

UV detection technique

紫外探测技术

石峰 主编

程宏昌 闫磊 等 副主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press

紫外探测技术

主 编 石 峰
副主编 程宏昌 闫 磊 李 野 岳 丹
郭雅宁 苗 壮 拜晓锋

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统介绍了紫外探测技术的基本概念、系统构成原理和应用。全书共分6章,内容包括紫外探测技术概论、紫外大气传输特性、紫外目标特性及仿真、紫外成像技术、紫外探测器件、紫外探测技术的应用等。

本书内容翔实、理论充分、涵盖面广,它是微光夜视技术重点实验室技术人员结合自己所从事的科研工作及积累的经验数据,总结可作为高等院校研究生及从事紫外技术研究的科技工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

紫外探测技术/石峰等主编. —北京:国防工业出版社,2017.10

ISBN 978-7-118-11396-9

I. ①紫… II. ①石… III. ①紫外探测器
IV. ①TN23

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第257900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)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18½ 字数 422千字*

2017年10月第1版第1次印刷 印数1—1200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)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717



《紫外探测技术》编委会

主 编 石 峰

副主编 程宏昌 闫 磊 李 野 岳 丹

郭雅宁 苗 壮 拜晓锋

参 编 牛 森 任 彬 焦岗成 张连东

刘 晖 冯 刘 陈 畅 朱宇峰

袁 渊 王 龙 周玉监

前 言

紫外探测技术是继可见光、红外、激光、雷达、毫米波等探测技术之后新兴的一项军民两用光电探测技术。由于紫外辐射在大气中传播时具有强烈的散射性,使得紫外探测技术在军事上的应用倍受瞩目,发展很快。在民用市场方面,紫外探测技术在许多领域都有着广泛应用,例如在荧光分析技术、生物化学技术、环境监测、公安刑侦、光信息高密度存储、火灾报警和伪钞鉴别以及医疗保健等领域。

本书介绍了紫外探测技术的基本概念、系统构成原理和应用。全书共分6章,内容包括紫外探测技术概论、紫外大气传输特性、紫外目标特性及仿真、紫外成像技术、紫外探测器件、紫外探测技术的应用等。

本书由石峰(第一章,第四章),程宏昌(第五章),闫磊(第六章),苗壮(第二章),拜晓锋(第三章)等编著。参加部分章节编写工作人员有:牛森(第二章),任彬、焦岗成、闫磊(第三章),张连东、刘晖、冯刘、陈畅、朱宇峰(第五章),袁渊、王龙、周玉监(第六章)。岳丹、郭雅宁统稿。

本书的撰写工作是在昆明物理研究所领导的指导下进行的。在本书撰写、审阅、编校、排版过程中,微光夜视技术重点实验室人员以很大热情给予了全面支持和协作,在此表示深深的感谢。还要感谢本书各章节的作者和审稿人为全书的编写和审阅所做的贡献。还需特别指出的是,微光夜视技术第二届学术委员会的委员们在编书过程中给予了很大鼓励,感谢国防工业出版社在本书出版上做出的不懈努力和出色的工作,谨向他们表示感谢。

作 者

2017年6月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 紫外探测技术	1
1.2 紫外探测技术的应用	3
1.2.1 紫外导弹告警	3
1.2.2 天基战略导弹预警	6
1.2.3 狙击手探测	7
1.2.4 紫外通信	7
1.2.5 紫外望远镜	8
1.2.6 紫外星敏感器	9
1.2.7 灾害天气预报	9
1.2.8 指纹识别	10
1.2.9 高压电晕	10
1.2.10 水质监测	11
1.2.11 海洋油污检测	11
1.2.12 染病谷物的剔除	12
1.2.13 紫外皮肤病检测	12
1.3 紫外探测器	12
1.3.1 外光电效应紫外探测器	13
1.3.2 内光电效应紫外探测器	14
1.4 紫外探测技术的发展趋势	14
第二章 紫外大气传输特性	16
2.1 紫外大气传输基本理论	16
2.1.1 大气	16
2.1.2 紫外线在大气中的传输特性	17
2.2 紫外辐射测量方法及其设备	28
2.2.1 辐射的基本概念	28
2.2.2 紫外辐射传输的测量	30
2.2.3 大气衰减系数的测量计算	34
2.2.4 紫外辐射的测量仪器	35
第三章 紫外目标特性及仿真	42
3.1 几种典型的紫外目标特性	42
3.1.1 低空导弹尾焰紫外辐射特性	42
3.1.2 高压线电晕区紫外辐射特性	53
3.1.3 紫外辐射源	65

