

信息科学与工程系列专著

# 光电定位与光电对抗

(第2版)

Electro-optic Ranging & Countermeasure  
2nd Edition

付小宁 王炳健 王荻 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

信息科学与工程系列专著

# 光电定位与光电对抗

## (第2版)

Electro-optic Ranging & Countermeasure, 2nd Edition

付小宁 王炳健 王 荻 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书基于作者多年从事光电定位和光电对抗及相关领域的科研项目和教学成果，系统阐述光电定位和光电对抗的相关原理和方法，主要内容包括：光电制导、光电侦察告警、目标跟踪和交叉定位、基于光学成像的单站被动测距、光电无源对抗、光电有源干扰等技术，对光电对抗的评估与仿真，以及典型光电对抗装备的介绍，覆盖了紫外、可见光、红外、毫米波和激光等技术在光电定位和光电对抗中的应用。

本书可供从事电子对抗、军事电子学、电子战、红外技术、大气光学等方面研究的科研人员阅读，也可作为高等学校电子对抗、光电信息工程、军事电子学等专业高年级本科生和研究生教材或参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

光电定位与光电对抗 / 付小宁, 王炳健, 王荻编著. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2018.6  
(信息科学与工程系列专著)  
ISBN 978-7-121-34644-6

I. ①光… II. ①付… ②王… ③王… III. ①光电子技术—定位—研究②光电对抗—研究 IV. ①TN2  
②E869

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 141292 号

责任编辑: 张来盛 (zhangls@phei.com.cn)

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 550 千字

版 次: 2012 年 2 月第 1 版

2018 年 6 月第 2 版

印 次: 2018 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 98.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888 / 88258888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式: (010) 88254467。

# 前 言

光电对抗技术是由大气光学、光电探测、目标识别、跟踪定位、信息处理、光电打击等多种技术交叉融合而成的综合学科，是“武器信息化，信息武器化”的集中体现。其中，发现目标和保持对目标的定位是光电对抗的基础，光电打击是光电对抗的应用，对抗则主要体现在光电信息的隐身/反隐身、干扰/反干扰方面。

本书覆盖紫外、可见光、红外、毫米波和激光等技术在光电定位和光电对抗中的应用，介绍了一些典型的光电对抗装备，论述了相关原理和方法。

全书分为 10 章，各章内容安排如下：

第 1 章为绪论，介绍光电对抗的基本概念、基本特征和技术环节，将光电对抗体制分为光电侦察及告警、光电定位、光电制导、光电干扰和强激光束打击等 5 个技术环节，并简述相应环节的发展趋势。

第 2 章论述大气的衰减，气象条件的影响及分析模型，背景环境的影响，目标辐射源以及光辐射侦察的方法等。其中所涉及的气象条件，包括霾、雾、雨、雪、云、大气湍流效应、热晕、战场遮蔽与沙尘暴，对这些条件的克服和应用是有效实现光电对抗所必需的，也是后面各章理论分析的基础。所列举的典型目标辐射源包括火箭、导弹、重返大气层的再入段导弹、飞机以及地面军事目标。

第 3 章介绍各种光电制导技术，包括红外点源寻的制导、红外成像制导、激光制导、电视制导、光纤制导、毫米波制导和多模复合制导。光电定位是利用光电系统对目标方位的确定，后来发展到可以确定目标的距离。光电制导是运动的战斗部（导弹、炸弹、炮弹）对已定位目标的锁定和跟踪，是间接光电打击手段；激光武器则是直接光电打击手段（详见第 10 章有关高能激光武器的内容）。

第 4 章介绍各种光电侦察告警技术，例如主动式激光侦察告警、被动式激光告警、红外侦察告警、紫外侦察告警、毫米波侦察告警和光电综合侦察告警等。关于毫米波在大气中的传播，请参考有关专著。

第 5 章讨论目标跟瞄装备和距离估计方法。首先介绍激光目标指示器、激光雷达和IRST 系统等装备；其次论述基于IRST 的双波段探测的被动测距、单波段探测的被动测距；然后分析和讨论基于双站基线交叉定位的测距原理及方法的改进，研究从基线测距到双目视觉测距的演化；对激光源，给出了一种被动定位方法；最后，论述基于辐射吸收差异的被动测距。

