

普通高等教育智能建筑规划教材

电气学科导论

陈虹 编



TU85
29

普通高等教育智能建筑规划教材

电 气 学 科 导 论

陈 虹 编
胡协和 审



机 械 工 业 出 版 社

全书内容包括：电的起源及发展，电气照明，电能转换技术，从强电到弱电，自动控制技术在电气工程中的应用，电气测量与检测，信息、通信与网络控制，电气信息技术的应用，现代国防中的电气信息技术。本书理论联系实际，向读者展现了电气信息技术的产生与发展过程，并着重介绍电气学科所包含的主要内容以及目前该学科的主要研究方向。

该书适用对象为高等院校电气工程与自动化类本科专业以及相关专业的师生和对电气信息技术感兴趣的读者。也可作为非电类专业学生的电类教材或电气信息技术专题的入门教材。

图书在版编目(CIP)数据

电气学科导论/陈虹编. —北京：机械工业出版社，

2005.12

普通高等教育智能建筑规划教材

ISBN 7-111-18187-5

I. 电... II. 陈... III. 房屋建筑设备：电气设备
—高等学校—教材 IV. TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 153855 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：贡克勤 版式设计：霍永明 责任校对：申春香

封面设计：张 静 责任印制：李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·17.5 印张·431 千字

定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

智能建筑规划教材编委会

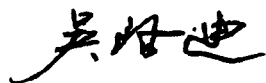
主 任	吴启迪		
副主任	徐德淦	温伯银	陈瑞藻
委 员	程大章	张公忠	王元凯
	龙惟定	王 忱	张振昭

序

20 世纪, 电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术获得了空前的高速发展, 并渗透到各个领域, 深刻地影响着人类的生产方式和生活方式, 给人类带来了前所未有的方便和利益。建筑领域也未能例外, 智能化建筑便是在这一背景下走进了人们的生活。智能化建筑充分应用各种电子技术、计算机网络技术、自动控制技术、系统工程技术, 并加以研发和整合成智能装备, 为人们提供安全、便捷、舒适的工作条件和生活环境, 并日益成为主导现代建筑的主流。近年来, 人们不难发现, 凡是按现代化、信息化运作的机构与行业, 如政府、金融、商业、医疗、文教、体育、交通枢纽、法院、工厂等, 他们所建造的新建筑物, 都已具有不同程度的智能化。

智能化建筑市场的拓展为建筑电气工程的发展提供了宽广的天地。特别是建筑电气工程中的弱电系统, 更是借助电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术在智能建筑中的综合利用, 使其获得了日新月异的发展。智能化建筑也为其设备制造、工程设计、工程施工、物业管理等行业创造了巨大的市场, 促进了社会对智能建筑技术专业人才需求的急速增加。令人高兴的是众多院校顺应时代发展的要求, 调整教学计划、更新课程内容、致力于培养建筑电气与智能建筑应用方向的人才, 以适应国民经济高速发展的需要。这正是这套建筑电气与智能建筑系列教材的出版背景。

我欣喜地发现, 参加这套建筑电气与智能建筑系列教材编撰工作的有近 20 个姐妹学校, 不论是主编者或是主审者, 均是这个领域有突出成就的专家。因此, 我深信这套系列教材将会反映各姐妹学校在为国民经济服务方面的最新研究成果。系列教材的出版还说明一个问题, 时代需要协作精神, 时代需要集体智慧。我借此机会感谢所有作者, 是你们的辛劳为读者提供了一套好教材。



写于同济园

2002 年 9 月 28 日

前 言

1998 年教育部颁布的专业目录中将电力系统自动化、高电压技术、电气技术和电机、电器及控制等专业合并成电气工程及其自动化专业，并在引导性专业目录中将电气工程及其自动化专业和自动化专业合成电气工程与自动化专业，这样就使得电气类专业口径宽，应用面广。但考虑到目前全国各高等院校在该专业有关专业方向的设置、教学改革和人才需求情况，一套建筑电气、智能建筑类的专业课教材还是需要的。因此在机械工业出版社高等教育分社的策划下，2001 年 12 月在上海同济大学召开了全国建筑电气、智能建筑本科及高职高专教材编写工作会议，决定出版一套建筑电气、智能建筑类的专业课教材。

我的学生经常问我，电气工程及其自动化专业是学习什么内容的？研究方向有哪些？能考什么方向的研究生？毕业后能干什么？因此我自己不得不先研究一下电气学科的内涵，再与大家讨论。写一本电气学科导论是吃力不讨好的事情，电气学科涉及面广，研究的内容多，特别目前的信息社会属于知识爆炸时代，一本 30 多万字的教科书是不能说明全部问题的。我几易其稿，反复数年才到目前的样式，仅以此呈现给读者感觉汗颜。但几所高校同仁鼓励我出版，特别是在机械工业出版社高等教育分社贡克勤编辑鼓励下才敢将此书奉献给读者。全书共分九章。其中第一章介绍了电的起源及发展、电能传输的基本概念，以及电工新技术发展趋势；第二、三章重点介绍电气工程的基本技术；第四章介绍了电气工程从强电到弱电的转换过程；第五章介绍了自动控制技术在电气工程中的应用；第六章讲述了电气测量与检测中传感器与执行器技术；第七章讨论了信息与通信技术在控制中的应用，分析了实现测控一体化的主要方法；第八章全面介绍了电气信息技术应用的几个方面；第九章着重讨论现代国防中的电气信息技术。本书目的是让读者通过阅读和学习能全面了解到电气学科研究的主要内容和发展方向。因此，该书是电气学科的入门指导书。

