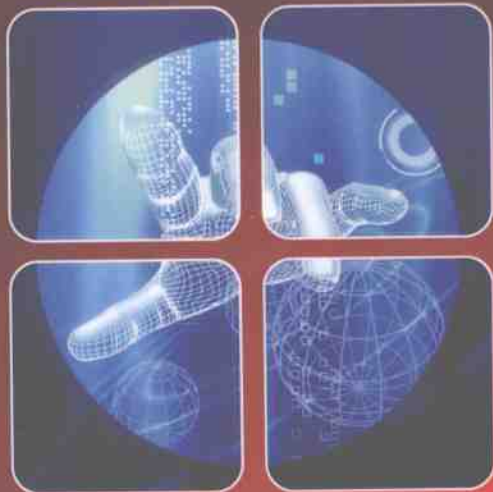


中国仿真科学与技术书系

“十一五”国家重点图书出版规划



**S**IMULATION SCIENCE

# 现代雷达电子战系统建模与仿真

Modeling and Simulation of Modern Radar and Electronic Warfare Systems

王雪松 肖顺平 冯德军 赵 锋 等编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

“十一五”国家重点图书出版规划

中国仿真科学与技术书系

# 现代雷达电子战系统 建模与仿真

王雪松 肖顺平 冯德军 赵锋 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

现代战争中,雷达电子战已成为不可缺少的重要组成部分,是决定战争胜负的重要因素之一。目前,各国极力研究,建造与发展一个整体效能高、反应速度快、生存能力强的雷达电子战系统。

本书系统、全面地介绍了现代雷达电子战系统的建模与仿真技术,其中包括:雷达电子战的基本概念,雷达目标特性与电磁环境的建模与仿真,无源与有源干扰的建模与仿真,相控阵雷达,合成孔径雷达、脉冲多普勒雷达的建模与仿真、雷达天线、信号与数据处理技术,雷达电子战系统的分布式仿真、效能评估和仿真及评估系统实例。

本书可作为从事雷达、电子对抗、仿真研究与设计领域的技术人员以及有关专业的研究生的学习参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代雷达电子战系统建模与仿真 / 王雪松等编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.3  
(中国仿真科学与技术书系)

ISBN 978-7-121-10426-8

I. 现... II. 王... III. ①雷达对抗—系统建模②雷达对抗—系统仿真 IV. TN974

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 029884 号

责任编辑: 李 洁 特约编辑: 刘 忠

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 29.25 字数: 747 千字

印 次: 2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 3 500 册 定价: 59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltts@phei.com.cn](mailto:zltts@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

“中国仿真科学与技术书系”  
编委会

主 编：黄柯棣

副主编：庞国峰 李 革

编委会成员：（按拼音排序）

毕红哲	方胜良	郭齐胜	龚建华	胡晓峰
吕跃广	李 群	李世忠	王维平	王雪松
王中杰	卫军胡	肖田元	杨 峰	杨瑞平
杨西龙	朱一凡			

# 前 言

现代战争的表现形态发生着重大而深刻的变化,雷达电子战已成为现代战争中不可缺少的重要组成部分,它贯穿于现代战争的全过程和所有作战行动之中。雷达电子战与反对抗的战术技术水平已经成为决定现代高技术局部战争胜负的关键因素之一,而雷达电子战本身也已从双方单一装备间的对抗,发展到系统对系统、体系对体系间的对抗。建造与发展一个整体效能高、反应速度快、生存能力强的雷达电子战系统是打赢高技术战争的必需条件。在此背景下,寻求一种有效手段用以分析、评估现代雷达电子战的性能/效能已成为目前世界各国关注的热点。

仿真技术是以相似原理、模型理论、系统技术、信息技术以及其他有关专业技术为基础,以计算机系统和有关的物理效应设备为工具,利用模型对系统进行研究、分析、评估、决策并参与系统运行的一门多学科的综合技术。利用现代建模与仿真技术,构建虚拟战场,进行若干典型战情下的电子战试验,不但便于实现,而且具有可控、无破坏、安全、可重复、高效等优点。采用这种方法,不仅可以仿真新型雷达系统与某一特定电子干扰的单一对抗,而且可以仿真它与多种干扰的综合对抗,上升到系统对抗甚至体系对抗的范畴。实际上,由于战场情况瞬息万变,电磁环境极其复杂,通过仿真手段对雷达电子战进行评估可能是目前最为有效的方法。不仅雷达电子战评估需要应用现代建模与仿真技术,现代雷达电子战装备发展论证、型号研制、鉴定定型、训练使用、作战应用、装备采办等全过程都离不开建模仿真技术。