3.2	紫外目标特性仿真	69
3.2.1	紫外目标辐射特性仿真	69
3.2.2	目标紫外散射特性仿真	74
第四章	紫外成像探测技术	78
4.1	紫外成像系统原理及构成	78
4.1.1	紫外成像探测系统设计的若干理论问题	78
4.1.2	紫外成像探测系统光学系统设计	83
4.2	紫外成像系统试验	100
4.2.1	探测系统仿真模型	100
4.2.2	半实物仿真测试	105
4.2.3	内场性能测试	110
4.2.4	外场试验评估	114
4.2.5	飞行试验	116
4.3	典型紫外成像系统	118
4.3.1	成像型紫外告警系统	118
4.3.2	紫外成像传感器	119
4.4	可见光与紫外图像融合技术	127
4.4.1	图像预处理	127
4.4.2	图像融合	129
第五章	紫外探测器件	132
5.1	外光电效应紫外探测器	133
5.1.1	成像型外光电效应紫外探测器基本原理	134
5.1.2	成像型外光电效应紫外探测器特征参数	180
5.1.3	成像型外光电效应紫外探测器技术特点	188
5.1.4	非成像型外光电效应紫外探测器	192
5.2	内光电效应紫外探测器	222
5.2.1	内光电效应紫外探测器基础	223
5.2.2	GaN 紫外探测器	230
5.2.3	SiC 紫外探测器	239
5.2.4	氧化锌(ZnO)紫外探测器	242
第六章	紫外探测技术应用实例	252
6.1	紫外导弹告警	252
6.1.1	紫外导弹告警的工作原理	252
6.1.2	寻的器	256
6.1.3	紫外导弹告警系统的发展历程	258
6.2	紫外光通信	263
6.3	指纹识别紫外系统	269
6.4	紫外电晕检测	273
6.5	紫外探测在冰雹预报中的应用	274
参考文献		281

第一章 绪 论

1.1 紫外探测技术

紫外探测技术是继红外和激光探测技术之后发展起来的一项军民两用光电探测技术。在民用市场,紫外探测技术在许多领域都有着广泛应用,例如在荧光分析技术、生物化学技术、环境监测、公安刑侦、光信息高密度存储、火灾报警和伪钞鉴别以及医疗保健等领域。在军用领域,由于紫外辐射在大气中传播时具有强烈的散射性,使得紫外探测技术在军事上的应用倍受瞩目,发展很快。

紫外线是指在电磁波谱中 10 ~ 400nm 波长的一段,如图 1-1 所示,其波长在电磁波谱中位于可见光紫光区的外侧。在物理学家赫舍尔(Herschel)发现红外线之后的第二年,即 1802 年,德国物理学家 Ritte 发现了紫外线。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、大气物理和人眼生理学对紫外波段的划分如图 1-2 所示。

