

电子战导论

〔美〕D·柯蒂斯·施莱赫 著

中国人民解放军总参谋部第四部

解放军出版社

电子战导论

美国D·柯蒂斯·施莱赫 著



解放军出版社

出版说明

《电子战导论》(Introduction to Electronic Warfare)由美国Artech House公司于1986年出版。书中对电子对抗领域的许多重要课题进行了综合论述,重点介绍了雷达对抗,同时对通信对抗、武器系统、指挥控制与通信(C³)系统也作了较为全面的介绍。

电子技术的迅速发展对电子对抗战术和技术产生着深刻影响,本书作者从电子对抗领域的新概念和新技术出发,通过对现代雷达和C³系统弱点的检讨,阐明了电子对抗的基本原理,然后就如何利用这些弱点进行侦察和干扰作了详细论述。本书对于从事雷达、电子对抗工作的科研人员、工程技术人员、机关参谋人员和院校师生是一本比较重要的综合参考书,现全文翻译出版。

总参谋部第四部

前 言

《电子战导论》对电子战这一广泛领域中的若干课题进行了探讨，目的是使从事这个领域工作或对此领域感兴趣的人们对电子战有个总体的、概略的了解。因此，本书的主要对象是那些对电子战领域的某些方面已有一般了解，但仍希望对整个电子战领域有更广泛认识的具有大学毕业水平的工程技术人员。

本书重点是有关雷达电子战的应用。这是在有限篇幅中阐明如此广泛课题的一种切合实际的做法。本书还有选择地讨论了通信电子战、电子武器系统，以及指挥、控制、通信(C³)系统中的一些课题。在全书中，始终强调对电子战原则的基本了解以及研究现代雷达和C³系统的薄弱环节，并说明电子支援和电子对抗系统是如何利用这些薄弱环节的。

电子战领域广阔的前景，电子战专用词汇的定义，以及电子战威胁分析和模拟的方法将在第一章中论述。第二、三章主要论述电子支援和电子干扰系统在雷达电子战中的应用，也顺便讨论了通信电子战方面的一些问题。第四章相当完整地从事系统角度讨论了雷达，重点是雷达在武器系统中的应用及其电子反干扰性能。第五章概述C³系统，重点是通信系统，指挥、控制、通信与情报系统(C³I)和防空系统。第七章从机载电子对抗设备的角度探讨现代电子战的信号处理。第八章的内容是关于电子战领域内技术的未来发展趋势，所讨论的课题包括毫米波电子战，低可探测性电子战技术，砷化镓单板电路，超高速集成电路，以及人工智能等等。

电子战系统和雷达系统的性能计算将在第六章中论述。读者

会注意到该章讨论方式的变化，即方程和算法是以传统的方法处理的，标出方程号，并列出每一道方程式。在本书的其他各章中，方程包含在正文中，以保证阅读的连贯性，为便于理解常常是紧随方程之后举例。

第六章对雷达探测理论的处理，重点是性能计算和参数关系，给出了一些适合小型可编程计算机使用的算法。按照马克姆—斯惠林理论，可用这些算法精确地确定信噪比。这就避免了一些标准雷达教科书上和计算机表格中存在的各种马克姆—斯惠林参考曲线间有时发生的混乱。集中详尽地阐明雷达性能计算是基于这样一种概念：只有了解了雷达是如何在自然环境下工作的，才可能了解应用于干扰信号所获得的效果。

本书的材料曾被乔治—华盛顿大学用作几个为期5天的短训班的教材，也曾被伊顿公司机载仪表实验室在专业培训计划中作为两学期的电子战课程。在上述课程的教学过程中，发现采用与本书不同的顺序来使用这些材料更为方便，这是由于教学对象具有不同的电子战基础知识背景。他们中有些人具有技术和系统的电子战专门知识，而另一些人仅有一般常识。

在这些电子战课程的教学过程中，首先采用第一章建立一个完整的电子战总概念，内容包括电子战专用术语、定义以及该领域的各个分支。然后用第一、五章中有关C³对抗的材料描述整个电子战战略。接着再用第一、四、五章中有关雷达、武器系统和C³I系统的例子说明电子战威胁的特点。

接下来再用第二、三、七章描述现有的及先进的电子支援侦察和电子干扰系统的功能。根据第三章所列举的先进功率管理电子对抗系统提供的材料，在第七章中详细地说明了电子战信号处理的特征。