本书由浙江大学胡协和教授审阅，并提出了许多宝贵的意见和建议。在编写过程中还得到了同济大学程大章教授的支持和关心，在全书编写的过程中得到了我的研究生严法高、梁文彬和张丽红等同学的帮助，对此均表示衷心的感谢。本书得到扬州大学教材建设基金资助。本书引用了大量的参考文献和网上资料，参考文献中不能一一列举，在此一并对这些书刊资料的作者表示感谢。

电气学科是一个内容众多，涉及面广泛的学科，本书不可能涵盖所有内容，因此希望能起到抛砖引玉的作用。限于作者水平，书中不妥之处或错误在所难免，恳请读者和同行给予批评指正。

编 者

2005 年 10 月

目 录

序	
前言	
第一章 电的起源及发展	1
第一节 自然界中的电现象	1
第二节 电的产生	6
第三节 电能的传输	13
第四节 电学的基本知识	18
第五节 电工新理论	25
第六节 21 世纪的电力系统	28
习题	32
第二章 电气照明	34
第一节 电气控制与器件	34
第二节 照明电光源与照明控制	36
第三节 照明技术与照明艺术	45
第四节 电气安全	51
习题	55
第三章 电能转换技术	57
第一节 直流电机	57
第二节 变压器	62
第三节 交流电机	67
第四节 微控电机	73
第五节 电动机的新技术与应用	75
第六节 电气控制的基本概念	78
习题	81
第四章 从强电到弱电	82
第一节 半导体技术	82
第二节 电力电子技术	87
第三节 计算机的发展与应用	96
第四节 计算机控制系统	99
习题	106
第五章 自动控制技术在电气工程中的应用	107
第一节 自动化技术的发展	107
第二节 自动控制理论的基本概念与结构	111
第三节 智能控制	117
第四节 现代控制技术在电力系统控制中的应用	120
第五节 自动控制在 21 世纪的发展趋势	123
习题	127
第六章 电气测量与检测	128
第一节 仪器仪表的技术进展	128
第二节 传感器	130
第三节 执行器	149
第四节 虚拟仪器	150
第五节 智能仪器仪表	153
第六节 多传感器数据融合技术	156
习题	158
第七章 信息、通信与网络控制	160
第一节 通信发展史	160
第二节 通信的基本概念	162
第三节 数据编码技术	173
第四节 差错控制	178
第五节 信息交换技术	184
第六节 拓扑结构	188
第七节 网络通信设备	189
第八节 通信介质	191
第九节 移动通信与卫星通信	192
第十节 宽带通信网	195
第十一节 现场总线	196
第十二节 基于网络的远程控制	205
习题	208

第八章 电气信息技术的应用	209	第二节 隐形技术	247
第一节 家用电器	209	第三节 导弹技术	248
第二节 医疗电子	217	第四节 电子战技术	255
第三节 交通自动化	223	第五节 雷达技术	261
第四节 智能建筑	232	第六节 军用机器人	266
第五节 建筑防灾	238	习题	270
习题	242	参考文献	271
第九章 现代国防中的电气信息技术	243		
第一节 现代战争中的自动化	243		

第一章 电的起源及发展

第一节 自然界中的电现象

人类对电的认识，是从雷电和摩擦起电等自然界中的电现象开始的，并继而发现了电流、磁场、电磁波等。

一、雷电

雷电是最常见的自然现象之一，大气中存在着复杂的电现象，雷电是其中重要的一环，与人类的生活息息相关。

(一) 雷雨

又称雷阵雨，是夏季常常出现的伴有雷电的降雨现象。它在积雨云中形成，强烈时可出现暴雨。按其成因，常见的有两种：一种是对流旺盛所致的热雷雨，常见于夏季午后，范围小而雨时短；另一种是冷暖空气剧烈冲突，促使暖湿空气上升而致的降雨雷雨，其范围大，雨时也较长。

(二) 雷电的产生

雷电产生于积雨云中。由于对流，积雨云中的小水滴不断碰撞分裂，产生正负电荷并各自不断大量聚积。经过运动，带上相同电荷的质量较重的物质会到达云层的下部(一般为负电荷)，带上相同电荷的质量较轻的物质会到达云层的中上部(一般为正电荷)。若云与云之间或云与大地之间的电位差达一定程度，即会发生猛烈的放电现象——闪电。放电的路径上通过的电流约 10^4A 偶尔可达 10^5A ，使仅几厘米信道上的空气温度猛增，可高达上万℃，致使体积骤然膨胀，发生爆炸声——雷声。由于光速比声速快，故先见闪电，后闻雷声。

