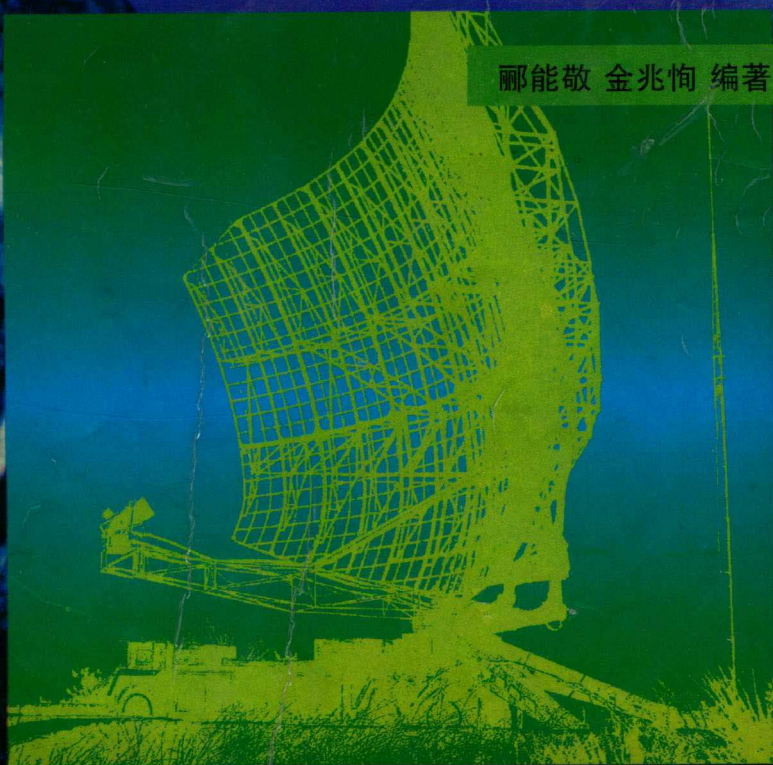


# 军事电子技术概论

现代通信干部  
教育丛书



酆能敬 金兆恂 编著 冯世章 主审



F G Y C B S

现代通信干部教育丛书

# 军事电子技术概论

郇能敬 金兆恂 编著  
冯世章 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

军事电子技术概论/酆能敬, 金兆恂编著. —北京: 国防工业出版社, 1997. 12

(现代通信干部教育丛书)

ISBN 7-118-01799-X

I. 军… II. ①酆… ②金… III. 电子技术-应用-军事技术 IV. E919

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 15852 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)

河北三河市腾飞胶印厂

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$  299 千字

1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月北京第 1 次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 19.00 元

---

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

發揮兩個  
勢提高辦學  
水平

袁邦根

袁邦根

一九九七年四月廿五日

## 《现代通信干部教育丛书》编委会

名誉主任：孙俊人

主任：袁邦根

副主任：张福奎 陈太一

委员：黎东汉 黄萍 江伟文 王俊义

杨千里 王永刚 鲁道海 李祖明

侯喜贵 赵志法 田福康 张维峰

王玉学 陈巾巾 王同生

### 编委会办公室

主任：陈巾巾

副主任：俞干泽

秘书：李作平 韩蓓蓓 熊正友 夏璿

## 总 序

目前,全国全军正在响应江泽民总书记关于用正确的思想理论和高科技知识武装头脑的号召,掀起学习高科技的热潮。

电子信息是高新技术的三大支柱之一。现代通信技术是现代电子信息技术的重要领域。在现代社会中,人类活动所需要的各种信息,主要是依靠现代通信技术与设施来处理、存储和传输的。如果说建立在微电子技术及软件技术基础上的计算机是现代社会的“大脑”,那么,由程控交换机、大容量光纤、通信卫星及其他现代通信装备交织而成覆盖全球的电信网络就是现代社会的“神经系统”。因此,学习现代通信技术是学习高科技的重要内容。为了帮助大家学习现代通信技术及其相关的电子信息技术,我们组织编写了这套《现代通信干部教育丛书》。

1996年3月,在北京召开了《现代通信干部教育丛书》第一次编委会。会议由总参通信部训练局王永刚局长主持。出席会议的有:中国电子学会理事长、中国工程院院士孙俊人教授,总参通信部部长袁邦根,原通信兵部副主任黎东汉,原通信兵部副主任黄萍,原南京通信工程学院院长江伟文,原南京通信工程学院副院长、中国电子学会教育工作委员会主任陈太一教授,原总参通信部副部长杨千里,总参通信部训练局侯喜贵副局长,总参第61研究所赵志法高级工程师以及广州通信学院的代表。