第八章用来解释电子战技术的未来的趋势。在说明电子战技术及未来趋势前，正确地评价电子战系统理论能更全面地理解电子战技术推动者们左右电子战发展的作用。然后用第四章的材料

阐明电子干扰理论。最后再用第六章的内容说明雷达和电子战的性能计算方法。

电子战领域十分敏感，这一特点要求本书采用的一切有关电子支援、电子干扰、雷达和武器系统参数的资料均取自公开文献。参照非保密来源资料可使我们有可能列举一些电子战系统的实例，而不是假设的例子，这样做有时还能防止敏感问题的发生。本书的内容在出版前已经过国防部审阅，认为可公开发行。当然，本书中采用的具体电子战系统的数据未经证明。另要说明，第三、六章中针对ASR-9雷达给出了一些干扰计算的实例。这样做的原因有两个：其一，该型雷达的各项参数已经清楚地写在联邦航空局的性能规范中；其二，该型雷达主要用于民用航空交通管制。因此，它易受干扰的弱点没有任何军事意义。

在此，谨向为本书出版给予大力帮助的几位先生表示感谢。他们是：埃德·德罗金，他撰写了第七章(信号处理)，并帮助编辑第一、二、三和八章；杰西·陶布，审阅第八章(电子战技术及发展趋势)；戴夫·巴顿，他原先提出过编写此书的建议，并通篇审阅了所有的手稿，提过许多有用的建议；我的夫人卡罗尔，所有的手稿都由她打印成文，其中包括第六章中的方程，并在校样中是我不可缺少的帮手。

D·柯蒂斯·施莱赫

1986年2月

0133023

目 录

前言

第一章 电子战原则及概论	(1)
第一节 电子战的分类	(5)
电子战的定义及范围	(5)
第二节 电子战作战任务及作战环境	(28)
电子战雷达威胁环境	(28)
电子战通信威胁环境	(38)
第二章 电子支援接收机	(45)
第一节 雷达告警接收机	(47)
第二节 目前使用的电子支援接收机	(59)
晶体视频接收机	(59)
超外差接收机	(62)
瞬时测频接收机	(65)
第三节 先进的电子支援接收机	(73)
信道化接收机	(79)
压缩接收机	(85)
声光布拉格接收机	(94)
第四节 无源测向和辐射源定位	(99)
第三章 电子干扰	(114)
第一节 噪声干扰	(127)
噪声干扰的效果	(132)
干扰机的间断观察	(136)
功率管理	(138)

第二节 欺骗干扰	(141)
距离门欺骗	(147)
角度欺骗	(149)
速度欺骗	(165)
第三节 现代电子干扰系统	(169)
对付脉冲压缩雷达和低截获概率雷达的电子干扰 ..	(175)
第四节 一次使用的电子干扰	(183)
箔条	(188)
第四章 雷达与电子反干扰	(205)
第一节 雷达在武器系统中的应用	(206)
第二节 监视雷达	(209)
监视雷达设计原则	(212)
第三节 目标截获雷达	(241)
第四节 武器控制雷达	(243)
跟踪雷达设计原则	(244)
目标跟踪雷达	(249)
边扫描边跟踪系统	(250)
相控阵跟踪雷达	(252)
跟踪雷达反干扰的考虑	(256)
第五节 飞机控制雷达	(260)
第六节 武器定位雷达	(264)
第七节 导弹制导雷达	(266)
第八节 导航和地形测绘雷达	(272)
第九节 雷达类型和特性	(277)
两坐标雷达	(277)
三坐标雷达	(283)
动目标显示雷达	(288)
脉冲多卜勒雷达	(293)
特殊用途雷达	(297)

第五章 C³系统	(327)
第一节 战略C ³ 系统	(330)
第二节 战术C ³ 系统	(335)
海军战术数据系统	(335)
战术空军控制系统	(337)
快速部署部队的C ³ I系统	(340)
战术数据链	(343)
战术通信电台网	(349)
C ³ 导航系统	(352)
第三节 C ³ 对抗	(353)
第四节 防空系统	(356)
预警雷达	(363)
机载预警雷达	(363)
地面控制截击雷达	(366)
空—空导弹制导系统	(368)
地—空导弹系统	(369)
第六章 雷达与雷达干扰的性能分析	(381)
第一节 雷达的检测性能	(382)
搜索雷达的检测性能	(383)
累积检测概率	(430)
第二节 干扰方程	(440)
回答式干扰方程	(445)
第三节 电子战接收机的灵敏度	(447)
扫描式超外差接收机的灵敏度	(452)
第七章 电子战信号处理	(462)
第一节 输入信号处理	(464)
信号环境	(465)
电磁传感器分系统	(467)
接收机分系统	(470)

