

电子与信息作战丛书

雷达散射截面测量

Eugene F. Knott 著

王永庆 张 澎 戴春亮 译



科学出版社



电子与信息作战丛书

雷达散射截面测量

Eugene F. Knott 著

王永庆 张 澎 戴春亮 译

科学出版社

北 京

图字:01-2014-2822 号

内 容 简 介

本书重点介绍了雷达散射截面测量的系统组成、测试场地、校准与测试误差、高分辨成像,以及测试安全等方面的内容。其中,系统组成包括测试仪表系统、目标支撑结构,以及数据处理等软硬件设施;测试场地主要包括室外测试场、室内暗室、紧缩场和动态测试场地四种,并结合具体场地对测试原理和方法予以详细分析。

该书既可以作为相关专业高年级学生或研究生的教科书,也可以作为从事目标散射特性分析、RCS 测试与评估等相关研究领域工程技术人员的参考书。

Original English Language Edition Published by the IET, Copyright 2006, All Rights Reserved

图书在版编目(CIP)数据

雷达散射截面测量/(美)尤金·F. 诺特(Eugene F. Knott)著;王永庆,张澎,戴春亮译. —北京:科学出版社,2016

(电子与信息作战丛书)

书名原文:Radar Cross Section Measurements

ISBN 978-7-03-049623-2

I. 雷… II. ①尤… ②王… ③张… ④戴… III. 雷达-散射截面-测量
IV. ①TN951

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 200372 号

责任编辑:魏英杰 纪四稳 罗 娟 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 伟 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京数图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 8 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2016 年 8 月第一次印刷 印张:27 3/4

字数:552 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

“电子与信息作战”丛书编委会

顾	问:	李 天	孙 聪	刘志敏	李燕东	魏金钟
主	编:	张 澎				
编	委:	王永庆	陈 刚	薛 晖	傅盛杰	
		桑建华	戴全辉	苏士明	邓龙江	
		丁鹤雁	许小剑	周建江	高 铁	
		高 健				

“电子与信息作战”丛书序

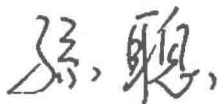
21 世纪是信息科学技术发生深刻变革的时代,电子与信息技术的迅猛发展和广泛应用,推动了武器装备的发展和作战方式的演变,促进了军事理论的创新和编制体制的变革,引发了新的军事革命。电子与信息作战最终将取代机械化作战,成为未来战争的基本形态。

火力、机动、信息是构成现代军队作战能力的核心要素,而信息能力已成为衡量作战能力高低的首要标志。信息能力,表现在信息的获取、处理、传输、利用和对抗等方面,通过信息优势的争夺和控制加以体现。信息优势,其实质是在获取敌方信息的同时阻止或迟滞敌方获取己方的情报,处于一种动态对抗的过程中,已成为争夺制空权、制海权、陆地控制权的前提,直接影响整个战争的进程和结局。信息优势的建立需要大量地运用具有电子与信息技术、新能源技术、新材料技术、航天航空技术、海洋技术等当代高新技术的新一代武器装备。

如何进一步推动我国电子与信息作战的研究与发展?如何将电子与信息技术发展的新理论、新方法与新成果转化为新一代武器装备发展的新动力?如何抓住军事变革深刻发展变化的机遇,提升我国自主创新和可持续发展的能力?这些问题的解答都离不开我国国防科技工作者和工程技术人员的上下求索和艰辛付出。

“电子与信息作战”丛书是由设立于沈阳飞机设计研究所的隐身技术航空科技重点实验室与科学出版社在广泛征求专家意见的基础上,经过长期考察、反复论证之后组织出版的。这套丛书旨在传播和推广未来电子与信息作战技术重点发展领域,介绍国内外优秀的科研成果、学术著作,涉及信息感知与处理、先进探测技术、电子战与频谱战、目标特征减缩、RCS 测试与评估等多个方面。丛书力争起点高、内容新、导向性强,具有一定的原创性。

