

AH



国防电子信息技术丛书

Introduction to Modern EW Systems

现代电子战系统导论

[意] Andrea De Martino 著

姜道安 等译

胡来招 审校



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

国防电子信息技术丛书

现代电子战系统导论

Introduction to Modern EW Systems

[意] Andrea De Martino 著

姜道安 等译

胡来招 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共6章,第1章:电子战场景介绍,描述了对称与非对称的冲突场景及其电子战系统在其中的应用;第2章:信号辐射源与传感器的发展,阐述了雷达、射频和激光制导武器以及通信设备等现代系统的最新发展;第3章:电子战射频波段的传感器系统,描述了新型无源电子战装备架构需求及其性能;第4章:射频测向与辐射源定位技术,论述了ESM系统中的射频测向与辐射源定位技术;第5章电子对抗系统及第6章电子对抗技术和传感器反电子对抗,分别论述了对现代射频和红外有源对抗装备的需求、架构、所采用的技术以及对射频有源装备和红外/光电导弹导引头实施的主要对抗技术。

本书另有5个附录,附录A:传感器接收机的信号检测;附录B:估计理论概念简介;附录C:天线与相控阵天线;附录D:模拟调制方法;附录E: BFSK 通信系统中噪声与单音干扰提高误码率的估计。

本书是近年来全面论述电子战技术发展的一本不可多得的技术专著,由电子信息控制重点实验室组织翻译,供国内电子对抗、雷达等领域的研发、使用、管理人员以及高等院校师生参考。

© 2012 Artech House

685 Canton Street, Norwood, MA 02062

本书中文翻译版专有出版权由 Artech House Inc. 授予电子工业出版社,未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字:01-2013-4708

图书在版编目(CIP)数据

现代电子战系统导论/(意)马蒂诺(Martino, A. D.)著;姜道安等译.—北京:电子工业出版社,2014.9
(国防电子信息技术丛书)

书名原文: Introduction to modern EW systems

ISBN 978-7-121-24146-8

I. ①现… II. ①马… ②姜… III. ①电子对抗-研究 IV. ①TN97

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第192695号

策划编辑:竺南直

责任编辑:竺南直

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

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:20.25 字数:518千字

版 次:2014年9月第1版

印 次:2014年9月第1次印刷

定 价:49.00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。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

译者序

本书是意大利电子公司首席技术官 Andrea De Martino 博士新近撰写的一本电子战技术专著。

全书共 6 章。第 1 章是电子战场景介绍，其中提出了电子战在对称和非对称冲突中的应用。对称冲突中的电子战应用和作用，大家都比较熟悉，但如果对抗是非对称的，那么对抗的另一方，虽然处于弱势，但是它却具有很多变数，而且大量行动是隐蔽在民用应用之中的，并不完全是用于现有的侦察、干扰技术和装备可以应对的。第 2 章介绍了电子战的作战对象，重点讲述了射频辐射源和传感器的发展，其比重超过全书的三分之一。作者用大量篇幅论述对抗对象，似乎是想说明，要想搞好对抗，清晰地把握对象的发展是必需的。当前雷达最重要的发展是，用一个各阵元由不同信号驱动的阵列向空间发射信号，充分利用时空两维特性，向用户提供尽可能多的信息。该新技术的一个基点是，信号将表现为没有简单规律可循的低截获特性，从而向电子战提出了截获、分选、跟踪、干扰上的挑战。通信更是明确地提出需要使用安全信号，其三个要素是：没有参数、没有周期、统计不平稳。于是，电子对抗同样就面对没有参数和低截获的问题。尽管作者没有深入阐述这些新技术的发展，但是，第 2 章的篇幅已经充分展示了辐射源的新形态，特别是时间、空间两维均不保证平稳，这无疑是当前电子战发展必须予以高度重视的。

第 3 章讲的是侦察系统。不过与其说是在讲述提高灵敏度和信号分选、识别的具体机理，不如说是提出了这方面存在的问题。读者必须深入考虑并回答这样的问题：对于必须对抗的对象，到底能在多远的距离上有效地截获它们？当存在多个这样的对象，特别是混杂在大量非敌对信号背景中时，用怎样的机制能将它们分选出来，并在大部分时间上跟踪它们？第 4 章讲的是测向和定位。归根到底，辐射源的位置是极为有用的军事信息。虽然这部分的篇幅只约占全书的十分之一，但是连同第 2 章的部分内容，它显示出电子战要千方百计地给出目标位置，这是电子战技术十分重要的一部分。

第 5 章和第 6 章讲述的是干扰技术，但是同时展开的、甚至更为深入论述的是抗干扰技术。同时从正反两个方面进行阐述是本书一个不错的切入点。正是由于两方面的论述，让我们看到，研究干扰，提出实际有效的干扰方法才是我们的目标。但是，侦察和锁定对象已经很困难，要获得干扰是否有效的反馈更不容易，这是我们不得不面对的现实。

