

高等学校工程创新型“十二五”规划教材  
电子信息科学与工程类

# 电子对抗原理与技术

周一宇 安 玮 郭福成 编著  
柳 征 姜文利

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

# 前 言

电子对抗是敌对双方围绕电磁频谱的控制权和使用权而开展的对抗斗争,习惯上也称为电子战,是信息时代最活跃的作战力量之一。历史和一次次生动的战例充分说明电子对抗在现代高技术战争中具有举足轻重的地位,发挥着不可替代的重要作用。近年来,我国着力建设信息化条件下的新型作战力量,电子对抗更加受到高度重视。

2009年我们编写了《电子对抗原理》一书,以雷达对抗为主线,侧重于电子对抗基本原理的分析,融入了当时电子对抗领域的一些新的概念、方法和技术,解决了本科教学中面向工程应用,特别是军队院校基础合训教学的教材需求,对希望了解电子对抗的工程技术人员和部队使用人员也有帮助。经过几年的教学实践,我们发现及电子对抗技术的发展原书存在诸多不如人意的地方,难以满足对“电子对抗”课程教学日益增强的需求,为此,我们在该书的基础上进行了修订。

新编《电子对抗原理与技术》的指导思想一是以雷达对抗为主线,补充通信对抗、光电对抗等领域的相关内容,但仍然保持侦察、攻击和防护三个电子对抗功能总格局,尽量避免相近内容的重复,增强体系思维和知识的相互连接;二是仍然以对抗技术原理为主,适度加强对装备和技术运用的介绍,更新、补充若干应用实例,希望使读者重点掌握电子对抗基本原理和技术方法,在此基础上开拓技术战术运用的思路;三是对原书欠缺的知识点进行补充和对偏老旧的内容进行更新,如加强信号检测、宽带接收的原理论述和干扰方程分析等,补充数字化接收机、二维干涉仪等内容。本次修订改正了原书存在的错误和不准确之处,增加了章末的习题和思考题。

本书内容主要分为电子对抗侦察、电子攻击和电子防护三个部分。第1章为电子对抗概述,介绍电子对抗的概念及其发展历史,以及信息战和赛博空间等相关概念;第2~4章介绍电子对抗侦察,包括测频、测向、信息处理的基本原理和技术、以及电子对抗侦察系统的组成、原理和应用,其中一节专门介绍通信信号分析方法;第5~7章介绍电子进攻,包括电子干扰、反辐射武器、定向能和隐身等的基本原理和技术,包括对通信、卫星导航和光电制导的干扰,以及电子干扰系统的组成、原理和应用;第8章介绍了电子防护的基本原理和技术。

如果先期学习或了解“雷达原理与系统”、“通信原理”、“随机信号分析”等课程,将有助于理解本书的内容。

本书原书由周一宇主编,安玮、郭福成、柳征、姜文利编写。周一宇、郭福成、卢启中、王丰华、柳征等参与了本次的修订工作,以及增补内容的编写,周一宇审阅了全书。在本书的编写过程中,参考了同行们此前出版的著作和发表的学术论文,吸取了他们的智慧和贡献,在此再次表示感谢。

限于不宜过多调整全书的结构,很遗憾修订版在知识体系和章节结构的合理性上不能达到理想的程度。由于编写者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评和指正。

编 者

2014年7月

# 目 录

<b>第 1 章 电子对抗概述</b> .....	1
1.1 电子对抗的发展历史.....	1
1.1.1 第一次世界大战时期.....	1
1.1.2 第二次世界大战时期.....	3
1.1.3 越南战争和中东战争时期.....	6
1.1.4 海湾战争和科索沃战争时期.....	8
1.1.5 21 世纪初的伊拉克战争和信息时代.....	9
1.2 电子对抗的概念.....	10
1.2.1 电子对抗的含义.....	10
1.2.2 电子对抗的基本内容.....	11
1.3 电子对抗的作用对象.....	12
1.3.1 雷达.....	13
1.3.2 通信.....	15
1.3.3 精确制导.....	17
1.4 电子对抗的作战应用与发展.....	18
1.4.1 电子对抗的作战应用.....	18
1.4.2 电子对抗的发展.....	20
习题一.....	23
<b>第 2 章 侦察接收机技术</b> .....	24
2.1 信号环境与信号截获.....	24
2.1.1 电磁信号环境.....	24
2.1.2 信号截获.....	26
2.1.3 侦察接收机的特性.....	28
2.1.4 侦察方程与作用距离.....	30
2.2 测频接收机的基本原理.....	34
2.2.1 信号检测.....	34
2.2.2 测频的基本方法.....	47
2.3 搜索式超外差接收机.....	49
2.3.1 搜索式超外差接收机的构成及工作原理.....	49
2.3.2 宽带超外差接收机.....	51
2.4 瞬时测频接收机.....	51
2.4.1 工作原理.....	51
2.4.2 鉴频鉴相特性和测频范围.....	52
2.4.3 极性量化器的基本工作原理.....	53
2.4.4 频率分辨率和测频精度.....	54

2.4.5	多相关器的 IFM 接收机 .....	56
2.4.6	同时信号问题 .....	56
2.5	信道化接收机 .....	57
2.5.1	晶体视频接收机 .....	57
2.5.2	信道化接收机 .....	58
2.6	数字接收机 .....	62
2.6.1	数字接收机的基本结构 .....	62
2.6.2	数字接收机的关键技术 .....	63
2.6.3	几种典型的数字接收机结构 .....	63
	习题二 .....	66
<b>第 3 章</b>	<b>测向与定位技术</b> .....	<b>67</b>
3.1	测向技术概述 .....	67
3.1.1	测向的概念和意义 .....	67
3.1.2	测向技术的分类和指标 .....	67
3.2	比幅单脉冲测向技术 .....	69
3.2.1	相邻比幅单脉冲测向原理 .....	69
3.2.2	全向比幅单脉冲系统 .....	71
3.2.3	测向误差分析 .....	71
3.2.4	特点及应用 .....	72
3.3	干涉仪测向技术 .....	72
3.3.1	干涉仪的基本原理 .....	72
3.3.2	测角模糊问题 .....	73
3.3.3	测向精度分析 .....	74
3.3.4	多基线干涉仪 .....	75
3.3.5	二维干涉仪 .....	76
3.4	其他测向技术 .....	76
3.4.1	环形天线测向法 .....	76
3.4.2	多普勒测向技术 .....	77
3.4.3	多波束测向法 .....	79
3.4.4	阵列测向与空间谱估计技术 .....	79
3.5	对辐射源的定位技术 .....	80
3.5.1	无源定位技术概述 .....	80
3.5.2	测向交叉定位技术 .....	81
3.5.3	时差定位技术 .....	86
3.5.4	其他多站定位技术 .....	90
3.5.5	单站无源定位技术 .....	91
	习题三 .....	92
<b>第 4 章</b>	<b>信号处理与电子侦察系统</b> .....	<b>93</b>
4.1	概述 .....	93
4.2	脉冲时域参数测量 .....	95

