普通高等教育"十一五"国家级规划教材

电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

电磁场

周希朗 主编

電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY http://www.phei.com.cn

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
电子信息与电气学科规划教材·电子电气基础课程

电 磁 场

周希朗 主编

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是普通高等教育"十一五"国家级规划教材，主要介绍电磁场理论涉及的基本规律、基本分析方法和基本计算方法。

全书共分 7 章，包括：矢量分析、电磁场的基本方程和电磁场运动的基本规律、静电场与恒定电场、静磁场、平面电磁波、导行电磁波、电磁波辐射的基本理论。本书力求内容精练、物理概念清晰，每章均精选了大量的例题和习题，涵盖核心教学内容，难易适中，便于自学。

本书可作为电子信息与电气类专业的本科生教材，也可供其他相关专业教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

电磁场/周希朗主编. 一北京：电子工业出版社，2008.1
普通高等教育"十一五"国家级规划教材
ISBN 978-7-121-05521-8

Ⅰ.电… Ⅱ.周… Ⅲ.电磁场一高等学校一教材 Ⅳ.0441.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 187122 号

责任编辑：张 濮
印 刷：北京季蜂印刷有限公司
装 订：三河市鹏成印业有限公司
出版发行：电子工业出版社
北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036
开 本：787×1092 1/16 印张：20.5 字数：524 千字
印 次：2008 年 1 月第 1 次印刷
印 数：4 000 册 定价：29.50 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010)88258888。

前　言

电磁场课程是电子信息与电气学科相关专业本科生一门重要的专业基础课，它涉及的内容是电子信息与电气类专业本科学生应具备的知识结构的必要组成部分，同时又是众多相关交叉学科和新兴边缘学科发展的基础。

本书是为高等学校电子信息与电气专业本科生学习电磁场课程而编写的教学用书，是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书的编写宗旨是，根据实际需要，较为全面、系统地介绍与电磁场有关的基本理论、基本概念和基本分析方法。对于理论和概念的表述，力求准确明了；对于数学推导，力求易懂，其结论力求物理概念明确。

本书共分 7 章。第 1 章是矢量分析基础，主要介绍学习本课程的数学理论和工具；第 2 章介绍电磁场的基本方程和电磁场运动的基本规律，在较系统地引出电磁场的基本定律、定理以及麦克斯韦方程组和不同媒质交界面处的边界条件的基础上，介绍时变电磁场的坡印亭定理、波动方程、位函数和时谐电磁场的复数表示。第 3 章和第 4 章是静态场的内容，主要讨论静电场、恒定电场和静磁场的基本规律、场的求解、位函数及其方程，以及电容、电导、电感和磁路的计算等。第 5～7 章是平面电磁波、导行电磁波和电磁波辐射方面的内容，这三章介绍了电磁场理论中有关波的主要内容，它们是研究电磁波各种基本问题的基础。

本书借鉴国内外优秀教材的成功之处，并结合作者多年从事电磁场教学的经验编写而成，希望具有以下特点。

(1) 按照电子信息与电气类宽口径专业要求设定教材内容，适当突破目前教材内容侧重强电或弱电的现象，采取强电和弱电兼顾、场与波并重的方式组织内容。

(2) 在内容安排上，采用从一般到特殊的演绎方法处理全书内容，但在具体章节中又采用从特殊到一般的循序渐进方法介绍相关的内容，这不仅有助于学生建立电磁场理论的整体概念，也有利于培养学生利用一般规律分析和解决问题的能力。

(3) 在注重电磁场的基本概念、基本规律和基本分析方法的基础上，重视对电磁场理论中的重点和难点问题或一般教材中讲述较少内容的介绍，用以扩大知识面，激发学生运用电磁理论解决综合性问题的兴趣，培养学生的创新能力。

(4) 适时地加强电磁场理论与工程实际的有机结合，激发学生运用电磁场理论解决工程实际问题的兴趣，培养学生的工程意识。

此外，本书各章后都附有大量的习题，附录中给出了与本书内容有关的公式、数学知识和常用的参数或常数，以备学习时查阅。**本书配有电子教案和习题解答与指导，读者可以登录电子工业出版社华信教育资源网（www. huaxin. edu. cn）下载。**