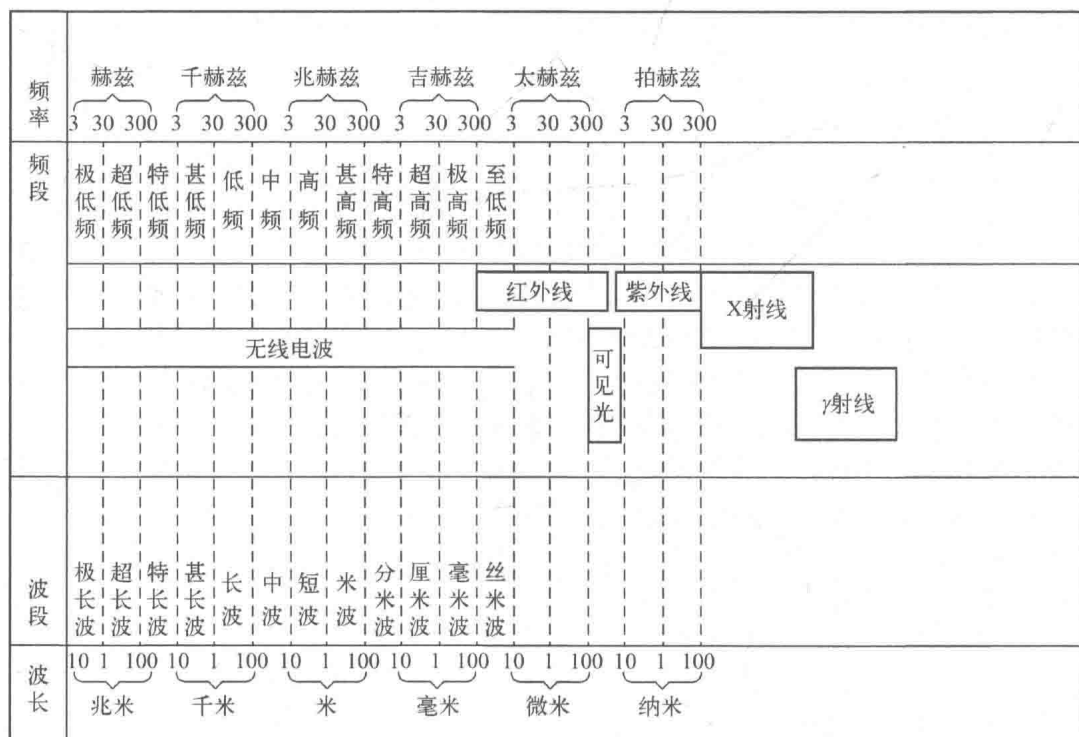


图 1-1 电磁波谱

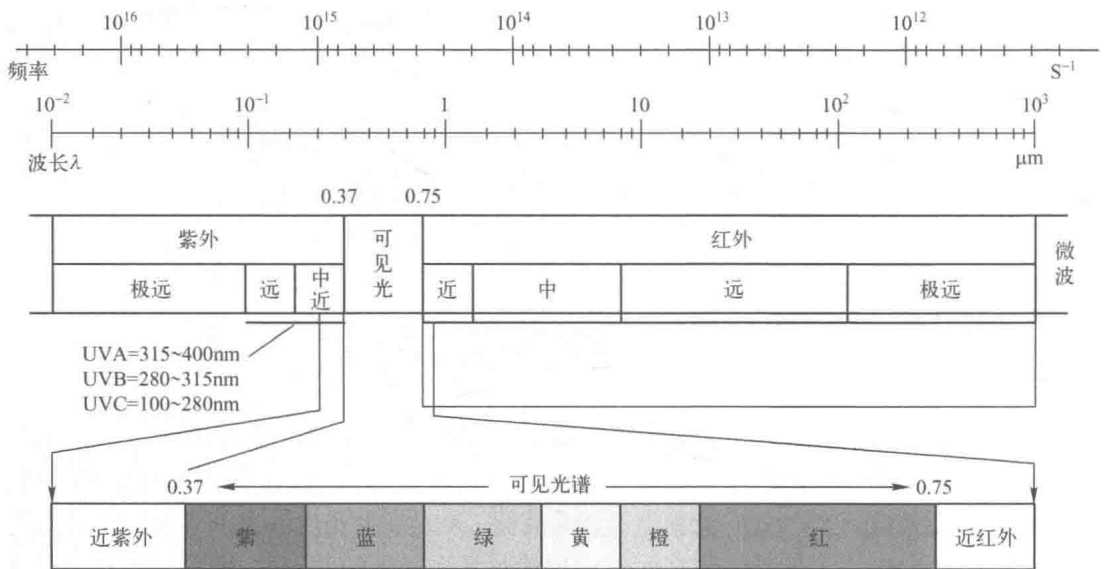


图 1-2 紫外波长划分

ISO - DIS - 21348 对紫外辐射波段的划分见表 1-1 所列。

表 1-1 ISO - DIS - 21348 对紫外辐射的波段划分

名称	编号	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	122 ~ 10	10.2 ~ 124

由于只有波长大于 200nm 的紫外辐射才能在大气中传输,所以通常研究的紫外辐射效应以及紫外探测技术的应用均在 200 ~ 400nm 范围内。目前常说的“日盲”型紫外是指太阳辐射的 200 ~ 300nm 波段的紫外光在通过地球大气层到达地球表面时,受大气衰减的影响,紫外辐射被大气层中的臭氧吸收,基本上到达不了地球表面,因此,习惯上把 200 ~ 300nm 这段太阳辐射到达不了地面的中紫外光谱区称为“日盲”波段。与可见光及红外辐射相比,紫外辐射波长短,光子能量大。计算紫外辐射能量的表达式如下:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1-1)$$

式中 E ——紫外辐射光子能量;
 h ——普朗克常数;
 ν ——紫外辐射频率;
 c ——真空光速;
 λ ——紫外辐射波长。

利用式(1-1)可知,254nm 紫外辐射光子能量是 800nm 近红外辐射光子能量的 3 倍多,紫外辐射具有以下特点。

(1) 穿透能力弱。

紫外辐射波长短,当入射到物体表面时,容易被物体吸收。所以紫外辐射的穿透能力比可见光、红外辐射都要弱。尤其是波长在 200nm 以下的紫外辐射,只能在真空中传输。

(2) 紫外辐射荧光效应。

汗渍、血液、荧光粉、蛋白质、人造纤维等物质受到紫外辐射照射后,可发射出不同波长和不同强度的可见光(或者紫外光),即紫外辐射的荧光效应,如日光灯中的汞蒸气放电产生的紫外辐射照到管壁上的荧光粉材料时即可激发出可见光,根据管壁所涂荧光粉的成分不同可以呈现暖色、日光色等。