第 6 章开展基于光学成像的单站被动测距研究。首先，论述透镜成像系统与成像约束，介绍基于透镜成像的被动测距；其次，论述小孔成像系统与成像约束，介绍基于小孔成像模型的被动测距；再次，专门研究基于目标线段特征的被动测距，提出目标虚拟圆特征的概念，并将它应用于被动测距；接着，分析基于特征线度测距的性能分析；最后，介绍基于区域特征的目标距离估计。

第 7 章论述光电无源对抗技术中的遮障、伪装、隐身、光电假目标等技术，并介绍飞行器无源光电隐身技术。光电无源对抗发端于对红外制导导弹的对抗，而制导系统对目标的攻

击要经历 3 个阶段：目标探测、目标识别和目标跟踪。针对这 3 个阶段，可采用的相应对抗措施为遮障或伪装、隐身和干扰。

第 8 章讨论多种光电有源干扰技术，包括红外干扰弹、红外有源干扰机、强激光毁伤、激光欺骗干扰、毫米波有源干扰、GPS 干扰机以及紫外有源干扰。

第 9 章针对光电对抗的评估与仿真研究，介绍国内外光电对抗效能评估技术的现状，阐述光电对抗的评估准则、光电对抗效能评估的技术途径、光电对抗系统的实验评估法，并介绍光电对抗系统中的半实物仿真。

第 10 章讲述光电对抗的典型系统，涉及第四代战机、机载光电定位系统、无人机、舰载光电告警系统、舰载光电干扰系统、舰载高能激光武器（防空和反导）、各种地基激光防空武器系统，以及天基定位与光电对抗系统等。

本书第 5、6 章内容直接来自国家自然科学基金（60872136）、陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目（2011JM8002）的研究成果。

本书由付小宁、王炳健和王荻编著，其中第 1、2 章和第 5~8 章由付小宁编写，第 3、4 章由王炳健编写，第 9、10 章由王荻编写，全书由付小宁统稿；参加编写的还有牛建军、王会峰、王洁、高文井、何天祥和侯国强。

白露教授审阅了本书部分章节，特别是对第 2 章提出了不少宝贵的修改意见，在此表示感谢。此外，感谢杨庭梧、程玉宝、汪大宝在书稿撰写过程中对编著者的帮助，感谢多年来光电探测技术教学班上一些研究生、本科生所收集的素材。

由于时间和水平有限，书中必定存在疏漏和不足，恳请读者不吝指正，以便今后逐步改进和完善。联系方式：[xning\\_fu@163.com](mailto:xning_fu@163.com)。

# 目 录

第1章 绪论	1
1.1 光电对抗的基本概念	1
1.2 光电对抗的基本特征	2
1.3 光电对抗的技术环节	3
1.3.1 光电侦察及告警技术	3
1.3.2 光电被动定位	3
1.3.3 光电制导技术	5
1.3.4 光电干扰技术	6
1.3.5 光电打击中的激光武器	7
1.4 光电对抗的发展趋势	8
1.4.1 概述	8
1.4.2 告警技术的发展趋势	9
1.4.3 被动定位	12
1.4.4 光电制导的发展趋势	13
1.4.5 激光武器的发展趋势	16
参考文献	17
第2章 光在大气中的传播	20
2.1 大气的衰减	20
2.1.1 普朗克公式	20
2.1.2 吸收定律	22
2.1.3 散射分析	23
2.1.4 大气衰减	24
2.2 大气窗口及能见度	25
2.2.1 大气窗口	25
2.2.2 能见度	26
2.3 大气的成分	27
2.3.1 大气分子	27
2.3.2 气溶胶	28
2.4 气象条件的影响及分析模型	29
2.4.1 霾	30
2.4.2 雾	30
2.4.3 雨	31
2.4.4 雪	32

