

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

现代电子战技术丛书

杨小牛 主编

Optoelectronic Confrontation Principle

光电对抗原理

■ 刘松涛 王龙涛 刘振兴 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

现代电子战技术丛书

光电对抗原理

Optoelectronic Confrontation Principle

刘松涛 王龙涛 刘振兴 编著



国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

光电对抗原理 / 刘松涛, 王龙涛, 刘振兴编著. —
北京: 国防工业出版社, 2019.3
(现代电子战技术丛书)
ISBN 978-7-118-11837-7

I. ①光… II. ①刘… ②王… ③刘… III. ①光电对
抗 IV. ①E866

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 039240 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)

三河市德鑫印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 19½ 字数 339 千字

2019 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 80.00 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



“现代电子战技术丛书”编委会

编委会主任 杨小牛

院士顾问 张锡祥 凌永顺 吕跃广 刘泽金 刘永坚

王沙飞 陆军

编委会副主任 刘涛 王大鹏 楼才义

编委会委员

(排名不分先后)

许西安 张友益 张春磊 郭劲 季华益 胡以华

高晓滨 赵国庆 黄知涛 安红 甘荣兵 郭福成

高颖 刘松涛 王龙涛 刘振兴

丛书总策划 王晓光

新时代的电子战与电子战的新时代

广义上讲,电子战领域也是电子信息领域中的一员或者叫一个分支。然而,这种“广义”而言的貌似其实也没有太多意义。如果说电子战想用一首歌来唱响它的旋律的话,那一定是《我们不一样》。

的确,作为需要靠不断博弈、对抗来“吃饭”的领域,电子战有着太多的特殊之处——其中最为明显、最为突出的一点就是,从博弈的基本逻辑上来讲,电子战的发展节奏永远无法超越作战对象的发展节奏。就如同谍战片里面的跟踪镜头一样,再强大的跟踪人员也只能做到近距离跟踪而不被发现,却永远无法做到跑到跟踪目标的前方去跟踪。

换言之,无论是电子战装备还是其技术的预先布局必须基于具体的作战对象的发展现状或者发展趋势、发展规划。即便如此,考虑到对作战对象现状的把握无法做到完备,而作战对象的发展趋势、发展规划又大多存在诸多变数,因此,基于这些考虑的电子战预先布局通常也存在很大的风险。

总之,尽管世界各国对电子战重要性的认识不断提升——甚至电磁频谱都已经被视作一个独立的作战域,电子战(甚至是更为广义的电磁频谱战)作为一种独立作战样式的前景也非常乐观——但电子战的发展模式似乎并未由于所受重视程度的提升而有任何改变。更为严重的问题是,电子战发展模式的这种“惰性”又直接导致了电子战理论与技术方面发展模式的“滞后性”——新理论、新技术为电子战领域带来实质性影响的时间总是滞后于其他电子信息领域,主动性、自发性、仅适用

于本领域的电子战理论与技术创新较之其他电子信息领域也进展缓慢。

凡此种种,不一而足。总的来说,电子战领域有一个确定的过去,有一个相对确定的现在,但没法拥有一个确定的未来。通常我们将电子战领域与其作战对象之间的博弈称作“猫鼠游戏”或者“魔道相长”,乍看这两种说法好像对于博弈双方一视同仁,但殊不知无论“猫鼠”也好,还是“魔道”也好,从逻辑上来讲都是有先后的。作战对象的发展直接能够决定或“引领”电子战的发展方向,而反之则非常困难。也就是说,博弈的起点总是作战对象,博弈的主动权也掌握在作战对象手中,而电子战所能做的就是 在作战对象所制定规则的“引领下”一次次轮回,无法跳出。

然而,凡事皆有例外。而具体到电子战领域,足以导致“例外”的原因可归纳为如下两方面。

其一,“新时代的电子战”。

电子信息领域新理论新技术层出不穷、飞速发展的当前,总有一些新理论、新技术能够为电子战跳出“轮回”提供可能性。这其中,颇具潜力的理论与技术很多,但大数据分析 与人工智能无疑会位列其中。