(三) 闪电的产生

在我们看来，闪电好像是瞬间发生的现象，其实闪电的产生过程是相当复杂的，是自然界静电感应所形成的。受空气对流的影响而产生互相摩擦，使周围空气下层云的微粒子带负电，造成这些原来是绝缘的空气也具有导电的性质。图 1-1 表示了闪电的形成过程。

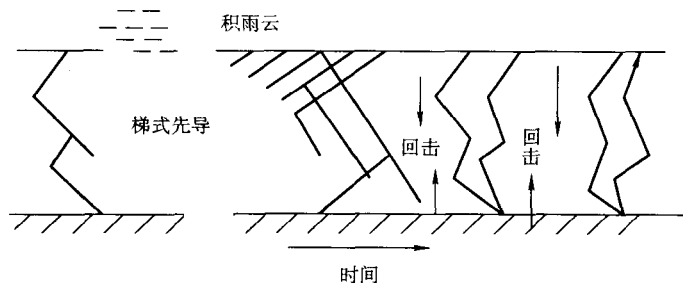


图 1-1 闪电的形成

(四) 雷电的种类

通常雷电有三种主要表现形式：其一是带电的云层与云层之间或云层与大地上某点之间发生迅猛的放电现象，称为直击雷；另一种是直击雷在放电过程中，在其周围的金属物或导体上因电磁感应所产生的变电压闪击现象，称感应雷；第三种是球形雷。

(五) 捕捉雷电

1752年6月的一天，阴云密布，电闪雷鸣，一场暴风雨就要来临了。富兰克林和他的儿子威廉一道，带着上面装有一个金属杆的风筝来到一个空旷地带。富兰克林高举起风筝，他的儿子则拉着风筝线飞跑。由于风大，风筝很快就被放上高空。刹那，雷电交加，大雨倾盆。富兰克林和他的儿子一道拉着风筝线，父子俩焦急的期待着，此时，刚好一道闪电从风筝上掠过，富兰克林用手靠近风筝上的铁丝，立即掠过一种恐怖的麻木感。他抑制不住内心的激动，大声呼喊：“威廉，我被电击了！”随后，他又将风筝线上的电引入莱顿瓶中。回到家里以后，富兰克林用雷电进行了各种电学实验，证明了天上的雷电与人工摩擦产生的电具有完全相同的性质。富兰克林关于天上和人间的电是同一种东西的假说，在他自己的这次实验中得到了光辉的证实。

二、静电

通常情况下的物体是电中性的，即物体内的正电荷数和负电荷数相等，物体对外不显电性。

(一) 电荷

电荷是一些带电粒子，电中性或零电荷不带电。电荷一词是由本杰明·富兰克林在19世纪中叶提出的，有两类：正电荷和负电荷。

电荷间的相互作用是：同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

电荷守恒定律：电荷既不能创造，也不能被消灭，它们只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到另一部分。

(二) 使物体带电的方法

摩擦起电：两个物体相互摩擦时，一个物体失去部分电子带正电，另一物体得到部分电子带负电。通过摩擦起电使电子发生转移，使两个物体同时带上等量异种的电荷。

接触带电：带电物体与不带电物体相互接触，电子将从带电的物体转移到不带电的物体，使两物体都带电。

感应起电：把带电体A移近导体B，在导体B的两端同时出现等量异种电荷。在靠近A的一端，出现了和A上相异的电荷；在远离A的一端出现了和A上相同的电荷。这种现象叫静电感应现象。

三、电流——人类最伟大的十大科学发现之一

古希腊人已经发现用毛皮磨擦过的琥珀能吸引一些像绒毛、麦杆等一些轻小的东西，他们把这种现象称作“电”。公元前585年，古希腊第一位自然哲学家泰勒斯(Thales, 公元前625~公元前545年)已经注意到摩擦(带电)的琥珀能吸引细小的绒毛。这是西方世界关于电现象最早的观察记录。今天英语中“电(Electricity)”这个词在古希腊语中的意思就是“琥珀”。

英国物理学家、医生吉尔伯特(William Gilbert, 1544~1603)做了多年的实验，发现了“电力”、“电吸引”等许多现象，并最先使用了“电力”、“电吸引”等专用术语，因此许多

人称他是电学研究之父。他的主要著作作为1600年出版的《论磁性、磁体和巨大地磁体》。全书分为6篇，这是他约17年的研究结晶，记录了600余个实验，叙述了磁的历史及五种磁运动。第二篇中有一章叙述了电的实验。这本书堪称物理学史上第一部系统阐述磁学的科学专著。在吉尔伯特之后的200年中，又有很多人做过多次试验，不断地积累对电的现象的认识。

