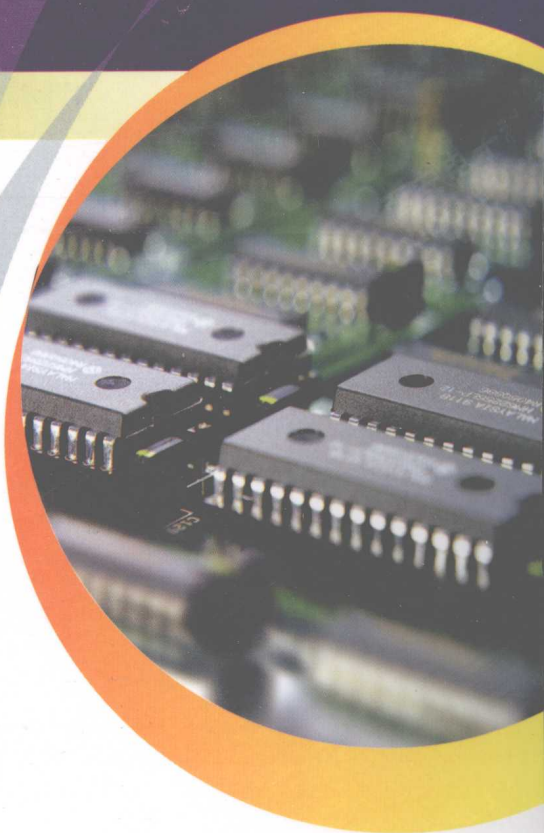
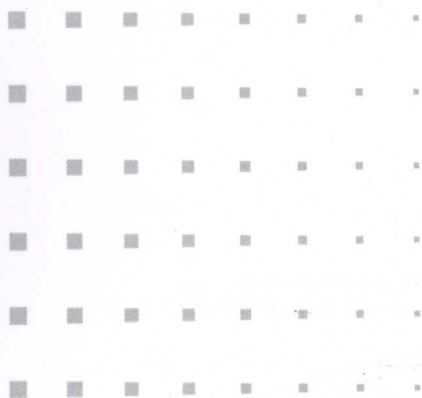




高等学校信息工程专业规划教材

# 光电对抗原理与应用

李云霞 蒙 文 编著  
马丽华 赵尚弘



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

# 光电对抗原理与应用

李云霞 蒙文 马丽华 赵尚弘 编著

西安电子科技大学出版社

2009

## 内 容 简 介

本书全面、系统地论述了光电对抗技术的基本原理与应用。全书共分七章,内容包括概述、光电制导技术、光电侦察告警技术、光电有源干扰技术、光电无源干扰技术、光电对抗系统的评估与仿真以及典型光电对抗系统介绍等。

本书内容深入浅出,材料充实丰富,可作为相关专业的本科生、研究生的教材,也可作为对电子战技术有兴趣的读者的参考书。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

### 图书在版编目(CIP)数据

光电对抗原理与应用/李云霞等编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2009.2

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2179 - 1

I. 光… II. 李… III. 电子对抗—高等学校—教材 IV. TN97

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 201287 号

策 划 臧延新

责任编辑 阎 彬 臧延新

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 15

字 数 351 千字

印 数 1~4000 册

定 价 22.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2179 - 1/TP · 1112

**XDUP 2471001 - 1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

## 前 言

当今世界，以信息技术为核心的高新技术得到了迅猛发展和广泛应用，这极大地改变了人类社会的面貌，也使军事领域的作战方式和战争形态发生了深刻变化。进入 20 世纪 90 年代后，一种新的军事概念逐步形成，这就是信息战。信息战的概念在海湾战争之后逐渐被充实、丰富和深化，如今信息战已成为信息时代的一种崭新的作战模式，它对未来高科技战争的结局将起到至关重要的作用。

电子战是信息战最基本的作战样式，它贯穿于战争全局渗透到战争的各个方面，成为与制空权、制海权同等重要的战略要素。电子战主要包括雷达对抗、通信对抗、光电对抗和导航对抗等。

随着光电武器应用和研究的进一步深入，光电对抗武器和装备也在不断更新，从而促成了整个光电对抗新技术的产生和发展。目前，光电对抗装备已大量装备各国的陆、海、空三军，成为军事装备信息化的一个重要标志。为了适应未来战争的需求，我们有必要学习和研究光电对抗技术与装备。

本书共分七章。第 1 章为概述，介绍光电对抗的概念、背景和技术体系等；第 2 章为光电制导技术，介绍光电制导武器的工作原理，包括红外、激光、电视、光纤、多模复合等制导方式；第 3 章为光电侦察告警技术，介绍激光、红外、紫外侦察告警以及光电综合侦察告警技术；第 4 章为光电有源干扰技术，介绍激光、红外有源干扰技术；第 5 章为光电无源干扰技术，介绍烟幕干扰、光电隐身、光电假目标等干扰技术以及其他无源光电对抗措施；第 6 章为光电对抗系统的评估与仿真，介绍光电对抗系统的评估与仿真的基本概念、准则及方法等；第 7 章为典型光电对抗系统介绍，重点介绍机载、舰载、地基等典型光电对抗系统以及激光反卫星系统。

本书第 1、2 章由李云霞编写，第 3~5 章由蒙文编写，第 6 章由马丽华编写，第 7 章由赵尚弘编写。研究生吴继礼、张晓哲、郝婕和教员柳海、马曙光为本书的资料搜集和整理做了大量工作，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错疏漏之处，恳请读者指正。