希望这套丛书的出版,能为我国国防科学技术的发展、创新和突破带来一些启迪和帮助。同时,欢迎广大读者提出好的建议,以促进和完善丛书的出版工作。



中国工程院院士

译者序

雷达散射截面是度量目标在雷达波照射下产生回波强度的一种物理量,即 RCS。它是目标的假想面积。雷达散射截面测量是获得目标雷达散射截面最直接和最有效的途径。我们非常荣幸有机会将 Kugene F. Knott 先生所著的 *Radar Cross Section Measurements* 一书翻译、推荐给国内的读者。该书较详细的阐述了雷达散射截面测量的系统组成、测试场地、数据处理、校准与测试误差,以及测试安全等方面的内容。

全书共 13 章。第 1 章介绍雷达散射截面测量的必要性和一些基础理论知识;第 2 章介绍雷达散射截面测量所用的仪表系统;第 3 章阐述测试中的目标支撑方式;第 4 章分析测试误差的来源和影响因素;第 5 章介绍测试校准方法;第 6~8 章分别介绍和分析室外测试场、室内暗室和紧缩场的设计要素;第 9 章介绍测试数据的处理方法;第 10 章介绍雷达成像原理和提高成像分辨率的方法;第 11 章介绍动态测试雷达及一些动态测试场;第 12 章介绍常用的缩比模型测试的缩比原理及适用条件;第 13 章介绍测试场安全考虑等方面的内容。

本书第 1 章由薛晖翻译,第 2 章由张澎翻译,第 3 章由洪韬翻译,第 4 章由高巍翻译,第 5 章由彭刚翻译,第 6 章由梁沂翻译,第 7 章由马永利翻译、第 8 章由陈海波翻译,第 9 章由赵京城翻译,第 10 章由景致翻译,第 11 章由赵会芳翻译,第 12 章由解引花翻译,第 13 章由管洋阳翻译。全书由王永庆统稿,张澎和戴春亮主审,薛晖、陈海波、彭刚、李君哲、郭宇等审稿。

由于该书专业性较强,限于时间,翻译中的错误和疏漏在所难免,恳请读者批评指正,以便我们有机会进行更正。

前 言

美国密歇根大学最初的校园是一个近乎完美的正方形广场(边长约半英里)。一条名为 Diag 的小路斜对角穿过广场,连接校园的东南角和西北角。1904 年,一个新的工程楼被用作教学楼(年代久远,本人不记得该工程楼是在 1904 年始建还是竣工)。多年以后,校园得到扩建,同时另一座工程楼在之前的工程楼对面建起,它们之间相隔的便是 Diag 这条小路。新的工程楼被命名为东工程楼,而老的工程楼则是后来有名的西工程楼。

老的西工程楼目前是一个四层的 L 形建筑,矗立在校园的东南角。楼内有一个横跨 Diag 小路的拱形结构,连接着“L”结构的两个顶端。通过这个拱形结构,可以从“L”的一端直接穿到对面的一端。如果从学校的东南角进入这栋建筑,就需要从拱形结构的下方经过。

曾经,当我从这个拱形结构穿过时,墙上的一块牌匾总会引起我的注意,它上面印着霍勒斯·格里利(1811~1872 年)的一则名言,那时我并不知道他是《纽约论坛报》的创始人、编辑和出版者。这句名言非常简短:“年轻人,当理论和实践有分歧时,请运用你的常识。”这句名言似乎更应该使用感叹号结尾而不是一个句号,但是我不记得是否如此。

对于年轻的工程师,这是一个很有用的建议,尽管格里利提出这则箴言时还不是一名工程师。实践告诉我们《雷达散射截面测量》并不是 RCS 测量的第一本书,并且理论告诉我们,它也不可能是最后一本。如果本书出现一些与常识相关的内容,那是因为“为什么”进行 RCS 测试比“如何”进行 RCS 测试更为重要。如果我们知道“为什么”,不管什么时候,我们总会应用现有技术找到一种方法进行“如何”测试(格里利先生也会认同)。先进的技术也许可以改变“如何”测试,但不能显著影响“为什么”测试。

