



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材
电子信息学科基础课程系列教材



电磁场与电磁波 (第2版)

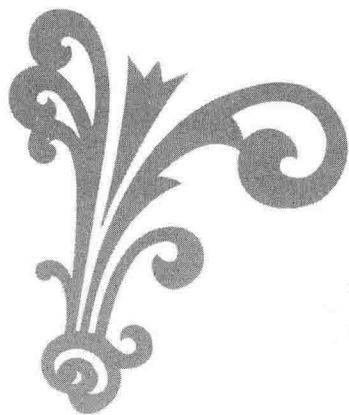
邹澎 周晓萍 马力 编著

清华大学出版社





普通高等教育“十一五”国家级规划教材



教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材
电子信息学科基础课程系列教材

电磁场与电磁波 (第2版)

邹澎 周晓萍 马九思 编著



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书介绍电磁场与电磁波的基本规律、基本概念和一些基本的分析、计算方法,帮助学生学会分析、解决一些实际的工程电磁场与电磁波问题。本书保持了电磁场与电磁波基础理论的系统性、完整性,对基本概念、基本方法力求讲深讲透。妥善处理好“电磁场与电磁波”与前期课程(“矢量分析”、“电磁学”)和后续课程(“微波技术”、“天线”等)的衔接,减少重复内容,突出本课程中的教学重点。依据认知的规律和作者二十多年的教学经验,在教学内容的编排,重点、难点讲解的方法上下了很大工夫,使教学内容深入浅出,有利于培养学生的自学能力。紧紧围绕基本概念、基本方法精选例题、习题。

在第2版中又增加了一些应用案例,介绍电磁场与电磁波理论的应用和电磁科学研究领域中新的进展,兼顾教学内容的基础性与先进性,注重培养学生的创新思维。

本书可以作为大学本科电子信息工程、通信工程等专业的教材,也可供从事电波传播、射频技术、微波技术、电磁兼容技术的科研和工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,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

电磁场与电磁波/邹彭,周晓萍,马力编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2016

电子信息学科基础课程系列教材

ISBN 978-7-302-41375-2

I. ①电… II. ①邹… ②周… ③马… III. ①电磁场—高等学校—教材 ②电磁波—高等学校—教材 IV. ①O441.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 209091 号

责任编辑:文 怡

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:刘海龙

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:三河市吉祥印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:25.75 字 数:591千字

版 次:2008年6月第1版 2016年2月第2版 印 次:2016年2月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.50元

产品编号:062153-01

《电子信息学科基础课程系列教材》
编 审 委 员 会

主任委员

王志功(东南大学)

委员 (按姓氏笔画)

马旭东(东南大学)	邓建国(西安交通大学)
王小海(浙江大学)	王诗宓(清华大学)
王 萍(天津大学)	王福昌(华中科技大学)
刘宗行(重庆大学)	刘润华(中国石油大学)
刘新元(北京大学)	张 石(东北大学)
张晓林(北京航空航天大学)	沈连丰(东南大学)
陈后金(北京交通大学)	郑宝玉(南京邮电大学)
郭宝龙(西安电子科技大学)	柯亨玉(武汉大学)
高上凯(清华大学)	高小榕(清华大学)
徐淑华(青岛大学)	袁建生(清华大学)
崔翔(华北电力大学)	傅丰林(西安电子科技大学)
董在望(清华大学)	曾孝平(重庆大学)
蒋宗礼(北京工业大学)	

《电子信息学科基础课程系列教材》 丛书序

电子信息学科是当今世界上发展最快的学科,作为众多应用技术的理论基础,对人类文明的发展起着重要的作用。它包含诸如电子科学与技术、电子信息工程、通信工程和微波工程等一系列子学科,同时涉及计算机、自动化和生物电子等众多相关学科。对于这样一个庞大的体系,想要在学校将所有知识教给学生已不可能。以专业教育为主要目的的大学教育,必须对自己的学科知识体系进行必要的梳理。本系列丛书就是试图搭建一个电子信息学科的基础知识体系平台。

目前,中国电子信息类学科高等教育的教学中存在着如下问题:

- (1) 在课程设置和教学实践中,学科分立,课程分立,缺乏集成和贯通;
- (2) 部分知识缺乏前沿性,局部知识过细、过难,缺乏整体性和纲领性;
- (3) 教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息学科人才不能很好地满足社会的需求。

