

龚耀寰 主编

现代电子技术丛书

海湾战争中的电子技术

HAI WAN ZHAN ZHENG
ZHONGDE DIAN ZI JI SHU



电子科技大学出版社

☆ 现代电子技术丛书 ☆

海湾战争中的电子技术

龚耀寰 主编

电子科技大学出版社

1993·

[川] 新登字 016 号

海湾战争中的电子技术

龚耀寰 主编

*

电子科技大学出版社出版

(中国成都建设北路二段 4 号)

电子科技大学出版社激光照排中心照排

成都农垦印刷厂印刷

四川省新华书店经销

*

开本 850×1168 1/32 印张 12.9 字数 330 千字

版次 1993 年 6 月第一版 印次 1993 年 6 月第一次印刷

印数 1—3000 册

中国标准书号 ISBN 7-81016-652-2/TN·144

定价: 6.80 元

内容提要

人类正在走向二十一世纪，世界各国都在积极努力准备迎接新世纪的挑战。包括军事电子技术在内的高技术，对于各个国家在新世纪中的国家安全、经济发展具有极为重要的意义。本书以 1991 年的海湾战争为背景，对当代军事电子系统的几个重要方面——电子战、军事通信、卫星全球定位系统、电子计算机、军用雷达、隐身技术、精确制导技术、敌我识别系统、军事光电技术、图象通信、军用电子材料等的概念和内容、以及这些技术的发展动态作了系统的阐述。本书可供从事军事电子系统装备的研制、生产、使用的工程技术人员及军事指挥人员、大专院校师生参考。

《现代电子技术丛书》编委名单

顾 问 刘盛纲 林为干

主 编 彭 毅

副主编 龚耀寰 洪福明 阮颖铮

编 委 (按姓氏笔划排列)

刘亚康 皮德忠 李正茂 李在铭

李肇基 肖先赐 杨大本 杨中海

杨旭明 周明天 唐明光 舒 标

序

世界正在经历一次新的产业革命。这次产业革命是以电子科学技术、信息科学技术、材料科学、能源技术、海洋工程、生物工程、核技术及宇航技术等高技术的重大突破来实现的。人们普遍认为高技术已成为决定各国综合国力的重要因素。世界各主要工业国家都制订了发展高技术的大型综合计划，以迎接二十一世纪的到来。美国的“战略防御计划”、日本的“人类新领域研究计划”、西欧的“尤里卡”高技术发展计划等都是这类计划。我国政府亦极为重视高技术的发展，并于1986年公布了“863”高技术发展计划。“863”计划的实施，必将对我国高技术的发展产生极为重大的影响。

电子技术是最重要的高技术之一。人们认为“电子技术是世界新的技术革命的火车头”。电子科技大学出版社即将出版的《现代电子技术丛书》，以一系列专著形式对电子技术的各个重要领域——通信系统、雷达系统、电子计算机、微电子技术、光电子技术、微波及毫米波技术、电子测量、机电一体化、新型电子材料、图象传输和处理、激光及微波定向能系统、精密制导、隐身及反隐身、电子对抗、敌我识别等作系统全面的介绍。本丛书将着重讨论上述各领域的发展史、基本原理、基本技术以及最新进展。

参加本丛书编写的作者是电子科技大学在上述领域长期进行科研、教学工作的教授和副教授。他们对这些领域有较深的造诣和丰富的经验。特别是，由于他们长期在科研第一线工作从而对所从事的领域的关键技术和最新进展有很好的了解。相信由他们编写的这套丛书对于从事电子技术的科研、生产、管理和应用的工程技术人员以及大专院校师生有很好的参考价值。

刘盛纲

1993. 5

前言

1991 年的海湾战争，交战的一方是以美国为首的多国部队，另一方则为号称世界第四军事大国的伊拉克，双方出动军队共 100 万人，是第二次世界大战结束以来最大的一次局部战争。经过了 42 天的空战和地面战，伊拉克伤亡 10 多万人，至少死亡 2 万多人，有 17.5 万人被俘，3700 辆坦克、2600 门火炮、2400 辆装甲车和 243 架飞机被击毁，147 架飞机逃往伊朗。多国部队出动的 80 多万人中，死亡仅 149 人（其中美军 79 人），伤 513 人。空战中，多国部队出动飞机 10 多万架次，仅损失飞机 45 架（还包括非战斗损失的 9 架）。战争的结果伊拉克遭到惨败，不得不无条件接受多国部队提出的要求实现停火。多国部队的胜利基于很多因素，但多国部队使用了包括电子技术在内的高科技方面所占的绝对优势，是一个极为重要的因素。