(3) 紫外辐射光电效应。

材料受到紫外辐射照射后,其电学性能发生变化,如发射光电子,电阻率变化以及产生光伏效应等。

1.2 紫外探测技术的应用

太阳光作为能量最强的自然光源,其直接或间接产生的背景辐射对工作在近地表面的许多光电探测设备都会造成严重干扰,但 200 ~ 300nm 这段光谱区内的太阳光辐射到达不了地面,形成“日盲区”。如果让紫外探测系统工作在光谱区中的紫外波段,就可以使近地表面工作的紫外探测设备避开最强大的自然光源,在背景极其简单的条件下工作,从而大大降低信号处理的难度。与红外探测系统相比,紫外探测系统适于在中低空工作,并具有以下优点。

(1) 可在良好的背景条件下工作,抗干扰能力强;

(2) 由于不需要制冷和扫描,系统结构大大简化,重量减轻,体积减小,同时成本较低。

紫外探测技术和红外探测技术几乎同时起源于 20 世纪 50 年代,但由于此前的紫外探测器灵敏度低,紫外探测技术一直未能得到大范围应用。直到 20 世纪 90 年代,日本开发出雪崩倍增管摄像管,才使得紫外探测器件有较高的灵敏度和合适的光谱范围,从此紫外探测器广泛应用于天文学、燃烧工程、水净化处理、火焰探测、生物效应、指纹识别与提取、电弧探测、天际通信及环境污染监测等领域。紫外探测技术以其独特优势在通信、预警和制导方面得到广泛的应用。由于紫外线的日盲特性和大气层中良好的传播特性,可飞越障碍物而实现非视线(NLOS)通信,具有低窃听率、高抗干扰性和全天候工作等优点,是一种具有很大发展潜力的新型通信方式。紫外预警利用“日盲区”来探测导弹的火焰与羽烟,在背景洁净的日盲区,导弹羽烟的紫外辐射很容易被检测出来。由于避开了最强的太阳辐射背景,信息处理负担明显减轻,虚警率很低,与红外预警相比,不需要低温冷却,体积小、重量轻、响应快。

1.2.1 紫外导弹告警

为了应对导弹的威胁,导弹来袭告警系统是必要的装备。根据使用传感器的不同,目前的告警技术主要包括激光告警、红外告警和紫外告警三种工作方式。紫外告警是通过

探测导弹羽烟中处于“日盲”光谱区的紫外辐射来发现目标的。在“日盲”光谱区,常见的战术导弹飞行的动力是燃料加助燃剂,在低空飞行时燃烧形成处于“日盲”波段的紫外辐射源,这就为导弹目标的探测提供了其他波段所不具备的便利条件。

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,作战飞机容易受到短程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,由于缺乏有效的预警,75%的战损飞机都是在飞行员尚不知不觉处于导弹威胁中而被击中的。导弹逼近告警(MAWS)作为对抗前端,是飞机获取威胁信息、启动干扰并进行技术规避的重要前提,它可以连续工作,对相当大的空域内的威胁以很低的虚警率明确、快速告警,提示飞机平台采取相应对抗措施。

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断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的方位。

(2) 目标识别、威胁等级排序。

紫外告警设备能够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) 引导干扰装置。

飞机在高危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,需要能对来袭红外制导导弹实时告警,给出威胁位置,有针对性地实施干扰。由于红外干扰弹投放只需要大概的方位,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汇聚成狭窄光束,指向来袭导弹的寻的器,使寻的器工作混乱而丢失目标。其优点是除了可以对抗新型红外导弹外,还可以提高平台的隐蔽性。但要使干扰光束能够准确地指向正在飞行的来袭导弹的寻的器,必须有角分辨率较高的导弹逼近告警装置引导。第二代导弹逼近紫外告警系统的高分辨力特性,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,系统避开了最强大的自然光源,同时由空间造成的紫外背景辐射较少,信号监测难度下降,虚警率下降。图1-3为战术场景不同波段的光电图像,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。

(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,可靠性高且维护简单。

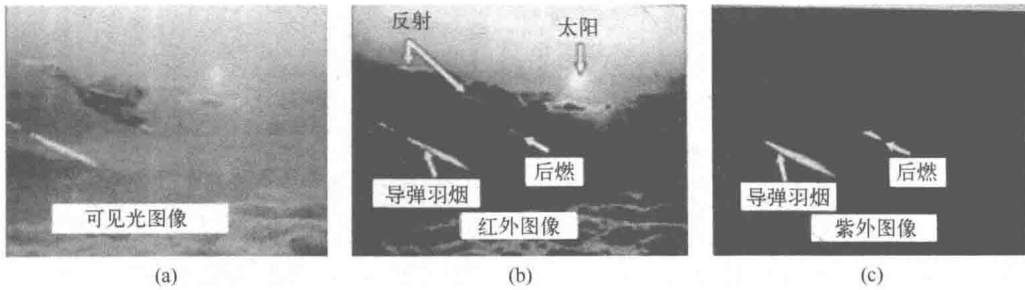


图 1-3 战术场景不同波段的光电图像

2. 发展过程

紫外告警系统在问世不到 10 年的时间就发展了两代产品十几种型号。

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、虚警率低和低功耗的优点,缺点是角分辨力差,灵敏度较低。