本书的读者需具有大学物理、工程数学有关的基础知识。本书的参考教学学时数为 72 学时，如果为 64 或 45 学时等，则可根据需要删减目录中各章加注“ * ”号部分的内容，而第 7 章则可根据需要或少学时等情况全部略去不讲。删除部分内容后，基本上不会影响本书内容的连贯性。

本书由周希朗主编并定稿，本校相关平台课授课老师金荣洪教授、肖高标副教授、耿军平博士、王建辉副教授、王君艳副教授、何广强博士、李旭光博士以及东华大学陈光教授、单志勇副教授等参与了部分工作。书稿承蒙金荣洪教授和陈光教授仔细审阅，提出了许多宝贵的修改意见。在本书的编写过程中，上海交通大学教务处、电子信息与电气工程学院和电子工程系的领导张焰副院长、陈建平系主任和周玲玲副系主任等给予了多方面的鼓励、支持与帮助，电子工业出版社的张濮编辑也为本书的出版提供了无私的帮助并付出辛勤的劳动。何广强博士以及张猛、汪睿、郭强和胡晓冬等同学为书稿部分章节的内容做了文字录入、绘图或校对工作。对上述在本书的编写和出版工作中给予鼓励、支持和帮助的同志们，作者一并表示衷心的感谢。

由于作者学识水平有限和时间仓促，书中难免存在疏漏或错误，衷心欢迎广大读者及同行批评指正。

作　者

2007.10

主要符号和单位

符　　号	名　　称	单位符号	单位名称
$\boldsymbol{A}$	矢量磁位	Wb/m	韦伯/米
$\boldsymbol{B}$	磁通量密度	T	特斯拉
C	电容	F	法拉
c	真空中的光速	m/s	米/秒
$\boldsymbol{D}$	电通量密度	C/m^2	库仑/$米^2$
d	距离	m	米
$\boldsymbol{E}$	电场强度	V/m	伏/米
e	电动势	V	伏
F	力	N	牛顿
	磁动势	A	安培
f	频率	Hz	赫兹
G	电导	S	西门子
	天线增益	(无量纲)	
$\boldsymbol{H}$	磁场强度	A/m	安培/米
I,i	电流	A	安培
$\boldsymbol{J}$	体电流密度	A/m^2	安培/$米^2$
$\boldsymbol{J}_S$	面电流密度	A/m	安培/米
$\boldsymbol{m}$	磁偶极矩	$A\cdot m^2$	安培·$米^2$
m	质量	kg	千克
K	行波系数	(无量纲)	
k	波数	rad/m	弧度/米
L	电感	H	亨利
l	长度	m	米
n	折射率	(无量纲)	

续表

符号	名称	单位符号	单位名称
$\boldsymbol{P}$	极化强度	C/m^2	库仑/米^2
P	功率	W	瓦特
$\boldsymbol{p}$	电偶极矩	C·m	库仑·米
Q,q	电荷量	C	库仑
q	填充因子	(无量纲)	
R	电阻	Ω	欧姆
	距离	m	米
	功率反射系数	(无量纲)	
$\boldsymbol{r}$	矢径	m	米
$\boldsymbol{S}$	坡印亭矢量	W/m^2	瓦特/米^2
S	面积	m^2	米^2
T	周期	s	秒
	透射系数	(无量纲)	
t	时间	s	秒
U,u	电压	V	伏
V	体积	m^3	米^3
v	速度	m/s	米/秒
$\boldsymbol{W}$	能量	J	焦耳
	宽度	m	米
w	能量密度	J/m^3	焦耳/米^3
X	电抗	Ω	欧姆
Y	导纳	S	西门子
Z	阻抗	Ω	欧姆
α	衰减常数	Np/m	奈培/米
β	相位常数	rad/m	弧度/米
Γ	反射系数	(无量纲)	
γ	传播常数	1/m	1/米
δ	趋肤深度	m	米

