

电子对抗原理

上册

西北电讯工程学院

林象平 冯献成 梁百川 魏本涛 编

国防工业出版社

电子对抗原理

上册

西北电讯工程学院

林象平、冯献成、梁百川、魏本涛 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了电子对抗的基本原理和技术基础。全书分上、下两册。上册包括一至六章：电子对抗概述；侦察接收机；对辐射源（雷达）的定向和定位；对无线电信号频率的侦察；侦察信号处理及终端设备；干扰发射机。

书中对电子对抗的基本概念、基本原理和技术基础作了较详细的讨论，内容由浅入深，通俗易懂，便于自学。

本书可作为高等院校电子对抗、雷达等专业的教材和参考用书，也可供有关厂、所和部队的工程技术人员使用。

电子对抗原理

上 册

西北电讯工程学院

林象平 冯献成 梁百川 魏本涛 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 18¹/₂ 430千字

1981年1月第一版 1981年1月第一次印刷 印数：0,001—5,700册

统一书号：15034·2121 定价：1.90元

前 言

随着现代军事技术的发展，各种无线电技术装备的广泛使用，电子对抗技术在现代战争中的作用越来越重要，因而在国防现代化建设中居于十分重要的地位。

本书是一本阐述电子对抗（侦察、干扰）的基本原理和技术基础的专业课教材，供高等院校电子对抗专业教学用书，也可供雷达、制导等有关专业学习专业课时的参考，以及有关厂、所、部队的工程技术人员使用。

本书分上、下两册。上册包括一至六章，下册包括七至十二章。第一章电子对抗概述，介绍电子对抗的基本概念和初步知识；第二、三、四、五章为电子侦察部分，其中第二章侦察接收机介绍侦察接收机的分机构成、指标和特点，第三、四、五章介绍对辐射源（雷达）的定向、定位，对信号频率的侦察和侦察信号的处理及终端设备；第六章至第十二章为电子干扰部分，其中第六章介绍干扰发射机的分机组成、指标和特点，下册的第七至第十一章介绍积极干扰对接收显示系统、自动跟踪控制系统的作用、干扰压制区的计算和引导式、回答式干扰机的构成原理，第十二章介绍消极干扰和反雷达伪装。

电子对抗技术范围很广，技术分支很多，如雷达对抗、通信对抗、导航对抗、制导对抗、光电对抗等等，其中雷达对抗在原理上和技术发展上反映了整个电子对抗技术的基本内容和特点。故本书以雷达对抗作为主要内容，并适当介绍其他电子对抗技术的特点。

电子对抗技术发展极为迅速。本书在着重阐述基本原理的同时，力求反映当代电子对抗技术的新进展。但电子对抗技术直接涉及国防、军事机密，公开文献资料不多，因而对许多新技术、新理论只能作概要的介绍。为了理论联系实际，本书在涉及具体电子对抗设备时，考虑到保密要求，均以国外的设备为例。

本书由西北电讯工程学院的林象平（主编）、冯献成、梁百川、魏本涛等同志编写，其中魏本涛同志编写第二章，冯献成同志编写第三、四、五章，梁百川同志编写第六章，林象平同志编写第一、七、八、九、十、十一、十二章及全书的修改、串总。在编写过程中得到教研室许多同志的支持和帮助。最后，由国防科学技术大学的朱德君（主审）等同志审阅，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，在内容选取和原理阐述上定会有不少缺点和不妥之处，恳切地希望读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 电子对抗概述	1
§ 1-1 电子对抗的意义、范围和分类	1
一、电子战、电子对抗的含义	1
二、电子对抗的范围及分类	2
§ 1-2 电子侦察概述	3
一、电子侦察的基本任务	3
二、电子侦察机的组成及工作原理	4
三、雷达侦察原理及特点	5
四、电子侦察的优点及局限性	7
五、现代侦察机的主要类型	8
§ 1-3 雷达干扰概述	10
一、雷达干扰的种类	10
二、积极干扰的特点、分类及干扰强度等级	12
三、雷达干扰机的组成及工作原理	13
四、现代雷达干扰机的类型和特点	15
§ 1-4 雷达、电子对抗频段的划分	17
一、雷达的频率范围	17
二、雷达、电子对抗频段的划分	17
第二章 侦察接收机	19
§ 2-1 侦察接收机的基本功能、类型和技术指标	19
一、侦察接收机的基本形式和组成	19
二、侦察接收机的主要质量指标	21
三、侦察接收机的类别	23
§ 2-2 侦察接收机的噪声系数和灵敏度	24
一、噪声系数和噪声温度	24
二、侦察接收机的噪声系数	29
三、侦察接收机的灵敏度	30
四、用统计方法确定侦察接收机的灵敏度	33
§ 2-3 侦察接收机的主要宽带微波电路	38
一、微波磁调带通滤波器	39
二、微波检波器	41
三、低噪声射频频放大器	44
四、微波二极管限幅器	47
§ 2-4 微波混频器及本机振荡器	49
一、微波混频器	49
二、微波本机振荡器	54
§ 2-5 侦察接收机的动态范围和增益控制	60
一、侦察接收机的动态范围	60
二、对数放大器的性能指标	64
三、手动增益控制	65
四、微波电调衰减器	68
§ 2-6 搜索式超外差侦察接收机的电路构成和参数选定	69
一、消除镜频干扰方法的选择	69
二、总增益的确定和分配	70
三、射频部分方框图的确定	72
§ 2-7 晶体视频接收机的构成原理	73
一、宽开晶体视频接收机	73
二、射频调谐晶体视频接收机	75
附录 2-1 宽带晶体视频接收机的切线灵敏度表示式	76
附录 2-2 窄带噪声加信号的概率密度分布	78
第三章 对辐射源(雷达)的定向和定位	83
§ 3-1 概述	83
§ 3-2 对雷达方位的侦察	84
一、方位慢速可靠搜索	84
二、方位快速可靠搜索	87
三、方位概率搜索	88
四、方位非搜索	90
五、多波束透镜天线的应用	92
§ 3-3 对辐射源的定向	94
一、振幅法定向	94
二、相位法定向	100
三、单脉冲法自动方向跟踪	103
§ 3-4 对辐射源的定位	107
一、飞越目标定位法	107
二、测向定位法	108
三、测时差定位法	111
§ 3-5 侦察作用距离	117
一、自由空间的侦察方程	117
二、大气衰减对作用距离的影响	120
三、地面电波反射对侦察作用距离的影响	122
四、地球曲率对侦察作用距离的影响	124
五、信号极化的影响	125
六、对雷达天线旁瓣的侦察	127
七、散射侦察的作用距离	130
附录 3-1 天线增益 G 的近似计算公式	131
第四章 对无线电信号频率的侦察	133
§ 4-1 概述	133
一、对测频设备的要求	133

