

微波技术、测量与实验

严利华 姬宪法 王江燕 编 著



航空工业出版社

微波技术、测量与实验

严利华 姬宪法 王江燕 编著

航空工业出版社

北京

内容提要

《微波技术、测量与实验》教材主要涵盖微波技术、微波测量和微波实验方面的教学内容。首先介绍了微波技术基础的相关知识和天线，包括微波的基本理论，微波传输线理论，微波器件和天线等；然后在讲述原理的基础上，介绍了微波测量和微波实验，主要包括微波测量基本理论及常用微波测量仪器的使用方法。

本书适合航空雷达专业、导航工程专业、电子对抗专业及其他有关人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

微波技术、测量与实验/严利华, 姬宪法, 王江燕

编著. —北京: 航空工业出版社, 2019. 8

ISBN 978-7-5165-1996-7

I. ①微… II. ①严…②姬…③王… III. ①微波技术—高等学校—教材 IV. ①TN015

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 171799 号

微波技术、测量与实验 Wei bo Jishu、Ce liang yu Shi yan

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010-84936597 010-84936343

三河市华骏印务包装有限公司印刷

2019 年 8 月第 1 版

开本: 787×1092 1/16

印数: 1—2000

印张: 19.5

全国各地新华书店经售

2019 年 8 月第 1 次印刷

字数: 441 千字

定价: 47.00 元

前言

本书是根据职业教育的教学要求，结合编者的教学经验和职业教育的特色，编写的适合职业学院人才培养目标的《微波技术、测量与实验》教材。

本书根据职业教育的需求，精选教学内容，强调三个基本：基本概念、基本原理、基本方法，弱化繁琐的理论推导，突出理论联系实际工程特点。

本书共分两部分：

第一部分介绍微波技术的基本知识和天线。主要包括微波的基本理论、微波传输线理论（含双线传输线、同轴传输线、带状线、微带线、槽线和共面线、波导等）、微波元器件、微波铁氧体器件和天线的原理及运用。

第二部分介绍微波测量基本理论，包括微波功率测量、微波频率测量、驻波测量、衰减量测量，以及频谱分析与微波频谱仪的使用；给出了一些典型的微波实验内容和微波常用测量仪器的使用方法。

本书的修订工作得到了航空工业出版社以及使用该教材的老师们的的大力支持和帮助，编者在此一并致以谢意。

限于编者水平，书中难免有不妥或错误之处，谨请读者给予批评指正。

C 目录

atalog.....

第 1 章 概述	1
1.1 微波及其特点	1
1.1.1 微波的含义	1
1.1.2 微波的特点	3
1.2 微波的应用	4
1.2.1 通信方面	4
1.2.2 雷达方面	4
1.2.3 微波武器	6
小结	6
第 2 章 传输线基本理论	8
2.1 传输线的基本概念	8
2.1.1 传输线的种类	8
2.1.2 传输线的分布参数及等效电路	8
2.1.3 传输线方程	12
2.2 无损耗传输线上的行波	13
2.2.1 行波的传输过程	13
2.2.2 行波方程	18
2.2.3 电波传输的参数	20
2.2.4 行波工作状态时传输线的输入阻抗	22
2.3 无损耗传输线上的驻波	23
2.3.1 驻波的概念	23
2.3.2 末端反射系数	24
2.3.3 终端开路线上的驻波工作状态	25
2.3.4 终端短路线上的驻波工作状态	31
2.3.5 末端接纯电抗负载时线上的驻波	34
2.4 无损耗传输线上的复合波	37
2.4.1 沿线电压、电流的分布	37

2.4.2	阻抗特性	39
2.4.3	行波系数和驻波系数	41
2.5	传输线的匹配	41
2.5.1	传输线匹配的一般概念	41
2.5.2	各种匹配装置的工作原理	42
小结	47
第3章	微波传输线	49
3.1	双线传输线	49
3.1.1	特性阻抗	50
3.1.2	传输特性	50
3.2	同轴传输线	50
3.2.1	同轴线中电磁波传输的主模式	51
3.2.2	同轴线的特性阻抗	51
3.2.3	同轴线中的高次模式	52
3.3	带状线	52
3.3.1	特性阻抗	53
3.3.2	传播速度与带内波长	56
3.3.3	带状线尺寸的设计考虑	56
3.4	微带线	57
3.4.1	微带线参数	58
3.4.2	微带线传输特性	60
3.4.3	微带线的色散特性及尺寸设计考虑	60
3.5	耦合微带线及耦合带状线	61
3.6	槽线和共面线	62
3.6.1	槽线	62
3.6.2	共面线	63
小结	64
第4章	波导	65
4.1	波导的基本概念	65
4.1.1	波导的形成	65
4.1.2	波导的特点	66
4.2	电磁波在矩形波导中的传播	67
4.2.1	电磁波沿波导传播时应符合的条件(边界条件)	67
4.2.2	电磁波在矩形波导内怎样传播才能符合边界条件	68
4.3	矩形波导内的基本波型	75
4.3.1	TE_{10} (H_{10}) 波的电磁场分布	75
4.3.2	波导管壁上的电流分布	76