本书系统、全面地介绍了现代雷达电子战系统的建模与仿真技术,全书共分 10 章。第 1 章为绪论,概括性介绍了雷达电子战的基本概念、发展历程和实现途径。第 2 章为雷达目标特性与电磁环境的建模与仿真,介绍了雷达目标特性模型、大气传输效应模型、地/海面散射模型以及地基雷达和机载雷达的杂波仿真。第 3 章为无源干扰的建模与仿真,介绍了箔条云的扩散模型、极化散射模型、功率谱模型及箔条云雷达回波仿真方法。第 4 章为先进有源干扰的建模与仿真,重点介绍了间歇采样转发的基本原理及其实现方法,还介绍了针对恒虚警检测的多假目标干扰、移频干扰等新型有源干扰方法。第 5 章为相控阵雷达建模与仿真,介绍了相控阵雷达天线、信号处理、数据处理、任务调度等建模与仿真。第 6 章为合成孔径雷达(SAR)的建模与仿真,介绍了极化 SAR 建模与仿真、干涉 SAR 建模与仿真以及对抗条件下 SAR 的建模与仿真。第 7 章为脉冲多普勒雷达导引头的建模与仿真,介绍了脉冲多普勒雷达的回波模型、信号处理模型和数据处理模型,并进行了对抗条件下的仿真。第 8 章为雷达电子战系统分布式仿真,介绍了雷达电子战的分布式仿真平台——高层体系结构(HLA),并介绍了相应的仿真实例。第 9 章为雷达电子战效果效能评估模型,介绍了雷达电子战效果效能评估的基本方法和雷达电子战效果评估的指标体系。第 10 章为现代雷达电子战仿真与评估系统实例,介绍了三个典型雷达电子战系统,内容涉及防空、反导、SAR 对抗等方面,描述了其基本组成,给出了部分试验结果。

雷达电子战是一个发展十分迅速的领域,本书力求将新的内容介绍给读者。但是,新的干扰技术、抗干扰技术、仿真方法都在迅速发展,本书难以做到面面俱到。同时,由于雷达电子战仿真涵盖的内容十分丰富,尽管我们在编著本书时做了种种努力,但限于水平和知识结构有

限，书中还会有不少的问题甚至是错误，希望读者批评指正。

本书是集体智慧的结晶，王雪松、肖顺平、冯德军共同拟定了全书内容，通过集体讨论进行了分工。王雪松、肖顺平、冯德军编著第1章；肖顺平、冯德军、施龙飞编著第2章；王雪松、李金梁编著第3章；刘忠、李永祯编著第4章；周颖、丹梅编著第5章；王雪松、代大海编著第6章；刘建成、王涛编著第7章；赵锋、杨建华编著第8章；周颖、赵锋、杨建华编著第9章；杨建华、丹梅、代大海编著第10章。初稿完成后，冯德军对全书进行了整理和定稿。在编著过程中，王伟、张文明、李盾等教师参加了本书部分内容的探讨，博士生刘勇、邢世其、刘义、赵晶、来庆福参加了书稿的整理、审订工作。书中还有很多内容参考了所在课题组老师和研究生的研究成果，在此不一一列出。最后还要感谢作者所在单位领导和同事们对出版本书的支持。

编著者

# 目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 概述	2
1.1.1 雷达电子战概述	2
1.1.2 雷达电子战的作用	4
1.1.3 雷达电子战仿真的现实需求	5
1.2 现代雷达系统的发展	7
1.2.1 雷达系统的发展历程	7
1.2.2 现代雷达系统的发展趋势	8
1.2.3 典型现代雷达探测技术	9
1.3 雷达对抗技术的发展	12
1.3.1 雷达对抗技术的发展历程	12
1.3.2 雷达对抗技术的发展趋势	13
1.4 雷达电子战仿真实现	15
1.4.1 雷达电子战仿真方法	15
1.4.2 雷达电子战仿真的一般步骤	18
1.4.3 雷达电子战仿真模型及其校验	20
1.4.4 典型的雷达电子战仿真系统	22
第 2 章 雷达目标特性与电磁环境的建模与仿真	25
2.1 概述	26
2.2 仿真系统中的信号表示和采样率	26
2.3 自由空间目标运动特性建模与仿真	27
2.3.1 自由空间目标运动基本方程	27
2.3.2 自由空间目标运动参数解算	29
2.3.3 自由空间目标运动特性仿真	30
2.4 雷达目标特性模型	32
2.4.1 目标 RCS 模型	32
2.4.2 极化特性模型	35
2.4.3 目标角闪烁模型	37
2.4.4 目标高分辨模型	39
2.5 大气传输效应模型	42
2.5.1 对流层折射模型	42
2.5.2 对流层吸收模型	43
2.5.3 云、雨、雾、雪损耗模型	44
2.6 多径传输效应模型	47
2.6.1 多径效应对测角的影响	47
2.6.2 多径几何关系求解	49

