



面向 21 世纪 课 程 教 材  
Textbook Series for 21st Century

# 工程电磁场原理

倪光正 主编



高 等 教 育 出 版 社  
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材  
Textbook Series for 21st Century

# 工程电磁场原理

倪光正 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

## 内容提要

《工程电磁场原理》是教育部高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划的研究成果,是面向 21 世纪课程教材,同时还被列入普通高等教育“十五”国家级教材规划。本书体系以电气信息类学生拓宽专业培养口径为立足点,依据日益发展的电磁场工程学科与相关学科融合的特点,突出强电与弱电的结合,较好地处理了与物理中电磁学的关系,引入了“工程电磁场应用专题”,展示了电磁场与前沿科学间的结合点。全书主要内容为:电磁场的数学物理基础、静态电磁场 I(静电场)、静态电磁场 II(恒定电流的电场和磁场)、准静态电磁场、动态电磁场与电磁波、工程电磁场应用专题。

《工程电磁场原理》可供普通高等学校电气信息类专业师生作为“电磁场”课程教材使用,也可供有关科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程电磁场原理/倪光正等主编. —北京:高等教育出版社,2002.6  
ISBN 7-04-010492-X

I. 工... II. 倪... III. 电磁场-应用-工程技术-教材 IV. TM15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 087270 号

责任编辑 刘激扬 封面设计 张楠 责任绘图 尹文军  
版式设计 马静如 责任校对 刘莉 责任印制 杨明

工程电磁场原理  
倪光正 主编

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100009	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
传 真	010-64014048		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	国防工业出版社印刷厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	2002 年 6 月第 1 版
印 张	23	印 次	2002 年 6 月第 1 次印刷
字 数	420 000	定 价	26.40 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

# 序 言

自 1977 年“电磁场”课程单独设课以来,20 余年的教学实践已经证明,以分析各类电磁现象的基本规律和应用原理与方法为核心的电磁场课程,是培养合格的电气信息类专业本科生所应具备的知识结构的必要组成部分。近代科学技术发展进程有力地证明,电磁场理论又是众多相关的交叉学科的生长点,是日益延拓的新兴边缘学科发展的基础。因此,作为电气信息类专业本科生必修的一门重要技术基础课,本课程在为学生专业课学习准备必要的知识基础的同时,还关系到增强学生适应和创造能力,完善其基本素质的需要。

多年来,经过全国“电磁场”课程教学工作者矢志不移的努力,有了一套既不同于原苏联、又不同于西方的教学内容和课程体系。但是,随着面向 21 世纪科学技术的新发展,以及国民经济对教育事业、人才培养的新需求,电磁场教学的改革是非常必要、非常迫切的。毫无疑问,在电磁场教学内容和体系上的革新,应是在继承基础上的发展与创新。也就是说,应充分肯定现有电磁场教学内容和体系的成功之处,立足于更高质量人才培养的需求,以现代科学技术发展的强大推动力为背景,实现电磁场教学内容和体系的一种螺旋式上升的发展。

本书提出的体系将以电气信息类学生拓宽专业培养口径为立足点,依循日益发展的电磁场工程学科与相关学科,以及基础技术交叉融合的特点,突出强电与弱电的结合;电磁理论与工程实践的结合;电磁理论与相关学科交叉、渗透的结合。

本书内容立意于:首先,在保持必需的理论系统性考虑下,力求避免与物理电磁学之间的重复性叙述,而是务实地在深化概念、具体化理论应用上下功夫,以体现学生“温故而知新”,学以致用学习成效;其次,在理论联系实际的总前提下,突出电磁场课程学习的方法论指导,以数学建模的思想为学生学习的主线索,以“电磁场的数学物理基础”为学习的起点,精选、充实例题,丰富有启发性的典型习题内容等;再次,面向科学技术发展的集成化、系统化,本书以“工程电磁场应用专题”展示电磁场基本理论与前沿科学间的结合点,用以扩大学生知识面,激发学习兴趣,从而有助于加强学生运用基础理论解决工程实际问题的能力。