4.2.1	脉冲幅度测量	95
4.2.2	脉冲到达时间测量	96
4.2.3	脉冲宽度测量	98
4.3	雷达信号分选	98
4.3.1	雷达脉冲描述字	98
4.3.2	分选参数的选择	99
4.3.3	多参数联合分选	100
4.3.4	脉冲重频分选	101
4.4	雷达信号脉内特征分析	104
4.4.1	脉内调制类型	105
4.4.2	脉内调制分析方法	106
4.5	雷达辐射源识别	109
4.5.1	辐射源识别概念与方法	109
4.5.2	辐射源个体识别	110
4.6	通信信号分析与识别	111
4.6.1	概述	111
4.6.2	通信信号参数测量	113
4.6.3	调制识别	117
4.6.4	跳频通信信号截获及网台分选	120
4.7	电子对抗侦察系统	122
4.7.1	电子对抗侦察的特点	122
4.7.2	电子对抗侦察系统类型	122
4.7.3	电子对抗侦察装备	123
	习题四	125
<b>第5章</b>	<b>电子干扰原理与技术</b>	<b>126</b>
5.1	电子干扰概述	126
5.1.1	电子干扰的分类	126
5.1.2	电子干扰的有效性	128
5.2	干扰方程	130
5.2.1	雷达干扰方程与有效干扰区	130
5.2.2	通信干扰方程与有效干扰区	136
5.3	压制干扰	141
5.3.1	最佳压制干扰波形	141
5.3.2	直接射频噪声干扰	142
5.3.3	噪声调频干扰	143
5.3.4	噪声调相干扰	146
5.3.5	噪声干扰的效果	146
5.4	欺骗干扰	146
5.4.1	距离欺骗	147
5.4.2	速度欺骗	149

5.4.3	角度欺骗 .....	153
5.4.4	对搜索雷达的航迹欺骗 .....	163
5.5	投掷式干扰物和诱饵系统 .....	164
5.5.1	箔条 .....	164
5.5.2	诱饵 .....	167
5.5.3	诱饵的战术应用 .....	171
5.6	通信干扰技术 .....	172
5.6.1	概述 .....	172
5.6.2	对模拟通信的干扰 .....	173
5.6.3	对数字通信的干扰 .....	174
5.6.4	通信干扰方式 .....	175
5.6.5	对跳频通信的干扰 .....	177
5.6.6	对直扩通信的干扰 .....	180
5.7	卫星导航干扰技术 .....	181
5.7.1	卫星导航定位原理 .....	181
5.7.2	对导航卫星的欺骗式干扰 .....	181
5.7.3	对卫星导航接收机的压制式干扰 .....	183
5.7.4	GPS 干扰技术的发展 .....	183
5.8	光电干扰技术 .....	184
5.8.1	光电对抗波段 .....	184
5.8.2	红外干扰机 .....	184
5.8.3	激光有源干扰 .....	187
5.8.4	烟幕干扰 .....	188
5.8.5	光电侦察告警技术 .....	189
	习题五 .....	193
<b>第 6 章</b>	<b>电子干扰系统</b> .....	<b>194</b>
6.1	有源电子干扰系统的结构 .....	194
6.1.1	干扰机的组成和工作原理 .....	194
6.1.2	干扰发射机关键器件 .....	195
6.1.3	干扰机系统的结构 .....	197
6.1.4	功率管理 .....	200
6.1.5	干扰机的主要技术指标 .....	201
6.2	电子干扰系统体系结构与作战应用 .....	202
6.2.1	平台上/平台外体系结构 .....	202
6.2.2	电子干扰系统的作战应用模式 .....	203
6.3	典型的电子干扰系统 .....	204
6.3.1	干扰机 .....	204
6.3.2	投掷式干扰系统 .....	205
6.3.3	分布式干扰系统 .....	206
6.3.4	小型空中发射诱饵(MALD) .....	207

习题六 .....	208
<b>第 7 章 隐身与硬摧毁</b> .....	209
7.1 隐身技术 .....	209
7.1.1 射频隐身 .....	209
7.1.2 红外隐身 .....	211
7.2 反辐射武器 .....	214
7.2.1 反辐射武器的分类 .....	214
7.2.2 反辐射导弹系统(ARM)的组成和工作原理 .....	215
7.2.3 反辐射导弹的战斗使用方式 .....	218
7.3 定向能武器 .....	220
7.3.1 高能激光武器(HEL) .....	220
7.3.2 高功率微波武器(HPM) .....	221
7.3.3 粒子束武器 .....	224
习题七 .....	225
<b>第 8 章 电子防护技术</b> .....	226
8.1 反侦察技术 .....	226
8.1.1 截获因子与低截获概率雷达 .....	226
8.1.2 低截获概率技术措施 .....	228
8.2 抗干扰技术 .....	230
8.2.1 空间选择抗干扰技术 .....	230
8.2.2 频率选择抗干扰技术 .....	233
8.2.3 功率选择抗干扰技术 .....	235
8.2.4 信号波形选择抗干扰技术 .....	237
8.2.5 极化选择抗干扰技术 .....	237
8.2.6 抗干扰电路技术 .....	238
8.3 抗摧毁技术 .....	240
8.3.1 抗反辐射导弹的有源诱偏原理 .....	240
8.3.2 有源诱偏的技术实现问题 .....	242
8.4 电磁加固技术 .....	243
8.4.1 “前门”加固技术 .....	243
8.4.2 “后门”加固技术 .....	244
8.5 通信电子防护技术 .....	246
8.5.1 扩谱通信技术 .....	246
8.5.2 自适应天线技术 .....	251
8.5.3 其他技术(猝发通信、编码、MIMO) .....	253
习题八 .....	253
<b>参考文献</b> .....	254

