

工科课程提高与应试丛书

ENGINEERING  
COURSE

# 电波传播

(电磁场·微波技术·天线)

高建平  
张述杰  
闫秀丽  
编

## 典型题解析

## 及自测试题

西北工业大学出版社

工科课程提高与应试丛书

# 电波传播

(电磁理论基础·微波技术·天线基础)

## 典型题解析及自测试题

西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本书对电子信息工程专业本科学生所学习的电磁场系列课程(电磁理论基础、微波技术、天线基础)中的基本概念、物理意义及分析方法进行了系统的概括与总结。全书共分两部分。第1部分分上篇、中篇、下篇,由18章组成,给出了各章的内容提要、重点与难点,列举了223道例题和313道习题。内容的难易程度分为两个层次,第一层为帮助学习者更快、更好、更准确地把握相关课程的基本要求,顺利地完成任务;第二层为帮助志在报考相关专业硕士研究生的本科(或同等水平)学生更准确地掌握相关课程的重点与难点,顺利地掌握典型题的求解思路、方法及技巧。第2部分给出3套自测试题,便于读者测试自己的学习水平。附录中给出了各章习题与自测试题的参考答案。鉴于书中所涉及内容具有理论性及工程实用性均较强的特点,本书对于从事相关专业的科技人员也有较高的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

电波传播典型题解析及自测试题/高建平,张述杰,闫秀丽编. —西安:西北工业大学出版社,2003.3

(工科课程提高与应试丛书)

ISBN 7-5612-1580-0

I. 电… II. ①高… ②张… ③闫… III. 电波传播-高等学校-解题 IV. TN011-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第082707号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072 电话:(029)8493844

网 址:www.nwpu.com

印刷者:陕西天元印务有限责任公司

开 本:850 mm×1 168 mm 1/32

印 张:20.75

字 数:529千字

版 次:2003年4月第1版 2003年4月第1次印刷

印 数:1~6 000册

定 价:26.00元

# 前 言

从事电磁场系列课程(电磁理论基础、微波技术、天线基础)教学工作 20 年来,我们深深地感到:该系列课程的理论性、工程实用性及相应的物理概念都很强,初学者很难掌握;学生在学习相关课程的过程中,对于有关习题的求解感到困难;在本科教学体制改革过程中,该系列课程的教学时数都有不同程度的缩减,造成在教学过程中对解题思路、方法及技巧的讲解偏少,更增加了学生学习的难度。编者凭多年的教学经验,在同行的启发与指导下,编写了本书,目的在于帮助学生在在学习本系列课程的过程中更快、更好、更准确地掌握课程的基本要求,顺利地完成任务;帮助志在报考相关专业硕士研究生的本科(或同等水平)学生更准确地掌握相关课程的重点与难点,顺利地掌握典型题的求解思路、方法及技巧。

本书分两部分。书中第 1 部分所列举的例题(223 道)和习题(313 道)基本覆盖了该系列课程的主要内容。例题(按难易程度)分为两类:一类(除典型题解析部分所涉及的例题之外)为基本题型——本科学生完成相关课程的学习所必须掌握的内容;另一类(典型题解析部分所列举的例题)为强化题型——报考相关专业硕士研究生的本科(或同等水平)学生应该掌握的内容。在典型题解析部分所列举的例题中,带“\*”号的例题为难度较大的内容,读者可根据具体情况选学。习题(按难易程度)也分为上述两类,虽未明确区分,但属强化题型的习题基本都给予适度的提示。

