



国防特色学术专著·电子科学与技术

军用紫外探测技术及应用

JUNYONG ZIWAITANCE JISHU JI YINGYONG

许 强 编著

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社 哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨工程大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色学术专著·电子科学与技术

军用紫外探测技术及应用

许 强 编著

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社 哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨工程大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书阐述了军用紫外探测及应用的基本概念、基本理论和工程设计开发方法,内容包括紫外辐射源、辐射的传输及测量、紫外光学系统设计、各类紫外探测器及应用、光子计数和光子成像计数等检测和处理、典型紫外探测系统的设计实例分析以及系统的测试仿真与试验评估。

本书适合军用紫外探测领域工程技术人员和相关专业技术人员参考,也可作为光学工程专业研究生、本科生的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

军用紫外探测技术及应用/许强编著. --北京:

北京航空航天大学出版社,2010.5

ISBN 978-7-5124-0076-4

I. 军… II. ①许… III. ①军用器材:紫外探测器
IV. ①E933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 074354 号

版本所有,侵权必究。

军用紫外探测技术及应用

许 强 编著

责任编辑 史海文 杨 波 李保国

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京市媛明印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:493 千字

2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-0076-4 定价:64.00 元

前 言

军用紫外探测似乎理应与可见光、红外探测技术共生共荣,但长期一度偏安于电磁频谱域的一隅,成为一块待垦的荒漠。军事目标的辐射如何?紫外背景如何?紫外的大气传输如何?合适的探测器是什么?紫外信号如何检测?紫外探测设备如何测试评估?这些与紫外探测技术相关的一系列技术理论问题,看似常规实则答案难觅。

20年前,作者有幸在国内开始从事紫外探测技术领域的工作,白手起家。时至今日,军用紫外探测技术及应用已经历了从概念到理论、从理论到实践、从成果到装备等一个较完整的历程,积累了较为丰富的理论知识和工程经验。恰逢“十一五国防专著”良机,作者再次有幸能把军用紫外探测设计理论和工程实践的所学所研加以总结提炼,力图构建一个尽可能完整的体系,以与广大的新老同仁共学、共勉。

考虑到本书的工程性较强,作者从军事应用需求出发,以理论联系实际的方式,尽量多地结合一些实例和图示来介绍相关的基础和应用技术,以加深对紫外探测基本理论和设计方法的理解。紫外探测包含内容较广,本书主要集中在近年来研究应用较为活跃的一些军事领域。由于紫外告警目前应用最成功,研究成果较多,因此成为本书论述的主要内容。

全书共分8章,各章内容安排如下:

绪论。主要阐述了军用紫外探测的基本概念、定义以及应用状况。

第1章“辐射源”。主要介绍人工辐射源和自然辐射源等紫外目标的辐射特性,这些目标环境特性的测试与应用是军事紫外探测系统设计、试验和应用的基础,包括目标及背景特性的理论研究、威胁环境数据库设计与应用技术,尤其是导弹固体推进剂紫外辐射特性等是紫外探测系统的典型对象。

第2章“辐射传输及测量”。紫外辐射传输及测量的技术理论是紫外探测系统设计分析的重要支撑。主要介绍紫外大气结构、传输特性原理及测量分析技术,包括实测、仿真和理论计算等方法;还对辐射测量的有关仪器(辐射计、光谱辐射计及成像仪)的原理和应用进行了介绍。

第3章“紫外光学”。介绍紫外光学的基本要素和概念、紫外光学特殊材料及典型光学系统的设计,并对关键元件(滤光片、窗口、整流罩)进行专门介绍,包括特定波长紫外滤光片的设计及折射/反射式光学系统的设计等。紫外探测通过光学系统收集辐射能量,其性能主要反映于会聚能力和光学像质,其设计对军用紫外光学研究的全面开展具有重要意义。

第4章“紫外探测器”。光学系统收集到的辐射能量通过探测器实现光电转

换。探测器是系统的核心。在论述紫外探测器的一般理论基础上,着重对光电真空、充电半导体及混合 3 类探测器进行了介绍,并对典型器件的特性及应用作出分析。包括单元紫外探测器件(紫外真空二极管、分离打拿极型紫外光电倍增管及 MCP 光电倍增管等)和面阵紫外 CCD(碳化硅、氮化镓、金刚石等)。

第 5 章“信号检测与处理”。微弱信号接收、处理要经过诸如信号采集或调制解调、编码解码等过程,尤其是抗干扰、去噪声问题需要采取有效的措施(如相关处理、自适应噪声抵消及低噪声前置放大),以提高系统信噪比。单光子计数是极微弱信号探测的非常有效的技术,是检测部分的重点介绍内容,包括光子计数和光子成像计数两部分。从光子信号的统计特性出发,给出了机理分析和实现途径。模拟图像的采集处理和数字图像的处理和目标检测也结合其应用特点进行了针对性介绍,处理算法中重点介绍了时间相关和空间滤波处理。

