

# 网络雷达对抗系统导论

WANGLUO LEIDA DUIKANG XITONG DAOLUN

姜秋喜 著

内容简介

# 网络雷达对抗系统导论

姜秋喜 著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书是第一部关于网络雷达对抗系统的专著,它阐述了网络雷达对抗系统的基本概念、工作原理、目标定位、目标识别、目标跟踪及其数据融合原理,讨论了网络雷达对抗侦察系统的“四抗”能力。

本书可作为雷达对抗和电子战领域的科研工作者、工程技术人员以及高等院校电子类专业高年级学生或研究生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

网络雷达对抗系统导论 / 姜秋喜著. —北京:国防工业出版社,2010.11  
ISBN 978-7-118-06965-5

I. ①网... II. ①姜... III. ①雷达对抗 IV. ①TN974

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 218840 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 100048)  
北京奥鑫印刷厂印刷  
新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 13 字数 293 千字  
2010 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 30.00 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

## 序 言

当今世界,变革的潮流浩浩荡荡,创新的速度不断加快。特别是在充满未知、对抗激烈的军事领域,更需要创新的精神,更呼唤创新的成果。胡主席明确指出,将科学发展观贯彻落实到国防和军队建设中,必须着力推动军事理论创新、军事技术创新、军事组织体制创新和军事管理创新。胡主席讲的四个创新既是一个紧密联系、有机统一的整体,又各有侧重。其中,理论创新是先导,技术创新是基础。非常欣喜地看到《网络雷达对抗系统导论》这本专著,将信息时代的网络理念引入到雷达对抗装备体系之中,既是对理论创新的一次科学探索,也是一部融入创新精神、包含创新成果的力作。

雷达与雷达对抗是现代国防的重要基础,是体现国防能力和水平的重要标志,在现代战争中发挥着越来越重要的作用。雷达自20世纪30年代投入应用以来,围绕雷达的斗争就一刻没有停止过,而且越演越烈。《网络雷达对抗系统导论》正是在这种需求的推动下,遵循信息时代网络化、一体化发展理念,实现了有源和无源、主动和被动、侦察和干扰的一体化,是我国雷达对抗系统的一次重大变革,其网络化工作、全频段覆盖、收发异地部署、分布式协同、网络式控管、信息资源共享、数据信息融合等做法,不仅有多方面的技术创新,也蕴涵着许多新思想、新理念。更为难能可贵的是,作者运用了大量的定量计算和数据仿真,对提出的新观点、新理论进行了深入的分析 and 论证,既增加了“网络雷达对抗系统”理论的科学性和可信度,也为进入实际运用打下了坚实的基础。

理论来源于实践,也指导实践,也只有在实践中才能被检验并不断完善。《网络雷达对抗系统导论》一书为构建新的国家综合一体化防空系统提出了新的设想,对我国的国防建设和军事斗争准备都有指导作用。希望这部专著能引起广泛重视,并尽快转化成工程实践,转化为现实作战能力。

鉴于此,我要对《网络雷达对抗系统导论》一书的出版表示祝贺,希望能有更多类似具有原创性的著作问世!

中国工程院院士

张锡祥

2010年6月1日

# 前 言

军用雷达的发展与应用是敌我双方在电磁领域争斗的焦点。可以说,自雷达用于军事的那天起,围绕雷达开展的雷达对抗一刻也没有停止过,而且越来越激烈。在未来信息化战争中,单部雷达、单部雷达对抗装备或多种装备的简单组合、叠加已不能满足联合作战需要,雷达与雷达对抗都面临新的挑战。

雷达主动辐射的电磁波引来了反辐射武器和电子干扰的直接攻击,雷达依赖反射电磁波探测目标导致了吸收和降低电磁反射的隐身技术的出现,雷达依靠天线波束扫描获取目标信息产生的低空盲区使得低空突防飞行器有机可乘。雷达面对上述四大威胁挑战,在功能、抗干扰性上快速发展,出现了频率捷变雷达、频率分集雷达、脉压雷达、重频变化雷达、相控阵雷达、合成孔径雷达、多普勒雷达、单脉冲雷达、双/多基地雷达、无源雷达、非合作无源探测雷达、稀布阵雷达以及组网雷达等的出现,就是雷达功能和生存需求推动的结果。

