电磁学
原理与应用

P. 劳兰
D. R. 考森 著

萧树勋 杨家君 程庆祥 译

王义民 校

安徽教育出版社

P.劳兰
著
D.R.考森

萧树勋、杨家君、程庆祥译

王义民 校

电磁学原理与应用

内 容 简 介

本书根据美国P.Lorrain和D. R. Corson合著的《*ELECTROMAGNETISM: Principles and Applications*》1979年版译出。这是一本近几年来在美、英、加等国颇受欢迎的电磁学教科书。可供我国高等学校物理、无线电电子学、电气工程等专业作电磁学教学参考书，也可供有关工程技术人员和电视大学师生参考。

本书序言、附录和1—7章由萧树勋译，8—12章由杨家君译，13—20章由程庆祥译。全书由王义民校订。

电磁学原理与应用

安徽教育出版社出版

（合肥市跃进路1号）

安徽省新华书店发行　安徽新华印刷厂印刷

*

开本：850×1168　1/32　印张：16　字数：365,000

1984年6月第1版　1984年6月第1次印刷

印数6,000

统一书号：7276.124　　定价：2.10

中译本序言

电磁学是一门很有用的学科，因为今日大多数技术部门都起源于它。只要人们想到诸如电讯、雷达和发电等技术，这种说法就是显而易见的。确实，物理学家和工程师们仅仅才开始去开拓显然是不可胜数的电磁学的应用。

不过，电磁学本身也是一个令人神往的课题。一个引人注目的方面是其全部内容实质上可被凝聚为仅仅五个方程式：四个一百多年前就被麦克斯韦发现的关于**E**和**B**之散度和旋度的方程式，再加一个洛仑兹力的方程式。张量的运用，使得电磁理论更为精致。

电磁学另一个引人注目的方面是它不同于力学，它原来就孕育着纯朴的相对论形式，虽然这在当时尚未被发现。所以在麦克斯韦的理论中含有相对论的种子。不久，麦氏理论就被认为是与经典力学中的伽利略变换不相容的，所以在爱因斯坦关于相对论的第一篇论文中，第一句话就谈到这件事。

麦克斯韦的真名是詹姆士·克拉克(James Clark)，他于1831年生于苏格兰，这是法拉第宣布发现电磁感应的一年，他死于1879年，这是爱因斯坦诞生的一年。他使用了即使今天对我们来说也是难懂的数学语言，不过他的原始方程却基本上同我们今天所用的相同，后者你们可以在本书中见到。

《电磁学原理与应用》一书，不仅广泛地被使用于北美洲，而且被使用于英国、欧洲和世界上其他地区。感谢萧树勋、王义民、杨家君和程庆祥副教授，将此书的中译本提供给中华人

民共和国的读者，这对考森教授和我本人来说，都实在是极大的荣誉。

Prof. Paul Lorrain

Montreal, *Canada*

Prof. Dale. R. Corson

Ithaca, *N*.*Y*.*USA*

1984, 5.

序　　言

同作者们的另一著作《电磁场与电磁波》一样，本书的目的是给读者有关电磁学的实用知识。采用本书的读者应当看一看A.N.华海德(Alfred North Whitehead) 的题为《教育之目的》的论文集，特别是与论文集同名的第一篇文章。在一开头华海德这样阐述了他的观点：“全书（指他的论文集——译注）反对死板的知识，这就是说反对那些毫无生气的概念……即反对那些仅充斥于头脑既不能应用，也不能检验，又不能与新东西相结合的概念。”因此，基于这种观点，我们安排了90多个例题和332个习题，并对其中27个作了详尽的解答。

本书可作为大学新生或二年级学生的教科书。亦可作为物理学家和工程师用的电磁学导引；或是作为攻读其它专业的学生学习电磁学的最终教程。

本书设想读者已经学过了一学期的微积分课程；但不认为读者已经具备矢量、重积分、微分方程或复数方面的知识。

我们在前一著作中曾获得普遍赞尝的那些特点也将在本书中继续保持，例如上面提到的例题，取自当代文献的习题、每章末尾的小结以及三维插图(这次是按实体绘制的)。

本书分为二十章，每章都有其既定要求。在第一章中介绍矢量之后，接着讨论电磁学。它从库仑定律开始直到电介质中的平面波为止。在第五章、第十七章和第十八章三章中以一定的篇幅讨论了电路。第十六章完全是复数和相量；要恰当地处理交流电，离不开复数。与通常的看法相反，在学生的上述水平上来学习复数并无多大困难。相对论的讨论只占一章（第十

