



21世纪

高等学校精品规划教材

图书馆电媒工作原理

王达生 王先冲 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



21世纪

高等学校精品规划教材

图书馆电媒工作原理

王达生 王先冲 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据图书馆读者阅读电媒化、图书资料传播网络化、图书馆管理自动化实际工作的需要,按照学科化服务运作模式,系统阐述电磁物质现象及其运动规律,具体包括真空中的电磁场,电流的磁场及电磁感应,电磁场中的动态位、能量及力,电磁媒质的等效参数,二维稳恒场的保角变换,分离变量法举例,相似理论、模拟技术及统计试验法,导体中的电磁场——波动过程,导体中的电磁场——扩散过程,变分法基础,电磁场边值问题的计算方法,有限元法及边界元法,电磁场的广义能量及其应用,运动系统与电磁现象等。

本书可供图书情报机构电媒、网络、电信管理专业的科研人员 and 高等院校信息管理学科研究生阅读,也可供图书馆电媒、网络管理员、科研院所、专业教师和涉电行业信息科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

图书馆电媒工作原理 / 王达生, 王先冲编著. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2009. 12
21世纪高等学校精品规划教材
ISBN 978-7-5084-7088-7

I. ①图… II. ①王… ②王… III. ①图书馆自动化—高等学校—教材 IV. ①G250.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第232987号

书 名	21 世纪高等学校精品规划教材 图书馆电媒工作原理
作 者	王达生 王先冲 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 15.25 印张 362 千字
版 次	2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

图书馆学科化、个性化服务是发展的方向。高校图书馆学科知识服务,主要是以学科馆员的专业知识和图书情报知识为基础,针对读者在知识获取、知识选择、知识吸收、知识利用、知识创新过程中的需求,对相关学科专业知识进行搜寻、组织、分析、重组,为教师和学生提供所需专业知识的服务。学科化服务,在学科专家指导下,由馆员向读者具体地、深入地、系统地介绍专业理论,有效地做好一线服务、知识服务和个性服务,成为读者专业上的科研伙伴。《中华人民共和国国家标准学科分类与代码》共设5个门类、58个一级学科、573个二级学科、近6000个三级学科,随着现代科学技术和人文科学的发展,边缘学科、交叉学科的数量呈增加趋势。从读者的需要出发,对每个学科所涵盖的图书资料进行搜集、整理、比较、选择,将有代表性、普遍性、科学性、实用性的学科知识提供给读者,是学科化服务的任务之一。

本书针对图书、情报、档案学科自身需要,启动学科化服务采访模式中的采选机制,选择电磁场理论作为学科化服务案例,搜集学术文献资源,对其实行去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的专业细分,通过对大量学科文献的整理编写而成。选择电磁场学科的原因,是该理论揭示了图书馆电媒运动的基本原理。近年来,图书资料传播媒介发生了重要变化。读者从“纸媒阅读”到“电媒阅读”的转型,各类出版物从纸质模式向网络模式的转型,信息传播过程中纸媒向电媒的过渡已是大势所趋。在图书馆内,无纸信息管理业务的数量逐渐超过有纸信息管理业务,这是一个长足的进步,也是图书馆节约资源的有效途径。节约资源,人人有责。电媒出版物的普及,电纸书、电媒阅读器的使用,正在越来越多地占据人们的阅读空间,其结果是既节约了有限、宝贵的纸资源,又保护了环境。因此,以理论为指导,充分、及时、有效地利用各种电媒设备,收集、整合和利用信息资源,是图书馆业务不断创新标志。

在宇宙空间中,传播信息的媒介是电磁场。地球人类生活形成的影像、文字和声音可借助电磁场进入太空,宇航员携带、阅读电纸书,从太空向地球传送图像并与地球人通电话,足以表明地球乃至宇宙空间都处在电磁环境

中。人类观察、实验和利用电与磁，迄今已有 3100 多年的历史。图书馆的运行，除照明、电话等基础设施外，本与电磁少有联系，但由于互联网的普及，数字图书馆、电媒阅览室的产生与发展，使图书馆的核心业务——读者与管理者互动以及搜集、整理、存储和利用图书资料，部分或全部使用计算机、扫描仪等与电磁相关的设备来完成，通信技术使互动过程得以在网上进行，图书馆实体及其馆藏通过网络设备与电磁环境融为一体，实现数据开放和共享等，电磁场媒介越来越多地发挥出比纸质媒介更重要的作用。图书馆电媒的工作原理是利用特定的磁粒子的极性来记录数据。磁头在读取数据时，将磁粒子的不同极性转换成不同的电脉冲信号，再利用数据转换器将这些原始信号变成电脑可以使用的数据，写的操作正好与此相反。硬盘的盘体由多个盘片组成，这些盘片重叠在一起放在一个密封的盒中，它们在主轴电机的带动下以很高的速度旋转，产生了明显的陀螺效应，电荷运动时自旋，并在周围产生电磁场。磁铁和电流都能够产生磁场，电磁场是由电荷的运动形成的，计算机存储功能的本质是电磁场的运动，是磁生电、电生磁的互动过程，电磁场的能量可以用数学方法计算出来。电媒纸显示技术是由两片基板所组成，上面涂有微小的、带正负电的、黑色与白色的颗粒，不同颜色的带电粒子，会因施加电场的不同而朝不同的方向运动，在显示屏表面呈现出颜色效果。同时只有画素颜色变化时才耗电，关闭电源后显示屏上画面仍可保留，非常省电。电纸书应用电媒纸显示屏和智能电源管理技术，具备纸质图书的全部功能，并被带入太空，平均功耗仅为同类电媒产品的 1%。