二、测频方法的分类	133
§ 4-2 频率搜索法	133
一、频率慢速可靠搜索	134
二、频率快速可靠搜索	136
三、频率中速搜索	142
四、搜索式侦察机举例	143
五、零中频接收机	145
§ 4-3 频率快搜索与脉冲压缩技术	146
一、压缩式接收机的工作原理	146
二、脉冲的展宽与压缩	147
三、线性调频脉冲的形成及压缩过程	149
四、声表面波匹配滤波器	150
§ 4-4 频率非搜索法	151
一、多波道法	151
二、幅度鉴别法	156
三、相位鉴别法	160
§ 4-5 数字化鉴别式测频技术	166
一、二进制干涉法瞬时测频接收机	166
二、采用相关器的瞬时测频接收机	167
§ 4-6 信道化接收机	170
§ 4-7 搜索式自动测频的数字化	172
一、调谐时间计数法	173
二、模数转换法	174
三、频率增量计数法	175
§ 4-8 综合法测频	177
§ 4-9 声-光测频技术	179
一、声-光测频的物理基础	179
二、声-光测频系统	180
§ 4-10 超声延时测频技术	181
一、超声延时测频原理	181
二、表面声波接收机的组成	182
§ 4-11 侦察机的参数选择和初步计算	183
一、侦察机主要战术技术要求的确定	183
二、侦察机的参数选择和初步计算	185
第五章 侦察信号处理和终端设备	193
§ 5-1 雷达信号参数的测量	193
一、雷达信号参数与雷达性能的关系	193
二、雷达信号参数的测量	196
§ 5-2 雷达信号的分选	202
一、分选信号的原则和方法	202
二、脉冲宽度选择电路	203
三、脉冲重频选择电路	209
四、密集信号的筛选	211
五、信号参数的综合分选	213
六、脉冲参数的综合分选	216
七、借助计算机进行信号分选	220

§ 5-3 侦察机的显示设备	222
一、方位非搜索式定向显示器	222
二、方位搜索式定向显示器	223
三、数字式方位显示器	226
四、非搜索式频率显示器	229
五、搜索式频率显示器	230
六、方位-频率显示器	230
七、字符显示器	233
§ 5-4 雷达信号参数的记录	235
一、照相记录	236
二、磁带记录	237
§ 5-5 自动的瞬时测频/测向侦察系统	239
附录5-1 字符产生器举例	241
第六章 干扰发射机	244
§ 6-1 干扰发射机的组成、分类及主要技术指标	244
一、干扰发射机的基本组成和类型	244
二、干扰发射机的主要技术指标	245
§ 6-2 多级发射机的选用及其特点	248
一、多级发射机的选用	248
二、微波管的选择	248
三、放大链需要特殊考虑的问题	252
§ 6-3 脉冲调制	255
一、低电平脉冲调制器	255
二、大功率脉冲调制器	257
§ 6-4 噪声源	264
一、噪声二极管噪声源	265
二、闸流管噪声源	267
三、光电倍增管噪声源	268
四、晶体稳压二极管噪声源	270
§ 6-5 噪声限幅	271
一、噪声限幅及限幅系数	271
二、噪声限幅分析	272
§ 6-6 噪声干扰发射机的调制特性	274
一、噪声调幅	274
二、噪声调频	278
三、噪声调相	284
四、噪声调幅-调频	285
§ 6-7 噪声调制干扰发射机举例	286
一、干扰发射机组成	286
二、磁控管振荡器	287
三、噪声调制器	287
四、干扰技术产生器	288
五、锯齿波调制器	289
六、高压稳压电源	289

第一章 电子对抗概述

现代军事技术的一个重要特点，就是越来越广泛地采用无线电电子技术。在现代化的战争中，各种新式武器威力的发挥、战区的监视和警戒、诸兵种协同作战的联系和指挥，都越来越多地依赖于各种无线电电子设备的效能。电子对抗的目的就是专门破坏或降低敌人的无线电电子设备的效能，从而使敌人的通信指挥失灵、雷达迷盲、火炮和导弹武器失控，为保存自己消灭敌人、取得战争的胜利创造条件。因此，它特别在防止和对付由大量的各式各样无线电电子设备武装起来的敌人的突然袭击方面，更有其突出的作用。

本书的任务就是阐述电子对抗技术的基本原理，讨论电子侦察和电子干扰设备的整机构成原理和参数选择。在这一章里，我们首先介绍电子对抗的一些总的、基本的概念，这也是学习后面各章所必需的基本知识。

§ 1-1 电子对抗的意义、范围和分类

一、电子战、电子对抗的含义

“电子战”，指的是敌我双方利用专门的无线电电子设备和器材进行的相互斗争。电子战包括两个相互斗争的方面：一方利用专门的无线电电子设备（侦察、干扰设备）以破坏和减弱敌方无线电电子设备（通信、雷达、遥控、导航等）的威力和效能；另一方则采取一定的技术和措施以消除其有害影响，保证自己的电子设备的正常工作。前者称为“电子对抗”，或“电子侦察、干扰”，后者称为“电子反对抗”，或“电子反干扰”。以雷达领域的电子战为例，就包括对雷达的侦察、干扰和雷达的反侦察、反干扰两个方面的相互斗争。前者称为雷达对抗，或雷达侦察、干扰，后者常简单地称为雷达反干扰。