在新世纪之初,积极总结我国电子信息类学科高等教育的经验,分析发展趋势,研究教学与实践模式,从而制定出一个完整的电子信息学科基础教程体系,是非常有意义的。

根据教育部高教司 2003 年 8 月 28 日发出的[2003]141 号文件,教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会(基础课分教指委)在 2004—2005 两年期间制定了“电路分析”、“信号与系统”、“电磁场”、“电子技术”和“电工学”5 个方向电子信息科学与电气信息类基础课程的教学基本要求。然而,这些教学要求基本上是按方向独立开展工作的,没有深入开展整个课程体系的研究,并且提出的是各课程最基本的教学要求,针对的是“2+X+Y”或者“211 工程”和“985 工程”之外的大学。

同一时期,清华大学出版社成立了“电子信息学科基础教程教研组”,历时 3 年,组织了各类教学研讨会,以各种方式和渠道对国内外一些大学的 EE(电子电气)专业的课程体系进行收集和研究,并在国内率先推出了关于电子信息学科基础课程的体系研究报告《电子信息学科基础教程 2004》。该成果得到教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会的高度评价,认为该成果“适应我国电子信息学科基础教学的需要,有较好的指导意义,达到了国内领先水平”,“对不同类型院校构建相关学科基础教学平台均有较好的参考价值”。

在此基础上,由我担任主编,筹建了“电子信息学科基础课程系列教材”编委会。编委会多次组织部分高校的教学名师、主讲教师和教育部高等学校教学指导委员会委员,进一步探讨和完善《电子信息学科基础教程 2004》研究成果,并组织编写了这套“电子信息学科基础课程系列教材”。

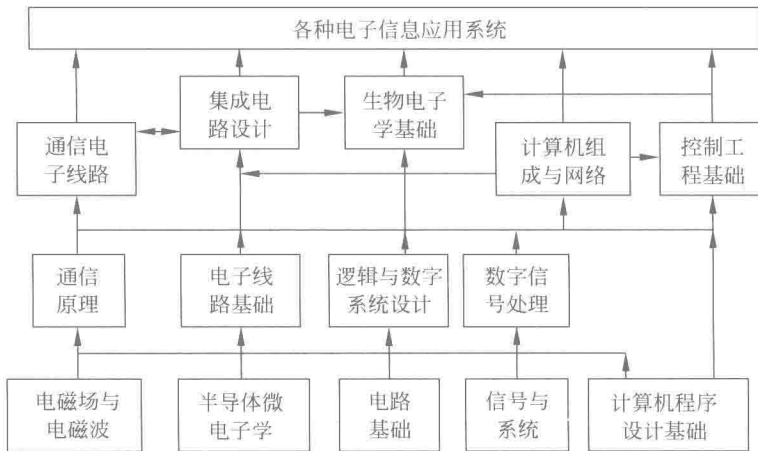
在教材的编写过程中,我们强调了“基础性、系统性、集成性、可行性”的编写原则,突出了以下特点:

- (1) 体现科学技术领域已经确立的新知识和新成果。
- (2) 学习国外先进教学经验,汇集国内最先进的教学成果。
- (3) 定位于国内重点院校,着重于理工结合。

(4) 建立在对教学计划和课程体系的研究基础之上,尽可能覆盖电子信息学科的全部基础。本丛书规划的 14 门课程,覆盖了电气信息类如下全部 7 个本科专业:

- 电子信息工程
- 通信工程
- 电子科学与技术
- 计算机科学与技术
- 自动化
- 电气工程与自动化
- 生物医学工程

(5) 课程体系整体设计,各课程知识点合理划分,前后衔接,避免各课程内容之间交叉重复,目标是使各门课程的知识点形成有机的整体,使学生能够在规定的课时数内,掌握必需的知识和技术。各课程之间的知识点关联如下图所示:



即力争将本科生的课程限定在有限的与精选的一套核心概念上,强调知识的广度。

(6) 以主教材为核心,配套出版习题解答、实验指导书、多媒体课件,提供全面的教学解决方案,实现多角度、多层面的人才培养模式。

(7) 由国内重点大学的精品课主讲教师、教学名师和教指委委员担任相关课程的设计和教材的编写,力争反映国内最先进的教改成果。

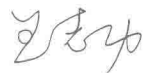
我国高等学校电子信息类专业的办学背景各不相同,教学和科研水平相差较大。本系列教材广泛听取了各方面的意见,汲取了国内优秀的教学成果,希望能为电子信息学科教学提供一份精心配备的搭配科学、营养全面的“套餐”,能为国内高等学校教学内容