本书由姜道安主译，胡来招主校。参加全书翻译、校对等工作的还有王燕、朱松、秦平、彭华、李铮。希望本书能为国内电子战界同行带来更多的思考。

电子战还面临着许多挑战，需要我们去解决，
电子战还有许多新疆域，有待我们去开拓。

译者
2014 年 4 月

目 录

第 1 章 电子战场景介绍	1
1.1 电子战的定义以及在军事中的作用	1
1.2 电子战相关的主要武器系统	2
1.2.1 火炮系统	5
1.2.2 导弹系统	5
1.2.3 主动寻的导弹	9
1.2.4 通过导弹跟踪的系统	9
1.2.5 无源红外制导导弹	10
1.2.6 掠海导弹	10
1.2.7 反辐射导弹	11
1.3 对称冲突中的电子战	12
1.4 非对称冲突中的电子战	16
参考文献	17
第 2 章 信号辐射源与传感器的发展	18
2.1 引言	18
2.2 传感器电磁频谱与大气传播	18
2.3 雷达原理与类型	21
2.3.1 雷达方程	23
2.3.2 雷达结构	25
2.3.3 雷达信号处理基本原理	29
2.3.4 自动检测	38
2.3.5 脉冲压缩	42
2.3.6 监视雷达	49
2.3.7 LPI 雷达	51
2.3.8 脉冲多普勒雷达	58
2.3.9 跟踪雷达	65
2.3.10 合成孔径雷达	79
2.3.11 双基地雷达	81
2.4 通信	88
2.4.1 接入方式	90
2.4.2 信号数字化	90
2.4.3 保密通信	94
2.4.4 通信信号编码	94
2.4.5 典型的军事通信系统	96

2.5	卫星导航系统	98
2.6	电光热像仪	101
2.6.1	最低可分辨温度	106
2.6.2	红外导弹导引头	108
2.6.3	导弹逼近告警器	114
2.7	激光雷达系统	115
2.7.1	激光目标指示和测距	116
2.7.2	激光雷达接收机	116
2.7.3	激光雷达距离方程式	117
2.7.4	目标探测	119
	参考文献	120
第3章	电子战射频波段的传感器系统	122
3.1	引言	122
3.2	电子战雷达波段传感器	122
3.2.1	RWR 架构	123
3.2.2	ESM 架构	124
3.2.3	ELINT 架构	124
3.3	电子战传感器的灵敏度	126
3.3.1	结论	130
3.4	截获概率	130
3.5	雷达波段电子战传感器架构	135
3.5.1	上一代截获接收机的架构	135
3.5.2	新型的电子战雷达波段传感器的架构	143
3.5.3	DSP 技术	150
3.6	低截获概率雷达的探测和分类	153
3.7	辐射源去交错和分选	159
3.8	辐射源识别	160
3.9	通信支援测量(CESM)	162
3.9.1	CESM	162
3.9.2	通信情报(COMINT)	167
3.10	信号情报(SIGINT)	170
3.11	结束语	171
	参考文献	171
第4章	射频测向与辐射源定位技术	172
4.1	引言	172
4.2	比幅法测向	172
4.3	单脉冲比相法测向	178
4.3.1	相位相关法测向	181

4.4	时差法测向	185
4.5	辐射源定位	191
4.5.1	三角交叉定位法	191
4.5.2	三距交叉定位法	192
4.5.3	到达频差无源定位技术	195
4.5.4	逆无源定位	198
4.6	结束语	203
	参考文献	203
第5章	电子对抗系统	204
5.1	引言	204
5.1.1	典型的 RECM 需求和任务	205
5.1.2	预警雷达干扰方程	206
5.2	雷达 ECM 结构	209
5.3	数字射频存储器(DRFM)	212
5.3.1	相位采样 DRFM	214
5.4	雷达 ECM 发射机	217
5.5	箔条	226
5.6	通信 ECM 系统	227
5.7	红外 ECM 系统	231
5.7.1	曳光弹	235
5.8	结论	236
	参考文献	236
第6章	电子对抗技术和传感器反电子对抗	238
6.1	引言	238
6.2	对抗监视雷达的 ECM 原理和技术以及相关的 ECCM	238
6.2.1	发射中的频率捷变	239
6.2.2	脉冲重复间隔(PRI)捷变	239
6.2.3	超低副瓣	239
6.2.4	多副瓣对消器	240
6.2.5	旁瓣匿隐器	243
6.2.6	自适应阵列	244
6.2.7	噪声干扰	245
6.2.8	虚假目标	246
6.3	对抗跟踪雷达的 ECM 原理和技术及其相关的 ECCM	246
6.3.1	距离跟踪环路欺骗	247
6.3.2	用于对抗雷达多普勒跟踪的雷达 ECM 技术	249
6.3.3	用于对抗雷达角度测量的雷达 ECM 技术	251
6.4	有关雷达 ECM 技术的总结	265

6.5 通信对抗的 ECM 原理和技术	266
6.5.1 噪声干扰	268
6.5.2 跟随干扰	270
6.6 ECM 技术小结	272
参考文献	272
附录 A 传感器接收机的信号检测	273
附录 B 估计理论概念简介	280
附录 C 天线与相控阵天线	284
附录 D 模拟调制方法	299
附录 E BFSK 通信系统中噪声与单音干扰提高误码率的估计	303
缩略语	307

第 1 章 电子战场景介绍

1.1 电子战的定义以及在军事中的作用

在正式的军事术语^[1]中,电子战(EW)被定义为一项旨在控制电磁频谱(EMS)的军事行动。这个目标通过进攻性的电子攻击(EA)、防御性的电子防护(EP)、情报收集与威胁识别的电子战支援(ES)行动实现。相对以前所用的术语,EA、EP和ES分别对应于电子对抗措施(ECM)、电子反对抗措施(ECCM)和电子战支援措施(ESM)。目前的定义给出的功能范围更广。