4.3.3	波导内的波长	78
4.3.4	波导内电磁波的传播速度	79
4.4	矩形波导内的其他波型	81
4.4.1	矩形波导内其他波型的电磁场分布	82
4.4.2	矩形波导内其他波型的截止波长	84
4.4.3	矩形波导内只传输基本波型而不传输其他波型的条件	86
4.5	矩形波导的激励	87
4.5.1	TE ₁₀ 波的激励	87
4.5.2	其他波型的激励	89
4.6	矩形波导的阻抗及匹配	90
4.6.1	波导的阻抗	90
4.6.2	波导的匹配	92
4.7	圆形波导	96
4.7.1	圆形波导内电磁波的波型	96
4.7.2	圆形波导传输单一波型的条件	100
4.7.3	圆形波导同矩形波导的比较	101
	小结	102
第5章	微波器件	103
5.1	谐振线与谐振腔	103
5.1.1	谐振线	104
5.1.2	谐振空腔	110
5.2	微波连接装置	114
5.2.1	各种转换接头	114
5.2.2	波导T形接头和双T接头	118
5.3	衰减器与移相器	121
5.3.1	衰减器	121
5.3.2	移相器	126
5.4	微波滤波器	127
5.4.1	滤波器的一般概念	127
5.4.2	滤波器的工作原理	129
5.5	定向耦合器	134
5.5.1	同轴线定向耦合器	134
5.5.2	波导定向耦合器	135
5.5.3	微带定向耦合器	136
5.6	微波集成电路简介	141
5.6.1	电容	141
5.6.2	电感	143

85	5.6.3 电阻	144
87	5.6.4 谐振回路	145
18	5.6.5 滤波器	146
88	5.6.6 微波集成电路举例	147
18	小结	148
	第6章 微波铁氧体器件	150
79	6.1 铁氧体的基本概念	150
78	6.2 铁氧体的基本特性	151
88	6.2.1 铁氧体内自旋电子的进动	151
00	6.2.2 磁共振特性	153
00	6.2.3 旋磁特性	156
82	6.3 铁氧体微波器件	159
80	6.3.1 隔离器	159
30	6.3.2 环行器	160
00	6.3.3 移相器	162
101	小结	163
	第7章 天线	164
801	7.1 天线的基本原理	164
101	7.1.1 天线的辐射	164
101	7.1.2 天线的基本特性	172
011	7.1.3 天线的接收原理	181
111	7.2 常用天线	186
111	7.2.1 振子类天线	186
811	7.2.2 缝隙天线	192
131	7.2.3 喇叭天线	195
131	7.2.4 抛物面天线	197
831	7.2.5 螺旋天线	202
731	7.2.6 电子扫描天线	208
731	小结	213
	第8章 微波测量方法	215
141	8.1 微波功率测量	217
141	8.1.1 微波功率计的类型	217
341	8.1.2 热量计式大功率计	218
041	8.1.3 热电式小(中)功率计	219
141	8.2 微波频率测量	220
141	8.2.1 谐振式频率计	221
411	8.2.2 外差频率计基本原理简介	224