第 6 章“系统设计”。从紫外探测系统基本设计理论和基础物理知识出发,分析系统设计的若干理论问题,推导系统输出 SNR 及探测距离,介绍如何进行系统的顶层设计,如何设计系统的主要技术指标,并对典型的紫外探测系统的设计实例进行分析,包括成像型和概略型紫外告警系统、天基紫外预警系统、紫外超光谱成像探测系统及紫外通信系统等组成、工作原理、主要性能与可达性分析。

第 7 章“测试仿真与试验评估”。从系统建模出发,通过数字仿真和半实物仿真两种途径进行场景、探测系统及其传感器的建模介绍,并给出性能评估模型和仿真评估途径。从系统的内场性能指标测试和外场试验评估两方面,对军用紫外探测系统的效能评估方法及其关键技术理论和关键手段进行介绍。外场试验包括地面静态外场试验、地面动态外场试验和飞行试验;在关键手段方面,对远/近场紫外目标模拟器设计要求,紫外辐射源的模拟、组成及特性测试进行了阐述。

军用紫外探测是一门年轻的学科,是近年来国内外广大同仁倾注了汗水并收获颇丰的一片热土。本书采撷了国内外近年来诸多同仁的部分辛劳果实,并在参考文献中列出(如有遗漏、敬请谅解),特此致敬。在本书的编写过程中,得到了单位的领导和管理部门所给予的大力支持和关心,张洁等同志进行了大量资料的翻译并参与了编写,在此一并致谢。

辍笔驻足、掩卷回眸,在编著本书的两年间,作者虽倾己所知、所力,但全书涉猎范围之新、之广、之深,每每为我精力和能力所不堪,不详、不当之憾笔定然比比,故望同仁学者多持批判之目光,多怀关爱之心境。

作者

2010 年 4 月

目 录

绪 论	1
0.1 概念定义	1
0.2 系统应用	4
0.2.1 概 述	4
0.2.2 典型应用	5
第 1 章 辐射源	11
1.1 导 弹	11
1.1.1 火箭发动机工作机制	12
1.1.2 辐射机理	14
1.2 飞 机	19
1.3 人工辐射源	21
1.3.1 气体放电光源	21
1.3.2 发光二极管	26
1.3.3 超高温黑体	29
1.3.4 紫外激光器	29
1.4 自然辐射源	32
1.4.1 太 阳	32
1.4.2 大 气	36
1.4.3 气 辉	37
1.4.4 闪 电	37
1.5 背景杂波环境	38
第 2 章 辐射传输及测量	40
2.1 中紫外辐射的大气传输	40
2.1.1 大 气	40
2.1.2 紫外辐射衰减机理	43
2.1.3 辐射传输的 LOWTRAN 计算	49
2.2 紫外辐射的测量	55
2.2.1 紫外辐射传输的测量	55
2.2.2 辐射源的测量计算	57
2.3 紫外辐射的测量仪器	58
2.3.1 辐射计	60
2.3.2 光谱辐射计	65
2.3.3 成像光谱辐射计	66

2.3.4 紫外成像仪	67
第3章 紫外光学	69
3.1 光学系统设计	69
3.1.1 关键设计参量	69
3.1.2 光学性能及像质	72
3.1.3 设计过程及分析	77
3.2 紫外光学材料	79
3.2.1 一般描述	79
3.2.2 玻 璃	80
3.2.3 晶 体	85
3.2.4 其他透紫外材料	87
3.3 滤光器	88
3.3.1 一般描述	88
3.3.2 干涉滤光器	89
3.3.3 吸收型滤光器	93
3.3.4 声光滤光器	94
3.3.5 组合型	96
3.4 窗口/整流罩	96
3.4.1 窗 口	96
3.4.2 整流罩	98
3.5 典型光学系统设计	99
3.5.1 反射式紫外光学系统	99
3.5.2 折反式紫外光学系统	101
3.5.3 折射式紫外光学系统	102
3.5.4 光学机械设计	110
第4章 紫外探测器	112
4.1 光电真空紫外探测器	112
4.1.1 主要组成单元	112
4.1.2 典型器件	123
4.2 固体紫外探测器	130
4.2.1 光电二极管	130
4.2.2 光敏电阻	133
4.2.3 紫外扩谱 CCD	134
4.2.4 宽禁带探测器	143
4.3 混合组件	148
4.3.1 ICCD 组件	148
4.3.2 电子轰击 CCD	154
4.3.3 组件的性能评估比较	155

