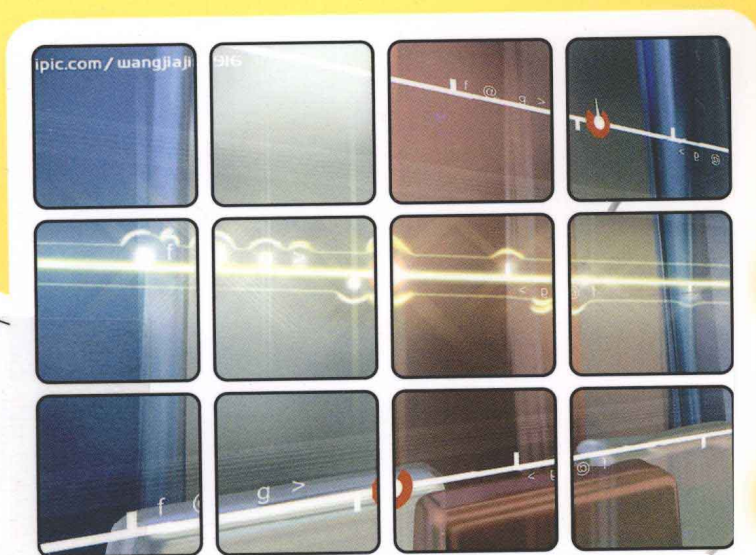


21世纪全国应用型本科 **电子通信系列** 实用规划教材

# 电磁场与电磁波

(第2版)

主 编 邬春明



- 简化数学推导，增加应用实例
- 重新编排习题，增加附录内容
- 调整编写体系，符合发展规律



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材

# 电磁场与电磁波(第 2 版)

主 编 邬春明  
副主编 贾雁飞 王青竹  
 蔡庆春 焦冬莉



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书从矢量分析与场论入手,系统介绍了电磁场的基本理论和应用,内容包括矢量分析与场论基础、电磁感应、时变电磁场、平面电磁波基础、平面电磁波的反射与透射、导行电磁波、电磁波的辐射、静态场分析与应用、静态场的解。每章都附有小结和习题,书后附有部分习题参考答案。

本修订版保留了第1版的编写体系,采用了先动态再将静态作为特例处理的编写方法,进一步加强了系统性、突出了应用性,使教材更符合时代特色。

本书可作为高等学校电子信息类专业本科教材,也可作为从事相关领域技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电磁场与电磁波/邬春明主编.—2版.—北京:北京大学出版社,2012.7

(21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-20508-2

I. ①电… II. ①邬… 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(2012)第066985号

书 名: 电磁场与电磁波(第2版)

著作责任者: 邬春明 主编

策划编辑: 程志强

责任编辑: 程志强

标准书号: ISBN 978-7-301-20508-2/TN·0086

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: [pup\\_6@sohu.com](mailto:pup_6@sohu.com) [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印刷者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 15.25印张 339千字

2008年8月第1版 2012年7月第2版 2012年7月第1次印刷

定 价: 30.00元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

## 专家编审委员会

主 任 殷瑞祥

顾 问 宋铁成

副主任 (按拼音顺序排名)

曹茂永 陈殿仁 李白萍 王霓虹

魏立峰 袁德成 周立求

委 员 (按拼音顺序排名)

曹继华 郭 勇 黄联芬 蒋学华 蒋 中

刘化君 聂 翔 王宝兴 吴舒辞 阎 毅

杨 雷 姚胜兴 张立毅 张雪英 张宗念

赵明富 周开利

# 丛书总序

随着招生规模迅速扩大，我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”，全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深化改革，以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化，自上个世纪 90 年代以来，全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校，很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是，作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化，相当长一段时间以来，应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系，出现了人才培养目标与教材体系的不协调，影响着应用型本科院校人才培养的质量，因此，认真研究应用型本科教育教学的特点，建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005 年 4 月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会，会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共 70 余人，研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系，并遴选了各教材的编写组成人员，落实制定教材编写大纲。

2005 年 8 月在北京召开了《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审纲会，广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生的知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见，对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改，在会上确定了 32 本教材的编写大纲，为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力，在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下，经过北大出版社编辑们的辛苦工作，我们这套系列教材终于在 2006 年与读者见面了。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程，同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业，知识和技术更新迅速，要求应用型本科院校在人才培养过程中，必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此，教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员，他们都具有多年从事应用型本科教学的经验，非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标，同时还熟悉工业企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才”培养”目标，具有以下特点：

(1) **强调大基础**：针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构，调整理顺了课程之间的关系，避免了内容的重复，将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统一的大平台上，有利于教学过程的实施。

(2) **突出应用性**：教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来、把



工业企业的实际应用情况反映到教材中，教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景的问题，避免空洞。

(3) **坚持科学发展观：**教材内容组织从可持续发展的观念出发，根据课程特点，力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) **教学资源齐全：**与纸质教材相配套，同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源，方便教师和学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者，没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践，要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台，为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生，不吝指正，随时给我们提出宝贵的意见，以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 4 月

## 第 2 版前言

本书第 1 版于 2008 年出版, 4 年来, 在各高等学校的教学中, 教师和学生在使用该教材后提出了宝贵的意见和建议。为适应应用型本科院校的教学需求, 编者在第 1 版的基础上对教材进行了修订, 修订过程中融入了编者长期使用该教材进行教学的体会。

