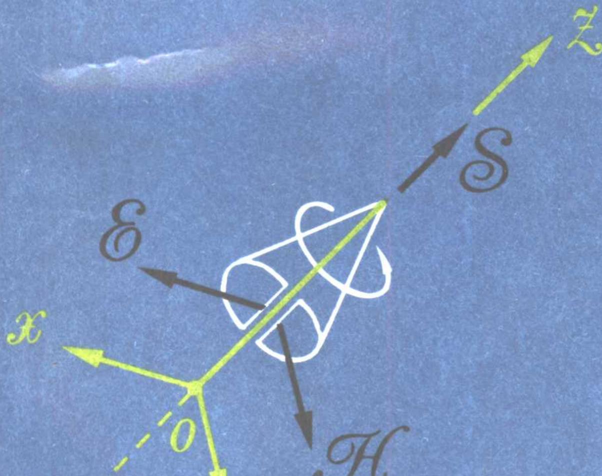
电磁场理论

焦其祥
王道东 编



北京邮电学院出版社

电磁场理论

焦其祥
王道东　编

北京邮电学院出版社

(京)新登字 162 号

电磁场理论

作　　者：焦其祥　王道东
责任编辑：王守平

北京邮电学院出版社出版
新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售
北京建新印刷厂印刷

*

850×1168 毫米　1/32　印张 14.75 字数 378 千字
1994 年 12 月第一版　　1997 年 7 月第二次印刷
印数：1801—4800 册
ISBN 7-5635-0187-8/TN・67　　定价：14.00 元

图书在版编目(CIP)数据

电磁场理论/焦其祥,王道东编.—北京:北京邮电学院出版社,1994.10

ISBN 7-5635-0187-8

I. 电… Ⅱ. ① 焦… ② 王… Ⅲ. 电磁场-理论 Ⅳ. ① 0441.4 ② TM15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 10802 号

内 容 简 介

本教材是参照国家教委电磁场理论指导组制定的大纲要求编写的。在取材与深度上,注意到与大学物理及高等数学的衔接。取材广泛、内容丰富、深度适中。在叙述上,注意由浅入深,循序渐进,并注重数学与物理概念的结合,介绍分析问题的方法、思路。书中还配有近百道例题,有助于读者自学。

本教材适用于电子、通信类专业,以及微波专业的大学生,也可作为有关教学及工程技术人员的参考书。

前　言

电磁场理论是一门专业基础学科，它深刻地揭示了电磁现象的基本规律，其理论性、系统性很强，逻辑严谨。学习这门课程不仅有助于对电磁规律的进一步理解，而且有助于培养正确的思维方法及提高分析和思考问题的能力。

电磁场理论和其它不少学科具有相通之处，如重力场、应力场、热力场等都存在某些与电磁场性质相像的地方，存在着某些相同的数学模型。电磁波与其它学科领域的波（如声波等）也存在着不少相似之处。学习电磁场理论有助于加深对其它学科的理解，特别是对于电信、电子类专业，关系就更为密切更为直接。电磁场理论又是一些不同学科领域的交叉点，移动通信、卫星通信、微波通信、光纤通信、雷达、广播、电视等专门的学科，无一不是以电磁波携带信息的方式来实现的。

作为一名合格的电信、电子类专业的大学生，应该学好电磁场理论这门课。

本教材是参照国家教委电磁场理论指导组所制定的教学大纲，按照电磁场理论的系统性，根据无线电工程、电信工程、电子工程等专业的基本要求，以及作者在教学科研中的体会而选定其内容的，书中配有近百道例题，以期帮助读者提高分析问题的能力。

本书共分十章，前三章由王道东执笔，后七章由焦其祥执笔，全书由焦其祥主编。

编写本教材得到了我院无线电工程系领导和电磁场理论教研室老师们的支持，尤其得到了叶培大教授的关心和支持，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平及经验所限，诚恳希望同行和读者对其中的不妥之处给以指正。

