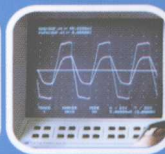
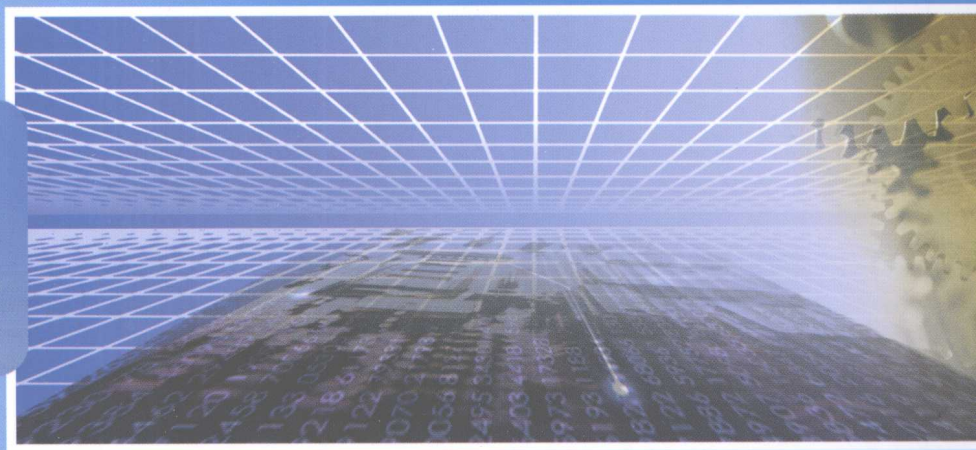




D-K-YT018-0D
空军航空机务系统教材

航空电子对抗原理

王星 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

D-K-YT018-0D

空军航空机务系统教材

航空电子对抗原理

王星 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本教材主要讲述了雷达对抗和光电对抗原理,并针对使用对象的要求编写了雷达原理和系统的基本知识。根据电子对抗技术在航空领域的发展和应用情况选取内容,以电子对抗基础理论和应用理论为主,讲述了雷达原理和雷达系统的基本知识,介绍了电子对抗的发展历史和突出战例,覆盖了雷达侦察、雷达侦察的信号处理、雷达有源无源干扰、光电侦察、光电干扰、侦察和干扰系统、雷达与光电隐身技术、电子攻击武器等内容,突出了基本理论和应用知识,适合本科生学习。在此基础上增加了反映航空电子对抗在这些领域内的新理论、新技术和新概念的知识,突出了电子对抗在航空领域的应用,以扩展学员的知识和适应新知识的能力,符合空军航空机务系统培养电子对抗专业学员的要求。

图书在版编目(CIP)数据

航空电子对抗原理 / 王星主编. —北京:国防工业出版社,2008.7

空军航空机务系统教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 05600 - 6

I. 航... II. 王... III. 航空 - 空用雷达 - 电子对抗 - 教材 IV. V243.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 020704 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 100044)

四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 24½ 字数 587 千字
2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 62.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

总 序

发生在世纪之交的几场局部战争表明,脱胎于 20 世纪工业文明的机械化战争正在被迅猛发展的信息文明催生的信息化战争所取代。信息化战争的一个显著特点,就是知识和技术密集,战争的成败越来越取决于各类高技术、高层次人才的质量和数量,以及人与武器的最佳配合。因此,作为人才培养基础工作的教材建设,就显得格外重要和十分紧迫。为了加快推进中国特色军事变革,贯彻执行军队人才战略工程规划,培养造就高素质新型航空机务人才,空军从 2003 年开始实施了航空机务系统教材体系工程。

实施航空机务系统教材体系工程是空军航空装备事业继往开来的大事,它是空军装备建设的一个重要组成部分,是航空装备保障人才培养的一个重要方面,也是体现空军航空装备技术保障水平的一个重要标志。两年来,空军航空机务系统近千名专家、教授和广大干部、教员积极参与教材编修工作,付出了艰辛的劳动,部分教材已经印发使用,效果显著。实践证明,实施教材体系工程,对于提高空军航空机务人才的现代科学文化水平和综合素质,进而提升航空机务保障力和战斗力,必将发挥重要作用和产生深远影响,是一项具有战略意义的工程。