预处理器	(476)
第二节 输出信号处理	(484)
计算机	(485)
干扰逻辑	(486)
第八章 电子战技术及发展趋势	(496)
第一节 电子战天线技术	(499)
固定波束电子战天线	(501)
电子干扰相控阵天线	(509)
透镜馈电多波束阵	(516)
第二节 干扰发射机功率源技术	(523)
电子干扰行波管	(527)
砷化镓场效应管放大器	(533)
压控振荡器	(539)
数字射频存储器	(542)
第三节 电子战接收机技术	(545)
低噪声接收机	(548)
表面声波延迟线	(550)
第四节 毫米波电子战	(554)
第五节 低可探测性电子战技术	(562)
第六节 超高速集成电路	(565)
第七节 人工智能	(574)

第一章 电子战原则及概论

现代电子控制、引导及指令控制武器的激增引起了一个科学领域的迅猛发展，这个领域通常被称为电子战。电子战的基本理论是，在整个电磁频谱范围内，利用敌方的电磁发射，提供有关敌方战斗序列、作战意图和作战能力的情报，采用对抗措施，阻止敌方有效地运用通信和武器系统，并同时保护己方有效地使用同一频谱。一条已被普遍接受的军事原则是，任何一场未来战争的胜利，将属于能最有效地控制电磁频谱的一方。

电子战是一个动态变化的领域，它必须对不断变化的威胁作出响应。这一点在它从第二次世界大战中的早期应用到现在的演变中反映了出来。因为在参考文献^(1,2)中已经清楚地说明了这个问题，在此不再赘述。这里，我们将详细论述现代电子战理论，它是军事战略不可缺少的基本要素，当与其他军事设施协同使用时，它将提供一种削弱敌方力量（战斗力倍减效应）而同时加强己方力量（战斗力倍增效应）的方法。

依据现代战争理论，电子战是整个军事战略的重要组成部分，它集中力量压制敌方指挥和控制系统（即 C^3 系统，第三个C是要强调通信的重要性），同时保持己方 C^3 系统的工作能力。为了理解这一战略，在此我们先离开主题，简单说明一下指挥和控制系统的必要性及其功能（第五章将更完整地论述 C^3I 系统）。基本理论是，仅干扰一部雷达或一个通信系统，也许对敌方武器系统的工作不会产生多大影响，尤其是当被干扰对象是备用网的组成部分时，影响更小。因此，有必要摧毁敌方武器系统的一个节点，为完成此项任务，仅电子战本身也许不是最佳方式。

对指挥和控制系统的需求是随着现代战争的发展而出现的，并由于武器平台的机动性、武器的射程和杀伤力的发展而不断增加。现代战争的发展速度和现状，要求运用电子战手段来控制武器的运用，评价它们的效果，并统管整个武器系统的战斗使用。这样，连接各种传感器、作战指挥所和通信中心的总体结构便组成了指挥和控制系统。指挥官就通过这样一种结构去指挥他的部队，完成指定的作战任务。通信线路、指挥所、传感器和情报/传感器协调中心都是“反指挥和控制系统”作战行动的主要目标。

苏军提出了一种战略，称为无线电电子斗争。他的定义是综合运用电子战和硬摧毁武器，阻止敌方对其部队的电子控制^[3]。无线电电子斗争已成为他们战斗计划必不可少的组成部分。他们在与北约组织发生冲突时将采取的战略是，在主要战斗之前尽早运用炮击和空中攻击，尽可能多地摧毁北约部队。同时运用无线电电子斗争对付一大批经选择的北约指挥和控制系统，使其混乱和失效。如果计划执行得顺利，剩余部分将十分虚弱，苏军将很快取胜^[4]。

苏军对无线电电子斗争理论的推崇，显然是出自他们军事战略中所强调的“自上而下”的控制体系和对预定计划的依赖。这就造成了苏军对其指挥和控制系统极大依赖性，这一点在其庞大和冗余的通信系统和指挥网中反映出来^[5]。所以，既然指挥和控制对一方的战略是如此重要，那么运用无线电电子斗争去破坏敌方的指挥和控制就是抑制敌方作战能力最为有效的方式了。