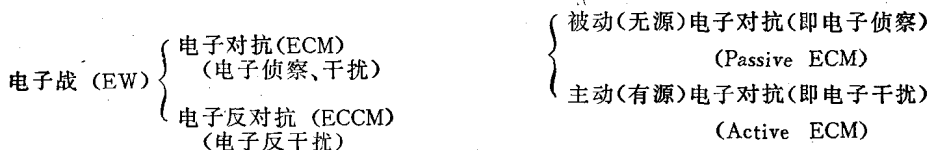
电子对抗（电子侦察、干扰）一般不能直接对敌方人员和武器装备造成杀伤，但它却能使敌无线电通信指挥系统失灵、雷达迷盲、火炮导弹等武器失控，为保卫自己和大量杀伤敌有生力量创造条件。因而在现代战争中具有越来越重要的地位，成为军事电子技术中发展最快的领域之一。

电子对抗设备通常是一些独立的、专门的设备或作战单元，如电子侦察机、干扰机、电子战飞机（专门执行电子侦察、干扰任务的飞机）、电子侦察船、电子侦察卫星等。操纵这些设备，完成各种战略和战术的电子对抗任务，需要专门的电子对抗部队。而抗干扰在设备上则常常是雷达、通信、导航等电子设备的一个附属的分机或分系统而不单独使用。新的雷达、通信、导航等无线电设备则进而把抗干扰性能作整机体制上的考虑，如频率分集、重频可变、单脉冲、隐蔽扫描体制等，更加无法从整机系统中分割出来。因此，电子对抗便形成了一个独立的学科和技术领域，而电子反对抗（抗干扰）则应分别归属于它所依附的雷达、通信或导航等技术范畴。

在国际上，电子战的术语也不尽一致，但比较通行的定义是：电子战（EW）包括电子对抗（ECM）和电子反对抗（ECCM）两个方面；电子对抗又分为被动电子对抗（Passive

ECM, 或称无源电子对抗) 和主动电子对抗 (Active ECM, 或称有源电子对抗), 如表 1-1 所示。被动 (无源) 电子对抗也就是电子侦察, 主动 (有源) 电子对抗也就是电子干扰。把侦察和干扰都用电子对抗 (ECM) 来表示, 也易造成混淆, 所以越来越多地把被动电子对抗直接叫做电子支援措施 (ESM) 和情报侦察 (ELINT)。这样, 电子对抗 (ECM) 就专指电子干扰。电子支援措施指的是交战前的情报收集或对威胁信息的即时截获、分析和识别, 属于战术范围的电子侦察; 而情报侦察则多属战略范围的电子侦察。

表1-1 电子战的术语和分支



在前一个时期, 国内曾经根据“对抗”一词的“对立面斗争”这一哲学概念, 将电子对抗这个术语作广义的解释, 即以电子对抗取代电子战。这样一来, 电子侦察干扰和电子反干扰都属于电子对抗, 给资料的翻译和国内外技术交流带来很大的不便。技术术语在词意上的混淆还会引起工作中的混乱, 造成不必要的差错。

二、电子对抗的范围及分类

随着军事电子技术的发展及技术分支的增多, 电子对抗所包括的技术范围也越来越广。电子对抗的范围, 在频域上包括射频对抗、光学对抗 (也称光电对抗) 和声学对抗三个技术领域。

1 射频对抗 电子对抗按对抗的对象来分, 包括通信对抗、导航对抗、雷达对抗、制导对抗、对遥控遥测系统的对抗以及对无线电引信干扰等。这些设备多工作在射频波段, 因此整个射频波段都是进行电子对抗的领域。射频波段包括通常的无线电波段和微波波段, 见图 1-1。通信系统多工作中波、短波、超短波波段, 导航系统多工作在长波、中波、短波波段, 雷达、制导系统多工作在超短波、微波波段。

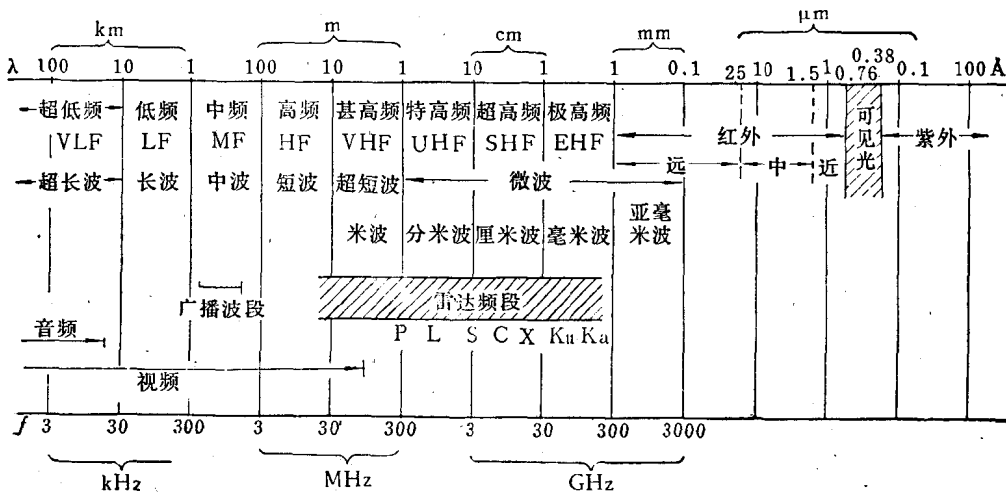


图1-1 电磁波频谱图

2 光学对抗 或称光电对抗,它又包括红外对抗、电视对抗和激光对抗等分支。光波也是电磁波,因此光电对抗也属于电磁波频域的电子对抗。从图 1-1 可知,光电对抗实质上是射频对抗向着更高的电磁频段的发展。

3 声学对抗 或称水声对抗,它是指海下的电子对抗。在辽阔的海洋里,潜艇、舰船或新型鱼雷主要靠声学探测设备来发现目标和跟踪目标。水声对抗则是专门用来对声学探测设备(声纳)进行侦察和干扰的措施。声学对抗还包括对潜艇、舰船航行时所发出的噪声的侦听和跟踪设备,以及航迹的探测设备。

从电子战的空间范围来看,不仅表现为平时、战前和战争中在地面、海上、空中、水下的电子战,而且随着卫星、反卫星、洲际导弹和反导弹的斗争的激烈进行,必将引起空间电子战的迅速发展。

目前,卫星已经广泛地担负着战略通信、精确导航和侦察任务,不仅是重要的军事情报来源,而且是今后战争中战略通信指挥和武器控制的重要手段。用卫星作为进攻性武器,如卫星轰炸系统等也在加紧研究。在反卫星的斗争中,电子对抗措施可以发挥重要的作用,如干扰卫星的发射,干扰其遥控遥测系统,使其失控、变轨、自爆,干扰卫星上的信息系统使之饱和或破坏其正常工作程序等等。