与第 1 版相比, 本次修订在教学内容和体系结构上主要做了以下调整。

(1) 为适应应用型本科的特点, 并与我国电子信息产业发展相协调, 增加了与应用相关的实例(案例)、知识要点提醒等内容, 有助于学生理解, 增强就业后的应用能力。

(2) 保留第 1 版的编写体系, 采用了先动态再把静态作为特例处理的编写方法, 但在写法上做了较大调整, 更符合认知规律。

(3) 调整了部分内容的顺序, 将电容、电感及电场和磁场的能量内容编入第 8 章, 有助于在同一场环境下理解相关参数。

(4) 第 2 章中增加了相应的内容, 有助于学生对宏观电磁规律的认识和理解; 同时删除了第 6 章的传输线一节及部分章节中的个别内容, 还简化了部分繁杂的理论推导。

(5) 将书后习题进行重新编排和删补, 增加了填空、选择等题型, 使题型多样化。

(6) 附录中增加了电磁场中的量与单位表, 可供读者查阅。

本书大约需要 50~60 学时, 书中标注“\*”的内容可由教师根据具体情况取舍。

本书共分 9 章, 即矢量分析与场论基础、电磁感应、时变电磁场、平面电磁波基础、平面电磁波的反射与透射、导行电磁波、电磁波的辐射、静态场分析与应用、静态场的解。每章附有小结和习题, 书后附有部分习题答案。

本书由邬春明担任主编, 参加本书修订的有: 邬春明(第 1、2、8 章和附录部分)、贾雁飞(第 6、7 章)、王青竹(第 4、5 章)、蔡庆春(第 3 章)和焦冬莉(第 9 章), 全书由邬春明统稿。

本书的修订是在参加第 1 版编写的各位老师辛勤工作的基础上完成的, 所以要特别感谢王善进、张涛和刘华珠等几位老师的基础性工作。

本书可作为高等学校电子信息类各专业本科教材, 也可作为其他相关专业技术人员的参考书。

本书在修订过程中得到了北京大学出版社的热情帮助和支持, 在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限, 书中难免存在不妥和疏漏之处, 恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 4 月

# 第 1 版前言

电磁场与电磁波，这是一个我们仿佛很熟悉但其实又陌生的概念，然而关于它们的应用却渗透到了现实世界的方方面面，小到日常生活用品，大到航天航空技术，人们稍加留意都不难看到它们的身影。从 1785 年法国科学家库仑建立描述两点电荷作用力的库仑定律到 1873 年英国科学家麦克斯韦预言电磁波存在的麦克斯韦方程之创建，直到如今无线通信等相关产业的迅猛发展，可见研究电磁场与电磁波的基本特性及其规律，的确是一门具有悠久历史的学科。对于有志于将来从事电子工程事业的电子类大学生，学习、了解和掌握电磁场与电磁波的基本知识，不言而喻是一件十分必要的事情。

本书可作为普通高校工科电子类专业“电磁场与电磁波”课程的本科教学用书，主要介绍了电磁场与电磁波的基本概念及规律。在满足教学大纲的前提下，对内容的取舍和描述上突出了对基本概念和知识的介绍和阐述，尽量做到简洁明了、通俗易懂。在编书的过程中，我们采用了许多教学一线老师的意见，如鉴于目前很多院校拟开设射频电路的相关课程，因为传输线是射频电路设计的重要基础，虽然在“微波技术”课程中会有介绍，但事实上有些学校可能不会开设“微波技术”，所以在第 6 章“导行电磁波”中我们还是保留且较为详细地介绍了传输线的基本知识。由于电磁场与电磁波的教材中会出现大量的希腊字母，时常有教师和学生反映拼读上的小麻烦，所以我们把希腊字母的读音表附于书后，方便大家查阅。

鉴于目前很多院校都大力推行素质教育，各门专业课程的学时都有所压缩，本书的编写也考虑了这种情况。在保证教学大纲要求的前提下，对部分内容进行了简化处理，如在不影响对基本知识点的理解的前提下，略去了部分的数学推导过程。由于学生没有数学物理方法或数学物理方程的知识背景，所以在学习有关求解静态场问题的分离变量法及特殊函数等内容时势必会遇到许多困难，再加上课程数学处理上的相对繁杂性，根据我们的教学经验，这不但构成了课程教学上的难点，而且往往给学生以挫败感，使其对课程进一步学习的自信心丧失。所以我们在对波导分析等相关内容进行适当处理后，把以往前置的静态场问题分解为“静态场分析”和“静态场的解”两部分，将其置于课程的第 8、9 章进行。这样既不会对其他内容的学习造成障碍，同时又化解了它对后续内容学习产生的心理影响。另外考虑到实际的教学情况，我们对教材中的部分内容作了星号(\*)标识，建议根据各自的情况进行取舍。本课程大约需要 50~60 学时数，教师可根据专业特点进行调整。

