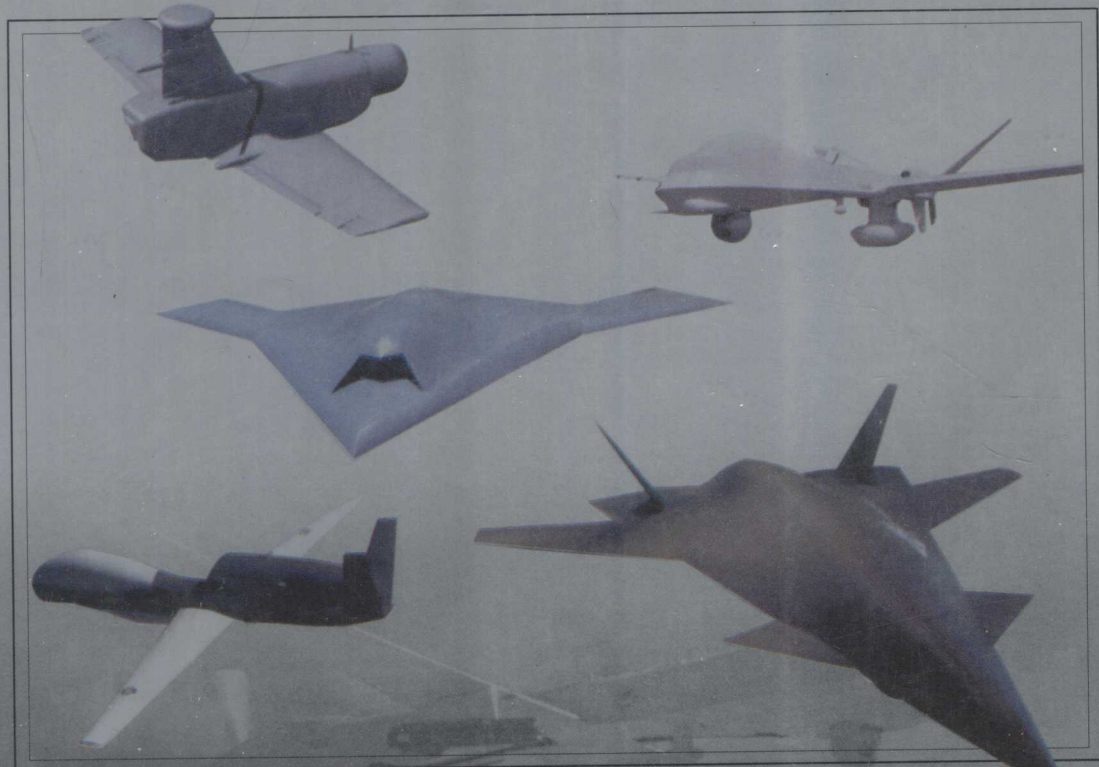


现代战场 侦察技术

XIANDAI ZHANCHANG
ZHENCHA JISHU

■ 樊邦奎 编著 ■



国防工业出版社

National Defense Industry Press

现代侦察技术

—— 侦察技术 ——



现代侦察技术

E8/170

00107081

内容简介

现代战场侦察技术

樊邦奎 赵玉民 都基焱 编著
葛传文 段连飞 尹航



国防工业出版社

贵阳学院图书馆



GYXY1070812

内 容 简 介

该书较系统地介绍了现代战场侦察技术。全书共分7章。第1章介绍了战场侦察的概念,侦察技术的体系结构,综述了情报信息获取技术;第2章介绍了雷达侦察技术,重点论述了侦察雷达的概念、地面战场侦察雷达和成像体制的战场侦察雷达技术;第3章介绍了光电侦察技术,重点是照相侦察、可见光电视侦察、夜视侦察、激光侦察技术;第4章介绍了无源探测技术,重点讨论声/震探测、水声探测、战场传感侦察分系统;第5章介绍了目标跟踪、定位、识别技术;第6章介绍了情报信息综合处理技术,讨论了情报信息处理的概念,重点介绍了数据融合技术;第7章简介了战场侦察技术的发展趋势。

此书可作为侦察技术专业的本科生和研究生的参考教材,供战场侦察技术装备领域的科学工作者参考,也可作为侦察部(分)队指战员的参考读本。

图书在版编目(CIP)数据

现代战场侦察技术/樊邦奎等编著. —北京:国防工业出版社,2008.4

ISBN 978-7-118-05442-2

I. 现... II. 樊... III. 军事侦察—技术 IV. E87

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 173351 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100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22¼ 字数 516 千字

2008年4月第1版第1次印刷 印数1—5010册 定价128.00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