续表

符　　号	名　　称	单位符号	单位名称
ε	介电常数	F/m	法拉/米
η	本征阻抗	Ω	欧姆
η_A	天线效率	（无量纲）	
θ	角度	°	度
Λ	磁导	Wb/A	韦伯/安培
λ	波长	m	米
μ	磁导率	H/m	亨利/米
ρ	体电荷密度	C/m^3	库仑/米^3
	驻波系数	（无量纲）	
ρ_S	面电荷密度	C/m^2	库仑/米^2
ρ_l	线电荷密度	C/m	库仑/米
σ	电导率	S/m	西门子/米
τ	功率反射系数	（无量纲）	
ϕ	电位	V	伏特
Φ	电通量	C	库仑
	磁通量	Wb	韦伯
Ψ	磁链	Wb	韦伯
Ω	立体角	sr	球面度
ω	角频率	rad/s	弧度/秒
u_1, u_2, u_3	正交曲线坐标变量		
$\boldsymbol{a}_{u_1}, \boldsymbol{a}_{u_2}, \boldsymbol{a}_{u_3}$	正交曲线坐标单位矢量		
x, y, z	直角坐标变量		
$\boldsymbol{a}_x, \boldsymbol{a}_y, \boldsymbol{a}_z$	直角坐标单位矢量		
r, φ, z	圆柱坐标变量		
$\boldsymbol{a}_r, \boldsymbol{a}_\varphi, \boldsymbol{a}_z$	圆柱坐标单位矢量		
R, θ, φ	圆球坐标变量		
$\boldsymbol{a}_R, \boldsymbol{a}_\theta, \boldsymbol{a}_\varphi$	圆球坐标单位矢量		

目　录

第 1 章 矢量分析

1

矢量分析是电磁场理论的主要数学工具之一，本章引出的许多定义、定理和恒等式对简化运算、明确概念、揭示规律的物理实质十分重要。熟悉本章的内容将为系统学习其他章节的内容奠定必要的基础。

本章首先对矢量分析方面的基础知识作必要的复习和补充，然后介绍标量场的梯度、矢量场的散度、旋度和相关定理，最后讨论正交曲线坐标系。

1.1 矢量的表示及其代数运算

1.1.1 矢量的表示和距离矢量

1. 矢量的表示

数学上只有大小的物理量称为标量或数量，如温度、压力、密度等。既有大小又有方向的量称为矢量，如力、速度、位移等。习惯上用黑体符号或在符号上加单向箭头表示矢量，如矢量 $\boldsymbol{A}$ 可记为 $\boldsymbol{A}$ 或 $\vec{A}$，本书采用前者表示方法。大小(又称为模值)为 1 的矢量称为单位矢量，它没有量纲。矢量 $\boldsymbol{A}$ 的单位矢量用 $\boldsymbol{a}_A$ 表示，即 $\boldsymbol{A}=\boldsymbol{a}_A A$。

在三维空间中，矢量 $\boldsymbol{A}$ 可表示为一条有向的线段。此线段的长度代表 $\boldsymbol{A}$ 的模，其方向代表 $\boldsymbol{A}$ 的方向。在直角坐标(笛卡儿坐标)系中，矢量 $\boldsymbol{A}$ 可表示为一条由坐标原点出发的有向线段。如图 1-1 所示，设直角坐标系中沿三个坐标轴正方向上的单位矢量分别为 $\boldsymbol{a}_x,\boldsymbol{a}_y,\boldsymbol{a}_z$，并设矢量 $\boldsymbol{A}$ 在上述三个单位矢量方向上的投影(即坐标分量)分别为 A_x,A_y,A_z，则矢量 $\boldsymbol{A}$ 可表示为

$$\boldsymbol{A}=\boldsymbol{a}_x A_x+\boldsymbol{a}_y A_y+\boldsymbol{a}_z A_z \tag{1-1}$$

该矢量的模为

$$|\boldsymbol{A}|=A=\sqrt{A_x^2+A_y^2+A_z^2}$$

于是，矢量 $\boldsymbol{A}$ 的单位矢量 $\boldsymbol{a}_A$ 为

$$\boldsymbol{a}_A=\frac{\boldsymbol{A}}{|\boldsymbol{A}|}=\boldsymbol{a}_x\frac{A_x}{A}+\boldsymbol{a}_y\frac{A_y}{A}+\boldsymbol{a}_z\frac{A_z}{A}=\boldsymbol{a}_x\cos\alpha+\boldsymbol{a}_y\cos\beta+\boldsymbol{a}_z\cos\gamma \tag{1-2}$$