4.4 小 结	164
第 5 章 信号检测与处理	166
5.1 光子信号的统计特性	166
5.1.1 光子速率	166
5.1.2 辐射源发射光子的泊松分布	167
5.2 光子计数	169
5.2.1 基本原理	169
5.2.2 光电子脉冲的输出特性	170
5.2.3 检测电路	172
5.2.4 光子计数方法的优点	177
5.3 光子计数成像	177
5.3.1 光子计数成像器件的读出方式	178
5.3.2 检测原理及解算方法	179
5.3.3 检测电路	185
5.4 模拟图像的采集与处理	190
5.4.1 采 集	190
5.4.2 处 理	193
5.5 数字图像的处理及目标检测	196
5.5.1 图像的预处理	196
5.5.2 点源目标的检测	200
第 6 章 系统设计	209
6.1 基本设计理论	209
6.1.1 基础物理知识	209
6.1.2 系统设计的若干理论问题	214
6.1.3 系统输出 SNR 及探测距离	218
6.2 成像型紫外告警系统	220
6.2.1 概 述	220
6.2.2 紫外成像传感器	222
6.2.3 信号处理	226
6.3 概略型紫外告警系统	231
6.3.1 概 述	231
6.3.2 紫外概略传感器	232
6.3.3 信号处理	233
6.3.4 应用方式	235
6.4 天基紫外预警系统	236
6.4.1 工作原理	236
6.4.2 主要性能分析	237
6.5 紫外超光谱成像探测系统	239

6.5.1	概 述	239
6.5.2	工作原理	240
6.5.3	系统模型及内涵	240
6.6	紫外通信系统	248
6.6.1	工作原理及特点	248
6.6.2	系统组成	250
6.6.3	紫外通信的应用	256
6.7	紫外制导系统	257
6.7.1	工作原理	257
6.7.2	寻的器	261
第 7 章	仿真测试与试验评估	263
7.1	数字仿真评估	263
7.1.1	探测系统仿真模型	263
7.1.2	传感器性能模型	264
7.1.3	系统性能评估模型	266
7.1.4	仿真评估途径	267
7.2	半实物仿真测试	269
7.2.1	紫外场景仿真的要求	269
7.2.2	半实物仿真体系结构	270
7.2.3	半实物仿真的基本组成	272
7.2.4	仿真测试的应用	273
7.3	内场性能测试	274
7.3.1	成像品质	275
7.3.2	灵敏度及视场	276
7.3.3	空间分辨力	277
7.3.4	反应时间/探测概率	278
7.4	外场试验评估	279
7.4.1	地面静态外场试验	279
7.4.2	地面动态外场试验	285
7.4.3	飞行试验	287
7.5	紫外目标模拟器	288
7.5.1	设计要求	288
7.5.2	紫外辐射源的模拟	289
7.5.3	远场紫外模拟器	291
7.5.4	近场紫外模拟器	293
7.5.5	性能测试	295
参考文献		296

绪 论

0.1 概念定义

电磁频谱是指按照电磁波频率或波长排列起来所形成的谱系,各种电磁波在电磁频谱中占有不同的位置。图 0-1 为电磁频谱图及波长与频率的对应关系。短波电磁辐射包括紫外、X 射线以及宇宙射线;而长波电磁辐射则随波长的增长依次包括红外、无线电。在军事上,电磁频谱是传递信息的载体。