大数据分析为电子战领域带来的革命性影响可归纳为“有望实现电子战领域从精度驱动到数据驱动的变革”。在采用大数据分析之前,电子战理论与技术都可视作是围绕“测量精度”展开的,从信号的发现、测向、定位、识别一直到干扰引导与干扰等诸多环节,无一例外都是在不断提升“测量精度”的过程中实现综合能力提升的。然而,大数据分析为我们提供了另外一种思路——只要能够获得足够多的数据样本(样本的精度高低并不重要),就可以通过各种分析方法来得到远高于“基于精度的”理论与技术的性能(通常是跨数量级的性能提升)。因此,可以看出,大数据分析不仅仅是提升电子战性能的又一种技术,而是有望改变整个电子战领域性能提升思路的顶层理论。从这一点来看,该技术很有可能为电子战领域跳出上面所述之“轮回”提供一种途径。

人工智能为电子战领域带来的革命性影响可归纳为“有望实现电子战领域从功能固化到自我提升的变革”。人工智能用于电子战领域则催生出认知电子战这一新理念,而认知电子战理念的重要性在于,它不仅仅让电子战具备思考、推理、记忆、想象、学习等能力,而且还有望让认知电子战与其他认知化电子信息系统一起,催生 出一种新的战法,即,

“智能战”。因此,可以看出,人工智能有望改变整个电子战领域的作战模式。从这一点来看,该技术也有可能为电子战领域跳出上面所述之“轮回”提供一种备选途径。

总之,电子信息领域理论与技术发展的新时代也为电子战领域带来无限的可能性。

其二,“电子战的新时代”。

自1905年诞生以来,电子战领域发展到现在已经有100多年历史,这一历史远超雷达、敌我识别、导航等领域的发展历史。在这么长的发展历史中,尽管电子战领域一直未能跳出“猫鼠游戏”的怪圈,但也形成了很多本领域专有的、与具体作战对象关系不那么密切的理论与技术积淀,而这些理论与技术的发展相对成体系、有脉络。近年来,这些理论与技术已经突破或即将突破一些“瓶颈”,有望将电子战领域带入一个新的时代。

这些理论与技术大致可分为两类:一类是符合电子战发展脉络且与电子战发展历史一脉相承的理论与技术,例如,网络化电子战理论与技术(网络中心电子战理论与技术)、软件化电子战理论与技术、无人化电子战理论与技术等;另一类是基础性电子战技术,例如,信号盲源分离理论与技术、电子战能力评估理论与技术、电磁环境仿真与模拟技术、测向与定位技术等。

总之,电子战领域100多年的理论与技术积淀终于在当前厚积薄发,有望将电子战带入一个新的时代。

本套丛书即是在上述背景下组织撰写的,尽管无法一次性完备地覆盖电子战所有理论与技术,但组织撰写这套丛书本身至少可以表明这样一个事实——有一群志同道合之士,已经发愿让电子战领域有一个确定且美好的未来。

一愿生,则万缘相随。

愿心到处,必有所获。

杨小牛

2018年6月



PREFACE

前言

在现代高技术战争中,充斥着各种基于光电技术装备构成的武器系统。传统武器与先进光电手段相结合,使得这些武器系统具备惊人的威力,比如:激光制导武器的弹无虚发,能从大楼的通气道钻入后爆炸,令整座大楼顷刻间化为废墟。然而,有矛就有盾,在与光电武器装备的较量中,一种全新的作战手段,光电对抗相伴而生,并迅速发展形成比较完善的光电对抗技术体系,诞生了光电对抗这门学科。随着光电对抗的发展和壮大,光电对抗也从传统军事力量的一种补充演变为克敌制胜的一种有效手段,这使得光电对抗的重要性与日俱增,研究和掌握光电对抗原理的需求日益迫切。

本书是在自编教材和教案的基础上,结合作者的研究成果编著而成的。全书共9章。第1章是光电对抗概论,介绍光电对抗的概念和内涵、作战对象、典型系统组成和技术指标、应用领域、发展史及趋势;第2章是光电武器装备,补充介绍光电对抗作战对象的相关知识;第3、4章是光电侦察部分,主要介绍光电主动侦察(激光测距机、激光雷达)和被动侦察(激光告警、红外告警、紫外告警和光电综合告警)所涉及相关技术和系统的基本原理;第5、6章是光电干扰部分,重点介绍红外干扰弹、红外干扰机、强激光干扰和激光欺骗干扰四种有源干扰措施的基本组成和干扰原理,以及烟幕干扰、光电隐身和光电假目标三种无源干扰措施的实现原理和方法;第7章是反光电侦察的相关措施;第8章是抗光电干扰的诸多技术;第9章是光电对抗效果评估,系统介绍了效果评估的试验方法和评估准则,并给出了针对不同光电对抗系统的效果评估准则。