8.3	驻波测量	225
8.3.1	驻波测量线	225
8.3.2	驻波测量	226
8.3.3	极大和极小驻波比测量	227
8.3.4	误差分析	229
8.3.5	反射计及扫频反射计	230
8.4	微波相位测量	233
8.5	衰减量的测量	235
8.5.1	功率比法	236
8.5.2	替代法	237
8.6	频谱分析与微波频谱仪	239
8.6.1	频谱分析	240
8.6.2	微波频谱分析仪的基本原理	243
	小结	245
第9章	微波实验	246
9.1	波导测试系统调整, 频率检查	246
9.1.1	实验目的	246
9.1.2	实验内容	246
9.1.3	实验原理	246
9.1.4	实验连接图	247
9.1.5	实验方法及步骤	248
9.1.6	实验注意事项	248
9.2	λ_g (波导波长) 测量及与 λ_0 (空气波长) 的关系	250
9.2.1	实验目的	250
9.2.2	实验内容	250
9.2.3	实验原理	250
9.2.4	实验连接图	250
9.2.5	测试方法及步骤	250
9.3	驻波比测量	251
9.3.1	实验目的	251
9.3.2	实验原理	251
9.3.3	测试方法	252
9.3.4	实验注意事项	255
9.4	S 曲线小驻波比测量	255
9.4.1	实验目的	255
9.4.2	原理简述	255
9.4.3	连接框图	255

9.4.4	测量方法	255
9.5	调配技术	256
9.5.1	实验目的	256
9.5.2	原理简述	256
9.5.3	系统连接图	256
9.5.4	测试方法	257
9.6	衰减测量	257
9.6.1	实验目的	257
9.6.2	原理简述	258
9.6.3	测试方法(功率比较法)	258
9.6.4	实验注意事项	260
9.7	定向耦合器性能测量	260
9.7.1	实验目的	260
9.7.2	实验原理	261
9.7.3	连接框图	261
9.7.4	测试内容与步骤	263
9.7.5	实验注意事项	264
9.8	“魔 T”功分特征测量	264
9.8.1	实验目的	264
9.8.2	实验原理	264
9.8.3	连接框图(示意图为功率比较法;图片及测试方法为检波电平增益比)	265
9.8.4	测试方法	267
9.9	魔 T 和差特征测量	268
9.9.1	实验目的	268
9.9.2	实验原理	268
9.9.3	连接框图	268
9.9.4	测试方法	269
9.10	阻抗测量(归一化阻抗测试实例)	269
9.10.1	实验目的	269
9.10.2	实验原理	269
9.10.3	系统连接及测量方法:测量线的测量端接上短路板	270
9.11	二端口网络 S 参数测量	271
9.11.1	实验目的	271
9.11.2	原理简述	271
9.11.3	连接框图	272
9.11.4	测试方法	272

9.12	检波器特性校准	273
9.12.1	实验目的	273
9.12.2	原理简述	273
9.12.3	系统连接图	274
9.12.4	测试方法	274
9.13	功率测量应用	275
9.13.1	实验目的	275
9.13.2	连接框图	275
9.13.3	测量方法 (建议进行功率测量时将信号源工作状态置于“等幅”处)	276
9.14	角锥天线测量	277
9.14.1	实验目的	277
9.14.2	原理简述	277
9.14.3	天线测量实验系统的建立	280
9.14.4	测试实验	281
9.15	微带天线的测试	284
9.15.1	实验目的	284
9.15.2	原理简述	284
9.15.3	实验连接示意图	284
9.15.4	测试方法	285
	小结	285
附录 A	实验测量仪表及元器件使用说明	286
	YS1125 信号发生器使用说明	286
	GX2C-1 功率计使用说明	288
	YS3892 选频放大器使用说明	292
	TC26 3cm 波导测量线使用说明	294
	PX16 型频率计使用说明	295
	其他元器件的使用说明	296
	参考文献	298

第 1 章 概 述

英国物理学家 J. C. (麦克斯韦 Maxwell, 1831—1879) 于 1862 年提出了位移电流的概念, 并提出了“光与电磁现象有联系”的推断。1865 年, Maxwell 在其论文中第一次使用了“电磁场”(Electromagnetic Field) 一词, 并提出了电磁场方程组, 推演了波动方程, 还论证了光是电磁波的一种。一百多年来的事实证明, 建立在电磁场理论基础上的微波科学技术, 对人类生活产生了极其巨大的影响。微波技术已有几十年的发展历史, 现已成为一门比较成熟的学科。在雷达、通信、导航、遥感、电子对抗和科学研究等方面, 微波技术都得到了广泛的应用。微波技术是无线电电子学门类中一门相当重要的学科, 对科学技术的发展起着重要的作用。

