942313

电磁场与微波技术

上册

罗惠萍 马冰然 编

O441.4
8054
1

华南理工大学出版社

电磁场与微波技术

（上　册）

罗惠萍　马冰然　编

华南理工大学出版社

内 容 简 介

本书内容包括：电磁场、电磁波与微波技术。全书共15章，分上下册出版。上册内容有：矢量分析，静电场，恒定电场，恒定磁场，静态场的解，交变电磁场，电磁波。下册内容有：长线理论，微波传输线，微波谐振腔，微波网络，微波元件，微波振荡源，微波测量及微波的应用。每章都附有一定数量的习题及其答案。

本书可作为高等院校无线电及电子类专业、以及成人高等教育有关专业的教材或参考书，也可供有关工程技术人员阅读参考。

电磁场与微波技术

（上册）

罗惠萍　马冰然　编

责任编辑　林焕

华南理工大学出版社出版发行

（广州·五山）

各地新华书店经销

韶关新华印刷厂印装

•

开本787×1092　1/32　印张10　字数225千

1991年6月第1版　1991年6月第1次印刷

印数1－3000

ISBN 7—5623—0255—3/TN·8(课)

定价：2.59元

前　言

电磁场理论是一门研究各类电磁现象内在规律的基本理论。

表现为电磁形式的能量和信息，具有便于产生、传送、量测、贮存、加工处理、控制及转化为其他能量和信息的特点，因此得到了广泛的应用。例如无线电类专业的通讯、广播、电视、雷达、遥感遥测等都离不开电磁波的产生、发射、传播和接收；元器件类专业的电子器件，则要求遵循电子在运动状态下的规律；电力类专业的电机、电器制造、高压工程等，则要运用电磁能量的转换、传输与控制。所有这些应用领域，无不以电磁场理论为基础，尤其在信息方面，如全息图象、遥感技术、光纤通讯、卫星通讯等，其应用更加广泛和深入。因此，在我国各高等院校及世界先进工业国的工科大学中，一般都把它作为电类专业的必修课。

电磁场理论是电类专业的共同基础和共同的生长点。不仅如此，它过去是、现在和将来仍将是边缘学科、交叉学科的孕育点。

这门课程的理论性较强、概念较抽象、应用的数学知识较多，因此，学习这门课程之前，应当具备大学物理和高等数学的扎实基础。

本书分上下两册。上册研究电磁场与电磁波，共七章，内容包括矢量分析、静电场、恒定电场、恒定磁场、静态场

的解、交变电磁场、平面电磁波。下册研究微波技术，共八章，内容包括长线理论、微波传输线、微波谐振腔、微波网络、微波元件、微波振荡源、微波测量、微波的应用。上下册的内容既前后衔接，又相对独立，可合并使用，也可单独使用。

由于篇幅及教学时数的限制，本书力求精选内容、突出重点，以加强基础理论，并反映最新理论和技术；在内容的安排及叙述上，力求由浅入深，循序渐进，通俗易懂；在概念与数学分析的关系上，既强调物理概念，也不回避必要的数学推理，使读者既能掌握正确的物理内涵，又能得到必要的数学逻辑思维和数学运算能力的培养。每章都选编了一定数量的习题并给出答案，以便于自学。

本书主要作为高等院校无线电与电子类专业应用的教材。若在内容上作适当的取舍也可作为不同层次、不同类型的电类专业的教材或参考书。

本书由李绪益担任主编。罗惠萍编写了上册的第一、二、三章，马冰然编写了上册的第四至第七章，林志编写了下册的第三至第七章，李绪益编写了下册的第一、二、八章及上、下册的附录。

本书的出版，得到了华南理工大学教务处、无线电工程系的领导，以及微波与天线教研室、物理电子教研室的同志们的大力支持和热情帮助，梁金义编写的讲义也给予有益的借鉴，在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，欢迎读者批评指正。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　录

第一章 矢量分析

1.1 三种常用的坐标系

为了考察某一物理量在空间的分布和变化规律，必须引入坐标系。而且，常常根据被研究物体的几何形状不同而采用不同的坐标系。在电磁场理论中，用得较多的是直角坐标系、圆柱坐标系和球坐标系。

任何描述三维空间的坐标系都要有三个独立的坐标变量u_1、u_2、u_3。而u_1、u_2、u_3均为常数时，就代表三组曲面(或平面)，称为坐标面。若三组坐标面在空间每一点正交，则坐标面的交线(一般是曲线)也在空间每点正交，这种坐标系叫做正交曲线坐标系。直角坐标系、圆柱坐标系和球坐标系是许多正交曲线坐标系中较常用的三种。