作　者　1992.2于北京邮电学院

再版前言

本教材借此次再版之机，更正了第一版中所出现的差错。感谢同行们的帮助和支持。

作　者

1997.5 于北京邮电大学

主要符号表

符　号	名　　称	单　位
$\boldsymbol{E}$	电场强度	V/m(伏特/米)
$\boldsymbol{H}$	磁场强度	A/m(安培/米)
$\boldsymbol{D}$	电位移(电通量密度)	C/m^2(库仑/米^2)
$\boldsymbol{B}$	磁感应强度(磁通量密度)	T(特斯拉)
Φ	电位	V(伏特)
Ψ_e	电通量	C(库仑)
Ψ_m	磁通量	Wb(韦伯)
$\boldsymbol{A}$	矢量磁位	Wb/m(韦伯/米)
ρ_l	线电荷密度	C/m(库仑/米)
ρ_S	面电荷密度	C/m^2(库仑/米^2)
ρ	体电荷密度	C/m^3(库仑/米^3)
n	折射率	/
R	反射系数	/
T	传输系数	/
L_0	单位长度的(馈线)电感	H/m(亨利/米)
C_0	单位长度的(馈线)电容	F/m(法拉/米)
$\boldsymbol{F}$	力	N(牛顿)
$\boldsymbol{T}$	力矩	N·m(牛顿·米)
w_e	电场能量密度	J/m^3(焦耳/米^3)
w_m	磁场能量密度	J/m^3(焦耳/米^3)
$\boldsymbol{S}$	功率密度(坡印廷矢量)	W/m^2(瓦特/米^2)
$\boldsymbol{J}_S$	面电流密度	A/m(安培/米)
$\boldsymbol{J}$	电流密度	A/m^2(安培/米^2)
γ	传播常数	1/m(1/米)

符　号	名　　称	单　位
α	衰减常数	Np/m,dB/m (奈培/米,分贝/米)
β	相移常数	rad/m(弧度/米)
k	波数;(TEM)相移常数	rad/m(弧度/米)
η	(TEM 波)波阻抗	Ω(欧姆)
η_0	真空中 TEM 波波阻抗	Ω(欧姆)
$Z_{W(TE)}$	TE 波波阻抗	Ω(欧姆)
$Z_{W(TM)}$	TM 波波阻抗	Ω(欧姆)
Z_C	特性阻抗	Ω(欧姆)
Z_S	表面阻抗	Ω(欧姆)
R_S	表面电阻	Ω(欧姆)
X_S	表面电抗	Ω(欧姆)
R_r	辐射电阻	Ω(欧姆)
λ	波长	m(米)
λ_0	真空中波长	m(米)
λ_g	波导波长	m(米)
λ_c	截止波长	m(米)
ε'	复数介电常数	/
$\boldsymbol{p}$	电偶极矩	C·m(库仑·米)
$\boldsymbol{m}_0$	磁偶极矩	A·m^2(安培·米^2)

一些常用常数

$c \approx 3 \times 10^{8}$ m/s	光速(真空)
$\varepsilon_0 \approx \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$ F/m	介电常数(真空)
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m	导磁率(真空)
$e = -1.602 \times 10^{-19}$ C	电子的电荷量
$m_e = 9.107 \times 10^{-31}$ kg	电子的静止质量
$R_e = 2.81 \times 10^{-15}$ m	电子半径
$m_p = 1.673 \times 10^{-27}$ kg	质子的静止质量
$\sigma_{银} = 6.17 \times 10^{7}$ S/m	电导率(银)
$\sigma_{铜} = 5.80 \times 10^{7}$ S/m	电导率(铜)
$\sigma_{金} = 4.10 \times 10^{7}$ S/m	电导率(金)
$\sigma_{铝} = 3.54 \times 10^{7}$ S/m	电导率(铝)
$\sigma_{黄铜} = 1.57 \times 10^{7}$ S/m	电导率(黄铜)
$\sigma_{铁} = 1.00 \times 10^{7}$ S/m	电导率(铁)
6.6237×10^{-34} J·s(焦耳·秒)	普朗克常数
1.38×10^{-23} J/K(焦耳/绝对温度)	玻尔兹曼常数