# 第 1 章 电子对抗概述

## 1.1 电子对抗的发展历史

电子对抗是现代化战争中的一种特殊作战手段,是敌我双方在电磁频谱领域的斗争。西方国家称为“电子战”,前苏联称为“无线电电子斗争”。在我国,人们也常常按照西方的习惯通称其为电子战。

电子对抗包括电子对抗侦察、电子进攻和电子防御等基本内容。电子对抗的作战对象主要是那些使用电磁频谱来获取、传输和利用信息的军用电子信息装备,包括雷达、通信、导航、制导武器等。电子对抗的作用,一是通过电子对抗侦察手段截获、识别和定位敌方电子信息设备发出的电磁辐射信号,从中获取战略和战术情报,为进一步实施电子对抗行动提供信息支援;二是通过干扰和硬摧毁等电子进攻手段降低、削弱或摧毁敌方的电子信息装备正常工作的能力,使雷达迷茫、通信中断、武器失控、指挥失灵;三是通过电子防御手段,使我方电子信息装备在敌我双方激烈的电磁斗争中不受或较少受到各种电磁影响,保障我方电子信息装备有效工作。如果这些电子对抗手段使用得当,将改变敌我双方占用电磁频谱的有效程度,夺得战场的制电磁权,就像夺得制空权、制海权一样,最终影响战争的胜负。

电子对抗的发展历程与无线电技术和电子技术应用于军事装备紧密相连。每当一项无线电技术和电子技术取得重大进展,形成一种新的无线电电子装备,在军事应用上产生重大影响时,就会催生出相应的电子对抗技术和装备与其对抗,并在战争中体现出电子对抗的巨大军事和经济价值。自电子对抗诞生以来,历次较大规模的战争都将电子对抗的发展推进到一个新的高度,进入一个新的发展阶段。回顾电子对抗的发展历程有助于我们深刻理解电子对抗的精髓及其发展规律。

随着战争形态的变化和科学技术进步的推动,电子战的发展过程经历了初创、形成和发展的几个阶段。初创时期,从起源到 20 世纪 30 年代末,即第一次世界大战时期,电子战的唯一形式是通信对抗;40~50 年代,即第二次世界大战时期,电子战的主要形式是对抗各种雷达,特别是高炮雷达;60~80 年代初,以越南战争和中东战争为代表,电子战的显著特点是对抗各种制导方式的导弹制导系统;到 80 年代中期以后,更注重的是电子战与其他作战手段的综合运用,主要目标是敌方的指挥控制系统。而电子情报领域的斗争则贯穿电子战史的始终,不论平时时期还是战争时期。

### 1.1.1 第一次世界大战时期

电子对抗登上战争历史舞台是在 1904 年爆发的日俄战争。

1904 年 2 月,日俄战争爆发。这是第一次敌对双方都使用无线电进行通信联络的战争。日军为攻击停泊在旅顺的俄军舰只,派出一艘小型驱逐舰停泊在靠近海岸的有利地点观察弹着点,用无线电报向巡洋舰报告射击校准信号。然而,日军发出的校准无线电信号被俄军岸基无线电台的一名报务员截获,该报务员意识到这个信号的重要性,因而立即用火花发射机对其



进行干扰。日舰得不到目标位置信息,炮手只能盲目射击。结果,俄军舰艇在那天的战斗中无一损伤,日军则被迫提前停止炮击并撤出战斗。这次无线电干扰规模虽然很小,但却是初战成功。电子战崭露头角,在电子战史上具有重要意义。

1905年的日俄对马海战,俄军就没有那么幸运了。由于俄国波罗的海舰队拒绝使用无线电干扰而导致整个舰队的覆灭。

1904年10月14日,俄国海军上将罗泽斯特文斯基率领波罗的海舰队的59艘军舰,从芬兰湾出发,于1905年5月中旬进入我国东海,经朝鲜海峡驶往海参崴,补充与日本作战的俄国远东海军。而此时日军舰队几乎所有的舰艇都集结在朝鲜海峡南端的马山海湾,并已做好随时开赴开阔海域拦截敌舰的一切准备。俄军舰队司令权衡了使用无线电的利弊,认为俄舰队的目的是顺利到达目的地,而不被日军发现和攻击,如果使用无线电通信就可能因被日军侦听而泄露舰队位置。因此进入朝鲜海峡后,他下令保持彻底的无线电沉默。

5月27日晚,浓雾弥漫,能见度只有1.5千米。2时45分,正在巡逻的日军“信乃丸”号巡洋舰发现一艘亮着航灯的舰船开来,但不能分辨其种类和国籍,于是便尾随跟踪。4时46分,大雾逐渐消散,“信乃丸”号已辨明这是一艘俄国医疗船,并看到一长列俄军战舰距这艘医疗船只有1千米,便立即用无线电向旗舰上的东乡舰队司令报告。但由于设备性能太差,无法送达这个重要消息。此时,俄军舰队也看到日舰正在与俄舰平行行驶,罗泽斯特文斯基命令舰队所有大炮对准日舰“信乃丸”号,但并不下令开火。这时,许多俄舰都侦听到“信乃丸”号向其旗舰呼叫的无线电报警信号,俄舰“乌拉尔”号舰长对舰队司令不向前来挑衅的日舰采取任何行动十分不满,认为现在保持无线电静默已无意义,便与无线电报务员商量干扰“信乃丸”号的无线电发射。他们认为,只要发射与日舰频率相同的连续信号就足以干扰其通信联络,阻止其将观察到的俄军舰队情况通报出去。“乌拉尔”号舰长及时用旗语向旗舰提出实施无线电干扰建议,但舰队司令简短的回答是:“不要阻止日舰发射。”正是罗泽斯特文斯基这个命令使整个舰队走向了覆灭的命运。