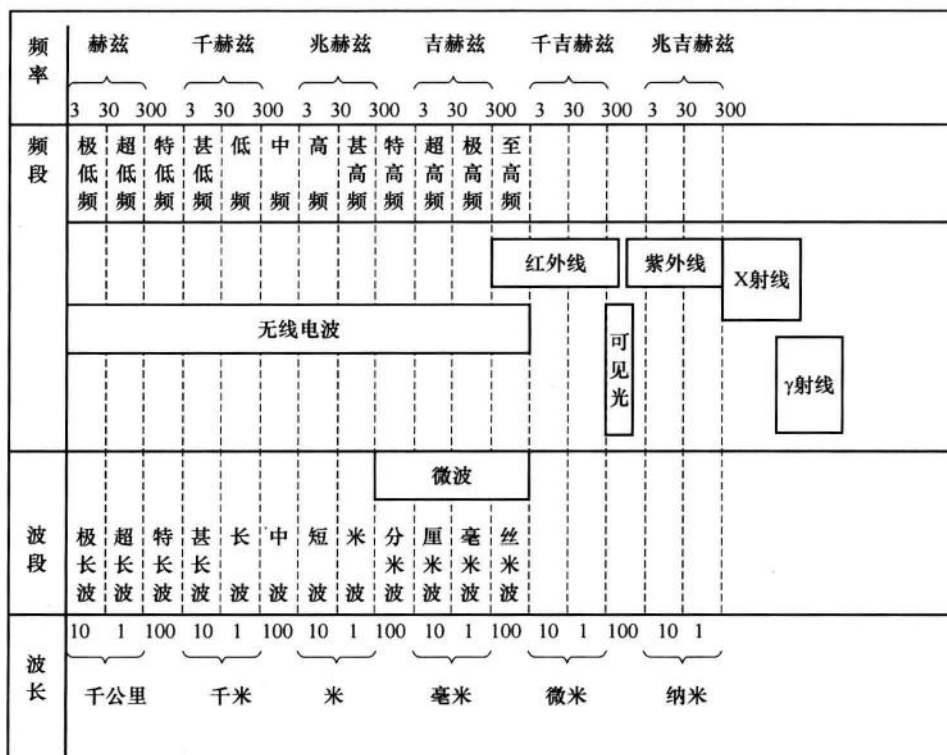


图 0-1 波长与频率的对应关系图

光谱是电磁频谱的一部分,范围从极远紫外经可见光到极远红外(在 $0.01 \sim 1000 \mu\text{m}$ 之间)。图 0-2 为光谱详图。在频谱的长波端,红外辐射和微波重叠。同样,X 射线和极远紫外在频谱短波段重叠。

紫外是指在电磁频谱中 $10 \sim 400 \text{ nm}$ 波长范围的一段,其波长在电磁波谱中位于可见光谱紫光区的外侧。它是在 1802 年(物理学家赫舍尔发现红外之后的第二年)由德国物理学家 Ritte 发现的。紫外波段的划分有多种方式,美国空军地球物理实验室(AFGL)根据光学、大气物理学和人眼生理学对紫外和可见光谱区作了如图 0-3 所示的划分。

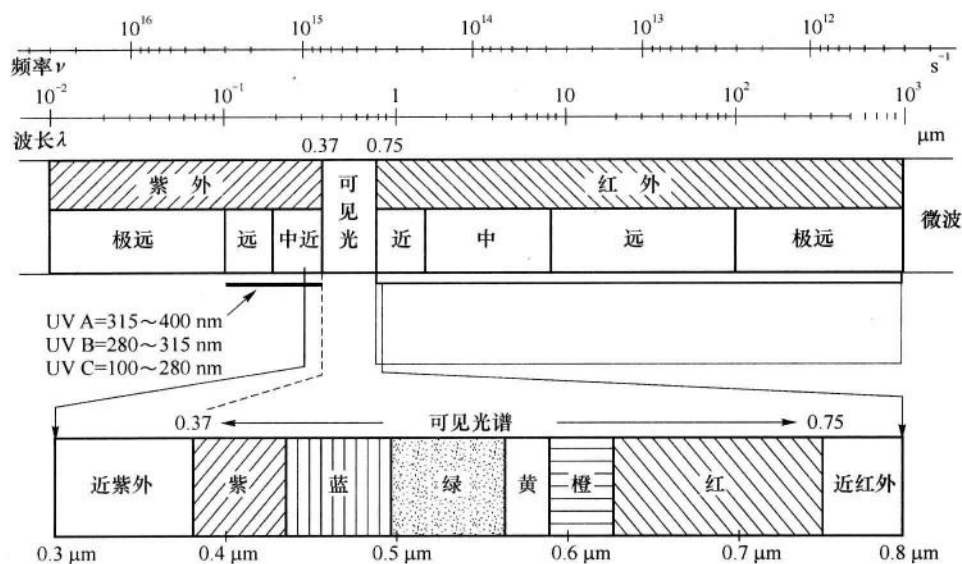


图 0-2 电磁频谱及光谱详图

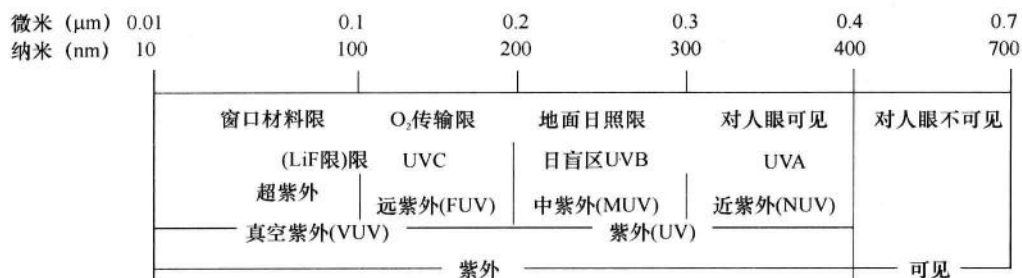


图 0-3 紫外和可见波长范围划分

根据光学、大气物理学和人眼生理学对紫外和可见光谱区的划分,ISO-DIS-21348 对紫外辐射的波段进行了如表 0-1 的划分。

表 0-1 ISO-DIS-21348 对紫外辐射的波段划分

名 称	缩 写	波长范围/nm	光子能量/eV
UVA(长波)	UVA	400~320	3.10~3.94
近紫外	NUV	400~300	3.10~4.13
UVB(中波)	UVB	320~280	3.94~4.43
中紫外	MUV	300~200	4.13~6.20
UVC(短波)	UVC	280~100	4.43~12.4
远紫外	FUV	200~122	6.20~10.2
真空紫外	VUV	200~10	6.20~124
极紫外	EUV	121~10	10.2~124