本书原本计划设有 16 章,比出版的版本多出来 3 章(初稿确实有 16 章)。尽管并没有意识到,范·诺斯特兰莱因霍尔德编辑觉得有必要将格里利原则应用于本书。理论要求它是全面的、丰富的,但是实践上又要求它是经济的、实用的。常识和被删减 3 个章节在这两者间被折中。删减的章节主要是针对双站 RCS 测量、测试场准备要求、测试计划制定这些内容。

保留下来的章节的目的是展现并保存 RCS 测试的实际方法(及猜想),这些方法包含许多实用的 RCS 测试经验,并由此增加人们对 RCS 测试中(室外和室内)关于“硬(制造的)”目标测试的认识。“软”目标的特性(如由于自然环境造成的杂

波回波)仅在如何影响“硬”目标回波的情况下才考虑。而在本书中,未出现对杂波信号的描述和分析。

每一个章节都以对该章内容的简短综述开始,以对本章的总结结束。多数情况下,二者是相辅相成的。在它们之间,存在实践、测试和预测的技术细节,有时也有精妙的推测(文章中出现推测的地方,会有专门指出)。

和所有的作者一样,尽管我也想感谢帮助我著书的支持者、贡献者、顾问、评论家、批评家、艺术家和编辑,但是我要感谢的人员不会太多。我的确曾向一些大的航空航天和飞机制造商(也包括一些小的机构)征询过信息和数据,但是他们中只有一两个做出了回应。我一个人独自使用老式计算机的老式软件打出了这本书,并且完成了几乎所有的插图,因此无需感谢打字员和图片制作人员。尽管如此,我仍要特别感谢其中一家公司和他们中的一些人。

波音公司十分鼓励员工发表自己的作品,并且允许我使用公司的资源(主要是台式图形工作站),利用它我创建了本书中的很多插图。如果波音公司不授权我使用这些设备,我将无法完成本书的撰写。

尤金·索伦森是我在波音公司的同事,他协助我绘制了本书中的若干插图。Axtell J C 博士是在波音公司工作多年的 RCS 技术组经理,同意我发布波音 RCS 测试场的照片。Nalos E J 博士是我在波音公司工作上的导师,他对这本书的进度一直保持着浓厚的兴趣。

负责设计和监测俄勒冈州波音测试场结构的工程师达利尔·斯通,毫无保留地告诉我在这个测试场上,测试是怎样进行的,仪器是怎样设计的。我们的讨论经常很激烈,时而伴随着冲突,但我会长久地珍惜这种友谊。

对这本书的 13 个章节,我征求了四个专家的意见。达利尔·斯通审阅了第 2 章,并且指出了几个需要修改的地方。罗伯特·迪达尔博士(加利福尼亚埃尔塞贡多航空航天公司)仔细审阅了第 4 章,并且提供了一些改进的建议。迪恩·门萨博士(加利福尼亚的美国海军和平导弹测试中心)审阅了第 10 章,他的建议包含在这一章的结尾以做参考。艾德哈特先生(从亚特兰大科技公司退休以后,创立了佐治亚拉特利奇的公平比赛技术公司)审阅了第 11 章。我很感激这四位专家,他们抽出宝贵的私人时间来审阅本书的初稿,并为此书的改进提出了宝贵意见。

在这三年的编写和修订过程中,编辑史蒂夫·查普曼是我唯一接触的凡诺斯特朗莱恩霍尔德出版社的人。其间,我及时但不规律地向他提交我的章节内容,并且表明不需要回复意见。通常,很多人会忽视我的这个请求,但是格里利将此铭记在心,并只在有不好的消息的时候才告知我。

最重要的是我妻子露丝的支持,她在这个伟大事业开始之初就鼓励我去“大胆试一试”,并在开始之后,就一直督促我去完成。她听了我很多的抱怨,但是善解人意地忽略了我关于技术上喋喋不休的言语,包容我在计划已久的家居装修和改善