章)，这对简略地解释洛仑兹变换以及电场与磁场的转换已经足够了。当然这将遗留许多问题有待回答；但就本书的内容已是绰绰有余。

习 题

有些较长的习题涉及近几年物理学和电工文献中所述的测量设备和方法。这些习题的“编排”旨在一步步地引向深入，而中等难度的习题则给出其结果。

这些较长的习题试图给读者一个机会，学习如何取近似，如何建立据以定量分析的模型。当然，我们希望学生在求解电磁学方面的习题的时候，学会自己发现并解决问题的方法。事实上，在做过许多这类习题后，学生们最终将惊异地发现，他们竟会处理一些实际问题。

这些习题包含大量的相关学科的知识，因而能引起阅读的兴趣；它们也能鼓励读者把新学到的知识用于其它领域并激发其创造性。其中许多习题可用于在将来有所发展的一些实验。

从第二章起，较容易的习题标以E，它们只需几行字就能解决；但是仍然需要作一番思考。有些习题标以D，这些习题有相当难度。

不少习题需用曲线表示，这是由于曲线的含意比公式更为深刻。我们认为学生已能使用计算器或者是计算机。否则，计算将是冗长的。

平均来说，每章末的习题中，约有两个被作了详尽的解答。

单位和符号

本书所用的单位和符号为国际单位制(*Systéme Internatio-*

nald'Unités)，记为SI①。该单位制起源于意大利工程师Giovanni Giorgi 于1901年的建议，主张电学单位以米-千克-秒制为基础。Giorgi制逐年发展，先被叫做MKS制，后被叫作 MKSA制(A为安培)。它的发展主要靠国际度量衡局的促进，同时也靠若干国际组织的促进，如国际科学联盟（ICSU），国际电工技术委员会(IEC)以及国际纯粹和应用物理联合会（IUPAP)。

附录D为cgs制与SI制的相互转换表。“进一步使用电学和磁学的cgs单位要遭到非议”②。

补充读物

推荐下列著作为补充读物：

《电磁场与电磁波》

(*Electromagnetic Fields and Waves*: *Second Edition*.)

著者和出版者与本书相同，1970年版③。

《电气工程师标准手册》

(*Standard Handbook for Electrical Engineers*, McGraw-Hill, New York, 1968.)

《电子工程师手册》

(*Electronics Engineers' Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1975.)

---

① 见*ASTM/IEEE Standard Metric Practice*，出版者为the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 345 East 47th Street, New York, N.Y.10017.

② 见注①参考书第11页。

③ 该书中译本为《电磁场与电磁波》，陈成钧译，人民教育出版社，1980。我们这本书中的脚注有好几处要引用到该书；届时仅写出该书中文书名和参考章节、页数——译者

《无线电工程师参考资料》

(*Reference Data for Radio Engineers*, Howard Sams and Company, Inc, Indianapolis, 1970.)

《电子学及其应用》

(*Electrostatics and Its Applications*, A. D. Moore, Editor, John Wiley, New York, 1973.)

上述著作在大多数理工图书馆中均可找到，读者定会感到其中第二本和第三本参考书是实际应用的极为丰富的源泉。

致　谢

首先向我的学生们表示谢意，在无数次的讨论中，他们给我许多帮助。也要感谢在撰写本书过程中帮助过我的所有的人。Francois Lorrain，参与手稿的整理工作并绘制三维物体草图致使插图呈现真实感；Ronald Liboiron，也参与了插图的绘制；Jean-Guy Desmarais和Guy Belanger两位校阅了全文；特别是 Lucie Lecomte, Nancy Renz 和 Alice chenard 他们一遍又一遍地打印上千页的手稿。

