

信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列

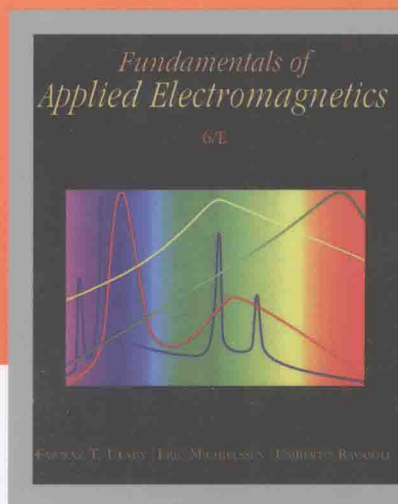
PEARSON

Fundamentals of Applied Electromagnetics
(Sixth Edition)

应用电磁学基础 (第6版)

Fawwaz T. Ulaby
Eric Michielssen
Umberto Ravaioli 著

邵小桃 等译



清华大学出版社



信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列

PEARSON

Fundamentals of Applied Electromagnetics
(Sixth Edition)

应用电磁学基础 (第6版)

Fawwaz T. Ulaby
Eric Michielssen
Umberto Ravaioli 著

邵小桃 郭勇 崔勇 李一玫 译

清华大学出版社
北京

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2013-9340

Authorized translation from the English language edition, entitled FUNDAMENTALS OF APPLIED ELECTROMAGNETICS, 6th edition, 9780132139311, by FAWWAZ T. ULABY, ERIC MICHIELSSEN, UMBERTO RAVAIOLI, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, copyright © 2010.

All Rights Reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS Copyright © 2016.

本书中文简体翻译版由培生教育出版集团授权给清华大学出版社出版发行。未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

应用电磁学基础:第6版/(美)乌拉比(Ulaby, F. T.)等著;邵小桃等译. —北京:清华大学出版社,2016

书名原文: Fundamentals of Applied Electromagnetics, Sixth Edition

(信息技术和电气工程学科国际知名教材中译本系列)

ISBN 978-7-302-38872-2

I. ①应… II. ①乌… ②邵… III. ①电磁学—教材 IV. ①O441

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 004715 号

责任编辑:曾珊 薛阳

封面设计:常雪影

责任校对:梁毅

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印装者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:33.5

字 数:834千字

版 次:2016年1月第1版

印 次:2016年1月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:89.00元

产品编号:056490-01

基本物理常数

常数	符号	取值
真空中的光速	c	$2.998 \times 10^8 \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
重力常数	G	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$
玻尔兹曼常数	K	$1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
基本电荷	e	$1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
自由空间介电常数	ϵ_0	$8.85 \times 10^{-12} \approx \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ F/m}$
自由空间磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
电子质量	m_e	$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
质子质量	m_p	$1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
普朗克常数	h	$6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
自由空间本征阻抗	η_0	$376.7 \approx 120\pi \Omega$

麦克斯韦方程组

高斯定律	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v$
法拉第定律	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
磁场高斯定律	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
安培环路定律	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$

表示倍数和约数的词头

词 头	符 号	数量级	词 头	符 号	数量级
艾(exa)	E	10^{18}	毫(milli)	m	10^{-3}
拍(peta)	P	10^{15}	微(micro)	μ	10^{-6}
太(tera)	T	10^{12}	纳(nano)	n	10^{-9}
吉(giga)	G	10^9	皮(pico)	p	10^{-12}
兆(mega)	M	10^6	飞(femto)	f	10^{-15}
千(kilo)	k	10^3	阿(atto)	a	10^{-18}

有用的矢量恒等式

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = AB \cos \theta_{AB} \quad \text{标量积(或点积)}$$