2.4.5	云	32
2.4.6	大气湍流效应	33
2.4.7	热晕	35
2.4.8	战场遮蔽与沙尘暴	35
2.5	路径辐射及地球大气背景环境的影响	36
2.5.1	路径辐射	36
2.5.2	太阳闪烁	37
2.5.3	太阳光散射	38
2.5.4	地表和海洋辐射	38
2.5.5	天空和云层辐射	39
2.6	目标辐射源	40
2.6.1	火箭和导弹	40
2.6.2	重返大气层的再入段导弹	44
2.6.3	飞机	45
2.6.4	地面上运动(工作)的军事目标源	47
2.7	光辐射侦察的方法	48
2.7.1	截获光辐射的方式	48
2.7.2	不同光辐射截获接收方式的理论计算	49
	参考文献	51
<b>第3章</b>	<b>光电制导技术</b>	<b>53</b>
3.1	概述	53
3.2	红外制导	56
3.2.1	红外点源寻的制导	57
3.2.2	红外成像制导	60
3.2.3	红外成像制导的发展趋势	63
3.3	激光制导	63
3.3.1	激光制导的原理	64
3.3.2	激光制导武器的导引方式	66
3.3.3	激光制导武器的应用	67
3.3.4	激光制导武器装备及发展趋势	69
3.4	电视制导	70
3.4.1	电视制导的原理	71
3.4.2	电视制导武器的应用	72
3.4.3	电视制导技术的发展趋势	73
3.5	光纤制导	74
3.5.1	光纤制导导弹的工作原理	74
3.5.2	光纤制导武器的应用	75
3.5.3	光纤制导技术的发展趋势	76
3.6	毫米波制导	77

3.6.1	毫米波制导的特点和关键技术	77
3.6.2	毫米波制导的原理	78
3.6.3	毫米波制导武器的应用	82
3.6.4	毫米波制导技术的发展趋势	84
3.7	多模复合制导	85
	参考文献	90
<b>第4章</b>	<b>光电侦察告警技术</b>	<b>92</b>
4.1	光电侦察告警系统	92
4.1.1	系统组成	92
4.1.2	基本参数	93
4.1.3	分类	98
4.2	激光侦察告警技术	98
4.2.1	主动式激光侦察告警技术	99
4.2.2	被动式激光告警系统	100
4.2.3	新型激光告警设备	105
4.2.4	激光告警的关键技术	107
4.2.5	部分告警器及其性能	108
4.2.6	激光告警器发展趋势	110
4.3	红外侦察告警技术	110
4.3.1	概述	110
4.3.2	红外侦察告警系统的组成	112
4.3.3	红外侦察告警系统工作原理	112
4.3.4	关键技术	113
4.3.5	装备实例	114
4.3.6	装备现状	115
4.3.7	发展趋势	117
4.4	紫外侦察告警技术	117
4.4.1	紫外侦察告警的原理	118
4.4.2	紫外侦察告警系统组成与战术应用	118
4.4.3	紫外侦察告警的特点	119
4.4.4	紫外侦察告警关键技术	120
4.4.5	紫外侦察告警装备实例	121
4.5	毫米波侦察告警技术	122
4.5.1	毫米波侦察告警的发展	122
4.5.2	毫米波侦察探测的原理	123
4.5.3	毫米波侦察告警的特点和关键技术	124
4.5.4	装备实例	125
4.5.5	发展趋势	127
4.6	多模复合光电告警技术	127



参考文献	130
<b>第5章 目标跟瞄与距离估计</b>	<b>132</b>
5.1 激光目标指示器	132
5.1.1 概述	132
5.1.2 激光器与光学系统	133
5.1.3 实例	135
5.1.4 目标距离的主动测量	135
5.2 激光雷达	136
5.2.1 激光跟踪雷达	136
5.2.2 红外成像雷达	138
5.2.3 激光雷达装备及发展趋势	139
5.3 IRST	141
5.3.1 概述	141
5.3.2 基于双波段探测的被动测距	143
5.3.3 基于单波段探测的被动测距	145
5.3.4 红外小目标被动测距	148
5.4 经典三角形测距及其演变	150
5.4.1 对静止目标的被动测距	150
5.4.2 对运动目标的被动测距	152
5.4.3 基于扫描时差的基线被动测距	153
5.5 交叉定位的单平台应用	155
5.5.1 交叉定位的特点和问题	155
5.5.2 当前测角精度下所需的最短基线尺寸	156
5.5.3 同步测时交叉定位法作用距离	156
5.6 基于短基线的准单目被动测距	156
5.6.1 双目视觉测距原理	156
5.6.2 双目视觉测距误差分析	157
5.6.3 从双目视觉到准单目视觉测距	158
5.6.4 基于像差的测距再讨论	159
5.7 一种激光源定位方法	160
5.7.1 测距原理	161
5.7.2 测距实现方案和特点	162
5.8 基于辐射吸收差异的被动测距	162
5.8.1 基于 A 带氧吸收的被动测距	163
5.8.2 基于红外吸收差异的被动测距	165
5.9 小结	167
参考文献	167