会上,主编单位——广州通信学院的代表汇报了对丛书的总体设想和具体意见,陈太一教授就丛书的宗旨、选题、内容等作了发言。编委们围绕编写出版《现代通信干部教育丛书》的意义、书目、内容、编写原则、发行范围等问题进行了广泛而热烈地讨论。总参通信部和中国电子学会对这次会议非常重视,袁邦根部长和孙俊人理事长作了重要指示。与会人员一致认为,编写《现代通信干部教育丛书》具有重要的现实意义和长远的历史意义,是一项基础性的工作,是落实“科教兴国”、“科技兴通信”发展战略的重要举措,是有利于通信兵长远建设的一件好事、一件实事。

《现代通信干部教育丛书》有三个特色。一是跨世纪。这是一套培养跨世纪人才的丛书,是一套立足“八五”,着眼“九五”,适应2010年通信发展的丛书。二是治本。这是以基础知识尤其是高科技基础知识为主的丛书,是培养适应高科技发展要求的通信干部的丛书。三是继续教育。这是一套继续教育丛书,是一套与院校及部队现有教材互补的丛书,是院校教学内容的延伸、补充和扩展。

《现代通信干部教育丛书》遵循了系统性、针对性、简明性、科学性的原则,深入浅出、概念清晰、层次分明、图文并茂;以解释物理概念为主,不做过多数学推导。全书为大学水平,可以作为院校教材及参考书,亦可作为自学、函授、短训班教材。

这套丛书共7本,包括:

《科学思维与科学方法概论》

《现代通信概论》

《现代计算机概论》

《现代战术通信系统概论》

《军事电子技术概论》

《军事电子信息英语》

《军队应用说写教程》

由于丛书涉及的内容广泛，编著者水平有限，时间紧迫，书中可能有不妥之处，敬请各位读者提出宝贵意见。

《现代通信干部教育丛书》编委会

一九九七年七月

## 序 言

电子技术从本世纪初诞生起就被应用于军事斗争中。30年代以前,通信是军事电子技术的主要内容。30年代后,雷达、声呐、红外探测设备与自动计算、控制技术问世,电子技术被进一步用于目标探测和武器系统控制。第二次世界大战促进了这些技术的迅速发展。同时产生了电子对抗技术。于是敌对双方利用电子技术来获取、传递和利用军事信息,与反获取、反传递、反利用相对抗,导致了电子战这一新战斗领域的产生并促进其扩展。

电子技术的进步,特别是60年代以后微电子技术与计算机技术的迅速进步,使电子技术在军事上的应用迅速扩大,广泛渗透到各种武器装备和战场指挥控制中。军事自动化指挥、控制、通信和情报系统(C<sup>3</sup>I系统)、预警机系统、机载远程雷达侦察系统与卫星全球定位系统(GPS)等大型军事电子系统相继出现。一切先进武器系统,如精确制导导弹和炮弹、隐身飞机及舰艇都是以电子技术为核心。因此,电子战已成为现代战争的重要方面,贯穿于整个战争的全过程。电磁优势是现代战争双方争夺的制高点,在决定战争进程乃至战争胜负起到了重要作用。90年代初多国部队对伊拉克的海湾战争已体现了这一特点。

编写本书的目的是使读者能了解军事电子新技术的概貌。因此,本书将覆盖军事电子技术的各主要领域,但不包括通信,因军事通信在这一丛书中已另有专著。本书的第一篇是雷达与电子对抗技术,通过描述雷达与电子对抗的斗争、雷达与反雷达导弹和隐身武器的斗争,介绍了雷达、电子侦察与干扰、反雷达导弹与隐身技术等原理和发展过程。第二篇介绍现代战争中具有突出效能的两种电子武器系统,即预警机系统与机载战场雷达侦察系统。第三篇介绍军事导航和定位技术,其中以导航星全球定位系统(GPS)为重点。第四篇介绍光电装备与光电对抗技术,包括红外与紫外技术、激光技术、微光夜视技术以及它们的对抗技术手段等。最后,第五篇简述一些军事电子新技术的展望。

本书通过对上述电子技术的发展历史、基本原理、应用实例与今后趋向等方面的深入浅出论述,使读者能对这些貌似神秘的军事电子领域有一个基本清晰的概念,为今后进一步学习、应用和掌握这些电子武器装备打下基础。