前 言

战场侦察技术是一门综合技术和多学科交叉的技术,是信息技术的重要组成部分,具有技术内涵丰富、发展变化迅速的特点。它涉及了信息的获取、传递、处理、分发与应用技术,几乎涵盖了信息技术的全部学科,从元器件到各类传感器和探测系统、从通信导航到测控和定位、从计算机网络到信息处理和信息安全,处处都应用到侦察技术,可以说战场侦察技术是牵引和推动信息技术发展的主力军。同时,战场侦察技术还涉及装载各类侦察探测器的平台技术,考虑到篇幅的限制,本书对此不作介绍。

为了满足从事战场侦察技术研究的科学工作者和从事侦察技术教学工作的师生,以及使用侦察技术装备的部队指战员的需要,组织编写了《现代战场侦察技术》一书,重点论述探测、识别、定位、跟踪及处理战场目标技术。本书是介绍和叙述战场侦察和情报处理有关信息技术的专著,比较系统而详细地介绍了雷达侦察技术、光电侦察技术、无源探测技术、目标定位跟踪与识别技术和情报处理数据融合技术等方面的基本原理、理论和相关技术。本书内容丰富,层次清晰,系统性强,可读性好,是一本可供学习研究或启发思考的学术性、技术性专著,对于相关军事院校教学、军事科研、作战指挥和装备保障来说,也是一本较好的参考教材。

本书由樊邦奎主编,并负责第1章的编著和全书统稿,其余各章编著人有:赵玉民、樊邦奎(第2章、第4章、第6章),都基焱、葛传文、段连飞(第3章、第5章),尹航(第7章)。

本书的编著得到了张禹田、黄亚平、刘红雨、李碧海等同志的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。同时在本书的编写过程中,引用了一些参考文献,对这些文献的作者一并表示最诚挚的谢意。

战场侦察技术涉及内容很多,且是一门正快速发展的热点技术,由于作者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正!

目 录

第1章 战场侦察技术概论	1
1.1 引言	1
1.2 战场侦察的地位与作用	1
1.3 现代侦察技术的主要特征	2
1.4 战场侦察技术综述	3
1.4.1 电磁辐射是获取和传递信息的基本媒介	4
1.4.2 信息获取技术	9
1.5 侦察技术装备的体系结构	12
1.5.1 侦察平台装备体系	12
1.5.2 情报信息获取装备体系	14
1.5.3 情报传输技术	16
1.5.4 情报信息处理技术	16
参考文献	17
第2章 雷达侦察技术	18
2.1 引言	18
2.1.1 战场侦察雷达任务、技术特点和技术体制与分类	18
2.1.2 雷达的基本工作原理和设备组成	19
2.1.3 战场侦察雷达的主要战术技术性能	22
2.1.4 目标特性和环境	23
2.1.5 雷达方程	28
2.2 地面战场侦察雷达技术	30
2.2.1 概述	30
2.2.2 动目标显示雷达	30
2.2.3 动目标检测和脉冲多普勒雷达	34
2.2.4 连续波体制的战场侦察雷达技术	35
2.3 成像体制的战场侦察雷达技术	41
2.3.1 成像体制战场侦察雷达分类及性能指标	42
2.3.2 真实孔径成像雷达	43
2.3.3 合成孔径成像雷达	45

2.3.4	逆合成孔径成像雷达技术	51
2.3.5	SAR 成像的运动目标检测	54
2.4	海岸侦察雷达技术	55
2.4.1	现役海岸监视雷达技术概况	55
2.4.2	高频地波超视距海岸监视雷达	56
2.5	战场侦察雷达的电子防护	58
2.6	战场侦察雷达技术现状和发展趋势	59
2.6.1	装备现状与技术水平	59
2.6.2	发展趋势	63
	参考文献	70
第3章	光电侦察技术	71
3.1	引言	71
3.1.1	光电技术特点	71
3.1.2	光电技术主要应用领域	72
3.2	照相侦察技术	73
3.2.1	概述	73
3.2.2	航空照相技术	73
3.2.3	航空照相设备	84
3.2.4	数码照相设备	93
3.3	可见光电视侦察技术	94
3.3.1	概述	94
3.3.2	电视技术原理	94
3.3.3	电视侦察图像处理	98
3.3.4	电视侦察技术应用	102
3.4	微光侦察技术	104
3.4.1	概述	104
3.4.2	微光夜视仪	105
3.4.3	微光电视	114
3.4.4	微光侦察技术应用	116
3.5	红外侦察技术	118
3.5.1	红外辐射概述	118
3.5.2	红外探测器	122
3.5.3	红外遥感装置	129
3.5.4	红外侦察技术应用	137
3.6	激光侦察技术	140
3.6.1	激光技术概述	141

