



高等院校信息与通信工程

| 系 | 列 | 教 | 材 |

FIELD AND WAVE ELECTROMAGNETICS

电磁场与电磁波

张洪欣 沈远茂 韩宇南◎编著

Zhang Hongxin

Shen Yuanmao

Han Yunan

清华大学出版社





高等院校信息与通信工程

|系|列|教|材|

FIELD AND WAVE ELECTROMAGNETICS

电磁场与电磁波

张洪欣 沈远茂 韩宇南◎编著

Zhang Hongxin Shen Yuanmao Han Yunan

福建师范大学
图书馆
藏书印



T1082690

1082690

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书以基本电磁现象的普遍规律为基础,分析和阐述电磁场与电磁波的基本概念、原理及其基本应用,注重展现电磁场理论与微波技术领域的最新科技成果。全书共分9章,主要内容安排如下:

第1章介绍正交坐标系和矢量分析的基本方法、基本定理;第2章分析静电场、恒定电场的基本方程及其性质,讨论静态电场的边界条件,介绍电位、电偶极子、静电场中的导体及电容、电场能量及电场力等;第3章分析恒定磁场的基本方程及其性质,讨论恒定磁场的边界条件,介绍矢量磁位、电感、磁场能量及磁场力等;第4章介绍静态场的边值问题,阐述镜像法、分离变量法、有限差分法及其应用等;第5章以麦克斯韦方程组为核心研究时变电磁场的性质,并分析其边界条件,介绍坡印亭矢量、交变场的位等;第6章介绍平面电磁波在无界媒质中的传播,包括平面波的性质、电磁波的极化、平面波在良介质及良导体中的传播特性等,并介绍时域有限差分法;第7章研究电磁波在理想导体表面、理想介质分界面及导电媒质分界面的反射和折射,分析入射空间及透射空间场的性质,并介绍菲涅耳公式、人工电磁材料等;第8章介绍导电电磁波的种类、双导体传输线的性质,分析波导管中电磁场的分布规律、电磁波的传播特性,介绍导波传输系统、谐振腔的基本应用及基片集成波导的概念;第9章介绍电磁波的辐射,包括电偶极子、磁偶极子辐射、电磁场的对偶性、对称振子天线的辐射特性、天线基本参数及应用等。

本书可以作为电子科学与技术、电子信息工程、通信工程、电磁场与无线技术等专业的教材,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/张洪欣,沈远茂,韩宇南编著. —北京:清华大学出版社,2013.1
(高等院校信息与通信工程系列教材)

ISBN 978-7-302-29868-7

I. ①电… II. ①张… ②沈… ③韩… III. ①电磁场 ②电磁波 IV. ①O441.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第197671号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:梁毅

责任印制:李红英

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 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19.25 字 数:478千字

版 次:2013年1月第1版 印 次:2013年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:34.00元

产品编号:043342-01

高等院校信息与通信工程系列教材编委会

主 编：陈俊亮

副 主 编：李乐民 张乃通 邬江兴

编 委 (排名不分先后)：

王 京 韦 岗 朱近康 朱世华

邬江兴 李乐民 李建东 张乃通

张中兆 张思东 严国萍 刘兴钊

陈俊亮 郑宝玉 范平志 孟洛明

袁东风 程时昕 雷维礼 谢希仁

责任编辑：陈国新 赵从棉

出版说明

信息与通信工程学科是信息科学与技术的重要组成部分。改革开放以来,我国在发展通信系统与信息系统方面取得了长足的进步,形成了巨大的产业与市场,如我国的电话网络规模已位居世界首位,同时该领域的一些分支学科出现了为国际认可的技术创新,得到了迅猛的发展。为满足国家对高层次人才的迫切需求,当前国内大量高等学校设有信息与通信工程学科的院系或专业,培养大量的本科生与研究生。为适应学科知识不断更新的发展态势,他们迫切需要内容新颖又符合教改要求的教材和教学参考书。此外,大量的科研人员与工程技术人员也迫切需要学习、了解、掌握信息与通信工程学科领域的基础理论与较为系统的前沿专业知识。为了满足这些读者对高质量图书的渴求,清华大学出版社组织国内信息与通信工程国家级重点学科的教学与科研骨干以及本领域的一些知名学者、学术带头人编写了这套高等院校信息与通信工程系列教材。