新的电子攻击功能定义除以前的电子对抗功能外,还包括了使用定向能武器(DEW)、反辐射导弹(ARM)、电磁脉冲(EMP)和核脉冲(NEMP)摧毁敌方电子设备。

新的电子防护功能定义在以前的ECCM功能上,还包括了电磁辐射控制(EMCON)、电子设备的电磁加固、电子战频率冲突排除以及通信保密(COMSEC)行动。

新的电子战支援功能定义与之前的ESM定义相比,并没有什么特别的不同之处,二者均包括近实时的威胁识别以支持迅速做出与电子攻击、电子防护、武器规避及目标瞄准行动相关的决策。

电子战功能分类如图 1.1 所示。

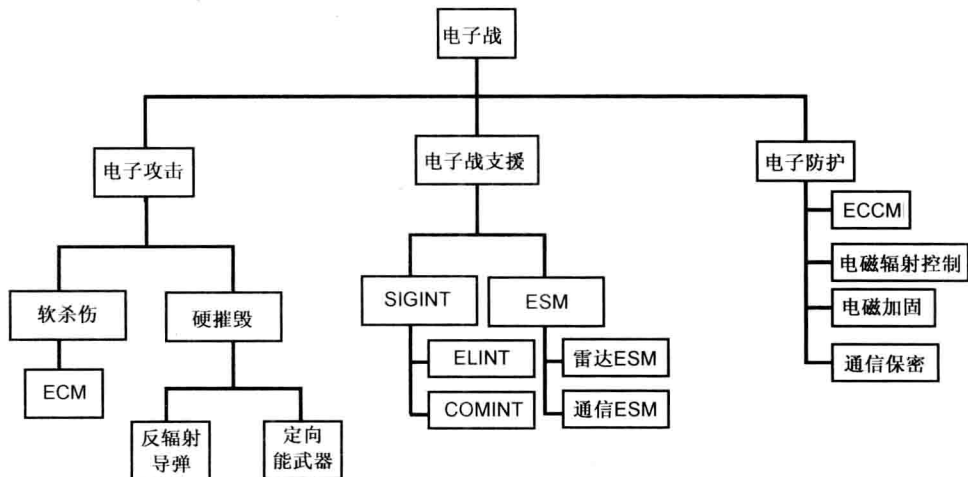


图 1.1 电子战功能分类图

电子战是指挥控制(C2)战中的军事行动之一,指挥控制战的目的在于通过破坏敌方指控的连通性,获得指控优势,从而在军事行动中取得成功。事实上,C2系统是各种链路,指挥官根据通过这些链路上报的信息和情报所作出的决策又通过这些链路通联到战场部队中去。

一个 C2 系统是由多个节点组成的网络,各个节点包括大量子系统,如传感器、导航系统、指挥与数据融合中心、通信链路等。关键节点是指如果被中断或破坏,会立即降低 C2 系统进行有效作战行动的一个单元。

指挥控制战(C2W)由五项军事行动构成,它们被综合用于 C2 防护和 C2 攻击行动中:

- 作战保密(OPSEC);
- 电子战;
- 心理战(PSYOPS);
- 军事欺骗;
- 实体摧毁。

通常情况下,作战保密与军事欺骗在军事行动的所谓“竞争阶段”(即军事冲突的开始阶段)最有效,但这五项行动对战争均是至关重要的。

作战保密是指通过控制和隐藏己方的军事规划信息,阻止敌方获得己方能力与意图相关信息的过程。心理战是指一种有计划的行动,把有影响的信息传输给敌方使其采取对己方部队有利的行动。

军事欺骗是指降低敌方情报收集、监视、目标截获和侦察(ISTAR)的准确性,从而使敌方对己方部队的能力和部署做出错误结论。

电子战通过对情报收集、通信与雷达系统实施电磁欺骗对欺骗行动提供支持。

对关键节点的实体摧毁是最希望达成且最有效的方案。它涉及武器的应用以及目标瞄准和战斗损伤评估(BDA)功能的应用,后两种功能通常是由电子和光学成像设备完成的。电子攻击通过使用反辐射导弹攻击雷达和通信源,以及利用定向能武器破坏或烧毁敌方电子设备参与攻击过程。

总之,在军事领域中(也即 C2W 框架中),电子战发挥着重要作用,电子攻击支持 C2W 攻击进行作战行动,电子防护保护 C2W 免受敌电子攻击,电子战支援提供用于规划己方 C2 攻击以及相关战场战斗损伤评估所需的信息,从而给 C2W 规划提供效能反馈。

1.2 节中简要描述了由电子传感器驱动的主要武器系统的工作原理,它们是电子战行动的潜在基础,随后将讨论对称冲突(1.3 节)与非对称冲突(1.4 节)中电子战的应用。

1.2 电子战相关的主要武器系统

各国及其盟国的军队通常至少由三部分组成:陆军、海军和空军(在本书中,将海军陆战队归到海军)。三军分别承担国家/联盟不同的领土防御任务以及与敌方进行战争活动等任务。在执行任务过程中,三军各自拥有大量不同的武器系统平台,例如弹药、枪炮和导弹,其任务是摧毁敌方设施。

摧毁敌方设施,最好是在远距离完成,以防止对己方设施造成损害:距离越远,己方资源的安全性越高,因为这降低了敌方有效反击的概率。目前对现代武器的设想是在更远的距离打击目标,同时以更快的速度覆盖这样的距离,从而缩短敌方有效防御的反应时间,提高武器的成功概率。武器系统需要足够高的瞄准精度,这一需求通过远程探测和准确跟踪目标的电磁传感器(和电子设备)得以满足,从而使炮火或导弹能够对目标实施精确轰炸和精确制导。各种空对地攻击的示意图见图 1.2^[2]。