第 6 章 基于光学成像的单站被动测距研究 .....	172
6.1 透镜成像系统与成像约束 .....	172
6.1.1 透镜成像公式与点扩散函数 .....	172
6.1.2 聚焦法测距和离焦法测距 .....	173
6.1.3 基于 OTF 函数或 MTF 函数的测距 .....	175
6.2 小孔成像系统与成像约束 .....	177
6.2.1 小孔成像模型 .....	177
6.2.2 外标法测距 .....	178
6.2.3 基于仿射变换的相对测距 .....	179
6.2.4 基于双目视差的被动测距 .....	179
6.3 基于目标线段特征的被动测距 .....	180
6.3.1 借助目标本身特征线段的测距方法 .....	180
6.3.2 借助旋转不变线段特征的测距方法 .....	181
6.3.3 基于旋转不变线段特征测距的改进 .....	186
6.3.4 目标特征线度的选取 .....	189
6.4 基于特征线度测距的性能分析 .....	189
6.4.1 观测平台静止情况下的测距性能 .....	189
6.4.2 观测平台运动时的测距性能 .....	190
6.5 基于区域特征的目标距离估计 .....	194
6.5.1 天气对红外成像的影响 .....	195
6.5.2 基于联合视角-身份流形的目标识别与距离估计 .....	199
6.5.3 基于 AI 的目标测距 .....	201
6.6 小结 .....	201
参考文献 .....	202
第 7 章 光电无源对抗技术 .....	205
7.1 遮障 .....	205
7.1.1 烟幕 .....	205
7.1.2 水幕和水雾 .....	210
7.1.3 箔条云 .....	211
7.1.4 沙尘 .....	213
7.2 伪装 .....	213
7.2.1 涂料伪装技术 .....	213
7.2.2 遮障伪装技术 .....	215
7.3 隐身 .....	217
7.3.1 视频隐身 .....	217
7.3.2 红外隐身 .....	218
7.3.3 激光隐身 .....	220
7.3.4 毫米波隐身 .....	221

7.3.5	紫外隐身	224
7.3.6	引射技术	224
7.3.7	外形隐身	226
7.4	光电假目标	227
7.4.1	光电假目标的分类	227
7.4.2	光电假目标的工作原理	228
7.4.3	光电假目标的现状和发展趋势	229
7.4.4	激光欺骗性干扰	229
7.5	其他无源光电对抗措施	231
7.5.1	红外动态变形伪装	231
7.5.2	光谱变换	233
7.5.3	环境自适应伪装	234
7.5.4	广谱自适应隐身	235
7.5.5	毫米波无源干扰技术	235
7.6	飞行器无源光电隐身	236
7.6.1	飞机隐身	236
7.6.2	导弹隐身	240
	参考文献	243
<b>第8章</b>	<b>光电有源干扰技术</b>	<b>246</b>
8.1	红外干扰弹	246
8.1.1	红外干扰弹的分类和组成	246
8.1.2	红外干扰弹的干扰原理	246
8.1.3	红外干扰弹的技术要求	249
8.1.4	新型红外诱饵	250
8.2	红外有源干扰机	253
8.2.1	红外有源干扰机的分类和组成	253
8.2.2	红外有源干扰机的干扰原理	255
8.2.3	定向红外干扰机	257
8.3	强激光干扰技术	258
8.3.1	强激光干扰的分类和组成	258
8.3.2	强激光毁伤效果	259
8.3.3	强激光干扰的关键技术	263
8.4	激光欺骗干扰技术	265
8.4.1	激光欺骗干扰的分类和组成	265
8.4.2	角度欺骗干扰	265
8.4.3	距离欺骗干扰	267
8.4.4	激光近炸引信干扰技术	269
8.4.5	激光欺骗干扰的关键技术和发展趋势	271
8.5	毫米波有源干扰	272