本书的第 1 章是矢量分析与场论基础，矢量分析的知识对学好电磁场理论是十分重要的，矢量分析的相关内容理解和掌握电磁场与电磁波理论中的教学推导、方程和公式的关键点，它是我们在电磁场和电磁波神奇世界中遨游的工具，应给予足够的重视；第 2 章介绍电磁感应；第 3 章介绍时变电磁场；第 4 章介绍平面电磁波基础；第 5 章介绍均匀平面电磁波的反射与透射；第 6 章介绍导行电磁波；第 7 章介绍电磁波的辐射；第 8 章介绍静态场分析；第 9 章介绍静态场的解。附录给出了各章的部分习题答案、常用矢量公式和希腊字母读音表。教师在使用该教材时，建议适当介绍数理方程中特殊函数及分离变量法的内容，引导学生参阅相关的教材；鉴于本教材侧重于简明，难免在内容上失于全面翔





实，建议引导学有余力的学生查阅其他国内外优秀的电磁场与电磁波相关教材。

本书由王善进、张涛担任主编，参加本书编写工作的有：王善进(第6、7章)、张涛(第4、5章)、邬春明(第2、8章)、刘华珠(第1章及附录)、蔡庆春(第3章)和焦冬莉(第9章)，最后由王善进负责全书的统稿工作。

本书在编写过程中，得到了编者所在大学和北京大学出版社的热情帮助和支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者的学识水平有限，加之时间比较仓促，书中的疏漏之处在所难免，恳请使用本书的读者和同行老师批评指正。

编者

2008年5月



## 北京大学出版社本科计算机系列实用规划教材

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
1	7-301-10511-5	离散数学	段禅伦	28	42	7-301-14504-3	C++面向对象与 Visual C++ 程序设计案例教程	黄贤英	35
2	7-301-10457-X	线性代数	陈付贵	20	43	7-301-14506-7	Photoshop CS3 案例教程	李建芳	34
3	7-301-10510-X	概率论与数理统计	陈荣江	26	44	7-301-14510-4	C++ 程序设计基础案例教程	于永彦	33
4	7-301-10503-0	Visual Basic 程序设计	闵联营	22	45	7-301-14942-3	ASP .NET 网络应用案例教程 (C#.NET 版)	张登辉	33
5	7-301-10456-9	多媒体技术及其应用	张正兰	30	46	7-301-12377-5	计算机硬件技术基础	石 磊	26
6	7-301-10466-8	C++ 程序设计	刘天印	33	47	7-301-15208-9	计算机组成原理	娄国焕	24
7	7-301-10467-5	C++ 程序设计实验指导与习题解答	李 兰	20	48	7-301-15463-2	网页设计与制作案例教程	房爱莲	36
8	7-301-10505-4	Visual C++ 程序设计教程与上机指导	高志伟	25	49	7-301-04852-8	线性代数	姚喜妍	22
9	7-301-10462-0	XML 实用教程	丁跃潮	26	50	7-301-15461-8	计算机网络技术	陈代武	33
10	7-301-10463-7	计算机网络系统集成	斯桃枝	22	51	7-301-15697-1	计算机辅助设计二次开发案例教程	谢安俊	26
11	7-301-10465-1	单片机原理及应用教程	范立南	30	52	7-301-15740-4	Visual C# 程序开发案例教程	韩朝阳	30
12	7-5038-4421-3	ASP.NET 网络编程实用教程 (C# 版)	崔良海	31	53	7-301-16597-3	Visual C++ 程序设计实用案例教程	于永彦	32
13	7-5038-4427-2	C 语言程序设计	赵建锋	25	54	7-301-16850-9	Java 程序设计案例教程	胡巧多	32
14	7-5038-4420-5	Delphi 程序设计基础教程	张世明	37	55	7-301-16842-4	数据库原理与应用 (SQL Server 版)	毛一梅	36
15	7-5038-4417-5	SQL Server 数据库设计与 管理	姜 力	31	56	7-301-16910-0	计算机网络技术基础与应用	马秀峰	33
16	7-5038-4424-9	大学计算机基础	贾丽娟	34	57	7-301-15063-4	计算机网络基础与应用	刘远生	32