该套教材以本科电子信息工程、通信工程专业的专业必修课程教材为主,同时包含一些反映学科发展前沿的本科选修课程教材和研究生教学用书。为了保证教材的出版质量,清华大学出版社不仅约请国内一流专家参与了丛书的选题规划,而且每本书在出版前都组织全国重点高校的骨干教师对作者的编写大纲和书稿进行了认真审核。

祝愿《高等院校信息与通信工程系列教材》为我国培养与造就信息与通信工程领域的高素质科技人才,推动信息科学的发展与进步作出贡献。

北京邮电大学
陈俊亮

前 言

电磁场理论是电子、通信、微波及生物医学工程等众多学科领域的基础；同时，电磁场与电磁波又是工科院校电子科学与技术、信息与通信工程、电磁场与无线技术等本科电类专业的重要专业基础课程。随着计算机、通信及微电子等技术的迅速发展，电磁场与其他学科交叉发展、交相辉映，新的专业和技术不断涌现；并且，电路的集成化程度越来越高，电子设备的体积越来越小，电磁兼容、电磁干扰等电磁场问题也越来越突出，对电磁场理论和微波技术提出了更大的挑战。

电磁波是电磁场的一种运动形式，通过这门课程，应当使学生建立起“场”与“波”的概念，学会“场”与“路”的分析方法，学会用“场”的观点去观察、分析、计算一些基本、典型的问题。培养学生正确的逻辑思维方法，提高分析、解决问题的能力；从科学前沿的战略高度出发培养学生的创新思维能力和创造力，为处理实际电磁场问题打下坚实的理论基础。本书总教学时数为 68 学时左右（部分章节可根据需要节选），可以作为高等院校相关专业的本科生教材或者教学参考用书，也可以作为职业技术学院相关专业的教材和教学参考用书。

本书在编写过程中参照工科院校新修订培养计划的教学要求，认真贯彻执行教育部教高[2007]1号、2号文件精神，参照教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导分委会《高等学校电子信息科学与工程类本科指导性专业规范（试行）》及 2011 年高等学校本科专业目录的修订意见，密切结合工科院校电子科学与技术、通信工程、信息工程等专业的特点，研究和阐述电磁现象的基本原理、电磁场的基本规律及其在科学研究和工程中的应用。本书的编写思想是从学生认识和理解的角度出发，明确电磁场理论及发展的历史脉络；突出理论叙述、推导与趣味性的融合；强调数学方法与物理规律的有机结合，将数学工具“工程化”，既避免繁杂的数学推导，又阐明电磁场理论的基本概念和规律。本书在作者多年从事电磁场与电磁波教学经验的基础上，结合典型问题的应用，突出电磁场理论中的概念及物理意义，将抽象的问题具体化，将复杂的问题简单化，将零散的问题系统化，打上作者自己理解的“标签”。本书以“场与波”为主线，以“麦克斯韦方程”为纽带，对知识层次按照静态场、边界条件、时变场、电磁场与物质的相互作用、电磁场应用等进行划分；各章节内容按主线展开，环环相扣，在叙述上由浅入深、循序渐进；在内容组织结构上，强调前后内容的连贯性，保持理论体系的系统性和完整性。本书还注重介绍电磁场领域的最新科技成果及其应用，激发学生对电磁场的学习兴趣，起到抛砖引玉的作用，为进一步的学习和研究因势利导，打下牢固的理论基础。

本书还选编了部分例题和习题，并在书后附有参考答案，便于学生自学和复习。本书由张洪欣、沈远茂、韩宇南编写，其中韩宇南编写了第 1 章与第 9 章；沈远茂编写了第 2 章、第 6 章与第 7 章；张洪欣编写了第 3、4、5、8 章以及绪论、附录等内容，并最后完成统稿。本书