8.5.1	毫米波有源干扰的原理与实现	272
8.5.2	毫米波有源干扰的关键技术	274
8.6	GPS 干扰机	275
8.6.1	GPS 易受干扰性	275
8.6.2	GPS 干扰的原理	275
8.7	紫外干扰源	276
8.7.1	紫外光源与紫外干扰源	276
8.7.2	紫外光源的分类	276
8.7.3	紫外干扰	277
8.8	有源干扰的发展趋势	277
	参考文献	278
<b>第 9 章</b>	<b>光电对抗的评估与仿真研究</b>	<b>280</b>
9.1	国内外光电对抗效能评估技术现状	280
9.1.1	美国主要光电对抗效能评估系统	280
9.1.2	国内发展现状	281
9.2	光电对抗的评估准则	282
9.2.1	功率准则	283
9.2.2	概率准则	283
9.2.3	效率准则	284
9.3	光电对抗效能评估的技术途径	285
9.3.1	效能评估的层次	285
9.3.2	系统层次分析及指标体系	285
9.3.3	常用的军事装备效能评估方法	285
9.3.4	计算机仿真	287
9.3.5	半实物仿真	287
9.3.6	光电对抗系统中的实验评估法	287
9.4	光电对抗系统中的半实物仿真	289
9.4.1	光电半实物仿真系统组成	289
9.4.2	针对操作的半实物仿真	290
9.4.3	针对目标特性的半实物仿真	292
9.4.4	针对原理验证的半实物仿真	294
9.5	本章小结	296
	参考文献	296
<b>第 10 章</b>	<b>光电对抗的典型系统</b>	<b>298</b>
10.1	机载光电对抗系统介绍	298
10.1.1	第四代战机机载光电侦察告警系统	298
10.1.2	第四代战机机载光电干扰系统	300
10.1.3	第四代战机光电隐身系统	301

10.1.4	机载高能激光武器系统	301
10.1.5	机载光电定位系统	305
10.1.6	无人机	305
10.2	舰载光电对抗系统介绍	306
10.2.1	舰载光电告警系统	306
10.2.2	舰载光电干扰系统	308
10.2.3	舰艇光电隐身技术	310
10.2.4	舰载高能激光武器	311
10.2.5	基于舰艇的光电定位和对舰艇的定位	313
10.3	地基激光防空武器系统	315
10.3.1	“鸚鵡螺”计划	315
10.3.2	移动战术高能激光	316
10.4	天基定位与光电对抗系统	317
10.4.1	星载告警	317
10.4.2	卫星定位跟踪	319
10.4.3	反卫星武器系统	322
10.5	巡飞器	325
10.5.1	巡飞器分类	325
10.5.2	巡飞弹关键技术	327
10.6	单兵光电对抗装备	328
10.6.1	单兵系统的形成	328
10.6.2	单兵平台信息化及对抗	329
	参考文献	331

# 第1章 绪 论

光电对抗是指利用光电对抗装备<sup>[1]</sup>,对敌方光电瞄准器材、光电制导武器和其他军事设施进行侦察、干扰或摧毁,以削弱或破坏其作战效能,同时保护己方光电器材和武器的有效使用。光电对抗是现代电子战的一个分支,在未来战争中占有重要的地位。

随着红外、激光等光电子技术在军事上的应用,特别是光电探测和光电制导技术的发展,光电对抗技术和装备在现代战争中发挥着越来越重要的作用,各军事强国在光电对抗领域的竞争也日益激烈。有军事分析家预言:在未来战争中,谁失去制谱权,就必将失去制空权、制海权,处于被动挨打、任人宰割的境地;谁先夺取制光电权,谁就将夺取制空权、制海权、制夜权。由此也可以认为,谁拥有了更先进的光电对抗技术和装备,谁就掌握了战场的主动权。光电对抗在军事上的作用主要表现在<sup>[2]</sup>:

(1) 为防御和对抗提供及时的告警和威胁源的精确信息。实现有效防御的前提是及时发现威胁,光电侦察告警设备能够查明和收集敌方军事光电情报,为及时采取正确的军事行动、实施有效干扰或火力摧毁提供依据。美军非常重视战场信息采集和综合处理技术的研究,已连续多年把它列为国防关键技术和重点研究内容,并且在大的军事项目中加以应用。

(2) 扰乱、迷惑和破坏敌方光电探测设备和光电制导系统的正常工作。通过有效的干扰使它们降低效能或完全失效,以保障己方装备和人员免遭敌方光电侦察、干扰或火力摧毁,为己方的对抗行动创造条件。光电干扰技术和装备作为对抗敌方光电探测和制导的有效手段,是各军事强国重点研究的内容。