3.6.2	激光测距	147
3.6.3	激光雷达	152
3.6.4	激光全息照相	158
3.6.5	激光侦察技术应用	161

参考文献	162
------------	-----

第4章 无源探测技术..... 163

4.1	概述.....	163
-----	---------	-----

4.2	地面声/震探测技术	163
-----	-----------------	-----

4.2.1	引言	163
-------	----------	-----

4.2.2	地面声/震探测系统的工作原理及其性能指标	165
-------	----------------------------	-----

4.2.3	目标声/震信号特性及其信道传播特性	167
-------	-------------------------	-----

4.2.4	声/震探测系统的信号接收与处理	173
-------	-----------------------	-----

4.2.5	声/震阵列探测系统现状和发展趋势	186
-------	------------------------	-----

4.3	水声探测技术.....	189
-----	-------------	-----

4.3.1	概述	189
-------	----------	-----

4.3.2	声呐的分类及工作原理设备组成	190
-------	----------------------	-----

4.3.3	被动声呐信号及其传播特性	195
-------	--------------------	-----

4.3.4	声呐系统测向定位原理和技术	197
-------	---------------------	-----

4.3.5	声呐系统的目标分类识别技术	201
-------	---------------------	-----

4.3.6	声呐系统信号接收和信号处理的实现	202
-------	------------------------	-----

4.3.7	水声探测技术现状和发展趋势	202
-------	---------------------	-----

4.4	战场传感器侦察技术.....	205
-----	----------------	-----

4.4.1	概述	205
-------	----------	-----

4.4.2	战场传感器侦察系统概念、结构、设备组成和主要战术 技术指标	208
-------	--	-----

4.4.3	传感探测原理与技术	212
-------	-----------------	-----

4.4.4	战场传感器系统的组网和通信技术	224
-------	-----------------------	-----

4.4.5	战场传感器系统的布设和机动方法及其设施	226
-------	---------------------------	-----

4.4.6	国外典型的战场传感器系统	227
-------	--------------------	-----

4.4.7	战场传感器系统的现状和发展趋势	233
-------	-----------------------	-----

参考文献	234
------------	-----

第5章 目标跟踪、定位、识别技术..... 236

5.1	引言.....	236
-----	---------	-----

5.2	目标跟踪技术.....	236
-----	-------------	-----

5.2.1	概述	236
-------	----------	-----

5.2.2	成像跟踪系统的组成	237
5.2.3	实时相关跟踪的模型和算法	238
5.2.4	成像跟踪模式与图像匹配	244
5.3	目标定位技术	248
5.3.1	概述	248
5.3.2	电视图像目标定位技术	249
5.3.3	航空像片目标定位技术	251
5.3.4	卫星影像目标定位技术	258
5.3.5	GPS 和 GLONASS 定位技术	265
5.4	目标识别技术	274
5.4.1	概述	274
5.4.2	图像判读技术	275
5.4.3	图像识别技术	283
	参考文献	291
第 6 章	情报综合处理和数据融合技术	292
6.1	引言	292
6.2	数据融合技术	294
6.2.1	数据融合技术基本概念	295
6.2.2	数据融合技术的由来和动因	295
6.2.3	数据(信息)融合的优点和可获得的效益	296
6.2.4	数据融合在 C ³ I、情报收集处理系统中的应用及其影响	297
6.2.5	数据融合的发展和当今水平	298
6.3	多传感器数据融合功能、处理流程和任务参数	298
6.3.1	数据融合处理流程和功能结构模型	298
6.3.2	数据融合的分类	300
6.3.3	数据融合系统的系统结构方案	301
6.4	数据融合系统的设备组成和任务参数、技术指标	308
6.4.1	C ³ I 和实际数据融合系统的结构与设备组成	308
6.4.2	系统的任务需求和主要战术技术性能指标	310
6.5	数据融合与情报处理技术和算法	318
6.5.1	数据融合的理论方法	318
6.5.2	第一层处理	320
6.5.3	第二层、第三层处理	321
6.6	国外典型情报处理系统	327
6.6.1	美陆军 C ³ I 系统组成概貌	328
6.6.2	美陆军的情报侦察系统	328