工程上的漠不关心。《雷达散射截面测试》一书完成之后,我对她的抱怨更耐心,完成我们房子的装修计划,并且试着去理解露丝的唠叨。

Eugene F. Knott

目 录

“电子与信息作战”丛书序

译者序

前言

第 1 章 雷达散射截面基础	1
1.1 雷达散射截面测量的必要性	1
1.2 电磁波特性	4
1.2.1 频率和波长	4
1.2.2 时间相关性	5
1.2.3 波类型	6
1.2.4 特征阻抗	7
1.2.5 功率密度	7
1.2.6 极化	8
1.3 雷达距离方程	9
1.4 雷达散射截面	11
1.5 极化散射矩阵	13
1.6 测试场地的基本要求	16
1.7 总结	19
参考文献	20
第 2 章 仪表系统	21
2.1 连续波对消雷达	21
2.2 非相干脉冲雷达	24
2.2.1 脉冲发射机	26
2.2.2 脉冲接收机	30
2.2.3 短脉冲雷达	32
2.3 相干雷达	35
2.3.1 相干脉冲雷达	35
2.3.2 调频/连续波雷达	39
2.4 多波段散射矩阵雷达	42
2.5 多波段雷达中的数字功能	47
2.6 总结	53

参考文献	54
第3章 目标支撑结构	56
3.1 泡沫支架	56
3.1.1 泡沫的物理特性	56
3.1.2 表面反射	59
3.1.3 体积反射	63
3.2 线绳支撑	65
3.3 金属支架	75
3.4 其他结构和技术	83
3.5 总结	89
参考文献	89
第4章 测试误差	91
4.1 仪器及灵敏度	92
4.2 目标照射	96
4.2.1 相位误差:远场条件	97
4.2.2 幅度误差:天线尺寸	103
4.2.3 幅度误差:距离衰减	105
4.3 背景作用	107
4.4 目标与环境相互作用	112
4.5 总结	118
参考文献	119
第5章 校准	121
5.1 测试设备校准	121
5.2 曲面校准体	129
5.2.1 理想导体球	129
5.2.2 直圆柱	133
5.3 具有平坦表面的校准散射源	137
5.3.1 平板	137
5.3.2 金属角反射器	139
5.4 替代法校准	145
5.4.1 主校准和二次校准	145
5.4.2 连续校准	148
5.4.3 目标遮挡	149
5.5 总结	152
参考文献	153

第 6 章 室外测试场	154
6.1 地平场的布局方式	154
6.2 双路径传播	159
6.3 天线方向图的影响	165
6.4 非理想反射地平面	173
6.5 克服地平面的影响	180
6.5.1 脊形测试通道	181
6.5.2 雷达栅	184
6.6 总结	188
参考文献	189
第 7 章 室内暗室	191
7.1 墙面反射	191
7.2 暗室配置	197
7.3 暗室吸波材料	207
7.4 测试暗室评估	213
7.5 总结	221
参考文献	222
第 8 章 紧缩场	224
8.1 电介质透镜	225
8.2 大型反射面	232
8.3 反射面边缘设计	238
8.4 双反射面结构	242
8.5 暗室诊断	249
8.6 总结	259
参考文献	260
第 9 章 数据的处理与压缩	262
9.1 统计测量	262
9.2 人造目标特性	269
9.3 显示格式	278
9.4 背景对消	281
9.5 总结	284
参考文献	285
第 10 章 雷达成像	286
10.1 雷达成像原理	286
10.2 一维距离像	291

