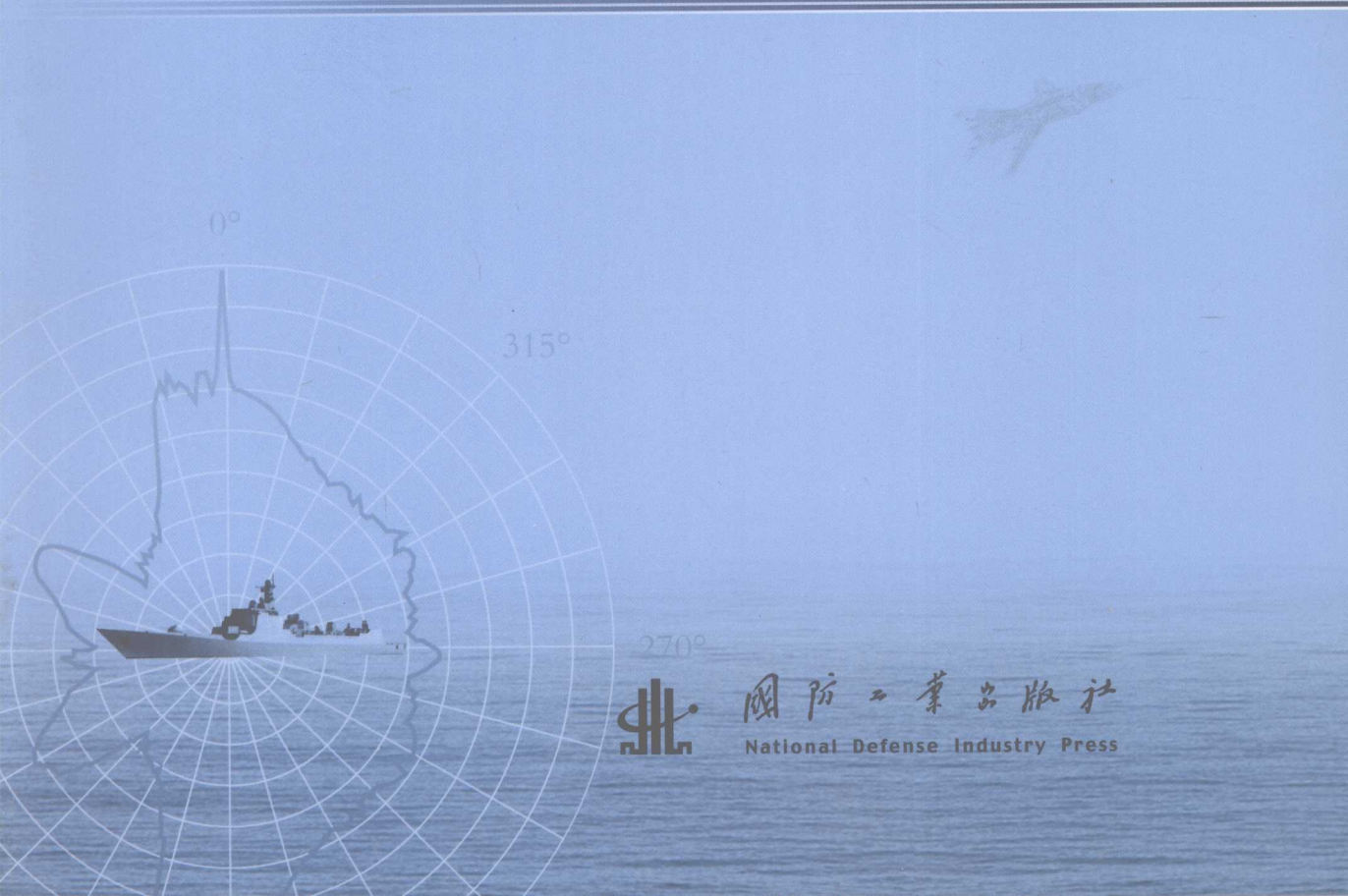


目标与环境 电磁散射特性建模

——理论、方法与实现（应用篇）

主 编 聂在平 副主编 方大纲



国防工业出版社
National Defense Industry Press

目标与环境电磁散射特性建模 ——理论、方法与实现

(应用篇)