编 者

2008 年 11 月

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 光电对抗的基本概念 .....	1
1.2 光电对抗与现代战争 .....	3
1.3 光电对抗的应用 .....	4
1.4 光电对抗的发展趋势 .....	7
1.4.1 多层防御与全程主动对抗 .....	7
1.4.2 多功能综合一体化技术 .....	8
1.4.3 多光谱一体化新技术 .....	9
<b>第 2 章 光电制导技术</b> .....	10
2.1 红外制导 .....	11
2.1.1 红外点源寻的制导 .....	12
2.1.2 红外成像制导 .....	16
2.1.3 红外成像制导技术的发展趋势 .....	22
2.2 激光制导 .....	22
2.2.1 激光制导的原理 .....	23
2.2.2 激光制导武器的应用 .....	27
2.2.3 激光制导技术的发展趋势 .....	30
2.3 电视制导 .....	31
2.3.1 电视制导的原理 .....	32
2.3.2 电视制导武器的应用 .....	33
2.3.3 电视制导技术的发展趋势 .....	35
2.4 光纤制导 .....	35
2.4.1 光纤制导的原理 .....	36
2.4.2 光纤制导武器的应用 .....	38
2.4.3 光纤制导技术的发展趋势 .....	39
2.5 多模复合制导 .....	39
2.5.1 多模复合技术的特点 .....	40
2.5.2 典型多模复合寻的制导技术 .....	41
2.5.3 多模复合制导技术的发展趋势 .....	42
<b>第 3 章 光电侦察告警技术</b> .....	44
3.1 辐射源 .....	44
3.1.1 背景辐射源 .....	44
3.1.2 目标辐射源 .....	59
3.2 光辐射的探测技术 .....	67
3.2.1 光电探测的物理效应 .....	67
3.2.2 光探测器的性能参数和噪声 .....	73

3.2.3	光电探测方式 .....	77
3.2.4	光辐射侦察的截获方式及其计算 .....	82
3.3	激光侦察告警技术 .....	86
3.3.1	激光告警设备的发展过程 .....	86
3.3.2	激光告警设备的特点和主要技术指标 .....	88
3.3.3	典型激光告警设备分析 .....	89
3.3.4	激光告警的关键技术和发展趋势 .....	99
3.4	红外侦察告警技术 .....	100
3.4.1	红外侦察告警的发展历史 .....	100
3.4.2	红外侦察告警系统的组成和特点 .....	102
3.4.3	红外侦察告警系统的工作机理 .....	102
3.4.4	装备实例 .....	103
3.4.5	红外侦察告警的关键技术和发展趋势 .....	106
3.5	紫外侦察告警技术 .....	107
3.5.1	紫外侦察告警的原理 .....	108
3.5.2	紫外侦察告警系统的组成与战术应用 .....	108
3.5.3	紫外侦察告警的特点 .....	110
3.5.4	紫外侦察告警的关键技术 .....	110
3.5.5	装备实例 .....	111
3.6	光电综合侦察告警技术 .....	112
3.6.1	光电综合侦察告警的原理和特点 .....	112
3.6.2	红外/激光复合告警技术 .....	112
3.6.3	红外/紫外复合告警技术 .....	113
3.6.4	紫外/激光复合告警技术 .....	113
3.6.5	发展趋势 .....	114
<b>第4章</b>	<b>光电有源干扰技术 .....</b>	<b>115</b>
4.1	红外干扰弹 .....	115
4.1.1	红外干扰弹的分类和组成 .....	115
4.1.2	红外干扰弹的干扰原理 .....	115
4.1.3	红外干扰弹的技术要求 .....	117
4.1.4	机载红外干扰弹的弹道特性 .....	118
4.1.5	新型红外干扰弹 .....	118
4.2	红外有源干扰机 .....	120
4.2.1	红外有源干扰机的分类和组成 .....	120
4.2.2	红外有源干扰机的干扰原理 .....	122
4.2.3	定向红外干扰机 .....	124
4.3	强激光干扰技术 .....	125
4.3.1	强激光干扰的分类和组成 .....	125
4.3.2	强激光毁伤效果 .....	125
4.3.3	强激光干扰的关键技术 .....	130
4.4	激光欺骗干扰技术 .....	132
4.4.1	激光欺骗干扰的分类和组成 .....	133
4.4.2	角度欺骗干扰 .....	133

4.4.3	距离欺骗干扰 .....	134
4.4.4	激光欺骗干扰的关键技术和发展趋势 .....	135
<b>第 5 章</b>	<b>光电无源干扰技术 .....</b>	<b>137</b>
5.1	烟幕干扰 .....	137
5.1.1	烟幕干扰的分类 .....	137
5.1.2	烟幕的干扰机理 .....	138
5.1.3	烟幕性能的测试 .....	141
5.1.4	烟幕干扰武器的发展趋势 .....	144
5.2	光电隐身 .....	145
5.2.1	光电隐身技术的分类 .....	145
5.2.2	可见光隐身技术 .....	145
5.2.3	红外隐身技术 .....	146
5.2.4	激光隐身技术 .....	149
5.2.5	等离子体隐身技术 .....	150
5.3	光电假目标 .....	150
5.3.1	光电假目标的分类 .....	151
5.3.2	光电假目标的组成与应用 .....	151
5.3.3	光电假目标的研究现状和发展趋势 .....	153
5.4	其他无源光电对抗措施 .....	154
5.4.1	红外动态变形伪装 .....	154
5.4.2	光谱转换 .....	155
5.4.3	微环境调适技术 .....	157
5.4.4	引射技术 .....	158
5.4.5	水幕和水雾 .....	160
<b>第 6 章</b>	<b>光电对抗系统的评估与仿真 .....</b>	<b>162</b>
6.1	光电对抗系统的评估 .....	162
6.1.1	评估的基本概念 .....	162
6.1.2	评估准则 .....	167
6.1.3	评估方法 .....	171
6.2	光电对抗系统的仿真 .....	176
6.2.1	仿真的基本概念 .....	176
6.2.2	仿真技术在光电对抗系统中的应用 .....	179
6.2.3	红外制导导弹的半实物仿真系统 .....	185
6.2.4	红外目标模拟器 .....	187
6.2.5	虚拟现实仿真技术 .....	191
6.2.6	仿真的发展方向 .....	193
6.3	建模与仿真的 VVA 技术 .....	194
6.3.1	基本概念 .....	194
6.3.2	红外制导半实物仿真系统的可信度评估 .....	195
6.4	美军电子战系统仿真实验室介绍 .....	206
<b>第 7 章</b>	<b>典型光电对抗系统介绍 .....</b>	<b>209</b>
7.1	机载光电对抗系统介绍 .....	209