1734年，法国人杜菲(Charles-Francois du Fay, 1696 ~ 1739)在实验中发现带电的玻璃和带电的琥珀是相互吸引的，但是两块带电的琥珀或者两块带电的玻璃则是相互排斥的。杜菲根据大量的实验事实断定电有两种：一种是与琥珀带的电性质相同，叫做“琥珀电”；一种是与玻璃带的电性质相同，叫做“玻璃电”。

1745年，普鲁士的一位副主教克莱斯特(Ewald Georg von Kleist, 1700 ~ 1748)在实验中利用导线将摩擦所起的电引向装有铁钉的玻璃瓶。当他用手触及铁钉时，受到猛烈的一击，他由此发现了放电现象。

1746年，荷兰莱顿大学的物理学教授马森布罗克(Pieter von Musschen, 1692 ~ 1761)发明了收集电荷的“莱顿瓶”。因为他看到好不容易起得的电却很容易地在空气中逐渐消失，他想寻找一种保存电的方法。有一天，他用一支枪管悬在空中，用起电机与枪管连着，另用一根铜线从枪管中引出，浸入一个盛有水的玻璃瓶中，他让一个助手一只手握玻璃瓶，马森布罗克在一旁使劲摇动起电机。这时他的助手不小心将中另一只手与枪管碰上，他猛然感到一次强烈的电击，喊了起来。马森布罗克于是与助手互换了一下，让助手摇起电机，他自己一手拿水瓶子，另一只手去碰枪管。突然，手受到了一下力量很大的打击，使全身都震动了，手臂和身体产生了一种无法形容的恐怖感觉。他由此得出结论：把带电体放在玻璃瓶内可以把电保存下来。就把这个蓄电的瓶子称作“莱顿瓶”，这个实验称为“莱顿瓶实验”。

1780年，意大利科学家伽伐尼(Luigi Galvani, 1737 ~ 1798)在一次解剖青蛙时有一个偶然的发现，一只已解剖的青蛙放在一个潮湿的铁案上，当解剖刀无意中触及蛙腿上外露的神经时，死蛙的腿猛烈地抽搐了一下。伽伐尼立即重复了这个实验，又观察到同样的现象。他以严谨的科学态度，选择各种不同的金属，例如铜和铁或铜和银，接在一起，而把另两端分别与死蛙的肌肉和神经接触，青蛙就会不停地屈伸抽动。如果用玻璃、橡胶、松香、干木头等代替金属，就不会发生这样的现象。他认为这是一种生物电现象，他的“关于电对肌肉运动的作用”论文于1791年发表。

1791年，意大利物理学家亚历山德罗·伏打(Alessandro Volta, 1745 ~ 1827)用两种金属接成一根弯杆，一端放在嘴里，另一端和眼睛接触，在接触的瞬间就有光亮的感觉产生。他用舌头舔着一枚金币和一枚银币，然后用导线把硬币连接起来，就在连接的瞬间，舌头有发麻的感觉。这些实验证明：电不仅能够产生颤动，而且还会影响视觉和味觉神经。

1793年，伏打总结了自己的实验，不同意伽伐尼关于动物生电的观点。他认为伽伐尼电实质上是一种物理的电现象，蛙腿本身不放电，是外来电使蛙腿神经兴奋而发生痉挛，蛙腿实际上只起电流指示计的作用。伏打在伽伐尼实验的基础上，致力研究两种不同金属的接触，他得出了新的结论，认为两金属不仅仅是导体，而且是由它们产生电流的。用伏打自己的话来说：金属是真正的电流激发者，而神经是被动的。伏打并把这种电流命名为“金属的”或“接触的”电流。伏打设计了一个堆，它的一端带正电，另一端带负电。这是第一个能人为产生稳定、持续电流的装置，当时引起极大的轰动。为电流现象的研究提供了物质基

础，也为电流效应的应用打开了前景，并很快成为进行电磁学和化学研究的有力工具。伏打的成就受到各界普遍赞赏，科学界用他的姓氏命名电势、电势差(电压)的单位，为“伏特”(就是伏打，音译演变的)，简称“伏”。

四、磁性与磁场

由于物质的磁性既看不到，也摸不着，我们无法通过自己的五种感官直接体会磁性的存在，但人们还是逐步揭开了其神秘面纱。磁铁总有两个磁极，一个是N极，另一个是S极。一块磁铁，如果从中间锯开，它就变成了两块磁铁，它们各有一对磁极。不论把磁铁分割得多么小，它总是成对出现，无法让一块磁铁只有N极或只有S极。磁极之间有相互作用，即同性相斥、异性相吸。也就是说，N极和S极靠近时会相互吸引，而N极和N极靠近时会互相排斥。原来，地球就是一块巨大的磁铁，它的N极在南极附近，而S极在北极附近。这样，如果把一块长条形的磁铁用细线从中间悬挂起来，让它自由转动，那么，磁铁的N极就会和地球的S极互相吸引，磁铁的S极和地球的N极互相吸引，使得磁铁方向转动，直到磁铁的N极和S极分别指向地球的S极和N极为止。