Robert Mann，对本书和作者的前一著作的出版予以极大关注；Pearl C. Vapnek十分仔细地进行校清样工作，谨此致谢。

最后，谨向因《电磁场与电磁波》一书而写信给我的所有人士一并致谢；尽管本人均已作了回复并分别致谢，然而他们给予我的教益却是无法估量的。

考森(Dale Corson)为《电磁场与电磁波》一书的作者之一，现任康奈尔大学校长；遗憾的是校长的职责使他中止了本书的写作。

P.劳兰

蒙特利尔　1978

符 号 表

空间 时间 力学

dl, ds, dr	长度元	$f=1/T$	频 率
l, L, s, r	总长度	$\omega=2\pi f$	角频率，角速度
da	面积元	v	速 度
S	总面积	m	质 量
$d\tau$	体积元	ρ	质量密度
τ	总体积	$\mathbf{p}$	动 量
Ω	立体角	I	转动惯量
$\mathbf{n}$	面的法向矢量	$\mathbf{F}$	力
λ	波 长	$\mathbf{T}$	力 矩
$\lambdabar=\lambda/2\pi$	弧度长	p	压 力
t	时 间	W	能 量
$T=1/f$	周 期	P	功 率

电磁学

Q	电 量	$\mathbf{D}$	电位移
ρ	体电荷密度	ϵ_0	真空的介电常数
σ	面电荷密度	ϵ_r	相对介电常数
λ	线电荷密度	$\epsilon=\epsilon_r\epsilon_0=D/E$	介电常数
V	电 势	$\mathbf{p}$	电偶极矩
ε	感生电动势	$\mathbf{P}$	电极化强度，单位体积内的电偶极矩
$\mathbf{E}$	电场强度		

χ_e	电极化率
M	迁移率
I	电　流
$\mathbf{J}$	体电流密度
α	面电流密度
$\mathbf{A}$	矢　势
$\mathbf{B}$	磁感应强度
$\mathbf{H}$	磁场强度
Φ	磁通量
Λ	磁通链数
μ_0	真空的磁导率
μ_r	相对磁导率
$\mu=\mu_r\mu_0=B/H$	磁导率
$\mathbf{M}$	单位体积内的磁偶极矩
χ_m	磁化率
$\mathbf{m}$	磁偶极矩
R	电　阻
C	电　容
L	自　感
M	互　感
Z	阻　抗
Y	导　纳
ρ	电阻率
σ	电导率
$\mathbf{S}$	坡印廷矢量

数学符号

$\approx$	近似等于
$\propto$	正比于
$e^x, \exp x$	x 的指数函数
$\overline{B}$	B 的平均值
Re	z 的实部
$\|z\|$	z 的模
$\log x$	x 的十进对数
$\ln x$	x 的自然对数
$\arctan x$	x 的反正切
z^*	z 的复共轭
$\mathbf{E}$	矢　量
∇	梯　度
$\nabla\cdot$	散　度
$\nabla\times$	旋　度
∇^2	拉普拉斯算符
$\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$	笛卡儿坐标系的单位矢量
$\mathbf{r}_1$	沿 $\mathbf{r}$ 的单位矢量
x, y, z	场　点
x', y', z'	源　点

目　录

第一章 矢　　量

§1·1　矢量

§1·2　标量积

§1·2·1　例：力所作的功

§1·3　矢量积

§1·3·1　例：力矩、平行四边形的面积

§1·4　对时间的导数

§1·4·1　例：位置、速度和加速度

§1·5　梯度

§1·5·1　例：地形图、电场强度

§1·6　面积分

§1·6·1　例：圆的面积

§1·6·2　例：带电圆盘

§1·7　体积分

§1·7·1　例：球的体积

§1·8　通量

§1·8·1　例：流体的流动

§1·9　散度

§1·10　散度定理

§1·10·1　例：不可压缩流体、爆炸

§1·11　线积分

§1·11·1　力所作的功

电磁现象是用电荷和电流的场来描写的。例如，我们把两个电荷之间的作用力表示为其中一个电荷的大小与另一电荷的场的乘积。

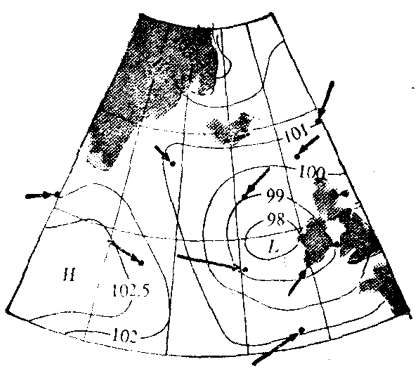

图1-1 1967年11月1日格林威治时间6时北大西洋上空的压力场和风速场。曲线是等压线，压力的单位是千帕。高压区用H表示；低压区用L表示。图中各箭头表示该箭头端点所在处的风速和风向；箭头长度与各点的风速成正比（如图中最长的一个箭头代表风速为每秒25米）。图中只画了几个实测点的风速矢量