空军航空机务系统教材体系工程,以邓小平理论和“三个代表”的重要思想为指导,以新时期军事战备方针为依据,以培养高素质新型航空机务人才为目标,着眼空军向攻防兼备型转变和航空装备发展需要,按照整体对应、系统配套、紧贴实际、适应发展,突出重点,解决急需的思路构建了一个较为完整的教材体系。教材体系的结构由部队、院校、训练机构教育训练教材三部分组成,分为航空机务军官教育训练教材和航空机务士兵教育训练教材两个系列十六个类别的教材组成。规划教材按照新编、修编、再版等不同方式组织编修。新编和修编的教材,充实了新技术、新装备的内容,吸收了近年来航空维修理论研究的新成果,对高技术战争条件下航空机务保障的特点和规律进行了有益探索,院校的专业训练教材与国家人才培养规格接轨并具有鲜明的军事特色,部队训练教材与总参颁布的《空军军事训练与考核大纲》配套,能够适应不同层次、不同专业航空机务人员的教育训练需要,教材的系统性、先进性、科学性、针对性和实践性与原有教材相比有了明显提高。

此次大规模教材编修工作,系统整理总结了空军航空机务事业创业 50 多年来的宝贵经验,将诸多专家、教授、骨干的学识见解和实践经验总结继承下来,优化了航空机务保障教材体系,为装备保障人员提供了一套系统、全面的教科书,满足了人才培养对教材的急需。全航空机务系统一定要认真学习新教材,使其真正发挥对航空机务工作的指导作用。

同时,教材建设又是一项学术性很强的工作,教材反映的学术理论内容是随实践的发展而发展的。当前我军建设正处在一个跨越式发展的历史关键时期,航空装备的飞速发展和空军作战样式的深刻变化,使航空机务人才培养呈现出许多新特点,给航空机务系统教材建设带来许多新问题。因此,必须十分关注航空装备的发展和航空机务教育训练的改革创新,不断发展和完善具有时代特征和我军特色的航空机务系统教材体系,为航空机务人才建设提供知识信息和开发智力资源。

魏 钢

二〇〇五年十二月

空军航空机务系统教材体系工程编委会

主任	魏 钢				
副主任	周 迈	毕雁翎	王凤银	袁 强	韩云涛
	吴辉建	王洪国	王晓朝	常 远	蔡风震
	李绍敏	李瑞迁	张凤鸣	张建华	许志良
委 员	刘千里	陆阿坤	李 明	郦 卫	沙云松
	关相春	吴 鸿	朱小军	许家闻	夏利民
	陈 涛	谢 军	严利华	高 俊	戴震球
	王力军	曾庆阳	王培森	杜元海	

空军航空机务系统教材体系工程总编审组

组 长	刘桂茂				
副组长	刘千里	郦 卫	张凤鸣		
成 员	孙海涛	陈廷楠	周志刚	杨 军	陈德煌
	韩跃敏	谢先觉	高 虹	彭家荣	富 强
	郭汉堂	呼万丰	童止戈	张 弘	

空军航空机务系统教材体系工程
电子专业编审组

组 长 陈德煌

成 员 张智军 王德功 李殿忠 钱林奎

孙鹏博 池华佑

前 言

《航空电子对抗原理》是根据空军航空机务体系教材编写任务而编写的。它是一部通用性教材,主要用于培养电子对抗专业本科生,参考学时数为100学时~120学时。其内容既全面讲述了电子对抗的基本原理和技术,又反映了电子对抗领域的新技术和突出了航空电子对抗的特点。

本教材主要讲述了雷达对抗和光电对抗原理,并根据使用对象的要求编写了雷达原理和系统的基本知识。教材根据电子对抗技术的发展和应用情况编排了内容,以电子对抗基础理论和应用理论为主,讲述了雷达原理和雷达系统的基本知识,介绍了电子对抗的发展历史和突出战例,覆盖了雷达侦察、雷达侦察的信号处理、雷达有源无源干扰、光电侦察、光电干扰、侦察和干扰系统、雷达与光电隐身技术、电子攻击武器等内容,突出了基本理论和应用知识,适合本科生学习。教材在此基础上增加了反映航空电子对抗在这些领域内的新理论、新技术和新概念的知识,突出了电子对抗在航空领域的应用,以扩展学员的知识面和适应新知识的能力,符合空军航空机务系统培养电子对抗专业学员的要求。

电子对抗专业的学员必须掌握雷达知识才能学好雷达对抗的专业知识,但现有的雷达原理和雷达系统的教材内容多,不利于教员教学选取,因此选取了雷达原理和雷达系统的主要内容,增加到本教材中。这部分内容约占25学时~30学时的时间。