17	7-5038-4430-0	计算机科学与技术导论	王昆仑	30	58	7-301-15250-8	汇编语言程序设计	张光长	28
18	7-5038-4418-3	计算机网络应用实例教程	魏 峥	25	59	7-301-15064-1	网络安全技术	骆耀祖	30
19	7-5038-4415-9	面向对象程序设计	冷英男	28	60	7-301-15584-4	数据结构与算法	佟伟光	32
20	7-5038-4429-4	软件工程	赵春刚	22	61	7-301-17087-8	操作系统实用教程	范立南	36
21	7-5038-4431-0	数据结构 (C++ 版)	秦 锋	28	62	7-301-16631-4	Visual Basic 2008 程序设计教 程	隋晓红	34
22	7-5038-4423-2	微机应用基础	吕晓燕	33	63	7-301-17537-8	C 语言基础案例教程	汪新民	31
23	7-5038-4426-4	微型计算机原理与接口技术	刘彦文	26	64	7-301-17397-8	C++ 程序设计基础教程	郗亚辉	30
24	7-5038-4425-6	办公自动化教程	钱 俊	30	65	7-301-17578-1	图论算法理论、实现及应用	王桂平	54
25	7-5038-4419-1	Java 语言程序设计实用教程	董迎红	33	66	7-301-17964-2	PHP 动态网页设计与制作案 例教程	房爱莲	42
26	7-5038-4428-0	计算机图形技术	龚声蓉	28	67	7-301-18514-8	多媒体开发与编程	于永彦	35
27	7-301-11501-5	计算机软件技术基础	高 巍	25	68	7-301-18538-4	实用计算方法	徐亚平	24
28	7-301-11500-8	计算机组装与维护实用教程	崔明远	33	69	7-301-18539-1	Visual FoxPro 数据库设计案 例教程	谭红杨	35
29	7-301-12174-0	Visual FoxPro 实用教程	马秀峰	29	70	7-301-19313-6	Java 程序设计案例教程与实训	董迎红	45
30	7-301-11500-8	管理信息系统实用教程	杨月江	27	71	7-301-19389-1	Visual FoxPro 实用教程与上 机指导 (第 2 版)	马秀峰	40
31	7-301-11445-2	Photoshop CS 实用教程	张 瑾	28	72	7-301-19435-5	计算方法	尹景本	28
32	7-301-12378-2	ASP.NET 课程设计指导	潘志红	35	73	7-301-19388-4	Java 程序设计教程	张剑飞	35
33	7-301-12394-2	C#.NET 课程设计指导	龚自霞	32	74	7-301-19386-0	计算机图形技术 (第 2 版)	许承东	44
34	7-301-13259-3	Visual Basic .NET 课程设 计指导	潘志红	30	75	7-301-15689-6	Photoshop CS5 案例教程 (第 2 版)	李建芳	39
35	7-301-12371-3	网络工程实用教程	汪新民	34	76	7-301-18395-3	概率论与数理统计	姚喜妍	29
36	7-301-14132-8	J2EE 课程设计指导	王立丰	32	77	7-301-19980-0	3ds Max 2011 案例教程	李建芳	44
37	7-301-13585-3	计算机专业英语	张 勇	30	78	7-301-20052-0	数据结构与算法应用实践教程	李文书	36
38	7-301-13684-3	单片机原理及应用	王新颖	25	79	7-301-12375-1	汇编语言程序设计	张宝剑	36
39	7-301-14505-0	Visual C++ 程序设计案例教程	张荣梅	30	80	7-301-20523-5	Visual C++ 程序设计教程与上机 指导 (第 2 版)	牛江川	40
40	7-301-14259-2	多媒体技术应用案例教程	李 建	30	81	7-301-20630-0	C# 程序开发案例教程	李挥剑	39
41	7-301-14503-6	ASP.NET 动态网页设计案例 教程 (Visual Basic .NET 版)	江 红	35	82	7-301-20898-4	SQL Server 2008 数据库应用 案例教程	钱 哨	38