可以看到，电磁场渗透到图书资料中，文献的电媒传播已经对传统的纸媒借阅产生了颠覆性影响。因此，通过学科化服务，将电磁场理论作为图书情报专业的推荐课程，对培养精通电媒工作原理，具有开发和管理电磁资源能力的信息管理专业技术人员，是很有必要的。通过对电磁场理论的学习和研究，将促使人们更加自觉地利用电磁媒介，节约纸资源，减少环境污染，实现图书馆全面、协调、可持续发展。随着学科化服务的深入，作者将按照读者的需求和图书馆阅读电媒化、图书资料网络化的趋势，积极创造条件，继续提供其他学科的服务。对给予本书指导、支持、帮助的专家和编辑出版工作人员表示衷心的感谢！

本书欠妥之处，恳请读者不吝指正。

作者

2009 年 9 月 21 日

前言

绪论	1
第一章 真空中的电磁场	5
第一节 库仑定律与扭秤实验	5
第二节 电场强度及力线概念	8
第三节 静电场的无旋性及电位	12
第四节 高斯定理及拉普拉斯方程	17
参考文献	21
第二章 电流的磁场及电磁感应	22
第一节 安培实验及磁通连续性原理	22
第二节 安培环路定律及矢量磁位	26
第三节 法拉第实验及电磁感应定律	31
第四节 位移电流及真空中的麦克斯韦方程	36
参考文献	39
第三章 电磁场中的动态位、能量及力	41
第一节 动态位及规范不变性	41
第二节 电磁场问题的定解条件	45
第三节 恒定场的能量及显质力	48
第四节 电磁应力及电磁动量	51
第五节 波恩亭矢量及斯列班矢量	54
参考文献	56
第四章 电磁媒质的等效参数	57
第一节 电磁媒质的成分方程	57
第二节 媒质在稳恒场中的等效模型理论	59
第三节 时变场中媒质的微分线性模型	61
第四节 媒质参数的复数表示	63
第五节 非线性电磁媒质	65
参考文献	68
第五章 二维稳恒场的保角变换	69

第一节	位函数及通量函数	69
第二节	复变函数与保角变换	71
第三节	保角变换解稳恒场	73
第四节	许瓦兹-克里斯多弗(Schwarz-Christoffel)变换	76
第五节	三维场的保角变换	81
参考文献		82
第六章	分离变量法举例	83
第一节	非均匀磁势下的均匀气隙	83
第二节	金属罐中的场	84
第三节	两金属半球壳间的场	87
第四节	正交曲线坐标系及带电盘的表面电荷分布	90
第五节	本征值及本征函数	94
第六节	离散化概念应用举例	95
参考文献		98
第七章	相似理论、模拟技术及统计试验法	99
第一节	相似理论	99
第二节	模拟技术	101
第三节	阻抗网络模拟	104
第四节	场的概率模型及统计试验解法	108
附	随机现象与概率	114
参考文献		117
第八章	导体中的电磁场——波动过程	118
第一节	导体中的平面波	118
第二节	时变场中的铁磁材料	123
第三节	铁磁导体中的平面波	126
第四节	导体中的柱面波	131
第五节	铁磁导体中的柱面波	134
第六节	行波场及驻波场中的导体	137
附	阻抗函数的积分	143
参考文献		144
第九章	导体中的电磁场——扩散过程	146
第一节	平板及圆柱的脉冲磁化	146
第二节	有内阻电源激磁时的磁化	151
第三节	铁磁非线性与磁化过程	154
第四节	时滞性材料的磁化	155
参考文献		158
第十章	变分法基础	159

第一节	变分原理与泛函极值问题	159
第二节	条件极值及泛函的欧拉方程	161
第三节	希尔伯特空间及广义函数	163
第四节	泛函的某些定理	167
第五节	格林公式与伴随算符	169
附	线性空间与线性算符	173
	参考文献	177
第十一章	电磁场边值问题的计算方法	178
第一节	里兹法	178
第二节	康托罗维奇法	179
第三节	伽辽金法	180
第四节	屈莱弗兹法	183
第五节	矩量法	185
第六节	点匹配与分段基函数	187
	参考文献	192
第十二章	有限元法及边界元法	193
第一节	有限元素及单元插值	193
第二节	形状函数及等参数元素	195
第三节	有限元法的方程组	196
第四节	二维磁场的有限元方程	199
第五节	格林函数与场的边值问题	202
第六节	位势理论与场的积分方程	204
第七节	等参边界元法	207
	参考文献	210
第十三章	电磁场的广义能量及其应用	212
第一节	伴随场及广义能量	212
第二节	电磁场媒质变化时场的灵敏度和容差	213
第三节	多导体系统部分电容的灵敏度和容差	218
第四节	子域划分及加权匹配	219
第五节	广义能量模式的加权余量法	220
	参考文献	224
第十四章	运动系统与电磁现象	225
第一节	缓慢运动系统与伽利略变换	225
第二节	米开尔逊及莫莱实验	227
第三节	相对论原理与闵可夫斯基空间	230
第四节	电磁场的四维表示	232
	参考文献	235