本书第一、二篇由邴能敬教授撰写;第三、四、五篇由金兆恂高工撰写;邴能敬教授担任主编。全书经冯世章教授审阅。本书是在《现代通信干部教育丛书》编委会指导下编著的,在编著和出版过程中得到了国防工业出版社及其责任编辑的大力帮助,特此致谢。

编 著 者

# 目 录

## 第一篇 雷达与电子战技术

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 第一章 引言——雷达与电子战技术在现代战争中的重要作用 .....    | 1  |
| 第二章 雷达技术的原理与发展 .....                 | 9  |
| 2.1 雷达的基本组成与工作原理 .....               | 9  |
| 2.2 军用雷达的主要类型 .....                  | 12 |
| 2.2.1 搜索雷达 .....                     | 12 |
| 2.2.2 跟踪雷达 .....                     | 14 |
| 2.2.3 多功能雷达 .....                    | 15 |
| 2.2.4 二次雷达 (SSR) .....               | 15 |
| 2.3 雷达技术发展的回顾与展望 .....               | 16 |
| 2.3.1 雷达工作频率的扩展 .....                | 16 |
| 2.3.2 雷达发射功率的增大与接收灵敏度的提高 .....       | 19 |
| 2.3.3 雷达天线技术的发展 .....                | 19 |
| 一、电扫描天线 .....                        | 19 |
| 二、低旁瓣天线 .....                        | 21 |
| 2.4 雷达信号波形与信号处理技术的发展 .....           | 22 |
| 2.4.1 雷达信号波形 .....                   | 22 |
| 2.4.2 运动目标检测、测速与脉冲多普勒制 (PD) 雷达 ..... | 23 |
| 2.4.3 数字技术与半导体集成电路在雷达中的应用 .....      | 23 |
| 一、雷达信号的数字化 .....                     | 24 |
| 二、雷达信号的自动录取与目标航迹自动跟踪 .....           | 25 |
| 2.5 几种新体制雷达 .....                    | 25 |
| 2.5.1 短波超视距雷达 .....                  | 25 |
| 2.5.2 合成孔径雷达 (SAR) .....             | 26 |
| 2.5.3 有源相控阵与数字波束形成技术 .....           | 27 |
| 第三章 雷达与电子对抗的斗争 .....                 | 29 |
| 3.1 对雷达的电子侦察技术 .....                 | 29 |
| 3.1.1 对雷达信号的测频方法 .....               | 30 |
| 一、搜索法 .....                          | 30 |
| 二、非搜索法 (瞬时测频法) .....                 | 30 |
| 3.1.2 对雷达信号的测向和定位方法 .....            | 32 |
| 一、比幅测向 .....                         | 32 |
| 二、比相测向 .....                         | 32 |
| 三、信号到达时间差测向 .....                    | 34 |