主 编 聂在平
副主编 方大纲



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

《目标与环境电磁散射特性建模——理论、方法与实现》系统介绍了目标与环境电磁散射理论及各类分析、计算方法,讨论了这些算法的原理、实施技术和适用范围,以及相关理论、技术的发展和展望;同时,也介绍了与上述内容密切相关的目标与环境的几何建模、电磁散射特性的测量以及模型的校模、验证方法。分为“基础篇”和“应用篇”上、下两册。“应用篇”重点介绍了目标与环境电磁散射特性建模、分析和计算的实现方法及相关算例,共有13章内容,主要包括目标与环境几何构形的建模、矩量法及其实现、旋转对称矩量法及其实现、多层快速多极子方法及其实现、合元极技术及其实现、FDTD方法及其实现、部件合成法及其实现、面元法及其实现、图形计算电磁学及其实现、地海杂波环境中目标双站电磁散射的复合建模与数值仿真、雷达目标的强散射源建模及其实现、干扰云团电磁散射特性与蒙特卡罗法的实现、多体散射的传输矩阵法和偶极子近似方法等。本书由国内长期从事目标与环境特性研究的众多知名专家联合撰写而成,内容贴近工程实用需求,适合于高等学校相关专业高年级本科生及研究生、相关科研院所的工程技术人员作为学习、研究目标与环境电磁散射问题的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

目标与环境电磁散射特性建模. 应用篇/《目标与环境电磁散射特性建模》编委会编. —北京:国防工业出版社, 2009.3

ISBN 978-7-118-04612-0

I. 目... II. 目... III. 电磁波散射—建立模型
IV. 0441.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 072472 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 25¼ 字数 604 千字

2009 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 56.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

编辑委员会

主 任：陈军文

副 主 任：聂在平 樊寄松

委 员：（按姓氏笔画排序）

马 力	邓联平	印国泰	庄钊文	刘文清
李智勇	吴兴无	吴振森	张 琼	张忠治
陈晓盼	金连宝	赵 基	胡均川	宣益民
徐学文	徐根兴	董雁冰	靳云姬	蔡 琨

编辑部

主 编：聂在平

副 主 编：方大纲

编著人员：（按姓氏笔画排序）

王 超	王宝发	王晓峰	方大纲	白 璐
印国泰	刘 鹏	刘铁军	许小剑	杨正龙
吴振森	张 民	张剑峰	陆卫兵	昂海松
金东兴	金亚秋	周建江	郑奎松	胡 俊
俞文明	聂在平	殷红成	盛卫星	盛新庆
崔铁军	葛德彪	韩一平		

序

电磁场理论与计算在对多类科学与工程问题的理解与解释中起着极其重要的作用。1866年,英国科学家J.C.麦克斯韦(Maxwell)在解电磁场微分方程过程中就预测到电磁场辐射波的存在,其后20年,赫兹(Hertz)在他的实验室中证明了麦克斯韦的科学推理,在历史上首次产生并接收到了无线电电磁波。可见,在人类思维中,严格的数学推导有它可贵的特殊位置。同样,在无线电科学与技术的发展长河中,电磁场理论与计算对该领域一直起着重要的推动作用。

20世纪30年代,雷达问世。接着,微波遥感、目标隐身(低散射)、目标分类与识别等科学技术相继兴起,它们对目标与环境电磁散射特性研究提出了很高的要求,从而促进了电磁散射理论和计算的发展。半个世纪以来,求解电磁散射场和逆散射问题大致可分为三类方法。一是精确解析解。用解析式描述边界问题,它适用于具有符合坐标系并使波动方程可分离的一类几何结构目标的散射求解。二是数值计算。对麦克斯韦方程或与之等效的积分方程采用数值计算法求解,典型的是矩量法,随着计算技术提高,有限元法、时域有限差分法、快速多极子算法以及有限积分法等数值计算方法都相当有效。三是高频近似算法。由于多数受微波照射的雷达目标都处于光学区(目标尺度远大于照射波波长),因此可以基于场局限性原理来处理目标结构的有限性,高频近似算法在处理相关的边缘、表面行波、爬行波和多次绕射等问题时都很有效,算法虽然近似,但能满足工程要求,尤其多种方法相混合,其结果更为准确。这些方法包括几何光学法、几何绕射理论、一致性绕射理论、物理光学和物理绕射理论等。