空间任一点M沿坐标面的三条交线方向各取的一个单位矢量，称为坐标单位矢量。它的模等于1并以各坐标变量正的增加方向作为正方向。一个正交曲线坐标系的坐标单位矢量相互正交并满足右手螺旋法则。

1.1.1 直角坐标系

直角坐标系中的三个坐标变量是x、y、z。它们的变化

范围是

$$-\infty<x<\infty,\quad -\infty<y<\infty,\quad -\infty<z<\infty$$

点$M(x_1,\ y_1,\ z_1)$是三个平面$x=x_1$、$y=y_1$和$z=z_1$的交点，如图1.1所示．过空间点$M(x_1,\ y_1,\ z_1)$的坐标单位

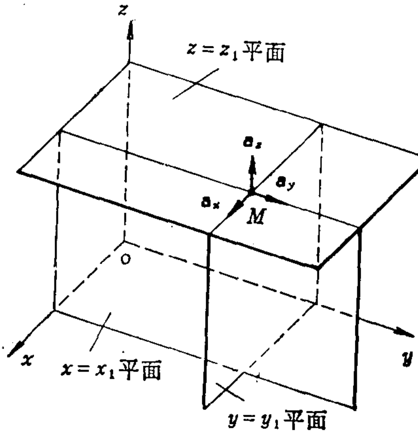

图1.1　直角坐标系

矢量记为$\boldsymbol{a}_x$，$\boldsymbol{a}_y$，$\boldsymbol{a}_z$．它们相互正交，而且遵循右手螺旋法则：

$$\left.\begin{aligned}\boldsymbol{a}_x\times\boldsymbol{a}_y&=\boldsymbol{a}_z\\ \boldsymbol{a}_y\times\boldsymbol{a}_z&=\boldsymbol{a}_x\\ \boldsymbol{a}_z\times\boldsymbol{a}_x&=\boldsymbol{a}_y\end{aligned}\right\}\tag{1.1}$$

$\boldsymbol{a}_x$，$\boldsymbol{a}_y$，$\boldsymbol{a}_z$的方向不随M点位置的变化而变化，这是直角坐标系的一个很重要的特征．在直角坐标系内的任一矢量$\boldsymbol{A}$可以表示为

$$A=\boldsymbol{a}_xA_x+\boldsymbol{a}_yA_y+\boldsymbol{a}_zA_z\tag{1.2}$$

式中A_x、A_y、A_z分别是矢量$\boldsymbol{A}$在$\boldsymbol{a}_x$,$\boldsymbol{a}_y$,$\boldsymbol{a}_z$方向上的投影．

在图1.2中，由点$M(x,\ y,\ z)$沿$\boldsymbol{a}_x$，$\boldsymbol{a}_y$，$\boldsymbol{a}_z$方向分别

取微分长度元dx，dy，dz。由x，x+dx；y，y+dy；z，z+dz 这六个面决定一个直角六面体，它的各个面的面积元是：

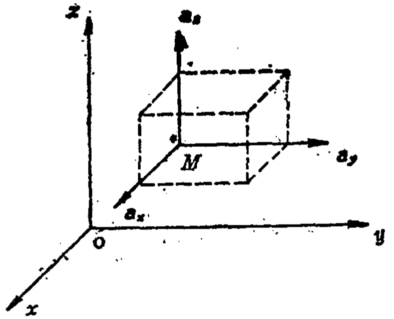

图1.2 直角坐标系中的单位矢量，长度元、面积元和体积元

$$\left.\begin{aligned} dS_x &= dydz \quad (\text{与}\boldsymbol{a}_x\text{垂直}) \\ dS_y &= dxdz \quad (\text{与}\boldsymbol{a}_y\text{垂直}) \\ dS_z &= dxdy \quad (\text{与}\boldsymbol{a}_z\text{垂直}) \end{aligned}\right\} \tag{1.3}$$

六面体的体积元是：

$$dV = dxdydz \tag{1.4}$$

1.1.2 柱 坐 标 系

柱坐标系中的三个坐标变量是 r，φ，z。与直角坐标系相同，也有一个 z 变量。各变量的变化范围是：

$$0 \leqslant r < \infty, \quad 0 \leqslant \varphi \leqslant 2\pi, \quad -\infty < z < \infty$$