本书所列举的例题和习题,既考虑到理论方面的要求,也考虑到了工程实际的需要。编者期望本书对从事相关专业的科技人员也能有较高的参考价值。

在书后附录中给出了习题答案。所给的答案并非简单的结果,而是有目的地、分层次地、具有启发性地给出,读者可于学习中自行体会。

感谢西北工业大学出版社为编者提供了难得的机会。

本书由沈阳航空工业学院教师编写。张述杰执笔下篇(天线基础)内容,高建平执笔其余内容,并任主编,闫秀丽负责描绘全书的插图。

鉴于编者水平有限,加之时间仓促,书中会有不足之处,恳请各位同行和读者不吝指正。

编 者

2003 年元月

# 目 录

## 第 1 部分 巩固与练习

### 上篇 电磁理论基础

第 1 章 矢量分析	1
一、内容提要	1
二、重点与难点	21
三、典型题解析	22
习题	32
第 2 章 宏观电磁场的基本理论	36
一、内容提要	36
二、重点与难点	58
三、典型题解析	58
习题	66
第 3 章 静电场	70
一、内容提要	70
二、重点与难点	115

三、典型题解析 .....	116
习题 .....	141
<b>第 4 章 恒定电流的电场(恒定电场) .....</b>	<b>156</b>
一、内容提要 .....	156
二、重点与难点 .....	166
三、典型题解析 .....	167
习题 .....	177
<b>第 5 章 恒定电流的磁场(静磁场) .....</b>	<b>182</b>
一、内容提要 .....	182
二、重点与难点 .....	216
三、典型题解析 .....	216
习题 .....	231
<b>第 6 章 正弦均匀平面电磁波在单一媒质中的传播 .....</b>	<b>240</b>
一、内容提要 .....	240
二、重点与难点 .....	259
三、典型题解析 .....	260
习题 .....	265
<b>第 7 章 SUPW 的反射与折射 .....</b>	<b>268</b>
一、内容提要 .....	268
二、重点与难点 .....	294
三、典型题解析 .....	295
习题 .....	301

## 中篇 微波技术

<b>第 8 章 微波传输线</b> .....	307
一、内容提要 .....	307
二、重点与难点 .....	327
三、典型题解析 .....	327
习题 .....	333
<b>第 9 章 长线理论</b> .....	336
一、内容提要 .....	336
二、重点与难点 .....	361
三、典型题解析 .....	361
习题 .....	365
<b>第 10 章 长线的阻抗匹配</b> .....	371
一、内容提要 .....	371
二、重点与难点 .....	395
三、典型题解析 .....	396
习题 .....	403
<b>第 11 章 微波谐振腔</b> .....	407
一、内容提要 .....	407
二、重点与难点 .....	417
三、典型题解析 .....	418
习题 .....	422



<b>第 12 章 微波网络理论</b> .....	424
一、内容提要 .....	424
二、重点与难点 .....	447
三、典型题解析 .....	448
习题 .....	454
<b>第 13 章 微波定向耦合器</b> .....	459
一、内容提要 .....	459
二、重点与难点 .....	476
三、典型题解析 .....	476
习题 .....	481

## 下篇 天线基础

<b>第 14 章 电磁辐射的基础理论</b> .....	485
一、内容提要 .....	485
二、重点与难点 .....	503
三、典型题解析 .....	503
习题 .....	505
<b>第 15 章 天线的主要参数及互易定理</b> .....	508
一、内容提要 .....	508
二、重点与难点 .....	514
三、典型题解析 .....	515
习题 .....	518

---

<b>第 16 章 线天线的辐射</b> .....	520
一、内容提要 .....	520
二、重点与难点 .....	530
三、典型题解析 .....	531
习题 .....	536
<b>第 17 章 天线阵</b> .....	538
一、内容提要 .....	538
二、重点与难点 .....	554
三、典型题解析 .....	554
习题 .....	558
<b>第 18 章 面天线的辐射</b> .....	560
一、内容提要 .....	560
二、重点与难点 .....	587
三、典型题解析 .....	587
习题 .....	593

## 第 2 部分 自测试题

自测试题一 本科生期末考试题(电磁理论基础) .....	595
自测试题二 本科生期末考试题(微波技术、天线基础) .....	597
自测试题三 硕士研究生入学试题 (电磁理论基础、微波技术、天线基础) .....	599