对战略导弹突防过程中电子对抗技术的研究业已达到成熟阶段。例如减小再入体的雷达有效反射面积和改变其目标反射特性的研究,假目标、雷达诱饵及消极干扰丝投放技术的研究,以及在外层空间利用投掷式干扰机以掩护真弹头的技术研究等等。

§ 1-2 电子侦察概述

一、电子侦察的基本任务

军事侦察是作战的基础,是制定作战计划的依据。电子侦察是完成军事情报侦察的重要手段。在现代化军队中,雷达、制导、通信等电子装备越来越多,因此,通过电子侦察获取敌方雷达、制导、通信等设备所发射的电磁信息,就能得到重要的军事情报。因而,在完成军事侦察任务中,电子侦察起着越来越重要的作用。

情报侦察分战略侦察和战术侦察。用侦察卫星发现敌洲际导弹及战略部队的布署,用远程电子侦察设备对敌导弹基地的监视等,属于战略侦察的范围;陆海空部队及民兵所装备的电子侦察设备,用以发现敌军事布署、动向和企图,则属于战术侦察范围。

电子侦察也是国家技术情报的重要来源。以获取敌方电子技术情报为主要目的的侦察,称为技术侦察。通过电子技术侦察所得到的大量技术情报,可判断敌方军事电子学的发展水平和动向,这是国家制订电子科学技术发展规划和电子战科研规划的重要依据。在技术侦察中,发现敌人的新波段、新调制样式、新的天线扫描方式等具有特别重要的意义,因为这些将预示着新的电子系统的出现。

电子侦察所获取的技术数据,是实施电子对抗的基础。电子侦察设备对敌威胁信息的截获、测频、测向、分析和识别,是进一步采取对抗措施的前提。这些对抗措施包括:(1)根据威胁的性质采取自卫性的战术机动;(2)施放干扰,用以自卫或执行掩护任务(包括随队掩护和远距离支援掩护);(3)根据侦察所获得的敌电子设备的位置对其实施火力摧毁。在实施电子干扰的整个过程中,都要由电子侦察来保证干扰在频率上、方位上的瞄准、

干扰参数的选择和干扰效果的检查。

二、电子侦察机的组成及工作原理

电子侦察设备虽然具有优越的性能，可以完成很多战略的、战术的侦察任务，但其基本原理和组成却很简单。下面先以典型的雷达侦察机的基本组成（如图 1-2）来说明雷达侦察的原理及特点，最后再介绍现代雷达侦察机的基本组成。

一部雷达侦察机通常包括天线、接收机、天线控制设备、终端设备以及电源等。侦察机通过天线截获射频信号并测定信号的方向，通过接收机对信号测频、解调和放大，通过终端设备显示和测量信号的参数或记录下来供事后详细分析。天线控制设备控制天线对空间进行搜索，同时将方位数据送至终端显示设备。

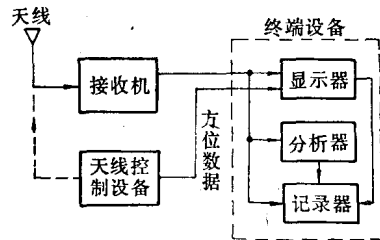


图 1-2 雷达侦察机的基本组成

侦察天线的特点是宽频带和能接收各种极化的信号的能力，因而天线型式众多，如螺旋天线、对数周期天线、螺旋锥天线、圆极化的喇叭天线、抛物面天线等等。

天线控制设备和雷达的功用相同，只是由于侦察天线波束较宽、天线小巧轻便，因而天控系统精度上和功率上的要求比雷达的低得多。

接收机是侦察机的核心设备。它应具有宽的频率覆盖，以接收各种频率不同的雷达信号。当前，雷达工作频率可在 30MHz 到 18GHz（甚至高达 40GHz）的范围，因此，侦察接收机的频率覆盖越宽，才可以减少全频段侦察所需接收机的数量。此外，接收机还需满足测频精度、灵敏度、保真度和动态范围等要求。侦察接收机直接接收雷达的发射信号，因而用灵敏度较低的接收机型式也可得到比雷达远得多的作用距离。因而，侦察接收机从简单的直接检波式、射频放大式、鉴频式，以至高灵敏度的超外差式接收机，根据战术用途的不同，皆获得了广泛的应用。

显示器用于发现目标和测定雷达的两个主要参数：频率和方位。最常用的显示器是示波管式和数字式显示，也常用指示灯、扬声器来报警和粗略地指示雷达的频段和方位。示波管显示器的画面如图 1-3 所示，它们的工作原理类似于雷达的 A 式显示器和 P 式显示器。频率显示器的扫描线代表侦察频率范围 ($f_{\min} \sim f_{\max}$)，雷达信号呈一簇谱线，线条的中央为雷达的工作频率。

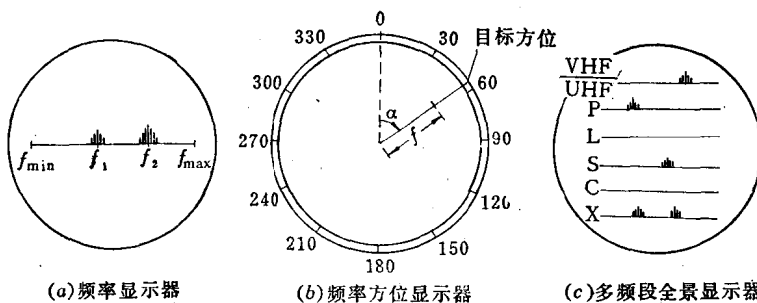


图 1-3 侦察机显示器画面

分析器用于对雷达信号调制参数的测量，如脉冲宽度、重复频率、天线转速等。常用的有示波管分析器及数字式分析器。早期的便携式侦察机还用耳机、秒表来辨别和测定雷达重频和天线照射周期。

记录器最普遍的是磁带记录器。它能全面、实时地将信号记录下来，供事后详细分析。记录器是卫星侦察、自动侦察机等无人管理的侦察机中不可缺少的部件。除了磁带记录，在大型侦察机上，还常采用照象记录、数字式打字记录。