6.6.3 全源信息分析系统	330
----------------------	-----

参考文献	333
------------	-----

第7章 战场侦察技术的发展趋势	334
-----------------------	-----

7.1 光电侦察技术的发展趋势	334
-----------------------	-----

7.1.1 光电器件的发展趋势	334
-----------------------	-----

7.1.2 国内外光电高新技术发展的现状与动态	335
-------------------------------	-----

7.1.3 光电侦察技术的发展趋势	337
-------------------------	-----

7.2 雷达侦察技术的发展趋势	338
-----------------------	-----

7.2.1 地面战场侦察雷达的发展趋势	338
---------------------------	-----

7.2.2 机载战场侦察雷达发展趋势	338
--------------------------	-----

7.2.3 海岸监视雷达的发展趋势	339
-------------------------	-----

7.3 无源探测技术的发展趋势	339
-----------------------	-----

7.4 情报处理技术的发展趋势	341
-----------------------	-----

7.5 现代战场侦察技术和 C ⁴ ISR 系统	343
---	-----

参考文献	347
------------	-----

第1章 战场侦察技术概论

1.1 引言

战场侦察是部队为获取战场情报而采取的军事行动,在以体系对抗为基本特征,非线性、非对称、非接触为主要作战方式的信息化战争中,战场情报的获取、传输、处理和应用的地位日显突出,获取准确、可靠、及时的情报信息是赢得战争胜利的首要条件和重要保障。侦察情报是实施正确作战指挥的前提,是各类打击武器的眼睛,是部队联合作战行动的保障。现代战争,特别是一体化联合作战对情报的时效性、准确性和连续性提出了很高的要求,传统的人力情报保障存在着很多的局限性,通过技术手段获取情报的优势日趋明显,因此,战场侦察对技术的依赖越来越强,几乎所有侦察行动都离不开技术的支持和保障。随着现代科学技术特别是信息技术的发展,侦察技术得到了突飞猛进的发展。侦察技术的需求成为牵引信息技术发展的主力军,信息技术在侦察领域内的广泛应用,带动了军事领域的变革。为了较全面地了解侦察技术的概貌,本章将重点介绍侦察的地位与作用、侦察技术的综述和侦察系统的体系结构。

1.2 战场侦察的地位与作用

战场侦察监视是一个覆盖面很广、概念和内涵都很深的领域。从广义上讲,侦察监视包括战场目标侦察、战场环境侦察、核心内幕情报侦察,这里指的战场涵盖陆、海、空、天、电、网六维。战场环境包括电磁环境、生化环境、气象环境、地理环境等。侦察的目的就是获取战场目标情报、战场环境信息和核心内幕情报。战场侦察不仅仅是目标侦察,还包含许多目标以外的侦察。例如:探测和提取敌方通信、导航、雷达等无线电信号特征,可以有效地对敌实施干扰,破译敌方信号的内容可以掌握敌方的核心内幕情报。本书所介绍的侦察仅限于战场目标侦察,不包括利用敌方无线电信号探测敌目标的侦察,也就是通常大家所讲的狭义战场侦察。

狭义战场侦察的直接目的在于,探测战场上的各种军事和重要的军民两用活动和静止目标,随着伪装、欺骗等反侦察技术的发展,侦察目标还包括隐蔽和欺骗目标。侦察的行动可以归结为发现和识别目标、跟踪和监视目标、评估毁伤目标。侦察所获取的情报包括动向情报、图像情报、声像情报和测量特征情报。现代战争的情报信息又必须与地理信息、气象信息、战场电磁环境信息和生化环境信号综合集成,形成一体化的情报信息支持。

信息化战争中的战场情报保障应满足各级指挥决策、联合作战部队行动、精确火力打击、目标毁伤评估等多层次、多种类、多形式的要求。

在现代战争中,特别是近几次美军发动的局部战争中,情报保障呈现出新的特点。情

报信息流不仅仅要在指挥控制和各级情报体系内流动,同时要在联合作战的各个作战单元内流动共享,有时甚至要服务到单兵,并直接流向武器平台,这对情报保障提出了更高的要求。其特点具体表现在以下几方面。

(1) 多手段的情报获取、全方位的战场感知。形成陆、海、空、天、电、网六维一体的战场侦察监视体系,各军兵种、多种战场侦察监视手段获取的情报信息实现综合和融合,作战单元之间的信息充分共享,战场态势能够反映多源情报融合的全谱信息优势。对目标或目标群进行精确侦察、实时监视、识别和跟踪。同时武器平台自身获取信息的能力大大增强,武器装备向着信息化方向发展。

(2) 各种侦察监视手段、力量的动态编成和综合运用。各军兵种侦察部队实现联合化和合成化侦察监视,战略、战役、战术侦察监视手段在各种军事行动中实现不同层次、不同规模的模块化组合,快速机动,快速部署。

(3) 情报信息的超越保障、直接支援。战略情报手段更多的是为战役战术作战行动提供保障,甚至保障到单兵。军兵种之间实现相互的情报支援,实现任何时刻、任何地点用正确的传感器侦察到正确的目标,向作战部队提供实时、准确、可靠的信息和情报。

(4) 与武器系统无缝链接。形成侦察—打击—评估—判断的闭合环路。侦察情报的范围、质量和时效性已能够满足武器平台远程、精确、实时的联合作战行动要求。侦察情报系统与战场上其他各级系统能够无缝链接,实现系统集成,实现“发现即摧毁”。