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| 四、对雷达或其他辐射源的定位 .....                          | 34        |
| 3.1.3 电子侦察的信号处理技术 .....                       | 35        |
| 一、雷达信号分选 .....                                | 35        |
| 二、雷达信号识别 .....                                | 36        |
| 3.2 对雷达的电子干扰技术 .....                          | 36        |
| 3.2.1 有源干扰机 .....                             | 37        |
| 一、噪声干扰机 .....                                 | 37        |
| 二、回答式干扰机 .....                                | 38        |
| 三、双模干扰机 .....                                 | 39        |
| 四、功率管理技术与相控阵技术在电子干扰机上的应用 .....                | 39        |
| 3.2.2 无源干扰器材与投放装备 .....                       | 41        |
| 3.3 雷达反干扰技术 .....                             | 42        |
| 3.3.1 滤除干扰 .....                              | 42        |
| 一、空间滤除 .....                                  | 42        |
| 二、频域滤除 .....                                  | 43        |
| 三、波形滤除 .....                                  | 43        |
| 四、极化滤除 .....                                  | 44        |
| 3.3.2 自适应旁瓣对消 .....                           | 44        |
| 3.3.3 冲淡干扰 .....                              | 44        |
| 3.3.4 “烧穿”技术 .....                            | 44        |
| 3.3.5 屏蔽(消隐)技术 .....                          | 44        |
| 一、天线旁瓣干扰屏蔽 .....                              | 45        |
| 二、方位区域屏蔽 .....                                | 45        |
| 3.3.6 反饱和电路与恒虚警电路 .....                       | 45        |
| 3.3.7 反模拟(欺骗)干扰 .....                         | 45        |
| 3.3.8 对干扰源定向 .....                            | 46        |
| 3.3.9 反侦察 .....                               | 46        |
| 3.3.10 操作与运用上的反干扰(战术反干扰) .....                | 46        |
| <b>第四章 雷达与反雷达导弹和隐身飞行器的斗争 .....</b>            | <b>47</b> |
| 4.1 反雷达导弹的技术原理与发展 .....                       | 47        |
| 4.2 雷达对抗反雷达导弹的技术 .....                        | 48        |
| 4.2.1 使反雷达导弹载机电子技术支援系统和导弹导引头难于截获和跟踪目标雷达 ..... | 48        |
| 一、雷达采用低截获概率技术 .....                           | 49        |
| 二、采用双(多)基地雷达体制 .....                          | 49        |
| 三、雷达发射控制 .....                                | 49        |
| 四、雷达机动 .....                                  | 49        |
| 五、雷达采用米波或超短波波段 .....                          | 49        |
| 4.2.2 干扰反雷达导弹导引头的跟踪使导弹不能命中目标雷达 .....          | 49        |
| 一、设置有源诱饵 .....                                | 49        |
| 二、用断续发射干扰反雷达导弹导引头的伺服系统 .....                  | 50        |
| 三、雷达联网工作 .....                                | 50        |
| 4.2.3 发现反雷达导弹发射 .....                         | 51        |
| 4.3 飞行器的隐身技术 .....                            | 51        |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 4.3.1 减缩雷达反射截面积的外形技术 .....      | 51 |
| 一、机头方向整形 .....                  | 53 |
| 二、机身侧向整形 .....                  | 53 |
| 三、机尾方向整形 .....                  | 53 |
| 4.3.2 吸波材料技术 .....              | 53 |
| 一、表面吸波涂层 .....                  | 54 |
| 二、复合材料蒙皮 .....                  | 54 |
| 三、复合材料结构体 .....                 | 54 |
| 4.3.3 隐身与飞机其他性能的折中 .....        | 55 |
| 4.4 雷达反隐身技术 .....               | 55 |
| 4.4.1 使飞行器的雷达截面积难以降低到预期水平 ..... | 55 |
| 一、选用较低的雷达载频 .....               | 55 |
| 二、雷达站成网布署 .....                 | 55 |
| 三、采用双(多)基地雷达体制 .....            | 56 |
| 4.4.2 提高雷达对减小雷达截面积目标的探测能力 ..... | 56 |
| 一、增大雷达的发射功率与天线增益 .....          | 56 |
| 二、采用多基体制分散配置多个接收站 .....         | 56 |
| 三、充分利用目标的极化特征 .....             | 56 |

## 第二篇 预警机系统与机载战场雷达侦察系统

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 第五章 预警机与机载雷达侦察系统的发展过程 .....             | 57 |
| 5.1 初期的预警机及其雷达 .....                    | 57 |
| 5.1.1 二次大战末期的初生阶段 .....                 | 57 |
| 5.1.2 50年代进入实用 .....                    | 59 |
| 5.2 60年代预警机的迅速发展与机载合成孔径雷达(SAR)的出现 ..... | 61 |
| 5.2.1 预警机系统第一个显著进步——E-2系列海上预警机的诞生 ..... | 62 |
| 5.2.2 SAR雷达研制成功并开始应用于战场侦察机 .....        | 63 |
| 5.3 预警机系统的第二个显著进步——E-3系列陆上预警机投入实用 ..... | 65 |
| 5.4 SAR战场侦察系统的技术进步 .....                | 68 |
| 5.5 预警机系统的技术发展趋向 .....                  | 69 |
| 5.6 机载战场雷达侦察系统的新进展 .....                | 72 |
| 5.6.1 对运动目标检测与成像 .....                  | 72 |
| 5.6.2 SAR对目标的测高与三维成像 .....              | 75 |
| 第六章 预警机系统的功能、组成与技术特点 .....              | 77 |
| 6.1 预警机系统的功能 .....                      | 77 |
| 6.1.1 防空预警是预警机的最基本功能 .....              | 77 |
| 6.1.2 战斗机控制或引导 .....                    | 77 |
| 6.1.3 引导火力投放或对地/海攻击 .....               | 78 |
| 6.1.4 海面搜索和攻击引导 .....                   | 78 |
| 6.1.5 被动探测或秘密预警 .....                   | 78 |
| 6.1.6 其他 .....                          | 79 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 6.2 预警机系统的组成 .....                 | 79  |
| 6.2.1 预警机系统的载机 .....               | 79  |
| 一、预警机载机的规模与载荷 .....                | 79  |
| 二、载机的供电与冷却系统 .....                 | 80  |
| 6.2.2 预警机的主雷达 .....                | 81  |
| 6.2.3 数据处理系统与显控台 .....             | 82  |
| 6.2.4 电子侦察与通信侦察分系统 .....           | 83  |
| 一、ESM 分系统 .....                    | 83  |
| 二、CSM 分系统 .....                    | 84  |
| 6.2.5 导航分系统 .....                  | 84  |
| 6.2.6 通信分系统 .....                  | 85  |
| 6.2.7 二次雷达分系统 .....                | 86  |
| 6.2.8 自卫电子分系统 .....                | 87  |
| 6.2.9 地面保障分系统 .....                | 89  |
| 6.3 预警机雷达的技术特点 .....               | 90  |
| 6.3.1 机载 PD 雷达检测飞行目标的原理 .....      | 90  |
| 6.3.2 天线低旁瓣要求 .....                | 93  |
| 6.3.3 信号频率高稳定要求 .....              | 93  |
| 第七章 机载远程战场雷达侦察系统的功能、组成与技术特点 .....  | 95  |
| 7.1 系统战术功能 .....                   | 95  |
| 7.2 系统组成 .....                     | 95  |
| 7.3 SAR 雷达的技术特点 .....              | 96  |
| 7.4 聚束照射成像、多普勒波束锐化与逆合成孔径雷达成像 ..... | 97  |
| 7.4.1 聚束照射成像 .....                 | 98  |
| 7.4.2 多普勒波束锐化 (DBS) .....          | 98  |
| 7.4.3 逆合成孔径雷达 (ISAR) .....         | 100 |