可以假想，在磁极之间存在着一种曲线，它代表着磁极之间相互作用的强弱，称为磁力线。并规定磁力线从N极出发，最终进入S极。只要有磁极存在，它就向空间不断地发出磁力线，而且离磁极近的地方磁力线密，而远处磁力线稀疏。磁极周围铁粉末的排列形状就是磁力线的走向。有了磁力线，我们就可以很方便地描述磁铁之间的相互作用。但是必须明白，磁力线实际上并不存在的，而是一种场——磁场。磁性物质的相互吸引等于就是通过磁场进行的。我们知道，物质之间存在万有引力，它是一种引力场。磁场与之类似，是一种布满磁极周围空间的场。磁场的强弱可以用假想的磁力线数量来表示，磁力线密的地方磁场强，磁力线疏的地方磁场弱。单位截面上穿过的磁力线数目称为磁通密度。

(一) 磁场强度

运动的带电粒子在磁场中会受到一种称为洛伦兹(Lorentz)力作用。由同样带电粒子在不同磁场中所受到洛伦兹磁力的大小来确定磁场强度的高低。特斯拉磁强计(简称特斯拉计)是测量脉冲强磁场的磁通密度的，特斯拉是磁通密度的国际单位制单位。磁通密度是描述磁场的基本物理量，而磁场强度是描述磁场的辅助量。

(二) 磁性的来源

物质的磁性来自构成物质的原子，原子的磁性又主要来自原子中的电子。原子中电子的磁性有两个来源。一个来源是电子本身具有自旋，因而能产生自旋磁性，称为自旋磁矩；另一个来源是原子中电子绕原子核作轨道运动时也能产生轨道磁性，称为轨道磁性。电子就好像很多小小的磁铁绕原子核在旋转。电子的自转方向总共有上下两种：在一些物质中，具有向上自转和向下自转的电子数目一样多，它们产生的磁极会互相抵消，整个原子，以至于整个物体对外没有磁性。而对于大多数自转方向不同的电子数目不同的情况来说，显然这些电子所产生的磁矩不能相互抵消，导致整个原子具有一定的总磁矩。

(三) 电生磁

如果一条直的金属导线通过电流，那么在导线周围的空间将产生圆形磁场。导线中流过的电流越大，产生的磁场越强。磁场的方向如图1-2中的圆形箭头所示。

(四) 磁生电

如果将一条长长的金属导线在一个空心筒上沿一个方向缠绕起来，形成的物体我们称为

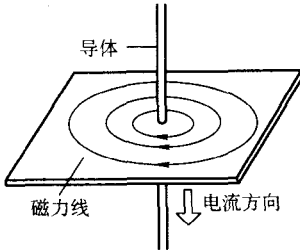


图 1-2 通电导线磁场方向

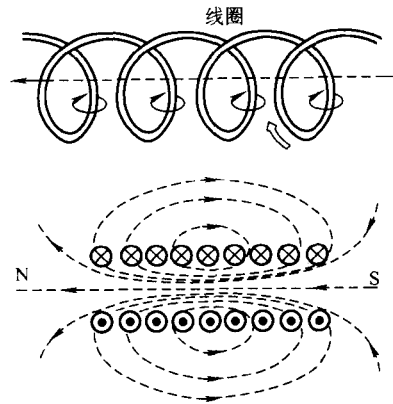


图 1-3 电磁感应

螺线管。如果使这个螺线管通电，那么会怎样？如图 1-3 所示，通电以后，螺线管的每一匝都会产生磁场。把螺线管两端接上检测电流的检流计，在螺线管内部放置一根磁铁。当把磁铁很快地抽出螺线管时，可以看到检流计指针发生了偏转，而且磁铁抽出的速度越快，检流计指针偏转的程度越大。同样，如果把磁铁插入螺线管，检流计也会偏转，但是偏转方向和抽出时相反。这实际上是说，线圈中的感生电动势的大小与线圈内部磁通量的变化率成正比。这称为法拉第定律。

（五）感应电流

如果磁铁抽出，导致线圈中的磁通量减少，那么在线圈中产生的感应电流的方向是它所产生的磁通量能够补偿由于磁铁抽出引起的磁通量降低。也就是说，感生电流所产生的磁通量总是阻碍线圈中磁通量的变化。这称为楞次定律。如果磁铁从线圈中向左抽出，将使得线圈中的磁通量减少，这时如果线圈是闭合的，线圈中产生感应电流，该感应电流的方向是：它产生的磁力线的方向也指向右方，以补偿由于磁铁抽出导致的磁通量减少。变化的磁场可以在线圈中感应出电流，这就是发电机的基本原理。