最近，美军也提出了相当于无线电电子斗争的战略^[6]，称之为C³对抗措施。C³对抗（见第五章第三节）的定义是：综合运用作战保密、军事欺骗、电子干扰和实体摧毁手段（均借助于情报支援），不让敌方获取情报，从而影响、削弱或摧毁敌C³能力，同时保护己方C³系统免遭类似行动的破坏。电子战是这一战略的组成部分，其任务是控制电磁频谱，同样，各种武器、战斗机、

表1-1 电子战要求

平 台	威 胁	电 子 战 技 术
飞 机	地对空导弹 高射炮	威胁告警及定位 支援干扰 自卫干扰 箔条/投掷式干扰机/红外对抗措施
	光学瞄准具	高能ART灯/涂料/烟幕/激光
	截击机	威胁告警及定位 通信干扰 防空区外干扰 红外对抗措施
舰 艇	空对舰(导弹和炸弹) 舰对舰导弹	威胁告警及定位 自卫干扰 假目标(旋转翼飞行器和直升机拖曳) 箔条(迫击炮和火箭发射) 红外对抗措施
	水下对水面导弹	
地面部队	战场侦察和反迫击炮雷达	威胁告警及定位
	无线电引信火炮	无线电引信干扰机
	战术通信	通信干扰机 噪声干扰机
	反坦克武器	红外对抗措施

情报、通信和其他军事系统在此战略中也都有其特定的任务。这项战略的贯彻在美国国防部内仍处于形成阶段，在各军种还未得到重视^[5]。但是，这一完整的C³对抗战略是必然要实现的，因而它是电子战未来工作的发展趋势。

了解作战任务的要求是了解现代电子战系统的一种方法。便利的方法是将威胁分为对空军平台、对海军平台和对陆军平台的威胁。表1-1中列出了对付不同威胁的电子战技术。关于电子战要求的详细情况将在后面的章节中加以讨论，在此我们要用表1-1说明两种电子战设计思想。

美国及北约盟国现在采取的主要电子战设计思想是“独立”式电子战，这一点在表1-1中作了说明，所有平台都具有电子战自卫能力。在此，主要的考虑是生存能力，而将此项功能隶属于整个C³对抗战略是困难的。

因此，当前用于对付敌方行动的大多数平台仅有一部雷达告警接收机和起码的对威胁测向能力。威胁告警接收机经常与自卫干扰机相交连，并与箔条或闪光弹等诱饵系统组合在一起。诱饵可将威胁武器从被保护目标引开。

这种独立的电子战设计思想产生于从第二次世界大战至60年代所存在的电子威胁环境，并保留至今。在这段时间内，威胁环境中仅有数个雷达制导的威胁目标，且工作原理和频段都十分清楚。当时的电子战是一种简单的对抗措施，要对付的敌武器系统无论在频谱上还是地理位置上分布都比较疏散。基本的电子战对抗方式是一对一，每个平台都要携带为在这种环境中取胜必需的电子战设备。这种思想仍然存在，但是要携带足以对付当今复杂威胁环境的电子战设备，哪怕仅为生存，对任何一个平台（尤其是机载平台受负载重量的限制）都是困难的。

当前另外一项电子战任务是压制敌防空体系。这项任务要求混合使用多个平台上的电子战技术，并与其它非电子战军事设施协同。这种防空压制思想适用于C³对抗战略。依据这种战略，电

子战设备的任务是压制敌方一些关键的雷达和通信联络，以帮助削弱敌整个防空C³体系，并保护己方用以指挥、控制任务的C³能力。

第一节 电子战的分类

给不断更新且随着威胁的变化而不断作出响应的电子战领域进行分类，实在是一件困难的事情。但是，给从事这个领域的工作或是对此感兴趣的人们提供一个共同的结构仍是必要的。目前，最好的并且已被广泛引用的结构，是基于美国参谋长联席会议编写的军语词典中的一组定义^[7]。下面我们就来讨论这些定义^[2,4,8]。

电子战的定义及范围

电子战是一种军事行动，它包括使用电磁能量去探测、利用、消弱或阻止敌方使用电磁频谱，并保护己方使用电磁频谱。电子战的组织形式主要有三大类：电子支援措施，电子对抗措施和电子反对抗措施。主要领域及一些分支见图1-1。

电子支援措施

电子支援措施是电子战的一个组成部分，它包括对辐射电磁能量的搜索、截获、定位及迅速识别等行动，旨在迅速识别威胁和供部队进行战术利用。电子支援措施的主要功能是截获、识别和分析敌辐射源，并确定其位置。电子支援措施是一种战术手段，要求立即行动。这一点有别于情报搜集中的类似功能，如信号情报及其组成部分：电子情报、通信情报和辐射情报。