“信乃丸”号继续进行跟踪观察,将俄舰编队的组成、航线、位置、速度等重要情报连续不断地报告日军舰队司令,使日军具有充分的时间调动部队,进行周密的部署,并做好迎击的准备。

13时30分,由“苏沃洛夫”号旗舰率领的波罗的海舰队进入日军舰队在马山海湾设置的伏击圈内,处于交叉火力网之中。顿时炮弹像冰雹一样落到俄军的舰船上,无情地将它们一艘一艘摧毁,一艘一艘被海水吞噬。最后,只有三艘设法逃脱到达海参崴港,其他未被击沉的战舰不得不升起白旗投降,几千名官兵葬身海底,舰队司令罗泽斯特文斯基伤势严重,成了日军的俘虏。

这是电子战战史上的一次惨痛教训。如果波罗的海舰队司令能接受“乌拉尔”号舰长的劝告和建议,用大功率无线电发射机干扰日舰的预警报告,并果断采取攻击和其他措施,也许不至于造成如此悲惨的结局。

从1904—1905年的日俄战争到第一次世界大战,无线电对抗开始应用于战争。在这一时期内,电子战的特点主要表现为对无线电通信的侦察、破译和分析,对无线电通信的干扰只是在战争中偶尔应用。因为当时各军种领导人和参谋都认识到,通过侦察分析敌人的无线电通信,就可得到有关敌人的重要军事情报,因此电子战的应用主要偏重于侦察、截获敌方的无线电发射信号,而不是中断或破坏他们的发射。此外,电子战的应用也仅局限于海上作战行动,且无专用的电子战设备,只是利用无线电收、发信机实施侦察和干扰,因而是一种最原始、最简单的电子战,因此可以认为是电子战的起源或初创阶段。

## 1.1.2 第二次世界大战时期

如果说电子战是在第一次世界大战前后兴起,并在战争中崭露头角,则第二次世界大战和战后就成为电子战真正形成和大量应用阶段。这一阶段中,随着电子技术的发展,许多国家开始研制和应用无线电导航系统和雷达系统。在夺取制空权成为决定战争胜负关键的第二次世界大战中,目标探测雷达、导航雷达和岸炮、高炮控制雷达已广泛装备部队,并成为作战飞机、作战舰艇的重大威胁。因此,能否有效地干扰、破坏敌方雷达系统的正常工作已关系到部队的生死存亡。这种极为迫切的战争需求推动了电子战进入第一个发展高潮。

在此期间,英、美、苏、德等国都纷纷投入大量的人力、财力,建立无线电对抗研究机构,大力研制无线电对抗装备,组建无线电对抗部队,研究无线电对抗技术。从而使电子战从单一的通信对抗发展为导航对抗、雷达对抗和通信对抗等多种电子战形式,同时也陆续研制出一些专用的电子战装备,如无线电通信侦察测向设备和干扰设备、雷达侦察设备、有源雷达干扰设备、无源箔条干扰器材、专用电子侦察飞机、专用电子干扰飞机等。电子战的作战领域也从海战扩展到空战和陆战。在作战行动上,特别是1943年以后,电子侦察、电子干扰几乎天天都在激烈地进行着,电子战已成为保护飞机和舰艇安全的不可或缺的支援手段。特别是1944年春,英、美联军为掩护登陆部队在法国诺曼底实施登陆作战而成功实施的规模巨大的“霸王”电子欺骗行动,标志着电子战的发展和应用达到了一个新的水平。

保证诺曼底登陆作战成功的关键是最大限度地隐蔽真实的登陆地区和登陆行动,尽量减少正在登陆的部队与德国部队之间的交战,特别是在登陆的初期阶段。这就是电子战在此次作战中的总任务,其重要意义和艰巨程度可想而知。

### 1.1.2.1 制订周密的电子战计划

1944年2月,由英国电信研究所电子对抗处处长、电子对抗专家罗伯特·科伯恩为首组成了电子对抗工作组,开始制订保障登陆的电子战计划,不久美国无线电研究实验室、第十五处美英实验室也投入了这项工作。在整个计划过程中安全保密极其严格,每个人除自己的任务所必须知道的事情外,谁也不知道计划的其他情况。计划规定了电子对抗作战方案必须完成的任务,包括阻止敌方岸基雷达对盟军登陆舰艇的早期警报、实施空中支援和各种军事佯动等具体行动措施。

### 1.1.2.2 战前准备

#### 1. 扫清障碍

德国为了及时获得盟军从空中或海上攻击的警报,在法国北部和比利时、荷兰沿海建立了92座雷达站,装备了各种用途的雷达系统,包括警戒雷达和火炮控制雷达,如“猛犸象”、“沃塞曼”、“弗雷亚”、“海浪”及“维尔茨堡”和“小维尔茨堡”雷达等。这些雷达时刻监视着英吉利海峡中的舰船活动。要全面欺骗这样多体制、多频段配备的严密雷达网,那简直是不可能的。因此,盟军通过高精度测向机精确地确定这些雷达的位置,然后再通过照相侦察进行精确标定。

摧毁这些雷达的任务由英国皇家空军第二战术航空队实施,从3月16日开始,首先对比利时沿岸的雷达进行攻击,然后是法国北部沿海的雷达。至登陆行动实施之前,德军92座雷达站中,除侥幸残存的16座外,其余76座均被摧毁,为实施欺骗创造了有利条件。

## 2. 组建电子战部队,安装电子战设备

在攻击德军雷达站的同时,驻英国斯克索普空军基地的美国陆军航空兵第8航空队第803轰炸中队被改装为专门的电子战部队,与英国皇家空军的第100大队共同担负此次战役的电子战任务。第803轰炸中队装备9架B-17轰炸机,其中8架各装备9部美国研制的“地毯”干扰机和4部英国研制的“鹤嘴锄”干扰机;另一架改装为电子侦察飞机,装备SCR-587和S-27电子侦察接收机。