五、电磁波

（一）电磁波现象

自从通信技术出现的那一天起，科学家们就一直把开发电磁波的各个波段、利用电磁波进行通信作为重要的研究方向之一。可以说通信的发展史，就是电磁波的开拓史。

（二）电磁波

电磁波的发现归功于德国物理学家赫兹和英国物理学家麦克斯韦。麦克斯韦指出：“交变的电场会产生交变的磁场，而交变的磁场又会激起交变的电场。”这就是说，只要在空间某处存在一个交变的电场，那么它的周围就会产生一个新的交变磁场，而这个新的交变磁场又会在远处激发一个交变的电场。这种交替变化的电场和磁场称为电磁场。这种交变的电磁场会在空间以电磁波的形式由近及远地传播开去，这就是电磁波。

（三）电磁波的利用

随着科学技术的发展，电磁波被广泛应用于广播、通信、医学、国防、工业以及家用电器等各个方面，为物质文明的发展和社会进步作出了巨大的贡献，也为我们的生活带来了很

大的方便和无穷的乐趣。合理利用电磁波，使电磁波对人的影响恰到好处，就会对人的身体健康产生良好的作用。

第二节 电 的 产 生

一、电的发现

大约在公元前六百年，希腊人称琥珀为“electron”，因此当时这种神秘的吸引力便被称为“electric”，意为“如同琥珀”，这个字也被英语系国家用以形容电力且沿用至今。

到了公元18世纪，科学家归纳出带正电及带负电两类物质，若两种物质同样带正电或负电便会相排斥，而两种物质若带不同的电便会互相吸引。从此之后，有关电的研究随着18世纪西方世界的工业革命而进展神速，电力的应用也日益广泛。

二、电是怎样产生的

电是如何形成的？为了回答这个问题，人们必须从原子的构造着手分析。

原子的直径约为 10^{-9}cm ，成人手指中，尾指的指甲宽约1cm，如果把一个原子放在这片指甲上，其大小的比例就像在北京到美国旧金山的路上(长约 10^4km)放一颗大苹果(直径约10cm)一样。原子虽这么小，但剖析其内部还可发现它是由中子、质子及电子等三种更小的粒子组成，其中电子带负电，质子带正电，中子则不带电。而这些粒子的数目因原子种类的不同而不同，如氢原子中只有一个质子和一个电子，而氧原子却由8个中子、8个质子和8个电子所组成。正如图1-4所示，中子与质子会紧密结合形成“原子核”。

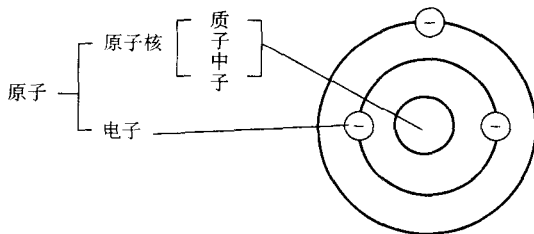


图 1-4 原子的组成

电子则循着固定的轨道绕着原子核旋转，原子的直径即是最外层电子轨道的直径，而原子核的直径约为原子直径的万分之一，如果把原子比喻为一个直径100km的棒球场，则原子核就像放在球场中心的一粒樱桃(直径约1cm)。由此不难想像其中的中子与质子是多么微小。

电势与电子有关。事实上原子核周围的电子是很规则地在一层层的轨道上绕行，外层电子因为受到原子核的束缚力较小，容易受外力激发如受到其他电子撞击、或受电场的吸引而脱离轨道，成为自由电子。且依不同物质而有不同的能力。有这种特性的物质便很容易传送电流，而这种物质便是我们俗称的“导体”。如银、铜、金及铝均有此种特性。如果产生自由电子的能力极低，这种物质就是我们所熟悉的“绝缘体”，如玻璃、橡胶或羊毛等均属此类物质。

三、电能的生产

法拉第1831年发现了磁铁同导线相对运动时，导线中有电流产生。他发现了电磁感应定律，成为发电机的理论基础。法拉第的发现为人类开辟了一种新的能源，电力时代的大门由此开启。

1864年，年青的麦克斯韦利用当时数学家们在理论力学方面的研究成果，用一组偏微

分方程来概括全部电磁现象，把法拉第的思想用数学语言表述出来。从此，电学、磁学、光学融合成一体，物理学完成了第三次伟大的综合。

1888年，物理学家赫兹发现了电磁波。他的实验研究除观察到电磁波是由电波和磁波组成外，还进一步观察到电磁波的反射、折射、干涉和衍射，从而全面证实了麦克斯韦的理论。

电磁波的发现，为无线电通信开辟了道路。同时，对电的研究导致了电的广泛应用，如电报通信、电镀和电灯等。19世纪末无线电的发送、接收技术和20世纪初电子管的发明，开创了对20世纪科学技术突飞猛进的发展产生重大关键作用的新技术——电子技术及其产业的发展。

电能产生的途径有电池、发电机等。

(一) 电池

电池的原理：当两种不同的金属浸在电解液中，便可构成一个电池，亦即基本的电池构造。

(1) 湿式电池 储存于原子间的化学能藉着化学反应转换为电能。

(2) 干电池 电池所采用的元素决定输出的电压，电池的大小则决定输出的最大电流。

一般干电池的电动势约1.5V，水银电池约1.4V，一组蓄电池(充电电池)输出为2.0V。通常1.5V·A的A型的电池能提供0.6A·h(安时)，D型电池约3A·h的输出。