和课程体系的改革发挥积极的作用。

然而,对于高等院校如何培养出既具有扎实的基本功,又富有挑战精神和创造意识的社会栋梁,以满足科学技术发展和国家建设发展的需要,还有许多值得思考和探索的问题。比如,如何为学生营造一个宽松的学习氛围?如何引导学生主动学习,超越自己?如何为学生打下宽厚的知识基础和培养某一领域的研究能力?如何增加工程方法训练,将扎实的基础和宽广的领域才能转化为工程实践中的创造力?如何激发学生深入探索的勇气?这些都需要我们教育工作者进行更深入的研究。

提高教学质量,深化教学改革,始终是高等学校的工作重点,需要所有关心我国高等教育事业人士的热心支持。在此,谨向所有参与本系列教材建设工作的同仁致以衷心的感谢!

本套教材可能会存在一些不当甚至谬误之处,欢迎广大的使用者提出批评和意见,以促进教材的进一步完善。



2008年1月

第2版前言

本书的第1版于2008年6月出版。七年以来,作者在“电磁场与电磁波”课程的教学实践中又有一些探索和尝试,也收到一些使用本书的教师和读者提出的宝贵意见和建议,在此基础上编写了本书的第2版。

本书第2版的更新主要包括:

(1) 补充了一些新的教学内容,例如:补充了运流电流,使电流的概念更加完整;补充了部分电感,在实际电路上分析接地系统的导体电感时非常有用;补充了时域有限差分法,可以解决时域中一些实际电磁场的边值问题;补充了单极天线,在电磁场的测量中用得很多。

(2) 在保证电磁场与电磁波理论比较完整的基础上,补充了一些电磁场与电磁波理论应用的案例,可以作为阅读材料使学生们了解电磁场与电磁波理论在一些前沿学科及生产、生活、科学研究、军事领域中的应用。

(3) 为了便于查阅,书后增加了专业词汇索引。

本书第2版的修订由邹澎、周晓平、马力、杨明珊、张长命完成。

作者

2015年10月

“电磁场与电磁波”是电子信息工程专业和通信工程专业的一门专业基础课,使学生掌握电磁场与电磁波的基本规律、基本概念和一些基本的分析、计算方法;学会分析、解决一些实际的工程电磁场与电磁波问题。本课程对培养学生的科学方法、创造能力和实际工作能力都起着十分重要的作用。本书是教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会组织编写的电子信息学科基础课程系列教材之一。

本书保持了电磁场与电磁波基础理论的系统性、完整性,对基本概念、基本方法力求讲深讲透。妥善处理好“电磁场与电磁波”课程与前期课程(矢量分析、电磁学)和后续课程(微波技术、天线等)的衔接,减少重复内容,突出本课程中的教学重点。依据认知的规律和作者二十多年的教学经验,在教学内容的编排,重点、难点讲解的方法上下了很大工夫,使教学内容深入浅出,有利于培养学生的自学能力。紧紧围绕基本概念、基本方法的教学精选例题、习题。增加了应用与发展性专题,适当介绍电磁场与电磁波的应用和电磁科学研究领域中新的进展。兼顾教学内容的基础性与先进性,注重培养学生的创新思想。

本书共8章。第2.1节和第3.1节简要地复习了大学物理电磁学中相关的主要内容,起到了衔接作用,也避免了过多地重复。电磁场数值计算方法在科学研究和工程技术中的应用越来越广泛,本书在第4.6节比较详细地介绍了有限差分法的原理和方法。目录中带*号的内容,例如第4.3.2节、第6.6节和第6.7.4节是深入探讨的内容,可以根据专业的需要和教学要求选讲。如果后续课程中开设微波技术,第7章可以不讲。如果后续课程中开设天线原理,第8章中带**号的内容可以不讲。

有些学生在学习电磁场与电磁波课程时常常提出一个问题:学习这门课程有什么用?本书除了在绪论中介绍了电磁场与电磁波在专业学习中的地位和作用以外,在各章节中也适当介绍电磁场与电磁波理论在工程技术中的应用。例如在第2.7.5节和第2.8节中介绍了静电场在工程技术中的应用;在第3.7节中介绍了磁场在工程技术中的应用;在第6章的各节中也适当介绍了电磁波技术在工程技术中的应用等。