7.1.1	第四代战机机载光电侦察告警系统 .....	209
7.1.2	第四代战机机载光电干扰系统 .....	210
7.1.3	第四代战机光电隐身系统 .....	211
7.1.4	机载高能激光武器系统 .....	212
7.2	舰载光电对抗系统介绍 .....	215
7.2.1	舰载光电告警系统 .....	216
7.2.2	舰载光电干扰系统 .....	216
7.2.3	舰艇光电隐身技术 .....	219
7.2.4	舰载高能激光武器(防空和反导) .....	220
7.3	地基激光防空武器系统 .....	222
7.3.1	“鸚鵡螺”计划 .....	223
7.3.2	移动战术高能激光 .....	223
7.4	激光反卫星系统 .....	225
7.4.1	卫星易损性分析 .....	225
7.4.2	陆基激光反卫星实验 .....	226
7.4.3	天基激光反卫星武器 .....	226
<b>参考文献</b> .....		228



# 第1章 概述

电子战(Electronic Warfare, EW)是现代信息战的重要组成部分,是对抗双方在电磁频谱领域内的斗争,其具体定义为:利用电磁能和定向能控制电磁频谱或攻击敌方的任何军事行动。电子战包括雷达对抗、通信对抗、光电对抗、导航对抗等。

电子战起源于20世纪初,随着无线电通信的出现及在军事上的应用,作为电子战分支之一的通信对抗得到了迅速的发展。第二次世界大战期间,由于雷达与无线电导航技术的发展,电子战的主要表现形式是雷达对抗和导航对抗。第二次世界大战后,由于雷达制导和光电制导的精确制导武器成为飞机和军舰的主要威胁,因此电子战开始向光电对抗拓展。

近几十年来,光电技术在武器的火控与制导系统中的广泛应用,使得光电对抗技术得到了飞速发展。在20世纪70年代中期,“精确制导技术”这一概念被正式提出,应用精确制导技术的武器包括各种制导导弹、制导炮弹和制导炸弹。精确制导武器主要采用无线和有线指令制导、红外制导、电视制导、激光制导和雷达制导等多种制导体制,其中光电制导武器装备居多。由于光电制导武器具有制导精度高、抗干扰能力强和全天候作战等特点,因此光电精确制导武器已成为现代化高科技战争中的主要进攻武器。光电精确制导武器的发展大大刺激了光电对抗技术和装备的迅速发展,对抗技术与反对抗技术互相促进、交替发展,使光电对抗技术体系逐步完善。

光电对抗已成为近年来电子战中发展最快、投资比重日益加大的一个领域。

## 1.1 光电对抗的基本概念

光电对抗指敌对双方在光波段的抗争,即在紫外、可见光、红外波段,己方使用电磁能量去探测、利用、削弱或阻止敌方使用电磁频谱,并保护己方有效使用电磁频谱。具体来说,就是指敌对双方在光波段范围内,利用光电设备和器材,对敌方光电制导武器和光电侦察设备等光电武器进行侦察告警并实施干扰,使敌方的光电武器削弱、降低或丧失作战效能;同时利用光电设备和器材,有效地保护己方光电设备和人员免遭敌方的侦察告警和干扰。这种为完成侦察干扰及反侦察反干扰所采取的各种战术技术措施的总称叫做光电对抗。

光电对抗是电子战的一个重要组成部分。光电对抗按作战对象所利用的光波段分类,可分为激光对抗、红外对抗和可见光对抗。其中,激光中虽然包括红外和可见光,但由于其特性不同于普通红外和可见光,因此将其单独归类为激光对抗。光电波段分布见图1.1。

