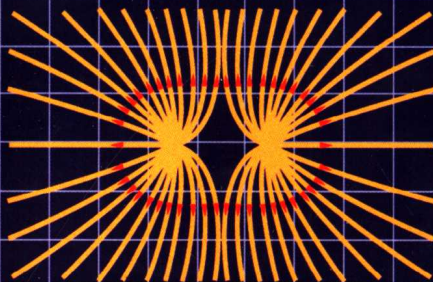
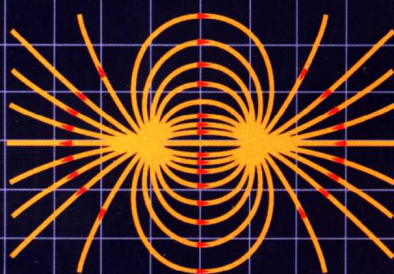


OHM 大学理工系列

电 磁 学

〔日〕末田 正 编著



科学出版社
www.sciencep.com



A1014237

电 磁 学

〔日〕 末田 正 编著

徐其荣

译

郑佩玉

校



科学出版社

北 京

11/150/04

图字:01-2002-2264 号

Original Japanese language edition

Shinsedai Kougaku Series; Denjikigaku

By Tadashi Sueta, Hiroshi Shigesawa, Nobuo Okamoto and Eiichi Ogawa

Copyright © 2001 by Tadashi Sueta, Hiroshi Shigesawa, Nobuo Okamoto and Eiichi Ogawa

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese version published by Science Press, Beijing

Under license from Ohmsha, Ltd.

Copyright © 2002

All rights reserved

新世代工学シリーズ

電磁気学

末田 正 オーム社 2001

图书在版编目(CIP)数据

电磁学/(日)末田正编著;徐其荣译,郑佩玉校. —北京:科学出版社,2003

(OHM 大学理工系列)

ISBN 7-03-010891-4

I. 电… II. ①末…②徐…③郑… III. 电磁学-高等学校-教材 IV. 0441

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 072007 号

责任编辑 崔炳哲 樊友民 责任制作 魏 谨

责任印制 刘士平 封面设计 李 力

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社发行 各地新华书店经销

2003 年 2 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2003 年 2 月第一次印刷 印张: 20 1/2

印数: 1—4 000 字数: 275 000

定 价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

丛书序

主编 樱井良文

现在,很多大学正在进行院系调整以及学科、专业的重组,以研究生培养为重点,引入学期制,采用新的课程体系授课,特别是由于学期制教学计划的引入,使得原来分册编写的教材很难在一个学期的教学中消化。因此,各学校对“易教”、“易学”教材的需求越来越迫切。

本系列是面向通信、信息,电子、材料,电力、能源,以及系统、控制等多学科领域的新型教学参考系列。系列中的各册均由活跃在相应学科领域第一线的教授任主编,由年轻有为的学者执笔,内容丰富、精炼,有利于对学科基础的理解。设计版面时着意为学生留出了写笔记的空间,是一种可以兼作笔记,风格别致的教学参考书。

希望肩负新世纪工程技术领域发展重任的青年读者们,通过本教程系列的学习,建立扎实的学科基础,在实践中充分发挥自己的应用能力。

OHM 大学理工系列编辑委员会

主 编

樱井良文 大阪大学名誉教授

副主编

西川祐一 大阪工业大学校长
京都大学名誉教授

编委(按姓氏笔画顺序)

广濑全孝	产业技术综合研究所 下一代半导体研究中心主任	井口征士	大阪大学教授
木村磐根	大阪工业大学教授 京都大学名誉教授	仁田旦三	东京大学教授
白井良明	大阪大学教授	西原 浩	福井工业大学教授 大阪大学名誉教授
池田克夫	大阪工业大学教授 京都大学名誉教授	滨川圭弘	立命馆大学教授 大阪大学名誉教授

前 言

电磁学是物理学中解决电磁现象的重要学科分支,它涉及到理工科的广大领域。特别是对电工学、电子学、通信工程专业的科技人员,电磁学更是必修学科。

电磁学的学习方法主要分为两种,一是从著名的库仑定律出发,大体沿着电磁学的历史来讲述,最后导出电磁理论的基本方程式,即麦克斯韦方程。这种方法容易使每一步骤中的物理意义连贯起来,大部分初学教科书都是按照这种思路编写的。

