助和扶持少数民族地区、边远地区和贫困地区发展电力事业。

《电力法》明确注明国家鼓励在电力建设、生产、供应和使用过程中,采用先进的科学技术和管理方法,对在研究、开发、采用先进的科学技术和方法等方面作出显著成绩的单位和个人给予奖励。

《电力法》内容包括总则、电力建设、电力生产与电网管理、电力供应与使用、电价与电费、农村电力建设和农业用电、电力设施保护、监督检查、法律责任和附则,共十章七十五条。

《电力供应与使用条例》是根据《中华人民共和国电力法》制定,由国务院于1996年4月17日颁布,1996年9月1日实施的。目的是加强电力供应与使用的管理,保障供电、用电双方的合法权益,维护供电、用电秩序,安全、经济、合理地供电和用电。适用于在中华人民共和国境内,电力供应企业(以下称供电企业)和电力使用者(以下称用户)以及与电力供应、使用有关的单位和个人。条例规定国务院电力管理部门负责全国电力供应与使用的监督管理工作。县级以上地方人民政府电力管理部门负责本行政区域内电力供应与使用的监督管理工作。电网经营企业依法负责本供区内的电力供应与使用的业务工作,并接受电力管理部门的监督。国家对电力供应和使用实行安全用电、节约用电、计划用电的管理原则。供电企业和用户应当遵守国家有关规定,采取有效措施,做好安全用电、节约用电、计划用电工作。供电企业和用户应当根据平等自愿、协商一致的原则签订供用电合同。电力管理部门应当加强对供用电的监督管理,协调供用电各方关系,禁止危害供用电安全和非法侵占电能的行为。

《电力供应与使用条例》内容包括总则、供电营业区、供电设施、电力供应、电力使用、供用电合同、监督与管理、法律责任和附则,共九章四十五条。

《中华人民共和国合同法》(以下简称《合同法》),是经第九届全国人民代表大会第二次会议于1999年3月15日通过,1999年10月11日起实施的。随着社会主义市场经济体制的不断完善以及电力体制改革的不断深入,供电企业实行商业化运作、法制化管理的机制越来越明确,企业与用户之间的关系用行政的方法和手段来维系已渐不适应,而必须用法律的方法和手段来规范。由于电力商品交易的特殊性,《合同法》为供用电合同专辟一章,明确了供

电企业与用户的权利和义务,为电力市场营销活动提供了基本法律准则。供用电合同是电力供应与使用双方根据平等自愿、协商一致的原则,按照国家有关法律和政策规定,确定双方权利和义务的协议。我国《合同法》第一百七十六条规定“供用电合同是供电人向用电人供电,用电人支付电费的合同”。“供用电合同的内容包括供电的方式、质量、时间,电价、电费的结算方式,供电设施的维护责任等条款”。由此可见,供用电合同是电力企业经营管理的一项主要内容,其目标、任务和企业经营管理的目标、任务相一致。通过签订和履行供用电合同,在电力企业与客户之间建立起桥梁和纽带关系,有利于开拓电力营销,增强电力企业市场竞争能力。供用电合同是依法成立的,在签订和履行过程中涉及诸多法律问题,研究和探讨供用电合同涉及的法律问题,有助于依法全面履行供用电合同,对提高电力企业经营管理水平,维护社会良好、有序的供电秩序和维护客户以及电力企业的合法权益都有着重要的意义。