三、雷达侦察原理及特点

雷达侦察设备要发现雷达信号必须同时满足三个条件：方位上对准、频率上对准和必要的接收灵敏度。上面提到，灵敏度这个条件一般是容易满足的。因此，同时满足方位和频率侦察条件，是侦察设备的独特问题。

1. 方位侦察 雷达天线以锐波束在方位上搜索目标，侦察天线波束亦在空间搜索以探测雷达，如图 1-4 所示。只有当两天线在方位上对准时，侦察设备才能发现雷达的存在。但是实际上，由于两天线的起始位置不同、转速不同，使方位侦察成为一个概率问题。

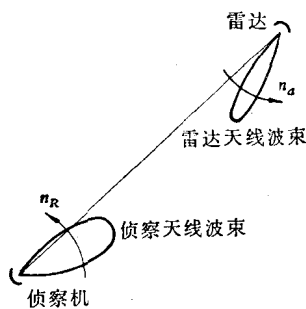


图1-4 对雷达的搜索法方位侦察

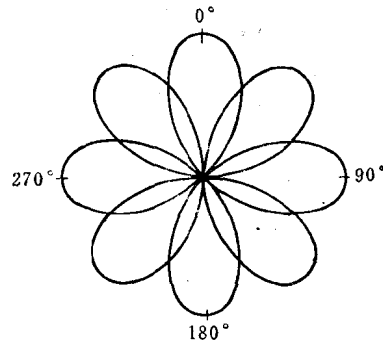


图1-5 非搜索法测向侦察

为了可靠地发现雷达，侦察天线的转速相对于雷达天线转速而言，要么转得很慢（雷达天线转一周，侦察天线只转一个波束宽度），要么转得很快（在雷达天线旋转一个波束宽度的时间里，侦察天线就应转一圈）。因此便有方位慢搜索和快搜索两种侦察测向方法。

当侦察天线的转速介于上述两种情况之间时，就不能可靠地发现目标，此时称为方位概率搜索。这时，需要合理地选择侦察天线的转速，方可在较少的圈数内相当可靠地发现目标。

搜索法测向，设备简单，测向精度高，但发现目标需时较长，而且通常还存在截获概率问题。所以在侦察机中还常常采用非搜索法。

非搜索法测向是用许多个波束宽度相同的天线对侦察视域作定向的接收。图 1-5 是全方位（360°）配置的方向图。非搜索法测向能瞬时和可靠地测定雷达方向，但缺点是测向精度不高，若要提高测向精度必须增多天线和接收机的路数，这将使设备笨重。随着集成电路及微波元件小型化的进展，这一缺点将得到很大克服，使非搜索法的应用更广。

2. 频率侦察 频率侦察也存在着类似于方位侦察的问题，而且矛盾更为突出。因为，雷达的工作频段很广，从 30MHz 直至 40GHz，被侦察的雷达的频率是未知的，而且雷达

天线波束很窄，雷达多以脉冲方式工作，信号存在的时间很短，因此，当雷达天线波束进行空间搜索时，侦察接收机收到的雷达信号是断续的脉冲群，如图 1-6。侦察机的频率侦察就是在方向上对准的短暂时间里（即脉冲群的宽度 τ_N 内），在极其宽广的频段上快速地截获信号并对其测频。

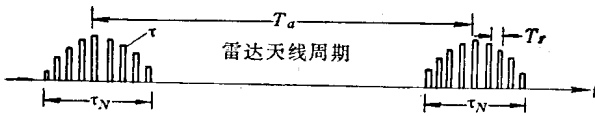
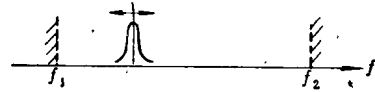
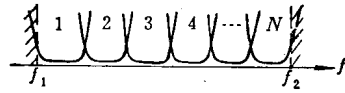


图 1-6 侦察机所收到的雷达脉冲群



(a) 搜索法



(b) 多波道非搜索法

图 1-7 对雷达的频率侦察

频率侦察也有搜索法和非搜索法两类。频率搜索法，其接收机用很窄的通频带在整个侦察频段 ($f_1 \sim f_2$) 内进行连续地逐次地搜索，如图 1-7(a) 所示。搜索的速度应保证在信号存在的时间 τ_N 内至少对整个侦察频段搜索一次。这里也同样存在着测频准确度、搜索范围和搜索速度之间的矛盾，存在着截获概率问题。

频率快搜索，通常专指在一个脉冲宽度内（几个微秒或更短的时间）完成整个侦察频段的搜索。由于任何电子电路都存在惰性，信号需要有一个建立过程，因此，在进行频率快搜索时就需考虑信号的暂态接收问题。

频率非搜索法通常是把侦察频段分为很多小频段进行同时的接收，如图 1-7(b)，其优点是可以瞬时测频和可靠地侦察，缺点是存在着提高测频精度将使设备量增大的矛盾。

测频方法的不同，直接引起接收机系统的不同，形成了侦察机的多种多样的体制。

3. 雷达信号参数的测量 方向上、频率上对准，只是侦察机发现雷达目标的必要条件，这时还不足以判断雷达的型号和目标的性质。要准确地确定雷达和目标的性质，需要测得更多的雷达信号参数。

雷达信号参数包括：频率、方向、极化和信号调制参数，其中调制参数又有脉冲波形、脉冲宽度、重复频率以及天线扫描类型、搜索周期、照射时间和天线方向图等。对雷达信号参数的侦察是侦察机对目标进行识别和采取对抗措施的依据。

在这些信号参数中，除了频率、极化和雷达天线方向性及盲区的测量要靠天线及接收机的微波元件来实现外，其余参数都是根据解调后的视频信号由终端设备来分析和测量的。

4. 密集信号的侦察 上面通过图 1-2 这种典型的侦察机的组成，说明了对雷达信号的侦察过程和特点。这种侦察机只能依次地测完一个雷达信号再测另一个雷达信号。随着雷达数量和体制的增多，上述组成就越来越难以应付现代的复杂的电子战环境。