世界上第一套紫外告警系统 AAR-47 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,如图 1-4 所示,它利用 4 个传感器在中紫外日盲区内探测导弹羽烟的紫外辐射,提高了 360°的方位覆盖范围和 90°俯仰覆盖范围。每个传感器直径为 12cm,重量为 1.6kg。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 负担。信息处理结果通过驾驶员的显示指示器或 AN/APR-39A 雷达告警器显示器(RWR)显示,在导弹到达前 2~4s 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 1s 内重新施放,全部投放、探测、再投放时间小于 1s。

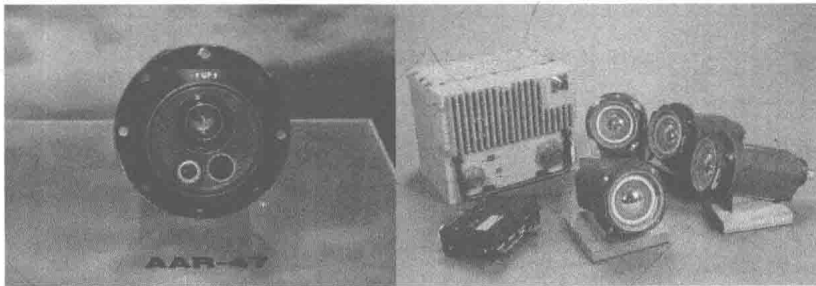


图 1-4 AAR-47 紫外告警系统

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 0.4~1.1 μm ,中央处理器是小型化电子处理单元,在不改变内部接口的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探测器的后继型技术,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。

第二代紫外导弹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、探测灵敏度高等优点。典型的二代紫外告警系统有 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,如图 1-5 所示,是在 1993 年—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、高分辨力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,它可提高卓越的 1s 捕获时间精度、1°角精度和全空域覆盖(6 个传感器),可装在各种战斗机、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) 交付给美军和英军,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)。



图 1-5 AAR-54(V)紫外告警系统

大型运输机等慢速平台是 AAR-54(V)迄今装备的主要对象。截至 2004 年 3 月,美空军特种作战司令部的所有 C-130E/H 运输机都安装了 AAR-54(V)紫外告警设备。美国、英国等国家装备 AAR-54(V)的情况见表 1-2 所列。

表 1-2 各国装备 AAR-54(V)的作战平台

国 家	平 台
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,迄今发展方兴未艾,而且随着新材料、新器件和新技术的不断出现,不断取得长足进展。

1.2.2 天基战略导弹预警

对于在卫星轨道平台上对战略导弹目标和战术导弹目标进行探测和预警,目前主要采用的一些手段是利用导弹在发射和飞行过程中所发生的一些光电现象,用合适的探测仪器进行探测和预警。主要利用光谱范围有长波红外(8~12 μm)、中波红外(4.3~6.3 μm)、短波红外(2.7 μm)、可见及近红外(0.4~1.1 μm)、中波紫外(0.25~0.28 μm)、无线电波等。目前研究最多和应用最多的主要是短波红外、中波红外和中波紫外等波段。短波红外、中波红外预警我国已经安排了研究,但中波紫外预警的研究工作还没有全面开展。在预警的主要设计指导思想中,必须充分考虑各种战略目标和战术目标的共同光电特点、探测及预警系统能达到的技术指标,并且考虑到地球背景、地球背景变化、抗干扰措施和未来目标光电特性的可能变化等因素。只有在充分考虑了各种因素后,才能设计出一个较好的预警系统。

无论是洲际导弹(ICBM)、大型战略导弹、较远程的战术导弹还是高空战略轰炸机,导弹在主动段由于燃烧中物质分子的转动和振动能级跃迁将引起各种不同频率的辐射,其中最重要的辐射是由发动机加力和巡航阶段燃料的燃烧产生的。这些辐射是发动机固有

的,并且与发动机的型号和使用的燃料有关,这些特征辐射是探测和预警过程的依据。另外在高速飞行导弹的主动段和巡航段之初,在导弹前端会产生冲击波,其头部冲击波的气体温度经测定超过 6000K,在冲击波中也会产生大量的紫外辐射,并且这些紫外辐射的源就在导弹头部周围。而对于巡航导弹和短程战术导弹,由于其发动机尾焰的红外辐射对总体红外特征的贡献相对很小,而在空间飞行器的相对冷的表面所产生的热辐射,峰值处在光谱的长波红外部分,是这些目标的主要红外特征,因此长波红外传感器是对这类目标探测和预警最合适的。