另一种方法是以包括全部电磁学有关定律的麦克斯韦方程作为出发点,再以库仑定律开始,通过导入各种定律,易于把握电磁现象的总体,并且很适合解决电磁理论的实际问题。但这种方法是要以具有相当程度的数学知识为前提的,因此适合作大学高年级的教材。也可以考虑首先用传统的方法学习,再根据需要引入高年级的教材。

本教材针对初学电磁学的电气类相关专业的学生,基本上是沿着历史的发展叙述静电、静磁、电磁感应、麦克斯韦方程这些电磁现象的教科书。从这一意义上来说,可以说是初等教科书。但是,考虑到近来微波与光波技术的广泛应用,也可以考虑将此教材作为有关电磁波基础知识的入门教材。因此在本书的第11章与第12章中,叙述了有关麦克斯韦方程。在展示由此导出电磁波的同时,还讲述了关于电磁波的反射、折射与辐射等基本性质。从这一意义上来说,可用于1年~1年半((2~3)学期)的电磁学教学。另外,关于电磁波的更详细内容,可参见本书的姊妹篇,欧姆社“OHM 大学理工系列”中西原浩编著的《光与电磁波工程》。

本书均由在大学担任电磁学教学、有丰富经验的老师执笔,具体分工如下:

第1章与全书汇总	末田 正
第2章~第6章	繁泽 宏
第7章~第10章	冈本允夫
第11章~第12章	小川英一

在编写过程中,尽管对内容、表现形式等进行了反复的讨论调整,最后还是尊重执笔者的个人意见。虽说是初等电磁学,但也有难度较大的部分。我想读者可以根据学习的目标适当地取舍吧!

最后,对给我编著此书机会的本丛书主编樱井良文先生表示衷心的感谢。

末田 正

译者跋

电磁学不仅是理工科电气及相关专业的必修课,而且对于当今的一些边缘学科,也是不可或缺的基础理论之一。

本书以电磁学理论的形成与发展为线索,以导出集电磁学大成的麦克斯韦方程组为目标,从库仑定律出发,系统、完整、详尽地推导出静电、静磁、电磁场及电磁波等作为电磁学理论基础的一系列数学基本方程式,阐明电场、磁场及其相互关系的规律——电磁感应及电磁波的产生机理,论证描述这些规律的各物理量之间定性和定量的关系,提供实际应用的基本方法。这是一本传统物理学与现代教学相结合的很好的基础理论教材。既可作为初学电磁学的电气专业学生的必修课教材,也可供广大教师及有关专业的技术人员作为自学或参考之用。

全书内容深入浅出、循序渐进、结构严密、阐述清晰。某些重要的基本定律、定理、数学方程式反复引证,以承上启下,不仅使全书内容紧密连贯,也有助于读者在学习过程温故知新、巩固概念。

本书各章节列举大量的例题,每章末附有练习题。通过这些例题和练习题,可使读者消化理解、巩固掌握所学的内容,并与实际相结合,学会应用所学知识解决实际问题,这对电气工程技术应用专业的学生及工程技术人员来说,尤为可取。

由于译者水平有限,时间仓促,译文中难免有遗漏和不当之处,谨请广大读者不吝赐教。

编者、作者简历

末田 正

编著者、执笔:第1章

1953年 大阪大学工学部通信工程学科毕业

1959年 工学博士

1971年 大阪大学基础工学部教授

1993年 摂南大学教授

2000年 退休

繁泽 宏

执笔:第2~6章

1963年 同志社大学研究生院工学研究科结业

1970年 工学博士

现在 同志社大学工学部教授

冈本允夫

执笔:第7~10章

1959年 大阪大学研究生院硕士结业

1967年 工学博士

现在 近畿大学理工学部教授

小川 英一

执笔:第11、12章

1974年 大阪大学研究生院工学研究科博士

课程结业

工学博士

日本电信电话公司就职

现在 摂南大学工学部教授

本书著作权和专有出版权受到《中华人民共和国著作权法》的保护。凡对本书的一部分或全部进行转载、或用复印机进行复制或在其他场合引用、以及录入电子设备等行为,均属侵害著作权,构成违法。