再从电磁散射测量角度来看,现代雷达理论与技术的迅速发展,带动了电磁目标散射测量水平的提高,标志性的测量技术有低雷达散射截面(LRCS)和角闪烁(Glint)等,尤其在解决瞬时宽带空间目标散射、相位及其变化率(用于逆合成孔径成像)、瞬变电磁场、异向介质散射等新问题中,目前复散射测量准确度仍优于理论计算。可是测量只能在有限几何空间内进行,再加上目标与环境散射特征随空间、时间、电磁谱段、极化等参数变化的多样化与复杂性、任何最完备的感知系统也无法完整地进行测量数据建模。因此,理论计算与实验测量必须科学地结合起来,必须贯彻“理论建模、实验校模”的思想,完整地建立起目标与环境电磁散射研究的框架,使目标与环境电磁散射研究形成一支相对独立的分支科学,并定位于基础应用研究,它将有力地支撑现代雷达、微波/毫米波遥感、隐身和目标识别等先进技术进一步发展。

30多年来,我国在目标与环境电磁散射领域经几代科技工作者的辛勤努力,成绩显

著,研究水平基本与世界同步。结合我国国民经济和国防建设的需要,有针对性地解决了多类地面目标、海面目标及其环境、大气层内与空间多类目标电磁散射的理论计算和实验测量等问题,完成建模、建库和工程化设计,为我国的雷达学、航天航空技术与微波遥感技术发展做出了贡献。我国在该领域的研究工作经历了从薄弱的技术基础到形成一定的研究规模,从各单位分散研究状态到形成在总体牵引下的配套、协同研究,从各专业独立研究到形成理论建模与全尺寸、缩比与动态测量相结合的闭环研究,使模型的“校核、验证与确认”得到稳步发展,从学科化研究到形成应用需求牵引下的全过程综合开发研究,逐步走出了一条发展—创新—应用的新路子。《目标与环境电磁散射特性建模——理论、方法与实现》一书的诞生正是上述努力所取得的标志性成果之一,它是从事目标与环境电磁散射特性技术领域研究的专家们集体智慧的结晶,是他们长期工作成果的总结与展示,是这一领域的集大成者。

本书分为“基础篇”和“应用篇”上、下两册。其中“基础篇”重点介绍目标与环境电磁特性建模的理论、方法和途径。“应用篇”重点介绍目标与环境电磁散射特性建模的实现及相关算例。全书内容理论联系实际,既具有较高的学术水平,更具有广泛的应用价值。在此,我谨向全书编者和广大科技工作人员致敬,并衷心地祝贺本书出版,向在编辑出版过程中付出辛勤劳动的工作人员表示深深的感谢。相信本书的出版,对于从事相关专业领域的研究、教学和工程技术人员,一定会有很好的参考价值。

中国工程院院士

“目标与环境电磁散射辐射”重点实验室
学术委员会主任

黄始康

前 言

目标与环境电磁散射特性作为重要的雷达共性基础技术,既是当前的学科研究前沿,也是具有全局性、基础性和先行性的关键技术领域。

正因如此,目标与环境电磁特性的研究一直都备受关注。在国际上,目标与环境电磁散射特性的研究从一开始就在各种强烈的实际工程需求牵引下提出,并获得了持续不断的高强度的资助。反过来,其研究成果,包括理论预估方法、测量数据和用于目标特性分析的各种计算机代码等也获得了工业界的广泛应用。美国电磁代码联合体的工作就是一个典型的例证。当前,目标与环境电磁散射特性研究正朝着建模的精细化、计算的精确化、代码的通用化、多平台(陆、海、空、天)、多传感器和多波段的信息获取及综合利用方向发展。