式中，$\cos\alpha,\cos\beta,\cos\gamma$ 称为 $\boldsymbol{A}$ 的方向余弦，α,β,γ 分别是矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 x,y,z 轴正向之间的空间夹角，如图 1-1 所示。显然，$\cos^2\alpha+\cos^2\beta+\cos^2\gamma=1$。一般地，若矢量 $\boldsymbol{A}$ 的起点不在坐标原点，则矢量 $\boldsymbol{A}$ 的上述表达式同样适用。

2. 位置矢量(矢径)与距离矢量

在直角坐标系中,从坐标原点出发向空间任一点 $p(x,y,z)$ 引出的有向线段称为该点的位置矢量或矢径,用 $\boldsymbol{r}$ 表示,如图 1-2 所示。因为矢径 $\boldsymbol{r}$ 的三个坐标分量分别为 x,y,z,所以 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{a}_x x+\boldsymbol{a}_y y+\boldsymbol{a}_z z$。在本书的后续章节中,一般用 $\boldsymbol{r}$ 表示电磁场中场点 $p(x,y,z)$ 的位置矢量,用 $\boldsymbol{r}'$ 表示电磁场中源点 $p'(x',y',z')$ 的位置矢量,并用 $\boldsymbol{R}$ 表示从点 p' 出发引向点 p 的距离矢量。于是,距离矢量 $\boldsymbol{R}$ 表示为

$$\boldsymbol{R}=\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'=\boldsymbol{a}_x(x-x')+\boldsymbol{a}_y(y-y')+\boldsymbol{a}_z(z-z') \tag{1-3}$$

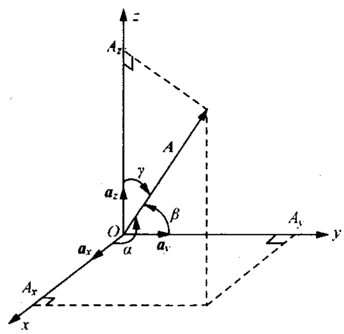

图 1-1 直角坐标系中的矢量表示

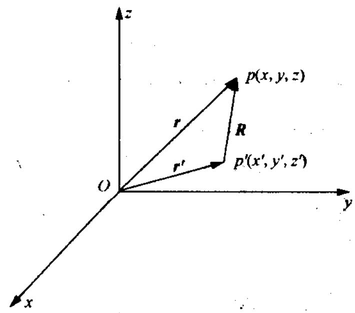

图 1-2 直角坐标系中的位置矢量

$\boldsymbol{R}$ 的模为

$$R=|\boldsymbol{R}|=|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|=\sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+(z-z')^2}$$

$\boldsymbol{R}$ 的单位矢量为

$$\boldsymbol{a}_R=\frac{\boldsymbol{R}}{R}=\boldsymbol{a}_x\frac{x-x'}{R}+\boldsymbol{a}_y\frac{y-y'}{R}+\boldsymbol{a}_z\frac{z-z'}{R}$$

1.1.2 矢量的代数运算

1. 矢量加法

与矢量 $\boldsymbol{A}$ 在直角坐标系中的表示相类似,设矢量 $\boldsymbol{B}=\boldsymbol{a}_xB_x+\boldsymbol{a}_yB_y+\boldsymbol{a}_zB_z$,则 $\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}$ 为

$$\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}=\boldsymbol{a}_x(A_x+B_x)+\boldsymbol{a}_y(A_y+B_y)+\boldsymbol{a}_z(A_z+B_z) \tag{1-4}$$

矢量 $\boldsymbol{A}$ 与矢量 $\boldsymbol{B}$ 的和也可以用几何作图法(平行四边形法则)得到,即将矢量 $\boldsymbol{B}$ 平移以使它的起点与矢量 $\boldsymbol{A}$ 的终点重合,再从矢量 $\boldsymbol{A}$ 的起点出发引向矢量 $\boldsymbol{B}$ 的终点,得到 $\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}$。