面对现代先进雷达体制、各种抗干扰措施以及呈现出的雷达抗干扰技术向综合化方向发展的趋势,传统的基于单站和单项对抗措施的雷达对抗装备也面临更加严峻的挑战,唯有综合对抗才能发挥作用。

雷达与雷达对抗是矛盾的两个方面,两者既相互对立,又相互依存、相互促进。然而,在进入网络时代的今天,雷达与雷达对抗的一体化是现代战争与信息战的必然要求,同时也是信息时代电子战系统与雷达系统发展的必然趋势,网络时代使得这样的需求和趋势变成可能。

从信息获取角度来看,雷达探测是获取空间、空中、海面、地面目标的重要手段。然而,雷达探测获取的是目标的坐标、航迹和速度信息,难以满足信息作战对目标属性、所承载的武器系统和信息系统等相关信息的要求;而电子侦察不仅可获取目标所载辐射源的相关信息,而且通过无源侦察定位也能获取目标的坐标、航迹和速度信息,通过电子“指纹”识别,还能获取关于目标平台和武器系统的相关信息。因此,实现雷达探测与电子侦察一体化,即有源、无源情报一体化,可以全面获取战场态势信息。

从优缺点互补角度来看,雷达系统面临反辐射武器、隐身目标、低空突防和电子干扰四大严峻挑战,尽管针对雷达暴露的问题,发展了组网雷达、双/多基地雷达、稀布阵雷达等,但任何单一体制雷达仍然存在着原理上难以克服的问题;而雷达对抗面临的问题是信息获取的被动性和非合作性,即其获取信息以及干扰对象的选择依赖于目标辐射源的工作。因此,实现主动发射和被动接收一体化,可以扬雷达之“长”,避电子侦察之“短”。

从目标攻击角度来看,雷达探测是实现导弹制导和武器控制的主要手段,是实现对目

标精确“硬”打击的重要保证。而雷达对抗是实现对目标“软”攻击的主要手段,是取得制信息权、制空权、制海权的重要保证。因此,从目标攻击角度,也必须实现雷达探测与雷达对抗一体化,即软、硬攻击一体化。

从武器装备发展趋势来看,体系对抗是高技术战争特点,如信息化战争的情报获取与打击一体化特点显著。实现雷达探测与雷达对抗一体化,可以做到一旦发现实体目标或电子目标,就可以利用系统本身的攻击系统进行电子干扰压制并引导火力对目标实施打击。

从网络化发展规律来看,雷达与雷达对抗的一体化是时代发展的必然。依托高度发展的网络信息技术,战场系统网络化是未来战争的基本形态,未来变革的方向是“以传感器为中心的战争”转化为“以网络为中心的战争”,依赖网络化的战场系统,通过多传感器融合为指挥员提供实时、透明的空间感知。

因此,雷达与雷达对抗一体化是网络时代的必然产物,我们提出的网络雷达对抗系统是一个侦察与干扰一体化的雷达对抗系统,它将有源探测与无源探测有机地结合起来,极大改善探测定位的精度,并防止敌方电磁静默时的目标信息中断。它从多方面提取目标特征信息,更有利于分析、识别威胁,从根本上消除虚警,更准确、更可靠地估计警戒空域内威胁目标属性、技术参数、数量、位置,缩短反应时间,快速引导干扰,确保战术需要。

网络雷达对抗系统具有三种基本的工作模式。一种是有源模式,在这种模式下,网络雷达对抗系统的发射机即可以作为干扰机使用,完成干扰功能;还可通过向目标发射敌我识别询问信号,接收站根据应答信号完成对目标的敌我属性判别,即兼有二次雷达的敌我识别功能。在这种模式下,网络雷达对抗系统的发射机还可以作为雷达发射机使用,发射雷达探测信号,利用目标反射(散射)回波进行探测、跟踪。第二种是典型的无源模式,即利用目标辐射源发射的信号进行雷达信号侦察、无源探测定位。在这种模式下,网络雷达对抗系统同时兼有电子情报侦察和电子支援侦察功能,利用接收机完成对辐射源信号的参数测量、侦察识别和干扰的参数引导功能。第三种是有源、无源相结合模式,在这种模式下,网络雷达对抗系统中部分接收机和发射机配合工作在第一种模式,另一部分接收机工作在第二种模式,此时网络雷达对抗系统功能最强、性能最佳。网络雷达对抗系统以网络方式工作,通过网络协议实现对各发射站和接收站的连接、管理、协调和控制。网络中心站或是某一指定的接收站除了完成各网络节点连接、管理、协调、控制和时统外,更主要的是完成对数据和信息的融合与处理,目标的探测、定位、识别、跟踪和航迹标绘,给出目标数量、目标属性、地理位置、威胁等级、电子序列等军事作战情报和电子情报,实现探测区域的透明化,为电子打击提供直接情报。