# 北京大学出版社电气信息类教材书目(已出版)

## 欢迎选订

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
1	7-301-10759-1	DSP 技术及应用	吴冬梅	26	38	7-5038-4400-3	工厂供配电	王玉华	34
2	7-301-10760-7	单片机原理与应用技术	魏立峰	25	39	7-5038-4410-2	控制系统仿真	郑恩让	26
3	7-301-10765-2	电工学	蒋 中	29	40	7-5038-4398-3	数字电子技术	李 元	27
4	7-301-19183-5	电工与电子技术(上册)(第2版)	吴舒辞	30	41	7-5038-4412-6	现代控制理论	刘永信	22
5	7-301-19229-0	电工与电子技术(下册)(第2版)	徐卓农	32	42	7-5038-4401-0	自动化仪表	齐志才	27
6	7-301-10699-0	电子工艺实习	周春阳	19	43	7-5038-4408-9	自动化专业英语	李国厚	32
7	7-301-10744-7	电子工艺学教程	张立毅	32	44	7-5038-4406-5	集散控制系统	刘翠玲	25
8	7-301-10915-6	电子线路 CAD	吕建平	34	45	7-301-19174-3	传感器基础(第2版)	赵玉刚	30
9	7-301-10764-1	数据通信技术教程	吴延海	29	46	7-5038-4396-9	自动控制原理	潘 丰	32
10	7-301-18784-5	数字信号处理(第2版)	阎 毅	32	47	7-301-10512-2	现代控制理论基础(国家级十一五规划教材)	侯媛彬	20
11	7-301-18889-7	现代交换技术(第2版)	姚 军	36	48	7-301-11151-2	电路基础学习指导与典型题解	公茂法	32
12	7-301-10761-4	信号与系统	华 容	33	49	7-301-12326-3	过程控制与自动化仪表	张井岗	36
13	7-301-10762-5	信息与通信工程专业英语	韩定定	24	50	7-301-12327-0	计算机控制系统	徐文尚	28
14	7-301-10757-7	自动控制原理	袁德成	29	51	7-5038-4414-0	微机原理及接口技术	赵志诚	38
15	7-301-16520-1	高频电子线路(第2版)	宋树祥	35	52	7-301-10465-1	单片机原理及应用教程	范立南	30
16	7-301-11507-7	微机原理与接口技术	陈光军	34	53	7-5038-4426-4	微型计算机原理与接口技术	刘彦文	26
17	7-301-11442-1	MATLAB 基础及其应用教程	周开利	24	54	7-301-12562-5	嵌入式基础实践教程	杨 刚	30
18	7-301-11508-4	计算机网络	郭银景	31	55	7-301-12530-4	嵌入式 ARM 系统原理与实例开发	杨宗德	25
19	7-301-12178-8	通信原理	隋晓红	32	56	7-301-13676-8	单片机原理与应用及 C51 程序设计	唐 颖	30
20	7-301-12175-7	电子系统综合设计	郭 勇	25	57	7-301-13577-8	电力电子技术及应用	张润和	38
21	7-301-11503-9	EDA 技术基础	赵明富	22	58	7-301-20508-2	电磁场与电磁波(第2版)	邹春明	30
22	7-301-12176-4	数字图像处理	曹茂永	23	59	7-301-12179-5	电路分析	王艳红	38
23	7-301-12177-1	现代通信系统	李白萍	27	60	7-301-12380-5	电子测量与传感技术	杨 雷	35
24	7-301-12340-9	模拟电子技术	陆秀令	28	61	7-301-14461-9	高压技术	马永翔	28
25	7-301-13121-3	模拟电子技术实验教程	谭海曙	24	62	7-301-14472-5	生物医学数据分析及其 MATLAB 实现	尚志刚	25
26	7-301-11502-2	移动通信	郭俊强	22	63	7-301-14460-2	电力系统分析	曹 娜	35
27	7-301-11504-6	数字电子技术	梅开乡	30	64	7-301-14459-6	DSP 技术与应用基础	俞一彪	34
28	7-301-18860-6	运筹学(第2版)	吴亚丽	28	65	7-301-14994-2	综合布线系统基础教程	吴达金	24
29	7-5038-4407-2	传感器与检测技术	祝诗平	30	66	7-301-15168-6	信号处理 MATLAB 实验教程	李 杰	20
30	7-5038-4413-3	单片机原理及应用	刘 刚	24	67	7-301-15440-3	电工电子实验教程	魏 伟	26
31	7-5038-4409-6	电机与拖动	杨天明	27	68	7-301-15445-8	检测与控制实验教程	魏 伟	24
32	7-5038-4411-9	电力电子技术	樊立萍	25	69	7-301-04595-4	电路与模拟电子技术	张绪光	35
33	7-5038-4399-0	电力市场原理与实践	邹 斌	24	70	7-301-15458-8	信号、系统与控制理论(上、下册)	邱德润	70
34	7-5038-4405-8	电力系统继电保护	马永翔	27	71	7-301-15786-2	通信网的信令系统	张云麟	24
35	7-5038-4397-6	电力系统自动化	孟祥忠	25	72	7-301-16493-8	发电厂变电所电气部分	马永翔	35
36	7-5038-4404-1	电气控制技术	韩顺杰	22	73	7-301-16076-3	数字信号处理	王震宇	32
37	7-5038-4403-4	电器与 PLC 控制技术	陈志新	38	74	7-301-16931-5	微机原理及接口技术	肖洪兵	32

序号	标准书号	书 名	主 编	定价	序号	标准书号	书 名	主 编	定价
75	7-301-16932-2	数字电子技术	刘金华	30	93	7-301-18496-7	现代电子系统设计教程	宋晓梅	36
76	7-301-16933-9	自动控制原理	丁 红	32	94	7-301-18672-5	太阳能电池原理与应用	靳瑞敏	25
77	7-301-17540-8	单片机原理及应用教程	周广兴	40	95	7-301-18314-4	通信电子线路及仿真设计	王鲜芳	29
78	7-301-17614-6	微机原理及接口技术实验指导书	李于林	22	96	7-301-19175-0	单片机原理与接口技术	李 升	46
79	7-301-12379-9	光纤通信	卢志茂	28	97	7-301-19320-4	移动通信	刘维超	39
80	7-301-17382-4	离散信息论基础	范九伦	25	98	7-301-19447-8	电气信息类专业英语	缪志农	40
81	7-301-17677-1	新能源与分布式发电技术	朱永强	32	99	7-301-19451-5	嵌入式系统设计及应用	邢吉生	44
82	7-301-17683-2	光纤通信	李丽君	26	100	7-301-19452-2	电子信息类专业 MATLAB 实验教程	李明明	42
83	7-301-17700-6	模拟电子技术	张绪光	36	101	7-301-16914-8	物理光学理论与应用	宋贵才	32
84	7-301-17318-3	ARM 嵌入式系统基础与开发教程	丁文龙	36	102	7-301-16598-0	综合布线系统管理教程	吴达金	39
85	7-301-17797-6	PLC 原理及应用	缪志农	26	103	7-301-20394-1	物联网基础与应用	李蔚田	44
86	7-301-17986-4	数字信号处理	王玉德	32	104	7-301-20339-2	数字图像处理	李云红	36
87	7-301-18131-7	集散控制系统	周荣富	36	105	7-301-20340-8	信号与系统	李云红	29
88	7-301-18285-7	电子线路 CAD	周荣富	41	106	7-301-20505-1	电路分析基础	吴舒辞	38
89	7-301-16739-7	MATLAB 基础及应用	李国朝	39	107	7-301-20506-8	编码调制技术	黄 平	26
90	7-301-18352-6	信息论与编码	隋晓红	24	108	7-301-20763-5	网络工程与管理	谢 慧	39
91	7-301-18260-4	控制电机与特种电机及其控制系统	孙冠群	42	109	7-301-20845-8	单片机原理与接口技术实验与课程设计	徐懂理	26
92	7-301-18493-6	电工技术	张 莉	26	110	7-301-20918-9	Mathcad 在信号与系统中的应用	郭仁春	30