在图1.3所示的坐标系中，点$M(r_1, \varphi_1, z_1)$是以下三个面的交点：

1.$r = r_1$，这是以 z 轴为轴线，以 r_1 为半径的圆柱面。r_1是M点到 z 轴的垂直距离。

2.$\varphi = \varphi_1$，这是以z轴为界的半平面。φ_1是xoz 平面与通

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

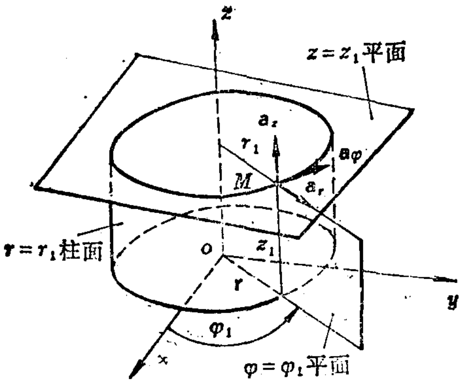

图1.3 圆柱坐标系

过M点的半平面之间的夹角。

3. $z=z_1$，这是与z轴垂直的平面。z_1是点M到xoy平面的垂直距离。

过空间点$M(r, \varphi, z)$的坐标单位矢量记为$\boldsymbol{a}_r$，$\boldsymbol{a}_\varphi$，$\boldsymbol{a}_z$。它们相互正交，而且遵循右手螺旋法则：

$$\left.\begin{aligned}\boldsymbol{a}_r\times\boldsymbol{a}_\varphi&=\boldsymbol{a}_z\\ \boldsymbol{a}_\varphi\times\boldsymbol{a}_z&=\boldsymbol{a}_r\\ \boldsymbol{a}_z\times\boldsymbol{a}_r&=\boldsymbol{a}_\varphi\end{aligned}\right\}\tag{1.5}$$

在柱坐标系中，除$\boldsymbol{a}_z$外，$\boldsymbol{a}_r$、$\boldsymbol{a}_\varphi$的方向都随M点位置的变化而变化，但三者之间总是保持上述的正交关系。在M点的任一矢量$\boldsymbol{A}$可表示为：

$$\boldsymbol{A}=\boldsymbol{a}_rA_r+\boldsymbol{a}_\varphi A_\varphi+\boldsymbol{a}_zA_z\tag{1.6}$$

式中A_r，A_φ，A_z分别是矢量$\boldsymbol{A}$在$\boldsymbol{a}_r$，$\boldsymbol{a}_\varphi$，$\boldsymbol{a}_z$方向上的投影。

如图1.4所示，在点$M(r, \varphi, z)$处沿$\boldsymbol{a}_r$，$\boldsymbol{a}_\varphi$，$\boldsymbol{a}_z$方向的长度元分别是：

$$\mathrm{d}l_r=\mathrm{d}r \qquad \mathrm{d}l_\varphi=r\mathrm{d}\varphi \qquad \mathrm{d}l_z=\mathrm{d}z$$

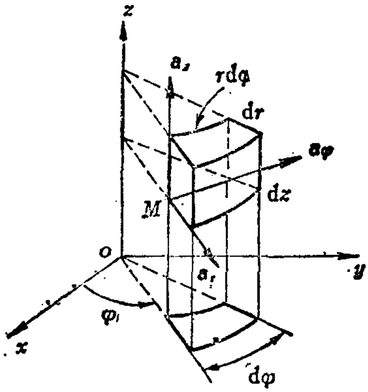

图1.4　柱面坐标系中的单位矢量，长度元、面积元和体积元

由 r，$r+\mathrm{d}r$；φ，$\varphi+\mathrm{d}\varphi$；$z$，$z+\mathrm{d}z$六个坐标曲面决定的六面体上的面积元为：

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{d}s_r &= \mathrm{d}l_\varphi \mathrm{d}l_z = r\mathrm{d}\varphi\mathrm{d}z \qquad &(\text{与}\boldsymbol{a}_r\text{垂直}) \\ \mathrm{d}s_\varphi &= \mathrm{d}l_r \mathrm{d}l_z = \mathrm{d}r\mathrm{d}z \qquad &(\text{与}\boldsymbol{a}_\varphi\text{垂直}) \\ \mathrm{d}s_z &= \mathrm{d}l_r \mathrm{d}l_\varphi = r\mathrm{d}r\mathrm{d}\varphi \qquad &(\text{与}\boldsymbol{a}_z\text{垂直}) \end{aligned}\right\} \tag{1.7}$$

这个六面体的体积元是：

$$\mathrm{d}v = \mathrm{d}l_r \mathrm{d}l_\varphi \mathrm{d}l_z = r\mathrm{d}r\mathrm{d}\varphi\mathrm{d}z \tag{1.8}$$