1.1 微波及其特点

1.1.1 微波的含义

微波是频率非常高, 而波长非常短的无线电波。由于这种电磁波的波长非常短, 而称微波 (Microwave)。

电磁波的传播速度 v 与其频率 f 、波长 λ 满足下列关系

$$f\lambda = v \quad (1-1)$$

若电磁波是在真空中传播, 则速度为 $v=c=3\times 10^8$ m/s, c 为光速。

微波一般指频率从 $3\times 10^8 \sim 3\times 10^{12}$ Hz, 对应的波长从 $1\text{m} \sim 0.1\text{mm}$ 范围的电磁波。

微波在整个电磁波谱中的位置如图 1-1 所示。

微波频率的低端与普通无线电波的“超短波”波段相连接, 其高端则与红外线的“远红外”区相衔接。微波所占频率范围几乎是所有低频频率范围之和的 1000 倍 (即在 $300\text{MHz} \sim 3000\text{GHz}$ 的范围可包含 1000 个所有长、中、短波波段的频率范围之和)。

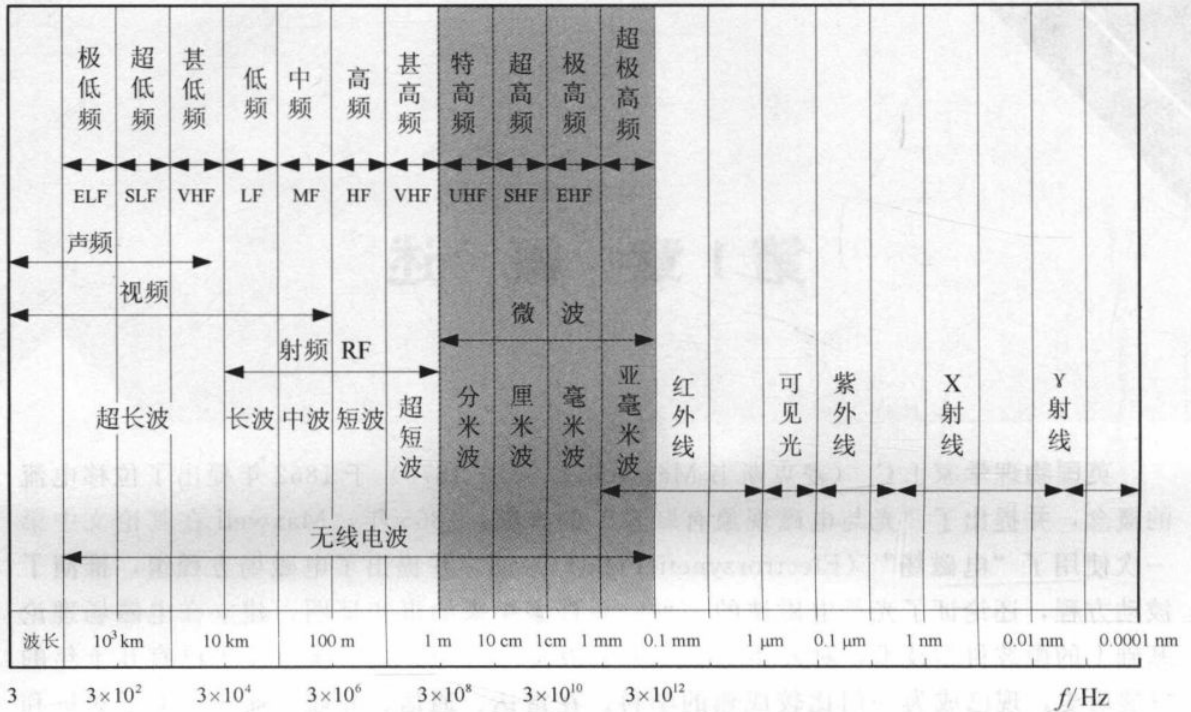


图 1-1 电磁波频谱及相关波段表

频率为 30kHz~300MHz 的范围称为射频 (Radio Frequency, RF)。射频有时也指微波的低端频率范围,是当前无线通信领域最活跃的波段。

根据频率的高低,在微波波段范围内,还可分为分米(dm)波、厘米(cm)波、毫米(mm)波及亚毫米波等波段。做更详细的划分,厘米波又可分为 10cm 波段、5cm 波段、3cm 波段及 1.25cm 波段等;毫米波可细分为 8mm、6mm、4mm 及 2mm 波段等。

实际工程中常用拉丁字母代表微波波段的名称。例如, S、C、X 分别代表 10cm 波段、5cm 波段和 3cm 波段; Ka、U、F 分别代表 8mm 波段、6mm 波段和 3mm 波段等,如表 1-1 所示。