综上所述,并结合作者群体在电磁场课程教学,以及电磁场应用研究实践中多年积累的经验、体会,作者寄望本书在面向 21 世纪电磁场课程的教学改革中,

ALD 7/1/97 05

有助于学生生动活泼地主动学习,学以致用,并对学生的知识、能力与素质培养产生应有的深远影响。

本书在编写过程中,得益于教育部原电工课程教学指导委员会的指导,全国高等学校电磁场教学与教材研究会的关注,以及国内同仁之间在有关电磁场课程的教学内容、教材体系等方面深化教学改革的共识。这正是形成上述本书编写体系和内容的基础,同时,也是本书作者群体由多所院校合作组成的来由。为此,编写组谨向关心和支持本书编写的国内广大同仁,各有关学校、课委会、研究会致以深切的谢意。

经评审,本书被列为“面向 21 世纪课程教材”,并列入普通高等教育“十五”国家级教材规划。

参加本书编写的有浙江大学倪光正、华北电力大学崔翔、西安交通大学邱捷、西安石油学院晁立东以及浙江大学杨仕友、熊素铭、李玉玲等同志,由倪光正主编。本书初稿承马信山、钱秀英教授初审,其后,马信山教授还对本书定稿仔细审阅,提出了很多宝贵的意见和建议。此外,钱金根、张鸣柳同志对本书的编写给予莫大的关心和支持。谨在此一并致以衷心的感谢。作者还要感谢高等教育出版社对本书出版的全力支持。

限于作者的能力和水平,书中不够完善乃至缺点和错误之处,敬请使用本书的师生和广大读者批评指正。

《工程电磁场原理》编写组

2002 年 3 月

# 常用物理量的符号与 SI 单位

符 号	量的名称	单 位
$A$	矢量磁位(磁矢位,磁矢势)	Wb/m
$B$	磁通[量]密度或磁感应强度	T
$C$	电容	F
$D$	电位移,电通[量]密度	C/m <sup>2</sup>
$d$	电磁波在有损媒质中的透入深度	m
$E$	电场强度	V/m(N/C)
$e$	①电子的电荷量( $1.60217733 \times 10^{-19}$ C)	C
	②感应电动势	V
$e_x$	$x$ 轴方向的单位矢量	
$e_y$	$y$ 轴方向单位矢量	
$e_z$	$z$ 轴方向单位矢量	
$e_n$	法向单位矢量	
$F$	力	N
	矢量函数的数学表达式	
$f$	频率	Hz
$f_c$	波导的截止频率	Hz
$G$	电导	1/ $\Omega$ (S)
$H$	磁场强度	A/m
$i, I$	电流	A
$J$	电流密度,面积电流	A/m <sup>2</sup>
$J_c$	传导电流密度	A/m <sup>2</sup>
$J_D$	位移电流密度	A/m <sup>2</sup>
$J_r$	运流电流密度	A/m <sup>2</sup>
$j$	虚数( $j^2 = -1$ )	
$K$	面电流密度	A/m
$k$	波矢量	rad/m
$k$	波数、相位系数	rad/m
$L$	电感、自感	H
$l$	长度、距离	m
$M$	磁化强度	A/m

符 号	量的名称	单 位
$M$	互感	H
$m$	磁偶极距	$A \cdot m^2$
$m$	质量	kg
$N$	线匝数	
$P$	电极化强度	$C/m^2$
$p$	电偶极距	$C \cdot m$
$Q, q$	电荷	C
$R$	源点与场点间的距离矢量	m
$R$	电阻	$\Omega$
	电磁波的反射系数	
$r$	场点的位置矢量(位矢)	m
$r'$	源点的位置矢量(位矢)	m
$r_{12}$	由点 1 指向点 2 的位矢	m
$r$	球坐标	m
$S$	坡印廷矢量	$W/m^2$
$S$	面积	$m^2$
$T$	力矩	$N \cdot m$
$T$	电磁波的透射系数	
	周期	s
$t$	时间	s
$\tan \delta$	损耗角的正切	
$U$	电压	V
$V$	体积	$m^3$
$v$	速度	m/s
$v$	相速	m/s
$W$	功、能	J
$W_e$	电场能量	J
$W_m$	磁场能量	J
$w'_e$	电场能量密度	$J/m^3$
$w'_m$	磁场能量密度	$J/m^3$
$x$	直角坐标	m
$y$	直角坐标	m
$Z$	阻抗	$\Omega$
$z$	直角坐标	m
$\epsilon$	介电常数	F/m
$\epsilon_r$	相对介电常数	
$\epsilon_0$	自由空间的介电常数( $8.85 \times 10^{-12}$ F/m)	F/m