在编写过程中得到了北京邮电大学电子工程学院、北京化工大学信息科学与技术学院以及清华大学出版社的大力支持,在此一并表示诚挚的感谢。

由于编者学识有限,电磁场与电磁波技术发展迅速,书中难免存在一些疏漏和不足,恳请广大读者不吝斧正。

编者

2012年8月于北京邮电大学

1.9	冲击函数及其性质	28
	习题	29
第2章 静电场与恒定电场 33		
2.1	库仑定律与电场强度	33
2.1.1	库仑定律	33
2.1.2	电场强度及其叠加原理	33
2.2	电场强度的通量和散度	35
2.2.1	电场强度的通量	35
2.2.2	电场强度的散度	36
2.3	电场强度的环量及旋度	37
2.3.1	电场强度的环量	37
2.3.2	电场强度的旋度	38
2.4	静电场的电位函数	38
2.4.1	电场强度与电位函数	38
2.4.2	电位函数的表达式	39
2.5	电偶极子	41
2.5.1	电偶极子的电位函数	41
2.5.2	电偶极子静电场的电场强度	41
2.5.3	电偶极子静电场的等位面 and 电场线	42
2.6	静电场中的导体和介质	43
2.6.1	静电场中的导体	43
2.6.2	静电场中的介质	44
2.6.3	介质中电位移矢量的通量和散度	46
2.6.4	电位移矢量与电场强度的关系	46
2.7	泊松方程与拉普拉斯方程	49
2.8	静电场的边界条件	50
2.8.1	电位移矢量的法向边界条件	50
2.8.2	电场强度的切向边界条件	52
2.8.3	电位函数的边界条件	53
2.9	导体系统的电容	53
2.9.1	双导体及孤立导体的电容	54
2.9.2	多导体的电容系数与部分电容	55
2.10	静电场的能量与静电力	56
2.10.1	静电场的能量	57
2.10.2	静电场的能量密度	57
2.10.3	静电力	59
2.11	恒定电场	60
2.11.1	电流与电流密度矢量	61

811	2.11.2	恒定电场的基本性质	62
119	2.11.3	恒定电场的边界条件	65
881	2.11.4	静电场比拟法与电导	66
181	2.11.5	损耗功率与焦耳定律	69
881		习题	70
	第3章	恒定磁场	74
	3.1	恒定磁场的基本定律	74
181	3.1.1	安培力定律	74
181	3.1.2	毕奥-萨伐尔定律	74
134	3.2	真空中的恒定磁场方程	76
881	3.2.1	恒定磁场的散度及磁通连续性原理	76
130	3.2.2	恒定磁场的旋度及安培环路定理	77
181	3.2.3	恒定磁场的位函数及其方程	78
137	3.3	磁偶极子与介质的磁化	81
138	3.3.1	磁偶极子及其矢量磁位	81
141	3.3.2	介质的磁化	82
141	3.3.3	介质中的恒定磁场方程	84
141	3.4	恒定磁场的边界条件	87
142	3.4.1	磁感应强度的法向边界条件	87
141	3.4.2	磁场强度的切向边界条件	88
140	3.4.3	恒定磁场位函数的边界条件	88
141	3.5	电感	90
141	3.5.1	自电感	90
148	3.5.2	互电感	91
180	3.5.3	电感的计算	91
151	3.6	恒定磁场的能量和磁场力	95
181	3.6.1	恒定磁场的能量及能量密度	95
181	3.6.2	恒定磁场的磁场力	97
181		习题	98
	第4章	静态场的边值问题及其解法	102
181	4.1	边值问题的类型及唯一性定理	102
181	4.1.1	边值问题的分类	102
181	4.1.2	静电场解的唯一性定理	103
181	4.2	分离变量法	106
181	4.2.1	直角坐标系中的分离变量法	106
181	4.2.2	圆柱坐标系中的分离变量法	113
181	4.2.3	球坐标系中的分离变量法	116