2.6.3	多径效应的回波模型	50
2.7	地/海面散射系数模型	50
2.7.1	海面散射系数的影响因子	50
2.7.2	海面散射系数的经验模型	53
2.7.3	陆地散射系数的经验模型	54
2.8	雷达杂波统计特性模型	56
2.8.1	杂波幅度统计模型	56
2.8.2	杂波谱特性模型	61
2.9	地基雷达杂波仿真	68
2.9.1	相关随机序列的模拟	68
2.9.2	基于高斯分布的地基雷达杂波仿真	73
2.9.3	基于非高斯分布的地基雷达杂波仿真	76
2.10	机载雷达杂波仿真	79
2.10.1	相干杂波信号模型	81
2.10.2	机载雷达相干杂波仿真实例	83
<b>第3章</b>	<b>无源干扰的建模与仿真</b>	<b>86</b>
3.1	概述	87
3.2	箔条云的扩散模型	87
3.2.1	大气层内箔条云的扩散模型	87
3.2.2	外大气层箔条云的扩散模型	88
3.3	箔条云的极化散射模型	102
3.3.1	箔条偶极子的极化散射模型	102
3.3.2	箔条云散射截面	106
3.4	箔条云的功率谱模型	109
3.4.1	转动偶极子的极化散射矩阵	110
3.4.2	散射矩阵元的功率谱和交叉功率谱	112
3.4.3	均匀和水平取向箔条云回波功率谱的数值结果	114
3.5	箔条云回波仿真	117
3.5.1	外大气层箔条云的雷达散射模型	118
3.5.2	外大气层箔条云窄带回波仿真	119
3.5.3	箔条云干扰效果分析	124
<b>第4章</b>	<b>先进有源干扰的建模与仿真</b>	<b>130</b>
4.1	概述	131
4.2	DRFM的工作原理与数学模型	132
4.2.1	DRFM系统组成与实现结构	132
4.2.2	DRFM的性能分析	135
4.3	间歇采样转发干扰的建模与仿真	139
4.3.1	工作原理与数学建模	139
4.3.2	间歇采样转发干扰效果的理论与仿真分析	149
4.3.3	假目标的补偿及其仿真分析	160



4.4	间歇采样循环转发干扰建模与仿真	165
4.4.1	重复转发干扰	165
4.4.2	逐次循环转发干扰	169
4.5	针对恒虚警检测的多假目标干扰建模与仿真	172
4.5.1	对均值 CFAR 检测的多假目标干扰方法	173
4.5.2	关键参数的推算	174
4.5.3	仿真实验与结果分析	178
4.6	移频干扰的建模与仿真	179
4.6.1	移频干扰的理论基础	179
4.6.2	移频干扰的实现与数学建模	180
4.6.3	改进的移频干扰建模与仿真	182
第 5 章	相控阵雷达建模与仿真	187
5.1	概述	188
5.2	典型的相控阵雷达系统	189
5.2.1	P 波段预警雷达	189
5.2.2	X 波段地基雷达	190
5.2.3	“宙斯盾”雷达 (AN/SPY-1)	191
5.2.4	“爱国者”雷达 (AN/MPQ-53)	191
5.3	相控阵雷达仿真常用的坐标系及其转换	192
5.3.1	相控阵雷达仿真涉及的坐标系	192
5.3.2	各种坐标系间的转换关系	193
5.4	相控阵天线建模与仿真	195
5.4.1	平面相控阵天线分析	195
5.4.2	相控阵天线方向图的实时仿真	197
5.4.3	相控阵天线方向图仿真实例	205
5.5	信号产生和信号处理建模与仿真	208
5.5.1	信号产生模型	208
5.5.2	信号处理模型	212
5.6	数据处理建模与仿真	223
5.6.1	相控阵数据处理主要工作模式及处理流程	223
5.6.2	航迹管理	225
5.6.3	航迹关联	226
5.6.4	目标跟踪算法	232
5.7	相控阵雷达搜索管理建模与仿真	251
5.7.1	相控阵雷达监视空域模型	251
5.7.2	相控阵雷达波位编排模型	254
5.8	相控阵雷达任务调度建模与仿真	256
5.8.1	影响调度策略的主要因素	256
5.8.2	相控阵雷达调度的分类	258
5.8.3	多模板调度建模与仿真	260