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \hat{n} AB \sin \theta_{AB} \quad \text{矢量积(或叉积), 其中 } \hat{n} \text{ 垂直于包含 } \mathbf{A} \text{ 和 } \mathbf{B} \text{ 的平面}$$

$$\mathbf{A} \cdot (\mathbf{B} \times \mathbf{C}) = \mathbf{B} \cdot (\mathbf{C} \times \mathbf{A}) = \mathbf{C} \cdot (\mathbf{A} \times \mathbf{B})$$

$$\mathbf{A} \times (\mathbf{B} \times \mathbf{C}) = \mathbf{B}(\mathbf{A} \cdot \mathbf{C}) - \mathbf{C}(\mathbf{A} \cdot \mathbf{B})$$

$$\nabla(U + V) = \nabla U + \nabla V$$

$$\nabla(UV) = U \nabla V + V \nabla U$$

$$\nabla \cdot (\mathbf{A} + \mathbf{B}) = \nabla \cdot \mathbf{A} + \nabla \cdot \mathbf{B}$$

$$\nabla \cdot (U\mathbf{A}) = U \nabla \cdot \mathbf{A} + \mathbf{A} \cdot \nabla U$$

$$\nabla \times (U\mathbf{A}) = U \nabla \times \mathbf{A} + \nabla U \times \mathbf{A}$$

$$\nabla \times (\mathbf{A} + \mathbf{B}) = \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

$$\nabla \cdot (\mathbf{A} \times \mathbf{B}) = \mathbf{B} \cdot (\nabla \times \mathbf{A}) - \mathbf{A} \cdot (\nabla \times \mathbf{B})$$

$$\nabla \cdot (\nabla \times \mathbf{A}) = 0$$

$$\nabla \times \nabla V = 0$$

$$\nabla \cdot \nabla V = \nabla^2 V$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A}$$

$$\int_V (\nabla \cdot \mathbf{A}) dv = \oint_S \mathbf{A} \cdot d\mathbf{s} \quad \text{散度定理}(S \text{ 包围 } v)$$

$$\int_S (\nabla \times \mathbf{A}) \cdot d\mathbf{s} = \oint_C \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} \quad \text{斯托克斯定理}(S \text{ 由 } C \text{ 界定})$$

在本书的草稿阶段,我曾要求每位学生就他/她对电磁学在科学、技术和社会中作用的理解做出简短的论述。这里,我选择了 Schaldenbrand 先生的观点,内容如下:

“电磁学的贡献不止于科学。由于先进的通信,我们对其他国家和民族的理解呈指数增长。这种理解已经引领并将继续引领各国政府为世界和平而共同努力。我们对不同文化的认识越多,就越能够接受这些文化。全球化的亲密关系终将形成,与之而来的是和谐共处。理解是第一步,而通信是手段。电磁学掌握着通信的钥匙,因此,电磁学不仅对科学发展而言是重要的学科,对人类社会的进步也是如此。”

Mike Schaldenbrand, 1994

密歇根大学

第 6 版前言

第 6 版的《应用电磁学基础》延续了之前版本的核心内容和写作风格,同时引入了新的设计,以帮助学生获得对电磁学概念和应用的更深入的理解。其中最突出的是一组 42 个 CD 仿真模块,允许用户以交互方式分析和设计传输线电路;生成由电荷和电流产生的电场和磁场的空间分布图案;将空间函数的散度、梯度和旋度操作在二维和三维空间可视化;观察无耗和有耗媒质中传播的平面波时间和空间波形;计算和显示矩形波导中场的分布;生成线形天线和抛物面天线的辐射模式。这些是很有价值的学习工具:我们鼓励学生使用这些工具,而且希望教师将其加入讲义材料和作业中去。

不仅如此,新版图书采用全彩打印,图表和插图可以更好地传达核心概念;新版图书还扩展了科技摘要的主题范围,从而在电磁学基础及其工程和科学应用之间建立起更加广泛的联系。

归纳起来,本版的新增内容包括:

- 42 个 CD 交互仿真模块;
- 新增的/更新的科技摘要;
- 全彩的图表和插图;
- 新增的/更新的章末习题;
- 更新的参考文献。

作为作者,在此书的出版过程中,我有幸与最出色的专业团队为伍: Richard Carnes、Leland Pierce、Janice Richards、Rose Kernan 和 Paul Mailhot。非常感谢他们的大力支持和辛勤付出。