4.3	镜像法	118
4.3.1	平面镜像	119
4.3.2	球面镜像	123
4.4	有限差分法	128
4.4.1	有限差分法基本原理	128
4.4.2	有限差分法的基本实现方法	129
	习题	131
第5章 时变电磁场		134
5.1	麦克斯韦方程组	134
5.1.1	麦克斯韦第一方程	134
5.1.2	麦克斯韦第二方程	135
5.1.3	麦克斯韦第三方程	136
5.1.4	麦克斯韦第四方程	137
5.1.5	麦克斯韦方程组的形式	137
5.1.6	媒质的本构方程	138
5.2	时变电磁场的边界条件	141
5.2.1	法向场的边界条件	141
5.2.2	切向场的边界条件	141
5.3	时谐电磁场及麦克斯韦方程组的复数形式	145
5.3.1	时谐电磁场的复数形式	145
5.3.2	麦克斯韦方程组的复数形式	146
5.4	时变电磁场的能量及功率	147
5.4.1	坡印亭定理	147
5.4.2	复坡印亭矢量及平均坡印亭矢量	148
5.5	时变电磁场的唯一性定理	150
5.6	电磁场的位函数及波动方程	151
	习题	153
第6章 无界媒质中的均匀平面波		156
6.1	理想介质中的均匀平面波	156
6.1.1	亥姆霍兹方程与均匀平面波	156
6.1.2	理想介质中均匀平面波的特性	159
6.1.3	理想介质中均匀平面波的一般表达式	162
6.2	电磁波的极化	165
6.2.1	线极化	165
6.2.2	圆极化	166
6.2.3	椭圆极化	167
6.2.4	极化波的合成与分解	168

6.3	导电媒质中的均匀平面波	168
6.3.1	导电媒质中的波动方程与均匀平面波	169
6.3.2	导电媒质中均匀平面波的特性	170
6.3.3	良介质与良导体	175
6.3.4	趋肤效应	177
6.3.5	表面阻抗、交流电阻	178
6.3.6	损耗功率	180
6.4	时域有限差分法	181
6.4.1	麦克斯韦方程的差分格式	182
6.4.2	UPML 吸收边界条件	184
	习题	185
第 7 章	均匀平面波在分界面的反射与折射	189
7.1	平面波垂直入射到理想导体表面	189
7.2	平面波垂直入射到理想介质间的分界面	191
7.3	平面波斜入射到理想导体表面	195
7.3.1	垂直极化波斜入射	196
7.3.2	平行极化波斜入射	197
7.4	平面波斜入射到理想介质间的分界面	199
7.4.1	平行极化波斜入射	200
7.4.2	垂直极化波斜入射	201
7.4.3	全折射、全反射与表面波	202
7.5	平面波在导电媒质分界面的反射与折射	204
7.6	人工电磁材料	205
7.6.1	负折射效应	206
7.6.2	完美透镜效应	206
7.6.3	负相速度	207
7.6.4	逆多普勒频移	208
7.6.5	逆切伦科夫辐射	208
7.6.6	完美吸波材料	209
	习题	209
第 8 章	导行电磁波	212
8.1	导行电磁波传播模式及其传播特性	212
8.1.1	TEM 波	214
8.1.2	TM 波	214
8.1.3	TE 波	215
8.2	双导体传输线	215
8.2.1	平行双线传输系统	215

8.2.2	同轴传输线	223
8.2.3	微带线	226
8.3	矩形波导	228
8.3.1	矩形波导中的 TM 波	229
8.3.2	矩形波导中的 TE 波	231
8.3.3	简并模、主模及单模传输	235
8.3.4	矩形波导的传播特性参数及传输功率	236
8.4	圆波导	240
8.4.1	圆波导中的 TM 波	241
8.4.2	圆波导中的 TE 波	242
8.4.3	圆波导的传播特性	242
8.4.4	圆波导的几种主要波型	243
8.5	谐振腔	244
8.5.1	谐振腔的基本参数	245
8.5.2	矩形谐振腔	246
8.5.3	圆谐振腔	247
8.6	基片集成波导	247
	习题	248
第 9 章	电磁辐射	251
9.1	滞后位	251
9.2	电偶极子的辐射	253
9.2.1	电偶极子电磁场的激发与辐射	253
9.2.2	电偶极子的辐射场	255
9.3	磁偶极子的辐射	259
9.4	电与磁的对偶原理	260
9.5	对称振子天线	263
9.5.1	对称振子天线上的电流分布	263
9.5.2	对称振子天线的远区场	263
9.6	天线的基本参数	264
9.6.1	方向性函数、方向图与方向性系数	265
9.6.2	输入阻抗与驻波比	265
9.6.3	极化	266
9.6.4	效率	266
9.6.5	增益	266
9.6.6	波瓣宽度	266
9.6.7	前后比和副瓣电平	267
9.6.8	有效长度与频带宽度	267
	习题	268