### 第三篇 军事导航与定位新技术

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第八章 无线电导航与定位 .....           | 102 |
| 8.1 导航与定位的军事意义 .....         | 102 |
| 8.2 无线电导航与定位技术 .....         | 102 |
| 8.3 新的无线电导航与定位技术 .....       | 103 |
| 第九章 卫星全球定位系统 .....           | 106 |
| 9.1 GPS 卫星全球定位系统的研制与发展 ..... | 106 |
| 9.2 卫星全球定位系统的原理与组成 .....     | 109 |
| 9.3 导航星全球定位系统的能力与限度 .....    | 112 |
| 9.4 导航电文及传输参数 .....          | 113 |
| 9.5 前苏联的 GLONASS 系统 .....    | 114 |
| 9.6 关于基准坐标系 .....            | 116 |
| 第十章 GPS 接收机及其关键技术 .....      | 118 |
| 10.1 GPS 接收机组成及主要性能 .....    | 118 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 10.2 伪码扩频与解扩技术 .....            | 121        |
| 10.3 伪码测距和伪码测量技术 .....          | 124        |
| 10.4 载波相位测量技术 .....             | 125        |
| 10.5 差分 GPS (DGPS) .....        | 127        |
| 10.6 无码 GPS 接收技术 .....          | 129        |
| 10.7 几种特殊设计的 GPS 接收机 .....      | 130        |
| <b>第十一章 GPS 的军事应用 .....</b>     | <b>132</b> |
| 11.1 GPS 军事应用的过去、现在和未来 .....    | 132        |
| 11.2 SA 对 GPS 接收机定位精度的影响 .....  | 132        |
| 11.3 组合 GPS/GLONASS 的数据处理 ..... | 133        |
| 11.4 GPS 在军事领域的应用 .....         | 135        |
| 11.5 GPS 的干扰和反干扰 .....          | 136        |