我们在完成本书的工作过程中感到非常愉快,希望你们在学习的过程中同样愉快。

Fawwaz T. Ulaby

Eric Michielssen

Umberto Ravaioli

第 5 版前言节录

内容

本书的第一部分是三年级电子工程专业学生已经掌握的专业内容,目的是为本书讨论的电磁学知识做好铺垫。注册电磁学课程之前,学生通常已经选修过一门或多门电路课程,所以对电路分析、欧姆定律、基尔霍夫电流和电压定律以及相关的知识非常熟悉。传输线是电路和电磁学之间的天然桥梁。不需要处理矢量或场,学生们就可以利用已熟悉的概念去学习波动、能量的反射和传输、相量、阻抗匹配和导行结构中波的传播的众多性质。而所有这些新学习的概念对后面的学习非常重要(在第 7~第 9 章),也会促进有关平面波在自由空间和媒质传播的学习。传输线的内容在第 2 章,在第 1 章会复习复数和相量分析。

本书的第二部分包含第 3~第 5 章,包括矢量分析、静电学和静磁学。静电学这一章由时变的麦克斯韦方程组开始,然后将其特例化为静电学和静磁学,学生由此获得一个整体的框架,从而了解为什么静电学和静磁学是更一般的时变场的特例。

第 6 章处理时变场,并为第 7~第 9 章做准备。第 7 章包括平面波在电介质和导电媒质中的传播;第 8 章包括在媒质分界面上的反射和透射,并且介绍光纤、波导和谐振腔。

第 9 章介绍导线中的电流辐射原理,如偶极天线,也包括孔径的辐射,例如喇叭天线或光源照射的不透明屏幕上的一个缝隙。

为了让学生体会电磁学在当今技术社会中的广泛应用,第 10 章概述了两个系统的实例:卫星通信和雷达传感。

本书的材料适用于 2 个学期 6 学分的教学,但也可以将其缩减为 1 个学期 4 学分的教学。下面的表提供了两种选择的大纲建议。

建议的教学大纲

章	两个学期的大纲 6 个学分(每学期 42 个学时)		一个学期的大纲 4 个学分(56 个学时)	
	节	学时	节	学时
1 导论:波和相量	全部	4	全部	4
2 传输线	全部	12	2-1~2-8 和 2-11	8
3 矢量分析	全部	8	全部	8
4 静电学	全部	8	4-1~4-10	6
5 静磁学	全部	7	5-1~5-5 和 5-7~5-8	5
考试		3		2
	第一学期总学时	42		
6 时变场的麦克斯韦方程组	全部	6	6-1~6-3 和 6-6	3
7 平面波的传播	全部	7	7-1~7-4 和 7-6	6

续表

	两个学期的大纲 6个学分(每学期42个学时)		一个学期的大纲 4个学分(56个学时)	
8 波的反射与透射	全部	9	8-1~8-3 和 8-6	7
9 辐射与天线	全部	10	9-1~9-6	6
10 卫星通信 系统及雷达传感器 考试	全部	5	无	—
		3		1
	第二学期总学时	40	总学时	56
剩余的学时		2		0

致学生

本书附带的交互式光盘专为你而开发,请结合教材使用光盘。学生可以借助电子显示的多窗口特性设计交互式模块,帮助按钮可以引导学生解决问题。视频动画演示了场和波在时间和空间的传播行为,天线阵列的波束如何实现扫描,以及时变的磁场在电路中感应出电流的过程。光盘是很有用的自学资源,记得用它!

致谢

真诚感谢 Roger DeRoo、Richard Carnes 和 Jim Ryan。非常感谢 Roger DeRoo 对多版的草稿仔细审阅。Richard Carnes 无疑是我合作过的最出色的打字员;他精通 LATEX,且注重细节,使本书的排版清晰流畅。Jim Ryan 的美工工作非常出色,他将我的粗糙草图熟练地转化成专业并且美观的绘图。我也要感谢几位研究生,他们阅读了草稿的部分或全部章节,或帮助我提供答案,他们是: Bryan Hauck, Yanni Kouskoulas, Paul Siqueira。