符 号	量的名称	单 位
$\epsilon'$	复介电常数的实部	F/m
$\epsilon''$	复介电常数的虚部	F/m
$\bar{\epsilon}$	复介电常数	F/m
$\eta$	介质的特性阻抗	$\Omega$
$\eta_c$	有损媒质的特性阻抗	$\Omega$
$\theta$	球坐标	rad
$\lambda$	波长	m
$\lambda_c$	波导的截止波长	m
$\mu$	磁导率	H/m
$\mu_r$	相对磁导率	
$\mu_0$	自由空间的磁导率( $4\pi \times 10^{-7}$ H/m)	H/m
$\mu'$	复磁导率的实部	H/m
$\mu''$	复磁导率的虚部	H/m
$\bar{\mu}$	复磁导率	H/m
$\pi$	圆周率(3.1415926)	
$\rho$	电阻率	$\Omega \cdot m$
	电荷体密度	$C/m^3$
	圆柱坐标	m
$\sigma$	电荷面密度	$C/m^2$
$\tau$	电荷线密度	C/m
$\Phi$	磁通量	Wb
$\varphi$	电位	V
	动态标量位	V
$\varphi_m$	标量磁位	A
$\phi$	圆柱坐标或球坐标	rad
$\chi_c$	电极化率	
$\chi_m$	磁化率	
$\Psi, \psi$	磁链	Wb
$\omega$	角频率	rad/s



# 目 录

引言 .....	1
1. 电磁现象的研究·电磁场理论的建立 .....	1
2. 场的描述 .....	2
3. 电磁场学科与电磁场工程 .....	3
4. 课程体系与内容的考虑 .....	3
<b>第 1 章 电磁场的数学物理基础 .....</b>	<b>5</b>
1.1 电磁场物理模型的构成 .....	5
1.1.1 电磁场的基本物理量——源量和场量 .....	6
1.1.2 电磁场中的媒质及其电磁性能参数 .....	9
1.2 矢量分析 .....	11
1.2.1 矢量代数 .....	11
1.2.2 坐标系系统 .....	13
1.2.3 矢量积分 .....	14
1.2.4 标量场的梯度 .....	17
1.2.5 矢量场的散度 .....	19
1.2.6 矢量场的旋度 .....	21
1.3 场论基础 .....	23
1.3.1 散度定理 .....	23
1.3.2 斯托克斯定理 .....	24
1.3.3 无散场与无旋场 .....	25
1.3.4 亥姆霍兹定理 .....	27
1.4 电磁场的基本规律——麦克斯韦方程组 .....	29
1.4.1 电磁感应定律 .....	29
1.4.2 全电流定律 .....	33
1.4.3 麦克斯韦方程组 .....	35
<b>第 2 章 静态电磁场 I : 静电场 .....</b>	<b>38</b>
2.1 基本方程与场的特性 .....	38
2.1.1 静电场的基本方程 .....	39
2.1.2 真空中的高斯定理·静电场的有散性 .....	39
2.1.3 静电场的无旋性 .....	41
2.2 自由空间中的电场 .....	42