绪 论

电是提高生活质量和享用产品服务的基础。图书馆建筑、设施、馆藏、服务和管理中的很大部分,是以电为运转动力,以电磁设备和电磁波为传播媒介。因此,开展电媒工作原理研究,对坚持图书馆工作的服务、开放、方便、平等、创新和满意原则,实现馆际合作,资源共享,服务扩展,情报记录(非印刷式),建立操作自动化体系,普及机读数据库,全面提高工作效率,具有十分重要的意义。知识是一种理念,属于意识形态范畴。当知识与某种媒介结合(纸、空气、电磁场等)进行传播时,称做信息。什么是信息?这是一个学术界长期讨论的课题。国内外研究主要论点:信息就是信息,既不是物质也不是能量(Wiener, 1948);信息是事物之间的差异(Longo, 1975);信息是集合的变异度(Ashby, 1956);信息是一种场(Eepr, 1971);信息是系统的复杂性;信息不是物质,它是物质状态的映射;信息是事物相互作用的表现形式;信息是事物联系的普遍形式;信息是物质和能量在时间和空间中分布的不均匀性(Eepr, 1971);信息是物质的普遍属性;信息是收信者事先所不知道的报道;信息是用以消除随机不定性的东西(Shannon, 1948);信息是使概率分布发生变动的东西(Tribes Etal, 1971);信息是负熵(Brillouin, 1956);信息是有序性的度量(Wiener, 1948);信息是系统组织程度的度量(Wiener, 1948);信息是被反映的差异;信息是被反映的物质的属性(1985);信息是被反映的特殊性;信息是作用于人类感觉器官的东西;信息是选择的自由度(Hartley, 1928);信息是通信传输的内容(Wiener, 1950);信息是加工知识的原材料(Brillouin, 1956);信息是控制的指令(Wiener, 1950);信息就是消息;信息就是信号;信息就是数据;信息就是情报;信息就是知识;信息是人于外界相互作用的过程中所交换的内容的名称(Wiener, 1948);信息是一种关系(Longo, 1975);凡是在一种情况下能减少不确定性的任何事物都叫做信息;信息就是谈论的事情、新闻和知识;信息就是在观察或研究过程中获得的数据、新闻和知识;信息无形,独立于物质,包含人类(及动植物)的精神、意识、思维;(磁、电等作用力或能量)场、数、规律、印迹(烙印、影响)等,能在不同的物质(介质)中复制、加工、传播;信息是存在于意识之外的东西,它存在于自然界、印刷品、硬盘以及空气之中;信息是用语言、文字、数字、符号、图像、声音、情景、表情、状态等方式传递的内容;信息是事物特性的可转换量和实际转换量的综合量度;信息,物质存在的一种方式、形态或运动状态,也是事物的一种普遍属性,一般指数据、消息中所包含的意义,可以使消息中所描述事件的不定性减少;信息,通常是指对人们有用的消息;信息来自认识——是一种标示、展示,是客观的,可以被认识;信息离开了物质就不存在,离开了事物的运动就毫无用处;信息是动物(观察者)对世界(外界,本身)的关照;信息是一种宝贵资源……

本书作者的论点是:“信息”一词,在英语中的对应词,一般是用“information”表

示。根据《现代汉语词典》，信息的汉语意思：①消息、情报；②知识、见闻；③报告、通知；④询问处、服务台；⑤动词含意：告发、告诉；⑥〔电算〕信息。这些汉语意思的英文表达，又涉及 news、intelligence、knowledge、report、speech、lecture、notice、service platform 等词汇。这种情况说明，“信息”是一个涵盖范围很广的概念。作者认为，信息的本质是物质的属性。概念可以作这样的表述：“信息是宇宙物质所发出的信号（或状态）与传播媒介相结合的产物。信息来源于物质，又不是产生它的那个物质，信息脱离源物质与媒介物质结合，表现为一种新物质形态。这个变化是在瞬间发生的。”这与信息论提出的一切物质同时具有信源、载体、信宿三重属性的观点极为相似。实验证明，信息与电磁场有密不可分的关系，当我们用无线电传送信息时，必须先化成一系列的电信号，由发射站转换成为无线电信号（Radio Signal），而接收站接到这些信号后，再将其转换成电信号，之后再再译码转换成我们需要的信息。对信息概念的追问和详述，扩大了图书馆馆藏范围；电信、计算机与人类意识的结合，实现了信息的网络传播；图书馆满足人们检索、阅览需求的本质，决定它与电信、网络融合的必然性；从文献查阅到上网浏览，是融合的表象，从盒式著录卡片到网络资源目录，是融合的实质；从图书分类法到搜索引擎，是融合的手段，从纸质媒介到电磁场媒介，是融合的结果；在信息资源数字化和信息服务的进程中，网络、电视、广播、电话与纸质文献交互作用，人们的阅览方式迅速发生变化，而这一切都与人们对电磁场的认识和利用密切相关。宇宙、星球的存在取决于它的物质性。信息是伴随物质运动产生的，其中一种物质就是电磁场。但这并不是说电磁场就是物质的最终形态，多少年来，人类对新物质的探索一刻也没有停止，标准时空论电动力学、电媒—电磁场波双锥螺旋结构、验证纠缠态光子信号传输的速度、宏观电磁场理论相对性等诸多课题，都是有益的讨论。