特别致谢审稿人,他们给出了宝贵的意见和建议,包括:亚利桑那州立大学的 Constantine Balanis、阿拉巴马大学的 Harold Mott、马萨诸塞大学的 David Pozar、布拉德利大学的 S. N. Prasad of Bradley University、新墨西哥理工学院的 Robert Bond、科罗拉多大学科罗拉多泉分校的 Mark Robinson 和伊利诺伊大学的 Raj Mittra。我非常感激 Prentice Hall 员工付出的努力,非常感谢他们对本项目的精心呵护,使得本书得以顺利、及时地出版。我也要感谢 Mr. Ralph Pescatore 对草稿的编辑工作。

Fawwaz T. Ulaby

译者序

本书是根据美国密歇根大学教授 Fawwaz Ulaby 主编的 *Fundamentals of Applied Electromagnetics*, 6E 翻译而成的。

Fawwaz Ulaby 是密歇根大学电子工程和计算机科学学院的 Arthur Thurnau 教授、美国工程院院士和 IEEE Thomas Edison 奖章获得者。Ulaby 教授有四十余年丰富的教学经验, 本书是他的经典著作, 于 1997 年出版第 1 版。本书已经被美国几十所大学的电气工程系作为教材。

全书共 10 章。适用于两个学期 6 学分的教学, 或者 1 个学期 4 学分的教学。第 1 章导论, 回顾了复数和相量分析; 第 2 章介绍了电路和电磁学之间的天然桥梁——传输线的内容; 第 3 章矢量分析是本书的数学基础; 第 4 章由时变场的麦克斯韦方程组出发, 将静电学和静磁学作为特例, 分别在第 4、第 5 章进行了讨论; 第 6 章介绍了时变场的理论基础, 并为第 7~第 9 章的学习做好准备; 第 7、第 8 章分别分析了平面波在电介质和导电媒质中的传播, 以及平面波在不同媒质分界面上的反射和透射特性, 并且介绍了光纤、波导和谐振腔的传输特性; 第 9 章论述了导线中电流辐射的原理, 如偶极子天线以及孔径天线的辐射等; 第 10 章概述了卫星通信和雷达传感两个系统实例, 让学生领略电磁学的具体应用。

本书第 6 版延续了之前版本的核心内容和写作风格, 并引入了新的设计, 本版的新增内容包括:

(1) 42 个 CD 交互仿真模块。允许学生以交互方式分析和设计传输线电路; 生成由电荷和电流产生的电场和磁场的空间分布图案; 将空间函数的散度、梯度和旋度展现在可视化的二维和三维空间; 观察在无耗和有耗媒质中传播的平面波的时间和空间波形; 计算和显示矩形波导中场的分布; 生成线形天线和抛物面天线的辐射模式等。

(2) 新增或更新的科技摘要。17 个精心挑选的科技摘要涉及 LED 照明、太阳能电池、微波炉、电磁除癌器、X 射线计算机断层扫描、超级电容器电池、电阻传感器、电容传感器、激光、条形码阅读器等前沿内容。

(3) 书中插图和图表色彩丰富、完整精美, 更好地传达了核心概念及内容。

(4) 增加或更新了各个章节的习题, 以加强学生对电磁场理论及应用的理解和掌握。

(5) 更新了有关的参考文献。

“应用电磁学基础”是电气电子、信息以及计算机工程专业最重要的基础课程之一。本书内容简洁明晰, 对概念原理的论述非常清楚, 分析深入浅出, CD 交互仿真模块的可操作性强, 科技摘要新颖前沿。本书可作为高等院校电气电子、通信、计算机和相关专业本科生的专业基础教材, 也可作为电气电子、通信领域有关学科教师、工程技术人员的重要参考书。

本书第 3、第 6、第 10 章, 附录 A、B、C, 索引由邵小桃翻译; 前言, 第 1、第 5、第 7 章由郭

勇翻译；第2、第8、第9章由崔勇翻译；第4章由李一玫翻译。邵小桃负责全书内容的审校和统稿。在此要特别感谢清华大学出版社对本书进行编辑、校对以及排版的人员，本书能够顺利出版，离不开各位的辛勤工作和大力支持。