本书具有如下四个特点。

(1) 可读性强。注意梳理不同内容之间的因果关系,强调知识点的逻辑性和基本原理的理解,尽量简化而又不失严谨性的描述各种复杂理论。

(2) 自成体系。通过纳入光电武器装备的相关内容,可使不具备光电领域相关知识的读者易于理解光电对抗原理。

(3) 完整性好。构建了较为完善的光电对抗技术体系,特别是详细描述了光电主动侦察、反光电侦察和抗光电干扰的相关内容。

(4) 展现前沿。系统阐述了光电对抗领域效果评估这个热点问题,概括总结了光电对抗技术和系统的发展趋势。

本书得到了海军大连舰艇学院高东华教授的认真审阅,教保处机关也给予了大力支持,姜康辉硕士、王战硕士等在书稿撰写方面做出了较大贡献,在此一并表示感谢。编写过程中参阅了大量国内外文献,谨向各位作者深表谢意。

由于时间仓促以及编者水平有限,书中难免存在疏漏和不足,诚望读者不吝指正,以便今后逐步完善和提高。联系方式:navylst@163.com。

编者

2018.1

CONTENTS

目录

第 1 章 光电对抗概论	1
1.1 引言	1
1.2 光电对抗的概念和内涵	2
1.2.1 光电对抗的定义及特点	2
1.2.2 光电对抗的分类	3
1.2.3 光电对抗的地位和作用	8
1.2.4 光电对抗与电子战	10
1.3 光电对抗的作战对象	11
1.3.1 光电武器装备的发展现状	12
1.3.2 光电威胁环境特点	13
1.3.3 光电武器装备的主要弱点	14
1.4 典型光电对抗系统组成和技术指标	14
1.5 光电对抗的应用领域	15
1.6 光电对抗的发展史及趋势	17
1.6.1 光电对抗的发展史	17
1.6.2 光电对抗的发展趋势	21
第 2 章 光电武器装备	28
2.1 光电制导武器	28
2.1.1 制导武器概述	29



2.1.2	激光制导原理	32
2.1.3	红外点源制导原理	33
2.1.4	玫瑰扫描亚成像制导原理	40
2.1.5	红外成像制导原理	43
2.1.6	电视制导原理	51
2.2	光电侦测设备	53
2.2.1	光电成像概述	53
2.2.2	电视	60
2.2.3	微光夜视仪	66
2.2.4	微光电视	67
2.2.5	红外热像仪	67
2.2.6	光电搜索、跟踪系统	69
第3章	光电主动侦察	72
3.1	激光测距机	73
3.1.1	激光测距机的定义、特点和用途	73
3.1.2	激光测距机的分类	73
3.1.3	激光测距机的系统组成和基本原理	73
3.1.4	激光测距机的关键技术	76
3.1.5	激光测距机的发展史及趋势	76
3.2	激光雷达	78
3.2.1	激光雷达的定义、特点和用途	78
3.2.2	激光雷达的分类	79
3.2.3	激光雷达的系统组成和基本原理	79
3.2.4	激光雷达的关键技术	83
3.2.5	激光雷达的发展史及趋势	85
第4章	光电被动侦察	89
4.1	激光告警	89
4.1.1	激光告警的定义、特点和用途	89
4.1.2	激光告警的分类	91
4.1.3	激光告警的系统组成和基本原理	93
4.1.4	激光告警的关键技术	102
4.1.5	激光告警的发展史及趋势	103
4.2	红外告警	105

4.2.1	红外告警的定义、特点和用途	105
4.2.2	红外告警的分类	106
4.2.3	红外告警的系统组成和基本原理	106
4.2.4	红外告警的设计考虑	110
4.2.5	红外告警的关键技术	115
4.2.6	红外告警的发展史及趋势	116
4.3	紫外告警	121
4.3.1	紫外告警的定义、特点和用途	121
4.3.2	紫外告警的分类	122
4.3.3	紫外告警的系统组成和基本原理	122
4.3.4	紫外告警的关键技术	124
4.3.5	紫外告警的发展史及趋势	125
4.4	光电综合告警	126
4.4.1	光电综合告警的定义、特点和用途	126
4.4.2	光电综合告警分类	126
4.4.3	光电综合告警的系统组成和基本原理	127
4.4.4	光电综合告警的关键技术	129
4.4.5	光电综合告警的发展史及趋势	129
4.5	光电被动定位	130
4.5.1	基于角度测量的几何测距法	130
4.5.2	图像分析法	131
4.5.3	基于目标光谱辐射和大气光谱传输特性的测距法	133
第5章	光电有源干扰	135
5.1	红外干扰弹	137
5.1.1	红外干扰弹的定义、特点和用途	137
5.1.2	红外干扰弹的分类	137
5.1.3	红外干扰弹的系统组成和干扰原理	138
5.1.4	红外干扰弹的设计和使用考虑	139
5.1.5	红外干扰弹的关键技术	143
5.1.6	红外干扰弹的发展史及趋势	144
5.2	红外干扰机	146
5.2.1	红外干扰机的定义、特点和用途	146
5.2.2	红外干扰机的分类	146
5.2.3	红外干扰机的系统组成和干扰原理	147