矢量加法满足交换律和结合律,即

$$\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A} \tag{1-5}$$

$$(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B})+\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}+(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C}) \tag{1-6}$$

2. 矢量减法

设与矢量 $\boldsymbol{B}$ 的大小相等、方向相反的矢量为 $\boldsymbol{B}$ 的负矢量,记为 $-\boldsymbol{B}$。矢量 $\boldsymbol{A}$ 与矢量 $-\boldsymbol{B}$ 相加称为矢量 $\boldsymbol{A}$ 与矢量 $\boldsymbol{B}$ 的差,记为 $\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}$,即

$$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}+(-\boldsymbol{B})$$

与矢量加法相类似，矢量减法也可以用分量式表示，即

$$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}=\boldsymbol{a}_x(A_x-B_x)+\boldsymbol{a}_y(A_y-B_y)+\boldsymbol{a}_z(A_z-B_z) \tag{1-7}$$

3. 矢量的乘积

1）矢量的数乘

设 k 为任意常数，则

$$k\boldsymbol{A}=\boldsymbol{a}_A(kA)$$

显然，若 k 为大于零的实数，则 $k\boldsymbol{A}$ 相当于将原矢量 $\boldsymbol{A}$ 伸长（$k>1$）或缩短（$k<1$）k 倍，而方向保持不变；反之，若 k 为小于零的实数，则 $k\boldsymbol{A}$ 相当于将原矢量 $\boldsymbol{A}$ 伸长（$|k|>1$）或缩短（$|k|<1$）$|k|$ 倍，而方向变为相反方向。

2）矢量的标量积（标积）

一般说来，“一个矢量乘以另一个矢量”或“两个矢量相乘”的说法是不确切的，这是因为两个矢量之间存在两种不同类型的乘积，即标量积和矢量积（或点乘和叉乘）。

矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 的标量积记为 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}$，其大小等于 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 的模与它们之间较小夹角的余弦的乘积，即

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=AB\cos\theta_{AB} \tag{1-8}$$

式中，θ_{AB} 是 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 之间较小的夹角，即 $0°\leqslant\theta_{AB}\leqslant180°$。

两个矢量的标量积满足交换律和分配律，即

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{A} \tag{1-9}$$

$$\boldsymbol{A}\cdot(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C})=\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{C} \tag{1-10}$$

但结合律不适用于标量积，因为 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{C}$ 这样的表达式无意义。此外，当矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 垂直时，$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=0$；当矢量 $\boldsymbol{B}$ 等于 $\boldsymbol{A}$ 时，$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{A}=A^2$。

在直角坐标系下

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=A_xB_x+A_yB_y+A_zB_z \tag{1-11}$$

这是因为 $\boldsymbol{a}_x\cdot\boldsymbol{a}_x=1$，$\boldsymbol{a}_x\cdot\boldsymbol{a}_y=0$，$\boldsymbol{a}_x\cdot\boldsymbol{a}_z=0$ 等。

3）两矢量的矢量积（矢积）

矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 的矢量积记为 $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}$。它是一个矢量，垂直于包含 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 的平面，其大小是 $AB\sin\theta_{AB}$，θ_{AB} 是 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 之间较小的夹角，其方向是当右手的四指从 $\boldsymbol{A}$ 到 $\boldsymbol{B}$ 旋转 θ_{AB} 角时大拇指所指方向（单位矢量为 $\boldsymbol{a}_n$），即

$$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=\boldsymbol{a}_nAB\sin\theta_{AB} \tag{1-12}$$

显然，$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}$ 的模在数值上等于矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 组成的平行四边形的面积。

矢量积不满足交换律但满足分配律，即

$$\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{A}=-\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B} \tag{1-13}$$

$$\boldsymbol{A}\times(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C})=\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{C} \tag{1-14}$$

矢量积同样不满足结合律，即

$$\boldsymbol{A}\times(\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{C})\neq(\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B})\times C \tag{1-15}$$