然而，马克思说过：“科学只有成功地应用数学的时候，才算达到了完善的地步。”这是因为语言是人们按一定规则表达意思，交流思想的工具，而数学语言是对生活语言的高度概括，其特点是简洁、清晰、严密并具有逻辑性。数学之美，美在纯净。有时研究成果似乎没有什么直接作用，而正是这种不带功利性的数学思维，造就了数学的空灵和纯净。数学的圣洁又培育了一个个美丽的数学心灵。数学能以自身的洁白净化研究者的灵魂。数学的纯净并不等于数学真的无用。作为科学中的圣母，数学孕育着无数的科学圣婴。在自然科学和社会科学的发展中，时时需要数学之母的呵护。而数学也在其他学科的发展中不断地吸取营养，逐渐地充实壮大。数学之美，还在于它的和谐，表现为一个公式，一个方程，一个几何图形甚至一个小小的点。本书遵循这一原则，用数学方法证明电磁场的物质性和可测量性，进而阐明信息运动的某些规律，向读者揭示图书馆电媒工作的原理。它包括电磁形式的能量及信息的产生、传送、量测、使用和设备材料等内容，涉及计算机网络技术、声像技术、多媒体技术、数据存取技术、人工智能技术和通信技术的基本原理。人类发现电和磁的现象可以追溯到公元前几百年，但在最近的 200 多年间，对电磁的认识才有了重大的进展。1785 年库仑用扭秤实验得出的库仑定律，是这个阶段初期的重要成果之一。1820 年奥斯特发现了电流可使其附近的磁针偏转，把电与磁联系起来了，继而安培对电流之间的作用力进行了一系列精心设计的实验，提出了许多重要概念和安培环路定律。欧姆定律是欧姆在 1826 年通过实验而得出的。法拉第在 1831 年发表的电磁感应定

律,是近代电磁设备制造、研发的重要理论依据。在电磁现象的理论与使用问题的研究上,楞次在1833年建立确定感应电流方向的定则(楞次定则),其后阐明了电机可逆性的原理,他在1844年与英国物理学家焦耳分别独立地确定了电流热效应定律(焦耳-楞次定律)。麦克斯韦继承了法拉第的电磁场概念,参照流体力学的模型,采用严格的数学方法,推广了电流的含义使其包括位移电流在内,他将电磁场理论归纳为四个微分方程,这就是著名的麦克斯韦方程组。他对这组方程进行分析,预见到电磁波的存在,并断定电磁波的传播速度为有限值,即等于光的速度,而光不过是某种频率下的电磁波。麦克斯韦的这些重要论断,以及一些其他成果都写入了他1873年所著《A Treatise on Electricity and Magnetism》(论电与磁)一书中。1887年,赫兹用实验方法产生和检验了电磁波,从而奠定了无线电技术的基础。实际利用电磁波为人类服务的应归功于马克尼和波波夫。大约在赫兹实验成功7年之后,他们彼此独立地分别在意大利和俄国进行通信试验,为无线电技术的发展开辟了道路。网络图书馆和一系列电磁工具,是几代研究者探索实践的产物。因此,我们学习理论时,应该十分重视电磁现象的基本实验。例如,在实验中人们观察到,许多数据是大量带电粒子共同作用的结果,或者说是统计平均值,这种结果称为宏观现象,它不反映物质构造细节上的不均匀性和能量变化上的不连续性。因此,企图用建立在宏观现象上的理论,去解释微观世界中粒子的问题,将发生难以克服的困难和矛盾,将量子理论与电磁场理论结合起来加以应用,才是解决问题的有效途径。

在阐述基本原理时,我们借助不同电磁性能的材料,将其当做场的媒质,来表述电磁特性,称为等效方法。这样就可以将媒质的性质归结为一些参变量,如介质常数、磁导率、电导率等。事实上,网络图书馆本身就是电磁场与多种材料结合的产物。媒质参量与场矢量构成了所谓成分方程或结构方程。成分方程与麦克斯韦方程组联立,使未知量个数与方程个数一致,电磁场问题才可能获得具体的解答。麦克斯韦指出光与电磁波的同一属性,并证明电磁波的传输速度为有限数值,又提出电磁场具有一定的能量。1901年列别节夫用很精细的方法进行了光压实验,证明了电磁场本身具有确定的质量、能量和动量。可以看出,场是不以人们意志为转移的客观存在,并且具有物质的基本特征,场本身就是物质的一种形式,现在已经为人们所承认。1882年米开尔逊(Michelson)和摩莱(Morley)进行了光速测量的实验,结果表明光速与观察者的运动速度没有关系,使经典力学与电磁场理论发生了矛盾。爱因斯坦在1905~1915年中建立了相对论,指出经典力学的局限性。相对论阐述了时间、空间、质量、能量和运动之间的普遍联系。麦克斯韦的电磁场方程组,在不同的惯性系统中有同一形式,这是符合相对论的,而牛顿在他的力学中所承认的绝对时空概念,只有在运动速度小于光速时才是正确的。我们注意到法拉第在说明电磁感应定律时采用了切割力线的模型,这对场的形象化起了很好的作用,但是从相对论的观点看来,切割力线的概念把相对运动绝对化了,也只有在小于光速的运动中才是正确的。