光电对抗按装备功能分类,可分为光电侦察告警、光电干扰和反光电侦察与干扰。

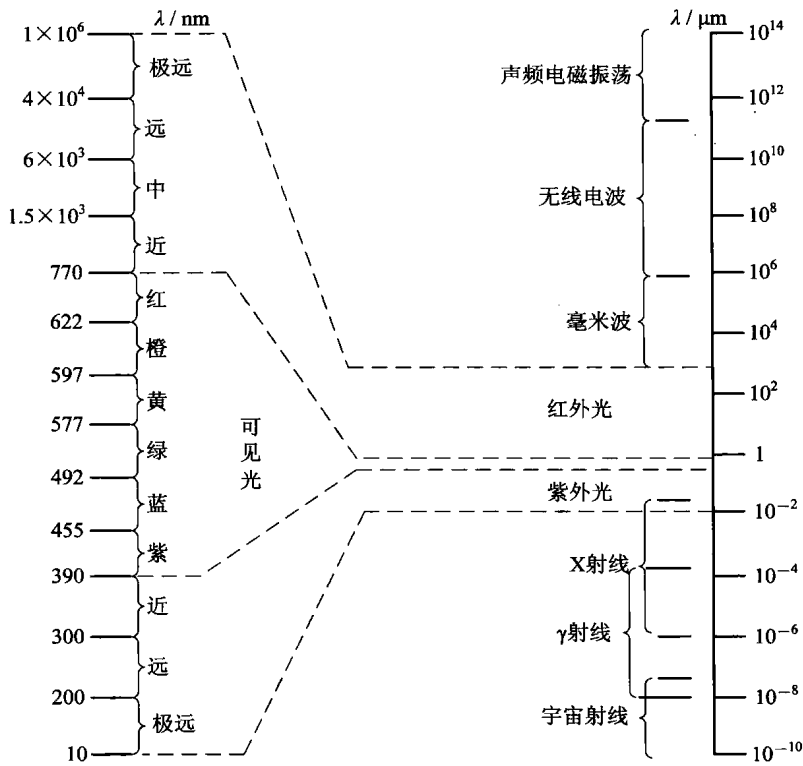


图 1.1 光电波段分布示意图

光电侦察告警是指利用光电技术手段对敌方光电装备辐射或散射的光波信号进行搜索、截获、定位及识别，并迅速判别威胁程度，及时提供情报和发出告警。光电侦察告警有主动侦察告警和被动侦察告警两种方式。主动侦察告警是利用敌方光电装备的光学特性而进行的侦察，即向对方发射光束，再对反射回来的光信号进行探测、分析和识别，从而获得敌方情报的一种手段；被动侦察告警是指利用各种光电探测装置截获和跟踪敌方光电装备的光辐射，并进行分析和识别以获取敌方目标信息情报的一种手段。光电侦察告警是实施有效干扰的前提。

光电干扰指采取某些技术措施破坏或削弱敌方光电装备的正常工作，以达到保护己方目标的一种干扰手段。

光电干扰分为有源干扰和无源干扰两种方式。有源干扰又称为主动干扰，它利用己方光电装备发射或转发敌方光电装备相应波段的光波，对敌方光电装备进行压制或欺骗干扰；无源干扰也称被动干扰，它利用特制器材或材料，反射、散射和吸收光波能量，或人为地改变己方目标的光学特性，使敌方光电装备效能降低或被欺骗而失效，从而保护己方目标。