美军在22艘攻击坦克登陆艇和9艘大型火炮登陆艇上安装了76部不同型号的雷达干扰机。

## 3. 设计和试验“幽灵舰队”

就在工程师们紧张地在作战舰船和飞机上安装电子战设备的同时,电子对抗工作组也在精心设计支援登陆作战的欺骗措施——在雷达荧光屏上模拟两支巨大的“幽灵舰队”,目的是将德军的注意力吸引到远离登陆地点的地区。为达到这一目的,最简单的方法是使用大量相同尺寸的船只,但登陆作战时不可能有这么大的大型船只用于这个目的。科伯恩的设计方案是:由多架飞机在精心安排的航线上飞行,并投放干扰绳(长金属箔条),在敌军的雷达荧光屏上形成一个相当于长16英里、宽16英里、面积为256平方英里的巨大目标群所反射的雷达回波,就像一支巨大的舰队一样。该方案在远离德国的苏格兰弗斯湾针对英国自己的雷达进行了试验和登陆演习,证明“幽灵舰队”的设计是成功的。

5月下旬,一切准备就绪。

### 1. 1. 2. 3 渡海登陆作战

1944年6月5日傍晚,经过几个月精心策划的渡海登陆作战行动开始了。由大约2700艘各种型号的舰船,载着数十万官兵组成的登陆部队,从英国西部各港口起锚,悄悄地向法国诺曼底方向驶去。

同日夜间,两支“幽灵舰队”“出航”了。较大的一支“幽灵舰队”命名为“征税”作战行动,由英国皇家空军第767中队的8架“兰开斯特”轰炸机投放的干扰绳形成,按照规定的航线、速度“驶向”勒阿弗尔港;较小的一支“幽灵舰队”命名为“微光”作战行动,由第218中队的6架“斯特林”飞机投放的干扰绳形成,“驶向”法国北部沿海的顿刻尔克—加来—布洛涅地区。

与此同时,在这些“幽灵舰队”的北面,由美国第803轰炸机中队的4架B-17飞机和英国空军第199中队的16架“斯特林”飞机,携带“鹤嘴锄”干扰机,在预定航线上设置干扰屏障,掩护各种作战行动,但故意在东面实施较弱的干扰,使德军的雷达操作员能透过干扰观察到这两支“幽灵舰队”,看起来就像有多艘舰艇的舰队在航行。

大约凌晨3点,两个“幽灵舰队”到达距法国海岸约10海里的停止线,各汽艇将装载雷达波反射器的漂浮体抛锚固定,施放烟幕,并用扬声器播放预先录制的模仿巨大舰队抛锚时发出的尖叫声、吵闹声和海浪撞击声。完成欺骗任务后,汽艇迅速返航。德军错误地将“微光”行动当成了登陆部队,命令岸炮猛烈攻击;又派出舰艇和侦察飞机进行侦察,费了很长的时间什么也没有发现。

在伴随“微光”和“征税”作战行动的汽艇向法国海岸艰苦航行的同时,英国皇家空军用29架“斯特林”和“哈利法克斯”轰炸机在法国昂蒂费角进行了大规模的假空降,飞机在飞行途中投放大量干扰绳,从远方的雷达看起来就像是大批机群入侵。在模拟空降区投下了装备大量烟

火弹的假伞兵部队,这些焰火弹爆炸时的噼啪声和轰隆声犹如在进行一场激烈的地面战斗。为了增加真实感,还空降了少量特别空勤人员,他们在那里大量制造噪声。

为了分散德军战斗机的注意力,英国空军派出 29 架轰炸机沿索姆河一线投放干扰绳,形成一支巨大的“幽灵轰炸机编队”,以增大这支部队在德军的雷达荧光屏上的视在规模,并为德国夜间战斗机提供可追寻的目标。为了阻止德国的夜间战斗机进入真正的空降区,这些飞机还利用所携带的 82 部通信干扰机实施干扰,在法国东部上空制造一道通信干扰屏障,使德国在法国北部飞行的战斗机收不到地面引导站的指令信号,无法相互支援。德军地面引导人员果然中了圈套,命令他们的夜间战斗机去截击法国东部上空的“幽灵轰炸机编队”。他们在干扰绳云团中无目的地徘徊,既找不到目标,也得不到地面的引导指示,直至燃油耗尽被迫返航。

与此同时,1069 架非武装的重型运输机和滑翔机组成的庞大机群,满载着空降部队及其装备飞向诺曼底地区的真实空降区飞去。运输机群的两侧,有数量众多的“蚊”式战斗机护航。空降顺利实施,所有运送飞机都安全返回英国,没有损失一架。

大约在 6 月 6 日凌晨 3 点,以 200 余艘登陆舰和登陆艇为主的登陆部队已靠近塞纳湾卡昂至卡朗唐一带沿海。在靠近海滩时,所有的舰载干扰机全部开机,这个真正的“干扰功率制造厂”使德国海军幸存的海岸雷达荧光屏呈现一片白光。干扰非常有效。由雷达控制的岸炮找不到目标,只能盲目射击。据称,只有一部德军雷达看到了登陆舰队正在逼近,但德军在一片混乱之中,这个雷达站的报告无人理睬。



图 1.1.1 诺曼底登陆电子战示意图

登陆部队利用黎明前的黑暗,在舰炮的掩护下迅速展开登陆行动,抢占滩头阵地。到上午 10 时 15 分,大部登陆部队已经上岸。具有讽刺意味的是,德国情报系统在接到盟军已在诺曼底地区登陆的消息时,仍然认为那是佯攻,命令防御部队等待加来地区主攻的到来。直至 6 日下午,德军才将其装甲部队投入战斗,那时盟军已在陆上站稳了脚跟。盟军的战斗机部队在滩

头阵地上空巡逻,构成了强有力的空中保护伞,德国空军的飞机要进入这一地区协同地面部队作战已完全没有可能。

英国首相丘吉尔在诺曼底登陆战役结束后高度赞美电子战应用的成功:“我们的电子欺骗措施在总攻开始之前和开始之后,有计划地引起敌方的思想混乱。其成功令人赞美,而其重要性将在战争中经受住考验。”

### 1.1.3 越南战争和中东战争时期

#### 1.1.3.1 越南战争的促进奠定了电子战在现代战争中的重要地位

第二次世界大战后到来的冷战时期,以雷达、激光和红外制导的战术导弹得到了极大的发展,并且以其对飞机等高价值武器平台的精确杀伤能力,在战争中发挥了巨大的作用。这种局面促使电子战发生了质的飞跃。