现代航空电子对抗领域中,光电对抗所占的比重越来越大,地位越来越重要,因此,本教材增加了光电对抗的内容。

本教材共分13章,由王星编写第1章、第7章、第9章、第11章、第12章、第13章,叶志铨教授编写第3章、第5章、第6章、第10章,徐忠伟编写第2章、第4章、第8章,张文华博士对第7章、第12章内容的编写做了重要贡献,书稿初步编写完成后,王星对全书进行了统稿。

书稿编写完成后,西安电子科技大学赵国庆教授、空军航空大学刘璘副教授进行了审阅,并提出了宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。

胡华强、石亮、陈游对本书初稿进行了部分绘图和文字录入工作,在此一并表示感谢。由于编写者水平有限,书中会存在一些错误和缺点,恳请广大读者批评指正。

作者
2008年1月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 电子对抗的定义及分类	1
1.1.1 电子对抗的定义	1
1.1.2 电子对抗的分类	3
1.2 电子对抗的发展历史	5
1.2.1 电子对抗的起源	5
1.2.2 电子对抗的发展	5
1.2.3 电子对抗在局部战争中的运用	8
1.3 航空电子对抗的概念及其在战争中的地位和作用	12
1.3.1 电子对抗在防空作战中的作用	13
1.3.2 电子对抗在空中进攻中的作用	13
1.4 电子对抗信号环境及其特点	14
1.5 电子对抗作战效能评估简介	15
1.5.1 电子对抗作战效能评估概述	15
1.5.2 电子对抗作战效能评估的途径	15
1.6 电子对抗的发展前景	16
第 2 章 雷达系统	18
2.1 雷达概述	18
2.1.1 雷达的基本工作原理	18
2.1.2 雷达的基本组成	19
2.1.3 雷达方程	29
2.1.4 雷达的主要技术战术指标	35
2.1.5 现代雷达系统的主要分类	37
2.2 雷达对目标距离的测量	37
2.2.1 脉冲法测距	38
2.2.2 调频法测距	41
2.2.3 自动距离跟踪原理	45
2.3 雷达对目标方位的测量	47
2.3.1 相位法测向	48
2.3.2 振幅法测角	50
2.3.3 三坐标雷达	53
2.3.4 自动测向原理	56

2.4	雷达测速与动目标检测	63
2.4.1	利用多普勒效应测速	63
2.4.2	多普勒频率的测量与跟踪	66
2.4.3	动目标显示(MTI)和动目标检测(MTD)	72
2.5	雷达体制	77
2.5.1	脉冲压缩雷达	77
2.5.2	频率捷变雷达	84
2.5.3	脉冲多普勒(PD)雷达	86
2.5.4	合成孔径雷达(SAR)	91
2.5.5	相控阵雷达	94
第3章	雷达信号频率的测量	100
3.1	概述	100
3.1.1	雷达信号频率测量的重要性	100
3.1.2	测频系统的主要技术指标	100
3.1.3	现代测频技术分类	102
3.2	频率搜索接收机	103
3.2.1	搜索式超外差接收机	103
3.2.2	射频调谐晶体视频接收机	105
3.2.3	频率搜索形式	106
3.2.4	频率搜索速度的选择	106
3.3	比相法瞬时测频	109
3.3.1	比相法瞬时测频的基本原理	109
3.3.2	极性量化器的基本工作原理	111
3.3.3	多路鉴相器的并行运用	114
3.3.4	对同时到达信号的分析与检测	115
3.3.5	测频误差分析	116
3.3.6	比相法瞬时测频接收机的组成及主要技术参数	117
3.4	信道化接收机	118
3.4.1	基本工作原理	118
3.4.2	频率模糊问题及其分辨途径	122
3.4.3	信道化接收机的特点及其应用	123
3.5	压缩接收机	123
3.5.1	chirp 变换原理	123
3.5.2	表面声波(SAW)压缩接收机的工作原理	124
3.5.3	压缩接收机的参数和特点	127
3.6	声光接收机	130
3.6.1	声光调制器	130
3.6.2	空间傅里叶变换原理	132
3.6.3	声光接收机的工作原理	134