当前,光电对抗的体系包括光电侦察、光电定位、光电干扰、光电打击以及光电反侦察、反干扰和反打击,如图 1.1 所示。光电侦察、光电定位、光电打击是光电对抗的 3 个基本工作周期。其中,光电侦察是发现目标;光电定位是提供目标的精确信息,跟踪/制导是利用自动控制技术对目标定位状态的保持;而光电打击分为两种类型:一种是以光电制导武器为手段的打击,另一种是以强激光束为手段的打击。

光电制导的内容见本书第 3 章,强激光束打击见本书第 8 章、第 10 章。光电侦察告警见本书第 4 章,第 5 章、第 6 章为光电定位的内容,第 7 章为光电无源干扰,第 8 章为光电有源干扰,第 9 章介绍了光电对抗的评估与仿真研究,第 10 章为光电对抗的典型系统。

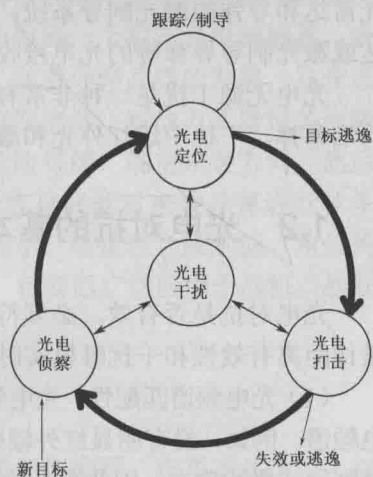


图 1.1 光电对抗的体系

## 1.1 光电对抗的基本概念

光电对抗主要是指在光学谱段内的对抗技术。随着光电技术的发展,电视、激光、红外

及紫外等光学探测与跟踪技术被广泛采用,出现了精确制导武器体系。为了对抗光电制导武器的攻击,各类飞机、舰艇和地面指挥中都采用了多种光电对抗设备和技术,包括红外干扰机、干扰弹、假目标及隐身技术等。此外还有激光致盲武器和定向红外干扰技术。在光电对抗过程中,为了增强对抗的效能,光电定位也得到了空前的发展。和电子战一样,光电对抗已成为现代战争中决定胜负的关键因素。

光电对抗包括光电侦察、光电定位和光电打击等 3 个工作周期,光电干扰和反干扰的此消彼长决定了这 3 个周期的效能。

光电侦察是利用光电装备查明敌方光电器材的类型、特性和方位等信息,为实施光电干扰提供依据。光电侦察有主动和被动两种方式,主动侦察采用滤光探照灯和激光雷达等装备,被动侦察采用红外/激光告警器。早在 20 世纪 60 年代中期,外军就开始装备红外告警器,仅美军就有 20 多个型号,供多种作战飞机使用;激光告警器目前正处在发展阶段,只有少数型号装备使用。如美国的 AVR-2/3 激光告警器,它可在 360° 范围内识别激光源并确定其方向,与雷达告警接收机配合,构成综合告警系统。

光电定位是对光电侦察功能的补充或强化,是对已识别的目标,在探知方位的前提下,实施距离估计、综合威胁度分析。光电定位的关键技术是对目标的被动测距。

光电干扰分为有源压制/欺骗干扰和无源干扰两类。有源干扰设备和器材包括:

(1) 红外诱饵弹。这是一种实用而有效的欺骗干扰手段。已装备使用的红外诱饵弹模块能给出真实目标的红外图像,更具欺骗性。

(2) 红外干扰机。类似于飞机发动机排气口能辐射出高强度红外线,经调制后向一定方向辐射,使来袭的红外制导武器偏离目标。

(3) 激光干扰机。有 3 种类型:欺骗式干扰机,能发射与敌方激光器相同参数的强激光束,照射在己方被保护目标附近的假目标上,产生强的激光回波,欺骗敌方激光测距机、激光雷达和导弹的激光制导系统;致盲式干扰机,能发射强激光,使敌方激光测距机、激光雷达或激光制导导弹等的光电接收器饱和、过载或迷盲;杀伤性强激光武器。