第二次世界大战后,美国认为没有哪个国家在电子对抗能力方面能与其抗衡,因此,没有必要再投入大量的人力、物力发展电子对抗装备。于是,撤销了电子对抗研究机构和电子对抗部队,已生产的装备锁进了仓库,电子战装备的发展基本停顿。为此,美军在越南战争初期付出了惨重的代价。

越南战争初期,美军由于10多年来生产和装备部队的电子战装备很少,锁进仓库的装备大部分已经损坏,尽管其飞机的飞行性能十分先进,但战损率曾一度高达14%,几乎到了不能继续支持作战的程度。由于损失惨重,迫使美军不得不减少轰炸,同时重新把电子战装备的发展放到重要地位,加速研制、生产和调运电子战装备,紧急培训电子战军官,加强和扩充电子战部队。至1967年年初,所有的作战飞机完成了电子战装备改装,EA-6A、EB-66和EA-6B专用电子战飞机相继服役,装备“百舌鸟”和“标准”反辐射导弹的“野鼬鼠”飞机先后调入战区,飞机的战损率才下降到可以承受的程度。越南战争再次证明,在现代战争中,不具备电子战能力,作战飞机就不可能生存。美军高级将领在总结越南战争教训时说:“电子战必须成为我们武器系统的战斗力、军队的使用原则及部队训练的不可分割的组成部分”,并预言“未来任何一场战争的胜利,必将属于最能有效控制电磁频谱的一方”。

越南战争促进了电子战技术、电子战装备和电子战理论的发展。采用先进技术的欺骗式干扰机、双模干扰机、侦察/干扰综合化电子战系统、携带大功率干扰系统的专用电子战飞机、反辐射导弹以及电子侦察卫星先后装备部队;机载自卫电子战系统、专用电子战飞机和反辐射导弹已构成美国空军电子战的三大支柱。电子战已发展成“软硬杀伤”结合、攻防兼备的重要战斗力,并成为现代战争的一种基本作战模式。

越南战争促使各国政府和军事家开始重新认识未来战争的特点和考虑发展电子战能力,因此,纷纷建立电子战部队,研制和引进电子战装备,并将电子战装备列为优先发展项目。从而打破了电子战被极少数军事强国所垄断的局面,奠定了电子战在现代战争中的重要地位。有鉴于这一发展趋势,1969年,美国参谋长联席会议正式明确了电子战的定义,为现代电子战概念奠定了重要基础。

在20世纪50~70年代,亦即在越南战争和中东战争期间,电子战装备已经从单机过渡到系统,从单一功能向多功能、系列化方向发展,成为武器装备系列中不可缺少的一个种类。由此发展了完整的电子战作战理论、方式、战术、技术、装备和组织,完善了电子战作战条令、作战训练。

### 1.1.3.2 贝卡谷地之战创造了运用电子战的典范

1982年6月,以色列为了拔掉部署在叙利亚驻贝卡谷地的苏制SAE-6导弹阵地,悍然发动空军袭击叙利亚防空导弹阵地,并与叙利亚战斗机展开大规模空战,这就是著名的贝卡谷地之战。在这场战争中,以色列运用了一套适合于现代战争的新战术,把电子战作为主导战斗力要素,以叙利亚的C<sup>3</sup>I系统和SAE-6导弹阵地为主要攻击目标,实施强烈电子干扰压制和反辐射导弹攻击,致使叙利亚19个地空导弹阵地全部被摧毁,81架飞机被击落,而以色列作战飞机则无一损失,创造了利用电子战遂行防空压制而获得辉煌战果的成功战例。

1982年6月9日下午2点14分,以军突然对贝卡谷地发动袭击。率先飞入SAE-6阵地上空的是一批无人诱饵飞机,用以引诱叙军雷达开机并发射SAE-6导弹。随后大批F-4和A-4飞机用美制反辐射导弹攻击叙雷达,并用制导和常规炸弹实施低空轰炸。F-15和F-16飞机担负护航掩护任务,夺取制空权,这些飞机上都携带有美国提供的各种告警设备和自卫电子干扰和欺骗设备。

在地中海上空,以军有2架E-2C“鹰眼”预警飞机在空中盘旋,担负警戒和战场指挥任务。只要叙军雷达开机,E-2C就能迅速测定其位置及工作频率等性能参数,并传送给以军战斗机,使以军完全掌握了制空权和作战主动权。在以军使用反辐射导弹、激光制导导弹等高技术兵器的攻击下,叙军大部分雷达被摧毁,幸存的雷达也被迫关机,使以空军飞机若入无人之境,肆无忌惮地进行狂轰滥炸,叙军伤亡惨重。

叙利亚最高司令部在获悉以军空袭贝卡谷地的消息后,紧急从国内各基地派出了几十架米格飞机增援贝卡谷地。但这些飞机刚进入跑道滑行时,就被以E-2C预警飞机发现并跟踪。在E-2C的指挥下,以军自己改装的波音707专用电子战飞机施放了大功率干扰。同时,叙军导弹阵地的指挥中心被以F-16战机发射的2枚“百舌鸟”反雷达导弹摧毁。在叙军通信指挥中断、雷达致盲的情况下,以军数十架F-15和F-16战机猛扑上去,米格飞机纷纷落地,地空导弹阵地一片混乱。在以军发动的三个攻击波以后,贝卡谷地19个SAE-6导弹连被完全摧毁,无一幸免,而整个轰炸只持续了大约6分钟。

轰炸虽然结束,但空战仍在进行。叙军共出动60架米格21和米格23飞机迎战以军的90架以F-15和F-16为主的战斗机群。由于叙军的通信和雷达都遭到以军波音707电子干扰飞机以及各作战飞机自身携带的电子干扰设备的干扰,叙军完全处于被动挨打的境地。空战结果,叙军被击落39架飞机,而以军无一损失。