网络雷达对抗系统有效解决了无源雷达存在的致命问题,即对目标的探测完全依赖目标的辐射特性,若目标保持无线电寂静时,无源雷达将无法正常工作的被动局面。

网络雷达对抗系统有效解决了非合作无源探测雷达的弱点,即外辐射源的非合作性,在满足隐蔽性的同时,更好地实现对目标的探测跟踪。

本书在撰写过程中,得到了我国著名专家王小谟院士、保铮院士、李德毅院士、张履谦

院士、毛二可院士、张锡祥院士以及何友教授的直接指导和大力帮助,汤子跃教授对书稿提出了许多宝贵意见,凌永顺院士审阅了全书,在此一并表示衷心的感谢。

值得说明的是,本书是群体智慧的结晶。感谢在概念形成初期领导给予的充分肯定和极大鼓励,感谢博士研究生李明亮、安振、丁锋、沈爱国、汪波和王正,在出版过程中提供的大力支持。此外,还要感谢祁建清教授对全书结构、文字统稿和理论分析方面所做出的贡献。

网络雷达对抗系统是首次提出的新概念,因此,许多理论和工程技术都有待于深入研究和工程实践,本书仅是抛砖引玉,难免有不当和错误之处,敬请读者批评指正。

作者

2010年8月28日



# 目 录

第 1 章 网络雷达对抗系统概述	1
1.1 引言	1
1.2 网络雷达对抗系统原理	4
1.2.1 网络雷达对抗系统工作原理	4
1.2.2 网络雷达对抗系统工作模式	7
1.3 网络雷达对抗系统配置	9
1.3.1 环形配置	9
1.3.2 线形配置	10
1.3.3 区域配置	10
1.4 网络雷达对抗系统性能	11
1.4.1 有源工作模式下侦察探测区	11
1.4.2 无源工作模式下侦察探测区	16
1.4.3 有源无源一体模式下侦察探测区	18
1.4.4 干扰条件下侦察探测区	19
1.4.5 网络雷达对抗系统干扰压制区	24
1.4.6 侦察探测模式下的模糊函数	30
第 2 章 网络雷达对抗系统目标定位	48
2.1 引言	48
2.2 有源模式目标定位	48
2.2.1 多发一收模式	48
2.2.2 一发多收和多发多收模式	60
2.3 无源模式目标定位	75
2.3.1 定位解的获取	75
2.3.2 定位误差分析	77
2.3.3 目标位置估计的克拉美罗界	78
2.3.4 仿真与分析	79
2.4 有源无源一体模式目标定位	81



第3章	网络雷达对抗系统目标识别 .....	87
3.1	引言 .....	87
3.2	网络雷达对抗系统单站目标识别 .....	88
3.2.1	目标识别基本概率赋值计算 .....	88
3.2.2	基于D-S证据理论的目标识别 .....	92
3.2.3	单站目标个体识别 .....	96
3.3	网络中心站综合目标识别 .....	105
3.3.1	网络中心站证据加权处理 .....	105
3.3.2	网络中心站识别框架调整 .....	106
3.3.3	网络中心站综合识别实例 .....	106
第4章	网络雷达对抗系统目标跟踪 .....	109
4.1	引言 .....	109
4.2	目标运动模型 .....	109
4.2.1	匀速运动模型 .....	109
4.2.2	匀加速运动模型 .....	110
4.2.3	Singer 模型 .....	111
4.2.4	机动目标的转弯模型 .....	112
4.3	跟踪滤波算法 .....	113
4.3.1	信息滤波器 .....	113
4.3.2	非线性滤波算法 .....	114
4.3.3	自适应滤波算法 .....	116
4.4	跟踪滤波形式 .....	118
4.4.1	采集数据 .....	118
4.4.2	集中式处理滤波形式 .....	119
4.4.3	分布式处理的滤波器形式 .....	121
4.5	联合概率数据关联算法 .....	122
4.5.1	最优的联合概率数据关联算法 .....	123
4.5.2	简易联合概率数据关联算法 .....	127
4.5.3	概率加权和等于1的联合概率数据关联算法 .....	128
4.5.4	改进的联合概率数据关联算法 .....	130
4.6	多接收站对多目标的跟踪 .....	131
4.6.1	并行多接收站联合概率数据关联算法 .....	131
4.6.2	顺序串行多接收站联合概率数据关联算法 .....	132