请登录 [www.pup6.cn](http://www.pup6.cn) 免费下载本系列教材的电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源。

欢迎免费索取样书, 并欢迎到北京大学出版社来出版您的著作, 可在 [www.pup6.cn](http://www.pup6.cn) 在线申请样书和进行选题登记, 也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱, 我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

联系方式: 010-62750667, [pup6\\_czq@163.com](mailto:pup6_czq@163.com), [szheng\\_pup6@163.com](mailto:szheng_pup6@163.com), [linzhangbo@126.com](mailto:linzhangbo@126.com), 欢迎来电来信咨询。

# 目 录

<b>第 1 章 矢量分析与场论基础</b> .....	1
1.1 标量场和矢量场 .....	1
1.1.1 标量和矢量 .....	1
1.1.2 标量场和矢量场 .....	2
1.2 矢量运算 .....	3
1.2.1 标量积和矢量积 .....	3
1.2.2 三重积 .....	4
1.3 常用正交坐标系 .....	4
1.3.1 三种常用坐标系 .....	4
1.3.2 三种坐标系之间的相互 转换 .....	7
1.4 标量场的梯度 .....	8
1.4.1 方向导数 .....	8
1.4.2 标量场的梯度 .....	9
1.5 矢量场的通量与散度 .....	10
1.5.1 矢量场的通量 .....	10
1.5.2 矢量场的散度 .....	11
1.5.3 散度定理 .....	12
1.6 矢量场的环量与旋度 .....	13
1.6.1 矢量场的环量 .....	13
1.6.2 矢量场的旋度 .....	14
1.6.3 斯托克斯定理 .....	15
1.7 拉普拉斯算符及其运算 .....	15
1.8 亥姆霍兹定理 .....	16
1.8.1 散度、旋度的比较 .....	16
1.8.2 亥姆霍兹定理 .....	16
本章小结 .....	17
习题 .....	18
<b>第 2 章 电磁感应</b> .....	20
2.1 电荷及电荷守恒定律 .....	21
2.1.1 电荷及电荷密度 .....	21
2.1.2 电荷守恒定律 .....	21
2.2 电流及电流连续性方程 .....	22
2.2.1 电流及电流密度 .....	22
2.2.2 电流连续性方程 .....	23
2.3 库仑定律与电场强度 .....	24
2.3.1 库仑定律 .....	24
2.3.2 电场强度 .....	25
2.3.3 电位函数 .....	26
2.4 高斯定理和电通量密度 .....	27
2.4.1 电通量密度 .....	27
2.4.2 高斯定理 .....	28
2.5 欧姆定律和焦耳定律的微分形式 .....	29
2.5.1 欧姆定律的微分形式 .....	29
2.5.2 电阻 .....	30
2.5.3 焦耳定律的微分形式 .....	32
2.6 电介质中的电场及电位移矢量 .....	32
2.6.1 电介质的极化 .....	33
2.6.2 电位移矢量 .....	35
2.7 毕奥-萨伐定律及磁感应强度 .....	36
2.7.1 安培磁力定律 .....	36
2.7.2 毕奥-萨伐定律及磁感应 强度 .....	37
2.8 法拉第电磁感应定律 .....	38
2.8.1 法拉第电磁感应定律的 积分形式 .....	38
2.8.2 法拉第电磁感应定律的 微分形式 .....	40
本章小结 .....	40
习题 .....	42
<b>第 3 章 时变电磁场</b> .....	44
3.1 位移电流与全电流定律 .....	45
3.1.1 安培环路定律 .....	45
3.1.2 位移电流及全电流安培 环路定律 .....	47
3.2 麦克斯韦方程组 .....	48
3.2.1 麦克斯韦方程组 .....	48
3.2.2 结构方程和限定形式的麦克 斯韦方程组 .....	49
3.2.3 时变电磁场与复数形式的麦 克斯韦方程组 .....	50



3.2.4	时变电磁场的应用	51
3.3	时变电磁场的边界条件	52
3.4	坡印廷定理与坡印廷矢量	57
3.4.1	坡印廷定理	57
3.4.2	坡印廷矢量及其复数形式	58
3.5	动态矢量位和标量位	58
3.5.1	动态矢量位和标量位的引入	59
3.5.2	动态矢量位和标量位方程	59
3.5.3	达朗贝尔方程及罗伦兹规范	60
	本章小结	60
	习题	61
<b>第4章</b>	<b>平面电磁波基础</b>	<b>63</b>
4.1	波动方程	63
4.2	理想介质中的均匀平面波	65
4.2.1	平面波的场	65
4.2.2	均匀平面波的参数	67
4.2.3	均匀平面波的传播特性	67
4.2.4	沿任意方向传播的均匀平面波	69
4.3	有耗媒质中的均匀平面波	69
4.3.1	有耗媒质中平面波的传播特性	69
4.3.2	趋肤效应	71
4.3.3	工程应用	72
4.4	电磁波的极化	74
4.4.1	线极化	74
4.4.2	圆极化	74
4.4.3	椭圆极化	75
4.4.4	电磁波极化特性的工程应用	76
4.5	色散和群速	77
4.5.1	色散现象与群速	77
4.5.2	相速与群速的关系	78
	本章小结	79
	习题	80