为防止以军将战火扩大到叙利亚国境内,叙军决定当夜再给贝卡谷地补充4个SAE-6导弹连和三个SAE-8导弹连,以军在侦察到这一情况后,于6月10日上午出动92架次再次实施轰炸,第二次空战随之爆发。这次叙军出动52架战斗机,战斗结果再一次令世界震惊,叙军新补充的SA-6和SAE-8导弹连被彻底摧毁,战斗机全军覆灭,而以色列空军战斗机群则全部安全返航。

在贝卡谷地空战中,以色列电子战的应用是十分出色的。其战术特点是:战前周密侦察、充分准备;发起攻击先行佯攻,采取欺骗手段引诱叙方雷达开机;机上告警系统、自卫干扰系统与远距支援干扰相结合、有源干扰与无源干扰相结合、压制性干扰与欺骗性干扰相结合、软杀伤与硬摧毁相结合,形成了侦察、告警、干扰、摧毁行动的有机配合,是综合应用各种电子战手段和其他作战行动的典范。因此,这场空战有力地证明了这种以电子战为主导,并贯彻于战争始终的战争样式正是以色列取得这次空战胜利的关键。

### 1.1.4 海湾战争和科索沃战争时期

如果说在以前的战争中,电子战作为重要作战手段在战争中发挥了突出的作用,那么在1991年的海湾战争中,电子战已发展成为现代高技术战争的重要组成部分。

海湾战争,多国部队投入的电子战兵器种类之多,技术水平之高,作战规模之大和综合协同性之强都是现代战争史上空前未有的,多国部队在海湾战争中的胜利可以说就是电子战的胜利。

#### 1. 以悄声的电子情报战作为战争的先导和序幕

自伊拉克入侵科威特后到海湾战争爆发前的5个多月时间内,多国部队首先发动了一场悄声的战争——电子情报战,严密地组织了包括电子和照相侦察卫星,电子侦察飞机和地面电子侦察站等多种侦察手段,对伊拉克形成了一个全方位、多层次、多频谱和多手段、多渠道、不间断的电子/图像情报侦察网,保证了多国部队对伊拉克广大地域的军事装备和军事行动实施大面积、持续的军事情报侦察和监视,为多国部队战略战术决策提供大量翔实的情报数据。

在空间,美国部署了KH-11、KH-12照相侦察卫星和“长曲棍球”合成孔径雷达侦察卫星,摄取伊拉克地面军事装备和地下防御工事的分布概况,日夜监视伊军的各种军事行动;使用了电子侦察型“白云”海洋监视卫星,截收伊拉克的雷达和通信情报;秘密发射了“大酒瓶”、“漩涡”等通信侦察卫星,窃听伊军轻便无线电电话机通信和小分队间的电话交谈情况。

在空中,多国部队按高、中、低空分层部署了美国U-2R、TR-1A、RC-135B、RF-4B/C等战略战术情报侦察飞机,RV-1D、EH-60A侦察直升机、“黄蜂”、CL-289和CH-124A无人侦察飞机。这些侦察飞机组成了分层部署、梯次覆盖的空中电子情报侦察网,担负对伊广大地区进行战略情报侦察、战区战术情报侦察和作战效果评价任务。同时把所获取的电子和图像情报与卫星摄取的情报互相印证和相应补充,从而保证了所获取情报更及时、更准确可靠。

在地面,美国每个陆军师和空降师等配有TSQ-112、TSQ-114通信侦察设备和TSQ-109,MSQ-103A雷达侦察设备,用于侦收离战区前沿40千米纵深地带的电子情报。此外,美国把设在中东地区和地中海的39个地面电子侦察站组成一个电子情报收集网,远距离截收伊军的电子和通信信号。

多国部队通过5个多月的上述侦察活动,获取了大量有关伊拉克的军事装备和军事力量配置的信号情报和图像情报,摸清了伊拉克重要防空雷达网和通信网的性能、技术参数和重要战略目标、军事设施的性质和地理坐标。据此,多国部队制定了各种作战方案和协同计划,并将侦察到的目标攻击参数制成计算机软件和电子地图,分别装入作战飞机和“战斧”巡航导弹中,对参战人员和飞机进行战斗模拟演练,为多国部队在空袭时顺利进行电子干扰和攻击创造了先决条件。

#### 2. 以C<sup>3</sup>I军事信息系统和精确制导武器为目标实施全面电子进攻

在空袭前约9个小时,美国专门实施了代号为“白雪”的电子战行动,出动了数十架EF-111A、EA-6B和EC-130H电子战飞机,并结合地面MLQ-34等大功率电子干扰系统,对伊拉克纵深的雷达网、通信网进行全面的“电子轰炸”,以窒息伊军的C<sup>3</sup>I电子“神经中枢”,致使伊拉克对多国部队的空袭活动和通信往来一无所知,雷达操纵员看不见多国部队的飞机活动情况,甚至于伊拉克广播电台短波广播也听不清。

在空袭开始时,多国部队的EA-6B、EF-111A、EC-130H和F-4G反辐射导弹攻击飞机率

先起飞,在 E-3 和 E-2C 空中预警机的协调、指挥下,再次对伊军的预警雷达、引导雷达、制导雷达、炮瞄雷达和伊军通信指挥系统的语音通信,数据传输通信及战场指挥等实施远距离支援干扰,近距离支援干扰和随队掩护干扰,以及发射“哈姆”反辐射导弹直接摧毁防空雷达。多国部队参战飞机都带有大量先进的自卫电子战设备和 ADM-141 空投诱饵,它们能使伊军各种制导的防空导弹和雷达控制火炮偏离瞄准目标。在这样大规模的、综合的电子兵器攻击下,致使伊军雷达迷盲、通信中断、武器失控、指挥失灵,整个 C<sup>3</sup>I 系统变成“聋子”和“哑吧”,防空体系完全解体。从此以后就一蹶不振,无法组织有力的反击,处处被动挨打。