空军的任务是确保相关区域上的空中/太空优势以及防空。上述任务是通过综合防空系统(IADS)完成的。它由大量资源构成,包括:

- 防空系统,由地面与机载预警雷达、地空导弹(SAM)的指挥控制中心以及要地与机场防空高炮(AAA)组成;
- 空中优势(或制空)战斗机;
- 突防/攻击飞机。

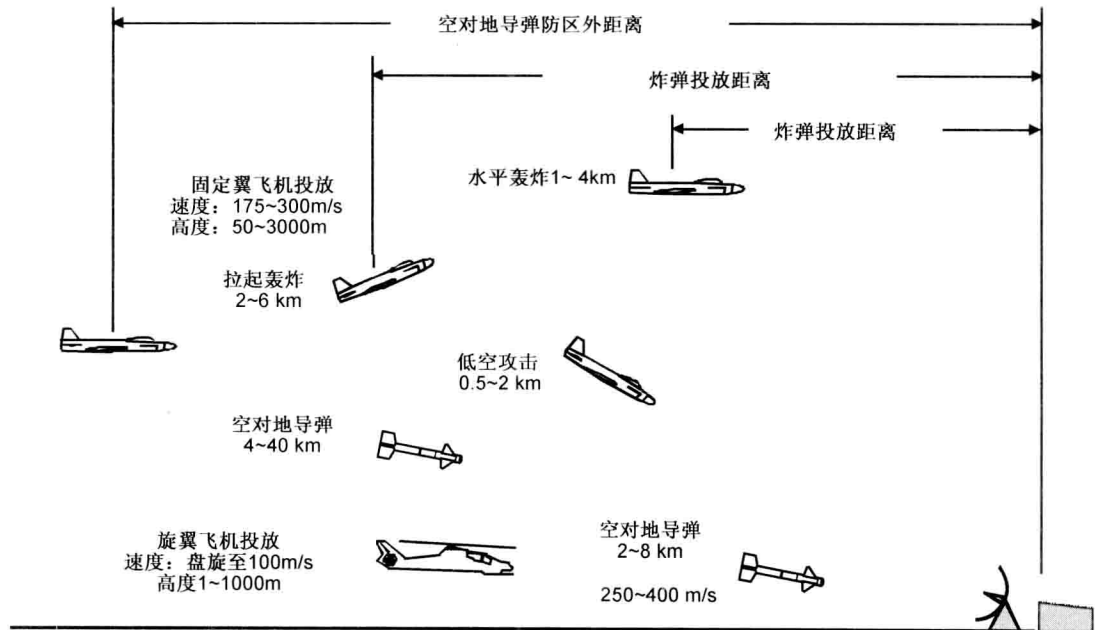


图 1.2 对地面设施的空中攻击示意图

电子战的目的是控制电磁频谱,使己方部队获得优势并对敌传感器实施压制,通过对其定位以及采取旨在降低其性能的行动而达成,通过放大敌方的问题并限制、削弱其相关武器系统效能(即杀伤概率)实现。

下述简要讨论主要武器系统的工作原理。其驱动传感器的工作及其局限将在第2章中详细讨论。

武装部队所采用的主要武器系统类型如下:

(1) 地面/舰载或机载预警监视系统。预警系统由远程(超过400km)监视雷达组成,主要工作在较低的雷达频段(100~3500 MHz)。

(2) 各种类型的导弹系统,包括:

- 地对空导弹;
- 空对空导弹;
- 反舰导弹或对付地面高价值目标的导弹,它们从空中发射(ASM)或从地面/水面发射(SSM)。

上述导弹均可从防区外距离(即从发射平台的飞行距离)由雷达或红外导引头制导;红外制导导弹通常比雷达制导导弹的作用距离更短。反舰导弹主要采用雷达制导,但有些为

复合制导(雷达+红外)。其他导弹类型包括:

- 反坦克系统,主要采用有线制导或红外激光制导,有些由毫米波(MMW)雷达制导;
- 反辐射导弹(ARM);
- 弹道导弹(攻击能力类型如图 1.3 所示)。

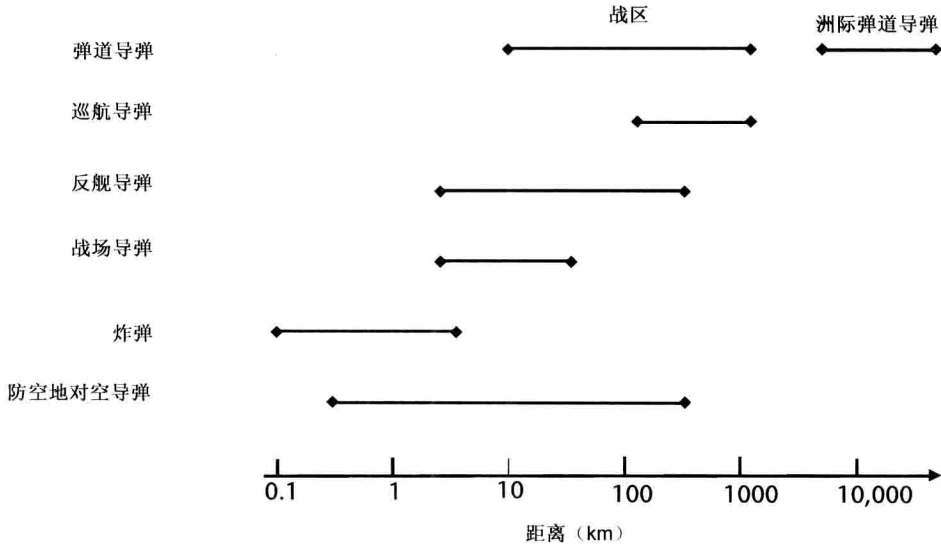


图 1.3 各种导弹攻击类型

各种导弹类型的典型作用距离如图 1.4 所示。

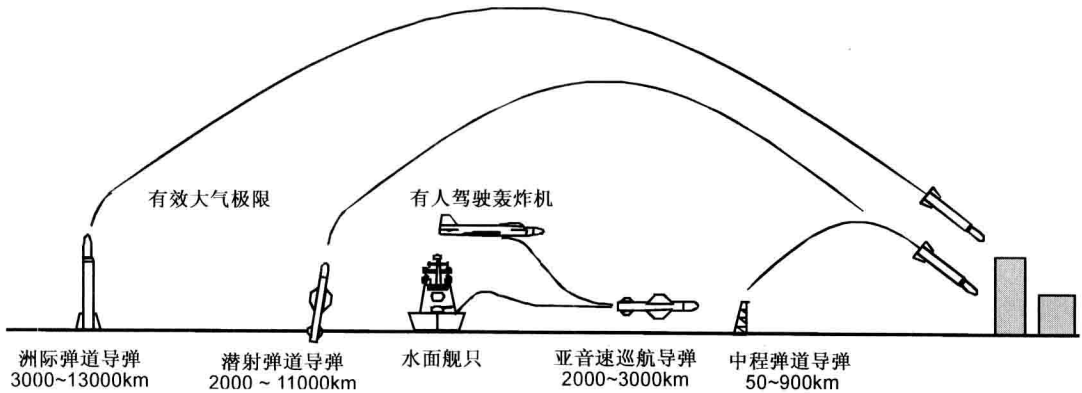


图 1.4 陆地与海上攻击武器相对于防空系统距离范围的典型防区外距离

(3) 火炮系统,如雷达制导防空高炮。

(4) 打击坦克或建筑物用的精确制导弹药,由光学/红外跟踪器与激光测距仪制导的炮弹构成。

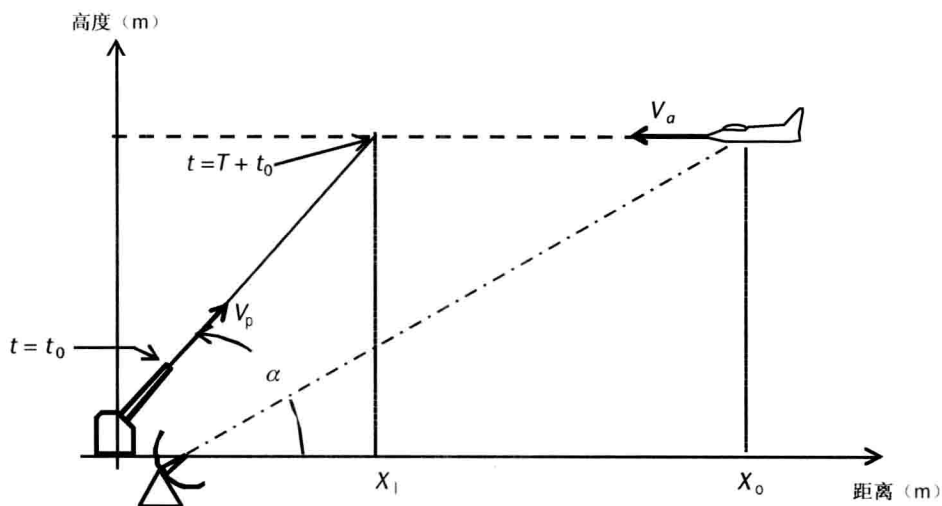
(5) 通信网络,通信网络是所有军事行动的支柱,为 C2 提供战斗态势信息并处理 C2 下发的各项指令。

1.2.1 火炮系统

火炮系统一般由各种口径的枪炮构成,可对固定和移动目标进行射击,并受火控系统(FCS)命令的操纵。火控系统根据目标参数、弹道与枪炮参数、气象条件计算出达到目标的射弹弹道。

对于飞机等移动目标,防空高炮火控系统装有跟踪雷达,在该雷达收到监视雷达发出的2D数据(射程和方位)后,对指定目标进行俯仰截获搜索。一旦截获到目标,跟踪雷达就连续为火控系统提供精确的3D(射程、方位与俯仰)目标坐标,并通过该数据确定目标的运动数据。通过这些数据和对目标弹道的推断,确定出火炮射击对目标的拦截点,如图1.5所示。

为了达到所需的杀伤概率,必须进行大量射击。在射击过程中,跟踪雷达测量炮弹对飞机的脱靶距离,使火控系统能够校正炮弹的瞄准点和所计算的炮弹弹道。如果成功射中目标,跟踪雷达还将提供对目标交战的毁伤评估。



V_a = 目标速度(m/s) T = 炮弹飞行时间(s)

V_p = 飞行时间内炮弹的平均速度(m/s)

α = 方位角(rad)

X_1 = 拦截点(m)