电磁现象的基本规律建立在库仑、安培、法拉第所提供的实验事实和麦克斯韦位移电流概念的基础上,这些规律有时表现为积分形式的公式,有时表现为微分形式的公式,不应该认为这两种形式仅仅是数学运算上的差别,因为积分形式虽然是实验结果的直接反映并有着大量应用,但却隐含着电磁现象能够以无限大的速度传播的概念,或者说超距作用

的概念,从而只适应于稳定状态的场,麦克斯韦的电磁场方程组以微分形式表述,就排除了超距作用的障碍,导出了电磁场以光速传播,光与电磁波有统一属性的成果。当然,这并不意味着积分形式的公式不重要。当场中各处的电荷、电流已经给定时,在恒定情况下,按照积分公式可以直接计算有关场的集总参数、能量和力。由积分形式还可以方便地导出微分形式,或计算电磁场的典型问题,并给出一些场的空间形象。用形象表示的场具有直观性,对理论和实际工作的定性判断有重要作用,工作中往往首先由于定性判断以区别问题的性质,其次才选择定量的方法。

电磁场的微分方程描述了场矢量或位函数的空间分布及时间变化的一般规律。在给出边界条件、初始条件等定解条件后,寻求解答的问题称为边值问题。从实际的网络图书馆技术问题抽象为边值问题并不是很简单的工作,这需要根据电磁场理论及网络技术上的知识排除一些不必要的因素,以期获得一个相应的数学模型,使其既能代表实际情况,又不致使求解的代价太大。因此,建立数学模型的工作是非常重要的。对数学模型的求解,可以采用解析的、数值的或实验的方法,解析法是众所周知的方法,所取得的结果具有典型意义,但解析法受到很多限制,例如对常见的微分方程能分离变量的正交坐标不过十几种,随着数学建模活动的开展,数学与实际问题之间的关系将不断改善。电子计算机的进步,为场的求解提供了新的可能,数值方法有了较大进展。但必须强调不能忽视实验方法,实验结果是可靠的原始资料,无论解析法还是数值法所得到的结果,都需要实验加以检验,数学模型中的一些参数,是通过实验方法确定的。实践是检验真理的标准,只有用实验的方法才有助于发现新的现象和证实新的规律。在很多情况下,实验只能在模型上进行,仿照实物制作模型成为模拟,对连续过程的模拟又称为仿真,模拟和仿真都是以相似理论为依据的。相似理论是关于鉴别现象间的相似性及实现相似性必须遵守的规律的理论,它有助于正确地制作和使用模型,有效地组织实验和整理实验结果,并可将实验结果推广应用到各种与之相似的现象上去。模拟可分为物理模拟和数学模拟两种类型,模型和实物之间有多种比例关系,例如几何比例、参数比例、时间比例等。各种比例组合为相似判据,这是按照相似理论由数学模型所确定的。本书介绍的基本数学方法有差分法、有限元法、边界元法等,离散化是这些方法的共同特点,为了使边值问题的解答有较为统一的概念,用变分原理、函数空间和线性算符表述这些方法是比较合适的。

当然,电媒工作原理远不是信息媒介和技术原理的全部,本书对“什么是信息”的问题也没有给出最终答案,仅对“场”物质形态进行了数学分析和图形演示。信息媒介物质的探索,将随着新物质的发现不断被证明。科学通过各个学科、各种学派相互砥砺,相互渗透而发展。电磁现象中有许多数学原理、图形概念与计算机原理密切相关,宏观上经常与数学的、化学的、物理学的、计算机的以及生命科学的现象联系着。可以认为,图书馆电媒工作原理的研究还有极为广阔的前景。

第一章 真空中的电磁场

第一节 库仑定律与扭秤实验

人们认识电磁现象经过了漫长的岁月和艰苦的历程。早在公元前 600 年, 希腊人就发现了摩擦后的琥珀可以吸动细小物体。公元前 300 年, 中国出现了磁石引铁的记载。公元初年, 我国制成了最早的磁性指南仪器——司南, 这是世界上电磁现象最早的应用。11 世纪初, 我国文献中又详细记载了人造磁针的方法。在欧洲, 直到 1570 年吉尔伯特 (W. Gilbert) 才说明地球本身是一个大磁石, 并发现摩擦后能够吸引其他物体的东西不仅限于琥珀, 包括大理石、玻璃、硫磺、松香等也有同样效应, 称之为带电现象。1640 年, 冯格里克 (Von Guericke) 写下了带电体之间不仅出现吸力, 而且会出现斥力。又经过 90 年左右, 格雷 (Stephen Gray) 正式区分各种物体为导体或者绝缘体。1733 年, 杜飞 (DuFay) 深入地研究了带电体之间相吸和相斥现象, 定义了同性带电和异性带电。14 年后, 富兰克林在他的点流体学说中才建议采用正电荷(+)及负电荷(-)的名称, 使用代数符号表示正负, 隐含着等量异号电荷可以中和的含义。18 世纪后半叶, 人们开始了对静电现象的定量研究及理论探讨, 此后 200 年对电磁现象的研究结果, 远远超过了以往 2000 年的成就。

普瑞斯莱 (Prestly, 1767) 和卡文迪许 (Cavandish) 都曾经用间接的方法断定电荷之间的作用力有与距离平方成反比的关系。因为只有这种关系才能导致空心导体内电荷不受外部带电体的作用力。但是, 他们的工作直到 1879 年方始为人们所知。鉴于库仑实验 (如图 1-1 所示) 的结果首先为人们所知道, 并且他的方法更为直接, 习惯上仍以库仑定律作为电学中第一个定量的定律。