真空紫外的得名是由于该波段的紫外在空气中被 O_2 强烈吸收而只能应用于真空,其长波限粗略在 $150\sim 200\text{ nm}$ 。由于只有波长大于 200 nm 的紫外辐射才能在空气中传输,所以通常讨论的紫外辐射效应及其应用均在 $200\sim 400\text{ nm}$ 范围内。

图 0-3 和表 0-1 中都规定了中紫外波段为 $200\sim 300\text{ nm}$ 光谱区,在此波段,太阳辐射通过地球大气层到达地球表面时,受大气衰减的影响,形成了 UV 光谱的截止区,如图 0-4 中 C 所示的范围。其中,波长短于 300 nm 的中紫外辐射由于同温层中的臭氧的吸收,基本上到达不了地球近地表面,造成太阳光中紫外辐射在近地表面形成盲区。习惯上,将 $200\sim 300\text{ nm}$ 这段太阳光辐射到达不了地球的中紫外光谱区称作“日盲区”。

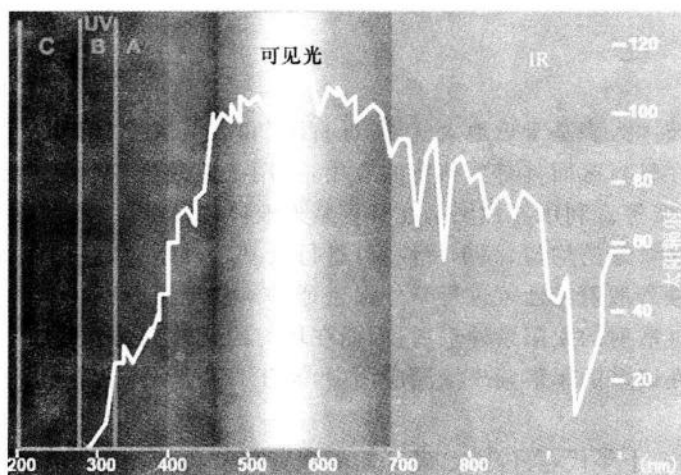


图 0-4 日盲紫外光谱区

紫外波长的单位用 nm , μm 或 $\text{\AA}$ 均可表示,三者间可按表 0-2 灵活换算。

表 0-2 波长换算单位

从右向下换算	$\text{\AA}$	nm	μm
$\text{\AA}$	1	10	10^4
nm	10^{-1}	1	10^3
μm	10^{-4}	10^{-3}	1

与红外、可见光相比,紫外辐射波长很短,光子能量相应较大。通过式(0-1)的计算,可对可见光和紫外光子的能量。

$$E = h\omega = \frac{2\pi hc}{\lambda} \quad (0-1)$$

以 254 nm 波长为例计算可得,紫外辐射的光子能量比可见光(555 nm)的光子能量大 1 倍多。所以,当紫外辐射与物质相互作用时,呈现如下一些特点:

① 穿透能力弱。紫外辐射的波长较短,当它入射到物体表面时,容易被物体吸收。所以紫外辐射的穿透本领比可见光、红外都弱。尤其是 200 nm 以下的短波长紫外辐射,易被空气分子强烈吸收,所以只能在真空中传输。

② 紫外辐射的荧光效应。某些物质的表面(如荧光粉、蛋白质、人造纤维等)受紫外辐射

照射后,可发射出不同波长和不同强度的可见光(也可以是紫外辐射),产生紫外辐射荧光效应,比如日光灯中的汞蒸气放电产生的 254 nm 紫外辐射照到管壁上的荧光材料时,即可激发出可见光。

③ 紫外辐射的光电效应。物体受照后电学性质发生变化,如发射电子、阻值变化和感生电动势等。

0.2 系统应用

0.2.1 概述

军用紫外探测技术大多基于近地大气中“日盲区”和大气层中“紫外窗口”的基础上,其中中紫外波段由于处在日盲区而具有更独特的应用,可用于紫外告警、紫外预警、紫外通信及紫外成像辅助导航、侦察等。利用导弹尾焰在日盲紫外波段的辐射可对其进行告警探测;利用高空大气层在中紫外区背景的均匀、简单特性,可进行天基紫外预警;利用中紫外辐射易被氧吸收及其在大气中的强烈散射特性可进行紫外保密通信。在近紫外区,地面或近地面的飞机等空中目标挡住了大气散射的太阳紫外辐射,因而在均匀的紫外背景上形成一个“暗点”,可藉此进行探测或制导。在诸多的军事紫外探测应用中,基于日盲紫外光谱区的导弹告警发展最迅猛、应用最成功。