(3) 酸性电池 酸性电池由两组金属片组成，而这两组金属片浸于电解液(Electrolyte)内，电解液是稀释了的硫酸液体(Dilute Sulphuric Acid)。

由于水在电解液中的电解作用，酸性电池在充电过程中将会是放出大量的氢气，如果有火花出现，将会引起爆炸。所以充电的房间要有理想的抽风设备，严禁在内吸烟，所有的电器装置都要有防爆装置。

(二) 发电技术

1. 火力发电 自从18世纪发现了发电的原理之后，科学家们便努力寻找推动导线旋转的动力，以便发展持久且大量的发电方式来造福人类。火力发电是最常用的发电方式之一，火力(包括油、煤及天然气)与核能则都是将水烧成蒸汽，使其推动汽轮机再带动发电机而发电。

1831年，法拉第(Michael Faraday, 1791~1867)发现电磁感应原理，并制成最早的发电机——Fraday's disk，奠定了发电机的理论基础。

1882年，爱迪生建成世界上第一座正规的发电厂，装有6台直流发电机，共662kW，通过110V地下电缆供电，最大送电距离1.6km，供6200盏白炽灯照明，完成了初步的电力工业技术体系。

1891年，在德国劳芬电厂安装了世界第一台三相交流发电机，建成第一条三相交流送电线路。三相交流电的出现克服了原来直流供电容量小、距离短的缺点，也比单相交流更加经济，实现了远距离供电。电力不再仅仅用于照明，而且在工业、生活中得到广泛应用。

2. 水力发电 当位于高处的水(具有位能)往低处流动时位能转换为动能，此时装设在水道低处的水轮机，因水流的动能推动叶片而转动(机械能)，如果将水轮机连接发电机，就能带动发电机的转动将机械能转换为电能，这就是水力发电的原理。水力发电一般可分为川流式、水坝(库)式及抽蓄式发电。

我国目前最大的水力发电工程是三峡水利枢纽工程,该工程主要由拦河大坝、水电站和通航建筑物三大部分组成。拦河大坝为混凝土重力坝,全长1983m,坝顶高185m,正常蓄水位175m。泄洪闸布置在主河槽部位,有23个深孔和22个表孔,总泄洪能力为 $10^5 \text{ m}^3/\text{s}$ 。泄洪闸两侧为电厂和非溢流坝段。水电站厂房有两个,在泄洪闸两侧的坝后,左厂房长634m,装有14台水轮发电机组。右厂房长575m,装有12台水轮发电机组。机组单机容量68万kW,总装机容量1768万kW,年发电量840亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

3. 核电 核能发电是利用原子核分裂时产生的能量,把反应器中的水加热产生蒸汽,然后借蒸汽推动汽轮机,再带动发电机转动产生电能。在我国有秦山、大亚湾核电站,田湾等核电站。

核分裂是利用慢中子撞击铀235使原子核分裂产生快中子、分裂产物及能量,分裂后产生的快中子经缓和剂缓和成慢中子,再去撞击另一个原子核,造成核分裂连锁反应。其燃料为二氧化铀,其中铀235的含量只有2%~4%左右。天然铀中铀235的含量只有0.7%,而沸水式核能电厂所用的铀燃料必须经过浓缩处理使铀235含量提高为2%~5%。此举是为了增加核分裂反应的机会,若要做原子弹则其浓度必须提高至99%以上。此外核能电厂所用的燃料为了承受运转时 1000°C 以上的高温,特别将铀做成二氧化铀的粉末,再烧结成直径与高度均为1.6cm左右的柱状“燃料丸”,然后再将燃料丸放入长约3.86km,厚约0.8cm的锆合金管内,做成“燃料棒”。

核分裂反应如何持续发生可参考图1-5,自图1-5左开始,一个中子撞击铀235原子核后,暂时共同形成铀236原子核,同时因其内部吸收了该中子的能量,故开始作剧烈的哑铃状震荡,最后哑铃状结构终因震荡过剧而瓦解,并因而产生两个质量较小的原子核,且放出2到3个新的中子;这时如果旁边有其他铀235原子核存在,则会被新的中子撞击,继续发生分裂反应,此即所谓的“连锁反应”。