在国内,目标与环境电磁散射特性的研究工作也日益受到重视并表现出长足的进步。我国从20世纪60年代开始这方面的研究工作,70年代开始系统地从理论和实验方面来研究目标的电磁特性,为我国制造技术的发展做出了贡献。80年代以来,随着我国装备制造业向自行设计研制发展,许多科研院所开展了各种目标电磁散射特性的理论建模和测量技术研究。

近年来,目标与环境电磁散射特性研究水平有了新的飞跃。测试与校验进一步规范化,数据采集与建模研究体系化,成果转化与应用研究一体化。形成了一些具有较高置信度的工程实用化模型,并在各类装备论证、设计、仿真、预估和定型中获得应用。

基于这样蓬勃发展的研究背景,国内长期从事目标与环境电磁散射特性研究的专家编写了这套专著,意在总结目标与环境电磁散射特性的理论研究成果与工程实践经验,与各界交流目标与环境特性研究的心得,以满足目标与环境特性研究的需求,起到抛砖引玉、交流共享、互相促进的作用。

《目标与环境电磁散射特性建模——理论、方法与实现》主要介绍了目标与环境电磁散射理论及各类分析、计算方法,讨论了这些算法的原理、实施技术和适用范围,以及相关理论技术的发展历史和未来展望;同时,还介绍了目标与环境电磁散射测量技术。除了目标散射的电磁模型,还特别介绍了目标的几何建模方法。上述内容均贴近工程实用需求,适合于高等学校、科研院所的相关专业研究生和工程技术人员作为学习、研究的参考书籍。

本书分为“基础篇”和“应用篇”上、下两册。

下册“应用篇”重点介绍了目标与环境电磁散射特性建模的实现问题及相关算例,共

分为 13 章。第 1 章“目标与环境几何构形的建模”由昂海松撰写,第 2 章“矩量法及其实现”由王超、殷红成、吴振森、张民撰写,第 3 章“旋转对称矩量法及其实现”由俞文明、方大纲撰写,第 4 章“多层快速多极子方法及其实现”由胡俊、聂在平撰写,第 5 章“合元极技术及其实现”由盛新庆撰写,第 6 章“FDTD 方法及其实现”由葛德彪撰写,第 7 章“部件合成法及其实现”及第 8 章“面元法及其实现”由周建江撰写,第 9 章“图形计算电磁学及其实现”由王宝发、刘铁军撰写,第 10 章“地海杂波环境中目标双站电磁散射的复合建模与数值仿真”由金亚秋、刘鹏撰写,第 11 章“雷达目标的强散射源建模及其实现”由盛卫星、方大纲、杨正龙、金东兴撰写,第 12 章“干扰云团电磁散射特性与蒙特卡罗法的实现”由吴振森、张民撰写,第 13 章“多体散射的传输矩阵法和偶极子近似方法”由吴振森、白璐撰写。

本书各章的撰写工作,本着分工合作的原则,由国内长期从事该领域研究的上述各位专家及其研究小组共同完成。由于各位作者知识结构、学识水平的客观限制,本书错、漏或不当之处在所难免,衷心希望各界专家、同仁不吝指教,直言批评,使本书渐趋完善。

编者

目 录

第 1 章 目标与环境几何构形的建模	1
1.1 典型目标体的几何造型	2
1.1.1 曲面的基本知识	2
1.1.2 典型的二次曲面体的生成	3
1.1.3 其他典型曲面体的生成	4
1.2 一般曲面的造型方法	6
1.2.1 三次 B 样条曲面	6
1.2.2 NURBS 曲面	7
1.2.3 参数化几何造型方法	8
1.2.4 图形的变换和显示方法	8
1.2.5 遮挡与消隐	10
1.2.6 目前常用的三维几何造型软件	12
1.3 特殊目标的几何建模	16
1.3.1 飞行器外形的几何造型	16
1.3.2 舰艇外形的几何造型	19
1.3.3 坦克外形的几何造型	20
1.4 重建三维目标体外形的方法	22
1.4.1 已知几何数据和图纸资料的目标体几何造型方法	22
1.4.2 由三面图重建目标体的三维构形的方法	22
1.4.3 由图片重建目标体三维构形的方法	23
1.5 目标背景环境的几何造型	27
1.5.1 常见的背景环境的几何造型方法	27
1.5.2 沙土地面环境构形的生成	29
1.5.3 海面环境构形的生成	30
1.5.4 其他背景环境的生成	31
1.6 用于雷达目标特性分析的几何网格要求	32
1.6.1 目标体表面的法矢分布计算	32
1.6.2 网格大小的要求	32
1.6.3 网格三角化	33
1.6.4 Coons 曲面方法的网格加密重建与“曲面像素”生成	33
参考文献	35