5.2.4	红外干扰机的设计和使用考虑	154
5.2.5	红外干扰机的关键技术	157
5.2.6	红外干扰机的发展史及趋势	158
5.3	强激光干扰	160
5.3.1	强激光干扰的定义、特点和用途	160
5.3.2	强激光干扰的分类	161
5.3.3	强激光干扰的系统组成和干扰原理	161
5.3.4	强激光干扰的关键技术	175
5.3.5	强激光干扰的发展史及趋势	176
5.4	激光欺骗干扰	179
5.4.1	激光欺骗干扰的定义、特点和用途	179
5.4.2	激光欺骗干扰的分类	180
5.4.3	激光欺骗干扰的系统组成和干扰原理	180
5.4.4	激光欺骗干扰的关键技术	184
5.4.5	激光欺骗干扰的发展史及趋势	185
第6章	光电无源干扰	186
6.1	烟幕干扰	186
6.1.1	烟幕干扰的定义、特点和用途	186
6.1.2	烟幕干扰的分类	187
6.1.3	烟幕干扰的系统组成和干扰原理	187
6.1.4	烟幕干扰的设计和使用考虑	194
6.1.5	烟幕干扰的关键技术	195
6.1.6	烟幕干扰的发展史及趋势	195
6.2	光电隐身	199
6.2.1	光电隐身的定义、特点和用途	199
6.2.2	光电隐身的分类	199
6.2.3	光电隐身原理	199
6.2.4	光电隐身的关键技术	204
6.2.5	光电隐身的发展史及趋势	204
6.3	光电假目标	207
6.3.1	光电假目标的定义、特点和用途	208
6.3.2	光电假目标的分类	208
6.3.3	光电假目标的组成与设计考虑	209
6.3.4	光电假目标的发展史及趋势	210



第 7 章	反光电侦察	212
7.1	基于光电干扰的反侦察措施	212
7.2	编码技术	214
7.2.1	激光制导编码物理参量分析	214
7.2.2	激光编码理论与技术	215
第 8 章	抗光电干扰	220
8.1	反隐身措施	220
8.1.1	多光谱技术	221
8.1.2	信息融合技术	223
8.2	抗红外有源干扰	229
8.2.1	红外点源制导导弹的抗红外有源干扰措施	230
8.2.2	四元红外导引头的抗红外有源干扰机理	232
8.3	抗激光欺骗干扰	236
8.3.1	激光测距机的抗干扰措施	236
8.3.2	半主动激光制导武器的抗干扰措施	237
8.4	抗强激光干扰	240
8.4.1	采用激光防护器材	240
8.4.2	发展抗强激光的导弹	244
第 9 章	光电对抗效果评估	246
9.1	光电对抗效果试验方法	247
9.1.1	光电对抗效果仿真试验评估的可行性	247
9.1.2	光电对抗效果仿真试验方法	249
9.1.3	光电对抗效果仿真的关键技术	256
9.1.4	光电对抗效果仿真试验的发展史及趋势	256
9.2	光电对抗效果评估准则	259
9.2.1	干扰效果评估准则	260
9.2.2	侦察效果评估准则	264
9.2.3	评估准则使用考虑	264
9.3	目力光学侦察对抗效果评估	265
9.3.1	目力光学侦察效果评估	266
9.3.2	烟幕对目力光学侦察的干扰效果评估	269
9.4	红外系统对抗效果评估	275
9.4.1	红外系统的工作性能评估	275



9.4.2	压制性有源干扰对红外系统的干扰效果评估	279
9.4.3	无源干扰对红外系统的干扰效果评估	281
9.4.4	欺骗性有源干扰对红外系统的干扰效果评估	283
9.5	激光系统对抗效果评估	285
9.5.1	激光系统的工作性能评估	285
9.5.2	强激光干扰对激光系统的干扰效果评估	288
参考文献	290