本书以海湾战争为背景，系统介绍了电子技术这一重要高科技的 11 个领域，它们是：电子战、军事通信卫星、全球定位系统（GPS）、计算机、军用雷达、隐身技术、精确制导技术、敌我识别系统、军事光电技术、图象通信与图象压码技术、军用电子材料的基本原理和技术发展情况。本书作为电子科技大学出版社即将陆续出版的重点图书《现代电子技术丛书》的第一本奉献给读者。

C³I 是军事电子系统的核心和最重要的部分。但是，考虑到本书在通信、计算机、雷达等章节中都已涉及到 C³I，并且有的地方讨论较为深入，所以为节省篇幅没有专门对 C³I 列章讨论。对于未直接涉及海湾战争的一些重要电子技术领域（如定向能武器、机电一体化等）本书也未单独列章。这些内容将在《现代电子技术丛书》的其

他著作中专门讨论。

本书重点是介绍有关领域的基本原理、海湾战争中所涉及的新设备和新技术，并给出了作者的评述和看法。本书叙述力求深入浅出，并反映出相应技术领域的最新进展。

参加本书编写的作者都是电子科技大学在有关领域中长期从事科研和教学的专家，他们是，肖先赐教授（第一章）；洪福明教授（第二章）；刘亚康教授（第三章）；周明天教授（第四章）；龚耀寰教授（第五章、第八章）；阮颖铮教授（第六章）；皮德忠教授（第七章）；唐明光教授（第九章）；李在铭教授（第十章）；杨大本教授（第十一章）。本书由龚耀寰教授主编。为使本书保持较高的科学性、实用性和可读性，全书各章既统一又各有特色和侧重。读者通过本书的阅读，将能窥见出以海湾战争为背景的现代军事电子高科技的概貌。

本书的出版得到了电子科技大学领导的关心和支持。特别是在电子科技大学出版社的努力下，全书得以在较短的时间定稿和出版。作者们在此表示衷心的感谢。

军事电子技术是一个涉及面广、发展极为迅速的高技术领域。我们虽然作了很大努力，但由于水平有限，书中必然有许多错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

1993年6月

目 录

前 言

第一章 电子战技术——现代军事电子技术的核心	1
1.1 电子战技术在海湾战争中起了关键作用	1
1.2 电子侦察技术	4
1.3 辐射源方向测量与定位	19
1.4 电子干扰技术	26
1.5 有待进一步讨论的问题	33
第二章 军事通信	36
2.1 海湾战争中通信的特点	36
2.2 军事通信中的对抗与反对抗技术	45
2.3 现代军用通信网和技术	57
2.4 通信保密与安全	68
2.5 发展现代军事通信的几点看法	73
第三章 海湾战争与全球定位系统 (GPS)	77
3.1 概 述	77
3.2 卫星的运行规律和轨道参数	78
3.3 GPS——全球定位系统	85
第四章 海湾战争与电子计算机	103
4.1 引 言	103
4.2 海湾战争中的计算机和计算机网络	105
4.3 启示和建议	132
第五章 军用雷达	138
5.1 导 论	138
5.2 雷达概述	140
5.3 单脉冲、脉冲压缩和自适应滤波	145
5.4 相控阵雷达	152

5.5	脉冲多普勒雷达	160
5.6	机载预警雷达	165
5.7	合成孔径雷达	167
5.8	超视距雷达	170
5.9	双(多)基地雷达	174
5.10	军用雷达发展趋势	177
第六章	现代战争中的隐身技术	181
6.1	引 言	181
6.2	国外飞行器隐身技术的发展	183
6.3	军用目标的雷达特征	196
6.4	反雷达隐身技术	203
6.5	小 结	207
第七章	海湾战争与精确制导技术	211
7.1	前 言	211
7.2	导弹制导系统	222
7.3	海湾战争中几种先进导弹的制导系统	258
7.4	思考与启示	273
第八章	敌我识别系统	279
8.1	敌我识别 (IFF) 系统及其在战争中的重要性	279
8.2	美国的马克-12 IFF 系统	281
8.3	保密通信	285
8.4	马克-12 IFF 系统的密码系统	291
8.5	马克-12 的密钥及密钥分配系统	293
8.6	关于马克-12 密码系统特点的进一步讨论	295
8.7	马克-12 系统所面临的战术技术困难	299
8.8	海湾战争中的敌我识别情况	302
8.9	敌我识别系统的新技术	303
第九章	现代战争中的军事光电子技术	307
9.1	概 述	307