光电无源干扰是一种非常有效的干扰手段,主要的干扰器材有用于干扰人眼和观瞄器材的烟幕弹,干扰中远红外光和激光的气溶胶和电离气悬体,此外还有光箔条、曳光弹等。

## 1.2 光电对抗的基本特征<sup>[3,4]</sup>

光电对抗是否有效,必须符合如下 4 个基本特征:光电频谱匹配性、干扰视场相关性、最佳距离有效性和干扰时机实时性。

(1) 光电频谱匹配性。光电频谱匹配性指干扰光电频谱必须覆盖或等同于被干扰目标的光电频谱。例如,没有明显红外辐射特征的地面重点目标,一般容易受到具有目标指示功能的激光制导武器的攻击,因此激光欺骗干扰和激光致盲干扰都选用 1.06  $\mu\text{m}$  和 10.6  $\mu\text{m}$  来对抗相应的敌方激光装备;具有明显红外辐射特征的动目标(如飞机)一般受到红外制导导弹的攻击,红外诱饵及红外有源干扰波段与红外制导光电频谱相同,一般选为 1~3  $\mu\text{m}$  和 3~5  $\mu\text{m}$ 。

(2) 干扰视场相关性。光电侦察、光电制导和光电对抗均具有方向性较好的光学视场,干扰信号必须在被对抗的敌方装备光学视场范围内,否则敌方光电装备探测不到干扰信号,干扰将是无效的。尤其是激光对抗,由于激光的方向性好,导致对抗的难度非常大。例如在

激光欺骗干扰中，激光假目标的布设距离必须根据激光导引头视场范围而设定。

(3) 最佳距离有效性。光电对抗最佳的干扰效果就是将来袭光电制导武器引偏，使光电制导武器导引头在其视场内看不到被攻击的目标。在一定引偏距离内是否引偏至导引头视场之外，主要取决于和来袭光电制导武器之间的距离，因此干扰距离的选择也是能否有效干扰的关键问题。例如，红外干扰导弹在距来袭红外制导导弹一定距离范围内发射才具有最佳的诱骗干扰效果。

(4) 干扰时机实时性。战术光电制导导弹末段制导距离一般在几千米至 10 km 范围内，而导弹速度很快，一般为  $1Ma \sim 2.5Ma$ ，从告警到实施有效干扰时间必须在很短的时间内完成；否则，敌方来袭导弹将在未形成有效干扰动作前就已命中目标。因此，对光电对抗要求的实时性要求比较强。

## 1.3 光电对抗的技术环节

根据当前的光电对抗体制，可将光电对抗分为光电侦察及告警、光电定位、光电制导、光电干扰和强激光束打击等 5 个技术环节，在光电定位技术中光电被动定位技术占据主导地位。

### 1.3.1 光电侦察及告警技术

光电侦察技术包括的内容涉及微光、红外夜视、电视侦察、多光谱照相、红外遥感及激光主动侦察等范畴。在防空作战中，激光主动侦察技术是激光对抗作战的重要技术之一，这项技术集中反映在具有“猫眼效应”的激光雷达中。一般的光电装置都有透镜、光电传感器结构，透镜具有像猫眼晶状体一般汇聚光线的功能，光电传感器表面对猫眼眼底的光具有反射特性。当激光雷达发射的激光波束扫描敌方空域时，一旦照射到一个敌方光电传感器，激光雷达便可探测到其反射光束，从而检测到它的存在及位置。随着导弹武器的发展，导弹逼近告警技术已被各国争相研究与开发。光电告警装备利用光电探测器，对敌方武器装备所辐射或散射的光波进行侦察、截获及识别，判断威胁的性质和危险等级，确定来袭方向，然后发出警报并启动与之相连的防御系统实施对抗，如引导激光致盲武器对来袭导弹进行软杀伤，或引导高能激光武器实行硬摧毁。光电告警设备具有体积小、质量轻、成本低、角分辨率高（可达微弧度级）、无源工作（不易被敌方探测）等特点，目前已广泛应用于战机、战舰和陆上重要目标的自卫。

### 1.3.2 光电被动定位

对目标空间坐标的确定称为定位。定位包括对目标实施测向和测距。在军事对抗中，对目标的精确定位是制敌取胜的前提。只有实现了对目标的精确定位，才可能实施有效的对抗：主动对抗可以对敌方施以摧毁性的精确打击，被动对抗可以及时规避敌方的打击以保存实力或隐蔽自己。