早在 20 世纪六七十年代,美国就已经开始了在紫外波段探测洲际导弹发射的研究工作。早期的研究工作主要集中在对导弹羽烟紫外辐射的精确测量。其间,为人们所感兴趣的首要中紫外区,然后是真空紫外区。在这些谱区,地球造成的紫外背景辐射很小,信号探测看起来很有希望。但是,由于难以确定信号强度是否大于地球辐射,再加上紫外辐射特有的非热态,不易建立模型和理论,紫外探测难以付诸实施,研究工作再一次转向了亮度较高且易建立模型的羽烟红外特征。进入 20 世纪 80 年代,美国战略防务部门开始重新考虑利用导弹羽烟紫外辐射来探测导弹发射的可行性。相关基础研究工作的进展也提供了良好的技术支撑。进展之一是通过地球轨道观测卫星获得了背景紫外辐射的数据,进展之二是紫外传感器技术获得重大进展,特别是高紫外灵敏度阴极、电荷耦合器件(CCD)和高增益微通道板的研究取得了突破。目前,美国航空航天局研究的 EBCCD 紫外成像系统已经应用于探测火箭,此外带有紫外探测阵列的 MX 卫星和 Clementine 任务卫星也应用于天基预警。

军用紫外探测技术从 20 世纪 90 年代起进入实质性研究和应用开发,并在多个领域取得重大突破。被誉为 21 世纪最具影响力高技术之一的紫外告警技术异军突起,在短短的十几年间,发展成为迄今世界上型号最多、装备量最大的导弹告警装备,并已逐渐成为一种标准配置而越来越多地出现在各类高价值(包括民用)平台上;美国已率先研制出低功率紫外通信系统,并成功地将其应用于空间飞行器与卫星间、海军舰船间以及舰船与舰载机间的秘密通信。2000 年,美国 GTE 公司为美国海军研制并装备了紫外通信系统;同年前后,美军空军 SR71 黑鸟高空侦察机首次安装了紫外成像侦察设备;此外,紫外制导方面,美国的“毒刺”导弹等采用红外紫外双色导引,大大增强了抗干扰性能。

军用紫外探测拓展了军事上可利用的电磁频谱范围,带动了相关技术专业的发展。紫外

目标及背景特性等基础性测试工作、微弱紫外辐射量值传递、核心元器件开发等诸多支撑性技术在紫外告警的需求牵引下,近年来也取得长足进展。

0.2.2 典型应用

1. 战术导弹告警

(1) 用途及技术特点

在低空突防、空中格斗、近距支援、对地攻击和起飞着陆等阶段,作战飞机易受到短程红外制导的空空导弹和便携式地空导弹的攻击。从越南战争到海湾战争的历次局部战争的统计数字表明,由于缺乏有效的报警,75%的战损飞机都是在飞行员尚不知觉处于导弹威胁中而被击落的。导弹逼近告警(MAWS)作为对抗前端,是飞机获取威胁信息、启动红外干扰并进行战术规避的重要前提,它可以连续工作,对相当大空域内的威胁以很低的虚警率明确、快速告警,提示平台采取相应对抗措施,如图0-5所示。

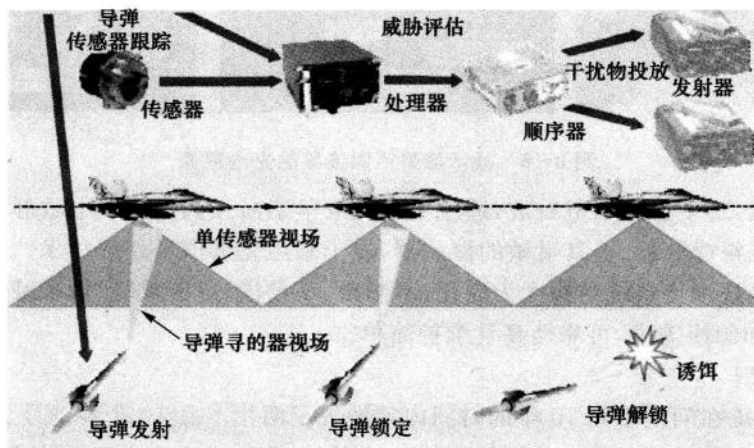


图0-5 紫外告警设备的典型战术应用

紫外告警设备作为平台自卫的末端告警手段,具体作用如下:

1) 威胁告警

紫外告警设备被动接收来袭威胁目标羽烟中的紫外辐射,实时对导弹的发射或逼近进行告警及精确定向,同雷达告警信息相关可判定来袭导弹的制导方式,供飞行员采取相应对抗措施及规避,并通过显示装置指出当前威胁源方位。

2) 目标识别、威胁等级排序

紫外告警设备能有效排除战场环境中各类人工、自然干扰及非逼近导弹,低虚警地探测来袭导弹,并在多威胁状态下,依据威胁程度快速建立多个威胁的优先级。

3) 引导红外干扰装置

飞机在高风险区执行任务时常通过不断投放红外干扰弹来阻止导弹的发射,以防不测,这种随意的人工发射有效性差,且势必造成作战飞机所携带有限红外干扰资源的浪费。为了使红外干扰弹的干扰获得最大效能,需要能对来袭红外威胁导弹实时告警,给出威胁的位置,以

有针对性实施干扰。由于红外干扰弹的投放只需要大概方位,所以第一代紫外告警问世后就承担了引导红外干扰弹投放的任务,且构成了一种非常有效的配置。

定向红外干扰机是将红外能量会聚成狭窄光束,指向来袭导弹的寻的器,使寻的器工作混乱而丢失目标。其优点是除了可对抗新型红外导弹外,还可提高平台的隐蔽性。但要使干扰光束能准确地指向正在飞行中的来袭导弹的寻的器,必须要有角分辨率较高的导弹逼近告警装置引导。第二代导弹紫外告警的高分辨率特性,满足了定向红外干扰机的需求。

紫外告警通过在“日盲区”探测导弹的尾焰发射出的紫外光子,为平台所受的导弹威胁发出及时有效的告警。其特点如下:

① 由于中紫外区位于太阳日盲区,系统避开了最大的自然光源,同时由空间造成的紫外背景辐射较少,信号检测难度下降,虚警率下降。图 0-6 显示了紫外探测较红外和可见光探测所具有的工作环境简单、背景干净等优势。

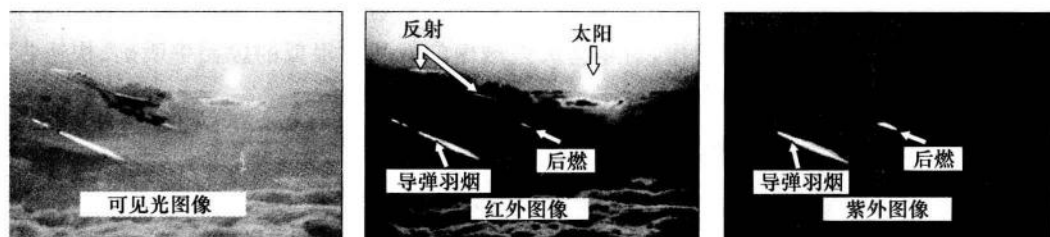


图 0-6 战术场景不同波段的光电图像

② 被动探测,不发射任何电磁波,适应了现代战争不断强调隐身和电磁静默的作战需要。

③ 系统易获得成熟的、极其灵敏的探测器,便于采用先进信号处理技术。

④ 紫外探测技术使系统结构大为简化,不制冷、不扫描、重量减轻、体积减小、环境适应性强,无运动部件和制冷需求,可靠性高且维护简单。

(2) 发展过程

紫外告警系统在问世不到 10 年的时间内就发展了两代产品 10 余种型号。

第一代紫外告警系统以光电倍增管为核心探测器,概略接收导弹羽烟的紫外辐射,具有体积小、重量轻、低虚警和低功耗的优点,缺点是角分辨率差,灵敏度较低。

世界上第一套紫外告警系统 AAR-7 是美国洛拉尔公司在 1989 年为海军航空兵的一些机种研制的(图 0-7),它利用 4 个传感器在中紫外盲区内探测导弹羽烟的紫外辐射,提供了 360°的方位覆盖范围及 90°的俯仰覆盖范围。每个传感器直径 12 cm,重 1.6 kg。探测器是非制冷的光电倍增管,使用选择滤波来减少虚警并减轻 CPU 的负担。信息处理结果通过驾驶员的显示指示器或 AN/APR-39A 雷达告警



图 0-7 AAR-47 紫外告警设备

器显示器(RWR)显示,在导弹到达前 2~4 s 由视听告警装置发出导弹攻击的信息。系统能自动控制投放红外干扰弹、探测哑弹并在 1 s 内重新投放,全部投放/探测/再投放时间小于 1 s。

AAR-47 在 1991 年海湾战争中投入实战后,又推出改进型 AAR-47A 和 AAR-47B,并在原有型号紫外传感器周围通过增加 6 个激光探测器,开发出了紫外/激光告警型产品,其激光探测波段为 $0.4\sim 1.1\mu\text{m}$,中央处理器是小型化电子处理单元,在不改变内部接口情况下通过插入一块新的电路板即增加了激光告警功能。