1.1.3　球 坐 标 系

球坐标系中的三个坐标变量是r，θ，φ。与柱坐标系相似，也有一个φ变量．它们的变化范围是：

$$0\leqslant r<\infty，\ 0\leqslant\theta\leqslant\pi，\ 0\leqslant\varphi\leqslant 2\pi$$

在球坐标中，点$M(r,\ \theta,\ \varphi,\ )$由下述三个面的交点所确定：

1．$r=r_1$，这是以原点为中心，以r_1为半径的球面。r_1是点M到原点的直线距离。

2.$\theta=\theta_1$，这是以原点为顶点，以z轴为轴线的圆锥面。θ_1是正向z轴与联线oM之间的夹角。

3.$\varphi=\varphi_1$，这是以z轴为界的半平面。φ_1是xoz平面与通过M点的半平面之间的夹角。坐标变量φ称为方位角，如图1.5所示。

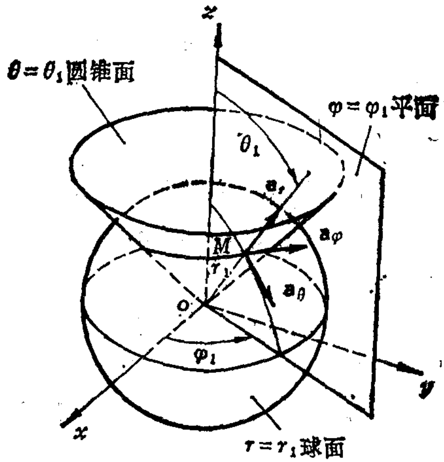

图1.5 球坐标系

在图1.6中，过空间任意点$M(r,\ \theta,\ \varphi)$的坐标单位矢量记为$\boldsymbol{a}_r$，$\boldsymbol{a}_\theta$，$\boldsymbol{a}_\varphi$。它们相互正交，而且遵循右手螺旋法则

$$\boldsymbol{a}_r\times\boldsymbol{a}_\theta=\boldsymbol{a}_\varphi \quad \boldsymbol{a}_\theta\times\boldsymbol{a}_\varphi=\boldsymbol{a}_r \quad \boldsymbol{a}_\varphi\times\boldsymbol{a}_r=\boldsymbol{a}_\theta \tag{1.9}$$

在球坐标系中，$\boldsymbol{a}_r$，$\boldsymbol{a}_\theta$，$\boldsymbol{a}_\varphi$的方向都因M点的位置变化而变化，但三者之间始终保持正交关系。在M点的任一矢量$\boldsymbol{A}$可表示为：

$$\boldsymbol{A}=\boldsymbol{a}_rA_r+\boldsymbol{a}_\theta A_\theta+\boldsymbol{a}_\varphi A_\varphi \tag{1.10}$$

式中A_r、A_θ、A_φ分别是矢量$\boldsymbol{A}$在$\boldsymbol{a}_r$，$\boldsymbol{a}_\theta$，$\boldsymbol{a}_\varphi$方向上的投影。

在点$M(r,\ \theta,\ \varphi)$沿$\boldsymbol{a}_r$，$\boldsymbol{a}_\theta$，$\boldsymbol{a}_\varphi$方向的长度元分别是：

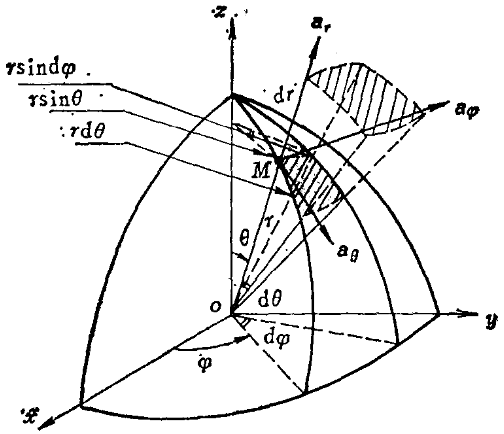

图1.6　球坐标系的单位矢量，长度元、面积元、体积元

$$dl_r = dr \quad dl_\theta = r d\theta \quad dl_\varphi = r\sin\theta d\varphi \tag{1.11}$$