表 1-1 微波频段的划分

波段	频率范围/GHz	波段	频率范围/GHz
UHF	0.30~1.12	Ka	26.50~40.00
L	1.12~1.70	Q	33.00~50.00
LS	1.70~2.60	U	40.00~60.00
S	2.60~3.95	M	50.00~75.00
C	3.95~5.85	E	60.00~90.00
XC	5.85~8.20	F	90.00~140.00
X	8.20~12.40	G	140.00~220.00

表 1-1 (续)

波段	频率范围/GHz	波段	频率范围/GHz
Ku	12.40~18.00	R	220.00~325.00
K	18.00~26.00		

1.1.2 微波的特点

微波之所以作为一个相对独立的学科来加以研究，是因为它具有下列独特性质。

(1) 频率极高

由于微波频率极高，故它的实际可用频带很宽，可达 10^9 Hz 数量级，是低频无线电波无法比拟的。频带宽意味着信息容量大，这就使微波得到了更广泛的应用。

(2) 波长极短

a. 微波的波长比地球上的宏观物体（如飞机、舰船、导弹、卫星、建筑物等）的几何尺寸小得多，故当微波照射到这些物体上将产生强烈的反射。雷达就是根据微波的这个原理工作的。这种直线传播的特点与几何光学相似，故微波具有“似光特性”。利用这一特性，可以制成体积小、方向性很强的天线系统，可以接收到由地面或宇宙空间物体反射回来的微弱信号，从而增加雷达的作用距离并使定位精确。

b. 微波的波长与普通电路或实验设备（比如波导、微带、谐振腔和其他微波元件）的尺寸相比在同数量级，使得电磁能量分布于整个微波电路之中，形成所谓“分布参数”系统，线路上各点电压、电流不能认为是同时建立的，各点电压、电流的相位和振幅也都不同。这与低频电路有原则区别，因为低频时电场和磁场能量是分别集中于所谓“集总参数”的各个元件中。

(3) 可穿透电离层

低频无线电波由于频率低，所以当它射向电离层时，其一部分被吸收，另一部分被反射回来。对低频电磁波来说，电离层形成一个屏蔽层，低频电磁波是无法穿过它的。而微波的频率很高，可以穿透电离层，从而成为人类探测外层空间的“宇宙之窗”。这样，不仅可以利用微波进行卫星通信和宇航通信，也为射电天文学等学科的研究开拓了广阔前程。

(4) 量子特性

根据量子理论，电磁辐射的能量不是连续的，而是由一个个的“光子”所组成。单个量子的能量与其频率的关系为

$$\epsilon = hf \quad (1-2)$$

式中： $h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ ——普朗克常数，eV 为电子伏 [特]，s 为秒。

由于低频电波的频率很低，量子能量很小，故量子特性不明显。微波波段的电磁波，单个量子的能量为 $(10^{-6} \sim 10^{-3}) \text{ eV}$ 。而一般顺磁物质在外磁场中所产生的能级间的能量差额介于 $(10^{-5} \sim 10^{-4}) \text{ eV}$ 之间，电子在这些能级间跃迁时所释放或吸收的量子频率是属于微波范畴的，因此，微波可用来研究分子和原子的精细结构。同样地，在超低温时物体吸收一个微波量子也可产生显著反应。上述两点对近代尖端科学，

如微波波谱学、量子无线电物理的发展都起着重要作用。

1.2 微波的应用

微波技术是研究微波信号的产生、放大、传输、发射、接收和测量的学科，它是近代科学技术的重大成就之一。

从物理学的角度讲，微波技术所研究的主要是微波产生的机理，它在各种特定的边界条件下的存在特性，以及微波与物质的作用。

从工程技术角度讲，微波技术所研究的主要是具备各种不同功能的微波元器件（包括传输线）的设计，以及这些微波元器件的合理组合应用。

综上所述，微波技术的应用范围和包含的内容相当广泛，但是本书主要讨论研究微波传输方面的基本理论。具体讲是传输线问题，它是研究微波技术中其他问题的基础。例如，在当前时钟频率超过数百兆赫 [兹] 的微处理器芯片，及其构成的高速数字电路布线等都需要利用微波的基本原理才能实现正确的设计。因此，微波技术是从事当今电子与信息学科研究人员必不可少的基础知识。