X_0 = 发射时间的目标位置 t_0 (m)

$$X_1 = X_0 \frac{V_a \cos \alpha}{V_a + V_p \cos \alpha}$$

图 1.5 防空高炮对目标弹道的拦截点

防空高炮的杀伤概率主要取决于跟踪雷达所提供的目标的运动数据和弹道数据的测量精度,在某种程度上还取决于炮弹的杀伤半径。

1.2.2 导弹系统

当对目标的运动数据和弹道的测量都很准确时(尤其是目标处于非机动状态时),并且弹道飞行时间很短时,火炮系统在近程上是相当有效的。对于远距离的情况,弹道飞行时

间长,目标有机会机动,经过适度的机动就会使计算的拦截点变得无效。

通过两类导弹可增加拦截点的距离:一是使用惯性制导或全球定位系统(GPS)导航攻击固定位置目标的导弹(弹道导弹和地形匹配制导);二是通过制导对移动目标(即使在交战期间这些目标处于机动状态)实施攻击的导弹,即制导导弹。

后一种类型的导弹又分为两类,其差别是所用的制导类型:指令制导或导引头制导。实际上,导弹可通过跟踪目标或导弹的远程传感器(雷达、红外或光电探头)或导弹内部传感器(称为“导引头”)的指令制导跟踪目标。

制导导弹一般包括以下设备^[3]:

- 接收机:解调远程传感器发来的指令数据;
 - 导引头(雷达、红外或光电探头):封闭在顶段天线罩/红外罩内,可跟踪目标并形成发往制导系统的指令信号。
 - 弹头:含有摧毁目标的爆炸物,爆炸物一般使用近炸引信触发,从而使处于弹头杀伤半径内的所有目标都会被击中。
 - 制导系统或自动驾驶仪:将导引头发来的指令信号转换为安定翼的位置,从而引导导弹指向目标拦截点。
 - 引擎:由推进装置推动,为导弹提供动力并提供导引头与制导系统所需的电源。
- 导弹和导弹导引头/制导系统的工作示意图如图 1.6 所示。

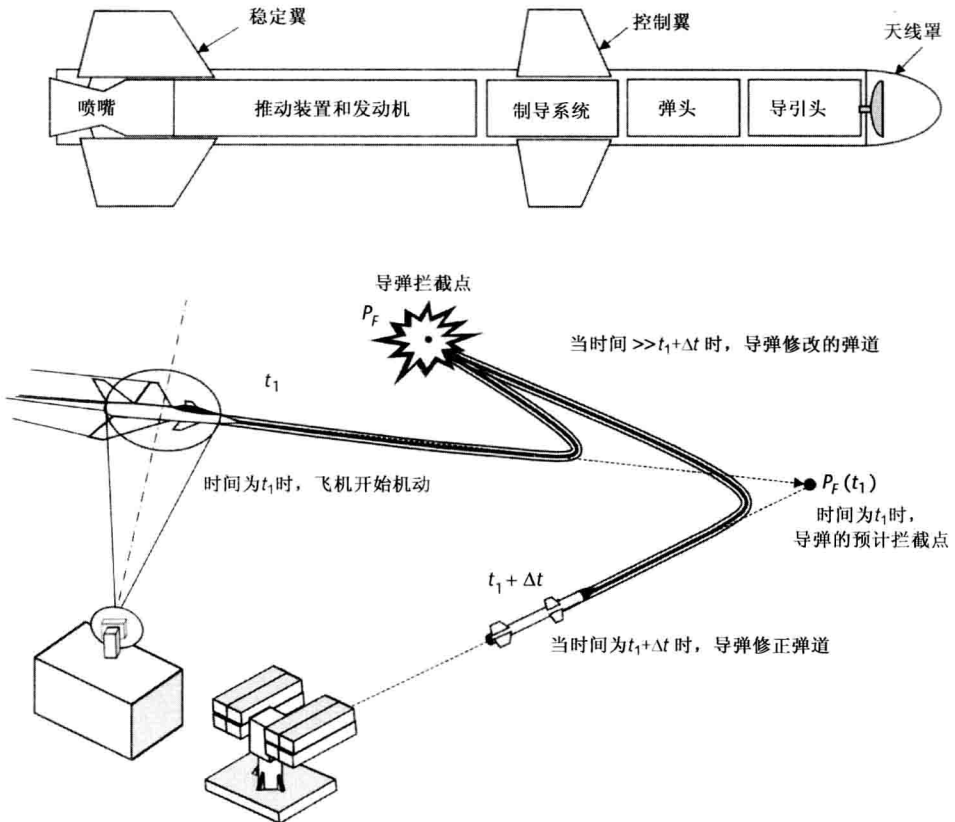


图 1.6 导弹结构和导弹导引头/制导的工作示意图

导弹武器系统包含有搜索雷达,如果是地面或舰载导弹系统,它将向 C2 上报相关信息,如果是机载导弹系统,它要向主计算机上报信息,用于评估威胁并引导跟踪雷达以及武器系统的相关导弹发射装置,导弹发射装置一般能够快速按序发射多枚导弹。

导弹系统类型多样,包括攻击敌方固定位置的超远程弹道导弹和远程巡航导弹系统、防御较大范围(包括地面和海面)的局域中远程(50~150 km)导弹系统以及防御/攻击高价值目标(如舰船、机场、军事地面设施)的中近程(5~50 km)战场导弹系统。

导弹可采用多种制导系统,从近程的指令制导和架束制导系统到中远程的半主动和主动寻的导弹。超远程和远程导弹系统通常只在飞向目标的末端采用主动寻的,在其余飞行过程中则通过惯性制导或卫星导航系统或记录的地形数据对导弹进行引导。