9.2	光电子技术在海湾战争中的典型战例	308
9.3	一些光电子武器装备的工作原理及典型装备	310
第十章	图象通信与图象压码技术	340
10.1	图象通信与图象压码技术在海湾战争中的应用	340
10.2	图象通信与图象压码技术	343
10.3	图象档案检索通信系统	354
10.4	实时图象通信系统	358
10.5	未来的军事图象通信与图象电话综合服务系统	362
第十一章	现代电子战争中的电子材料	369
11.1	前 言	369
11.2	电子战中军事战略高新技术材料	370
11.3	海湾战争中的神秘电子装备所用的新材料	376
11.4	现代电子战争战略电子材料的发展	388
11.5	结 语	391
附 图		393

第一章 电子战技术

——现代军事电子技术的核心

1.1 电子战技术在海湾战争中起了关键作用

1991年初的海湾战争成了全世界关注的焦点。各种新闻报道铺天盖地，美国的有线电视新闻（CNN），由于它有从伊拉克独家发出报道的优势更是出尽了风头。对于世界绝大多数人来说，关心的是政治、军事、该地区的前途和人民的命运，以及纯粹新闻报道的刺激性等方面。随着时间的推移，以及之后出现的苏联的解体、东欧的巨变和诸多紧迫的、与日常生活密切相关的事情，在一般人的心目中，海湾战争的烟消云散，对它的印象也就日益淡忘了。

然而，海湾战争是现代战争的缩影。世界各国的军事部门、军事装备和技术研究等有关方面，对海湾战争的研讨热情至今却无丝毫降温的表现。美国国防部长在美国国防部1991年7月向美国国会提交的《海湾战争》报告的前言中提出：“我们需要从‘沙漠盾牌’和‘沙漠风暴’行动中得到启示，决定不只是今后数年，而是未来十年、二十年甚至三十年内，我们需要保持什么样的军事力量。我们需要考虑为什么取得了胜利，哪些地方成功，哪些方失败，以及我们的军事力量中，哪些值得保留和继承。”这充分表明了美国军方对海湾战争研究的重视程度。

海湾战争是一场现代高技术的战争，我们不妨来回顾一下其中的一些情节。

多国部队在战前和战争中广泛使用多种电子侦察手段，充分掌握了伊拉克的军事布署情况以及雷达、通信、指挥系统、制导武器等电子装备的性能和有关参数，为军事计划的拟定和实施作好了准

备。采用精密定位技术，精确测定有关目标和装备的确切位置，为攻击行动提供了依据。电子侦察和精密定位手段是多方面的，迄今，还难以准确、全面地进行估计。从各种报道中，多国部队（主要是美国）使用了陆基、海上舰艇、飞机和卫星来进行这方面的工作则是毫无疑义。美国使用的侦察卫星有6类共几十颗。其中有KH-11和KH-12系列照像侦察卫星，分辨率达0.3米；曲棍球（Lacrosse）卫星用于雷达成象，分辨率约为0.3米，在赤道上空的通信侦察卫星（“大酒瓶”、“旋涡”），用以截获伊拉克的轻无线电报电话；“白云”海洋监视卫星，用以监视伊海军及港口设施；还有多颗通信卫星、全球定位系统导航卫星、气象卫星、红外探测卫星等配合使用。

美国等多国部队，出动多种专用电子侦察飞机如TR-1A、U-2R/SR-71等高空侦察飞机，和用于战术情报收集的各种预警飞机如RC-135、E-2C、E-3B和E-8A等。

地面侦察系统包括设在阿曼、塞浦路斯、意大利、土耳其等国的侦察站，长期侦察伊拉克的电子情报和截获通信信号。

美军舰队配有专用的电子战飞机如EA-6B等，还有舰载电子侦察设备如WLR-8和WLR-11等，以及SLQ-32电子战系统。

多国部队在伊拉克上空和周边部署的陆、海、空、天多维电子侦察系统，使之能在战前和战争进程中准确掌握伊拉克的军事部署、军事意图和动向，以及武器装备的情况，完全掌握了战争的主动权，为以极小的代价在极短时间内取得战争的胜利奠定了基础。