由于译者水平有限，书中难免会出现不妥和疏漏，敬请各位读者和专家指正。

译者

2014年4月

科技摘要列表

- 科技摘要 1 LED 照明
- 科技摘要 2 太阳能电池
- 科技摘要 3 微波炉
- 科技摘要 4 电磁除癌器
- 科技摘要 5 全球定位系统
- 科技摘要 6 X 射线计算机断层扫描
- 科技摘要 7 电阻传感器
- 科技摘要 8 超级电容器电池
- 科技摘要 9 电容传感器
- 科技摘要 10 电磁铁
- 科技摘要 11 感应传感器
- 科技摘要 12 EMF 传感器
- 科技摘要 13 RFID 系统
- 科技摘要 14 液晶显示器(LCD)
- 科技摘要 15 激光
- 科技摘要 16 条形码阅读器
- 科技摘要 17 电磁场对健康的危害

照片来源

<p>原书 2 页(图 1-1): Fawwaz Ulaby 原书 4 页(图 1-2): 左侧由上至下: 美国国家射电天文观测台; 飞利浦公司; 美国海军; HW 集团 中间由上至下: 美国国家航空航天局; 美国国家航空航天局; Molina International; F. Ulaby 右侧由上至下: ABB 公司; IEEE Spectrum 杂志; Scifacts-4U</p> <p>原书 28 页(图 1-17): 美国商务部 原书 61 页(图 2-10): 加州大学圣地亚哥分校 Gabriel Rebeiz 教授 原书 433 页(图 9-25): 美国空军 原书 30 页(图 TF1-1): 由左至右: Freefoto.com; 海商网; 飞利浦公司 原书 31 页(图 TF1-3): 美国国家科学研究委员会友情提供 原书 79 页(图 TF3-2(b)): J. Gallawa 友情提供 原书 117 页(图 TF4-1): Scifacts-4U 友情提供 原书 117 页(TF4-2): 北美放射学会友情提供 原书 118 页(图 TF4-3): Bryan Christie 设计和 IEEE Spectrum 杂志友情提供</p>	<p>原书 118 页(TF4-4): Karl Schoenbach 和 IEEE Spectrum 杂志友情提供 原书 144 页(图 TF5-1): F. Ulaby 原书 144 页(图 TF5-2): 美国国家航空航天局 原书 159 页(图 TF6-1): 通用电气友情提供 原书 160 页(图 TF6-2): 通用电气友情提供 原书 198 页(图 TF7 -1): 奔驰汽车公司友情提供 原书 214 页(图 TF8-1): Ultracapacitor.org 友情提供 原书 215 页(图 TF8-2): 左侧由上至下: 国际铁路公报友情提供; 宝马汽车公司 右侧由上至下: 美国国家航空航天局; 应用创新技术 原书 224 页(图 TF9-6): Bryan Christie 设计和 IEEE Spectrum 杂志友情提供 原书 224 页(图 TF9-7): M. Tartagni 友情提供 原书 253 页(图 TF10-5): Shanghai.com 原书 322 页(图 TF13-2): 德州仪器友情提供 原书 364 页(图 TF15-1): 左上: endgadget; 左下: Myvisiontest; 中间: 美国空军; 右侧: CDR info</p>
--	--

目 录

第 1 章 导论：波与相量	1
概论	1
1.1 电磁学历史时间线	2
1.1.1 经典时期电磁学	2
1.1.2 现代电磁学	3
1.2 量纲、单位和符号	4
1.3 电磁学的本质	12
1.3.1 引力场：有益的类比	12
1.3.2 电场	13
1.3.3 磁场	15
1.3.4 静态场和动态场	16
1.4 行波	18
1.4.1 无耗媒质中的正弦波	19
1.4.2 有耗媒质中的正弦波	23
1.5 电磁频谱	26
1.6 复数回顾	28
科技摘要 1 LED 照明	30
1.7 相量回顾	34
1.7.1 求解步骤	34
1.7.2 行波的相量表示	37
科技摘要 2 太阳能电池	38
第 2 章 传输线	46
2.1 概论	46
2.1.1 波长的作用	47
2.1.2 传播模式	49
2.2 集中参数模型	50
2.3 传输线方程	53
2.4 波在传输线上的传播	55
2.5 无耗微带线	59
2.6 无耗传输线：总则	63