5.8.4	自适应调度建模与仿真	261
第6章	合成孔径雷达建模与仿真	264
6.1	概述	265
6.2	SAR 建模与仿真基础	267
6.2.1	SAR 成像基本原理	267
6.2.2	SAR 回波模型	270
6.2.3	SAR 成像算法	272
6.3	极化 SAR 建模与仿真	275
6.3.1	极化 SAR 的基本工作方式	275
6.3.2	极化 SAR 杂波回波模型	278
6.3.3	极化 SAR 的成像算法	280
6.3.4	仿真实例	282
6.4	干涉 SAR 建模与仿真	288
6.4.1	干涉 SAR 的基本原理	288
6.4.2	三孔径干涉 SAR 运动目标回波模型	288
6.4.3	固定地物杂波对消处理	290
6.4.4	动目标检测、定位与测速	293
6.4.5	仿真实例	294
6.5	对抗条件下 SAR 建模与仿真	297
6.5.1	SAR 对抗概述	297
6.5.2	SAR 有源压制性干扰建模与仿真	299
6.5.3	SAR 有源欺骗性干扰建模与仿真	303
6.5.4	SAR 无源干扰建模与仿真	316
第7章	脉冲多普勒雷达导引头建模与仿真	319
7.1	引言	319
7.2	回波信号建模与仿真	319
7.2.1	坐标系的定义与转换	319
7.2.2	雷达信号模型	320
7.2.3	杂波信号模型	322
7.2.4	接收机噪声模型	322
7.2.5	其他模型	323
7.2.6	目标特性模型	325
7.2.7	雷达导引头接收信号仿真流程	329
7.3	信号处理和数据处理建模与仿真	330
7.3.1	信号检测	331
7.3.2	速度跟踪模块	333
7.3.3	角跟踪模块	335
7.3.4	数据处理模块	336
7.3.5	仿真实验与结果分析	337
7.4	脉冲多普勒雷达导引头动态仿真研究	339

7.4.1	制导模型	339
7.4.2	动态仿真实验与结果分析	341
7.5	干扰条件下脉冲多普勒雷达导引头建模与仿真	346
7.5.1	压制式干扰	346
7.5.2	欺骗式干扰	348
7.5.3	动态仿真实验与结果分析	354
第 8 章	雷达电子战系统分布式仿真	358
8.1	概述	359
8.2	分布交互仿真的发展历史	359
8.3	高层体系结构	360
8.3.1	HLA 术语	360
8.3.2	HLA 组成	360
8.3.3	运行支撑环境	362
8.4	雷达电子战分布式仿真实例	362
8.4.1	弹道导弹攻防对抗系统	362
8.4.2	联邦与联邦成员	363
8.4.3	联邦管理	364
8.4.4	联邦对象模型	364
8.4.5	发布与订购	369
8.4.6	数据分发管理与对象注册	370
8.4.7	时间管理	372
8.4.8	联邦同步	378
第 9 章	雷达电子战效果效能评估模型	381
9.1	概述	382
9.2	雷达电子战效果效能评估基本方法	382
9.2.1	雷达干扰/抗干扰效果基本评估准则	382
9.2.2	遮盖性干扰评估指标和方法	384
9.2.3	欺骗性干扰评估指标和方法	389
9.2.4	武器系统效能评估的基本方法	391
9.3	雷达电子战效果及效能评估的特点与分析	397
9.3.1	评估研究的特点	397
9.3.2	评估指标体系的简化和评估指标空间的概念	401
9.3.3	相控阵雷达干扰效果与抗干扰性能评估指标空间分析	401
9.4	雷达电子战效果评估指标体系	403
9.4.1	搜索阶段评估指标	404
9.4.2	截获阶段评估指标	404
9.4.3	跟踪阶段评估指标	405
9.4.4	失踪与再截获评估指标	407
9.4.5	多假目标干扰评估指标	407