直角坐标系、圆柱坐标系、球坐标系单位矢量之间的转换

直角坐标系	圆柱坐标系	球坐标系
$\mathbf{e}_X$	$=\cos\Phi\ \mathbf{e}_r-\sin\Phi\ \mathbf{e}_\varphi$	$=\sin\theta\cos\Phi\ \mathbf{e}_r+\cos\theta\cos\Phi\ \mathbf{e}_\theta-\sin\Phi\ \mathbf{e}_\varphi$
$\mathbf{e}_Y$	$=\sin\Phi\ \mathbf{e}_r+\cos\Phi\ \mathbf{e}_\varphi$	$=\sin\theta\sin\Phi\ \mathbf{e}_r+\cos\theta\sin\Phi\ \mathbf{e}_\theta+\cos\Phi\ \mathbf{e}_\varphi$
$\mathbf{e}_Z$	$=\mathbf{e}_Z$	$=\cos\theta\ \mathbf{e}_r-\sin\theta\ \mathbf{e}_\theta$

圆柱坐标系	直角坐标系	球坐标系
$\mathbf{e}_r$	$=\cos\Phi\ \mathbf{e}_X+\sin\Phi\ \mathbf{e}_Y$	$=\sin\theta\ \mathbf{e}_r+\cos\theta\ \mathbf{e}_\theta$
$\mathbf{e}_\Phi$	$=-\sin\Phi\ \mathbf{e}_X+\cos\Phi\ \mathbf{e}_Y$	$=\mathbf{e}_\Phi$
$\mathbf{e}_Z$	$=\mathbf{e}_Z$	$=\cos\theta\ \mathbf{e}_r-\sin\theta\ \mathbf{e}_\theta$

球坐标系	直角坐标系	圆柱坐标系
$\mathbf{e}_r$	$=\sin\theta\cos\Phi\ \mathbf{e}_X+\sin\theta\sin\Phi\ \mathbf{e}_Y+\cos\theta\ \mathbf{e}_Z$	$=\sin\theta\ \mathbf{e}_r+\cos\theta\ \mathbf{e}_Z$
$\mathbf{e}_\theta$	$=\cos\theta\cos\Phi\ \mathbf{e}_X+\cos\theta\sin\Phi\ \mathbf{e}_Y-\sin\theta\ \mathbf{e}_Z$	$=\cos\theta\ \mathbf{e}_r-\sin\theta\ \mathbf{e}_Z$
$\mathbf{e}_\Phi$	$=-\sin\theta\ \mathbf{e}_X+\cos\Phi\ \mathbf{e}_Y$	$=\mathbf{e}_\Phi$

直角坐标系、圆柱坐标系、球坐标系坐标变量之间的转换

直角坐标系	圆柱坐标系	球坐标系
X	$=r\cos\Phi$	$=r\sin\theta\cos\Phi$
Y	$=r\sin\Phi$	$=r\sin\theta\sin\Phi$
Z	$=Z$	$=r\cos\theta$

圆柱坐标系	直角坐标系	球坐标系
r	$=(x^2+y^2)^{1/2}$	$=r\sin\theta$
Φ	$=\mathrm{arctg}\ (y/x)$	$=\Phi$
Z	$=Z$	$=r\cos\theta$

球坐标系	直角坐标系	圆柱坐标系
r	$=(x^2+y^2+z^2)^{1/2}$	$=(r^2+z^2)^{1/2}$
θ	$=\arccos\ [z/(x^2+y^2+z^2)^{1/2}]$	$=\arccos\ [z/(r^2+z^2)^{1/2}]$
Φ	$=\mathrm{arccot}\ (x/y)$	$=\Phi$