微波技术的发展和它的应用紧密联系在一起。微波的实际应用极为广泛，下面就几个重要方面加以介绍。

1.2.1 通信方面

由于微波的可用频带宽、信息容量大，所以一些传送大信息量的远程设备都采用微波作为载体。微波多路通信是利用微波中继站来实现高效率、大容量的远程通信的。由于微波的传播只在视距内有效，所以，这种接力通信方式是把人造卫星作为微波接力站。美国在 1962 年 7 月发射的第一个卫星微波接力站——Telstar 卫星，首次把现场的电视图像由美国传送到欧洲。这种卫星的直径只有 88 cm。因而，有效的天线系统只可能在微波波段，利用互成 120° 角的三个定点赤道轨道同步卫星，可以实现全球性的电视转播和通信联络。由平均分布在围绕地球的 6 个圆形轨道上的 24 颗人造地球卫星（即导航卫星）所组成的全球定位系统（GPS），如今已经成为当今世界上最实用、也是应用最广泛的全球精密导航、指挥和调度系统。目前，无线通信如移动通信中的手机、Bluetooth、无线接入、非接触式射频识别卡等新技术都典型地代表了当今微波技术与微电子技术发展的结合所形成的微波集成电路技术。这些都是微波技术成功应用的事例。

1.2.2 雷达方面

雷达是微波技术最先得到应用的典型例子。在第二次世界大战期间，敌对双方开始了迅速准确地发现敌人的飞机和舰船的踪迹，继而又为了指引飞机或火炮准确地攻

击目标,发明了可以进行探测、导航和定位的装置——雷达。事实上,正是由于第二次世界大战期间对于雷达的急需,微波技术才迅速发展起来。现代雷达多数是微波雷达。迄今为止,各种类型的雷达,例如,导弹跟踪雷达、火炮瞄准雷达、导弹制导雷达、地面警戒雷达,乃至大型国土管制相控阵雷达等,仍然代表微波技术的主要应用。这主要是由于这些雷达要求它所用的天线能像光探照灯那样,把发射机的功率基本上全部集中于一个窄波束内辐射出去。但天线的辐射能力受绕射效应的限制,而绕射效应又取决于辐射器口径尺寸相对于波长的比值 D/λ_0 , 其中 D 是辐射器口径面线长度, λ_0 是工作波长。抛物面天线的主波束波瓣宽度 $2\theta_0$ 可用下式计算

$$2\theta_0 = k\lambda_0/D \quad (1-3)$$

其中, k 是用度表示的常系数,视抛物面口径面张角 Ψ 的不同而异。例如,当 $\Psi=90^\circ$ 时, $k=81.84^\circ$ 。于是一个直径 $D=90$ cm 的抛物面,在波长 $\lambda_0=3$ cm (即频率为 10 GHz) 工作时,可以产生 2.73° 的波束。这样窄的波束可以相当精确地给出雷达观察的目标的位置。但频率为 10^8 Hz 时,欲达到与上述情况可相比拟的性能,则需要口径达 90 m 的抛物面,这样大的天线显然不现实。

除军事用途之外,还发展了多种民用雷达,如气象探测雷达、高速公路测速雷达、汽车防撞雷达、测距雷达,以及机场交通管理雷达等。这些雷达也多是利用微波频率。

飞行体的雷达可检测性是用 RCS (Radar Cross Section, 雷达截面积) 这个指标表示的。美国 B-52 远程战略轰炸机的 RCS 约 100 m², B-1 轰炸机的 RCS 约 10 m²。改进后的 B1-B 型仅有 1 m²。在海湾战争中大显身手的 F-117A 隐身战斗机的 RCS 竟低到 0.01 m² 以下,它的隐身奥秘有三个方面,首先是采用多平面多角体结构,角形平滑面向各个方向散射掉入射波波束;其次是大量使用轻质复合吸波材料及防护涂层;最后是严密屏蔽飞机自身的波辐射。因此,雷达很难发现 F-117A 飞机。对电磁波隐身的飞机,设计制造的关键是它的形状和所用微波吸收材料。此外,隐身舰船和隐身坦克也在研究中。