---

附录 习题与自测试题答案·····	602
附录 1 习题答案·····	602
附录 2 自测试题答案·····	647
参考文献·····	652

# 第 1 部分 巩固与练习

## 上篇 电磁理论基础

### 第 1 章 矢量分析(限于实数域)

#### 一、内容提要

##### (一) 矢量的定义及基本概念

###### 1. 矢量的定义

矢量是既有大小又有方向且满足平行四边形法则的量(记为  $A, B, a, b, \dots$ )。

在图 1.1 中描述了矢量满足平行四边形法则的含意: $A$  和  $B$  之和等于以  $A$  和  $B$  为邻边所做的平行四边形(夹于  $A, B$  之间)的对角线。

###### 2. 矢量的模

矢量  $A$  的大小(或长度)称为  $A$  的模值(记为  $|A|$  或  $A$ ),它是一个正

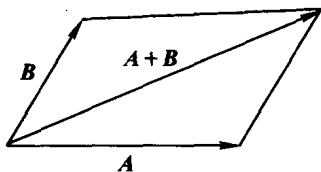


图 1.1 平行四边形法则

实数。

### 3. 矢量的相等

若矢量  $A$  与  $B$  的模值相等且  $A$  与  $B$  同方向, 则称  $A$  与  $B$  相等 (记为  $A = B$ )。

【注】若两矢量相等, 则平移一个矢量总可以与另一矢量重合。

### 4. 矢量的负

矢量  $A$  的负 (记为  $-A$ ) 是一个矢量, 其模值与  $A$  相等但方向相反。

### 5. 单位矢量

若矢量  $A$  的长度 (或模) 等于 1 (即  $A = 1$ ), 则称其为单位矢量 (记为  $\hat{A}$ )。

## (二) 矢量的(基本)运算规则

### 1. 矢量和

(1) 定义:  $A + B = C$  (见图 1.2), 把  $A$  的终端与  $B$  的始端置于一点时, 由  $A$  的始端指到  $B$  的终端的矢量  $C$  即为  $A$  与  $B$  的和。

(2) 性质:

$$1) A + B = B + A \quad (\text{交换律})$$

$$2) A + (B + D) = (A + B) + D \quad (\text{结合律})$$

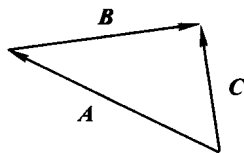


图 1.2 矢量和

### 2. 矢量乘标量

(1) 定义: 矢量  $A$  乘标量  $f$  的结果仍为矢量, 其大小为  $|f|A$ ; 其方向为  $\pm A$  的方向 ( $f \geq 0$ )。

(2) 性质:

$$1) fA = Af \quad (\text{交换律})$$

$$2) g(fA) = (gf)A \quad (\text{结合律})$$

$$3) f(A + B) = fA + fB \quad (\text{分配律})$$

$$4) \mathbf{A} = \hat{\mathbf{A}}A \text{ 或 } \hat{\mathbf{A}} = \frac{\mathbf{A}}{A}$$

### 3. 矢量的标积(点积)

$$(1) \text{ 定义: } \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = AB \cos \alpha$$

式中,  $\alpha$  为  $\mathbf{A}$  与  $\mathbf{B}$  的正方向夹角。

(2) 性质:

$$1) \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} \quad (\text{交换律})$$

$$2) \mathbf{A} \cdot (\mathbf{B} + \mathbf{D}) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} + \mathbf{A} \cdot \mathbf{D} \quad (\text{分配律})$$

(3) 几何意义:

1)  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = 0$  ( $\mathbf{A} \neq 0$  且  $\mathbf{B} \neq 0$ ) 等价于两个非零矢量互相垂直(即  $\mathbf{A} \perp \mathbf{B}$ )。

2)  $\mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{A}} = \mathbf{B} \cdot \frac{\mathbf{A}}{A}$  代表  $\mathbf{B}$  在  $\hat{\mathbf{A}}$  方向的投影。

$$3) A = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{A})^{1/2}$$

### 4. 矢量的矢积(叉积)

$$(1) \text{ 定义: } \mathbf{A} \times \mathbf{B} = \hat{\mathbf{n}}AB \sin \alpha$$