本章内容安排如下:

- ★ 概述
- ★ 现代雷达电子战的作用
- ★ 雷达对抗技术的发展
- ★ 雷达电子战仿真实现

## 1.1 概述

### 1.1.1 雷达电子战概述

当提到战争中所使用的武器的时候,我们很自然就会想到枪炮、子弹、坦克、军舰、飞机、导弹等这一类人们所熟知的东西。随着现代战争的需要和无线电电子技术的发展,在军事上为了有效地组织作战和发挥杀伤武器的威力,逐渐地使用了各种无线电设备,如通信、导航、雷达、制导、遥控遥测等。由于无线电设备的特点是向空间辐射或者由空间接收电磁波来进行工作的,因此,使得无线电设备容易受到敌方的侦察和干扰,从而可能造成我方的军事通信和指挥中断、雷达迷盲、武器失控等严重现象。为此必须采取相应的对抗措施,使我方无线电设备免遭敌方侦察和干扰以保障军事通信、雷达及武器系统的正常工作和效能的充分发挥,同时采用必要的措施以削弱敌方各种电子设备的功能。因此,伴随着现代武器的使用,近几十年来逐渐形成了一个新的特殊战场——“电子战”。这是一种敌我双方利用无线电电子设备或器材进行相互对抗的电磁斗争,故又常称为电子对抗。

电子战最初起始于无线电通信对抗,随着电子战活动的不断发展,覆盖范畴和频域范围也逐渐扩大。目前,已涵盖声波、短波、超短波、微波直到红外、激光的全频段,其定义也在不断地更新、丰富和发展。目前对电子战的定义:利用电磁能、定向能、水声能等技术手段,确定、扰乱、削弱、破坏和摧毁敌方电子信息系统、电子设备等,同时保护我方电子信息系统、电子设备的正常使用而采取的各种战术技术措施和行为。电子战包括电子侦察、电子攻击和电子防护三个方面。

电子侦察是指使用电子技术手段,对电磁(或水声)信号进行搜索、截获、测量、分析、识别,以获取敌方电子信息系统、电子设备的技术参数、功能、类型、位置、用途以及相关武器和平台类别等情报信息的侦察。它包括电子情报侦察和电子支援侦察。

电子攻击是指使用电磁能、定向能、声能等技术手段,扰乱、削弱、破坏、摧毁敌方电子信息系统、电子设备及相关武器或人员作战效能的各种战术技术措施和行动。它包括电子干扰、反辐射摧毁、定向能攻击、计算机病毒干扰等。

电子防御是指使用电子或其他技术手段,在敌方或我方实施电子对抗侦察及电子进攻时,保护我方电子信息系统、电子设备及相关武器系统或人员的作战效能的各种战术技术措施和行动。

电子战的应用功能分类如图 1-1 所示。

雷达电子战(雷达对抗)是电子战的重要组成部分,它是以雷达及由雷达组成的系统为作战目标,以雷达干扰机、雷达侦察机等为主要作战装备,以电磁波的发射、吸收、反射、传输、接收、处理等形式展开的,是侦察、压制敌方电磁频谱的使用并增强我方电磁频谱使用有效性的作战行为。