库仑定律是以库仑的扭秤实验为依据, 它说明: 两个带电体之间存在作用力, 当它们带有同性电荷时互相排斥, 带有异性电荷时互相吸引; 作用力的大小与两带电体上的电荷的乘积成正比, 与它们之间的距离平方成反比, 作用力的方向在两带电体之间的连线或延长线的方向。

如果以 q_1 及 q_2 分别代表带电体上的电荷, r_{12} 代表它们之间的距离, 则作用力为

$$f_{12} = K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} r_{12} \quad (1-1)$$

式中 r_{12} ——由 q_1 到 q_2 连线方向的单位矢量, 见图 1-2;

K ——比例常量, 决定于所选定的单位。

在厘米·克·秒 (C. G. S.) 单位制中, 力的单位为达

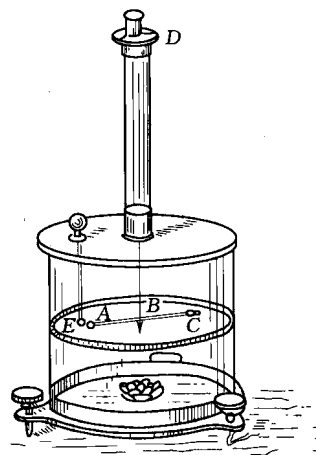


图 1-1 库仑实验

因。若带电体位于真空中，可以简单地选定 $K=1$ 。

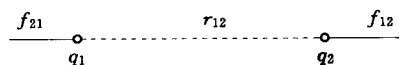


图 1-2 库仑定律

这样就决定了电荷的单位：若当 $q_1 = q_2 = q$ ，并相距 1cm、作用力 f 为 1 达因时， q 的大小为 1 静电库仑。以静电库仑为基础的单位制，称为静电单位制 (C. G. S. e. s. u)。按与此相仿的办法，以单位磁

极间作用力为基础而定出的单位制，则称为电磁单位制 (C. G. S. e. m. u)，相应的电荷单位称为绝对库仑，绝对库仑为静电库仑的 3×10^{10} 倍。但是，在技术上通用的单位制是乔其 (G. Giorgi) 所倡议的米·千克·秒 (M. K. S.) 的实用单位制。其中电荷的单位为库仑，力的单位为牛顿。于是在库仑定律中的比例常量 K 具有下面的大小和量纲

$$K = 9 \times 10^9 (\text{牛顿} \cdot \text{米}^2) / \text{库仑}^2$$

为了以后在某些重要的公式中不出现常数 4π ，则在常量 K 中分离出 $1/4\pi$ 的因子，令

$$K = 1/4\pi\epsilon_0 (\text{牛顿} \cdot \text{米}^2)$$

式中 ϵ_0 ——真空的介电系数或真空的电容率。

这样的处理称为对单位的合理化。看来，也许这样的合理化并不那么合理，亥维赛 (Heaviside) 指出，这不过是习惯问题。他提到一个有趣的例子：由长度计算面积时，如果规定半径为 1 的圆面积作为面积的 1 个单位，当然在逻辑上这是许可的，则边长为 1 的正方形的面积为 $1/\pi$ 。很多人会认为这个 π 出现得不合理。与此相仿，我们认为以后电磁场方程中的 4π 不合理，不如在库仑定律的常数中出现 4π 。合理化的 M. K. S. 单位制现在已经与其他几个单位一起组成了国际单位制，简记为 SI。

除上述之外，还有其他各种各样的单位制。单位制的问题不是一个简单的问题，它涉及很多方面。我们只能比较简单地介绍一下对这个问题的某些考虑。

单位的选择最初只是根据人们生活中使用的方便。例如长度的单位是按照人们身体上的某个长度（如足长、步长、指骨、肘臂等）定出的。科学的进展扩大了人们的眼界。就长度而言，天文学上的距离要用光年计算，而光的速度达到 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ ，可是电子的尺度却只有 $2 \times 10^{-13} \text{ cm}$ 左右。怎样大小的单位才合适是不能一概而论的。另外，在确定单位时，对于各种物理量需要考虑到它们的物理本质。某些物理量被认为是基本的，而其他的物理量属于派生的，从而可以应用量纲分析的方法，研究一些问题。例如在力学中，我们认为长度、质量、时间是基本量，而其他是派生的，因此有下面的量纲关系（以 M 代表质量， L 代表长度， T 代表时间）

$$\text{力:} [\text{牛顿}] = [MLT^{-2}]$$

$$\text{功:} [\text{焦耳}] = [ML^2T^{-2}]$$

$$\text{功率:} [\text{瓦特}] = [ML^2T^{-3}]$$

这就是说，力、功、功率是力学中派生的物理量。所以单位制中还包含着对客观世界的本质如何认识的问题。电荷的存在是电磁理论的基本前提。库仑实验用力学方法证明了这个事实，但是并不能说明究竟电荷是独立于力学基本量之外的物理实体，还是由力学量派生的物理量。库仑定律并不解决这个问题，而只是提出了这个问题。近年来物理学的迅速发展