指令导弹由地面/舰载导弹武器系统的指令链路发射的指令进行制导,这些武器系统装有两种跟踪雷达:目标跟踪雷达(TTR)和导弹跟踪雷达(MTR)。导弹一般提供有信标,以便导弹跟踪雷达进行跟踪。两种跟踪雷达由一个通用指挥控制中心管理,它评估从跟踪雷达得到的数据并计算出指令发送给导弹。使用两部独立的跟踪雷达可确保为导弹选定最佳的拦截弹道。指令制导中有一个跟踪器对目标和导弹进行跟踪。这种情况叫作指令视线制导(CLOS),导弹必须始终保持在瞄准目标的雷达波束内。

由于角目标跟踪精度 σ_θ 是雷达波束宽度 θ_B 的一部分(通常 $\sigma_\theta = 0.01 \sim 0.05\theta_B$),假定导弹飞行对准了雷达的视线,那么导弹对目标的脱靶距离 m_d 随着目标与跟踪雷达的距离 R 增加而加大,即 $m_d = R\sigma_\theta$ 。因此,指令导弹通常在近程时使用。这些系统的优势在于该导弹简单并且地面/舰船上采用的跟踪雷达有效辐射功率(ERP)高,能提供良好的 ECCM 特征。

架束导弹上有一部弹载接收机,可感知导弹是否对准了跟踪雷达的视线,向导弹制导系统提供该数据以控制导弹保持在波束内。如图 1.7 所示,该导弹在打击的末端,即使在目标没有机动的情况下,也要沿着一个需要大的加速度的弹道。这种导弹制导类型大多用于攻击慢速的非机动目标,因为,这只需要较小的加速度。

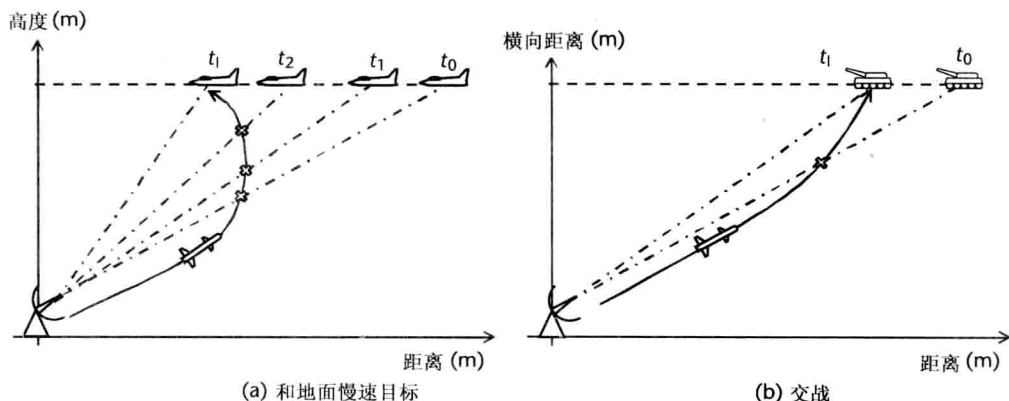


图 1.7 架束导弹与飞行目标

半主动寻的导弹装有射频导引头,当高功率的连续波(CW)或间断的连续波(ICW)跟踪雷达照射到目标时,射频导引头的接收机能够对目标的散射信号进行无源角跟踪。该类导弹的优势在于不需要费用高昂的弹载发射机。这种类型的导弹类似于有源脉冲多普勒

(PD)导弹,可通过多普勒频率信号处理区分目标和杂波物。角跟踪信号在非常窄的带宽内(1kHz 的量级,因此也可实现较高的接收机灵敏度)处理,其频中位于接近速度 v_c 相关的多普勒频率 f_d 处(即 $f_d = 2v_c/\lambda = 2(v_t + v_m)/\lambda$),其中, λ 是传输波长, v_t 和 v_m 分别是目标与导弹沿目标——导弹连线的速度投影,如图 1.8 所示。

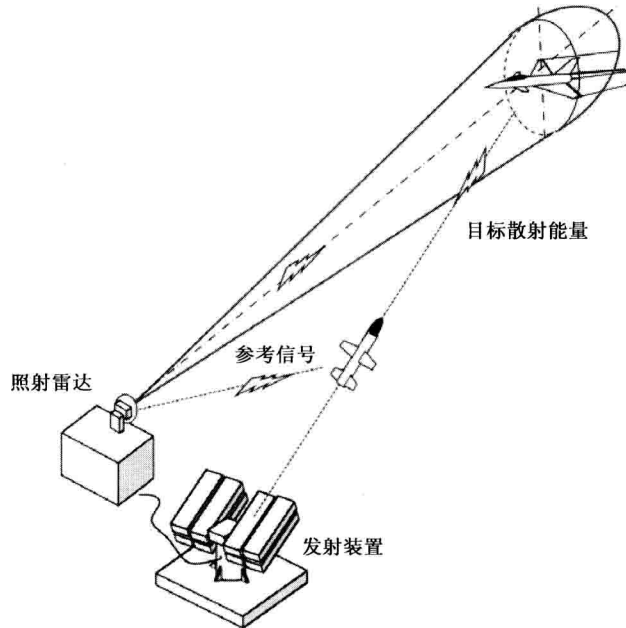


图 1.8 半主动寻的导弹的工作原理

在打击末端,导弹角跟踪精度不再取决于与跟踪/照射雷达的距离,因为导引头已接近目标,导弹不再需要驻留在照射波束内,因此导弹可采用比例导引,如图 1.9 所示。

导弹朝预测的拦截点发射,同时导引头天线对目标进行跟踪。参见图 1.7,导弹已经确定目标,也定义了角度参数。通过该图,可证明导弹速度矢量的校准指令(因为导弹以匀速度 v_m 飞行时,只有一个横向加速度 a_{lm})只能通过其旋转率 $d\gamma/dt$ 发生作用,该旋转率与测得的导引头视线的旋转率 $d\alpha/dt$ 成正比,这个选定的导航常数(无量纲) $N = k(v_t/v_m)$,其中, v_t 为目标速度, k 为常数(通常假定在 2~4 之间)。