例如，雷达告警接收机就是一种电子支援系统，它截收雷达信号并实时分析其相对威胁程度。为完成这些分析，在雷达告警接收机的微处理器中必须有一个威胁数据库，用来存放敌军电子战斗序列数据。电子战斗序列是通过电子情报或电子侦察获得

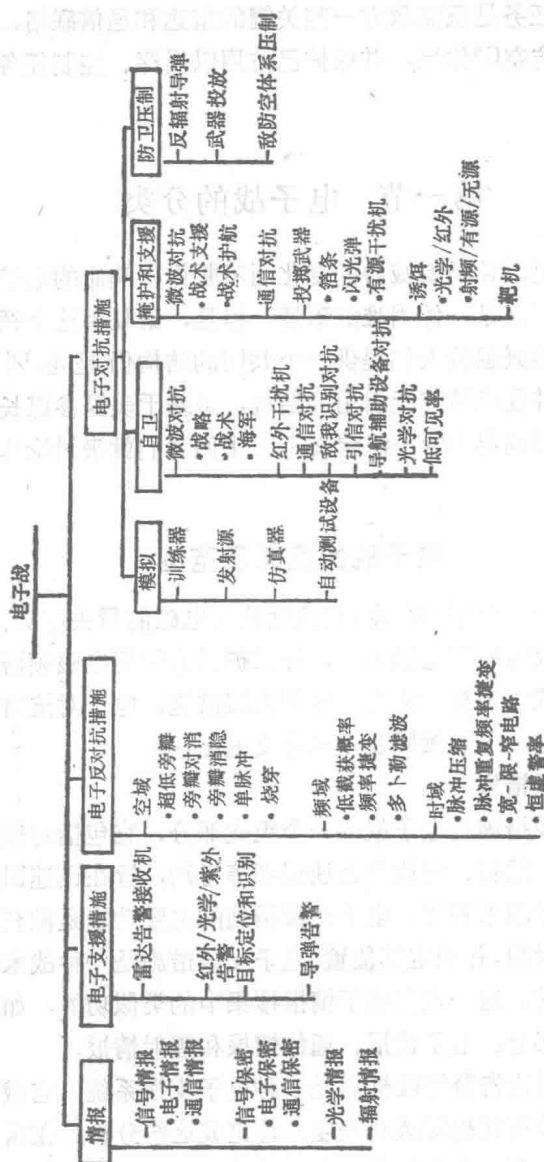


图1-1 电子战的领域

的，为了今后分析的需要，它应搜集并记录尽可能多的敌军非通信设备的数据。

电子支援措施在用来探测敌军系统时，完全被动地工作，这是它的一个重要优点。它还具有一种潜在能力，即可探测敌雷达、激光和声纳等传感器的辐射，而且其探测距离比这些传感器的最大作用距离要远得多。但它也有缺点，一般需要从几个不同位置对同一个目标侦察，然后用三角定位法才能确定被截获辐射源的距离。

为对付电子支援系统，军事部队的通常作法是实行辐射管制，即限制发射，直到它被发现时为止。对有源（或辐射）武器传感器的设计，常常是在末制导阶段（10~30秒左右）才使有源传感器开始工作。从而最大限度地减少目标的告警和反应时间。对于完全的无源武器，例如反辐射导弹和热寻的导弹，电子支援系统不能提供任何告警。

信号情报

与电子支援措施在性质上有密切关系的一个领域是，为情报目的对潜在敌方辐射源辐射的电磁信号数据进行搜集和整理。它分为两类，一类是搜集通信电磁信号资料，称为通信情报，另一类是搜集非通信电磁信号资料，称为电子情报。这两类情报活动的总称是信号情报。

通信情报的定义是：由非预定接收者从潜在敌人的通信中所获得的情报。电子情报的定义是：为以后的情报目的，对潜在敌人除核爆炸和放射源以外的非通信电磁辐射进行搜集和处理所产生的情报资料。信号情报有时还使用第三种分类——辐射情报。辐射情报的定义是：从潜在敌人通信和武器系统的无意辐射中，甚至在非发射工作状态下泄漏的寄生辐射中获取的情报。

信号情报基本上是一项战略活动。在美国，这类活动由国家安全局管辖。信号情报手段获取的资料往往重点用于产生分析性情报，而不象电子支援措施获取的资料那样具有很强的时效性。信