2.2.1	自由空间中的 $E$ 和 $\varphi$ .....	42
2.2.2	场分布;基于场量 $E$ 的分析 .....	44
2.2.3	场分布;基于位函数 $\varphi$ 的分析 .....	49
2.2.4	电场线和等位面(线) .....	52
2.3	导体和电介质 .....	55
2.3.1	静电场中的导体 .....	55
2.3.2	静电场中的电介质·电介质的极化 .....	56
2.4	电介质中的电场 .....	59
2.4.1	电介质中的高斯定理 .....	59
2.4.2	介电常数·击穿场强 .....	60
2.4.3	不同媒质分界面上的边界条件 .....	64
2.5	边值问题 .....	69
2.5.1	数学模型——边值问题 .....	69
2.5.2	直接积分法 .....	71
2.5.3	分离变量法 .....	73
2.5.4	静电场解的惟一性 .....	79
2.6	镜像法 .....	81
2.6.1	点电荷与无限大接地导电平面系统的电场 .....	81
2.6.2	电轴与无限大接地导电平面系统的电场 .....	83
2.6.3	电轴法 .....	85
2.6.4	点电荷与无限大介质平面系统的电场 .....	88
2.6.5	点电荷与导体球系统的电场 .....	89
2.7	电容·部分电容 .....	92
2.7.1	两导体系统的电容 .....	93
2.7.2	多导体系统的电荷与电位·部分电容 .....	94
2.7.3	静电屏蔽 .....	98
2.8	静电场能量 .....	98
2.8.1	带电体系统中的静电场能量 .....	99
2.8.2	静电能量的分布及其分布密度 .....	100
2.9	电场力 .....	102
	习题 .....	105
<b>第3章</b>	<b>静态电磁场Ⅱ:恒定电流的电场和磁场</b> .....	<b>112</b>
3.1	恒定电场的基本方程与场的特性 .....	112
3.1.1	恒定电场的基本方程·无散、无旋场 .....	113
3.1.2	电功率·电动势 .....	114
3.1.3	不同媒质分界面上的边界条件 .....	116
3.2	恒定电场与静电场的比拟·接地系统 .....	118

3.2.1	静电比拟	118
3.2.2	接地电阻	121
3.2.3	跨步电压	123
3.3	恒定磁场的基本方程与场的特性	124
3.3.1	恒定磁场的基本方程	125
3.3.2	真空中的安培环路定律·恒定磁场的有旋性	125
3.3.3	磁通连续性原理·恒定磁场的无散性	126
3.3.4	毕奥-萨伐尔定律	126
3.4	自由空间中的磁场	128
3.4.1	场分布:基于场量 $\mathbf{B}$ 的分析	128
3.4.2	场分布:基于矢量磁位 $\mathbf{A}$ 的分析	135
3.4.3	场分布:基于标量磁位 $\varphi_m$ 的分析	140
3.4.4	磁场线	144
3.5	媒质中的磁场	146
3.5.1	媒质磁化	146
3.5.2	磁场强度 $\mathbf{H}$ ·一般形式的安培环路定律	149
3.5.3	不同媒质分界面上的边界条件	151
3.5.4	场分布:基于场量 $\mathbf{H}$ 的分析;边值问题;镜像法	153
3.6	电感	158
3.6.1	自感	159
3.6.2	互感	162
3.6.3	线形回路的电感	163
3.7	磁场能量	166
3.7.1	载流回路系统中的磁场能量	166
3.7.2	磁场能量的分布及其分布密度	168
3.8	磁场力	170
	习题	174
<b>第4章</b>	<b>准静态电磁场</b>	<b>181</b>
4.1	准静态电磁场	181
4.1.1	电准静态场	181
4.1.2	磁准静态场	182
4.1.3	不同媒质分界面上的边界条件	185
4.1.4	时谐电磁场的复数表示	186
4.2	导电媒质中自由电荷的弛豫过程	187
4.2.1	均匀导电媒质中的电荷弛豫	187
4.2.2	分块均匀导电媒质中的电荷弛豫	188
4.3	集肤效应与透入深度·电磁屏蔽	190