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = N \frac{d\alpha}{dt} = N \dot{\alpha} = k \frac{v_t}{v_m} \dot{\alpha} \quad (1.1)$$

由于横向加速度可采用上述方程式表示,可得出

$$a_{lm} = v_m \dot{\gamma} = v_m k \frac{v_t}{v_m} \dot{\alpha} = k v_t \dot{\alpha} = k a_{lt} \quad (1.2)$$

这意味着施加给导弹的横向加速度与目标横向加速度 a_{lt} 成正比。采用该制导方式,在拦截匀速航行的飞行目标时,不会对导弹施加横向加速度。因此,导弹的全部加速度只在目标规避机动时施加在导弹上。该功能使导弹具有更远的拦截距离,同时在打击末端有一个合理的剩余加速度。

半主动导弹系统非常有效,是中远程地空导弹的主要构成。该制导方式的主要不足是

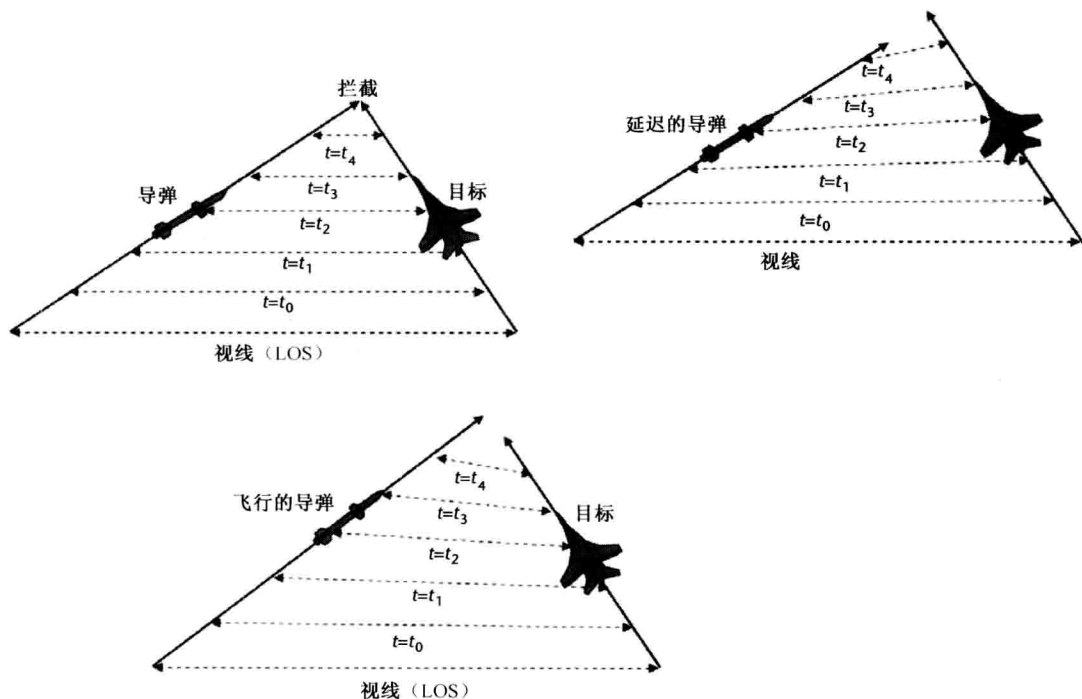


图 1.9 半主动导弹与飞机交战的弹道比例导引法则

在导弹全程飞行过程内始终要求对目标进行照射，这在空空交战中是非常危险的，因为发射平台必须保持接近目标，从而有可能被敌机攻击。

1.2.3 主动寻的导弹

主动寻的导弹的导引头是一个完整的跟踪雷达；也就是说，它具有发射机，可自主确定目标，无需发射平台的协助。因此，这种导弹被称为“发射后不管”的导弹。

中远程主动寻的导弹具有双重制导系统：目标飞行初期中使用惯性制导或指令制导，当距离目标一定位置时，转换为主动寻的比例导引。

由于需要发射机，所以该类型导弹成本较高。

1.2.4 通过导弹跟踪的系统

为了以合理的费用改进中远程的性能，通过导弹跟踪(TVM)的系统^[4]采用指令与半主动导弹混合制导。

这样的系统需要地面照射器和安装在导弹上的半主动雷达传感器。但是，角跟踪数据不能在导弹内进行处理，需通过下行链路发送给地面发射平台上功能强大的中央处理器。目标与导弹的弹道数据在中央处理器内进行处理，然后通过上行链路将精确的制导指令发送给导弹。

现代系统采用基于相控阵技术的多功能雷达(“爱国者”、“主要防空导弹系统”等)，对于半主动和 TVM(借助于 ICW 照射器)、主动寻的器导引头或指令制导，无论哪种类型的导弹，均可同时向其提供多目标同时交战能力。装有相控阵火控雷达的导弹系统可在分时模式下同时发射和跟踪多枚导弹攻击不同的目标。如果是半主动和 TVM 制导，相控阵