本书第1~6章由邹澎编写,第7章和第8章由周晓萍和邹澎编写,刘黎刚和张长命编写了部分习题。

本书可以作为大学本科电子信息工程、通信工程等专业的教材,也可供从事电波传播、射频技术、微波技术、电磁兼容技术的科研和工程技术人员参考。读者若发现本书中有错误和不当之处,恳请指出或提出修正的意见,请发到以下邮箱: zzuzp@zzu.edu.cn。

作者

绪论	2
第 1 章 矢量分析	7
1.1 矢量运算	8
1.2 空间矢量	9
1.3 矢量场和标量场	10
1.4 三种常用的正交坐标系	10
1.4.1 直角坐标系	10
1.4.2 圆柱坐标系	11
1.4.3 球坐标系	13
1.5 矢量的微分	14
1.5.1 矢量场的散度,散度定理	14
1.5.2 矢量场的旋度,斯托克斯定理	18
1.5.3 标量场的梯度	22
1.6 亥姆霍兹定理	23
1.7 微分算符	25
第 1 章 习题	27
第 2 章 静电场分析	30
2.1 静电场的基本规律	31
2.1.1 电荷与电荷分布	31
2.1.2 场强 E 和电位 ϕ	32
2.1.3 静电场的基本方程	33
2.1.4 场强 E 和电位 ϕ 的计算	35
2.1.5 静电场中的导体	41
2.1.6 静电场中的电介质	41
2.1.7 电力线方程和等位面方程	45
2.2 静电场的边界条件	47
2.2.1 两种电介质界面上的边界条件	47
2.2.2 导体与电介质分界面上的边界条件	50
2.3 泊松方程和拉普拉斯方程	51
2.4 唯一性定理	53

目录

2.4.1	格林定理	53
2.4.2	静电场的边值问题	54
2.4.3	唯一性定理	54
2.5	导体系统的电容	58
2.5.1	两导体间的电容	58
2.5.2	部分电容	58
2.6	静电场的能量与力	60
2.6.1	静电场的能量	60
2.6.2	利用虚位移原理计算电场力	64
2.7	恒定电场(恒定电流场)	65
2.7.1	电流与电流密度	65
2.7.2	恒定电场的基本方程和边界条件	68
2.7.3	导电媒质中的传导电流	70
2.7.4	运流电流	74
2.7.5	导电媒质中恒定电场与静电场的比拟	75
2.7.6	接地	77
2.8	静电场的应用	79
2.8.1	电偏转和电聚焦	79
2.8.2	喷墨打印机	82
2.8.3	静电除尘	83
2.8.4	静电复印	84
2.8.5	静电屏蔽	85
2.8.6	静电的危害与防护	86
第2章	习题	88
第3章	恒定磁场	95
3.1	恒定磁场的基本规律	96
3.1.1	磁感应强度 B	96
3.1.2	恒定磁场的基本方程	96
3.1.3	磁介质的磁化	99
3.1.4	磁场的计算方法	101
3.1.5	磁路	106

3.2	恒定磁场的边界条件	108
3.2.1	两种磁介质界面上的边界条件	108
3.2.2	铁磁质表面的边界条件	109
3.3	矢量磁位	110
3.3.1	矢量磁位 A 的引入	110
3.3.2	矢量磁位 A 的微分方程及其解	110
3.3.3	矢量磁位 A 的边界条件	111
3.3.4	利用矢量磁位 A 计算磁场	112
3.3.5	磁偶极子及其磁场	115
3.4	标量磁位	116
3.5	电感	117
3.5.1	自感系数和互感系数	117
3.5.2	M 和 L 的计算	118
3.5.3	部分电感	123
3.6	磁场的能量和力	127
3.6.1	电流回路系统的能量	127
3.6.2	磁场的能量	129
3.6.3	磁场力	130
3.7	恒定磁场的应用	133
3.7.1	磁屏蔽	133
3.7.2	磁记录	134
3.7.3	回旋加速器	135
3.7.4	磁聚焦	136
3.7.5	等离子体的磁约束	138
第 3 章	习题	139
第 4 章 静态场边值问题的解法		144
4.1	电磁场边值问题概述	145
4.2	直角坐标系中的分离变量法	146
4.3	圆柱坐标系中的分离变量法	152
4.3.1	圆柱坐标系中二维场的分离变量法	152
4.3.2	圆柱坐标系中三维场的分离变量法*	158