反光电侦察与干扰是指为防御敌方对己方光电装备的发现、探测和干扰所采取的对抗措施。

光电对抗技术体系见图 1.2。

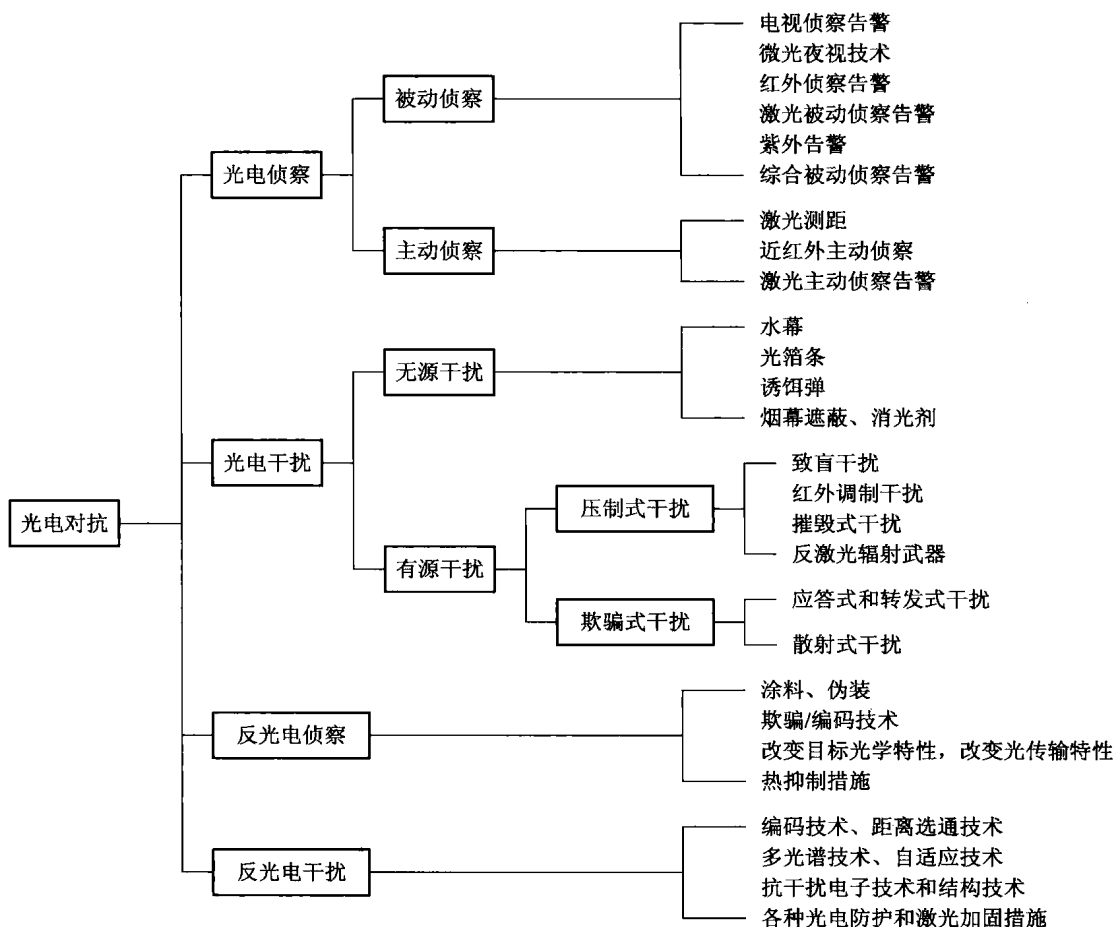


图 1.2 光电对抗技术体系

## 1.2 光电对抗与现代战争

现代局部战争首先是电子战，即争夺电磁频谱使用权和控制权，并主要通过隐身突防、精确攻击及夜间作战迅速摧毁敌方军事指挥机构、C<sup>4</sup>I(Command、Communication、Control、Computer、Information)系统设施、交通枢纽及其他重要军事目标，破坏敌方防空体系的指挥通信控制系统，掌握制空权。这时，没有电磁频谱使用权和制空权的作战体系就会失去有效的作战能力，变得不堪一击。

光电对抗是随着光电技术的发展而发展起来的。20世纪50年代中期，工作波段为1~3 μm，不用致冷的硫化铅(PbS)探测器器件问世，空对空红外制导导弹应运而生。20世纪60年代中期，随着工作于3~5 μm波段的碲化镉(InSb)器件和致冷的硫化铅器件的相继问世，光电制导武器进一步发展，地对空和空对空红外制导导弹又获得成功。20世纪70年代中期，光电探测器件的性能有了较大的提高，空中作战飞机面临更加严重的威胁。在1973年春的越南战场上，越南使用苏联提供的便携式单兵肩扛发射防空导弹SA-7在三个月内击落了24架美国飞机。这促进了对抗措施的研究。美国针对SA-7的威胁，研制出了与飞机尾喷口红外辐射特性相似的红外干扰弹，使来袭的红外制导导弹受红外诱饵欺骗

而偏离被攻击的飞机,从而失去了作用。当然,对抗与反对抗是相互促进的。SA-7 红外制导导弹在加装了滤光片等反干扰措施后,又一次发挥它的威力,在 1973 年 10 月第四次中东战争中,这种导弹又击落了大量以色列飞机。后来,以色列采用了“喷气延燃”等红外有源干扰措施,又使这种导弹的命中概率明显下降,飞机损失大大减少。

20 世纪 70 年代中期,红外、紫外双色制导导弹(如美国的“毒刺”导弹和苏联的“针”式导弹)和红外成像制导导弹相继问世。目前,已有  $3\sim 5\ \mu\text{m}$  和  $8\sim 12\ \mu\text{m}$  两种波段的红外成像制导导弹,这种红外成像制导导弹的识别跟踪能力强,可以对地面目标、海上目标和空中目标实施精确打击,命中精度达 1 m 左右。而对抗方面,又增加了面源红外诱饵、红外烟幕、强激光致盲等手段来迷惑或致盲红外制导导弹,使之降低或丧失探测能力。20 世纪 90 年代初期,美国和英国开始联合研究用于保护大型飞机的多光谱红外定向干扰技术,这种先进的技术可以对抗目前装备的各种红外制导导弹,也包括红外成像制导导弹。

激光对抗始于 20 世纪 70 年代,在越南战争中,美军曾为轰炸河内附近的清化桥出动过 600 余架次飞机,投弹数千吨,不仅桥未炸毁,而且还付出毁机 18 架的代价。后采用刚刚研制成功的激光制导炸弹,仅在两小时内,用 20 枚激光制导炸弹就炸毁了包括清化桥在内的 17 座桥梁,而飞机无一损失。面对这种威胁,各国普遍研究对策,当时主要采取烟幕遮蔽激光制导光路的技术途径,于是坦克及舰船都装备了烟幕发射装置,地面重点目标还配备了烟幕罐及烟幕发射车。与此同时,美国的激光制导炸弹也由“宝石路”I 型发展到“宝石路”III 型,制导精度也由 10 m 提高到了 1 m,并具有目标记忆能力。在海湾战争中,美国等多国部队又是用激光制导武器对伊拉克电报电话通信大楼、防空司令部、空军司令部、导弹储藏室及桥梁等重点军事目标进行了“外科手术式”的精确打击,产生了巨大的军事威慑效果和重大的政治影响。激光对抗技术再次引起各国军界的高度重视,美国研制的 AN/GLQ-13 激光对抗系统和英国研制的 GLDOS 激光对抗系统都采用有源欺骗干扰方式,可将来袭激光制导武器诱骗至假目标;美国研制的“鲑鱼”车载强激光干扰系统可致盲来袭激光制导武器导引头的光电传感器,使之丧失制导能力。

随着高分辨率超大规模 CCD 摄像器件的发展,出现了电视制导武器及各种光电火控系统,对抗这种可见光波段的光电武器目前主要采用烟幕遮蔽干扰方式,使之无法跟踪目标,并逐步发展采用强激光干扰手段致盲其光电传感器,使之丧失探测能力从而降低作战效能。

光电子技术的发展,带来了光电制导技术的发展。光电制导武器精确的制导精度和巨大的作战效能,促进了光电对抗的形成。光电对抗技术的发展又导致光电制导技术的进一步发展与提高,从而又促进光电对抗技术在更高水平上不断发展。

### 1.3 光电对抗的应用

现代战场的光电威胁主要来自光电制导武器和光电侦察告警装备,而光电干扰主要包括应用于各种作战平台的光电有源干扰和光电无源干扰装备,光电对抗效果的评估与仿真是光电对抗装备研制、试验必不可少的环节。