附录 A 矢量基本运算公式	270
附录 B 洛伦兹规范	271
附录 C 无线电频段划分	272
附录 D 常用导体材料的参数	273
附录 E 常用介质材料的参数	274
附录 F 常用物理常数	275
附录 G 一维吸收边界条件 UPML 的实现	276
附录 H 习题参考答案	277
参考文献	290

绪论

电磁场是内在彼此联系、相互依存的电场和磁场的总称。随时间变化的电场产生磁场,随时间变化的磁场产生电场,两者互为因果,形成一个统一的整体,即电磁场。电磁场是电磁作用的媒介,具有能量和动量,是物质存在的一种形式。电磁场可由变速运动的带电粒子引起,也可由强弱变化的电流引起,在自由空间中以光速向四周传播,形成电磁波。电磁波是电磁场的运动形式。电磁场的性质、特征及其运动变化规律可由麦克斯韦方程组来表述。

自 20 世纪以来,电磁理论及雷达、天线、微波器件、射频等技术发展迅猛,电磁场应用已经涉及到了通信、遥感、导航、探测、成像、生物医学、天气预报等众多领域。民用多在手机终端、无线通信、射频识别(RFID)技术等领域;军用则涉及国家安全、军事装备的方方面面,例如雷达、导航、卫星等。通信是公民的基本权利,也是物物相联(物联网)的基本方式,有通信存在及需要的地方,无论海、陆、空、天,就有电磁场及电磁波技术出现。如今,随着电子技术、计算机及信息科学的发展,电磁理论及工程技术也正面临着更多的挑战,新型研究领域不断涌现,例如毫米波及亚毫米波技术、微波单片集成电路、智能天线、新型人工电磁材料、计算电磁学、电磁兼容、太赫兹技术、生物电磁学等。

1. 电磁场理论的建立与发展

据《黄帝内经》记载,中国人在公元前 2700 年就开始了宇宙的研究,并且认识到了地球磁场的存在。公元前 4 世纪,中国人发现了磁石吸铁现象,并在公元初制造出了世界上第一个指南针。1600 年,英国人吉尔伯特出版了名著《论磁》,介绍了对磁学的研究,成为历史上第一个对电磁现象进行系统研究的学者。

1733 年,法国人迪费发现所有物体都可摩擦起电,还认识到同性电荷互相排斥,异性电荷彼此吸引。1747 年美国的富兰克林定义了正电和负电,并总结出了电荷守恒定律。1780 年伽伐尼发现了动物电;1785 年法国物理学家库仑借助扭秤实验得出静电作用和磁极之间的平方反比关系,这一定律使电学和磁学进入了定量研究的阶段。

1800 年伏打发明电堆。在此基础上,1820 年丹麦物理学家奥斯特发现了电流的磁效应。同年,在电流磁效应的启发下,法国物理学家安培通过实验总结出了安培定律。也是在 1820 年,法国物理学家毕奥和萨伐尔通过实验总结出了毕奥-萨伐尔定律,并在数学家拉普拉斯的帮助下给出了数学表示公式。电学与磁学有了联系,从此开始了电磁学的新阶段。电流磁效应的发现,还使得电流的测量成为可能,1826 年欧姆据此确定了电路的基本规律——欧姆定律。1823 年斯特金发明了电磁铁,1831 年英国物理学家法拉第发现了电磁感应现象,证实了电现象与磁现象的统一性,并制造出了第一台发电机,开创了能源开发与利用的新时代。1837 年,摩尔斯发明有线电报,人类开始了电通信阶段;1861 年贝尔发明了电话。人类在 19 世纪末实现了电能的远距离输送,电力的广泛应用直接推动了世界第二次工业革命。