目录

4.4	球坐标系中的分离变量法	162
4.5	镜像法	166
4.5.1	点电荷对无限大导体平面的镜像	166
4.5.2	点电荷对介质平面的镜像	168
4.5.3	电流对铁板平面的镜像	169
4.5.4	点电荷对导体球的镜像	170
4.5.5	电轴法	174
4.6	有限差分法	178
4.6.1	差分原理	178
4.6.2	有限差分法的基本方法	179
4.6.3	轴对称场的计算	184
4.6.4	场强 E 、 H 、 B 的计算	186
4.6.5	时域有限差分法简介	187
第4章	习题	192
第5章	时变电磁场	198
5.1	电磁感应定律	199
5.2	位移电流	202
5.3	麦克斯韦方程组	203
5.4	时变场的边界条件	204
5.5	坡印廷定理和坡印廷矢量	207
5.6	时变电磁场的矢量位和标量位	208
5.6.1	矢量位 A 和标量位 Φ 的引入	208
5.6.2	达朗贝尔方程	209
5.7	应用案例 电磁场在医学领域的应用	210
5.7.1	CT	210
5.7.2	磁共振成像	212
5.7.3	微波切除肿瘤	214
第5章	习题	215
第6章	平面电磁波	218
6.1	正弦电磁场的复数表示方法	219

6.2 平均坡印廷矢量	221
6.3 理想介质中的均匀平面波	223
6.3.1 电磁波传播的基本方程	223
6.3.2 均匀平面电磁波	224
6.4 波的极化特性	227
6.5 损耗媒质中的均匀平面波	230
6.6 电磁波在各向异性介质中的传播	235
6.6.1 等离子体中的均匀平面波	236
6.6.2 铁氧体中的均匀平面波	242
6.7 平面上的垂直入射	249
6.7.1 两种媒质分界面上的垂直入射	249
6.7.2 理想导体表面的反射、驻波	250
6.7.3 两种理想介质界面的反射、驻波比	254
6.8 平面上的斜入射	257
6.8.1 理想导体表面的斜入射	257
6.8.2 理想介质表面的斜入射	259
6.9 相速度与群速度	263
6.10 应用案例	264
6.10.1 电磁频谱	264
6.10.2 极化技术的应用(简介)	265
6.10.3 电磁波增透技术与隐身技术	267
第6章 习题	273
第7章 导行电磁波	279
7.1 传输线	280
7.1.1 传输线的分布参数及其等效电路	280
7.1.2 均匀传输线方程及其解	281
7.1.3 传输线上行波的特性参数	283
7.1.4 传输线的工作参数	285
7.1.5 无耗传输线工作状态分析	286
7.1.6 史密斯圆图	288
7.2 波导	292

目录

7.2.1	波导的一般分析方法	292
7.2.2	规则金属波导	296
7.2.3	同轴线	301
7.2.4	光波导简介	304
7.3	谐振腔	307
7.4	应用案例	309
7.4.1	短路、开路技术的应用	309
7.4.2	s 参数	311
第 7 章	习题	313
第 8 章	电磁波辐射	318
8.1	滞后位	319
8.2	电偶极子天线辐射	320
8.3	磁偶极子天线辐射	324
8.3.1	电与磁的对偶性	324
8.3.2	磁偶极子天线的辐射	325
8.4	天线的辐射特性和基本参数	326
8.5	接收天线	330
8.6	常用的线天线	331
8.7	天线阵**	336
8.7.1	二元直线阵与方向图乘积定理	336
8.7.2	均匀直线阵	338
8.8	面天线基础**	340
8.8.1	惠更斯元的辐射	340
8.8.2	平面口径的辐射	342
8.8.3	常用的面天线	344
8.9	应用案例	346
8.9.1	GPS 定位	346
8.9.2	雷达	347
8.9.3	电磁兼容技术简介	352
第 8 章	习题	355

附录 1 习题参考答案	358
附录 2 符号表	369
附录 3 常用的数学公式	371
附录 4 电磁单位制	374
附录 5 常用的物理常数	377
附录 6 常用材料的参数	378
附录 7 史密斯圆图	379
索引	380
参考文献	391