本书如需复制、引用、转载、改编时,必须得到版权所有者的许可。

如有任何疑问请与以下部门联系。联系时请尽量使用信函或传真形式。

科学出版社总编部

电话:010-64012994 传真:010-64019810

读者服务部:010-64017892 010-64000246

邮政编码:100717 地址:北京市东黄城根北街16号

<http://www.sciencep.com>

北京东方科龙图文有限公司

电话:010-82857401 010-82843276 传真:010-82842304

邮政编码:100029 地址:北京市朝阳区华严北里11号楼3层

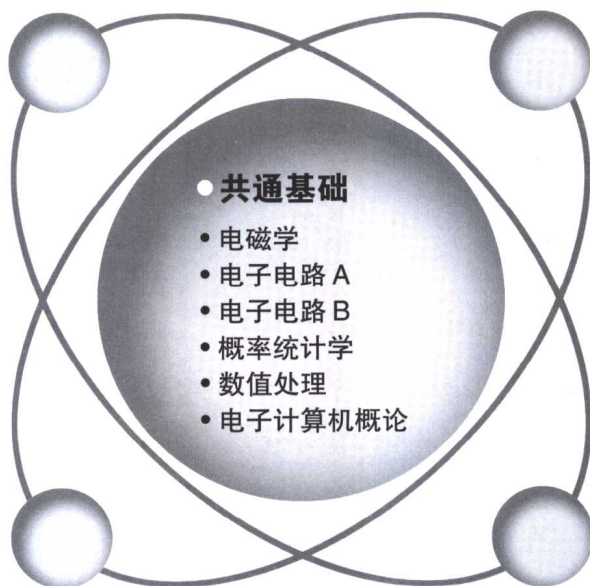
<http://www.okbook.com.cn>

● 通信、信息领域

- 通信工程学概论
- 信息通信工程
- 光通信与无线通信系统
- 信号处理
- 计算机构成
- 系统软件
- 编程语言
- 控制系统
- 计算机网络
- 数据库
- 计算机应用
- 人工智能

● 电子、材料领域

- 模拟电路
- 数字电路
- 电子电气材料
- 半导体器件
- 集成电路
- 电子功能材料
- 光电子学
- 光与电磁波
- 激光工程
- 电子与离子



● 系统、控制领域

- 传感工程
- 控制理论
- 数字控制
- 系统工程
- 机电一体化
- 机器人工程
- 人工接口
- 控制系统
- 计算机网络
- 计算机图形学
- 信息媒体工程

● 电力、能源领域

- 能源环境学
- 电力电子学
- 电气机器
- 电力系统工程
- 电力传输工程
- 超导电工程
- 电化学

目 录

第 1 章 电磁学的学习方法	1
1.1 电磁现象	1
1.2 电磁学的历史	2
1.3 电磁学的用途	4
1.4 本书的构成与学习方法	5
练习题	6
参考文献	7
 第 2 章 电荷与电场的关系	 9
2.1 从历史学“电”	9
2.2 电荷的意义与性质	13
2.3 库仑定律(静电的力的定律)	14
2.4 电 场	17
2.4.1 电场的定义	17
2.4.2 电场中的电荷	18
2.4.3 电场线	24
练习题	26
附录 库仑定律与简单的单位制	26
 第 3 章 用电势求电场的简单方法	 29
3.1 移动电荷所作的“功”	29
3.1.1 移动静电电荷所作的功	29
3.1.2 移动电荷所作的功与移动路径的 关系	34
3.2 电势的定义	36
3.3 等势面	40
3.3.1 等势面与电场线正交	40
3.3.2 不同电势的等势面不相交	41
3.4 电势梯度	42
3.4.1 电势的坐标轴表示法	42

3.4.2 电势在任意方向的变化率	45
3.5 电势梯度与电场的关系	48
练习题	51
第4章 高斯定理	53
4.1 穿入与穿出封闭曲面的电场线	53
4.1.1 穿越任意曲面的电场线(法线面积分)	53
4.1.2 曲面的面积与立体角	55
4.2 电场中的高斯定理	60
4.2.1 点电荷的高斯定理	60
4.2.2 分布电荷的高斯定理	61
4.3 高斯散度定理与 div 内容	67
练习题	69
第5章 导体周围空间的静电场	71
5.1 静电感应与带电导体	71
5.1.1 电场内的导体(静电感应)	72
5.1.2 带有电荷的导体(带电导体)	73
5.2 表示导体系统特性的系数	80
5.2.1 电势系数	81
5.2.2 电容系数、感应系数	84
5.3 导体系统的静电能量	88
5.4 静电电容与电容器	91
5.4.1 静电电容	91
5.4.2 电容器	95
5.5 导体空间的镜像法	99
练习题	106
第6章 电介质中的静电场	109
6.1 电介质极化与介电常量	109
6.1.1 电介质的极化模型(微观处理) ...	110
6.1.2 电通密度与电介质(宏观处理) ...	113
6.2 真电荷与电通密度	114
6.3 电介质内存储的静电能量	121