梯度、散度、旋度及拉普拉斯方程表示式

直角坐标(X,Y,Z)

$$\nabla\Phi=\mathbf{e}_X\frac{\partial\Phi}{\partial x}+\mathbf{e}_Y\frac{\partial\Phi}{\partial y}+\mathbf{e}_Z\frac{\partial\Phi}{\partial z}$$

$$\nabla\cdot\boldsymbol{A}=\frac{\partial A_X}{\partial x}+\frac{\partial A_Y}{\partial y}+\frac{\partial A_Z}{\partial z}$$

$$\nabla\times\boldsymbol{A}=\mathbf{e}_X\left(\frac{\partial A_Z}{\partial y}-\frac{\partial A_Y}{\partial z}\right)+\mathbf{e}_Y\left(\frac{\partial A_X}{\partial z}-\frac{\partial A_Z}{\partial x}\right)+\mathbf{e}_Z\left(\frac{\partial A_Y}{\partial x}-\frac{\partial A_X}{\partial y}\right)$$

$$\nabla^2\Phi=\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}$$

圆柱坐标(r,Φ,Z)

$$\nabla\Phi=\mathbf{e}_r\frac{\partial\Phi}{\partial r}+\mathbf{e}_\varphi\frac{\partial\Phi}{r\partial\varphi}+\mathbf{e}_Z\frac{\partial\Phi}{\partial z}$$

$$\nabla\cdot\boldsymbol{A}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(rA_r)+\frac{\partial A_\Phi}{r\partial\varphi}+\frac{\partial A_Z}{\partial z}$$

$$\nabla\times\boldsymbol{A}=\mathbf{e}_r\left(\frac{\partial A_Z}{r\partial\varphi}-\frac{\partial A_\Phi}{\partial z}\right)+\mathbf{e}_\varphi\left(\frac{\partial A_r}{\partial z}-\frac{\partial A_Z}{\partial r}\right)+\mathbf{e}_Z\frac{1}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}(rA_\varphi)-\frac{\partial A_r}{\partial\varphi}\right]$$

$$\nabla^2\Phi=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial\Phi}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\Phi}{\partial\varphi^2}+\frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}$$

球坐标(r,θ,Φ)

$$\nabla\Phi=\mathbf{e}_r\frac{\partial\Phi}{\partial r}+\mathbf{e}_\theta\frac{\partial\Phi}{r\partial\theta}+\mathbf{e}_\varphi\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial\Phi}{\partial\varphi}$$

$$\nabla\cdot\boldsymbol{A}=\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(r^2A_r)+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}(A_\theta\sin\theta)+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial A_\Phi}{\partial\varphi}$$

$$\nabla\times\boldsymbol{A}=\mathbf{e}_r\frac{1}{r\sin\theta}\left[\frac{\partial}{\partial\theta}(A_\Phi\sin\theta)-\frac{\partial A_\theta}{\partial\varphi}\right]+\mathbf{e}_\theta\frac{1}{r}\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial A_r}{\partial\varphi}-\frac{\partial}{\partial r}(rA_\varphi)\right]$$
$$+\mathbf{e}_\varphi\frac{1}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}(rA_\theta)-\frac{\partial A_r}{\partial\theta}\right]$$

$$\nabla^2\Phi=\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\Phi}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\Phi}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2\Phi}{\partial\varphi^2}$$

矢量恒等式

$$\nabla\times\nabla\Phi=0$$

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

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

$$\nabla\cdot\nabla\Phi=\nabla^2\Phi$$

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

$$\nabla\times(\Phi\boldsymbol{A})=\Phi\nabla\times\boldsymbol{A}+\nabla\Phi\times\boldsymbol{A}$$

$$\nabla\cdot(\Phi\boldsymbol{A})=\Phi\nabla\cdot\boldsymbol{A}+\boldsymbol{A}\cdot\nabla\Phi$$

$$\nabla(\Phi_1\Phi_2)=\Phi_1\nabla\Phi_2+\Phi_2\nabla\Phi_1$$

$$\nabla(\Phi_1+\Phi_2)=\nabla\Phi_1+\nabla\Phi_2$$

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

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

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

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

$$\int_V\nabla\cdot\boldsymbol{A}\mathrm{d}V=\oint_S\boldsymbol{A}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S}$$ （高斯散度定理或散度定理）

$$\int_S\nabla\times\boldsymbol{A}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S}=\oint_l\boldsymbol{A}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l}$$ （斯托克斯定理）

目　录

第4章 边值型静态场问题的解法

第 5 章　交变电磁场

第 6 章　平面波在无界媒质中的传播

第7章 电磁波的反射与折射