### 3. 以隐身飞机担任空中首攻任务

在此次海湾战争中,为了保证突防飞机隐蔽、突防到目标区实施攻击而不被敌方发现。多国部队以很难被雷达发现的、突防能力极强的 F-111A 隐身战斗轰炸机担任空中首攻任务。1月17日凌晨无月之夜,F-117A 躲过伊军雷达的监视隐蔽突防到巴格达上空,准确地用激光制导炸弹 BLU-109/B 炸毁了伊拉克的电信大楼。到拂晓前,美国共出动 30 架 F-117A 隐身飞机,准确攻击了伊拉克境内指挥中心、固定雷达阵地和地面截击阵地等 80 多个目标。在 F-117A 的带领下,大批攻击机群突防到巴格达上空进行大规模的空袭,使伊拉克指挥系统和防空系统立即瘫痪。

多国部队投入的电子战兵器种类之多,技术水平之高,作战规模之大和综合协同性之强都是现代战争史上空前未有的。仅就电子战飞机来看,就占作战飞机总数的 10% 以上。在空袭作战所出动的飞行架次中,执行电子战任务的约占 20%。这些电子战系统有效地保证了其作战行动的有序进行,在 38 天约 11 万架次的空袭中,飞机的损失率降低到 0.04% 以下,创历史水平。因此多国部队在海湾战争中的胜利,实质上是电子战的胜利。这充分证明了电子战已经超越传统的作战保障手段而发展成为高技术战争的一条无形战线。

20 世纪 80~90 年代的海湾战争和科索沃战争是电子战进入体系对抗历史发展时期的一个显著标志,进一步确立了它在现代战争中不可取代的重要地位。这一发展阶段是电子战概念、理论、技术、装备、训练和作战行动的鼎盛发展时期,体现了现代战争中以电子战为先导并贯穿战争始终的战役/战术思想。更重要的是它在世界范围内引发了一场空前广泛的新军事革命,研究并确立了信息时代的战争形态——信息化战争,推动了电子战理论的发展和升华。

## 1.1.5 21 世纪初的伊拉克战争和信息时代

当人类社会跨入 21 世纪的大门,真正进入信息时代开始,人们便充分认识到未来战争必将以夺取全谱战斗空间的信息优势为主线来展开。为此,信息战已经成为支援联合作战与协同作战,夺取信息优势的关键作战力量。信息战概念、理论、技术、装备、训练和作战行动都将在这一历史发展时期得到深化和完善,不对称战争环境中具有信息威慑能力的新概念武器相继问世并投入实战使用,电子战/信息战必将进入一个崭新的历史发展时期。

伊拉克战争是电子战进一步显示威力的舞台,是展示以信息优势为主导的作战样式下电子战作战的试验场。在伊拉克战争中,虽然双方军事实力相差悬殊,但是美军仍然十分重视运用电子战力量,重视电子战新技术、新装备的试用。同以往几次战争相比,伊拉克战争中电子战有以下一些新特点。

### 1. 电子战无人机

在伊拉克战争中,美国军方使用了 10 多种,90 多架无人机对作战进行支援。无人机在电



子战方面的第一个作用是情报监视侦察(ISR),如在战争爆发后的第二天,联军的特种部队就在伊拉克与约旦边境以 H2、H3 机场为基地,使用美国空军的“捕食者”无人机进行远程侦察巡逻,防止伊军用“飞毛腿”导弹袭击以色列。

第二个作用是建立电子作战序列。在战争爆发之前,美国就采用“全球鹰”高空无人机以及一些小型的无人机系统携带信号情报载荷,穿越伊方的防空网,对伊拉克进行情报侦察,辨别每个电子辐射源的作用、部署的位置,建立电子作战序列。这对于摧毁伊拉克的防空雷达和指挥控制网至关重要。

## 2. GPS 对抗

在伊拉克战争中,由于美军的武器装备和作战行动均高度依赖 GPS,所以美军特别关注 GPS 干扰机是否能够破坏其 GPS 的正常工作。

战争初期,美军认为俄罗斯公司向伊拉克提供的 GPS 干扰设备使其精确制导武器受到影响。不过后来美军又宣布摧毁了这些 GPS 干扰机。

一方面可以看出 GPS 干扰对美军精确打击的重要性和有效性,同时也可推论出,美军在战场上使用的精确打击导弹可能大量应用了 C/A 码 GPS 接收机,或用 C/A 码引导的军码接收机。所以,在近几年,针对 C/A 码 GPS 接收机的干扰将仍具有较大的作战意义,可以降低敌方直接应用 C/A 码接收机和用 C/A 码引导的军码接收机的制导系统的性能。在美军实现军码直接捕获技术以前,这种干扰都将是有意义的。

## 3. 网络攻击

美军的网络攻击主要是对伊拉克防空雷达网的攻击。美军在过去两年多进行了一系列的演练,花费了很长时间收集伊拉克境内的电子信号及其细微特征,利用 EC-130“罗盘呼叫”和 RC-135“铆钉”电子战飞机,希望能够对伊拉克的防空系统实施欺骗、植入假目标甚至获得对设备的控制权。这标志着传统的电磁频谱领域斗争形式正在开始改变,电子战与网络战相结合正成为一种发展的趋势。

# 1.2 电子对抗的概念

## 1.2.1 电子对抗的含义

电子对抗指利用电磁能、定向能确定、扰乱、削弱、破坏、摧毁敌方电子信息系统和电子设备,并为保护己方电子信息系统和电子设备正常使用而采取的各种战术技术措施和行动。其内容包括电子对抗侦察、电子进攻和电子防御三个部分。美国及一些西方国家一直称为“电子战”,前苏联将其称为“无线电电子斗争”,中国军语的标准称谓是电子对抗。

电子对抗的概念是随着电子技术的发展和在军事上的应用不断深化和完善的。美国作为电子战强国,美国的电子战定义也是随着电子战不断发展而演变的。了解美军关于电子战定义的演变过程,有利于认识电子战的内涵和本质。经历了越南战争后,1969 年美国参谋长联席会议正式明确了电子战的定义:

电子战是利用电磁能量确定、利用、削弱或阻止敌方使用电磁频谱和保护己方使用电磁频谱的军事行动。电子战包括电子支援措施、电子对抗措施和电子反对抗措施三个组成部分。电子支援措施指对辐射源进行搜索、截获、识别和定位,以达到立即识别威胁的目的而采取的各种行动。电子对抗措施指阻止或削弱敌方有效使用电磁频谱而采取的行动。电子反对抗措