## 第四篇 光电装备与光电对抗技术

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>第十二章 光电装备的研制与发展 .....</b> | <b>138</b> |
| 12.1 光电装备的工作环境和分类 .....      | 138        |
| 12.2 光电装备的军事应用 .....         | 139        |
| 12.3 光电装备的发展前景 .....         | 140        |
| <b>第十三章 微光与红外电视技术 .....</b>  | <b>141</b> |
| 13.1 概述 .....                | 141        |
| 13.2 微光电视技术 .....            | 141        |
| 13.3 红外电视技术 .....            | 143        |
| 13.4 微光和红外电视的军事应用 .....      | 144        |
| <b>第十四章 微光夜视技术 .....</b>     | <b>146</b> |
| 14.1 功能与组成 .....             | 146        |
| 14.2 基本工作原理 .....            | 147        |
| 14.3 军事应用 .....              | 147        |
| <b>第十五章 红外与紫外技术 .....</b>    | <b>149</b> |
| 15.1 概述 .....                | 149        |
| 15.2 红外瞄准器 .....             | 149        |
| 15.3 红外寻的技术 .....            | 150        |
| 15.4 热成像技术 .....             | 152        |
| 15.5 红外与多光谱遥感技术 .....        | 156        |
| 15.6 紫外探测与双色寻的技术 .....       | 158        |
| 15.7 红外引信及其他 .....           | 158        |
| <b>第十六章 激光技术 .....</b>       | <b>159</b> |
| 16.1 概述 .....                | 159        |
| 16.2 激光测距仪与人眼安全激光器 .....     | 163        |
| 16.3 激光雷达 .....              | 163        |
| 16.4 激光制导 .....              | 164        |
| 16.5 激光致盲 .....              | 165        |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 16.6 高能激光武器 .....        | 165 |
| 16.7 光电火控系统 .....        | 166 |
| <b>第十七章 光电对抗技术</b> ..... | 167 |
| 17.1 概述 .....            | 167 |
| 17.2 光电侦察、监视与告警技术 .....  | 167 |
| 17.3 光电干扰技术 .....        | 170 |
| 17.3.1 红外干扰机 .....       | 170 |
| 17.3.2 定向红外干扰系统 .....    | 171 |
| 17.3.3 激光干扰机 .....       | 172 |
| 17.3.4 对抗红外导弹的激光器 .....  | 173 |
| 17.3.5 红外诱饵 .....        | 173 |
| 17.4 光电防御技术 .....        | 175 |
| 17.4.1 烟幕技术 .....        | 175 |
| 17.4.2 隐身技术 .....        | 177 |

## 第五篇 军事电子新技术展望

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>第十八章 军事新思维</b> .....        | 179 |
| 18.1 概述 .....                  | 179 |
| 18.2 信息战 .....                 | 179 |
| 18.3 数字化部队 .....               | 180 |
| 18.4 “非杀伤性”武器 .....            | 180 |
| 18.5 “机器人”士兵 .....             | 181 |
| 18.6 实战模拟 .....                | 181 |
| <b>第十九章 计算机技术</b> .....        | 182 |
| 19.1 计算机 .....                 | 182 |
| 19.2 高速并行处理技术 .....            | 182 |
| 19.3 数据合成与压缩技术 .....           | 183 |
| 19.4 神经网络技术 .....              | 183 |
| 19.5 光子学 .....                 | 184 |
| 19.6 计算机战武器 .....              | 184 |
| <b>第二十章 电磁能谱技术</b> .....       | 188 |
| 20.1 新概念武器 .....               | 188 |
| 20.2 高功率微波武器技术 .....           | 188 |
| 20.3 激光武器技术 .....              | 191 |
| 20.4 强电磁脉冲武器技术 .....           | 195 |
| <b>第二十一章 系统综合技术</b> .....      | 196 |
| 21.1 概述 .....                  | 196 |
| 21.2 C <sup>3</sup> I 系统 ..... | 196 |
| 21.3 信息战系统 .....               | 198 |
| <b>参考文献</b> .....              | 200 |

# 第一篇 雷达与电子战技术

## 第一章 导言——雷达与电子战技术 在现代战争中的重要作用

“发现敌人、隐蔽自己”是军事斗争的主要原则之一。因为只有发现敌人，才能消灭敌人，只有隐蔽自己，才能保存自己，从而达到了军事斗争的基本目的。

直到二次世界大战之前，发现敌方武装还是靠肉眼和光学器材，因此难以克服黑夜和气象（如雾、云、雨等）的限制。同时，即使在晴朗天候下，由于大气对光线的严重衰减作用，用光学器材观察，在地面、水面上以及空中大气层中，很难发现几十公里外的个体武器。“千里眼”只是一种幻想。

但是到本世纪 30 年代中，亦即二次大战的前夕，雷达的诞生改变了这一历史。雷达是以无线电波替代光线来探测物体的。由于无线电波的传播与昼夜无关，受气象影响很小，在大气中的衰减也很小。因此，雷达在诞生初期就能不受时间和气候限制探测到上百公里以外的空中飞机。它立即被参战各大国看成最有前途的探测装备。于是雷达在二次大战的几年中获得飞速发展。

首先，雷达被用作防空装备。英国是世界上最早建立雷达防空警戒引导网的，1937 年就开始在泰晤士河口旁部署可实用的对空警戒雷达（称作 CH），采用当时较成熟的短波技术，工作频率为  $22\sim 28\text{MHz}$ ，对飞机的探测距离超过  $150\text{km}$ （见图 1.1）。1939 年英