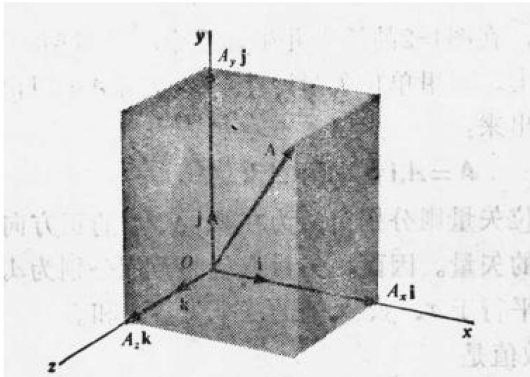

图1-2　一个矢量**A**和三个矢量A_x**i**、A_y**j**、A_z**k**，把后面三个矢量首尾相连，就得到**A**

在数学上，场是用来描写空间内所有各点处之某个物理量的一个函数。对于标量场，这个物理量由每一点处的一个单一数值确定。压力、温度和电势是标量场的几个例子，它们的数值可以在空间内逐点变化。对于矢量场，则既要有数量又要有方向。风速、重力以及电场强度是这类矢量物理量的几个例子。图1-1表示了这两种类型的场。

矢量用黑体字母表示，斜体字母则表示标量或者某个矢量的数值①。

按照一般习惯，我们采用右手笛卡儿坐标系，如图1-2所示；把右螺旋由正x轴经90°角转向正y轴，该螺旋前进的方向就是正z轴的方向。

§1·1　矢量

一个矢量可以由它在三个相互垂直的轴上的三个分量来确

① 在书写时，为了方便，在字母上加一箭头以表示一个矢量，如$\vec{A}$。

定。例如，在图1-2的笛卡儿坐标系中，矢量**A**的三个分量是A_x、A_y、A_z。利用单位矢量**i**、**j**、**k**，矢量**A**可以由它的分量唯一地表示出来：

$$\mathbf{A}=A_x\mathbf{i}+A_y\mathbf{j}+A_z\mathbf{k} \tag{1-1}$$

而三个单位矢量则分别定义为在x、y、z的正方向上的数值为一个单位的矢量。因而，矢量**A**就是数值分别为A_x、A_y、A_z，方向分别平行于x、y、z轴的三个矢量之和。

A的数值是

$$A=(A_x^2+A_y^2+A_z^2)^{1/2} \tag{1-2}$$

把两个矢量的相应分量相加，就得到两个矢量之和

$$\mathbf{A}+\mathbf{B}=(A_x+B_x)\mathbf{i}+(A_y+B_y)\mathbf{j}+(A_z+B_z)\mathbf{k} \tag{1-3}$$

只要把其中一个矢量变号后，再相加，就得到两个矢量之差

$$\begin{aligned}\mathbf{A}-\mathbf{B}&=\mathbf{A}+(-\mathbf{B})\\&=(A_x-B_x)\mathbf{i}+(A_y-B_y)\mathbf{j}+(A_z-B_z)\mathbf{k}\end{aligned} \tag{1-4}$$

§1·2 标量积

标量积或点积是一个标量，它由第一个矢量的数值乘以第二个矢量的数值，再乘以两个矢量之间夹角的余弦而得到。例如，在图1-3中，

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{B}=AB\cos(\varphi-\theta) \tag{1-5}$$

由此定义可知，普通算术中乘法交换律和结合律适用于标量积：

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{B}=\mathbf{B}\cdot\mathbf{A} \tag{1-6}$$

对于任意三个矢量有

$$\mathbf{A}\cdot(\mathbf{B}+\mathbf{C})=\mathbf{A}\cdot\mathbf{B}+\mathbf{A}\cdot\mathbf{C} \tag{1-7}$$

后一个性质将在习题 1-3 中用作图的方法证明。标量积还有下