<b>第5章</b>	<b>平面电磁波的反射与透射</b>	<b>82</b>
5.1	平面波向平面分界面的垂直入射	83
5.1.1	平面波向理想导体的垂直入射	83
5.1.2	平面波向理想介质的垂直入射	85
5.2	平面波对理想介质的斜入射	88
5.2.1	相位匹配条件和 Snell 定律	88
5.2.2	垂直极化波的斜入射	90
5.2.3	平行极化波的斜入射	91
5.3	平面波对理想导体的斜入射	92
5.3.1	垂直极化波的斜入射	92
5.3.2	平行极化波的斜入射	93
5.4	平面波的全透射与全反射	94
5.4.1	全透射	94
5.4.2	全反射	94
	本章小结	95
	习题	96
<b>第6章</b>	<b>导行电磁波</b>	<b>98</b>
6.1	微波及导波装置简介	99
6.1.1	微波简介	99
6.1.2	常用导波装置介绍	100
6.2	电磁波在均匀导波装置中传播的一般规律	101
6.2.1	波动方程与电磁场量表达式	101
6.2.2	导行波的传播模式	102
6.2.3	基本参数	103
6.3	矩形波导中波的参量和特性	105
6.3.1	TM 波的电磁场分量	105
6.3.2	TE 波的电磁场分量	107
6.3.3	矩形波导的传播特性	108
6.4	沿矩形波导的单模传输	110
6.4.1	单模传输条件	110
6.4.2	矩形波导中的 $TE_{10}$ 波	111
6.5	矩形波导中的能量传输与损耗	112
6.5.1	矩形波导的传输功率	112



6.5.2 矩形波导中电磁波的传播 损耗 .....	113	8.3 恒定电场分析与应用 .....	167
6.6 圆柱波导中波的特性简介 .....	115	8.3.1 恒定电场的基本方程及 边界条件 .....	167
6.6.1 圆柱波导中的 TE 波 .....	116	8.3.2 静电场与恒定电场的 比拟 .....	171
6.6.2 圆波导中的 TM 波 .....	117	8.3.3 恒定电场的应用 .....	172
6.7 矩形波导谐振腔的工作原理 .....	118	本章小结 .....	173
6.7.1 谐振频率 .....	119	习题 .....	174
6.7.2 谐振腔的品质因数 .....	120	<b>第 9 章 静态场的解</b> .....	178
本章小结 .....	120	9.1 概述 .....	178
习题 .....	123	9.1.1 边值问题及分类 .....	178
<b>第 7 章 电磁波的辐射</b> .....	125	9.1.2 唯一性定理 .....	180
7.1 滞后位 .....	125	9.2 镜像法 .....	181
7.2 电流元的辐射 .....	126	9.2.1 静电场中的镜像法 .....	181
7.2.1 电流元的近区场 .....	128	9.2.2 电轴法 .....	185
7.2.2 电流元的远区场 .....	128	9.3 分离变量法 .....	189
7.2.3 辐射功率和辐射电阻 .....	129	9.3.1 直角坐标系中的分离 变量法 .....	189
7.3 天线 .....	129	9.3.2 圆柱坐标系中的分离 变量法* .....	192
7.3.1 天线的基本参数 .....	130	9.3.3 球坐标系中的分离 变量法* .....	196
7.3.2 天线的分类 .....	131	9.4 有限差分法* .....	199
7.3.3 对称振子和天线阵 .....	132	9.4.1 有限差分法概述 .....	199
7.3.4 其他类型天线简介 .....	136	9.4.2 二维泊松方程的差分离 散化 .....	200
本章小结 .....	137	9.4.3 边界条件的离散化 .....	201
习题 .....	138	9.4.4 差分方程组的求解 .....	206
<b>第 8 章 静态场分析与应用</b> .....	140	本章小结 .....	208
8.1 静电场的分析与应用 .....	141	习题 .....	209
8.1.1 静电场的基本方程及边界 条件 .....	141	<b>附录 A 部分习题参考答案</b> .....	212
8.1.2 电容 .....	148	<b>附录 B 常用矢量公式</b> .....	216
8.1.3 静电场的能量及能量 密度 .....	149	<b>附录 C 希腊字母读音表</b> .....	218
8.1.4 静电场的应用 .....	152	<b>附录 D 量和单位</b> .....	219
8.2 恒定磁场的分析与应用 .....	153	<b>参考文献</b> .....	223
8.2.1 恒定磁场的基本方程及其 边界条件 .....	154		
8.2.2 电感 .....	158		
8.2.3 磁场能量和磁能密度 .....	162		
8.2.4 恒定磁场的应用 .....	165		

# 第 1 章 矢量分析与场论基础

## 教学要求

知识要点	掌握程度	相关知识
标量场和矢量场	理解	标量与矢量的定义、场的分类
矢量运算	掌握	矢量的点积和叉积、单位矢量
正交坐标系	掌握	直角坐标系、圆柱坐标系、球坐标系
标量场的梯度	重点掌握	方向导数、梯度
矢量场的散度	重点掌握	通量、散度、散度定理
矢量场的旋度	重点掌握	环量、旋度、斯托克斯定理
拉普拉斯算符	掌握	拉普拉斯算符及运算
亥姆霍兹定理	了解	唯一性定理、亥姆霍兹定理