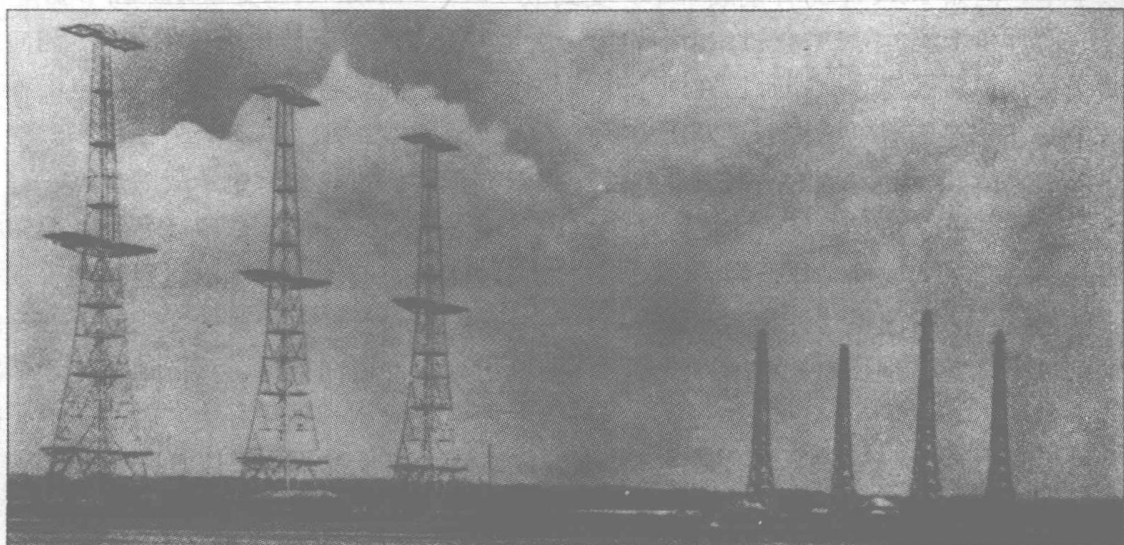


图 1.1 英国早期的 CH 警戒雷达

德间宣战时，英伦岛的东南部已有 20 个雷达站正在日夜运转，并将探测到的空中目标距离、方位、高度点迹，送到防空指挥中心的标图室内，指挥官可根据图上的实时空情，指挥和引导己方飞机或高射炮群拦截敌机。雷达是当时这一最先进的防空指挥系统的主要情报来源。依靠这一系统，英国在 1940 年 8 月至 10 月的不列颠之战中，胜利地抗击了德国空军的大规模进攻。英国的战时首相邱吉尔在战后撰写的回忆录中把雷达的发展和有效使用看作是大战胜利的重要因素。

30 年代末期和 40 年代初电子工程师先后开拓了超短波技术和微波技术。雷达开始采用这些波长为米级到厘米级的工作频率，使雷达测定目标位置的精度迅速提高。雷达的作用不仅是探测目标，而且与火炮结合成为火力控制与瞄准装置（见图 1.2）。有雷达控制的高射炮可以全天候搜索和瞄准敌机，又有很高的命中率。例如美国在战争初期平均要数千发炮弹击落一架飞机，而在 1944 年装备微波自动跟踪炮瞄雷达 SCR—584 后，只需数十发即可击中一架飞机。在战争后期，地面上有防空的警戒、引导雷达，高射炮控制瞄准雷达；还有探测迫击炮弹弹道，因而能推算出敌人炮位的地炮雷达；水面上各种军用舰只装上对空与对海的警戒雷达与火控雷达。空中作战飞机上亦装上对空搜索和火控雷达与对地面搜索测定目标的轰炸瞄准雷达。微波雷达能探测到降雨和冰雹，可以发现远处的暴风雨、台风等特殊气象。对地面部队可用来预测气象变化，而飞机和船舰可用来规避航线上的危险气象区。二次大战结束前夕，交战各国装备的雷达总数已超过万台。“千里眼”初步从幻想变成现实。

“隐蔽自己”这一军事原则在雷达出现后如何贯彻呢？正是针对雷达的探测功能，出现了反雷达的电子对抗技术。

电子对抗主要包括电子干扰和电子侦察。雷达是依靠无线电波来探测目标的，而无线电波是易于被敌方侦察和易于受干扰的。在本世纪初已开始进入实用的无线电通信，就在当时的战争中，例如 1904 年的日俄战争中，受到对方的侦听和干扰。在 1914~1918 年的第一次世界大战中对无线电通信的侦听、测向定位和干扰（包括假信号欺骗）已在两个作战集团国家之间较普遍使用。写下了电磁频谱领域中的斗争——即电子战的早期历史。