雷达是目标探测和定位的传统装备，最先出现于第二次世界大战，在对付德军 U 艇中曾大显身手。其后，经过不断改进，特别是经过美苏冷战阶段的军备竞赛、越南战争、第一次海湾战争（1991 年）和科索沃战争（1999 年），其性能有了很大的提高，具有全天候、全波



段、高灵敏度和作用距离远等多方面的优点。雷达的定位是对目标发射探测信号，然后通过分析目标的反射回波来确定其空间位置。这类依赖于自身发射探测信号的定位方式称为主动定位。

在雷达定位出现之后，逐渐产生了雷达对抗<sup>[2-5]</sup>。在现代战争中，基于接收目标反向电磁散射的主动定位系统（如常规雷达）受到电子侦察、反辐射导弹寻踪攻击的严重威胁。因此，研究出一种不发射探测信号，既能隐蔽自己又能对目标实施定位的被动定位技术受到了广泛的重视。故被动定位又被称为无源定位，其定位功能的实现是借助目标的主动辐射（如通信信号、导航信号），自身辐射，以及反射的第三方电磁辐射（如日光、卫星信号或地面广播信号）等实现的。

按照被动定位接收信号的类别，被动定位可分为声呐被动定位<sup>[6]</sup>、雷达波被动定位<sup>[7]</sup>、光电被动定位<sup>[8-12]</sup>，等等。在军事应用中，声呐被动定位只适用于直升机、舰船之类较慢运动目标。无源雷达定位适用于海、陆、空中的多种目标。光电被动定位，尤其是红外无源定位具有高隐蔽性和高精度的优点，是当前的主要研究方向。

被动定位的实现体制取决于定位目标的特性，并根据实际观测距离进行选择。除利用空间几何学原理<sup>[13-17]</sup>之外，被动定位还应借助电磁辐射或光波的传播特性<sup>[5, 18-23]</sup>、几何光学的性质<sup>[24]</sup>、三维运动分析<sup>[25]</sup>以及图像序列分析的原理<sup>[26, 27]</sup>来实现。在我们的研究中，定位的对象是空中来袭目标，典型的如飞机，在后续各章节中称其为机动目标。

从理论上讲<sup>[28-31]</sup>，凡是温度在绝对温度零度以上的任何物体都会有红外辐射产生，其射线的波长与温度成反比，即温度越高，其辐射的波长就越短。飞机是一种典型的红外辐射源，其红外辐射主要有两个方面：一方面是涡轮发动机向外喷射的尾焰的辐射，主要在 3~5 μm 波段；飞机飞行中，蒙皮与大气摩擦发热产生的辐射，主要在 8~14 μm 波段。飞机的辐射分布和光源谱特性与环境的差异为目标的红外探测和定位提供了有利条件，使得我们能够在红外辐射传播的“大气窗口”内对目标进行有效探测和定位。

红外被动定位的一个显著特点是对天时环境的依赖性较小。由于红外无源探测和定位系统是利用探测目标与背景之间的红外辐射的差异进行工作的，因而，它具有全天候的工作能力：无论是白天还是夜晚、晴天还是阴天都可进行，差别只是由于白天的背景较强因而效果比夜晚较差，阴天由于云层等对红外辐射的衰减或吸收而效果比晴天较差而已。

在几千米到几十千米的近战范围内，红外被动定位成为首选的被动定位制式，主要原因是：

(1) 当目标处于近战距离内时，往往采取“无线电静默”策略，因此，捕获雷达、激光信号几乎不可能。这种情况下，必须采用截获目标主动辐射以外的其他被动定位制式。

(2) 因红外辐射的波长较雷达短而具有更高的定位精度<sup>[32]</sup>。于是，基于目标红外辐射探测的被动定位（即红外被动定位）成为被动定位研究的重点<sup>[18]</sup>。

为了适应高速搭载平台不可能提供较大空间的实际状况，同时为了获取足够的机动性，近战范围内的红外被动定位多在单一运动平台上实现。可在单一观测站上实现的被动定位即单站被动定位。单站被动定位与多站被动定位并不矛盾，它与多站被动定位的组合使用可提高多站定位的定位精度，增强安全性或抗毁性。

本书主要研究以飞机、导弹为代表的近战距离内来袭目标的红外单站被动定位的原理方案及其实现技术。