在预警中使用的光学辐射类型,主要取决于大气传输特性、探测器和光学系统的工艺、背景和杂波电平。但是,目前在导弹发动机和技术方面的很多改进正在降低这些固有辐射中的多数辐射,因此,不能保证在未来的导弹中仍会出现这些辐射谱线。特别是利用中波红外和短波红外特征辐射进行预警的红外预警系统,由于目前已经生产并设计了一种类型的发动机,在其产生的废气中,不含 CO_2 和 H_2O ,因此由 CO_2 和 H_2O 分子偏振和振动产生的特征辐射将大量降低,即 $2.7\mu\text{m}$ 、 $4.3\mu\text{m}$ 、 $6.3\mu\text{m}$ 的特征辐射将减小。虽然发动机进行了改进,改变了发动机的特征辐射,但必然在别的光谱区域产生其他特征辐射。为保证导弹预警系统有较高的预警概率,导弹预警应该是一个综合性的多光谱预警系统,不仅包括红外预警,还应包括紫外预警,甚至包括可见光和微波预警,并且最好能够将主要预警方式集成在同一个预警系统中。

1.2.3 狙击手探测

在伊拉克或阿富汗战场,令人防不胜防的反美武装狙击手造成大量人员死伤,也使美军士兵神经时刻紧绷。任何燃烧火药的武器在发射时都会发出紫外线,即便是消声设施做得极好的狙击步枪也不例外。 ZnO (氧化锌)纳米管,拥有很好的光电转换特性,能准确探测到枪炮发射时发出的紫外线,紫外线中四散的紫外光子会撞击探测器上的氧化锌纳米原子,在这个过程中发生能量转化,光子的动能被转化为电能。探测器强大的处理能力能根据电流的强弱判断紫外光子的撞击方向,从而准确锁定狙击手方位。

1.2.4 紫外通信

紫外光电探测技术在紫外通信、机场导航等方面有着广泛的应用。日盲紫外通信由于保密性好,抗干扰能力强,能够实现非视距通信等一系列优点,使得其非常适用于某些特殊场合所需的通信。目前,针对日盲紫外通信系统的研究工作主要集中在信道模型、紫外光收发器件、调制方式和无线传感器网络应用等领域。其中,作为信号接收器的日盲紫外光探测器是这一系统的核心器件,它的关键指标主要有光谱响应范围、响应灵敏度以及暗电流等,而这些指标又会直接影响紫外通信系统的抗干扰能力、作用距离等性能。图 1-6 是国外某型安全通信实验系统示意图。

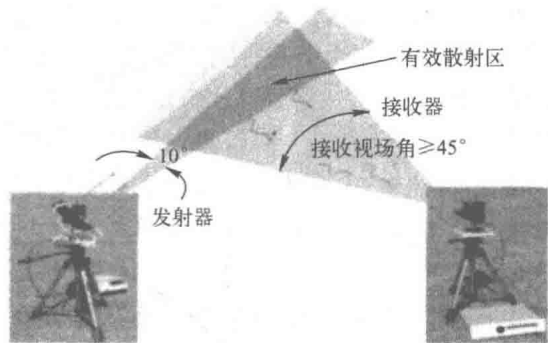


图 1-6 国外某型紫外通信实验系统示意图

1.2.5 紫外望远镜

成像光谱分析在空间科学上常用来分析恒星大气成分。尽管成像光谱分析包括各种波长的电磁波,但紫外成像光谱分析在空间科学中有重要地位。其原因如下。

(1) 恒星热核辐射的各种波长电磁波被恒星大气层中的粒子所吸收,因此在原子光谱的某些频率上留下黑暗线条。由于夜空背景中 160 ~ 250nm 的紫外辐射最少,而在紫外波段光谱中包括很多重要元素的强跃迁光谱(大多数是共振),如氢、氦、氮、碳、氧、镁、硅、硫和铁等,通过分析由恒星发射出来的电磁光谱中紫外波段的黑暗线条,就能知道恒星大气层中存在的各种元素,因此,紫外光谱能最有效地提供恒星大气中不同元素的比例。