#### 1. 光电制导武器

不论是陆战、空战还是海战,光电精确制导武器都是一种主要进攻手段。海湾战争中,

伊拉克的重点军事目标大部分是被光电精确制导武器摧毁的。美国成功地运用隐身突防、夜间作战及精确攻击战术,充分地发挥了先进的光电技术及优异的光电武器装备的优势。

光电制导武器主要包括红外制导武器、激光制导武器、电视制导导弹和光纤制导导弹等。

空对空光电制导武器有点源红外制导导弹(如美国“响尾蛇”AIM-9L导弹)、红外成像制导导弹(如多国合作的AIM-132导弹)、雷达和红外复合制导导弹(如苏联AA-3导弹)等。

空对地(舰)光电制导武器有激光制导导弹(如美国“幼畜”AGM-65E导弹)、激光制导炸弹(如美国“宝石路”GBU-I~III炸弹)、电视制导导弹(如美国“秃鹰”AGM-53A导弹)、电视制导炸弹(如美国AGM-130炸弹)、红外成像制导导弹(如美国“幼畜”AGM-65D导弹)、点源红外制导导弹(如挪威“企鹅3”空舰导弹)、雷达和红外制导导弹(如美国AASM导弹)等。

地(舰)对地(舰)光电制导武器有巡航导弹(如苏联SS-N-19炸弹)、激光制导导弹(如以色列炮射激光制导导弹)、激光制导炮弹(如美国“铜斑蛇”激光制导炮弹和美国5 in/8 in制导炮弹)、红外制导导弹(如美国“龙”式导弹)、红外成像制导导弹(如国际合作舰对舰导弹ASSM II)、激光驾束制导导弹和光纤制导导弹(如美国FOGMS系统)等。

地(舰)对空光电制导武器有电视制导导弹(如英国“标枪”防空导弹和苏联SA-N-6防空导弹)、红外和紫外双色制导导弹(如美国“毒刺”防空导弹)、雷达和红外制导导弹(如美国“西埃姆(SIAM)”导弹)、点源红外制导导弹(如美国“小榭树MIN-72A/C导弹)、红外成像制导导弹(如法国SADRAL导弹)和激光驾束制导导弹(如瑞典RBS-70防空导弹)等。

## 2. 光电侦察告警装备

光电侦察装备主要包括空中光电侦察装备、陆基光电侦察装备和舰载光电侦察装备。

空中光电侦察告警装备有卫星光学侦察、战术航空侦察(如美国TARPS系统)、激光测距机(如美国AN/AVQ-26)、激光目标指示器(如美国AN/AVQ-27)、前视红外系统(如美国LANTIRN吊舱)和微光夜视(如美国ZRVS-606)等光电侦测设备。

陆(岸)基光电侦察装备有激光测距机(如英国LV-5型)、激光目标指示器(如英国LF6型)、红外热像仪和微光夜视仪等光电侦测设备。

舰载光电侦察装备有激光测距机(如英国908型)、激光目标指示器(如法国TMY185型)、红外和电视搜索跟踪系统等光电侦测设备。

## 3. 光电干扰装备

### 1) 光电防御

空中作战平台主要包括歼击机、强击机、轰炸机、军用运输机、预警机、侦察机、电子干扰飞机以及军用直升机。在现代战争中,这些作战飞机将面临来自空中、海上和陆地的光电制导武器的攻击。因此为了自卫,各种作战飞机都已加装了红外或紫外导弹来袭告警设备、光电对抗控制系统、红外干扰弹和红外有源干扰机,以对抗制导导弹的攻击。例如,美国和英国联合研制的多光谱红外定向干扰机,用于对抗包括红外成像制导导弹在内的各种红外制导导弹。这种红外定向干扰机可用于保护包括预警机、轰炸机和大型运输机在内的各种作战飞机。

对低空作战的武装直升机,除加装红外对抗设备外,为对付激光驾束制导导弹等地空导弹的威胁,还加装了激光告警设备、烟幕发射装置和干扰源。

海上作战平台主要包括护卫舰、驱逐舰、巡洋舰、航空母舰、战列舰、导弹艇和登陆舰艇等。在现代战争中,这些海上作战平台将受到空对舰、舰对舰和岸对舰等光电制导的反舰导弹的攻击。因此,国外多数舰船都装备了红外告警设备、光电对抗控制系统、红外干扰发射装置及干扰弹、烟幕发射装置及烟幕弹和强激光干扰系统,用于对抗来袭的红外制导导弹、激光制导导弹和炸弹及炮弹、电视制导导弹和炸弹等光电制导武器。

对于地面主战坦克和装甲车等作战平台,目前主要加装激光告警、红外或紫外告警、烟幕发射装置、红外干扰弹发射装置和红外干扰机等光电对抗设备,用于对抗来袭的红外反坦克导弹、红外成像制导导弹、电视制导导弹、激光驾束制导导弹、激光半主动制导导弹和炮弹。另外,对于导弹发射车等重要作战平台,可配置具有随队防护能力的专用光电对抗系统,以对抗光电制导武器的攻击。

地面指挥所、机场、导弹发射阵地、交通枢纽及 C<sup>4</sup>I 为重要设施,是现代防空体系中最重要军事目标,也是敌方重点攻击的对象,必须重点防护。而这类目标,因其电磁特性的特殊性,又成为光电制导武器的主要攻击对象。对这类重点目标,采用单一手段的光电对抗设备对抗多种光电制导武器是难以奏效的,通常需用以激光对抗、红外对抗和可见光对抗为主体的光电综合对抗系统,以对抗来袭的激光制导炸弹、激光制导导弹、电视制导炸弹、电视制导导弹和红外成像制导导弹等光电制导武器。所以,精确制导武器光电综合对抗系统已成为现代防空体系的重要组成部分。