第 2 章 矩量法及其实现	36
2.1 基本原理.....	36
2.1.1 矩量法的基本原理.....	36
2.1.2 积分方程.....	38
2.1.3 矩阵方程的求解.....	41
2.2 基函数和检验函数的选取.....	42
2.2.1 脉冲基函数.....	43
2.2.2 基于三角面元的 RWG 基函数	43
2.2.3 检验函数的选取.....	44
2.3 应用于三维导体目标的电磁散射.....	44
2.3.1 基于脉冲基的磁场积分方程的矩量法.....	45
2.3.2 基于 RWG 基函数的矩量法	47
2.4 应用于三维介质目标的电磁散射.....	51
2.4.1 基于 RWG 基函数的均匀介质目标的矩量法	51
2.4.2 基于脉冲基的非均匀介质目标的矩量法.....	53
2.5 应用于波导缝隙天线阵的电磁散射.....	56
2.5.1 基本原理.....	56
2.5.2 P-FFT 快速算法在矩量法中的应用	59
2.5.3 数值结果和分析.....	61
2.5.4 结论.....	65
2.6 程序实现.....	65
2.6.1 求解导体目标电场积分方程的 RWG 基函数的矩量法程序	65
2.6.2 求解非均匀介质目标的体积分矩量法程序.....	81
参考文献	87
第 3 章 旋转对称矩量法及其实现	89
3.1 旋转对称矩量法的原理.....	89
3.1.1 入射波的分解.....	89
3.1.2 面积分方程.....	92
3.1.3 矩量解.....	93
3.2 若干关键问题	110
3.2.1 奇异值的处理	110
3.2.2 如何确定入射平面波分解成柱面波的个数	115
3.2.3 BoRMom 的加速	118
3.2.4 宽频信息的获取	120
3.2.5 几何建模及剖分	121
3.3 软件编制	121

3.4 计算实例	122
参考文献	125
第4章 多层快速多极子方法及其实现	127
4.1 编程原理与方法简介	127
4.2 程序结构与流程	127
4.3 输入/输出数据文件:格式、结构与定义	129
4.4 几何建模方法和应用软件平台	129
4.5 电磁建模中的结构性模块和选择性模块	131
4.6 验模结果	134
4.7 典型算例	135
4.8 程序特点和适用范围	136
4.9 程序的扩展及应用	137
第5章 合元极技术及其实现	140
5.1 合元极技术发展简述	140
5.2 合元极的通用数学表述	141
5.3 合元极算法	143
5.3.1 常规算法(CA)	143
5.3.2 分解算法(DA)	143
5.3.3 预处理算法(ABC-PA)	144
5.4 对称合元极和非对称合元极之比较	144
5.5 合元极各种算法的数值性能	145
5.5.1 算法的精确性	145
5.5.2 迭代收敛速度	146
5.5.3 数值色散误差	147
5.6 中算软件	148
5.6.1 中算的使用范围	149
5.6.2 中算的功能	149
5.6.3 输入/输出数据文件:格式、结构与定义	149
5.7 算例	150
5.7.1 金属目标	150
5.7.2 涂层目标	155
5.7.3 复合材料圆柱体	155
参考文献	158
第6章 FDTD 方法及其实现	160
6.1 FDTD 计算区域的划分	161