式中,  $\hat{\mathbf{n}}$  为垂直于  $\mathbf{A}$  及  $\mathbf{B}$  的单位矢量且  $\hat{\mathbf{n}}$  的方向与由  $\mathbf{A}$  (经  $\alpha$  角) 到  $\mathbf{B}$  满足右手法则(见图 1.3)。

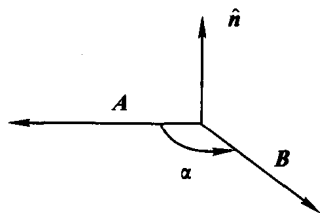


图 1.3 矢量的矢积

(2) 性质:

$$1) \mathbf{A} \times \mathbf{B} = -\mathbf{B} \times \mathbf{A} \quad (\text{负交换律})$$

$$2) \mathbf{A} \times (\mathbf{B} + \mathbf{D}) = \mathbf{A} \times \mathbf{B} + \mathbf{A} \times \mathbf{D} \quad (\text{分配律})$$

(3) 几何意义:

1)  $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = 0$  ( $\mathbf{A} \neq 0$  且  $\mathbf{B} \neq 0$ ) 等价于两个非零矢量互相平行(即  $\mathbf{A} \parallel \mathbf{B}$ )。

2)  $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$  的模等于以  $\mathbf{A}$  与  $\mathbf{B}$  为邻边的平行四边形的面积,  $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$  的方向为该平行四边形的法线方向。

**【例 1-1】** 求证菱形的对角线互相垂直。

【证明】 如图 1.4 所示, 则有

$$D = A + B, \quad C = (B - A),$$

$$D \cdot C = (A + B) \cdot (B - A) =$$

$$A \cdot B - A \cdot A + B \cdot B - B \cdot A =$$

$$A \cdot B - A \cdot B - A^2 + B^2 = 0$$

即  $D \perp C$

其中用到菱形的边长相等 ( $A = B$ ) 及矢量点积的性质及几何意义。

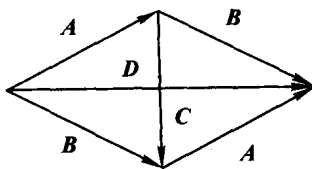


图 1.4 菱形对角线

### (三) 正交坐标系

#### 1. 广义正交坐标系

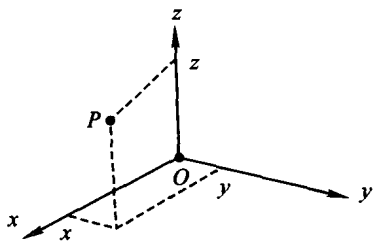
(1) 空间  $P$  点的坐标为  $(u_1, u_2, u_3)$ 。

(2)  $P$  点的坐标单位矢量为  $(\hat{u}_1, \hat{u}_2, \hat{u}_3)$ , 它们分别沿相应坐标增值方向且三者互相垂直(正交坐标系), 满足如下关系

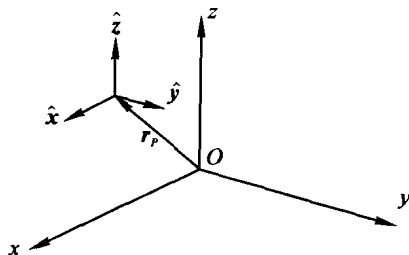
$$\hat{u}_1 \times \hat{u}_2 = \hat{u}_3, \quad \hat{u}_2 \times \hat{u}_3 = \hat{u}_1, \quad \hat{u}_3 \times \hat{u}_1 = \hat{u}_2$$

【注】 由广义正交坐标系可以推广至三种常用的正交坐标系: 直角坐标系、圆柱坐标系和球坐标系。

#### 2. 直角坐标系(见图 1.5)



(a)



(b)