矢量分析和场论是研究电磁场理论必不可少的数学工具，作为电磁场理论的数学基础，它们为复杂的电磁现象提供了描述方式。本章介绍场的基本概念和矢量分析的基础知识，重点讨论标量场的梯度、矢量场的散度和旋度。

## 1.1 标量场和矢量场

### 1.1.1 标量和矢量

电磁场中绝大多数量可分为标量和矢量。只有大小没有方向的量称为标量，如温度、电压、时间、电流、电荷等物理量都是标量；既有大小又有方向的量称为矢量，如电场强度、磁场强度、力、速度、力矩等物理量都是矢量。

标量可以用一个单纯的数来完整描述，如温度  $25^{\circ}\text{C}$ ，质量  $10\text{g}$ 。矢量习惯上用黑体符号或在符号上加带箭头的横线来表示，本书采用黑斜体表示矢量。模值为 1 的矢量称为单位矢量，常用于表示矢量的方向，如矢量  $\mathbf{A}$  可写成  $\mathbf{A} = a_A \mathbf{a}_A$ ；其中  $\mathbf{a}_A$  是与  $\mathbf{A}$  同方向的单位矢量， $A$  为矢量  $\mathbf{A}$  的模值。

一个矢量在 3 个相互垂直的坐标轴上的分量已知，则这个矢量即可确定。如在直角坐标系中，若矢量  $\mathbf{A}$  的坐标分量为  $(A_x, A_y, A_z)$ ，则  $\mathbf{A}$  可表示为

$$\mathbf{A} = e_x A_x + e_y A_y + e_z A_z \quad (1.1)$$

其中  $e_x$ 、 $e_y$ 、 $e_z$  分别表示直角坐标系中 3 个方向上的单位矢量。两个矢量对应的分量相加或相减，就得到它们的和或差。设



$$\mathbf{B} = e_x B_x + e_y B_y + e_z B_z$$

则

$$\mathbf{A} \pm \mathbf{B} = e_x (A_x \pm B_x) + e_y (A_y \pm B_y) + e_z (A_z \pm B_z) \quad (1.2)$$

### 1.1.2 标量场和矢量场

场有空间占据的概念，设有一个确定的空间区域，若该区域内的每一个点都对应着某个物理量的一个确定值，就认为该空间区域确定了这个物理量的一个场。

若场中的物理量是标量，则称该场为标量场，如温度场、密度场和电位场都是标量场。若场中的物理量是矢量，则称该场为矢量场，如力场、速度场都是矢量场。

若场中的物理量不随时间而变化，仅是空间和点的函数，则称该场为稳定场(或静态场)；若场中的物理量不仅是点的函数，还是时间的函数，则称该场为不稳定场(或时变场)。

根据数学中函数的定义可知，给定了一个标量场就相当于给定了一个数性函数  $u(M)$ ，而给定了一个矢量场就相当于给定了一个矢性函数  $\mathbf{A}(M)$ ，其中  $M$  为场对应空间区域中的任意点。在直角坐标系中，点  $M$  由它的 3 个坐标  $x$ 、 $y$ 、 $z$  确定，因此一个标量场可用数性函数表示为

$$u(M) = u(x, y, z) \quad (1.3)$$

同样，一个矢量场可用矢性函数表示为

$$\mathbf{A}(M) = \mathbf{A}(x, y, z) \quad (1.4)$$

在标量场中，为了直观研究其分布情况，引入了等值面(或等量面)的概念。等值面是指场中使函数取值相同的点组成的曲面。标量场的等值面方程为

$$u(M) = C \quad (1.5)$$

式中  $C$  为常数。例如，温度场中的等值面就是由温度相同的点所组成的等温面；电场中的等值面就是由电位相同的点所组成的等位面，如图 1.1 所示(等高面)。等值面在二维平面上就是等值线，如常见的等高线、等温线等。

对于矢量场，可以用矢量线来形象地描绘它的分布情况。如图 1.2 所示，矢量线是这样的曲线：在它上面的每一点  $M$  处的切线方向与对应于该点的矢量方向相重合。在流体力学中，矢量线就是流线。

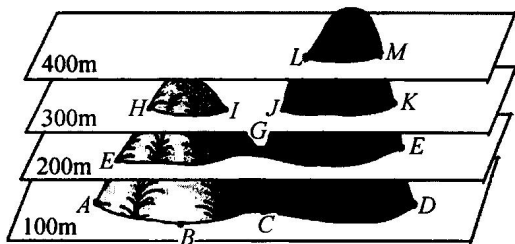


图 1.1 等高面

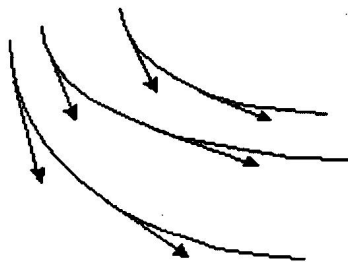


图 1.2 矢量场的矢量线

**【提示】** 在电磁场中，矢量线就是电力线和磁力线。