4.3.1	集肤效应与透入深度	190
4.3.2	电磁屏蔽	193
4.4	涡流及其应用	194
4.4.1	铁心叠片中的涡流	194
4.4.2	涡流的工业应用	196
4.5	导电媒质中的磁扩散·磁屏蔽	198
4.5.1	轴向磁场向导体壳内的扩散	198
4.5.2	横向磁场向导体壳内的扩散	200
4.5.3	磁屏蔽	202
	习题	205
<b>第5章</b>	<b>动态电磁场与电磁波</b>	<b>207</b>
5.1	动态电磁场	207
5.1.1	动态电磁场的边界条件	208
5.1.2	有损媒质的复数表示	210
5.2	电磁场能量·坡印廷定理	211
5.3	电磁位	214
5.3.1	电磁位·洛伦兹规范	214
5.3.2	非齐次波动方程	215
5.3.3	电磁位的积分解	216
5.4	电磁辐射	220
5.4.1	电偶极子的电磁场	220
5.4.2	近场与远场	221
5.4.3	方向图	222
5.4.4	线天线与天线阵	224
5.4.5	天线的互易性	228
5.4.6	电磁波频谱	229
5.5	理想介质中的均匀平面电磁波	230
5.5.1	波动方程及其解	231
5.5.2	均匀平面电磁波的物理意义	232
5.5.3	波矢量	233
5.6	均匀平面电磁波的反射与透射	235
5.6.1	反射定律与透射定律	236
5.6.2	反射系数与透射系数	237
5.6.3	垂直入射电磁波的反射与透射	239
5.7	琼斯矢量和琼斯矩阵	245
5.7.1	琼斯矢量	245
5.7.2	波的极化	245

5.7.3	琼斯矩阵	248
5.7.4	均匀平面电磁波在各向异性介质中的传播	249
5.8	有损媒质中的均匀平面电磁波	252
5.8.1	波动方程及其解	252
5.8.2	传播系数与波阻抗	253
5.8.3	低损耗介质情况	254
5.8.4	良导体情况	254
5.9	导引电磁波	256
5.9.1	非均匀平面电磁波	257
5.9.2	平行板波导	258
5.9.3	矩形波导与谐振腔	264
	习题	268
<b>第6章</b>	<b>工程电磁场应用专题</b>	<b>271</b>
6.1	电磁场数值分析	271
6.1.1	电磁场数值分析的任务和内容	271
6.1.2	有限元法	273
6.1.3	时域有限差分法	277
6.1.4	优化模拟电荷法	282
6.2	电磁场逆问题	283
6.2.1	优化算法	283
6.2.2	参数计算与模型接口问题	284
6.2.3	其他相关问题	284
6.2.4	计算实例	285
6.3	优化算法及其在电磁场逆问题中的应用	288
6.3.1	模拟退火算法	288
6.3.2	禁忌算法	290
6.3.3	基因(遗传)算法	291
6.3.4	计算实例	293
6.3.5	矢量优化算法	296
6.4	电磁探测	298
6.4.1	电法勘探	298
6.4.2	电法测井	301
6.4.3	感应测井	303
6.4.4	探地雷达	307
6.5	电磁环境与电磁兼容技术	311
6.5.1	电磁环境与电磁干扰源	311
6.5.2	电磁干扰的传播途径	312

6.5.3 电磁干扰的抑制技术	313
6.5.4 电磁兼容测量场所	314
6.5.5 电磁兼容标准	317
6.6 生物电磁场	317
6.6.1 生物系统的电磁特性	317
6.6.2 人体电磁场	318
6.6.3 应用概况	319
6.7 磁悬浮技术	320
6.8 电场和磁场的光学测量法	324
6.8.1 电场强度的测量	324
6.8.2 磁感应强度的测量	326
6.8.3 测量信号的检测	327
附录一 坐标系统	330
附录二 矢量分析公式	333
附录三 部分材料的参数和物理常数	336
习题参考答案	339
索引	348
参考书目	353