3.6.4	声光接收机的主要特点	135
第4章	雷达侦察测向和无源定位	136
4.1	概述	136
4.1.1	雷达测向与定位的意义	136
4.1.2	测向方法	136
4.1.3	测向系统的主要技术指标	137
4.2	振幅法测向	137
4.2.1	搜索法测向	137
4.2.2	全向振幅单脉冲测向技术	140
4.2.3	多波束测向技术	143
4.3	相位法测向	145
4.3.1	数字式相位干涉仪	145
4.3.2	线性相位多模圆阵	147
4.4	对雷达的无源定位	148
4.4.1	单点定位法	149
4.4.2	多点定位法	150
4.5	无源探测定位网	157
4.5.1	无源探测定位网的工作特点	157
4.5.2	无源探测定位网的实现途径	158
第5章	雷达侦察信号处理	159
5.1	概述	159
5.1.1	雷达侦察对信号处理的要求	159
5.1.2	信号处理对参数测量的要求	161
5.1.3	信号处理方法及处理过程	161
5.1.4	信号处理系统的构成及相互间的关系	163
5.2	对雷达信号时域参数的测量	164
5.2.1	TOA 的测量	164
5.2.2	PW 的测量	166
5.2.3	PA 的测量	167
5.3	信号分选	168
5.3.1	信号分选与信号鉴别的概念	168
5.3.2	信号分选参数的选择及其组合	168
5.3.3	载频分选技术	170
5.3.4	重频分选技术	171
5.3.5	PRI 的计算机分选的准则和条件	174
5.3.6	PRI 分选的流程圖	179
5.3.7	多维分选的逻辑设计	181
5.4	参数估计与分析	183
5.4.1	概述	183

5.4.2	参数估计方法的一般性讨论	183
5.4.3	最大似然估计(ML估计)	185
5.4.4	最小二乘估计	187
5.5	信号识别	189
5.5.1	概述	189
5.5.2	硬件信号识别电路	190
5.5.3	计算机的信号识别	192
第6章	雷达侦察方程	196
6.1	自由空间的侦察方程	196
6.2	考虑大气衰减时的侦察方程	197
6.3	对雷达天线旁瓣的侦察接收	199
6.4	地球曲率对侦察距离的影响	201
第7章	光电侦察	202
7.1	光电侦察技术概述	202
7.1.1	光电对抗概述	202
7.1.2	光电侦察的频谱范围	204
7.1.3	黑体辐射基本定律	205
7.1.4	光电侦察基本方法与分类	206
7.2	激光侦察告警技术	207
7.2.1	主动式激光侦察告警技术	207
7.2.2	被动式激光侦察告警技术	208
7.2.3	激光侦察告警系统	209
7.3	红外侦察告警技术	212
7.3.1	机载红外侦察告警技术	212
7.3.2	红外侦察告警系统	216
7.4	紫外侦察告警技术	217
7.4.1	紫外侦察告警技术简述	217
7.4.2	紫外侦察告警系统	218
7.5	光电综合侦察告警技术	220
7.5.1	光电综合侦察告警技术概述	220
7.5.2	光电综合侦察告警技术分类	221
7.5.3	光电综合侦察告警系统	221
第8章	雷达有源压制性干扰	223
8.1	概述	223
8.1.1	雷达有源压制性干扰的定义和作用及分类	223
8.1.2	压制系数	224
8.1.3	最佳压制性干扰波形分析	224
8.2	射频噪声干扰	226
8.2.1	干扰信号的数学模型	226

8.2.2	干扰通过雷达接收机的变化	226
8.2.3	干扰对信号检测的影响	229
8.3	噪声调幅干扰	231
8.3.1	噪声调幅干扰的特点	232
8.3.2	噪声调幅干扰对雷达接收机的作用	234
8.3.3	干扰对信号检测的影响	237
8.4	噪声调频干扰	240
8.4.1	噪声调频干扰的特点	240
8.4.2	噪声调频干扰的原理	240
8.4.3	干扰对信号检测的影响	246
8.5	噪声调相干扰	250
8.5.1	噪声调相干扰的特点	250
8.5.2	噪声调相干扰的作用	250
第9章	雷达有源欺骗性干扰	253
9.1	概述	253
9.1.1	雷达有源欺骗性干扰的定义、分类与作用	253
9.1.2	雷达有源欺骗性干扰的效果评估	255
9.2	距离欺骗干扰	255
9.2.1	距离欺骗干扰的对象	255
9.2.2	距离欺骗干扰的产生和作用原理	256
9.3	速度欺骗干扰	260
9.3.1	速度欺骗干扰的对象	260
9.3.2	速度欺骗干扰的作用原理	260
9.4	角度欺骗干扰	263
9.4.1	对圆锥扫描角跟踪系统的欺骗干扰	263
9.4.2	对线性扫描角跟踪系统的欺骗干扰	268
9.4.3	对单脉冲角跟踪系统的欺骗干扰	270
9.5	对雷达自动增益控制系统的欺骗	281
9.5.1	雷达自动增益控制系统的工作原理	281
9.5.2	对雷达 AGC 的干扰	282
9.6	自卫电子干扰的综合使用	283
第10章	雷达干扰系统	287
10.1	干扰机的类型、组成及其性能要求	287
10.1.1	实现干扰必须具备的条件	287
10.1.2	引导式干扰机	288
10.1.3	回答式干扰机	288
10.1.4	两种体制干扰机的比较	292
10.1.5	干扰机的主要性能要求和指标	293
10.2	干扰机的空间能量计算和时间计算	294