美国等多国部队对伊拉克实施强烈的电子干扰，使得伊拉克的雷达迷盲、武器失控、通信中断、指挥失灵。1991年1月17日凌晨2点25分开始的对巴格达的轰炸就是在这种条件下进行的。对巴格达的首次轰炸是在伊方防空体系完全瘫痪下进行的，甚至巴格达的灯火管制是轰炸开始后四十分钟才实施。在42天的战争进程中，伊拉克的各种军事电子装备始终受到强烈的电子干扰而无法发挥作用，以至不得不用无线电广播来指挥部队的行动，其后果是可想而知的。多国部队出动飞机达10万架次，仅损失40多架（包括非战

斗损失 9 架)。出动兵力 70 万人,死亡仅 200 多人。以至美军司令施瓦茨科普夫说,这简直是一个奇迹。这个“奇迹”是由诸多因素造成,美军的电子战绝对优势是其中关键的一环。

美国空军配备有专用的电子战飞机对伊拉克进行远距离支援干扰、近距离支援干扰和随着进行空袭的飞机编队干扰。这种飞机有 EF-111A 电子干扰飞机和 EC-130H 通信干扰飞机,其中配备有战术干扰系统、欺骗干扰系统、无源干扰物投放系统、通信干扰系统以及多种雷达、通信、导航、敌我识别、威胁告警等电子系统。

美军的战斗飞机都装备有自卫电子战系统,包括雷达告警设备、有源电子干扰、无源箔条/曳光弹投放器和光电对抗设备等。现代的局部战争经验表明,现代作战飞机不装电子战设备时,生存概率低于 10%,装备电子战设备时,生存概率高于 90%。机载电子战设备是作战飞机突防时的一种关键性自卫武器。

对空袭攻击飞机的最大威胁来自防空导弹系统,为此美军配备有专用反雷达飞机,装备有反辐射导弹,以对导弹制导雷达系统进行准确的攻击。美对伊的作战中,从首次空袭开始就使用了这种飞机,并取得良好的攻击效果。

伊拉克号称世界第四大军事强国,兵力达百万人,曾从前苏联和包括美国在内的西方国家进口价值达 500 多亿美元的先进武器,其中有 740 多架作战飞机、拥有性能优越的苏制米格-29、米格-25,法国的幻影式战斗飞机等。拥有数百枚苏制 SAM-2、SAM-3、SAM-6 等精密制导的防空地—空导弹和曾在英阿马岛战争中击沉过英舰“谢菲尔德”号的飞鱼导弹,还有 4000 多门高炮。陆军装备也很精良,近 6000 辆坦克、8000 多辆装甲车和 3500 门火炮。有 8 年和伊朗作战的经验,且占有在本土作战的地利优势。然而在这次 42 天的海湾战争中,却处处被动挨打,兵员损失达 30 万人,被击落飞机 40 多架,3800 辆坦克被摧毁。最后无条件地按多国部队的要求而停火。伊拉克战败的原因是多方面的,如政治上因侵占和吞并科威特而受到全世界的谴责、军事指挥、决策的重大失误等等。从军事装备来

说,最主要的原因,就是伊军缺乏电子战的能力。如果其制导系统有强的抗干扰能力,就能在美机来袭时,用精密制导导弹攻击其空中预警飞机,使来袭的机群失去指挥而不战自乱;如果能对美方的卫星通信系统进行干扰,就会使多国部队的指挥失调,造成混乱;如果伊方有抗摧毁能力强、抗干扰能力强的扩/跳频通信网,其军事指挥系统就不致在战争中完全瘫痪,其强大的兵力,足以给多国部队造成威胁;如果伊方有强的电子侦察设备,就能对来袭的飞机和导弹及时作出反应,就会了解多国部队布署和调动情况而改变自己的布署,从而使对方的地面进攻造成麻烦,如此等等。这些,伊拉克都未能做到,完全失去了制电磁权,从而导致制空权、制海权以至制陆权的完全丧失,失败的命运就成为不可避免的了。

从海湾战争可以看出,现代战争是以高技术武器为基础的,高度复杂的指挥、控制、通信和情报(C³I)系统、精密制导武器、电子战系统是其核心。尤其是电子战技术在其中起了关键作用。无怪乎西方军界首脑人物称未来战争的获胜者必将是最善于控制和运用电磁频谱的一方。