## 2) 光电进攻

对空中作战平台的光电进攻以大功率激光系统为主,如美国研制的机载“罗盘锤”高级光学干扰吊舱和机载“贵冠王子”光电对抗武器系统,可侦察敌方光电装置的光学探测系统,并发射强激光致盲敌作战平台光电装置的光电传感器。

另外,美国正在研制高能激光武器系统,并准备加装在 C-130 大型运输机上。该系统可摧毁包括来袭导弹在内的敌武器装备,引爆敌来袭导弹的战斗部,烧穿来袭导弹导引头的整流罩以及敌作战飞机的燃料舱。

陆基作战平台和海上作战平台的光电进攻模式基本相同,主要有以下三种模式:

(1) 采用高能激光武器系统,将敌作战飞机或来袭导弹直接摧毁。如美国研制的舰载高能激光武器系统(HELWS),采用 40 万瓦的氟化氙激光器,可以攻击高度从几米到 15 千米、以任何速度或加速度来袭的各类目标。

(2) 采用大功率激光干扰系统,致盲或致眩敌方作战平台光电装置的光电传感器。如美国车载 AN/VLQ-7“鲑鱼”激光干扰系统,可破坏 8 km 远处光电传感器;美国陆军在车载 AN/VLQ-7“鲑鱼”激光干扰系统的基础上,研制了“美洲虎”车载激光致盲武器和“骑马侍从”车载激光致盲武器;英国在 T-22 型护卫舰、“考文垂”号护卫舰和“海狸”号护卫舰上加装了大功率激光干扰系统,每舰有两台激光器,安装在舰桥两侧,在英国与阿根廷马岛之战中取得了较好的作战效果,使阿根廷的“天鹰”、“A-4B”和“A-4”等三架攻击英舰的飞机坠入海中或偏航。

(3) 采用激光弹药致眩干扰,即采用炮射方式将激光弹药发射到敌方阵地,激光弹药爆炸后产生的强烈闪光,使敌作战平台光电装置的光电传感器丧失探测能力。如美国陆军

研制的 40 mm“闪光”炮弹以及美国海军的 127 mm 炮射激光弹药都属于此类。

#### 4. 光电对抗效果的评估与仿真

光电对抗效果指光电对抗技术和装备在规定的条件下和规定的时间内,与光电制导武器和光电侦察系统进行对抗的能力,包括侦察告警能力、干扰能力以及光电对抗装备响应能力等。评估是指对给定的光电对抗装备,在规定的条件下和规定的时间内,充分考虑影响它的效能的各种因素,给出能够成功地对抗某种光电制导武器能力的综合评价和估计,它是定量评估,用概率来表示。

光电对抗效果的评估可使用仿真模拟试验方法进行。仿真模拟试验就是对光电制导武器、光电对抗装备、被保护的目标、光电对抗的环境进行仿真模拟,逼真地再现战场上双方对抗的过程和结果。

仿真模拟试验分为全实物仿真、半实物仿真和计算机仿真等几种类型。全实物仿真就是参加试验的装备(包括试验装备和被试装备)都是物理存在的、实际的装备,试验环境是模拟战场环境;半实物仿真的被试装备是实际装备,部分试验装备、试验环境由模拟产生;计算机仿真的试验环境和参试装备的性能和工作机理都是由各种数学模型和数据表示的,试验的整个过程由计算机软件控制,并通过计算得到试验结果。

## 1.4 光电对抗的发展趋势

在现代和未来战争中,光电制导武器及其配套的光电侦察设备的应用越来越普遍,对重要军事目标和军用设施构成严重威胁。因而,光电对抗技术的发展和光电对抗装备的研制受到世界各军事大国的广泛重视。例如,美国从 20 世纪 90 年代以来,用于光电对抗研究的投资超过了对射频对抗研究的投资。在未来战争中,光电对抗将显示出更大的作用。在人们所熟悉的海湾战争中,精确制导武器特别是光电精确制导武器大出风头,充分展现了其巨大威力。精确制导武器也是现代高技术战争的重要标志之一。在当今世界上的精确制导武器中,光电制导武器占多数,并且原有的许多导弹,如“捕鲸叉”、“飞鱼”、“迎伯列”、“企鹅”、“响尾蛇”等都改用了红外成像制导、激光制导或者红外与雷达复合制导方式。根据现代高新技术的发展和现代高技术局部战争战例,可以预见光电对抗将有长足的发展,并将向综合化、多光谱和全程对抗的趋势发展。

### 1.4.1 多层防御与全程主动对抗

光电对抗采用单一对抗,如红外干扰弹和激光角度欺骗干扰等,效果十分有限。现阶段新型光电制导武器的不断增多和不断改进完善,促使光电对抗技术必须相应地发展和提高。双色制导、复合制导、综合制导武器的出现,使得光电对抗必然向多层防御全程主动对抗发展,从而提高对光电精确制导武器整体作战的效能。例如,由美国国防部先期研究计划局领导、美国空军研究实验室负责的美国飞机多功能光电防御(MEDUSA)项目通过采用先发制人的多层次对抗方法,可有效提高对抗成功率。

MEDUSA 项目的目标是开发并演示战术飞机光电对抗能力,它能够主动探测并摧毁各种地面或空中光电威胁。MEDUSA 将在现有导弹告警与对抗功能基础上增加新的 3 层防御。第 1 层防御是在飞机进入敌导弹发射范围以前就探测并避免导弹威胁。MEDUSA