(5) 战场信息的一体化管理和充分共享。具备对敌情、我情和地理、水文、气象、电磁环境等信息的搜索和综合运用能力,具备对分布式战场信息的精确检索能力。

1.3 现代侦察技术的主要特征

随着信息技术的发展,侦察技术得到了迅猛发展,侦察情报技术和装备的信息化水平得到很大提升,侦察情报技术和装备信息化主要表现在以下几个方面。

(1) 信息获取数字化。信息化战争中获取战场信息的侦察传感器广泛采用先进的信息获取技术,CCD 摄像和照相、红外探测、动目标检测雷达、合成孔径雷达、激光侦察和涵盖声、光、电、热、磁、压力、振动等无源传感器,实现了高精度、高灵敏度、全频段、全数字化的全维信息获取。信息获取的数字化为情报传输、处理分发和应用奠定了坚实的技术基础。

(2) 侦察监视立体化。信息化战争中利用多种侦察传感器搭载平台使侦察技术手段遍布陆、海、空、天、电、网全维空间。在太空,包括高中低轨的成像侦察卫星、电子侦察卫星、信号侦察卫星和预警卫星等。在空中,各种有人侦察机、无人侦察机、临近空间侦察飞行器、平流层侦察飞艇等对战场实施全天时、全天候、连续的侦察监视;在地面,各种无人、有人,固定、机动的地面传感器实施战场侦察监视,对精确制导武器的引导攻击。海上有各种侦察船艇和升空的侦察平台;水下也布设声呐和激光水听器等水声探测网络。众多的侦察监视力量联为一体,建立多手段、全天时、全天候、全方位、大纵深的多维侦察监视预警体系,能弥补单个传感器的侦察监视能力的不足。对敌实施实时的全时域侦察监视,大大增强了发现战场纵深内各种目标的能力。

(3) 情报传输网络化。借助卫星通信系统以及各种有线和无线通信网络,实现了大容量情报信息安全可靠的传输。宽带、多业务的通信网络实现了战场情报的实时共享,拉

近了前方与后方的距离,真正实现了“决胜千里之外、运筹帷幄之中”,缩短了侦察、决策、打击、评估的时间,从根本上改变了现代战争的“游戏规则”,出现了以网络为中心的战争形式,使侦察情报作用更加突出,成为左右战争胜负的关键性因素。

(4) 情报处理智能化。随着人工智能技术的发展和广泛运用,将改变海量信息由人工处理和指挥官无法实时和准确决策的现状。情报信息的分布式处理、自动分析融合、智能决策支持显得越来越重要,提高可靠性、广域获取信息、缩短态势感知决策所需时间、提高情报共享程度,将成为信息化战争争取信息优势的核心环节之一。同时目标的自动识别、多传感器的信息融合也成为智能化处理的重要组成部分。

(5) 情报分发自动化。情报分发自动化应建立在情报信息科学分类、分级的基础上,要与战场态势、作战任务、武器平台有机地结合起来,实现在正确的时间、正确的地点、将有用的情报报送到适当的用户手中,同时实现将正确的武器对准正确的目标。

(6) 侦察打击一体化。闭环 C⁴IKSR 的发展,缩短了“从传感器到射手”的时间。未来的战场中更多的可能是侦察平台挂载作战单元,以及作战平台上集成更多的侦察传感器,或者传感器平台与作战平台通过网络链接起来,组成“多系统的系统”,形成搜索侦察、监视、识别、打击和战损评估的无缝链接,简化情报信息收集、传递、处理过程,缩短决策时间,抓住瞬息万变、稍纵即逝的战机,实现“发现即摧毁”时间敏感性目标的最佳作战效果。在阿富汗战争中,美军“捕食者”无人侦察机携带导弹摧毁地面活动车辆就是一例。

1.4 战场侦察技术综述

战场侦察技术是一门综合技术,也是多学科的交叉技术,它涉及平台(卫星、飞机、舰船、车辆)技术、信息技术的方方面面。特别是在信息技术领域,侦察技术几乎涵盖了信息技术的全部学科,从元器件到传感器和探测系统、从通信导航到测控和定位、从计算机网络到信息处理和信息安全,处处都应用在侦察技术中。可以说,信息技术的发展是侦察技术发展的主力驱动,侦察技术又是牵引信息技术发展的主要力量,驱动和牵引的同向作用力,使信息和情报在作战中的地位和作用发生了重大变化,侦察情报技术装备广泛地渗透到战场的各个领域,侦察情报技术装备成为世界各国军界关注的焦点之一,也是发展的重点之一。

由于侦察技术涵盖范围很广,不可能在一本书中论述其全部内容,本书所涉及的侦察技术就是指发现、识别、监视、跟踪目标并对目标进行定位所采用的技术。同时介绍情报信息综合处理的相关内容,不涉及装载侦察传感器的各类平台技术和情报信息传递及信息安全技术等内容。