10.3 补零和加窗	299
10.4 横向距离像	304
10.5 成像与诊断	310
10.6 总结	319
参考文献	320
第 11 章 动态测试场地	321
11.1 测量雷达	321
11.2 动态目标成像	327
11.3 跟踪雷达	330
11.4 度量数据	337
11.5 一些动态测试场	347
11.5.1 船基系统	347
11.5.2 陆基系统	350
11.5.3 岸基系统	351
11.5.4 移动系统	357
11.5.5 机载系统	358
11.6 总结	359
参考文献	360
第 12 章 缩比模型测试	362
12.1 缩比原理	362
12.2 电介质和吸波材料	366
12.3 金属涂层和电阻片	370
12.4 一个详细的全尺寸/缩比模型比较	376
12.5 总结	382
参考文献	383
第 13 章 测试安全	385
13.1 基本要求	385
13.2 目标掩体	386
13.3 测试场安全	395
13.4 黑项目	398
13.5 小结	400
参考文献	401
中英文对照表	402

第 1 章 雷达散射截面基础

1.1 雷达散射截面测量的必要性

目标的雷达散射截面(radar cross section, RCS)是一个假想的面积,描述当目标被雷达照射时反射回雷达的波的强度。如业内所知,RCS 可简单地表述为:使用一个电大尺寸理想导体球代替目标,当球的回波强度与目标的回波强度相等时,RCS 就是这个球的投影面积。所谓电大尺寸(electrically large),意思是球的直径至少是数个波长,投影面积只是 πa^2 ,其中 a 是球的半径。金属球完全是假想的,但确实能够给大多数人一种雷达目标的等效物理尺寸的概念。

正如本书后面将会说明的,大多数目标的回波将随着雷达频率和方位角的变化而产生很大的不同,然而大尺寸的球的回波几乎是不变的。为了适应目标回波强度真实的变化,等效金属球不得不被假想为当角度和频率变化时大小可变。因此,虽然等效球体的概念是有用的,但还是很粗糙的。我们可能最好还是仅仅将目标的雷达散射截面看成雷达回波强度用面积单位表达的一种度量。

无论用面积或是其他的量来表达,对于学术界和国防领域中的很多人,测试目标的 RCS 是非常重要的。简单和复杂形体 RCS 的预测是电磁学的一个难题,自从第二次世界大战早期雷达被研制以来就一直挑战着科学家和工程师。虽然电磁理论的原理相当成熟,但这些原理在预测雷达回波强度方面的应用却常常导致复杂且经常是超大规模的计算。测试理论或验证预测的需求总是存在,而这些通常只能通过测试场地进行测量这种方式来完成。

电磁理论的本质在四个方程组成的方程组中,即众所周知的麦克斯韦方程组(Maxwell's equations)。补充少量的辅助关系(如电荷守恒及边界条件),麦克斯韦方程组在宏观世界里极其普遍和可靠,以至于现代研究人员已经无法对其加以改进。相反,现代研究的目标更多的是探索实际问题(有时也不是那么实际)中理论的应用,而不是对这些理论进行检验。

实际应用时,研究人员经常会遇到以下烦恼和障碍:将一般形式的麦克斯韦方程组应用到一些具体问题上时数学推导非常麻烦。以至于理论学者认为这种情况不可预测,而实验人员正是通过测量的方法来避免这个问题,事实上,只有当理论学者确实利用实验证据支撑那些在测试验证前只能假设的预测时,这二者才恰当地合二为一。

对于 RCS 测量,一个更实际的理由是开发满足 RCS 需求的产品,这有别于常

见的任务、航程和载荷需求。由于对于明确 RCS 特性的产品没有公开市场,这些需求由美国国防部确定。在这些产品的概念定义和早期设计阶段,测试新的理念、材料和工艺流程是必不可少的,并且用实验性的测试来区分好的和不怎么好的概念方案,以及收集任何用其他方式难以简单得到的信息也是必要的。

在可能的时候,工程师和科学家依赖已开发的,且这些年来愈发可靠的计算工具来进行新产品设计和已有产品的改进。但计算工具都存在局限性,故工程师必须依靠测试来克服计算上的困难。因此,他们不得不测量对其产品开发极其重要的,且不总是基于先前经验和知识所能预测的量值。