6.1.1	总场区和散射场区	161
6.1.2	截断边界处 PML 的设置	161
6.1.3	外推数据存储边界	162
6.2	FDTD 激励波源:时谐场和瞬变场情况	162
6.2.1	时谐场源振幅和相位的提取:相位滞后法	162
6.2.2	脉冲波源及其频谱	163
6.3	激励源的加入:电偶极子	165
6.4	激励源的加入:平面波源	166
6.4.1	波源加入的等效原理	166
6.4.2	总场边界处的 FDTD 形式	166
6.5	散射目标的几何建模	169
6.5.1	简单物体:立方体、球、橄榄体	170
6.5.2	复杂目标	170
6.6	FDTD 计算流程及程序调试	171
6.6.1	计算流程图	171
6.6.2	FDTD 程序调试途径	172
6.7	三维瞬态场 FDTD 算例	173
6.7.1	介质球	173
6.7.2	金属球	173
6.8	二维时谐场 FDTD 算例和程序	174
6.8.1	金属方柱	174
6.8.2	FDTD 时谐场计算程序	175
	参考文献	178
第 7 章	部件合成法及其实现	179
7.1	简单形体目标的 RCS	179
7.1.1	球与椭球	179
7.1.2	柱体	180
7.1.3	平板	180
7.1.4	腔体	181
7.1.5	卵形体	181
7.1.6	二面角	182
7.2	复杂形体目标部件的 RCS	182
7.3	复杂形体目标 RCS 部件合成法分析举例	183
7.3.1	“堪培拉”轻型轰炸机	184
7.3.2	雷达参数	184
7.3.3	简单形体模拟	184
7.3.4	RCS 计算	186

7.3.5	平均值、最大值和均方值	187
7.3.6	计算与实测的比较	188
	参考文献	188
第8章	面元法及其实现	189
8.1	目标 CAD 造型及网格生成	189
8.2	目标表面的像素生成	190
8.2.1	完全保持原目标板块特征的“板块像素”	190
8.2.2	由“板块面元”对像素作法矢插值的像素生成	191
8.2.3	曲面像素	191
8.3	遮挡和消隐处理	192
8.4	像素面元法 RCS 计算公式推导	193
8.4.1	理想导体表面的散射	193
8.4.2	劈边缘绕射	194
8.5	不同像素生成方法对 RCS 计算结果的影响	195
8.5.1	不同网格划分对 RCS 的影响	195
8.5.2	不同频率对 RCS 的影响	196
8.6	像素面元法的改进	196
8.7	像素面元法电磁遮挡处理	197
8.8	像素面元法 RCS 分析算例	198
8.8.1	典型体目标 RCS 分析算例	198
8.8.2	复杂形体目标 RCS 分析算例	200
	参考文献	201
第9章	图形计算电磁学及其实现	202
9.1	复杂目标的可视化图形电磁学计算	203
9.1.1	目标的法矢图像	203
9.1.2	可视化图形电磁学	207
9.1.3	复杂目标的可视化图形电磁学计算框图	211
9.2	满屏幕 GRECO	212
9.2.1	拉伸投影面元像素的散射贡献计算式	212
9.2.2	拉伸投影棱边像素的散射贡献计算式	214
9.3	分区显示算法	215
9.3.1	误差分析	215
9.3.2	算法描述	217
9.3.3	提高计算速度的像素批处理方法	218
9.4	GRECO 计算实例	218
9.4.1	球	218