10.2.1	干扰方程及其应用	294
10.2.2	干扰机的时间计算	303
第11章	雷达无源干扰与隐身技术	305
11.1	雷达无源干扰概述	305
11.1.1	雷达无源干扰的定义与分类	305
11.1.2	雷达无源干扰的发展与作用	305
11.2	箔条干扰	305
11.2.1	箔条简介	305
11.2.2	箔条的特性	306
11.3	反射器	310
11.3.1	角反射器	311
11.3.2	龙伯透镜反射器	314
11.4	雷达诱饵	316
11.4.1	火箭式雷达诱饵	316
11.4.2	投掷式雷达诱饵	317
11.4.3	拖曳式雷达诱饵	319
11.5	无源干扰在机载条件下的战术应用	320
11.5.1	箔条干扰的应用	320
11.5.2	其他干扰的应用	322
11.6	飞机隐身技术	323
11.6.1	对雷达的隐身技术	324
11.6.2	光电隐身技术	331
11.6.3	电磁辐射隐身技术	334
11.6.4	电子战技术与隐身技术相结合	335
11.6.5	反隐身技术	335
11.7	电子对抗措施的综合使用	336
11.7.1	飞机的生存概率	337
11.7.2	电子对抗措施提高飞机生存力的分析	338
第12章	光电干扰	342
12.1	光电干扰的定义与分类	342
12.1.1	光电干扰的定义	342
12.1.2	光电干扰的分类	342
12.2	光电有源干扰技术	343
12.2.1	红外诱饵弹	343
12.2.2	红外有源干扰机	349
12.2.3	强激光干扰技术	352
12.2.4	激光欺骗干扰技术	354
12.3	光电无源干扰技术	359
12.3.1	烟幕干扰	359

12.3.2	光电假目标技术	360
第13章	电子攻击武器	362
13.1	电子攻击武器概念	362
13.2	反辐射攻击武器	362
13.2.1	反辐射攻击	362
13.2.2	反辐射导弹	363
13.2.3	反辐射无人机	364
13.2.4	反辐射炸弹	365
13.3	定向能武器	365
13.3.1	高功率微波武器	366
13.3.2	激光武器	369
13.3.3	粒子束武器	369
13.4	电磁脉冲武器	370
13.4.1	电磁脉冲特性	371
13.4.2	电磁脉冲武器的应用	372
13.5	等离子体武器	373
13.5.1	等离子体武器对付目标的原理	373
13.5.2	等离子体武器的组成及其优势	373
	参考文献	375

第 1 章 概 述

1.1 电子对抗的定义及分类

电子对抗是我军的标准术语,它指的是电子领域内的信息斗争。美国和北约国家军队使用的标准术语是“电子战”,而俄罗斯使用的标准术语是“无线电战斗”,其含义相近,但略有差别。

电子对抗的目的是在作战中获取战场上的电磁优势和信息优势,追求制电磁权和制信息权,从而引导战斗取得胜利。按毛泽东主席《论持久战》里的记述,就是:“要把敌人的耳朵和眼睛尽可能地封住,使他们变成瞎子和聋子,要把他们的指挥员尽可能地弄得混乱些,使他们变成疯子,用以争取自己的胜利”。

1.1.1 电子对抗的定义

根据 1991 年发布的国军标,电子对抗的定义为:军事上为削弱、破坏敌方电子设备的有效使用,同时保障己方电子设备正常工作而采取的综合措施。其内容包括电子对抗侦察、电子干扰、反辐射摧毁、电子防御。

其中:

电子对抗侦察:是搜索、截获、分析敌方电子设备辐射的电磁(或声)信号,以获取其技术参数、位置以及类型、用途等情报的电子技术措施。它包括电子支援侦察(战术电子侦察)和电子情报侦察(战略电子侦察)。