6.3.1 法拉第管	122
6.3.2 电介质内存储静电能量的体积 密度	123
6.4 电介质界面上的电场与电通密度	125
6.4.1 电场与电通密度的关系	125
6.4.2 电场线与电通密度指力线的折射	127
6.5 电介质空间中的镜像法	130
练习题	134

第 7 章 真空中的静电场

7.1 电流产生的磁场	137
7.1.1 电流磁效应的发现	137
7.1.2 安培的研究	137
7.1.3 毕奥-萨伐尔的实验	139
7.1.4 电流所产生的磁场 $\mathbf{B}$	140
7.1.5 弗莱明左手定则	141
7.1.6 电流之间电磁力的安培公式	142
7.2 电流产生的磁通密度 $\mathbf{B}$	143
7.2.1 毕奥-萨伐尔定律	143
7.2.2 线段电流产生的磁通密度 $\mathbf{B}$	144
7.2.3 圆环电流所产生的磁通密度 $\mathbf{B}$ (之一)	145
7.2.4 圆环电流所产生的磁通密度 $\mathbf{B}$ (之二)	147
7.2.5 磁偶极子	149
7.3 静磁场的基本定理(积分形)	151
7.3.1 磁场中的高斯定理——基本 定理 I	151
7.3.2 安培环路定律——基本定理 II	151
7.4 静磁场的基本定理(微分形)	155
7.4.1 静磁场的散度	155
7.4.2 静磁场的旋度	155
7.4.3 静磁场的基本方程式	159
7.4.4 静磁场的势	160
练习题	164

第 8 章 电场和磁场中的运动电荷	167
8.1 静磁场中带电粒子的运动	167
8.1.1 带电粒子受磁场作用的力	167
8.1.2 带电粒子的运动方式	168
8.2 布劳恩(Braun)管中电子束的磁场偏转 ...	170
8.3 布劳恩管中电子束的电场偏转	173
8.4 静电场和静磁场中带电粒子的运动	175
8.4.1 带电粒子的运动方程式	175
8.4.2 运动方程式的解法	175
练习题	179
第 9 章 磁介质与静磁场	181
9.1 磁介质	181
9.1.1 物质的磁性	181
9.1.2 磁化矢量	182
9.1.3 磁化矢量的等价电流	182
9.2 磁介质中的磁场	184
9.2.1 磁通密度 $\mathbf{B}$	184
9.2.2 磁场强度 $\mathbf{H}$	184
9.3 真空中的 $\mathbf{B}$ 与 $\mathbf{H}$	185
9.4 磁介质的分类	186
9.5 磁介质中静磁场的基本方程式	187
9.6 边界条件	188
9.6.1 磁通密度 $\mathbf{B}$ 的边界条件	188
9.6.2 磁场强度 $\mathbf{H}$ 的边界条件	189
9.7 均匀磁化的球状磁介质所产生的磁通 密度 $\mathbf{B}$ 与磁场强度 $\mathbf{H}$	191
9.7.1 基本方程式	192
9.7.2 拉普拉斯方程的解法	193
9.7.3 置放在均匀磁场 $\mathbf{H}_0$ 中的球状 磁介质	194
9.8 镜像电流解静磁场问题的方法	196
9.9 磁 路	200
练习题	202

第 10 章 电磁感应现象	203
10.1 电磁感应现象的定律	203
10.1.1 互感现象	203
10.1.2 弗莱明右手定则	205
10.1.3 自感现象	205
10.2 洛伦兹力与动生电动势	206
10.2.1 洛伦兹力产生的感生电动势 ...	206
10.2.2 法拉第的单极感应现象	207
10.2.3 电磁流体发电机的原理	208
10.3 准静磁的电磁场	208
10.3.1 随时间缓慢变化的电场、磁场 ...	208
10.3.2 准静磁电磁场基本定律的积分形式	209
10.4 准静磁的电磁场与电路	210
10.4.1 决定回路电流的基本方程式 ...	210
10.4.2 互感耦合线圈	214
10.4.3 关于互感 M 的符号	216
10.4.4 多重线圈所产生的感生电动势	217
10.5 自感与互感的计算	218
10.6 准静磁的电磁场与能量	221
10.6.1 稳定电流所具有的能量	221
10.6.2 电流回路之间所存储的能量 ...	223
10.6.3 静磁能量在磁场中的分布 ...	224
10.6.4 铁磁介质中存储的静磁能量 ...	227
10.7 导体与准静磁的电磁场	229
10.7.1 准静磁电磁场的基本方程式 ...	229
10.7.2 导体内的准静磁的电磁场 ...	229
10.7.3 涡流(1)	230
10.7.4 涡流(2)	232
练习题	234