为了保护电力设施,《中华人民共和国刑法》有关条款如下所述。第一百一十八条 破坏电力、煤气或者其他易燃易爆设备,危害公共安全,尚未造成严重后果的,处三年以上十年以下有期徒刑。第一百一十九条 破坏交通工具、交通设施、电力设备、燃气设备、易燃易爆设备,造成严重后果的,处十年以上有期徒刑、无期徒刑或者死刑。过失犯前款罪的,处三年以上七年以下有期徒刑或者拘役。第一百三十四条 工厂、矿山、林场、建筑企业或者其他企业、事业单位的职工,由于不服管理、违反规章制度,或者强令工人违章冒险作业,因而发生重大伤亡事故或者造成其他严重后果的,处三年以下有期徒刑或者拘役;情节特别恶劣的,处三年以上七年以下有期徒刑。第一百三十五条 工厂、矿山、林场、建筑企业或者其他企业、事业单位的劳动安全设施不符合国家规定,经有关部门或者单位职工提出后,对事故隐患仍不采取措施,因而发生重大伤亡事故或者造成其他严重后果的,对直接责任人员,处三年以下有期徒刑或者拘役;情节特别恶劣的,处三年以上七年以下有期徒刑。第一百三十七条 建设单位、设计单位、施工单位、工程监理单位违反国家规定,降低工程质量标准,造成重大安全事故的,对直接责任人员,处五年以下有期徒刑或者拘役;后果特别严重的,处五年以上十年以下有期徒刑,并处罚金。第二百六十四条 盗窃公私财物,数额较大或者多次盗窃的,处三年以下有期徒刑、拘役或者管制,并处或者单处罚金;数额巨大或者有其他严重情节的,处三年以上十年以下有期徒刑,并处罚金;数额特别巨大或者有其他特别严重情节的,处十年以上有期徒刑或者无期徒刑,并处罚金或者没收财产。另外,还有《电力设施保护条例》、《用电检查管理办法》在反窃电中的应用。《最高人民法院关于审理触电人身损害赔偿案件若干问题的解释》中有触电人身损害等方面的内容等。

1.2 电机工程

1.2.1 电机的作用

电能在生产、传输、分配、使用、控制及能量转换等方面极为方便。在现代工业化社会中,各种自然能源一般都不直接拖动生产机械,而是先将其转换为电能,然后再将电能转变为所需要的能量形态(如机械能、热能、声能、光能等)加以利用。电机是以电磁感应现象为基础实

现机械能与电能之间的转换以及变换电能的装置,包括旋转电机和变压器两大类。它是工业、农业、交通运输业、国防工程、医疗设备以及日常生活中十分重要的设备。

电机的作用主要表现在以下三个方面。

(1) 电能的生产、传输和分配。电力工业中,电机是发电厂和变电站中的主要设备。由汽轮机或水轮机带动的发电机将机械能转换成电能,然后用变压器升高电压,通过输电线把电能输送到用电地区,再经变压器降低电压,供用户使用。

(2) 驱动各种生产机械和装备。在工农业、交通运输、国防等部门和生活设施中,极为广泛地应用各种电动机来驱动生产机械、设备和器具。例如,数控机床、纺织机、造纸机、轧钢机、起吊、供水排灌、农副产品加工、矿石采掘和输送、电车和电力机车的牵引、医疗设备及家用电器的运行等一般都采用电动机来拖动。发电厂的多种辅助设备,如给水机、鼓风机、传送带等,也都需要电动机驱动。

(3) 用于各种控制系统以实现自动化、智能化。随着工农业和国防设施自动化水平的日益提高,还需要多种多样的控制电动机作为整个自动控制系统中的重要元件,可以在控制系统、自动化和智能化装置中作为执行、检测、放大或解算元件。这类电动机功率一般较小,但品种繁多、用途各异,例如,可用于控制机床加工的自动控制和显示、阀门遥控、电梯的自动选层与显示、火炮和雷达的自动定位、飞行器的发射和姿态等。

1.2.2 电机的分类

电机的种类很多。按照不同的分类方法,电机可有如下分类。

按照在应用中的功能来分,电机可以分为下列各类。

(1) 发电机。由原动机拖动,将机械能转换为电能的电机。

(2) 电动机。将电能转换为机械能的电机。

(3) 将电能转换为另一种形式电能的电机,又可以细分为:① 变压器,其输出和输入有不同的电压;② 变流机,输出与输入有不同的波形,如将交流变为直流;③ 变频机,输出与输入有不同的频率;④ 移相机,输出与输入有不同的相位。

(4) 控制电机。在机电系统中起调节、放大和控制作用的电机。

按照所应用的电流种类分类,电机可以分为直流电机和交流电机两类。

按原理和运动方式分类,电机又可以分为:① 直流电机,没有固定的同步速度;② 变压器,静止设备;③ 异步电机,转子速度永远与同步速度有差异;④ 同步电机,速度等于同步速度;⑤ 交流换向器电机,速度可以在宽广范围内随意调节。