从 1855 年到 1873 年,麦克斯韦在继承和发展库仑、高斯、欧姆、法拉第、安培、毕奥、萨

伐尔等人思想和观点的基础上建立了电磁场理论体系。

1855年,麦克斯韦在第一篇重要论文《论法拉第的力线》中,引入了一种新的矢量函数来描述电磁场,由该函数的各种微分运算,推导出电流的力线与磁力之间的关系,通过矢量微分方程表示出电流和磁场之间的定量关系,以及电流间的作用力和电磁感应定律的定量公式。他将法拉第的力线由一种直观的概念上升为科学的理论,法拉第大为赞扬:“我惊讶地看到,这个主题居然处理得如此之好!”

1861年到1862年,麦克斯韦发表了第二篇重要论文《论物理力线》。在论文的第一部分,他设计了电磁作用的力学模型,讨论了磁体之间、能够产生磁感应的物质之间以及电流之间的作用力。在论文的第二部分,麦克斯韦设想了一个“分子涡旋和电粒子”模型,讨论了电磁感应现象。在论文的第三部分,麦克斯韦将他的涡旋假设用于静电现象,并引入了“位移电流”的概念,由此得到了两个惊人的结论:导体周围的电粒子可以作弹性位移;变化的电流能够以一定的形式进入导线周围空间。在论文的第四部分,麦克斯韦重新讨论了磁光效应。

1864年,麦克斯韦发表了第三篇重要论文《电磁场的动力学理论》。他明确地提出了电磁场的概念,认为电磁场可以存在于物质及真空之中,并对电磁场的能量作了定量计算,导出了电磁场能量密度公式和总能量方程。随后,麦克斯韦根据电磁学的实验定律和普遍原理建立了电磁场方程,包括电位移方程、电弹性方程、全电流方程、磁力方程、电流方程、电动力方程、电弹力方程、电阻方程、自由电荷方程、连续性方程等20个方程。1865年,他把电磁近距离作用和电动力学规律结合在一起,用方程组概括了电磁规律,建立了电磁场理论,并预测了光的电磁性质,继牛顿力学之后,物理学实现了第二次理论大综合。

1873年,麦克斯韦出版了科学名著《电磁学通论》,系统、全面、完美地阐述了电磁场理论。他提出了“涡旋电场”和“位移电流”假说,预言了电磁波的存在,计算出了电磁波的传播速度,从理论上证明了光是一种电磁波。1888年,德国物理学家赫兹在实验室实现了电磁波的发送和接收,证明了电磁波具有反射、折射、干涉、衍射等性质,并验证了麦克斯韦理论。至此,物理学实现了电、磁、光的综合,即第三次理论大综合,为近代电力工业和无线电通信的发展奠定了理论基础。

电磁场理论是19世纪物理学中最伟大的成就,爱因斯坦在纪念麦克斯韦诞辰100周年时说,这是继牛顿力学之后物理学史上又一次划时代的伟大贡献。在历史上,赫兹对电磁场理论的贡献也举足轻重。他不仅证实了电磁波的存在,使得电磁场理论被普遍接受,还重新推导和论证了麦克斯韦理论中的静态电磁学基本方程组,整理了基本概念并消除了混乱。另外他还建立了运动物体的电磁学基本方程组,引申和拓展了麦克斯韦电磁场理论。1890年,赫兹给出了麦克斯韦方程组简化的对称形式,包括四个矢量方程,其基本形式一直沿用至今。