第 11 章 麦克斯韦方程	237
11.1 安培定律的扩展	237
11.1.1 电磁学基本定律	237
11.1.2 安培定律的不完全性	239
11.1.3 位移电流的引入	240
11.1.4 与电荷守恒定律的关系	241
11.2 麦克斯韦方程组	242
11.2.1 电磁场的基本方程式	242
11.2.2 电磁场的相互关系	243
11.3 电磁场的能量	245
11.3.1 能量守恒定律	245
11.3.2 坡印亭矢量	246
11.4 边界条件	247
11.4.1 关于电场的边界条件	249
11.4.2 关于磁场的边界条件	250
11.4.3 各种介质的边界条件	251
11.5 交流电磁场	252
11.5.1 电磁场的费塞表示	252
11.5.2 有损耗的介质	254
练习题	254
 第 12 章 电磁波的特性	 257
12.1 麦克斯韦方程组的解	257
12.1.1 电场与磁场的关系	257
12.1.2 波动方程式与电磁波	259
12.1.3 电磁波的运载能量	261
12.2 平面波的特性	262
12.2.1 基本的特征	262
12.2.2 正弦变化的电磁波	264
12.3 交界面上的反射与透射	268
12.3.1 电介质边界的反射和透射 系数	268
12.3.2 驻波与行波	270

12.4 与分布参数线路的对应关系	274
12.4.1 电压波的线路方程式	274
12.4.2 电流波的线路方程式	275
12.4.3 与平面电磁波的对应关系	276
12.5 电磁波的辐射	278
12.5.1 电磁波的波源	278
12.5.2 来自天线的辐射	278
12.5.3 球面波的性质	280
练习题	281
附录一 矢量分析公式	283
附录二 基本常量和电磁学中的单位	287
练习题简答	289

编外话

库仑定律	14
两个矢量的标积(点积)	33
普通角与立体角	56
立体角的符号	58
点电荷与电荷密度	62
接地(earth)	78
关于单位的构成	140
矢 积	141
式(7.90b)的推导	160
正电子的发现	171
布劳恩管	172
一阶线性常微分方程的一种解法	213
阿拉戈圆板	233
高斯定理的局限性	245
传导电流的坡印亭矢量	248
电磁波在金属中的穿透(表面厚度)	267
反射、折射定律	272

第 1 章 电磁学的学习方法

电磁学是研究电磁现象的学科,是电气类专业的科技人员必须学习的科目。但另一方面,由于受到“电磁学复杂,最难学”等成见的影响,又是大家望而生畏的科目。

这一章是作为全书的导引,介绍有助于学习电磁学的相关知识。

1.1 电磁现象

电磁现象,从狭义来说,是电与磁相互作用的表现。但从广义来说,是电的现象、磁的现象及其相互作用的综合表现。这里我们用电磁现象这一名词,是指后者的含义。

作为常见的电磁现象,以往常常举出摩擦生电或由于磁铁产生的磁性。但对于身居现代社会的人类,对以上所说的常见现象,更是司空见惯。此外,不论是迅速普及的移动电话、吸尘器、空调器、电视机等家用电器产品,还是个人计算机等办公设备、工厂中的生产装备等等,都很容易体会到其中所发生的人为电磁现象。另外,大到输配电系统,小到半导体器件,各种规模的装置中,都存在着电磁现象。

再者,初看好像与电、磁现象不相关的光,其实也是一种电磁波,把它作为与电波同样的电磁现象之一来研究,更是饶有趣味的事情。特别是由激光所形成的“美丽的”光波,使得作为电磁现象的光更是引人注目。

就这样,以人们可以极为广泛地经常体验的电磁现象为基础的电磁学领域,不仅涉及到电工学、电子学、通信工程等电气专业学科,而且还是光电子学等新学科领域学者们重要的学习科目之一。