展，相对论原理提出：“一切正确的物理定律，表现在相对匀速直线运动的各惯性系统中，应该具有同一形式。”可以证明，电荷在各惯性系统的变换中保持为不变量，而力学的基本量如质量则需与速度一起变化。因此，我们有理由认为电荷是独立的物理量，从而作为基本单位之一。这种单位制称为 M. K. S. Q. 单位制。它的量纲如为

$$\begin{aligned}\text{电荷: [库仑]} &= [Q] \\ \text{电位: [伏特]} &= [ML^2 T^{-2} Q^{-1}] \\ \text{电容: [法拉]} &= [M^{-1} L^{-2} T^2 Q] \\ \text{电容率: [法/米]} &= [M^{-1} L^{-3} T^2 Q^2]\end{aligned}$$

而在静电单位制中的量纲则为

$$\begin{aligned}\text{电荷: [静库]} &= [M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}] \\ \text{电位: [静伏]} &= [M^{1/2} L^{1/2} T^{-1}] \\ \text{电容: [厘米]} &= [M^0 L T^0] \\ \text{电容率: } 1 &= [M^0 L^0 T^0]\end{aligned}$$

可以认为，在静电单位制中电荷不属于基本单位，而被看做是力学的派生量。因而电容率是无量纲的纯数量，电容恰好有长度的量纲。但是问题还不止于此。对单位制除了理论上的考虑，还必须有实践上的要求。科学技术的发展对计量上的要求日益增强。不仅在一个国家之内，而且在国际上使用的单位也日趋一致。因此，对制定的单位，要求技术上能够重现、保存、传递、检定，否则定量的工作就很难有效地进行。为此，量测中不是以电荷 $[Q]$ 为基准，而是以电流 A 为基准，记为 $[A] = [QT^{-1}]$ 。这样的单位制称为 M. K. S. A. 单位制。在 1960 年第十一届国际计量会议上通过 M. K. S. A. 及摩尔、坎德拉、开尔文等组成国际单位制，简记为 SI。由于科学的发展，近年来力求用物理常数构成单位基准。

库仑定律说明带电体之间的作用力与电荷及距离的关系。为了确定距离，需要使带电体的尺寸比它们之间的距离要小很多，在极限情况下就导出了点电荷的概念。理想中的点电荷，意味着只有几何上的位置，而没有几何上的大小，从而两点之间的距离是确定的。当然实际上这只能是近似的。我们约定：点电荷是指带电体的几何尺寸对距离所造成的误差可以忽略而言，并不认为点电荷的尺寸必须比分子、原子的尺寸更小。与此同时，恰好和点电荷概念相反，又时常采用电荷连续分布的概念，从而出现电荷的体密度、面密度等物理量，因为只有这样才能便于库仑定律的应用。对于不限大小及形状的带电体的作用，把它们划分为体积的或面积的元素，每个元素与电荷密度的乘积作为点电荷看待，可以按照点电荷进行场的叠加。因此对于电荷密度，我们理解为忽略了在每个几何元素上物质的不均匀性，而取其平均值。点电荷及电荷密度，这两个对立的观念同时应用，需要区别数学上的无限小与物理上的无限小这两个概念。我们是这样规定的：对导体面积元素进行积分时，面积元素是数学上的无限小，但是它远大于导体的分子、原子、电子等的物理上的无限小，而电荷密度是物理上无限小的带电粒子在数学上无限小的几何元素上的平均值，因此积分也是可以成立的。在这里默认了电荷有确定的分布密度或者点电荷有确定的位置。但是众所周知，事物都是处在永恒的运动之中。带电导体中的自由电子也是处在不停的运动之中，而且即使很小的带电体也有多少亿个电子或原子核，我们所用的量测方法和观察方法所测得的是大量运动中的粒子的总体作用的统计平均值。这样测得或观察到的现象称

为宏观现象。关于宏观现象的理论称为宏观理论。研究粒子的构造及其行为的理论,例如量子论,则称为微观理论。我们的讨论将限于宏观理论。

库仑定律描述了带电体之间的作用力。如何解释这种作用力,历史上存在过争论。现在人们知道带电体之间的作用力是通过电荷周围的电场实现的,电场是物质的一种形式。但是历史上首先出现的是所谓超距作用。从超距作用的观点看来,两个带电体之间具有超越距离产生作用力的固有本领。拘泥于这种观点的人认为:“研究某个带电体周围的电场是没有意义的,只有把受试电荷拿到这个带电体周围,受到作用力才是真实的。”受试电荷受到作用力固然是电荷存在的直接证明,但是不能由此认为在没有测试这种作用力的时候,电荷的出现不会使它的周围发生物理过程,不能以主观的感觉为理由,否认在测试之前就出现了电场。客观世界可以独立于我们的经验和感觉之外,它的存在是不依赖于我们的主观认识而转移的。超距作用观点的出现并不奇怪,因为库仑定律只说明了电荷之间的作用力,既不能证明这个力是超越距离立即发生的,也不排除电荷对周围的影响是逐步传播并需要时间的,因为传播速度如果很快,这个时间就太短,在库仑实验中是难以量测的。随着科学的进步,籍介学说或接触学说代替了超距学说。籍介学说认为带电体间的作用力是凭借着某种媒介物逐步传递的,困难在于说明这种媒介物是什么。实验表明,在带电体之间的空气密度从正常递减到实验所能达到的极限时,作用力很少改变。我们正是在这种意义上称所讨论的空间区域为“真空”。因此,有人提出了“以太”假说,认为以太是无所不在,但没有质量并能传递电磁影响。在这个假设下,对电磁场进行了广泛深入的研究。麦克斯韦在 1864 年提出了《论光与电磁波的同一属性》的论文,指出光与电磁波有着相同的有限速度,即光速。这个论断到 1887 年由赫兹的实验所证实。显示出电磁场理论惊人的预见性。籍介学说的成立,还应归功于 1901 年列别捷夫的光压实验。实验证明了电磁场有确定的能量及动量,而 1905~1915 年爱因斯坦的相对论原理,进一步论证了时间、空间、质量、能量、运动之间的关系。这说明电磁场本身就是物质的一种形式,以太假说是不必要的,籍介学说得到了公认。