一旦一个设计概念的详细的电磁特征通过实验测试和测量被确定,并且经优化的概念已准备包含在将要投入市场或交付的产品中,那么就剩下验证其是否能够按预期设想进行工作,这种校核必须通过实验进行。对于提出 RCS 性能水平指标的产品的开发,无论私营或公共,美国国防部都是唯一的承包机构。

正因如此,概念验证、规范符合性或产品性能验证的测试经常在 RATSCAT 或 RAMS 这两个本书中将介绍的外场测试设施进行。这两个设施是经过认证的、政府所有的 RCS 测试设施,由有资格的承包商在美国空军的管理下运行。这些测试场在一些合同中被指定为仅有的有资格可以开展这些实验的测试设施。

验证总是需要按照严格的测试计划进行 RCS 测试,测试计划中要求进行测量的条件、需要达到的技术要求、实验数据如何处理以影响验证,以及为测试模型自身的独立评估而可能将模型提交给政府。由于验证过程中包含高风险,特别是当几个承包商在“飞行”评估(“fly-off” evaluation)中可能为开发产品而竞争,所以参与者密切关注验证的所有细节。尽管非技术性的政治和经济因素不应该成为性能验证的一部分,但它们还是经常影响对赢家的选择。我们在本书中不考虑非技术性的因素,性能完全是一个技术性的问题。

正如读者将在本章剩余部分所看到的,雷达回波的研究和测量创造了特有的词汇表。下面我们解释业内常用的一些词汇,其他的词汇将在后续章节中出现时进行说明。

术语散射(scattering)和散射截面(scattering cross section)指目标周围能量或场的空间分布,一般是在远大于任何目标尺寸的距离上,由目标暴露在入射电磁波中而产生。术语本身可能是借用量子物理学,在量子物理学中,一个运动的带电粒子由于一个静态的、通常是更重一些的带电粒子所引起的偏转称为散射。不管名称中所隐含的随机性,由物体引起的电磁能量的散射遵从熟知的法则。只是除了简单情况,我们没有能力应用这些法才迫使我们散射截面进行测量。

虽然散射指的是现象,但散射截面是其量化表达。这两个术语均指仅由目标所引起的场分布,这是一个有用的概念,因为几乎所有雷达,无论军用雷达还是测量仪表系统,都通过时序或信号处理等方法将目标散射场从总场(入射场和散射场

之和)中分离出来。

散射截面是一个面积,就像将在 1.4 节中讨论的那样。但是,除非另有说明,它指的是双站截面(bistatic cross section)或双站雷达散射截面(bistatic radar cross section)。术语双站(bistatic)指的是除了返回雷达方向的任何方向的照射目标散射。术语雷达散射截面(radar cross section),有时被称为回波面积(echo area),意思是在朝向发射源的这个特殊方向上评估或测量的双站截面,这被称为单站(monostatic)或后向散射(backscattering)情况。然而,每当增加一个修饰词,例如,在雷达散射截面前增加双站而形成双站雷达散射截面,散射的方向就被理解为在任意方向。

任何产生可测量的雷达回波的物体被称为散射目标(scatterer),无论它是一个完整的目标还是目标的一些小的部分,如一条边缘或一个角,甚至是一个像铆钉头部的凸起。事实上,一个单纯的矩形平板在与其平面呈斜入射时的回波可以被证明是从其四个角上产生的,每个角都可被称为一个散射中心(scattering center)。很多目标可从概念上,如果不是从物理上,分解为散射中心的集合,现代测试场测试设备能够分解它们中的大多数。

甚至最简单的目标也有超过一个明显的散射中心,所有散射中心贡献的总和构成了净回波。这个总和是汇总在散射矩阵(scattering matrices)(将在 1.5 节中进行描述)中复数元素的集合。各自对净回波或总回波的贡献是相位角的问题,这相当于散射中心与雷达的相对位置问题。