# 引 言

## 1. 电磁现象的研究·电磁场理论的建立

18世纪以来,基于电磁现象的实验研究,确立了静电的库仑定律,电路的欧姆定律,电流之间相互作用的安培定律,以及法拉第的电磁感应定律等经典物理学的伟大成就。在这一系列科学实验的基础上,人们普遍接受了电磁场的实验事实,但是,电磁场在物理概念上的正确描述却依然同步于人类文明史的进程,经过不同观念和思想的对立与争论,才实现了从“超距作用”论到“场”论的划时代的进展。

英国物理学家法拉第(M. Faraday, 1791—1867)指出,任何相互作用都不可能是超距的,而应通过某种媒质来传递。在他看来,在电荷、电流或磁体周围存在着一种被他称为“场”的物质,正是这种“场”传递着电或磁的作用。他还进一步把这种看不见、摸不着的“场”用“场线”给出形象化的描绘,提出了“电场线”和“磁场线”的概念。法拉第对电磁现象所提出的“场”及其“场线”的概念被公认为物理学中开创性的见解。

在继承和发展法拉第科学论断的基础上,英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)以其深厚的数学根基和高超的逻辑推理能力,将场、场线与流体、流线相类比,即把正、负电荷比作流体的源与汇;电场线比作流线;电场强度比作流速等,引用流体力学的数学方法来描写电场与磁场。这样,通过电磁场空间相邻各点之间场的变化的描述,1865年麦克斯韦将安培环路定律、电磁感应定律、磁通连续性原理和高斯定律应用于空间的微分元素上,并引入位移电流概念,使相互激励的电场和磁场形成不可分割的统一体——电磁场,其基本规律由精辟的数学语言表达为四个微分方程式,这就是著名的麦克斯韦电磁场方程组。

微分形式的麦克斯韦方程组在概括全部已有的电磁场实验事实的基础上,给出了电磁场空间分布和随时间变化的全部规律。麦克斯韦并由此推导出电磁场传播的波动方程,证明电磁波的传播速度正是光速。因此,他不仅判定光也是

---

\* 也称电力线。  
\*\* 也称磁力线。

“以波动形式按电磁波规律传播的一种电磁振动”，还预言了电磁振荡能够产生各种波长的电磁波。1886年德国物理学家赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)通过实验证明了电磁波的存在，并且表明电磁波具有与光相同的反射、折射、散射等性质。这一发现直接导致无线电通信的发明，为无线电技术开辟了广阔天地。由此以麦克斯韦方程组为核心建立了宏观的电磁场理论体系。

在随后近百年科学技术的进展中，人类对客观世界的认识，又延伸进入到爱因斯坦相对论和量子论的范畴，实践证明，无论在高速运动或微观世界的条件下，麦克斯韦方程组依然正确。因此，事实上，正是麦克斯韦方程组奠定了我们学习电磁场理论并实践于工程应用的基础。

## 2. 场的描述

从一般性的角度来讨论各类物理场时，关于场的定义，基于物理本质，场可被描述为“遍及一个被界定的或无限扩展的空间内，存在着某种必须予以重视、研究的效应”。例如，对应于自然界的热、电、磁和地球引力等效应，就分别存在有众所周知的温度场、电场、磁场和重力场等。而从数学意义上理解，则场也可被描述为“给定区域内各点数值的集合，并由此规定了该区域内某一特定量的特性”。因此，在引入相应特定物理量(例如，温度  $T$ 、电场强度  $E$ 、磁感应强度  $B$  和地球引力  $F$  等)的基础上，应用数学语言，可将前述的温度场、电场、磁场和重力场分别表示为相应的函数  $T(x, y, z, t)$ 、 $E(x, y, z, t)$ 、 $B(x, y, z, t)$  和  $F(x, y, z, t)$ 。这些函数关系分别描述了相应物理量关于空间坐标变量  $(x, y, z)$  和时间变量  $t$  的依从关系。