电磁场理论的建立标志着电磁学的发展进入了一个新阶段,为电工、电子和电能等技术的产生、应用及发展提供了强劲支撑,对人类生产实践和社会进步起到了巨大的推动作用。电磁场理论使人们认识到“场”是物质存在的一种形式;发电机和电动机的发明,实现了机械能和电能间的相互转化,使人类生活方式从机械化变为电气化。1893年,美国物理学家特斯拉发明了无线电信号传输系统,1895年他又发明了电振荡发生器。1895年俄国物理学家波波夫发明了无线电收发报机。同年,意大利物理学家马可尼成功地利用电磁波进

行了通信试验,开创了无线电波应用的新纪元。

2. 电磁场理论在现代科学技术中的应用

现代科学技术的许多方面都与电磁场,尤其是高频电磁场有关。电子信息系统都以电磁波来传递信息,电磁场理论已经应用到了通信、雷达、物探、电磁防护、电磁兼容、医疗诊断、战略防御、工农业生产和日常生活的各个领域。

历史上最初用铜线传输电能与信号,产生了电工类的多个行业。后来采用波导传输线传送微波信号,开创了雷达、通信、导航等应用技术。目前利用光纤进行通信系统的信号传输,更是一次革命性的发展。光纤传输具有容量大、低损耗、体积小、重量轻等特点,光器件也在迅速发展并投入应用。随着通信技术的发展和网络的普及,光端机将很快会成为家庭和办公场所信息传输必备的设备。红外技术、毫米波技术、激光技术的发展,显示了它们在工业、国防、交通运输、医疗等领域的广阔应用前景。全息图像技术、遥感技术、射频识别技术、太赫兹技术的完善及应用也是当今发展的主要热点。外层空间太阳能发电、电力传输、卫星通信与跟踪等技术的发展也都与空间电磁波应用密切相关。

在近代通信发展史上,1899年美国的柯林斯达造出了第一个无线电话系统;1906年费森登在美国建立了第一个无线电话发射台;1908年英国的肯培尔等提出电子扫描原理,奠定了现代电视技术的基础。1919年英国建立了第一座无线电台;1921年人类实现了短波跨洋传播;1925年英国的贝尔德发明了第一台实用电视机;1930年实现了微波通信;1938年电视广播开播;1958年,人类发射第一颗通信卫星;20世纪70年代出现了移动通信系统和终端设备;1982年国际海事通信组织开通由四颗地球同步卫星组成的国际海事卫星电话(INMARSAT)系统,实现了全球移动通信;1999年国际卫星组织发射电视直播卫星,应用于高速信息公路。20世纪90年代,蜂窝电话系统开通,无线广域网(WWAN)、无线城域网(WMAN)、无线局域网(WLAN)、无线个域网(WPAN)、无线传感网(WSN)等各种无线通信标准的技术和制式不断涌现,并且共同存在、相互补充。目前第三代移动通信系统正在向下一代移动通信系统演进,光纤通信得到迅速普遍的应用,国际互联网、移动互联网和多媒体通信技术得到了极大发展,物联网技术也迅速崛起。在21世纪,通信将向着宽带化、智能化、个人化的综合业务数字网技术方向发展。

继微波技术应用于雷达、通信之后,在20世纪中叶微波加热技术开始用于工、农业生产。目前微波技术已在食品、材料、塑料、陶瓷、医疗领域得到广泛普及和应用,例如微波加热与烘干、微波与激光治疗、微波消毒等。

将电磁学原理和计算方法应用到生物医学工程领域,出现了如骨电磁重建、核磁共振成像、X射线层析成像、数字减影造影等,提供了电磁场用于组织损伤和临床应用的理论基础。电磁式生物芯片技术有效地将电场和磁场的作用结合在一起,通过计算机可控制芯片上任一点的生化反应,可用于医疗中的早期诊断。电磁仿生技术则是基于仿生机制和模型的新型电磁防护模式,将生物系统的构造和生物活动的过程、机理恰当地运用并融合至电磁防护领域。

电磁场可用于各种材料的加工过程,实现对过程的控制,达到材料组织和性能改善的目的,在材料科学研究和加工中得到了广泛应用。电磁处理具有无污染、操作方便和效果显著等优点,受到了人们的高度重视,已逐渐成为金属材料熔炼、熔体提纯、组织细化、控制熔