概括地讲,侦察技术研究的内容就是利用目标的声、光、电、磁、热、化、力学等特征信息,研究和使用的传感器接收这些信息,经过加工和数据处理,形成有用信息,再经综合处理形成情报产品,最后传输、分发和应用这些情报信息。

在信息获取和传递中大多是利用目标的电磁辐射特性,电磁辐射是侦察技术的最基础和最重要知识。众所周知,物质运动的各种形态的能量,包括动能、化学能、热能、电能、磁能和原子能等,都可以转换成电磁辐射,也称电磁波。电磁辐射可以用发射、反射、吸收、散射、偏振等特性表示,侦察技术就是利用目标的电磁辐射特性来获取其信息的,也是利用电磁辐射特性来传递有用的信息。下面就从电磁辐射开始来综述侦察技术,然后综

述各类探测传感器和侦察装备体系。

1.4.1 电磁辐射是获取和传递信息的基本媒介

1.4.1.1 电磁辐射的基本性质和产生

任何物体都具有向外发射和反射电磁辐射的能力。电磁辐射具有波动和粒子双重性质,一般采用强度、波长、方向和极化等来表示其特征。其基本表征是功率(强度)和波长。

电磁辐射是在真空或物质中通过交变电磁场的传播来传输能量的波动过程。通常用波长(频率、波数)来描述电磁辐射的波动性质。电磁波的波长和频率及传播速度的关系为

$$c = \lambda f \tag{1.1}$$

式中: c 为电磁波传输速度; f 为每秒钟波动次数(Hz); λ 为波长。

同时电磁辐射具有粒子性,把它看作是一个具有特定能量的光子流。光子又称光量子,通常用其能量来描述电磁辐射的粒子性质。能量与辐射频率的关系为

$$E = hf \tag{1.2}$$

式中: h 为普朗克常数。

电磁辐射强度由单位体积的光子数(即光子密度)决定。

由上面分析可见,波长较长的辐射,其波动性较强,而波长较短的辐射,其粒子性明显。

表 1.1 给出了各波段电磁辐射波长的范围。从表中可见,电磁波包含的波长范围非常大, γ 射线的波长仅为 0.003nm,而低频无线电波的波长达 10km,跨越了 16 个数量级。前面已经提到,每一个物体都向外发射和反射电磁辐射,但由于同一物体对不同波长的电磁辐射的能力是不一样的,使得人们可以利用物体的电磁辐射能力随波长变化的差异,来研制各类设备以探测(发现和识别)和区分目标。这些设备既包括主动发射电磁波,利用目标对电磁波的反射特性来探测目标,即有源传感探测器,也包括利用目标自身的电磁辐射目标散射其他电磁辐射信息来探测目标,也就是通常所说的无源探测器。

表 1.1 各波段电磁辐射波长和频率的范围

波段名称		波长范围	频率范围
γ 射线		0.003nm ~ 0.1nm	3×10^{12} MHz ~ 3×10^{14} MHz
紫外(UV)	远紫外	10nm ~ 0.3 μ m	3×10^9 MHz ~ 3×10^{12} MHz
	近紫外	0.3 μ m ~ 0.4 μ m	7.5×10^8 MHz ~ 7.5×10^9 MHz
可见光(紫、蓝、青、绿、黄、橙、红)		0.4 μ m ~ 0.76 μ m	3.95×10^8 MHz ~ 7.5×10^8 MHz
红外(IR)	近红外(NIR)	0.76 μ m ~ 1 μ m	3×10^8 MHz ~ 3.95×10^8 MHz
	短波红外(SWIR)	1 μ m ~ 3 μ m	1×10^8 MHz ~ 3×10^8 MHz
	中波红外(MWIR)	3 μ m ~ 5 μ m	3.75×10^7 MHz ~ 3.75×10^8 MHz
	长波红外(LWIR)	8 μ m ~ 14 μ m	2.14×10^7 MHz ~ 3.75×10^7 MHz
	远红外	14 μ m ~ 1000 μ m	3×10^5 MHz ~ 2.14×10^7 MHz

(续)

波段名称		波长范围	频率范围
微波	毫米波	0.1cm ~ 1.0cm	30GHz ~ 300GHz
	Ka 波段	0.75cm ~ 1.13cm	26.5GHz ~ 40GHz
	K 波段	1.13cm ~ 1.67cm	18GHz ~ 26.5GHz
	Ku 波段	1.67cm ~ 2.40cm	12.5GHz ~ 18GHz
	X 波段	2.40cm ~ 3.75cm	8000MHz ~ 12500MHz
	C 波段	3.75cm ~ 7.50cm	4000MHz ~ 8000MHz
	S 波段	7.50cm ~ 15.0cm	2000MHz ~ 4000MHz
	L 波段	15.0cm ~ 30.0cm	1000MHz ~ 2000MHz
	特高频 (VHF)	30.0cm ~ 100.0cm	300MHz ~ 1000MHz
无线电	超高频 (UHF)	1.0m ~ 10.0m	30MHz ~ 300MHz
	短波 (HF)	10.0m ~ 100.0m	3MHz ~ 30MHz
	中波 (MF)	100.0m ~ 1000.0m	0.3MHz ~ 3MHz
	长波 (LF)	1.0km ~ 10.0km	30kHz ~ 300kHz
	超长波 (VLF)	10.0km ~ 100.0km	3kHz ~ 30kHz