现代战争条件下，雷达、导弹系统大量地、纵深密集地配置，一个目标可能同时受到几部、十几部甚至几十部雷达的照射或跟踪。侦察机面临的信号密度可达每秒几万、几十万甚至百万个脉冲，而且不同雷达信号交迭在一起，信号形式又很复杂，如频率捷变、频率分集、线性调频脉冲、伪随机编码信号、脉冲重复频率跳变等等。要求侦察机必须具有接近 100% 的截获概率和对单个脉冲测频、测向和测参数能力，并能对侦察信息快速地处

理。因此，现代的侦察机必须采用高性能的数字计算机才能完成复杂信息的处理。

5. 现代侦察机的组成 现代侦察机的基本组成图如图1-8所示。包括天线接收系统、信息处理和控制系统以及显示、记录设备等部门。天线接收系统，也常称为侦察机的前端，应能对每个脉冲信号测频、测向，将信号输至终端。现代侦察机的终端设备已经大大超出了传统的终端设备的概念，它主要包括以高速计算机和微处理机构成的信息处理系统、控制系统以及显示、记录设备。数据处理机对每个来自接收机的已知频率和方向的脉冲，进行到达时间、脉冲波形、宽度、幅度等参数的测量和相关处理，然后送至中央处理机对信号进行分析、分选和识别，进而确定应采取的对策。

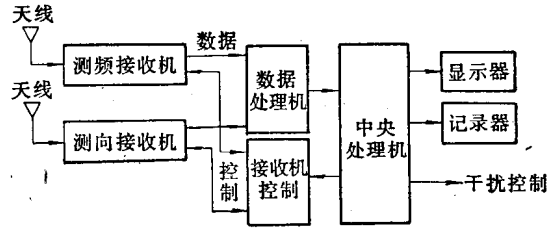


图1-8 现代侦察机的基本组成图

现代侦察设备多采用数字化的字符显示和数字显示。图1-9是两种以显象管为显示设备的情况显示器画面，图(a)是直角坐标的频率-方位全景显示，图(b)是极坐标的全景显示。两种显示器都可通过由滚球控制的选择标志(图(a)为矩形，图(b)为圆形)对任意目标进行信号参数的详细测量。图(b)还将测量数值和分析的结果直接显示在画面的左侧。

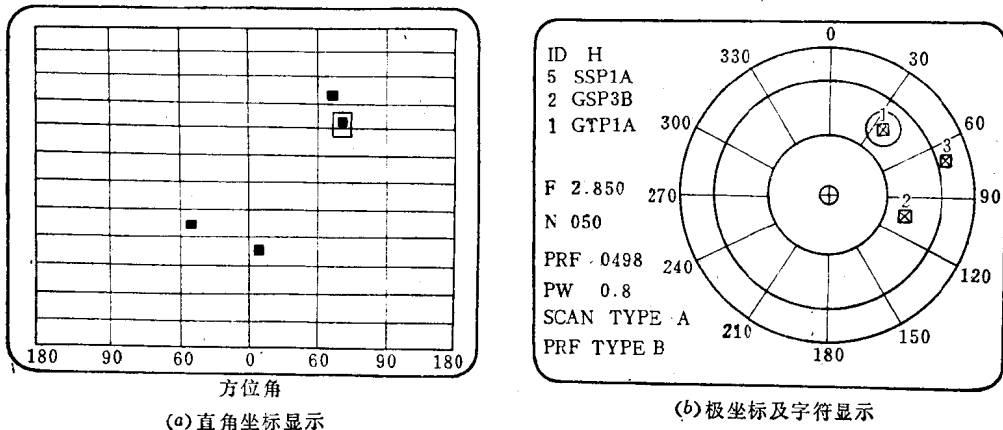


图1-9 数字化情况显示器画面

四、电子侦察的优点及局限性

电子侦察在完成各项战略战术侦察任务时，都具有全天候能力，不象光学侦察那样要受昼夜和天候的限制。此外，如通信侦察对机密信息的截获和破译，更是其他侦察手段所不及。

雷达被誉为国防的千里眼，在预警、目标探测、防止敌人突然袭击等方面将发挥重大作用。但雷达侦察机比起雷达还有许多极可贵的优点：

1. 作用距离远 雷达接收的是目标回波，回波是极其微弱的，侦察机是单程接收，接收的是雷达发射的直射波，因此，用较简单的接收机，例如直接检波式接收机，就可以得

到比雷达远的侦察距离。从而使侦察机远在雷达作用距离之外就能提早发现带雷达的目标。如果采用射频放大式接收机和超外差式接收机，则侦察距离更远。用高灵敏度的超外差接收机可以实现超远程侦察，用以监视敌远程导弹的发射。

2. 获取目标的信息多而准 一般雷达只能根据目标回波获得目标距离、方位等数据。有经验的操纵员还可以根据回波强弱和波形跳动的规律确定目标的大小和性质。侦察设备则可以测量雷达信号的很多参数，根据这些参数准确地判定目标性质，例如飞机的类型。甚至利用雷达参数的微小区别，对带有相同型号雷达的不同目标也能够区分和识别，例如识别相同类型的舰艇，以至直接指出舰艇的名称。这是雷达所不可能办到的。

3. 预警时间长 这表现在两个方面：其一是由于侦察作用距离比雷达的作用距离远，从而比雷达发现目标早。通常侦察距离都比雷达作用距离远 1.5~2 倍以上，因而可以在雷达发现目标之前几分钟以至几十分钟发现目标。这样一段时间，用于战斗准备，就十分难能可贵的了；其二是在监视敌人导弹的袭击时，如用雷达来监视，只能在导弹发射之后才能发现和跟踪导弹，预警时间就很短，特别是对付高速导弹，预警时间只有十几秒至几十秒这样短促的时间。用侦察机监视敌导弹的袭击，则可以在导弹发射之前几十分钟甚至几小时就能获知敌人发射导弹的信息。因为导弹发射前，雷达早已开始工作，为导弹的发射做准备。

4. 隐蔽性好 雷达探测目标必然要发射大功率信号，从而暴露了自己。电子侦察自己不发射电波，而是靠侦收雷达的信号来发现带雷达的目标，因而有高度的隐蔽性。这在战争中是非常有利的。