9.4.2	平板	221
9.4.3	立方体	222
9.4.4	导弹模型	222
9.4.5	涂覆物体	223
9.5	复杂目标距离剖面的可视化计算模型	224
9.5.1	概述	224
9.5.2	一维高分辨雷达散射特性	225
9.5.3	高分辨雷达目标特性的可视化模型	226
9.5.4	计算框图	227
第 10 章	地海杂波环境中目标双站电磁散射的复合建模与数值仿真	229
10.1	下视雷达对海面与船目标电磁散射数值仿真 GFBM/SAA 方法	229
10.1.1	引言	229
10.1.2	广义的前后向迭代与谱加速(GFBM/SAA)方法	230
10.1.3	双站散射系数的计算	235
10.1.4	数值结果	236
10.1.5	程序算例说明	238
10.1.6	结论	241
10.2	风驱海面中船与低飞目标电磁散射数值仿真 FEM/CPML/DDM/TLQSA 方法	241
10.2.1	引言	241
10.2.2	粗糙海面低空目标双站散射的 FEM/CPML 方法	242
10.2.3	数值结果	244
10.2.4	大范围海面上舰船与低空目标复合模型的 DDM 方法	247
10.2.5	数值结果	250
10.2.6	动态海面上低飞目标 DP 频谱 FEM/DDM/TLQSA 方法	252
10.2.7	数值结果	254
10.2.8	程序和算例说明	258
10.2.9	结论	262
10.3	半主动制导中海面上运动目标和人造箔条云干扰的 DP 频移仿真	263
10.3.1	引言	263
10.3.2	双尺度粗糙海面双站散射系数	264
10.3.3	人造箔条云双站散射计算	266
10.3.4	数值结果	272
10.3.5	程序算例说明	274
10.3.6	结论	277
	参考文献	277
第 11 章	雷达目标的强散射源建模及其实现	278
11.1	雷达目标强散射点的提取与分析	278

11.1.1	雷达目标强散射点提取方法综述	279
11.1.2	用矩阵束方法和 GTD 参数模型分析雷达目标强散射点	281
11.1.3	用遗传算法对雷达目标强散射点进行有效的分析	283
11.2	基于强散射点分布的 RCS 数据压缩	286
11.2.1	RCS 数据压缩算法	287
11.2.2	TDFT 算法在电大尺寸复杂目标 RCS 数据压缩中的应用	288
11.2.3	基于分数阶傅里叶变换的近场 RCS 数据压缩	292
11.3	基于强散射点分布的 RCS 内插和外推	295
11.3.1	RCS 频率外推	295
11.3.2	RCS 频率和角度的双内插	299
11.4	雷达目标强散射点建模实验系统	303
11.4.1	系统的组成与工作原理	303
11.4.2	二维超分辨成像算法	304
11.4.3	实验结果及系统性能	306
11.5	雷达目标强散射点建模在目标识别中的应用实例	307
11.5.1	基于多站宽带雷达的目标识别技术	308
11.5.2	基于强散射点分布和多普勒包络的雷达目标识别	309
11.5.3	不同目标识别方案调频非线性影响的比较性研究	314
11.5.4	从目标识别的角度定性研究目标建模	316
	参考文献	318
第 12 章	干扰云团电磁散射特性与蒙特卡罗法的实现	323
12.1	离散随机介质中波传播与散射的蒙特卡罗法	323
12.1.1	光子输运过程模拟的跟踪	325
12.1.2	方法比较与结果讨论	327
12.2	箔条云团的电磁散射特性	328
12.2.1	单箔条双站散射特性分析	328
12.2.2	散射矩阵	329
12.2.3	观察坐标系的散射场与 Mueller 矩阵	329
12.2.4	箔条云团的 RCS	332
12.3	箔条云团双站散射的蒙特卡罗法	334
12.3.1	箔条云团的物理模型	334
12.3.2	矢量辐射输运理论	334
12.3.3	蒙特卡罗法	335
12.3.4	箔条云团双站散射的数值模拟	336
12.4	箔条云团的多普勒效应	340
12.4.1	随机介质的多普勒理论	340
12.4.2	随机运动粒子集团多普勒频移	341