2.6.1	电压反射系数	64
2.6.2	驻波	67
2.7	无耗传输线的波阻抗	73
科技摘要 3	微波炉	76
2.8	无耗传输线的特殊情况	78
2.8.1	短路线	78
2.8.2	开路线	81
2.8.3	短路/开路技术的应用	81
2.8.4	长度为 $n\lambda/2$ 的传输线	83
2.8.5	$1/4$ 波长变换器	83
2.8.6	匹配传输线 $Z_L = Z_0$	83
2.9	无耗传输线上的功率流	85
2.9.1	瞬时功率	85
2.9.2	时间平均功率	86
2.10	史密斯圆图	87
2.10.1	参数方程	88
2.10.2	波阻抗	90
2.10.3	SWR, 电压最大值和最小值	93
2.10.4	阻抗到导纳的变换	94
2.11	阻抗匹配	99
2.11.1	集总元件匹配	100
2.11.2	单支节匹配	105
2.12	传输线上的瞬态	108
2.12.1	瞬态响应	109
2.12.2	弹射图	112
科技摘要 4	电磁除癌器	115
第 3 章	矢量分析	131
	概论	131
3.1	矢量代数的基本法则	132
3.1.1	两个矢量相等	133
3.1.2	矢量的加法和减法	133
3.1.3	位置矢量与距离矢量	134
3.1.4	矢量乘法	134
3.1.5	标量和矢量的三重积	138
3.2	正交坐标系	139
3.2.1	直角坐标系	139

3.2.2	圆柱坐标系	141
3.2.3	球坐标	144
科技摘要 5	全球定位系统	145
3.3	坐标系间的变换	148
3.3.1	直角坐标到圆柱坐标间的变换	148
3.3.2	直角坐标到球坐标的变换	151
3.3.3	圆柱坐标到球坐标的变换	152
3.3.4	两点间的距离	152
3.4	标量场的梯度	153
3.4.1	圆柱坐标系和球坐标系中的梯度	155
3.4.2	梯度运算的性质	155
3.5	矢量场的散度	158
科技摘要 6	X 射线计算机断层扫描	161
3.6	矢量场的旋度	164
3.6.1	旋度的矢量恒等式	166
3.6.2	斯托克斯定理	166
3.7	拉普拉斯算子	168
第 4 章	静电学	179
4.1	麦克斯韦方程组	179
4.2	电荷和电流分布	181
4.2.1	电荷密度	181
4.2.2	电流密度	182
4.3	库仑定律	183
4.3.1	多个点电荷的电场	184
4.3.2	分布电荷的电场	185
4.4	高斯定律	188
4.5	标量电位	190
4.5.1	用电场表示的电位	190
4.5.2	点电荷的电位	192
4.5.3	连续电荷分布的电位	192
4.5.4	用电位表示的电场	192
4.5.5	泊松方程	194
4.6	导体	195
4.6.1	漂移速度	197
4.6.2	电阻	198
4.6.3	焦耳定律	200

科技摘要 7 电阻传感器	200
4.7 电介质	202
4.7.1 极化电场	203
4.7.2 介质的击穿	204
4.8 电场的边界条件	205
4.8.1 介质-导体边界	208
4.8.2 导体-导体边界	209
4.9 电容	211
4.10 静电势能	214
科技摘要 8 超级电容器电池	215
4.11 镜像法	218
科技摘要 9 电容传感器	220
第 5 章 静磁学	235
概论	235
5.1 磁场力和磁力矩	236
5.1.1 作用于载流导体的磁场力	238
5.1.2 载流回路的磁力矩	241
5.2 比奥-萨伐定律	244
5.2.1 面电流和体电流分布产生的磁场	245
5.2.2 磁偶极子的磁场	248
5.2.3 平行导体间的磁场力	249
5.3 麦克斯韦静磁场方程	250
5.3.1 磁场的高斯定律	250
5.3.2 安培定律	251
科技摘要 10 电磁铁	255
5.4 矢量磁位	257
5.5 材料的磁特性	259
5.5.1 电子轨道磁矩和自旋磁矩	259
5.5.2 磁导率	260
5.5.3 铁磁材料的磁滞现象	261
5.6 磁场的边界条件	262
5.7 电感	264
5.7.1 螺线管内部的磁场	264
5.7.2 自感	265
5.7.3 互感	267
5.8 磁能	268