但事物都是一分为二的，雷达侦察机也有它的弱点和局限性：

(1) 获得情报完全依赖于雷达的发射 这是侦察机的根本弱点。如果敌人采取雷达“静默”，雷达不工作或尽量缩短开机时间，侦察机就不能发现目标，无法获得情报。

(2) 只能测向，不能直接测距 侦察机只能根据雷达信号强弱大概估计雷达的远近。要测定雷达的距离和位置，通常要用二部以上的侦察机对雷达进行测向，交会计算出空间位置。

因此，雷达侦察机必须和雷达配合使用，取长补短，才能构成严密的防空体系。野战用的雷达侦察机要和光学侦察、红外侦察等配合使用，才能发挥其效能。

五、现代侦察机的主要类型

电子侦察机常按下述四个特征来分类：(1) 侦察频段；(2) 装置和使用环境；(3) 侦察机的功能和用途；(4) 侦收信号的调制样式和特点。其中按侦察机的功能和用途分类，能够集中反映侦察设备的特点。

现代侦察机按用途分，有如下一些主要类型：

1. 威胁告警系统 威胁告警侦察接收机是现代飞机、舰艇等必不可少的自卫装备，其主要任务是快速发现和快速识别威胁性质。因此，其主要性能是宽视野（全方位）、宽频段、瞬时测量、高截获概率和快速信息处理。

机载威胁告警系统用于监视雷达对飞机的照射，并及时向驾驶员报警。这种侦察机主要监视炮瞄雷达、截击雷达、制导雷达等特定的频段，能对雷达从搜索到跟踪状态的转换及导弹发射状态作出准确的反应和及时的报警，以便飞机及时采取回避、对抗等措施。

舰载和潜艇用的雷达告警系统担负对空、对海雷达信号的监视，频段覆盖更宽。由于舰艇运动速度不象飞机那样快，侦察机能够先敌发现敌舰，可以有较长的预警时间用于海战的机动（迂回、接敌、回避、下潜等），因而，侦察机就成为军用舰船广泛采用的重要装备。新型舰载雷达告警系统要求能对为数众多的舰船飞航式导弹上的导引雷达作出快速准确的反应，以便采取对抗措施。

2. 远程侦察设备 用于国防警戒，要求作用距离远、发现目标快。对信号参数的测量精度则是第二位的要求，但对那些反映雷达特征的几个参数（如脉冲重频等）要能准确测量。远程侦察设备应和远程雷达配合使用以构成严密的防空警戒网。

监视远程导弹发射场雷达活动的超远程侦察设备要能侦收电离层或流星余迹对雷达电波的散射信号，因此要用灵敏度极高的接收机、高增益天线和良好的信息处理设备。

3. 卫星侦察设备和自动侦察站 卫星可以飞临敌要害地区搜集平时不易收到的电子信息，如导弹信标、遥控遥测信号以及隐蔽的通信、雷达等，用以了解敌尖端装备的战术技术性能和科学水平以及敌兵力的布署情况。这类侦察设备要能自动探测、记录、存贮，并能接收外控指令，根据指令要求发射出已侦收到的信息及本机的工作状态。

图 1-10 是一种自动侦察站的原理组成图。全站各组成均在程序控制器的控制下工作，信息侦察机根据需要可以是多部，其侦收的信息随时送至存贮器，在外控指令控制下将已侦收的信息或者通过微波发射机发向卫星，或者通过短波收发信机发向控制中心。

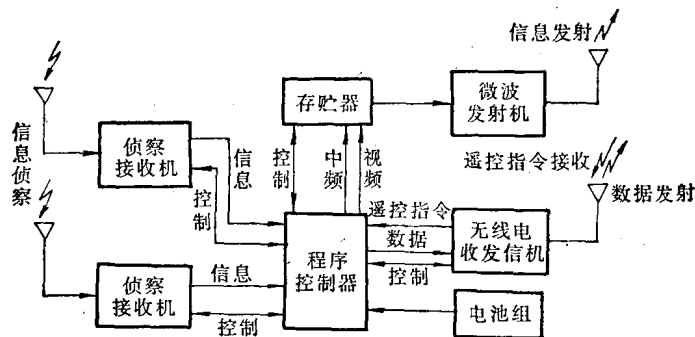


图1-10 一种自动侦察站的原理组成图

4. 精确测向、定位的侦察设备 用于快速准确地测定雷达方向和确定雷达的位置，用以引导杀伤武器摧毁敌雷达。跟踪辐射源的反雷达导弹的导引头就是一部精确测向的接收机。采用测向法定位和测时差法定位的精确定位攻击系统，将成为直接摧毁雷达及其他辐射源的重要的侦察系统。

5. 引导干扰机的侦察设备 用以保证干扰机在方向上、频率上快速对准被干扰的雷达。这类侦察设备的特点是能快速、精确地测频和记频。新型干扰机则要求侦察设备能自动地对威胁信号分选和识别，以便在多目标环境下能对最具威胁的目标进行干扰。

6. 野战轻便型侦察机 用于野战防空、战场监视、发现雷达和获取敌军事情报。小型的雷达报警器，重量可小于 1kg，携带方便。这种电子侦察机和红外夜视侦察设备配合使用，是部队进行运动战、游击战、夜战的有利武器。

§ 1-3 雷达干扰概述

对雷达作斗争有两个途径：一是火力消灭，一是进行干扰，两者常常是配合进行的。

火力消灭是最有效和最彻底的办法。实现火力消灭，要靠各种侦察措施来保证。其中电子侦察是发现和引导火力消灭的重要手段。但是火力消灭，不是经常可能实现的。尤其是对敌人纵深的雷达、隐蔽的雷达，就很难随时进行火力消灭。各式反雷达导弹的使用可以说是火力消灭雷达的新发展。

雷达干扰是用电子的方法破坏雷达的正常工作，使它不能正确的探测和跟踪真正的目标，其中包括掩盖真目标和制造假目标。

雷达干扰在国防建设和战备任务中可以完成下述任务：

(1) 干扰敌警戒雷达，破坏它对目标的探测，使它得不到正确的情报，导致作战指挥系统作出错误的判断，掩护我军重要的战役战术行动；

(2) 干扰敌武器系统中的跟踪雷达，降低武器系统的命中率，以保护自己或掩护我方的杀伤武器消灭敌人；

(3) 在防空系统中，干扰敌轰炸瞄准雷达，或改变地形地物的图象，以掩护我重要军事目标和国防要地不受敌机轰炸；

(4) 对我雷达部队进行实战训练，提高雷达的抗干扰能力。雷达干扰在现代战争中总是秘密的、突然的、集中的使用。因此，在平时雷达的抗干扰能力只有通过自己的干扰来提高；