电子情报:是从敌方发射的电磁(或声)信号中,经侦察和处理后所得到的技术信息和军事情报。

电子情报侦察:是利用电子侦察设备截获并搜集敌方各种电子设备辐射的电磁(或声)信号,经分析和处理,根据辐射源信号的特征参数和空间参数,确定其类型、功能、位置及变化,为对敌斗争和电子对抗决策提供军事情报。

电子支援侦察:是对敌方电磁(或声)辐射源进行实时搜索、截获、测量特征参数、测向、定位和识别,判别辐射源的性质、类别及其威胁程度,为电子干扰、电子防御、反辐射摧毁、战场机动、规避等战术运用提供电子情报。

电子干扰:是利用辐射、反射、散射、折射或吸收电磁(或声)能量来阻碍或削弱敌方有效使用电子设备的技术措施。它包括有源干扰和无源干扰。

有源干扰:是有意发射或转发某种类型的电磁波(或声波),对敌方电子设备进行压制或欺骗的一种干扰,又称积极干扰。

无源干扰:是利用特制器材反射(散射)或吸收电磁波(或声波),以扰乱电磁波(或声波)的传播,改变目标的散射特性或形成假目标、强散射背景,以掩护真目标的一种干扰,又称消极干扰。

电子防御:是为消除或削弱敌方的电子对抗侦察、电子干扰及反辐射摧毁的效能,以保障

己方电子设备和系统正常工作而采取的战术技术措施。

电子对抗装置:是用于电子对抗的系统、设备、装置和器材的总称。

电子对抗系统:是由若干电子对抗设备和器材组成的统一协调的整体,一般由侦察、干扰和相应的通信、指挥控制等设备组成,也可由具有一定独立工作能力的各分系统组成,主要用于对敌方各种辐射源信号进行截获、分析、识别、威胁告警,并能引导有源/无源等干扰设备实施干扰。电子对抗系统按平台可分为地面、舰载、机载和星载电子对抗系统等。电子对抗分类如图 1-1 所示。

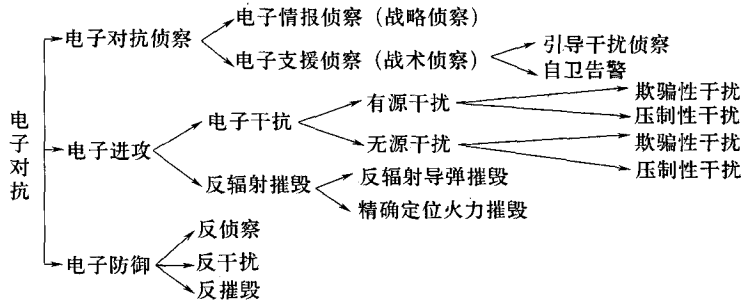


图 1-1 电子对抗分类

美国在 1992 年将“电子战”定义为:“利用电磁能和定向能控制电磁频谱或攻击敌人的任何军事行动”,其内容如图 1-2 所示,电子战的主要组成部分是电子进攻、电子战支援和电子防护。这三个组成部分对包括信息战在内的空中和空间作战行动都具有重要意义。电子进攻与电子防护、电子战支援三者必须密切合作,才能有效地发挥作用。正确运用电子战可以提高作战指挥人员实现作战目标的能力,为提高空军的作战效能、降低战损率做出贡献。电子战与技术的进步紧密联系在一起。为了保证作战效果,必须全盘考虑,将电子战纳入整个作战计划之中。电子战是战斗力倍增器。

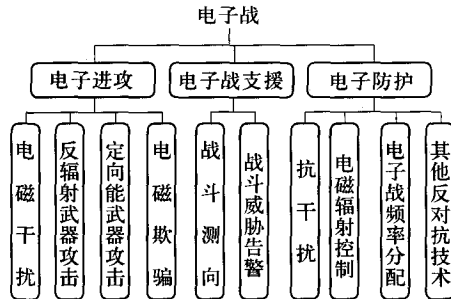


图 1-2 美军电子战内容

美国空军认为电子战要发挥作用,必须满足控制、利用、强化三原则。控制原则是指直接或间接地决定电磁频谱,以便指战员既可以攻击,又可以防御。

利用原则是指使用电磁频谱为指战员进行战斗服务,可以使用发现、遏制、破坏、欺骗、摧毁等手段在不同程度上阻断敌军的决策思路。

强化原则是指使电子战成为部队战斗力的倍增器。控制和利用电磁频谱加大完成作战使命的可能性。

《俄罗斯百科军语词典》对“无线电对抗”的定义为:“用于探测、侦察和随后的电子压制、