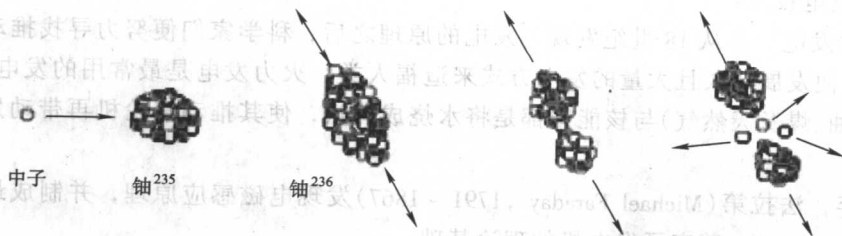


图1-5 核分裂反应

每次分裂后会有2到3个新的中子产生,而这些中子也就是引发后续分裂反应的关键,如果它们分别又引发了2到3次分裂反应,则分裂反应的次数便会一直增加,而且是以等比级数的速度增加,即1次变2次,2次变4次,4次变8次,8次变16次……而因每次都放出巨大的能量,故总量便很惊人,这就是原子弹爆炸能产生巨大威力的原因。但如果我们有办法在每次分裂后把2~3个新产生的中子吸收掉1、2个,而只让一个中子继续引发下一次分裂反应,则我们即可控制每次反应的数目使其保持固定,并可把每次反应产生的能量用来发电。这种状况即称为“临界”核分裂反应,而前述分裂次数一代比一代多的状态称为“超临界”反应,反之若分裂次数一代比一代少则称为“次临界”反应。核能电厂运转发电时是

保在临界反应状态，停机时则保持在次临界状态。

欲保持临界核分裂反应则须找到能吸收中子的物质，目前核能电厂中常用的是镉或硼，这两种物质便是构成“控制棒”的主要材料。核能电厂停机时控制棒整个插在炉心里，吸收绝大部分的中子，使整个炉心保持次临界状态；电厂启动时控制棒便被慢慢抽出来，一直到炉心达到临界状况时将控制棒固定，便可保持稳定而持续的核分裂反应；若有异常状况发生，控制棒便被迅速插入炉心，停止其分裂反应。

核能发电时，所采用的装置有沸水式反应器和压水式反应器两种，两者间最大的差别是压水式反应器在水加热成蒸汽的过程中采用了两套回路，在压水式反应器中的“主回路”里冷水经过炉心加热后只增加温度但不变成蒸汽，热水送至“蒸汽产生器”中把热量传给“次回路”的水后变成冷水再送回炉心；而次回路的水则会被加热成蒸汽去推动汽轮机，用过的蒸汽再经海水冷却后重复使用，这种设计可以确保汽轮机使用的蒸汽绝无核分裂反应所产生的放射性物质，但因系统较为复杂，故运转与维护也较沸水式反应器费事。此外，压水式反应器的控制棒设在压力槽上端，由上向下抽插，比起沸水式反应器由下往上的设计在运作与保养上较为方便。

4. 太阳能发电 利用太阳能发电的方法有三种：

- 1) 太阳光伏发电为利用光电池，直接将日光转换为电流。
- 2) 太阳能热发电利用集热板将水加热，产生蒸汽以推动汽轮机及发电机。
- 3) 太阳能水解发电利用日光将水分解成氢与氧两种气体，再用氢作为发电的燃料。

上述三种方法均须有稳定的日照及广大的土地，例如要建一座发电量与秦山核电厂相当的太阳能电厂，则约需数千亩的土地，约为核电厂现址面积的 14 倍，而且还须保证这块土地有充足而稳定的日照。

太阳能热发电技术上均已达到了可实用的程度。20 世纪 80 年代中期至 90 年代初，美国加州先后建成了九套槽式发电装置，总容量达 35 万 kW，年平均利用率约 3000h，发电总效率为 13%~16%，建造投资已降达 3000 美元/kW，电能成本 11 美分/kW·h，积累了十多年联网运营的经验。大规模推广应用受到经济性的限制，正在朝着降低投资至 1300 美元/kW，电能成本至 5 美分/kW·h 的方向进行着积极的努力。1 万 kW 的塔式发电系统和 5~25kW 的盘式系统正处于示范运行阶段，并在积极推进其商业化。我国进行过少量太阳能热发电的研究工作，未能达到实际应用。

太阳光伏发电有着无转动部件、使用维护简便、规模可大可小等一系列重大优点，其应用范围遍及各行各业，从几十瓦的便携式电源到兆瓦的联网电站。20 世纪 80 年代以来，单晶硅、多晶硅和非晶硅光电池的产业和应用得到了迅速发展。1997 年，全世界使用的光伏电源总装机容量达 28 万 kW，年产量达 9 万 kW，电能成本由 1980 年的 0.9 美元/kW·h 降至 0.25 美元/kW·h，晶体硅电池的能量转换效率已提高到 16%~17%，寿命可长达 30 年。世界各主要国家投入了大量资金来发展光伏技术与应用，期望在 2010 年能将电能成本降至 7~8 美分/kW·h。为推进光伏技术商业化，美国于 1997 年春开始了百万屋顶计划，准备至 2010 年在 325 个城市的一百万建筑的屋顶上安装 300 万 kW 的光伏系统。全世界已有 6 个兆瓦级的联网光伏电站，最大容量为 6450kW。

我国于 1958 年就开始了光伏电池的研究发展工作，70 年代中期开始建立光伏电池产业，80 年代中后期起先后从美国、加拿大引起了七条生产线，使硅片生产能力达 1.25MW/年，