由于测量范围、虚警率和指示精度都不令人满意,多阳极探测成为第一代紫外告警后继型技术,出现了 10×10 像素探测器的准成像传感器形式,但仍不能分辨两种近似的紫外源,导致导弹告警的不可靠。

第二代导弹紫外告警系统以面阵器件为核心精确接收导弹羽烟紫外辐射,对所观测的空域进行成像探测,进而识别不同种类的威胁源,具有识别能力强、探测灵敏度高的优点。典型的二代紫外告警系统有美国 AAR-54、AAR-57 和 AAR-60 系统以及法国的 MILDS-2 系统。

AAR-54(V)系统早期称 PMAWS-2000(图 0-8),是在 1993~1994 年,由美国西屋公司在海军的资助下开发的。该系统包括凝视型、大视场、高分辨率紫外接收机和先进的综合航电组件电路,算法采用 Ada 软件编译。它可提供卓越的 1s 截获时间精度、 1° 角精度和全空域覆盖(6 个传感器),可装在各种战斗机、攻击机、宽体飞机、直升机和坦克、步兵战车上,用来对逼近的红外制导导弹告警。1996 年末,生产的第一批 AAR-54(V)交付给美国和英国,用于 AN/AAQ-24(V)“复仇女神”定向红外对抗系统。目前美国特种作战司令部、葡萄牙空军和澳大利亚海军都选用 AAR-54(V)装备了各自的飞机,丹麦、荷兰和挪威的空军也为 F-16 改进加装了 AAR-54(V)。

截止到 2004 年 3 月,美空军特种作战司令部的所有 MC-130E/H 运输机都安装了 AAR-54 设备,如图 0-9 所示。

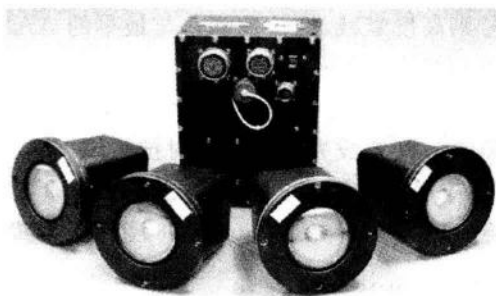


图 0-8 AAR-54(V)紫外告警设备



图 0-9 AAR-54(V)紫外告警在 C-130 的应用

大型运输机等慢速平台是 AAR-54(V)迄今装备的主要对象,美国、英国及其他各国装备 AAR-54(V)的作战平台详见表 0-3,此外还包括 C-5、C-17 等运输机平台。

表 0-3 各国装备 AAR-54(V) 的作战平台

国 家	型 号
美国	MC-130E/H
英国	C-130
葡萄牙	C-130H
德国	C-160

紫外告警作为导弹告警的一种主要形式,迄今发展仍方兴未艾,而且随着新材料、新器件和新技术的不断推陈出新,不断取得长足进展。

① 基于铝/镓/氮材料的新型探测器的开发以及新体制紫外告警的发展,系统性能得以增强,成本得以降低。铝/镓/氮复合材料能够响应 220~360 nm 间特定光谱带通的辐射,而对带外信号则高度衰减,性价比高。与最早的 AAR-47 相比,新型的成像式紫外告警灵敏度和角分辨率均提高了 1~2 量级。

② 以适当形式(如紫外/激光一体化告警、告警/干扰一体化、紫外/PD 雷达复合告警、各种吊舱等),配置成先进的红外对抗系统。

③ 应用领域不断扩大。从起初的低速飞行器扩展到了高速飞行器,从空中平台扩展到地面平台,从探测导弹威胁源信息扩展到探测其他威胁源(如枪炮闪光)信息。

2. 天基紫外预警

无论是战争还是和平年代,弹道导弹对国家安全的威胁是严重的,因而对其采取积极的防御措施非常必要,尤其是对其进行早期预警,可在助推段将其摧毁在国门外。位于地球高轨的预警卫星不受地球曲率的限制,居高临下,覆盖范围广,能及早发现空间运动的弹道导弹,对其发射进行全球全时监视,以迅速发现目标特征,确定发射方向、威力和可能瞄准的目标区,并实施助推段和后助推段的探测、捕获和跟踪,提供基本数据,如图 0-10 所示。



图 0-10 天基紫外预警的应用

弹道导弹助推段持续时间及燃尽高度在发射探测和跟踪方面很重要。首先,从防御角度看,非常希望洲际弹道导弹一发射即被探测到并把它消灭在助推段。其次,助推段的羽烟紫外辐射很强,最可能被探测到。

天基紫外预警系统利用导弹助推器羽烟发出的紫外辐射,在战略洲际弹道导弹发射中的