净目标回波或总目标回波的相位主要取决于两个相关的现象。一个是发射机到目标以及返回接收机的双程距离,这是因为相位角与距离和频率均成比例。即使目标方位角固定,距离上小的变化也能使回波信号的相位发生很大改变。另一个现象是回波相位由于数十个、经常是数百个单独的散射中心回波的相干(coherent)组合所造成的快速变化。

即使目标距离保持不变,这些单独的散射中心之间的相位关系也将随着目标方位角的变化而连续改变。这是因为目标在任意平面的转动都将引起目标上的散射中心接近和远离雷达。位置上的相对变化在回波幅度上产生大的起伏,这种起伏的含义将在第 9 章中详细讨论。由于方位角上很小的变化可使得这些起伏可能超过 2~3 个数量级,测试工程师发现用分贝(decibel)的形式来测量和显示是方便的,这是我们接下来要说明的。

所有的测试场,无论室内场还是室外场,都因场地上不需要的回波源而存在着背景(background)信号。背景回波一般意味着不是由目标自身所产生的任意回波,可能是由室外场不平整的地面、室内场后墙的反射,以及内、外场中为了使目标被照射而使用的目标支架所引起的。背景一般指在场地严格按照真实测量目标数据采集进行配置,目标转台转动一周,但没有测试目标(in the absence of the test

object) 时由测量仪表系统采集的信号。对于评估由仪表系统以外的测试场特性产生的不需要的贡献所造成的可能的测量恶化,背景数据是很有用的。

我们以对分贝的解释作为本节的结束。分贝是信号强度的一个对数度量单位,缩小了强弱信号对比时的显著差别。例如,我们将在第 2 章看到,大多数雷达接收机在信号放大的一些阶段使用对数放大器,那里的输出信号与输入信号的对数成比例。当用对数分贝系统表达时,通常(但不总是必要的)要 RCS 以绝对面积 A 为基准,这通常在定标过程中被确定。RCS 测量中分贝的正式定义为

$$\sigma(\text{dB}, \text{以 } A \text{ 做基准}) = 10 \log_{10} (\sigma/A)$$

由于对数刻度表达只是相对变化,故参考基准 A 应一直被引用。如果只是信号电平的相对变化是重要的,那么绝对的参考电平并不是必需的,但是大多数情况下它们还是很重要的。天线行业里一个常用的参考电平是毫瓦,等效使用的分贝制则是 dBm,意思是相对于 1mW 的分贝。在 RCS 测量中,一些参考面积都在使用,包括 1 平方米(dBsm)和 1 平方波长(dB λ^2)。在一些情况下,使用小一点的参考面积更为方便,如使用 1 平方厘米(cm^2),而在另外一些情况下,使用 1 特征目标尺寸的平方则更有用。

1.2 电磁波特性

像光一样,雷达波也是电磁波,能够将能量从空间中的一点传递到另一点,即使是在真空中。这些波可以通过其在空间和时间上的电场和磁场的指向以及传播的方向来进行描述。重要特性包括波的类型、辐射的频率或波长、极化和波传播介质的阻抗或导纳。下面讨论这些以及其他一些特性,而它们对雷达距离方程(radar range equation)、雷达散射截面的正式定义和极化散射矩阵(polarization scattering matrix)等三个重要概念具体影响的讨论留到 1.3~1.5 节进行。

1.2.1 频率和波长

所有电磁波在理想真空中的传播速度是每纳秒(ns, 1 秒的十亿分之一) 29.9792458cm,或约每纳秒 11.80in(1in=2.54cm)。每纳秒 1ft (1ft=30.48cm) 常常是一个可接受的近似,这个值仅仅比精确值高出了 1.6%。海平面处大气中的传播速度仅略微小于真空中的传播速度(约百万分之几),在本书剩余部分中将忽略这一差别。

这一传播速度是一个普适量,与波长或频率无关。事实上,它以以下形式严格地联系了这二者

$$c = f\lambda \quad (1.1)$$

式中, c 是指定的光速; f 是波的频率,用赫兹(Hz, 周每秒)表示; λ 是波长。由于在