(2) 温度超过 1000K 的恒星,其辐射光谱峰值在紫外波段,因此,通过研究它们的紫外辐射光谱可获得这些恒星的温度。

(3) 大部分星系都离我们很远,那些星系发出的光,走过了十分遥远的空间(几十亿光年),继而到达地球上。在光向地球传播的过程中,由于宇宙的膨胀,光波被拉长了(波长变长),结果,那些光便变成了我们目前的仪器尚无能为力的红外光。天文学家能看到的唯一的光线,就是那些由于光波被拉长从而形成可见光的紫外线。依靠那些紫外线,天文学家们能够看见那些年轻炙热的恒星。因此,紫外天文观测设备多用于各种空间平台上。到目前为止,已经有多个空间紫外望远镜投入了应用。例如:1990 年发射的 Astro - 1 天文台和 1996 年发射的 Astro - 2 天文台上的 Hopkins 紫外望远镜(HUT)、Wisconsin 紫外光电偏振仪(WUPPE)、紫外成像望远镜(UIT);1992 年发射的极紫外探测器(EUVE),该探测器工作在极紫外波段,具有 3 个扫描望远镜和 1 个极紫外望远镜,用于探测星际物质、白矮星、中子星、双星系统以及热矮星等目标,该紫外探测器的发射打开了极紫外天文学这一新的天体物理领域;1990 年发射的哈勃空间望远镜(HST),该望远镜装有空间望远镜成像摄谱仪(STIS)、弱天体摄谱仪(FOS)、高级普查摄谱仪(ACS),能覆盖从 115nm 至近红外光谱范围,以及专门用于紫外观测的哥达德高分辨率摄谱仪(HRS)。

除了以上这些多用途的空间紫外探测器之外,还有专门用于太阳观测的过渡区和日冕探测器(TRACE),该探测器由 4 个望远镜组成,能覆盖 4 个象限,其中 1 个镜面用于紫外宽带观测。

在一系列空间紫外探测器中,远紫外探测器(FUSE)是比较新型的探测器,该探测器于 1999 年发射,有 4 个并行的望远镜面,工作在 90.5 ~ 119.5nm,可以探测分布在这个波段内有关星际气体以及恒星和行星形成物质的大量谱线,涉及的研究对象有大质量恒星、超新星、行星状星云以及冷恒星和行星的外层大气等。

图 1-7 是 HST 所拍摄的邻近星系的紫外照片,图(a)NGC3310 照片的中心部分即漩涡状星系的星暴区,展示了年轻和年老的恒星的均匀的分布。图(b)是一个小而年轻的漩涡状星系 ESO 418 - 008,在这个星系中,时间对恒星的分离作用更为显著,那些年老的恒星处于中间,而年轻的恒星则存在于星系的旋臂中。图(c)显示了两个星系—UGC06471 和 UGC06472 之间的冲撞。

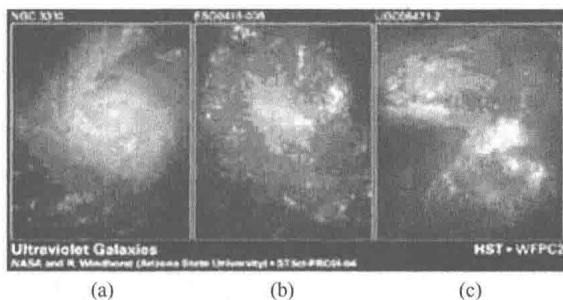


图 1-7 HST 所拍摄的邻近星系的紫外照片

1.2.6 紫外星敏感器

卫星的自主导航可以减轻地面站的操作负担,降低航天计划的成本,提高卫星的生存能力。星敏感器是实现卫星自主导航的关键部件,它通过探测天体发出或者反射的辐射,测量出卫星和天体所形成的矢量,从而完成自身的定位并为姿态控制提供参数。按照探测的天体类型,星敏感器分为太阳敏感器、地球敏感器等不同类型。传统的光学姿态敏感器多工作在红外波段或者可见光波段,如红外地平仪、可见光星敏感器等,但是这些星敏感器在小卫星上的使用受到了制约。因此,人们开始研制紫外波段的星敏感器。由于地球大气中的氧和臭氧形成了波长小于 300nm 的强吸收带,所以在地面和大气特征以上的高度形成球日照边缘,而且这个日照边缘不受地面和气象特征的影响。工作在紫外波段的探测器能够探测出整个地球边缘的图像。与红外星敏感器相比,紫外星敏感器也能获得相当稳定的图像。由于紫外在天体观测的优点,紫外星敏感器可以只用一个敏感器组件就能实现红外地平仪、太阳敏感器等多个敏感器的功能,大大缩小了自主导航设备的体积,降低了成本,更加适合小卫星的使用。

1.2.7 灾害天气预报

积雨云的出现往往预示着一些自然灾害的发生,如冰雹、雷暴等,这些自然灾害经常给人们的生产生活带来巨大的危害和损失,因此对于积雨云的监测就显得十分重要。

闪电是发生在积雨云中的大气放电现象,在闪电过程中,气体温度在 20000K 以上,所发出的光谱包含了紫外成分,如图 1-8 所示。由闪电光谱分布可以知道在日盲区闪电辐射强度很大,因此,工作在该波段的积雨云探测器的灵敏度就很高。