二次大战期间，雷达的飞速发展促使交战双方把对抗雷达作为电子战的重点。

起初，电子战在空袭与反空袭战斗中发挥了重大作用。例如，从 1941 年后，英国和美国开始用空军大规模轰炸德国。德国亦在法国、比利时与德国北部沿海建立起警戒引导雷达网。所采用的雷达称为“弗莱亚”，工作波长 2.5m，作用距离约 200km。在二线防空则采用由雷达指示的大功率探照灯，以便高射炮瞄准夜间目标。英国通过电子侦察与航空拍照，查清了弗莱亚雷达的频率与其他性能，就研制一种代号为“轴心”的干扰机，用相同的频率但伴有强烈的噪声，使德国雷达受噪声干扰无法工作。1942 年德国又生产了一种当时很先进的“维茨堡”雷达，工作在 50cm 波长，作用距离约 80km，它不仅能测量敌机距离和方位，还能精确测量高度。因此它能精确引导歼击机，又能控制高射炮瞄准敌机。德国人还把 1 部弗莱亚、2 部维茨堡加上一个指挥通信中心组成一个情报

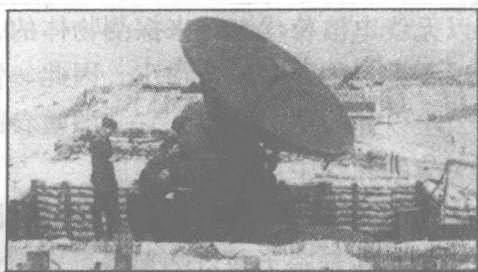


图 1.2 德国的引导和控制雷达“维茨堡”

指挥系统。此系统以 40km 至 80km 的间隔密布在同盟国空袭的可能航线上。此外德国又研制成装在夜间战斗机上的机载火控雷达，与维茨堡频率相近。尽管探测距离只 2~3km，但在地面雷达引导下仍可使歼击机在夜间攻击敌机。依靠这一先进的防空网，德国使同盟国的轰炸机，损失率达到难以承受的地步。但不久英国通过电子侦察和情报机关查清了德国这些新雷达的特性。于是同盟国装备了针对它们的干扰机，并且在 1943 年 7 月空袭汉堡的时候还首次使用了干扰箔条。这是一种很轻的铝箔条，它的长度是德国雷达波长的一半，刚好起谐振作用，因而有强大的反射。从飞机上大量投下这些箔条包，箔条在空中飘荡，在雷达上形成很多假目标，德国的防空部队在雷达迷盲中失去抵抗能力。因此这次袭击汉堡造成极大的破坏而同盟国 719 架轰炸机只损失 12 架。损失率是以往平均值的 1/3。同样德国方面亦研制干扰机，并且在战争后期亦制造和使用干扰箔条。为了对付干扰，双方在雷达技术上设法改进，例如改变雷达的工作频率，接收机电路上采用防止被干扰阻塞的措施和辨别飞机与假目标的方法。这些雷达的反干扰措施亦称为反电子对抗措施。它亦是电子战的一个方面。

对雷达的电子侦察，除了测定敌方雷达的特性与位置，以便进行电子干扰和火力攻击之外，还有一个告警作用，即在作战飞机与舰艇上装上能接收敌方雷达信号的专用接收机。当收到敌方雷达，特别是有急迫威胁的火力控制雷达的跟踪照射信号时，立即发出声或光的警告，并且还指示照射雷达的方向。此时飞机或舰艇可采取规避机动，亦可同时启动电子干扰设备，干扰敌方雷达。

二战时期，大西洋上德国的潜艇曾依靠雷达告警器与同盟国的商船护航反潜飞机作生死斗争。潜艇本来要利用夜晚升到水面充电。当同盟国飞机装备了搜索雷达后，德国潜艇在夜间亦无法逃脱反潜飞机的攻击。但他们在艇上装上雷达告警器后，就能在飞机雷达的探测距离之外发出警报并潜入水中。当时，德国人在掌握微波技术方面落后于英美，因此当同盟国在反潜机上装备 10cm 与 3cm 波长的新型雷达时，德国没有能力及时加以改进。结果，大量潜艇被击沉。德国人在大西洋潜艇战中无可挽回地失败了。

在 1944 年 6 月同盟军在诺曼底半岛登陆战中，电子对抗在历史上首次成为战略计划与实施中的一个重要部分（见图 1.3）。当时德国已在法国北部海岸部署了 120 余部雷达，



图 1.3 1944 年 6 月同盟军在诺曼底登陆战役中的电子战