第二节 电场强度及力线概念

电磁现象本来是统一的整体,但是当观察者对电荷相对静止时简化为静电场。静电场的主要特征之一就是在场中的受试电荷受到作用力。我们说受试电荷,意思是指这个电荷必须很小,而它的存在不影响原来电场的情况,不影响原来激发电场的电荷的分布。按照库仑定律,受试电荷 q' 在电场中各处所受的作用力,完全有确定的数值和方向。从而可用以表征不同位置的电场。

因此,我们规定电场强度为:在电场中某个位置上的受试电荷所受的电场作用力与受试电荷之比,当受试电荷趋近于零时的极限。即

$$E = \lim_{q' \rightarrow 0} \frac{f}{q'} \quad (1-2)$$

如果电场仅是由于点电荷 q 激发的,则

$$E_p = \lim_{q' \rightarrow 0} \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r_p^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_p^2} \quad (\text{V/m}) \quad (1-3)$$

式中 r_p^0 ——自 q 到 p 点方向上的单位矢量。

现在激发电场的电荷 q 和受试电荷 q' 是两个电荷，仍然是计算它们之间的作用力。但是电场强度的提出，排除了受试电荷的影响，把注意力集中在 q 所激发的电场上。所讨论的 p 点，可以是电场中的任意点，这样就把我们的眼界扩大到整个空间中各个不同位置上的电场强度问题。若令 i, j, k 表示直角坐标系中平行于各坐标轴的单位矢量，则

$$E(x, y, z) = iE_x(x, y, z) + jE_y(x, y, z) + kE_z(x, y, z) \quad (1-4)$$

这样就描述了整个电场。例如有点电荷在坐标原点，则在给定的 (x_0, y_0, z_0) 点电场强度的大小为

$$|E(x_0, y_0, z_0)| = \sqrt{[E_x^2(x_0, y_0, z_0) + E_y^2(x_0, y_0, z_0) + E_z^2(x_0, y_0, z_0)]} \quad (1-5)$$

而它的方向可以用三个方向余弦表示

$$\cos\alpha = \frac{E_x}{|E|}, \cos\beta = \frac{E_y}{|E|}, \cos\gamma = \frac{E_z}{|E|} \quad (1-6)$$

由点电荷 q 激发的电场强度，按式 (1-3) 不难看出它的大小与 q 的一次方成正比。这种线性关系使叠加原则可以应用，即不论有多少个点电荷，所造成的总电场强度可以由分别计算每个点电荷的场再进行叠加获得。如图 1-3 所示。若在点电荷之外，还有分布在线段上、面积上，及体积中的电荷，则应用电荷密度的概念，对线段元、面积元、体积元乘以相应的电荷密度，得到的 λdl 、 σdS 、 ρdV 仍可作为点电荷看待，按照式 (1-3) 进行叠加求出总的电场强度，即有

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{r_k^2} r_k^0 + \int \frac{\lambda dl}{r^2} r^0 + \iint_S \frac{\sigma dS}{r^2} r^0 + \iiint_V \frac{\rho dV}{r^2} r^0 \right\} \quad (1-7)$$

式 (1-7) 表明，当已知电荷分布时，各处的电场强度是完全确定的。

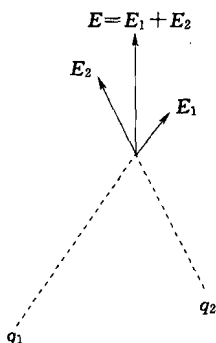


图 1-3 电场强度的叠加

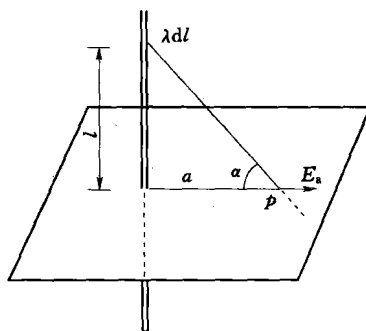


图 1-4 直长线电荷的电场

【例 1-1】 直长细导线均匀带电时附近的电场。

解：取垂直于导线的平面上的 p 点为观察点， p 到导线的距离为 a ，导线上距平面 l 处的电荷元素为 λdl ， λdl 至 p 的距离为 r ，如图 1-4 所示，因此

$$dE_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\lambda dl}{r^2} r^0$$

注意到导线在平面两边是对称的，故 E_p 只有在平面上的分量 E_s 。又因为

$$r^2 = a^2 + l^2, l = a \tan\alpha, dl = a \cdot \sec^2\alpha \cdot d\alpha$$