(5) 促进我国雷达技术的发展，提高抗干扰性能，发展雷达新体制，促成新微波器件、元件的研制。

雷达干扰在完成这些任务中才可能得到不断的发展。

一、雷达干扰的种类

对雷达来说，除了目标回波以外，其他进入接收机的信号都是干扰信号。

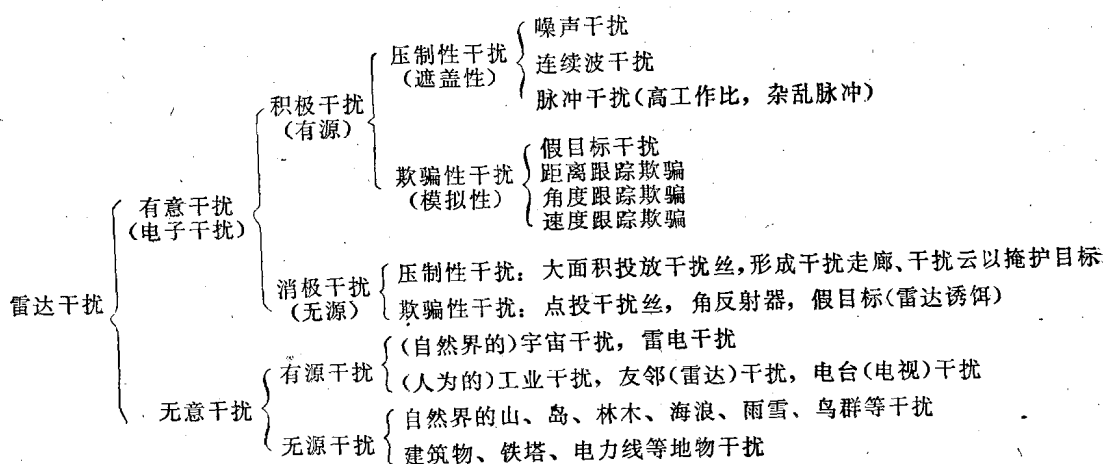
雷达干扰按其干扰的来源可有两种分类：有意的还是无意的干扰，有源的还是无源的干扰。交错起来便形成四类干扰——有意的有源干扰和无源干扰，无意的有源干扰和无源干扰（见表 1-2）。

有源干扰是指由一定的电磁波辐射源产生的干扰，包括自然干扰、工业干扰和有意的干扰。**有意的有源干扰**常称为**积极干扰**，它是由专门的发射机施放的干扰。

无源干扰是由于物体对电磁波的二次辐射对雷达造成的干扰。无源干扰也包括自然界的、人工物体的干扰和有意制造的干扰。**有意的无源干扰**也叫做**消极干扰**，它是利用特制的器材（如干扰丝、角反射器等）人为地改变雷达电磁波的传播和反射性能对雷达造成的干扰。

对雷达的有意干扰，包括积极干扰和消极干扰，总称为**电子干扰**，是我们研究的重点。但无意干扰也是应该了解的，因为对雷达来说，经常的大量存在的还是各种无意干扰，操纵员只有熟识各种自然干扰才能从中发现目标。雷达设计人员只有深刻了解地面、海浪以及消极干扰所产生的各种杂波（clutter）的规律，才能设计出性能良好的抗杂波干扰的雷

表1-2 雷达干扰的分类



达。对于干扰设计人员, 了解无意干扰也是重要的, 例如噪声干扰就是根据接收机内部噪声对雷达的干扰效果而选取的干扰样式。

不论积极干扰还是消极干扰, 就其作用性质来分又都可分为压制性干扰(或称遮盖性干扰)和欺骗性干扰(或称模拟性、迷惑性干扰)两类。实现这两类干扰的干扰信号样式和干扰方式及器材则是多种多样的, 见表1-2。

对积极干扰来说, 连续波工作的噪声干扰是压制性干扰的典型代表, 它以强力的干扰功率和随机起伏的信号波形压制和遮盖雷达对目标回波信号的检测。其他干扰样式, 如杂乱脉冲干扰、高工作比的脉冲干扰也都可以压制雷达对回波的观测或造成雷达检测系统饱和。欺骗性干扰则模拟目标的回波, 以假代真或真假混杂, 雷达往往在不知不觉中就受到了干扰, 因而有着特殊的干扰效果。欺骗性干扰, 如干扰警戒雷达用的假目标干扰及广泛用来干扰雷达自动跟踪系统的各种欺骗性干扰, 则多采用和雷达信号形式相同的脉冲干扰。

早期的干扰机大都是压制性的噪声干扰机。有意干扰(jamming)一词就是从“压制、卡住”(jam)派生出来的, 现已成为各种有意干扰(包括欺骗性干扰在内)的通用词。自从五十年代后期, 以行波管为主要器件的回答式干扰机出现之后, 各种欺骗性干扰才有了蓬勃的发展。

对消极干扰来说, 由专门飞机或投射系统在空间大规模高密度地投放干扰丝, 形成长宽数公里以至数十公里的干扰“走廊”、干扰云, 就属于压制性干扰。这种消极干扰早在二次世界大战时就已大量使用。据报导, 英美仅在欧洲战场上投放的金属箔条就有数万吨, 取得了近500架轰炸机免遭击落的效果。各种飞机自身进行点投的干扰丝或反射器, 形成比飞机还强的反射回波以摆脱雷达的跟踪, 则是欺骗性的。消极干扰还包括反射器及吸收层, 用这些器材制造假目标、隐匿真目标, 也属于欺骗性干扰。

消极干扰, 随着雷达技术的发展和雷达数量的增多, 其作用日益重要。例如, 1973年第四次中东战争中, 当以色列飞机的干扰机不足以对付埃及防空系统中新频段、新体制的雷达和导弹系统时, 就由美国紧急空运大量消极干扰丝作为它的主要干扰手段, 从而减少了飞机的损失。这次战争还证明了, 消极干扰在舰艇自卫对付反舰导弹的袭击上有着极其显著的效果。