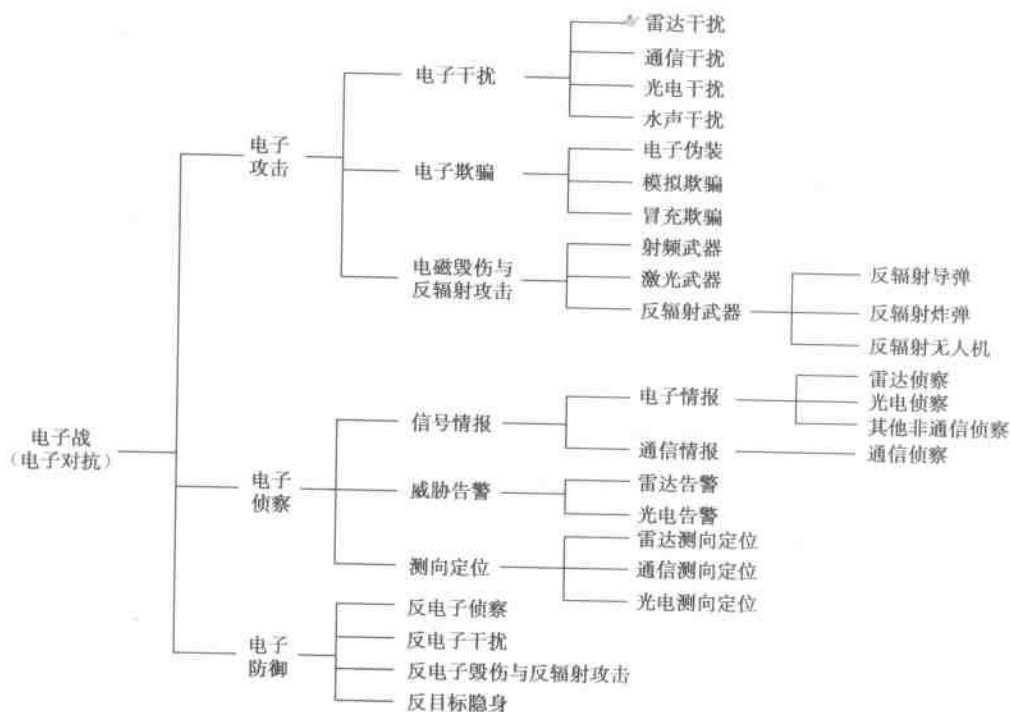


图 1-1 电子战的应用功能分类

雷达电子战围绕雷达对抗与反对抗展开，包括雷达侦察、雷达干扰、反辐射攻击、雷达隐身和综合雷达对抗，其作战对象主要包括敌方预警探测系统和武器控制系统中的军用雷达，以及由这些雷达构成的雷达网，具体地可分为预警探测雷达、目标监视和引导雷达、火控和制导雷达、雷达导引头等。雷达侦察利用各种平台上的雷达侦察设备，通过对敌雷达辐射信号的截获、测量、分析、识别和定位，获取雷达信号的技术参数，及雷达位置、类型和部署等情报；雷达干扰通过辐射、转发、反射或吸收电磁能量，以削弱或破坏敌方雷达探测和跟踪能力，是雷达对抗中的进攻性手段，它是电子软杀伤手段；反辐射攻击应用电子侦察技术截获和跟踪敌防空体系中的雷达等电磁辐射源目标，并引导杀伤性兵器摧毁辐射源目标，它是硬杀伤手段；雷达隐身技术通过设计特殊的平台外形、涂覆特殊材料、采取其他措施吸收雷达波，减少目标的雷达反射截面，降低雷达探测距离；综合雷达对抗综合应用雷达侦察、雷达干扰、反辐射攻击器材和手段，对所选定的目标实施综合对抗，以达到最大的作战效能。雷达侦察、雷达干扰、反辐射攻击是三个传统的雷达对抗领域，雷达隐身和综合雷达对抗是最近发展的新领域。随着隐身武器和定向能武器的研制成功与投入使用，以降低目标雷达信号特征为目的的隐身技术，以降低目标隐身能力为目的的反隐身技术，以及以干扰或烧毁军事电子设备为目的的定向能武器（微波武器、激光武器）等技术也逐渐成为雷达电子战的新技术领域。雷达对抗的体系结构，如图 1-2 所示。



图 1-2 雷达对抗的体系结构

### 1.1.2 雷达电子战的作用

现代战场的典型特征是电磁环境日趋复杂，其中雷达辐射的信号及其对抗信号是复杂战场环境的重要组成部分。据分析，在现代的典型防空作战中，当飞机在距离地（海）面 300m 以上高度飞行时，周围有 300~400 部雷达以 600~700 个不同的频率的波束对其进行搜索，同时还有 30~40 部雷达用 40~50 个波束跟踪或者以扇形扫描进行搜索。正是由于雷达等大量信息探测设备的应用，使得战场对于作战双方都变得日趋透明。如果破坏了作战对手的雷达的正常工作，也就破坏了武器系统的重要信息来源，使对方的指挥控制系统和武器系统成为“瞎子”、“聋子”，从而获得战场的制信息权和主动权。因此，对雷达实施的电子对抗和电子反对抗具有重要的地位。下面的两场战争实例充分说明了这一点。

1982 年，贝卡谷地的战斗是一场闻名天下的电子战。以色列采用了多种电子战措施，其中雷达电子战占据了主要地位，确保了战场的主动，最后取得了全面的胜利，成为雷达电子战的经典典范。整个战争分为三个阶段。