由r，$r+dr$；θ，$\theta+d\theta$；φ，$\varphi+d\varphi$ 六个坐标面决定的六面体上的面积元是：

$$\left.\begin{aligned} ds_r &= dl_\theta dl_\varphi = r^2\sin\theta d\theta d\varphi \ (\text{与}\boldsymbol{a}_r\text{垂直}) \\ ds_\theta &= dl_r dl_\varphi = r\sin\theta dr d\varphi \ (\text{与}\boldsymbol{a}_\theta\text{垂直}) \\ ds_\varphi &= dl_r dl_\theta = r dr d\theta \ (\text{与}\boldsymbol{a}_\varphi\text{垂直}) \end{aligned}\right\} \tag{1.12}$$

这个六面体的体积元是：

$$dv = dl_r dl_\theta dl_\varphi = r^2\sin\theta dr d\theta d\varphi \tag{1.13}$$

1.1.4　三种坐标系的坐标变量之间的关系

为了区别球坐标与柱坐标中r变量及单位矢量$\boldsymbol{a}_r$，下面球坐标中的变量r及单位矢量$\boldsymbol{a}_r$暂用R及$\boldsymbol{a}_R$代替.

由图1.7的几何关系，可以直接写出三种坐标系的坐标变量之间的关系。

1.直角坐标系与柱坐标系的关系

$$\begin{cases} x = r\cos\varphi & (1.14a) \\ y = r\sin\varphi & (1.14b) \\ z = z & (1.14c) \end{cases}$$

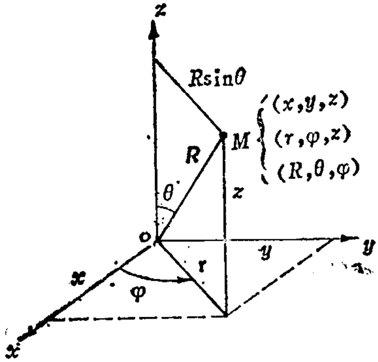

图1.7 三种坐标系的坐标变量之间的关系

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2+y^2} & (1.15a) \\ \varphi = \mathrm{tg}^{-1}\dfrac{y}{x} = \sin^{-1}\dfrac{y}{\sqrt{x^2+y^2}} = \cos^{-1}\dfrac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} & (1.15b) \\ z = z & (1.15c) \end{cases}$$

2.直角坐标系与球坐标系的关系

$$\begin{cases} x = R\sin\theta\ \cos\varphi & (1.16a) \\ y = R\sin\theta\ \sin\varphi & (1.16b) \\ z = R\cos\theta & (1.16c) \end{cases}$$

$$\begin{cases} R = \sqrt{x^2+y^2+z^2} & (1.17a) \\ \theta = \cos^{-1}\dfrac{z}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} = \sin^{-1}\dfrac{\sqrt{x^2+y^2}}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} & (1.17b) \\ \varphi = \mathrm{tg}^{-1}\dfrac{y}{x} = \sin^{-1}\dfrac{y}{\sqrt{x^2+y^2}} = \cos^{-1}\dfrac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} & (1.17c) \end{cases}$$

3.柱坐标系与球坐标系的关系

$$\begin{cases} r = R\sin\theta & (1.18a) \\ \varphi = \varphi & (1.18b) \\ z = R\cos\theta & (1.18c) \end{cases}$$

$$\begin{cases} R = \sqrt{r^2 + z^2} & (1.19a) \\ \theta = \sin^{-1}\dfrac{r}{\sqrt{r^2 + z^2}} = \cos^{-1}\dfrac{z}{\sqrt{r^2 + z^2}} & (1.19b) \\ \varphi = \varphi & (1.19) \end{cases}$$

1.1.5 三种坐标系的坐标单位矢量之间的关系

由于直角坐标系及柱坐标系都有一个 z 变量，因而有一个共同的坐标单位矢量 a_z，因此，这两种坐标系的坐标单位矢量及其关系可以用图1.8表示出来. 它们的坐标单位矢量之间的相互转换关系见表1.1.

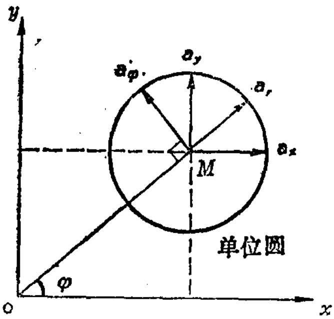

图1.8 直角坐标系和柱坐标系的坐标单位矢量及其关系

表1.1 直角坐标系与柱坐标系坐标单位矢量之间的转换关系

	a_x	a_y	a_z
a_r	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	0
a_φ	$-\sin\varphi$	$\cos\varphi$	0
a_z	0	0	1

例如，由柱坐标单位矢量求直角坐标单位矢量 a_x，可用

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com