这是因为上式左端三重矢量积的结果是垂直于 $\boldsymbol{A}$ 且垂直于 $\boldsymbol{D}(=\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{C})$ 的一个矢量，而右端三重矢量积的结果是垂直于 $\boldsymbol{C}$ 且垂直于 $\boldsymbol{E}(=\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B})$ 的一个矢量，两者不相等。因此，书写矢

量积时不要将括弧省略。

在直角坐标系下

$$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=\begin{vmatrix}\boldsymbol{a}_x & \boldsymbol{a}_y & \boldsymbol{a}_z\\ A_x & A_y & A_z\\ B_x & B_y & B_z\end{vmatrix} \tag{1-16}$$

这是因为 $\boldsymbol{a}_x\times\boldsymbol{a}_x=0,\boldsymbol{a}_x\times\boldsymbol{a}_y=\boldsymbol{a}_z,\boldsymbol{a}_x\times\boldsymbol{a}_z=-\boldsymbol{a}_y$ 等。

4) 三个矢量的乘积

常用的三个矢量的乘积有两个,即三重标量积和三重矢量积。

(1) 三重标量积公式为

$$\boldsymbol{A}\cdot(\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{C})=\boldsymbol{B}\cdot(\boldsymbol{C}\times\boldsymbol{A})=\boldsymbol{C}\cdot(\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}) \tag{1-17}$$

式中,$\boldsymbol{A}$,$\boldsymbol{B}$ 和 $\boldsymbol{C}$ 的次序满足循环互换规律。

(2) 三重矢量积公式为

$$\boldsymbol{A}\times(\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{C})=\boldsymbol{B}(\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{C})-\boldsymbol{C}(\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}) \tag{1-18}$$

此式满足 BAC-CAB(读做“back-cab”)规则。

应指出的是,矢量为除数的除法无意义。

1.2 标量场和矢量场

矢量代数运算中涉及的矢量是常矢量,常矢量是大小和方向均不变的矢量。但在实际应用中,经常要研究的是大小和方向之一或两者都在变化的矢量,这种矢量称为变矢量。例如,空间中一固定点的风速或电磁波的电磁场强度(场强)均是无时无刻不在变化的矢量,同时,在某一固定时刻于某一地区上空的风速或电磁波的场强是因地而异的,因此风速和电磁波的场强是随时随地而变的。当然,仅了解某矢量是否是变矢量是不够的,更重要的是掌握这种矢量与一个或几个变量之间的依赖关系,从而可以用分析方法更深刻地了解这些矢量的变化规律,这种变矢量就是依赖于一个或几个变量的矢量函数。例如,在直角坐标系下,空间中任一点 $p(x,y,z)$ 在某一时刻 t 的风速 $\boldsymbol{v}$ 是点 p 及时间 t 的矢量函数,可记为 $\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}(x,y,z,t)$。

矢量函数的极限、微分和积分等同标量函数的分析方法完全类似,相应内容在《高等数学》有关章节中有详细讨论,在此不作介绍。下面给出标量场和矢量场的定义。

场的定义叙述为:若对于空间域 Ω 上的每一点都对应着某个物理量的一个标量(数量)或一个矢量,则称此空间域确定了这个物理量的场。若所讨论的物理量是标量,则称这个场为标量场;若所讨论的物理量是矢量,则称这个场为矢量场。例如,当所研究的物理量是温度、压力、密度、电位等时,这些物理量在指定时刻和空间上每一点可用一个标量(数量)来表示,即这些物理量的状态可用标量函数 $A(x,y,z,t)$ 来描绘,则这些标量函数在空间域上就定出了标量场,即温度场、压力场、密度场、电位场等;反之,当所研究的物理量是力、位移、速度、电场强度等时,这些物理量在指定时刻和空间上每一点可用一个矢量来表示,即这些物理量的状态可用矢量函数 $\boldsymbol{A}(x,y,z,t)$ 来描绘,则这些矢量函数在空间域上就定出了矢量场,即力场、位移场、速度场、电场强度场等。

若一个场中的每一点所对应的量不仅与该点的位置有关,还与时间有关,则这种场称为动态(时变)场。如果场中的每一点所对应的量与时间无关,则这种场称为静态场。