第一阶段：电子侦察。叙利亚军队在黎巴嫩的贝卡谷地构筑了 19 个“萨姆”-6 导弹基地，他们认为，在第四次中东战争中，“萨姆”-6 导弹非常有效，以色列空军不会来攻击贝卡谷地。而以色列在“猛犬”无人机上装备了高分辨力的照相机和电视摄像机，在“侦察兵”无人机上装备了电子侦察装置，对叙军进行侦察，确定了“萨姆”导弹基地的位置和叙军的雷达参数。

第二阶段：电子干扰。“猛犬”无人机和“侦察兵”无人机被作为诱饵使用，它们装备了



电子干扰设备,使雷达显示的目标像真正的飞机在飞行一样。叙军受到欺骗,认为以军来袭,开动雷达并发射导弹。以军用装备在波音707改装的电子战飞机及无人机上的通信干扰设备干扰了叙军的通信网,剥夺了叙军有组织的战斗能力。

第三阶段:电子攻击。当波音707电子战飞机确认叙军的全部雷达都已启动,发射架上的导弹全部发射后,就开始攻击雷达站和导弹发射装置。同时,用火箭弹散布箔条,干扰叙军雷达。紧接着,波音707电子战飞机进行电波干扰,彻底干扰掉警戒控制雷达和地空导弹射击控制雷达。叙军由于雷达被破坏,虽然发射了地对空导弹,但无一命中目标。为干扰激光武器,叙军释放了烟雾,但时间已晚,反而暴露了导弹基地位置,导致以军攻击。最后,叙军关闭所有雷达也没奏效。战争的结果,以色列仅用了6min就摧毁了叙利亚该地区所有的19个导弹基地。

贝卡谷地的大捷充分证明了雷达电子战对于获取现代战争胜利的重要意义。由于雷达在现代武器系统中的重要地位,失去雷达的探测能力实际上也就意味着失去打击能力,将处于完全被动挨打的地位。距我们很近的一场大规模战争——海湾战争更加深刻地说明了这一点。

海湾战争中的雷达电子战是战争历史上规模最大、范围最广、强度最高、影响战局最深远的雷达电子战战例之一。多国部队在战争中使用了上百架电子战飞机及大量的电子战设备和器材,对伊军实施了强大的电子进攻。战争一开始,美军AH-46直升机就摧毁了伊拉克南部预警雷达站,美军F-117隐身战斗机深入伊拉克雷达覆盖区而未被发现,并攻击了伊拉克的一个防空截击指控中心和一个防空作战指挥中心,使得伊拉克的雷达覆盖区和指挥网出现了缺口。接着,美军的EF-111A等电子战飞机进入伊拉克,干扰伊早期预警雷达、测高雷达、跟踪雷达等,并施放欺骗干扰,在没有多国部队飞机的地方制造假目标,诱使伊方启动雷达进行火力攻击,从而暴露雷达位置,被美军导弹摧毁。由于连续不断地使用护航机和防区外干扰机、反辐射导弹、精确制导导弹、诱饵及有源自卫干扰机等,伊拉克的综合防空系统遭到彻底破坏。在42天的战斗中,伊拉克有250部雷达被摧毁,而多国部队的飞机损失率仅为0.425%。

海湾战争再次证明了雷达电子战的重大作用。伊拉克的防空系统在多国部队强大的电子干扰下,几乎瘫痪。多国部队对伊拉克的防空雷达系统、指挥通信系统进行电子压制和反辐射摧毁,最终取得了胜利。从这些战争可以看出,雷达电子战已作为现代战争的重要组成部分贯穿于战争的始终,并影响着战争的进程和结局。可以这样说:雷达电子对抗能力强的一方在战争一开始就可使敌人对整个战场的感知迷茫,从而赢得战争的主动权,赢得战争的胜利。