近年来,高功率微波 (High Power Microwave, HPM) 作为一种定向能武器新技术而受到关注,它是指工作频率为 (1~300) GHz,输出功率超过 100 MW 的微波器件与设备。所谓定向能武器,其攻击效果取决于能量的大小,而不像常规武器那样依赖于弹壳爆炸碎片的杀伤力。通常,微波炸弹由巡航导弹携带,一旦抵达目标,可在瞬间释放出巨大的能量。导弹在接近目标时,弹上电容器发出的电磁脉冲将以光速传播,而且不受恶劣天气影响。电磁脉冲将沿着通风管道、水管和天线深入地下掩体。微波炸弹可以烧毁电脑和电子元件。这种利用单一、强大微波脉冲摧毁敌方电子系统的方式,可以使敌方失去通信联络与控制能力、雷达失灵、导弹失效、计算机误码,是非常独特的作战方式。其次,它的进攻速度近于光速,敌方根本没有拦截时间。

1984 年美国国防部的定向能发展计划,包括了高能激光、粒子束和高功率微波三个方面。为了获得 HPM,采用了相对论电子束产生大功率微波振荡或放大,主要的高功率微波源有回旋管、自由电子激光器、回旋自谐振脉冲 (CARM)、相对论返波管、行波管、速调管、磁控管和虚阴极振荡器等。美国、俄罗斯在 HPM 方面的研究正在突破 100 GW 水平。

1.2.3 微波武器

微波武器是利用高功率微波束毁坏敌方电子设备和杀伤作战人员的一种定向能武器。用作武器的微波波长通常在 30~3 厘米、频率为 1~30 吉赫、输出脉冲功率在吉瓦级。目前,美、俄、英、法等国研制的微波武器主要分为两大类:一类是高功率微波波束武器,另一类是微波炸弹。微波武器的杀伤机理是基于微波与被照射物之间分子相互作用,将电磁能转变为热能而产生的微波效应,就其物理机制来讲,主要有以下三种效应:电效应、热效应和生物效应。

基于这种原理,微波武器利用高增益定向天线,将强微波发生器输出的微波能量汇聚在窄波束内,从而辐射出强大的微波射束(频率为 1~300GHz 的电磁波),直接毁伤目标或杀伤人员,由于微波武器是靠射频电磁波能量打击目标,所以又称“射频武器”。高功率微波武器的关键设备有两个,即高功率微波发生器和高增益天线。高功率微波发生器的作用是将初级能源(电能或化学能)经能量转换装置(强流加速器等)转变成高功率强脉冲电子束,再使电子束与电磁场相互作用而产生高功率电磁波。这种强微波将经高增益天线发射,其能量汇聚在窄波束内,以极高的强微波波束(其能量要比雷达波的能量大几个数量级)辐射和轰击目标、杀伤人员和破坏武器系统。

与常规武器、激光武器等相比,微波武器并不是直接破坏和摧毁武器装备,而是通过强大的微波束,破坏它们内部的电子设备。实现这种目的途径有两条:其一是通过强微波辐射形成瞬变电磁场,从而使各种金属目标产生感应电流和电荷,感应电流可以通过各种入口(如天线、导线、电缆和密封性差的部位)进入导弹、卫星、飞机、坦克等武器系统内部电路。当感应电流较低时,会使电路功能混乱,如出现误码、抹掉记忆或逻辑等;当感应电流较高时,则会造成电子系统内的一些敏感部件如芯片等被烧毁,从而使整个武器系统失效。这种效应与核爆炸产生的电磁脉冲效应相似,所以又称非核爆炸电磁脉冲效应;其二是强微波束直接使工作于微波波段的雷达、通信、导航、侦察等电子设备因过载而失效或烧毁。因此,微波武器又被认为是现代武器电子设备的克星。所以有人说,核武器是人类 20 世纪最大的杰作,而微波武器则是人类兵器研究的最大突破,在 21 世纪,它拥有的地位将可能仅次于 20 世纪的核武器。

小 结

1. 微波频率范围通常为 $3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^{12}$ Hz, 对应的波长范围为 1 m~0.1 mm。
2. 微波波段可分为分米波、厘米波、毫米波及亚毫米波段。
3. 微波特点: 波长极短(频率极高), 具有似光特性, 能穿透电离层及量子特性。由于微波所具有的这些独特的特点, 使微波的应用范围、研究方法、传输系统、微波元件和器件, 以及测量方法都与普通的无线电波不同, 因此需要将微波从普通无线电波中单独划分出来专门加以研究。
4. 微波与低频电路不同, 在微波中, 电流、电压不具有明确的物理意义, 需要用电磁场和电磁波的概念和方法来完全描述。