是利用搜索激光器扫描关注的区域来对光电威胁进行探测的。由于能够较早发现威胁,飞行员可以改变飞行路线,规避威胁。第2层防御是在敌导弹发射之前摧毁其搜索与跟踪传感器。第3层防御是在导弹发射后摧毁其光电/制导传感器。这3个防御层并不影响现有使用诱饵或干扰机的能力,现有防御构成了飞机的第4层防御。

若单层防御的对抗成功率为70%,则多层防御实施全程对抗的对抗成功率将可达99%。可见,多层防御全程对抗是对付光电精确制导武器的有效途径。

先发制人对抗中,发展大功率固体激光技术,特别是YAG激光技术用于软杀伤,压制和干扰电视制导及激光制导武器也是重要的发展方向之一。激光硬杀伤摧毁也是必然的发展趋势。激光硬杀伤武器是一种利用高能激光束直接杀伤目标的定向能武器,属于一种新概念武器。它在对付精确制导武器,特别是拦截巡航导弹和掠海飞行的反舰导弹方面可发挥独到的作用。

#### 1.4.2 多功能综合一体化技术

现代战场上的电磁(光电)威胁环境日趋复杂多样,武器平台人员要应对这些威胁并采取有效对抗措施已变得越来越困难。因此,光电对抗系统的综合一体化和智能化就成为必然的发展趋势。

光电对抗系统综合化,一是指各光电对抗的子系统,包括探测、告警、干扰等子系统综合;二是指光电对抗系统与电子对抗系统综合,如红外告警接收机、激光告警接收机与雷达告警接收机综合成一体;三是光电对抗系统与机上的航空电子系统或舰上的舰船电子系统综合,形成一体化的大网络系统,该系统能迅速适应变化的威胁环境,快速、可靠地识别多种威胁,对多种威胁迅速反应。

光学技术、计算机技术(包括硬件和软件)和高速大规模集成电路技术的飞速发展,为光电对抗系统综合一体化奠定了基础。例如,美国INews系统是为美国F-22A飞机装配研制的,它将多种电子战功能集成到一个系统中,该系统包括光电侦察告警、雷达告警、电子支援和电子对抗等,然后使用综合处理器将由光电和雷达波段的多个传感器获取的信息进行数据融合,并采用实时的Ada软件进行处理。这样使机械电子战系统的作战能力大大提高,满足了现代高技术战争的需求。

光电对抗系统的综合一体化依靠光学技术、高性能探测器件、数据融合技术等的发展,将信息获取、数据处理和指挥控制融为一体,进而采用智能技术、专家系统等,使光电对抗系统成为有机的整体,从设备级对抗发展为分系统、系统和体系的对抗,提高了战场作战效能。

实现综合一体化要有一个从低级到高级、从局部到全部的发展过程。首先是光电侦察告警综合化,进而是光电侦察告警与雷达、雷达告警及光学观瞄系统等的综合,最后将多个平台获取的信息进行综合,再指挥引导不同平台上的对抗措施、实时检测、闭环控制,以实现更大范围和更高层次上的系统综合。

为使未来的光电对抗设备能满足不同的应用要求,灵活安装在海、陆、空三军的各种平台上(三军可以通用),最大程度地减少重复设计,一种发展趋向是研制以一组核心模块为基础的特征任务系统,以另外增加特殊应用模块的方式来满足特定的任务要求,这就是模块化系统。



### 1.4.3 多光谱一体化新技术

随着光电技术的发展,多光谱技术、背景与目标鉴别技术、光学信息处理技术等新的科技成果不断涌现并被广泛应用。在光电对抗领域中,多光谱技术也得到了更加广泛的应用。

多光谱成像就是在普通二维图像基础上多了一维波长信息,因为每一种物质的光谱特性是一定的,所以多光谱成像技术对目标鉴别、识别伪装有着重要作用。多光谱成像一般划分为几个至几十个波段,每段的宽度约 $0.05\sim 0.1\ \mu\text{m}$ ;而高光谱成像波段则为几百个,段宽约 $0.01\ \mu\text{m}$ ;超光谱成像的波段划分更细,有几千甚至上万个波段。超光谱成像是当前遥感技术的热点之一。

多光谱对抗改变了以往的单一波长或单一光频段的状况,而向着紫外、可见光、激光、红外全光波段发展。

美国洛拉尔(Loral)防御系统公司和美国空军怀特(Wright)实验室共同研制了世界上首套机载激光干扰系统,该系统号称多光谱干扰处理机,能自动分析、跟踪和对抗空中和地面发射的各种红外制导导弹。该处理机系统已经进行了25次野外试验,取得了令人满意的试验结果,并且美国海军还将该系统纳入其多波段反舰巡航导弹防御电子战系统中,且进行了成功的对抗试验。

美国、英国的多家公司共同开发研制的AN/AAQ-24(V)定向红外对抗系统(DIRCM),亦称为多光谱对抗系统,采用紫外导弹逼近告警和 $1\sim 3\ \mu\text{m}$ 及 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 的红外干扰,也可采用激光干扰。

数据融合技术和人工智能技术的进步,促进了多光谱一体化新技术的发展,也满足了未来光电对抗系统综合化、一体化和网络化的要求,最大限度地减轻了工作人员的监视和控制任务负担,可自动完成最佳对抗措施。

综上所述,光电对抗系统将从被动防御发展到先发制人的主动进攻,多层次积极防御和多功能是其主要特点。光电对抗系统的综合化、一体化和智能化已刻不容缓,发展多光谱一体化数据融合技术是其关键。此外,光电对抗领域的一些研发热点技术,包括导弹逼近告警、高精度激光告警、定向红外对抗、干扰、激光硬杀伤摧毁武器以及全波段烟幕和红外隐身等,也是光电对抗技术的重要发展方向。