图 1.5 直角坐标系

(1)  $P$  点的坐标为  $(x, y, z)$ 。

(2)  $P$  点坐标的单位矢量为  $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ , 三者之间有如下关系

$$\hat{x} \times \hat{y} = \hat{z}, \quad \hat{y} \times \hat{z} = \hat{x}, \quad \hat{z} \times \hat{x} = \hat{y}$$

【注】  $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$  均为常矢量。

(3)  $P$  点的矢径  $(r_P)$  为

$$r_P = \hat{x}x + \hat{y}y + \hat{z}z$$

(4) 坐标的定义域为

$$|x| < \infty, |y| < \infty, |z| < \infty$$

(5) 几何解释:

$x = x_0$  (常量) —— 代表平行于  $yOz$  坐标面的全平面。

$y = y_0$  (常量) —— 代表平行于  $zOx$  坐标面的全平面。

$z = z_0$  (常量) —— 代表平行于  $xOy$  坐标面的全平面。

3. 圆柱坐标系(见图 1.6)

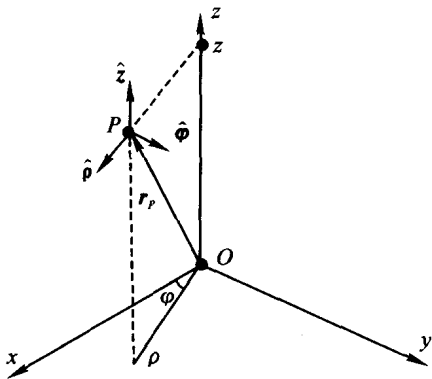


图 1.6 圆柱坐标系

(1)  $P$  点坐标的为  $(\rho, \varphi, z)$ 。

(2)  $P$  点坐标的单位矢量为  $(\hat{\rho}, \hat{\varphi}, \hat{z})$ , 三者之间有如下关系

$$\hat{\rho} \times \hat{\varphi} = \hat{z}, \quad \hat{\varphi} \times \hat{z} = \hat{\rho}, \quad \hat{z} \times \hat{\rho} = \hat{\varphi}$$



【注】 在一般情况下  $\hat{\rho}$  及  $\hat{\phi}$  为变矢量。

(3)  $P$  点的矢径( $r_P$ ) 为

$$r_P = \hat{\rho}\rho + \hat{z}z$$

(4) 坐标的定义域为

$$0 \leq \rho < \infty, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi, \quad |z| < \infty$$

(5) 几何解释:

$\rho = \rho_0$  (常量)——代表半径为  $\rho_0$  的圆柱面(以  $z$  轴为几何对称轴)。

$\varphi = \varphi_0$  (常量)——代表一个半平面[以  $z$  轴为边界, 与  $zOx$  坐标面( $x > 0$  的半平面) 夹角为  $\varphi_0$ ]。

4. 球坐标系(见图 1.7)

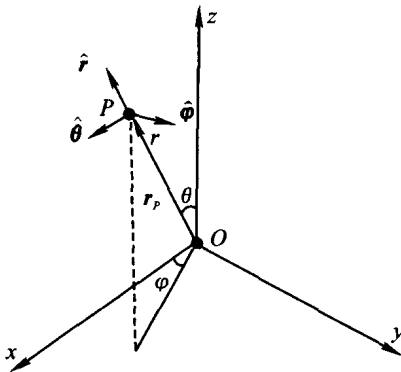


图 1.7 球坐标系

(1)  $P$  点的坐标为  $(r, \theta, \varphi)$ 。

(2)  $P$  点坐标的单位矢量为  $(\hat{r}, \hat{\theta}, \hat{\phi})$ , 三者之间有如下关系

$$\hat{r} \times \hat{\theta} = \hat{\phi}, \quad \hat{\theta} \times \hat{\phi} = \hat{r}, \quad \hat{\phi} \times \hat{r} = \hat{\theta}$$

【注】 在一般情况下  $\hat{r}$ ,  $\hat{\theta}$  及  $\hat{\phi}$  均为变矢量。

(3)  $P$  点的矢径( $r_P$ ) 为

$$r_P = \hat{r}r$$