### 1.1.3 雷达电子战仿真的现实需求

从最近几年的几场战争可以看出,现代战争的表现形态发生了重大而深刻的变化,雷达电子战已成为现代战争中不可缺少的重要组成部分,它贯穿于现代战争的全过程和所有作战行动之中。雷达电子战的战术技术水平已经成为决定现代高技术局部战争胜负的关键因素之一,而雷达电子战本身也已从双方单一装备间的对抗,发展到系统对系统、体系对体系间的对抗。建造与发展一个整体效能佳、效益高、反应快、生存能力强的军事电子战系统是打赢一场高技术战争的必需条件。在此背景下,寻求一种有效技术手段用以分析、评估现代防御系统电子战的性能/效能已成为当前世界各国的研究热点和难点。通过实装演习是评估武器系统雷达电子战能力的可靠方法,但依靠有限的实战演习难以评估雷达及电子干扰装置在实际作战中的电子战能力。另外,实战演习还具有耗时长、费用高、易受环境制约、试验结果不可重复等缺陷,这使得通过实战演习对攻防对抗双方的雷达电子战能力进行全面、综合的评估难以进行。以



AN/MPQ-53 (“爱国者”雷达)、AN/SPY-1D (“宙斯盾”雷达)、GBR (导弹防御系统地基雷达)等新型雷达系统为例,它们的先进性、对抗性和实战性十分突出,这给鉴定和评估带来了很大的困难,主要体现在以下几个方面:

- ① 几乎不可能得到真实的作战对象装备;
- ② 几乎不可能完全准确确定作战对象战时应用的技术状态和参数;
- ③ 几乎不可能完全按照真实作战战情进行外场实装对抗试验。

仿真技术是以相似原理、模型理论、系统技术、信息技术以及建模与仿真应用领域的有关专业技术为基础,以计算机系统和有关的物理效应设备及仿真器为工具,利用模型对系统进行研究、分析、评估、决策并参与系统运行的一门多学科的综合性技术。利用现代建模与仿真技术,构建虚拟的战场电磁环境,进行若干典型战情下的电子干扰与抗干扰试验,不但便于实现,而且具有可控、无破坏、安全、可重复、高效等优点。采用这种方法,不仅可以实现新型雷达系统与某一特定电子干扰的单一对抗,而且可以实现它与多种干扰的综合对抗,上升到系统对抗甚至体系对抗的范畴。实际上,由于战场情况瞬息万变,电磁环境极其复杂,通过仿真手段对雷达电子战进行评估甚至是目前唯一有效的方法。

实际上,不仅雷达电子战评估需要应用现代建模与仿真技术,而且电子信息系统的装备发展论证、型号研制、鉴定定型、训练使用、作战应用、装备采办等全过程都离不开现代建模仿真技术。以新型电子信息武器装备发展为例,对仿真技术的需求体现在以下几个方面。

#### 1. 武器装备的发展论证

利用仿真技术对联合作战条件下武器装备的作战效能和对整体作战能力的贡献进行分析和比较,通过对武器装备在系统中的作战效能的影响分析,确定武器装备发展的军事需求及主要战技指标,设计武器装备发展的备选方案,为型号系统的研制提供决策依据,并可进一步为总兵力的规划、各军种规模、兵力结构、作战部署计划等方面提出合理建议。

#### 2. 新型武器系统的设计与研制

在新型武器系统的设计及研制过程中,利用仿真系统帮助设计者准确地判断武器装备的性能及各种战技指标的满足情况,并可通过仿真系统构建的虚拟战场环境对武器系统的设计方案和战技指标的合理性进行检验,以避免由于方案的不合理造成资源浪费,缩短研制周期。

#### 3. 装备试验鉴定及评估

新型武器装备系统结构复杂、功能众多,而且与其他主战武器结合紧密,依靠有限的实战演习难以综合评估新型武器系统在实际作战中的电子战能力。利用系统建模及仿真技术,装备试验靶场可以实现复杂电磁环境下电子信息作战的逼真电磁环境,不仅可以满足在复杂电磁环境下对武器系统进行试验鉴定与综合评估的需要,还可对武器装备的发展规划、先期概念演示以及电子信息作战战法研究等提供强有力的技术支持。

#### 4. 作战训练及演练

在充分利用对武器装备进行仿真实验鉴定与评估资源的基础上,开发各种训练模拟器,提供通用的或专用的武器装备演练、训练模拟系统,形成逼真的人在回路的训练环境,从而实现武器装备指挥人员的训练。对于复杂电磁环境下联合作战的训练、演练而言,迫切需要为各军兵种创造一个无缝一体化联合作战空间,通过和战场空间范围内的C<sup>4</sup>I系统及其他装备互连,为受训者提供一个近似实战的联合训练环境。

#### 5. 战法研究

包括对高新技术和新概念武器的先期技术演示和新的战术应用方法研究,检验和评估部队