12.4.3	随机运动粒子集团的回波展宽	342
12.4.4	箔条云团的多普勒现象分析	342
12.5	无源干扰箔条云反射信号的计算与仿真	343
12.5.1	综述	343
12.5.2	箔条云团的反射特性	344
12.5.3	箔条云团反射信号计算的算法	350
12.5.4	小结	356
	参考文献	356
第 13 章	多体散射的传输矩阵法和偶极子近似方法	358
13.1	传输矩阵方法的概述	358
13.1.1	传输矩阵的定义	358
13.1.2	波函数理论	358
13.1.3	入射波的矢量波函数分解	359
13.2	单目标传输矩阵的计算	360
13.3	任意取向目标的传输矩阵	366
13.3.1	欧拉角	366
13.3.2	旋转后目标的传输矩阵	366
13.3.3	波函数旋转定理	367
13.4	多目标的广义递推传输矩阵算法	368
13.4.1	波函数加法定理	368
13.4.2	两体散射问题	370
13.4.3	广义递推集合传输矩阵算法	371
13.5	数值算例	373
13.6	离散偶极子近似方法	375
13.6.1	离散偶极子近似方法原理	375
13.6.2	电磁散射体积分方程	376
13.6.3	离散偶极子近似方法的极化率	377
13.6.4	离散偶极子近似方法中目标散射体的散射系数	381
13.6.5	用离散偶极子近似方法研究回转体的散射特性	382
13.7	离散偶极子近似方法的数值算例	383
	参考文献	386

第 1 章 目标与环境几何构形的建模

目标和环境构形的建模是目标和环境电磁散射特性计算的几何模型基础。目标几何模型的建立是否准确与合理,对目标电磁散射特性计算的结果会产生较大影响。早期对于组合体目标的电磁散射特性计算,通常用一些标准三维体(如圆柱体、圆锥体、球体、平面、多面体、椭球体)来替代,作估算分析。随着雷达目标特性分析技术的发展,要求更加精确的计算结果,用标准三维体组合模拟目标的建模方法已不能满足实际应用。

计算机图形学和计算机辅助设计(CAD)技术的发展,使得精确描述复杂形状的目标体几何模型得以实现。20 世纪 60 年代出现的三维计算机辅助设计系统只是极为简单的线框式系统,它只能表达基本的几何信息,不能有效表达几何数据间的拓扑关系。70 年代孔斯(Coons)曲面和贝齐尔(Bezier)曲面造型技术的出现,描述自由曲线和曲面的方法已成功地用于汽车、飞机等机械产品的计算机辅助几何外形设计。接着发展出更为灵活控制曲面造型的 B 样条理论,后来又出现了非均匀有理 B 样条(NURBS)曲线和曲面。曲面造型方法使得 CAD 技术得到突飞猛进的发展,人们在用计算机设计自由曲线及自由曲面问题时变得可以实际操作,开发出以表面模型为特点的自由曲面实用建模方法,推出了一系列三维曲面造型软件系统,如计算机辅助三维接口应用(CATIA)等。这一时期标志着计算机辅助设计技术从单纯模仿工程图纸中解放出来向直接三维设计发展。80 年代初,发展出基于实体造型技术的大型计算机辅助设计/计算机辅助工程(CAD/CAE)软件,能够精确表达零件的全部属性,包括孔、槽和其他物理特性等。

进入 20 世纪 80 年代中期,国际上开始研究基于特征的设计,特征是一个高层次的设计概念,内部包含了设计人员的设计意图及与后续工作有关的各种信息。对于具体的机械产品而言,特征是一组与产品描述相关的信息集合。产品特征信息模型包括管理特征模型、形状特征模型和技术特征模型。而形状特征模型又包括几何结构模型、精度特征模型、材料特征模型和装配特征模型。新的产品信息建模技术突破了传统的几何造型技术。参数化特征造型在建模方法上分别出现了特征建模和基于约束的参数化与变量化的建模方法,由此出现了各种特征建模系统和参数化实体造型软件(如 Pro/E 软件),给设计者带来极大的方便。

在图形造型方面,独树一帜的是“分形”(Fractal)方法。自然界的许多图样是如此地不规则和支离破碎,以至于传统的欧几里得几何难以描述。1982 年创造了“分形”概念的美国物理学家芒德布罗(B. Mandelbrot)写道:“浮云不呈球形,山峰不是锥体,海岸线不是圆弧,树皮并不光滑,闪电从不沿直线行进。”分形几何定义物体不一定具有整数的维,而存在一个分数维数,这是几何学的新突破。分形几何的诞生为用数学方法描述自然界提供了新理论。

计算机图形学发展的同时,各种先进的三维造型方法也用于目标和环境电磁散射特性计算。复杂目标的精确几何建模为电磁散射特性分析的各种计算方法提供了更精细的目标形状描述。