对于电磁场，如上所述，从数学与物理意义相结合的角度理解，它是一个空间分布量，既可以是与时间相关的时变电磁场；也可以是与时间无关的静态电磁场。麦克斯韦方程组指出，时变的电场伴随着磁场，反之亦然。换句话说，时变的电场和磁场相互依赖和制约，形成合一的时变电磁场。显然，从电磁场的基本场量——电场强度  $E$ 、磁感应强度  $B$  出发，时变电磁场涉及的是三维空间内随时间变化的矢量场，即  $E(x, y, z, t)$  和  $B(x, y, z, t)$ 。在特定条件下，如同赫兹实验，时变电磁场将产生波，从电磁场源辐射出去。此时，在研究时变电磁场时，电磁场与电磁波的数学描述归结为同一的矢量场函数。对于静态电磁场，其单一的电场或磁场效应将分别表述为三维空间的矢量场，即  $E(x, y, z)$  或  $B(x, y, z)$ 。

应该指出，宏观电磁理论所研究的问题都是相对于分子的线度的大尺度问题。换句话说，在这种宏观尺度下，一块“无限小”的体积(即任一场点上)将能包含大量的分子，所以由此所论的任何场的效应都应是相应大量分子的总效应。正是在这种尺度下，物体可看成是“连续”的——在数量(体积或质量)上无论怎



样细分,也不出现质的变化,而场则可看作为具有某种电磁性质的连续空间,进入物体且与之重合。因此,物理上,宏观电磁理论也称作“连续媒质电动力学”。

### 3. 电磁场学科与电磁场工程

电磁场理论是在物理电磁学的基础上,进一步研究宏观电磁现象和电磁过程的基本规律及其分析计算方法。它作为一门重要的技术基础学科,不仅是日趋发展的电工、电子和信息技术的理论基础,而且也是旁及军事、生态、医疗、天文、地质等众多领域新技术理论的生长点。当前,现代科学技术发展日益呈现出各学科间的相互交叉、渗透,工程技术日趋综合集成化的特点,这又进一步推动了电磁场学科的发展,并为电磁场理论的工程应用提供了更为广阔的空间。

世纪之交,人类物质文明的发展速度举世瞩目,其根本原因之一在于“科学技术是第一生产力”,它是经济和社会发展的主要推动力量。同样,在一切与电磁效应相关的领域中,电磁理论是理解近代技术,发展并实现新的科学成果,即高新技术的必不可少的知识本源。如前所述,1831年法拉第发现并确立电磁感应定律,开创了人类应用电力,实现电气化的新纪元;1865年麦克斯韦奠定了宏观电磁理论的基础,预言了电磁波的存在,展示了当今信息时代的前景。就本课程学习而言,基于宏观电磁理论,结合总结一百多年来应用电磁技术的发展进程,可以断言,以电磁场的有效控制和利用为基点,各种电磁场工程问题的提出为我们学习、理解电磁场理论知识,并具备分析和解决实际工程电磁场问题的能力开拓了极为宽广的天地。例如,当代电气工程领域中,从旋转电机到静止式的各类电磁装置,日益发展的大容量、超高压等新技术,必然伴随着高能量密度需求的运行工况,从而过热、振动、损耗等一系列与电磁场相关的工程问题的提出,首先聚焦于优化设计的研究课题,而这就推动着电磁场数值计算及其逆问题的分析研究,开始迈上工程实用的阶段;又如,雷达、卫星通信、电视接收、遥感、遥测和遥控、射电天文学等新技术的发展,无一不对基于电磁场与电磁波机理的天线、微波技术提出了一系列的研究课题。因此,以宏观电磁理论为基础,电磁场工程技术在以电磁能量或信息的传输、转换过程为核心的强电与弱电领域中,充分显示其重要作用。而且发展至今,电磁场工程技术与其他相关学科的工程技术相互融合,生成了许多新技术。例如,电磁兼容、生物电磁场机理及其电磁医疗、无损探伤、磁悬浮、超导储能技术等。

### 4. 课程体系与内容的考虑

综上所述,电磁场理论体系完整、内蕴丰富。为了从知识传授与人才培养的基点上,适应现代科学技术对“电磁场”课程提出的需求,本书在体系上力求突出强电与弱电的结合;电磁理论与工程实践的结合;以及电磁理论与相关学科交