按照功率大小,又可以分为大型电机、中小型电机和微型电机等。

电机的结构、电磁关系、基础理论知识、基本运行特性和一般分析方法等知识都在电机学这门课程中讲授。电机学是电气工程及其自动化本科专业的一门核心专业基础课。基于电磁感应定律和电磁力定律,以变压器、异步电机、同步电机和直流电机四类典型通用电机为研究对象,以此阐述他们的工作原理和运行特性,着重于稳态性能的分析。

随着电力电子技术和电工材料的发展,出现了其他一些特殊电机,它们并不属于上述传统的电机类型,包括永磁无刷电动机、直线电机、步进电动机、超导电机、超声波压电电机等,这些电机通常称为特种电机。

1.2.3 电机的应用领域

1. 电力工业

(1) 发电机。发电机是将机械能转变为电能的机械,发电机将机械能转变成电能后输送到电网。由燃油与煤炭或原子能反应堆产生的蒸汽将热能变为机械能的蒸汽轮机驱动的发电机称为汽轮发电机,用于火力发电厂和核电厂。由水轮机驱动的发电机称为水轮发电机,也是同步电机的一种,用于水力发电厂。由风力机驱动的发电机称为风力发电机。

(2) 变压器。变压器是一种静止电机,其主要组成部分是铁芯和绕组。变压器只能改变交流电压或电流的大小,不能改变频率;它只能传递交流电能,而不能产生电能。为了将大功率的电能输送到远距离的用户中去,需要用升压变压器将发电机发出的电压(通常只有 $10.5 \sim 20 \text{ kV}$)逐级升高到 $110 \sim 1\,000 \text{ kV}$,用高压线路输电可以减少损耗。在电能输送到用户地区后,再用降压变压器逐级降压,供用户使用。图 1.2.1 所示是一台运行中的三相油浸式电力变压器。

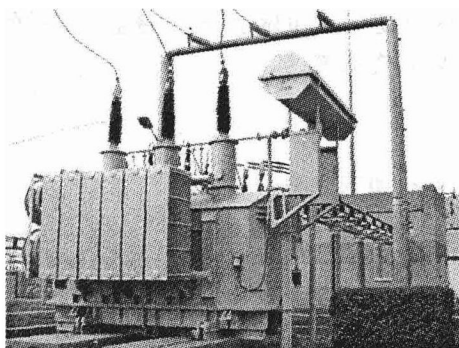


图 1.2.1 运行中的三相油浸式电力变压器

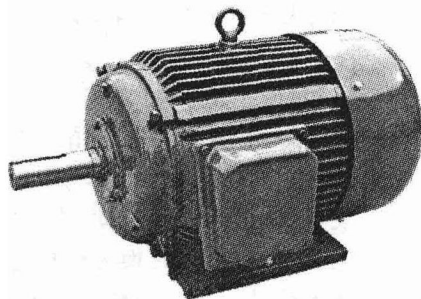


图 1.2.2 三相异步电动机

2. 工业生产部门与建筑业

工业生产广泛应用电动机作为动力,图 1.2.2 所示为三相异步电动机。在机床、轧钢机、鼓风机、印刷机、水泵、抽油机、起重机、传送带和生产线等设备上,大量使用中、小功率的感应电动机,这是因为感应电动机结构简单,运行可靠、维护方便、成本低廉。感应电动机约占所有电气负荷功率的 60% 。

在高层建筑中,电梯、滚梯是靠电动机曳引的。宾馆的自动门、旋转门是由电动机驱动的,建筑物的供水、供暖、通风等需要水泵、鼓风机等,这些设备也都是由电动机驱动的。

3. 交通运输

(1) 电力机车与城市轨道交通。电力机车与城市轨道交通系统的牵引动力是电能,机车本身没有原动力,而是依靠外部供电系统供应电力,并通过机车上的牵引电动机驱动机车前进,电力牵引系统如图 1.2.3 所示。机车电传动实质上就是牵引电动机变速传动,用交流电动机或直流电动机均能实现。普通列车只有机车是有动力的(动力集中),而高速列车的牵引功率大,一般采用动车组(动力分散)方式,即部分或全部车厢的转向架也有牵引电动机作为