国内已研制出利用这个原理的光电测雹仪。实验表明,积雨云的闪电特性和它可能带来的灾害类型有着一定的联系,图 1-9 就是根据实际观测后将闪电分成三类得到的不同类型闪电的波形特征图。

图 1-9(a)是非降雹云,即雷电网的闪电波形,这类积雨云的闪电频数和闪电(由肉眼看到的闪电是由数次放电组成,每一次放电成为闪电)频数都比较低;

图 1-9(b)是轻雹灾,即弱降雹云中的闪电特征,这类积雨云的闪电和闪电频数都比

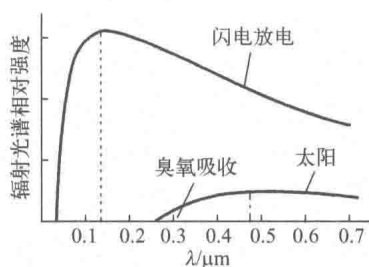


图 1-8 闪电和太阳辐射光谱

较高;

图 1-9(c) 是重雹灾, 即强降雨云的闪电特征, 这类积雨云的闪电波形呈宽脉冲形, 说明一次闪电能量较大。根据这一特点, 利用紫外探测器纪录闪电的波形特征, 分析积雨云的类型, 从而可以对灾害天气进行监测和预报。

1.2.8 指纹识别

指纹具有终生不变性, 这使得指纹在公安侦破中发挥了重要的作用。指纹的印记一般可以分成汗潜指纹、可见指纹和立体指纹, 其中最常见的是汗潜指纹, 它是由汗液形成或者是身体有皮脂腺的地方无意识的接触形成, 特别容易在玻璃表面或者其他光滑表面上留下, 用眼睛很难看出。处理或者提取汗潜指纹的方法一般是用灰粉或者黑粉, 在渗透性的检材上, 如纸张、厚硬纸板上一般使用碘熏法。但是, 这些方法仅能获得指纹, 而不能进行指纹的存储和辨认。为了达到这一要求就必须使用新的指纹检测方法。由于人体的指纹印、体液以及违禁的火药、麻醉品等物质对紫外线具有特殊的吸收、反射、散射及荧光特性, 因此, 可以利用指纹痕迹(汗液形成的)对紫外光所呈现的特性来进行指纹的紫外检测。并利用紫外像增强器将弱信号放大, 有效地提高探测灵敏度。这种技术在使用时无需遮光及化学处理, 对于大多数的非渗透性的光滑表面上的无色汗液、指印都能较好地检测, 使用方便、可靠、安全有效。

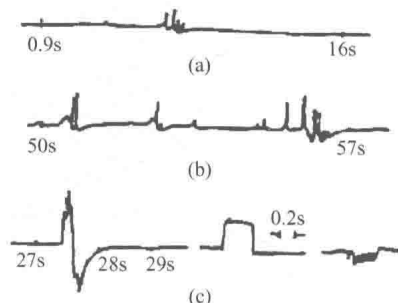


图 1-9 积雨云闪电波形特征

1.2.9 高压电晕

发电机组内部的线棒、高压输电线的表面由于高电压而会发生电晕放电现象。这种电晕放电会腐蚀线棒或者高压线路的绝缘体, 从而会发生短路等事故。同时, 电晕放电也会造成无线电干扰和电磁污染, 因此, 有必要对电晕放电进行探测, 从而确定放电部位和绝缘材料剥离的部位。在电晕放电的过程中会发射紫外辐射, 可以通过探测紫外辐射源来达到放电源的测定。但是, 由于电晕放电的紫外辐射能量较低, 在白天探测, 太阳在近紫外波段的辐射会掩盖掉电晕放电的信号, 因此传统的电晕探测设备大多是在夜间使用。为了解决这一难题, 微光重点实验室研制成功了工作在日盲波段的紫外像增强器。在这个波段里虽然电晕的辐射能量较低, 但是由于处于“日盲区”, 工作背景良好, 干扰噪声很少, 因此很少会出现虚假信号, 通过结合在可见光波段工作的摄像机就可以在白天对各种高电压设施的电晕放电现象进行探测。图 1-10 是用日盲紫外摄像机拍摄的高压设备电晕情况。

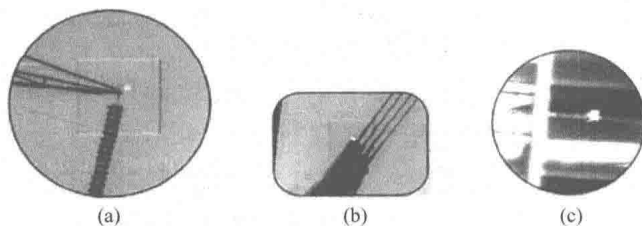


图 1-10 高压设备电晕情况