电磁辐射主要以以下几种形式产生。

1) 交变电磁场

设想有两根短直导线,它们与交变电流的发电机端子相连,导线之间就会有来回运动的电荷。导线附近存在交变的电场,感应产生交变磁场。往复下去,形成交变电磁场的传播,这就是电磁辐射,辐射频率与交变电流的频率相同。实际上,这个简单的辐射器就是原极天线。无线电频率的电磁辐射,通常是在导线、电子束或天线表面内的电荷通过周期流动产生的。频率更高的微波电磁辐射也可以利用上述方法由电能转换产生。通常,专门设计一种特殊的电子管结构,其中的高速电子束的运动产生交变电场/磁场。将这种电磁辐射导入波导之内,送到辐射发射机构,交变电磁场产生磁辐射,应用于雷达探测技术之中。

2) 受激发射

任何物体都由分子组成,分子由原子构成,原子由带正电的原子核以及许多围绕原子核运动、带负电的电子所构成。同电子一样,分子和原子也在不停地运动、振动和转动,它们都处于特定的能量状态。如果让这种运动状态发生变化,必须吸收或放射出能量。物体吸收能量的方式很多,如加热、通电、照光和化学反应等。物体自身一般以电磁辐射形式放射出能量。分子的整体具有不同的转动能级。如果采用某种方法激发分子,使其转动能级从低能态跃迁到高能态,在激发能量撤销后物体便以电磁辐射形式放射出能量,转动能级恢复到原来状态。利用这种方法可以产生微波辐射。实际上,这是一种叫微波激光器的辐射源。这种利用物体内部原子能量转换电磁辐射的方法,还可能产生更高频率的辐射,如红外辐射、可见光、紫外光或波长更短的 X 射线等。这就是著名的激光辐射源的基本原理。固体内两原子之间的振动运动、原子绕原子旋转运动以及电子绕原子核的运动等,都具有各自特定的能量状态。利用上述的激发方式都可以让它们发射出特定

波长的辐射。原子的振动运动对应短、中波红外辐射,电子轨道的改变对应于近外、可见光及紫外等频段的电磁辐射。受激发射产生电磁辐射应用于激光探测。

3) 热辐射

自然界任何物体温度都处于热力学温度为零度($0\text{K}(-273.16^{\circ}\text{C})$)之上。这说明物体内部具有热能,处于特定的热状态。热能使物体内的分子、原子和电子处于随机运动的状态,包括电子运动跃迁,原子和分子的振动、转动。与随机运动相对应的电磁辐射过程是发射或吸收波长范围很宽的辐射,这就是普遍存在于自然界的热辐射。热辐射与物体温度直接相关,温度越高辐射越强。从辐射波长看,温度越高,短波成分越强;低温物体,长波成分强,发出红外和微波辐射。当一个物体温度不变时,就说明发射与吸收两者平衡。一个良好的辐射发射体必然也是一个良好的辐射吸收体。此外,物体的热辐射还与其物质成分、表面状态、几何结构等因素有关。应当指出,在常温下,物体红外长波($8\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$)辐射能量最大,红外中波($3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$)辐射的能量仅为长波的 $1/50$ 左右,而红外短波辐射几乎很小,因此短波红外成像依靠的是自然界红外短波经物体反射,其原理类似可见光成像。

1.4.1.2 电磁辐射在自然环境中的传输

在目标信息获取的过程中,首先遇到的是如何接收从目标辐射和反射的电磁波,然后加以处理,提取出有用的目标信息。携带目标信息的电磁波在到达探测传感器之前,必然经过大气传输,此外,在信息的传输过程中,可能也要经过大气传输,有的可能在水中或电缆和光纤中传输,但无线通信主要在大气中传输。因此,研究电磁波在大气中的传输也就成为信息获取和传输的基本技术问题。