电子战技术包括很广的范围。一般定义为:电子战是一种军事行动,它包括使用电磁能量去探测、利用、削弱或阻止敌方使用电磁频谱,并保护己方使用电磁频谱。具体技术内容包括电子侦察、辐射源定位、电子干扰和电子反对抗四个方面。下面将对前三个方面的内容进行较为深入的讨论。电子反对抗的内容将在本书的其他章节讨论。有人也将隐身/反隐身技术、电子摧毁(包括反辐射导弹)的内容也归属到电子战技术中来。但本书中将专门讨论隐身与反隐身技术,反辐射导弹因涉及到其他领域中的许多问题,本章中也不予讨论。

1.2 电子侦察技术

无论在战争时期或者是平时,电子侦察是一直在进行的。根据侦察的对象,可分为雷达侦察和通信侦察。根据侦察的用途,可

分为电子情报侦察、电子支援措施和雷达威胁告警。相应的，这些侦察设备也各有不同的特点。然而，不同的侦察设备有共同的技术基础。这里所讨论的就是这些基础技术。

1.2.1 侦察方程

这里讨论雷达侦察问题。众所周知，雷达方程是描述雷达接收的目标回波信号强度与雷达本身诸参数、目标及传输特性，以及目标距离间的关系。有如下形式

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \sigma \lambda^2 F_t F_r}{(4\pi)^3 R^4} \quad (1.1)$$

其中 P_r ——接收天线输出端的信号功率

P_t ——发射天线输入端的信号功率

G_t ——发射天线增益

G_r ——接收天线增益

σ ——目标雷达反射截面积

λ ——雷达工作波长

F_t ——发射天线至目标路径的传播因子

F_r ——目标至接收天线路径的传播因子

R ——雷达与目标间的距离

若一侦察设备处于目标同一方向上，与雷达的距离为 R_c ，侦察天线的增益为 G_c ，则侦察机收到的雷达信号功率为 P_c 。

$$P_c = \frac{P_t G_t G_c \lambda^2 F_t}{(4\pi)^2 R_c^2} \quad (1.2)$$

比较 (1.1) 和 (1.2) 两式可见，若雷达接收机和侦察机的灵敏度（即最小接收功率）大致相当的话，一般侦察机发现雷达的距离要远大于雷达发现该侦察机载体的距离，这是侦察机的距离优势。

为更清楚地说明上述结果，可据式 (1.1) 和 (1.2) 求侦察距离 R_c 和雷达发现距离 R 的比值 r ，有

$$r = \frac{R_c}{R} = (P_t/P_c)^{1/4} \quad (1.3)$$

式中

$$P_{t_0} = \frac{4\pi\sigma}{\lambda^2} \frac{G_t F_r}{G_t G_c^2 F_t} \frac{P_c^2}{P_r} \quad (1.4)$$

为一较小的数值，因此，只要 $P_r > P_{t_0}$ ，在雷达发射侦察设备载体之前，侦察设备早就侦察到雷达信号了。

然而侦察距离优势受到许多实际的限制。地球球面特性限制了实际有效侦察距离（视距限制）。侦察接收机的灵敏度可能远低于雷达接收机的灵敏度，即 $P_c \gg P_r$ ，特别是当侦察接收机对整个侦察频段进行全概率接收时更是如此。全频段全概率侦收正是侦察接收机有别于一般电子系统接收机的主要特点。这将在下面详细讨论。侦察天线的增益一般也较低。这些使得式 (1.4) 右边得出的数值并不一定很小。实际数值可以根据实际设备的参数算出。

1.2.2 侦察接收机

一般电子设备的接收机总是准确调谐在所要接收的信号频率上。接收机的带宽，或者更准确地说，接收机频率响应特性以及信号处理方法，对所要接收的信号来说，总是在某种意义上是最佳的，或者粗略地说，接收机是和所要接收的信号是匹配的，从而能获得最佳的性能。然而侦察接收机却是另一种情况。一般说，待侦察雷达信号的频率是未知的，可能是时变的（如捷变频雷达）、信号存在的时间可能是短暂的（如雷达短暂开机或工作模型快速变化）、信号形式复杂且未知，工作频率可能复盖很宽的频段（例如 2~18GHz，或者扩展到 40GHz 以上），因此，侦察接收机应与整个信号环境相匹配。这也就是全概率、全频段接收的要求。这是十分苛刻的要求，实际上只能部分地、有条件地满足。

由于要满足全频段、全概率接收的苛刻要求，侦察接收机的工作原理和实现形式是多种多样的。这里介绍几种实际使用的侦察接收机的工作原理。在实际侦察设备中，根据不同用途的实际需要，可能采用综合体制的形式，即有几种不同工作原理接收机相互配合工作。