第 1 章



光电对抗概论



1.1 引 言

现代光电子技术的迅速发展,极大地促进了军用光电技术的日趋成熟和完善。在军事应用中,光电制导技术和光电侦测技术发展广泛而迅速,目前已形成比较完整的装备体系。飞机、舰船、坦克及装甲车等现代军事作战平台,普遍装备了前视红外系统、红外热像仪、激光测距、微光夜视及红外夜视等光电侦测设备,使现代战争没有了白天与黑夜之分。同时,在军事平台中还大量装备了激光制导导弹和炸弹、电视制导导弹和炸弹以及红外制导导弹等光电制导武器,这些光电制导武器具有命中精度高、抗干扰能力强和全天候应用的特点,在没有干扰的情况下,全天候应用命中概率达到 90% 以上,使现代战争作战模式发生了巨大的变革。在海湾战争中,以美国为首的多国部队对伊拉克采用了夜间突袭战术和“外科手术式”的精确打击战术,成功地摧毁了伊军大部分战略战术目标,在短时间内使伊拉克庞大的作战体系处于瘫痪状态,而多国部队仅损失作战飞机几十架,人员伤亡几百人。取得如此辉煌的战果,一个主要因素就是成功地使用了光电制导武器和光电侦测设备。如何对抗这些光电制导武器和光电侦测设备呢?海湾战争中,伊拉克在十分被动的情况下,匆忙点燃了一些油井,漫天的烟雾使光电侦测设备无法识别目标,光电制导武器失去用武之地,有效地阻止了多国部队对该区域的攻击。

光电制导武器和光电侦测设备都有信息获取单元(光电传感器)和信息处理单元(计算机)两个敏感单元,就像人的眼睛和大脑。光电对抗技术就是针对敌方光电制导武器和光电侦测设备的“眼睛”和“大脑”,采用强光致盲、致眩干扰使其“眼睛”变瞎,采用烟幕遮蔽干扰使其“眼睛”看不见目标,采用光电迷惑干扰使其“大脑”无法识别目标,采用光电欺骗干扰使其“大脑”产生判断错误而攻击假目标,从而有效地对抗敌方光电制导武器和光电侦测设备。



军用光电技术与光电对抗技术是相生相克、互为矛盾、却又是相互依存与竞争发展的两个方面。随着光电装备的迅速更新换代与对抗需求的强烈牵引,光电对抗技术也逐渐兴起和发展,形成当前比较完整的光电对抗技术和装备体系。

1.2 光电对抗的概念和内涵

1.2.1 光电对抗的定义及特点

光电对抗是指敌对双方在光波段(紫外、可见光、红外波段)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测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。可以看出:侦察和攻击的对象是敌方的光电制导武器与光电侦测设备,保护的是己方人员安全和光电设备的正常使用,即光电对抗的本质是降低敌方光电设备的作战效能,发挥己方光电设备的作战能力。概括地说,光波段侦察干扰及反侦察抗干扰所采取的各种战术技术措施的总称叫做光电对抗。

实际上,广义的光电对抗是光波段的电子战,是交战双方在光波段的攻防对抗,作战对象拓展到所有的军事平台和武器系统。因此,随着光电对抗技术的不断发展,出现了光电战的概念,将战场上所有采用光电手段的武器装备和对付这些武器装备的手段或措施都纳入到光电战的领域^[1]。本书仍采用传统的光电对抗概念,而且侧重于介绍光电对抗技术与系统的基本原理。

光电对抗的作战对象主要是来袭光电制导武器和敌方光电侦测设备,目前,除激光制导武器、激光雷达、激光目标指示器、激光测距机等激光设备外,其他光电设备都是“静默”工作方式,并且光电装备种类繁多,使光电探测、识别、告警和光电干扰都变得十分复杂,尤其给综合对抗带来较大技术难度。光电对抗的有效性主要取决于如下三个基本特点^[2]:

(1) 频谱匹配性。频谱匹配性是指干扰的光电频谱必须覆盖或等同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,一般容易受到激光制导武器的攻击,因此采用相应波长的激光欺骗干扰和激光致盲干扰手段对抗敌方激光威胁;具有明显红外辐射特征的动目标(如飞机),一般容易受到红外制导导弹的攻击,则采用红外干扰弹或红外干扰机与之对抗。

(2) 视场相关性。光电干扰信号的干扰空域必须在敌方装备的光学视场范围内,尤其是激光干扰,由于激光波束窄、方向性好,使其对抗难度加大。例如,在激