辐射传输的基本问题是辐射同大气的相互作用。地球表面(陆地和水面)被大气包围着,大气分布在高度 300km 以下的空间,共分三层:对流层($0 \sim 10\text{km}$);同温层($10\text{km} \sim 60\text{km}$);电离层(60km 以上)。大气密度随高度增加而减少,到 30km 高度已经下降两个数量级。大部分气体分布在 10km 以下高度。大气成分包括气体分子和悬浮粒子(气溶胶)。前者由氮(N_2 , 78%)、氧(O_2 , 21%)、臭氧(O_3)、氩(Ar)和二氧化碳(CO_2)等十几种分子组成;后者为烟尘、灰尘等微粒子。

电磁辐射在大气中传输,与大气中分子和粒子发生相互作用,主要是散射或吸收,其结果会使辐射中所携带的信息损失或畸变。传输特性的知识给出这种作用的详情:一方面可以校正畸变;另一方面也帮助系统设计者选择优良的辐射波段(窗口),保证信息传送。有许多情形,辐射同大气物质相互作用本身也是一种信息媒介,特别是主动式传感过程,通过源(自然的或人工的)辐射同目标相互作用的结果来推断目标的相关性质。研究这种传输过程的本身就是获取目标信息的过程。例如,光雷达的光束穿过大气后,根据其变化测量大气成分。

在大气中,电磁波传输情况比较复杂,除几何损失外,必须考虑大气中各种成分对电磁波的吸收、散射以及它们的变化,也要考虑太阳辐射与地面反射的影响。大气中的水蒸气、二氧化碳、其他化学成分和尘埃等对不同波长的电磁波有不同的吸收散射,因而不同波长的电磁波在大气中有不同的透射率。

实际上,随着海拔高度、温度和相对湿度等条件的变化,大气透射率会有很大变化。

此外,雾、霾、沙尘、硝烟也直接影响大气透射率,大气中的湍流还影响电磁波的传输方向。因此,在大气层中(地面和空中)使用侦察装备时,一定要充分考虑天气条件的影响。例如,在干燥季节或干旱地区使用长波红外成像仪作用距离较远,而在湿润季节或湿热地区,采用中波红外成像仪更合适。一般说来,在恶劣天气条件下,靠大气传输的光电子侦察装备的作用距离会大打折扣,甚至完全失效。在海湾战争中,多国部队飞机的光电制导武器多次因天气不好而无法发射,被迫带回机场。

下面着重探讨电磁波在大气传输过程中的物理作用。

1) 电磁辐射的反射、吸收、透射

电磁辐射同物体相互作用,会发生三种可能的情况:部分能量被反射和散射(反射率 ρ),即改变了原来的传播方向而未直入物体,其他的能量则进入了物体;在进入物体的能量中,一部分被物体吸收(吸收率 α),另一部分则因物体透明而使其发生折射,然后从物体的另一端透射出去(透射率 τ)。根据能量守恒原理,这三部分的比例因子之和应当等于1,即

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \tag{1.3}$$

如前所述,物质吸收辐射的能力越强,则它的发射本领越大,即比辐射率(ε)正比于吸收率(α),对于不透明物体($\tau=0$),则反射率 ρ 和比辐射率 ε 两值之和等于1。在辐射传输中,反射、透射和吸收这三部分的比例关系是与许多因素有关的,包括入射辐射的光谱分布、入射角、物体的光学性质以及物体的厚度等。

2) 大气的透射窗口

在侦察系统中,利用电磁辐射在大气中的透射性能把载有信息的电磁辐射传输到传感仪器。前面说过,不同波长的电磁波在大气中有不同的透射率,人们把全部或大部分穿透大气的辐射波段(或频率)叫作大气窗口。表1.2列出了在整个电磁波谱上所有的大气窗口的波长位置。地球大气强烈地吸收太阳的 γ 射线,使其无法到达地面。仅有低飞的飞机才有可能探测到地面放射材料的 γ 射线。X射线在大气路径中仅能穿透几十米,太阳X射线在低层大气完全会被吸收。紫外辐射在上层大气就被完全吸收。因此,大气对于短波辐射($\lambda < 0.3\mu\text{m}$)是不透明的。窗口都分布在可见、红外、微波和无线电波段。

表 1.2 穿透大气的主要电磁辐射窗口的波长位置

波 段	窗口波长位置	波 段	窗口波长位置
紫外和可见光	0.30 μm ~ 0.75 μm	长波红外	8.00 μm ~ 9.20 μm
近红外	0.77 μm ~ 0.91 μm		10.20 μm ~ 14.00 μm
	1.00 μm ~ 1.12 μm	远红外	17.00 μm ~ 22.00 μm
短波红外	1.19 μm ~ 1.34 μm	微波	2.06mm ~ 2.22mm
	1.55 μm ~ 1.75 μm		3.00mm ~ 3.75mm
中波红外	2.05 μm ~ 2.40 μm		7.50mm ~ 11.50mm
	3.5 μm ~ 4.16 μm		20.00mm 以上
	4.5 μm ~ 5.00 μm		