4.6.3	仿真与分析 .....	133
<b>第5章</b>	<b>网络雷达对抗系统数据融合 .....</b>	<b>159</b>
5.1	引言 .....	159
5.2	网络雷达对抗系统数据关联预处理 .....	159
5.2.1	网络雷达对抗系统空间校准 .....	160
5.2.2	网络雷达对抗系统时间校准 .....	162
5.3	网络中心站目标航迹关联 .....	163
5.3.1	基于目标身份信息的航迹关联 .....	164
5.3.2	基于模糊综合决策的航迹关联 .....	166
5.3.3	基于模糊综合决策的证据航迹关联算法 .....	170
5.4	网络雷达对抗系统的航迹融合 .....	174
5.4.1	简单航迹融合与互协方差组合航迹融合算法 .....	174
5.4.2	协方差交叉融合 .....	176
<b>第6章</b>	<b>网络雷达对抗侦察系统“四抗”能力分析 .....</b>	<b>178</b>
6.1	网络雷达对抗侦察系统抗干扰性能分析 .....	178
6.1.1	抗有源压制性干扰 .....	178
6.1.2	抗有源欺骗性干扰 .....	182
6.2	网络雷达对抗侦察系统抗隐身性能分析 .....	184
6.2.1	无源工作模式抗隐身 .....	185
6.2.2	工作频段的合理选择提高抗隐身能力 .....	185
6.2.3	收发分置与数据共享提高抗隐身能力 .....	186
6.3	网络雷达对抗侦察系统抗反辐射攻击性能分析 .....	187
6.3.1	网络雷达对抗侦察系统抗反辐射武器的优势 .....	187
6.3.2	抗摧毁能力分析 .....	188
6.4	网络雷达对抗侦察系统抗低空突防性能分析 .....	191
6.4.1	收发分置提高雷达的探测范围 .....	191
6.4.2	无源探测提高对低空目标的探测能力 .....	193
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>194</b>

# 第 1 章 网络雷达对抗系统概述

## 1.1 引言

雷达自 20 世纪 30 年代投入应用以来,其功能由最初的目标探测已扩展到现在的预警探测、跟踪引导、导航控制、武器控制、遥测遥控、地形测绘、气象预报等多种功能。雷达全天候的工作特点和雷达功能的拓展加速了雷达的应用,防撞雷达、测速雷达、导航雷达、气象雷达、测绘雷达等民用方面的广泛应用,给人们的日常生活带来了极大的方便,使得人们的日常生活已与雷达息息相关;远程预警雷达、目标指示雷达、导弹制导雷达、武器控制雷达、导航引导雷达、目标成像雷达等在军事领域的广泛运用,使得雷达已成为现代战争和国土防御的重要基础,更是信息化联合作战的重要组成部分。

然而,军用雷达的发展与运用却成了敌我双方斗争的焦点。可以说,自雷达用于军事的那天起,围绕雷达开展的对抗一刻也没有停止过,而且越来越激烈。雷达主动辐射的电磁波引来了反辐射武器和电子干扰的直接攻击,雷达依赖反射电磁波探测目标导致了吸收和降低电磁反射的隐身技术的出现,雷达依靠天线波束扫描获取目标信息产生的低空盲区使得低空突防飞行器有机可乘。然而,雷达的快速发展也归功于上述功能的拓展和所面临的上述四大威胁挑战,例如,频率捷变雷达、频率分集雷达、脉压雷达、重频变化雷达、相控阵雷达、合成孔径雷达、多普勒雷达、单脉冲雷达、双/多基地雷达、无源雷达、非合作无源探测雷达、稀布阵雷达以及组网雷达等的出现,就是雷达功能和生存需求推动的结果。

频率捷变雷达、频率分集雷达、脉压雷达、重频变化雷达、相控阵雷达、合成孔径雷达、多普勒雷达、单脉冲雷达等雷达体制在技术上具有较好的抗侦察和抗干扰性能,然而作为单站设备理论上总是可以找到有效的对抗措施与方法。

双/多基地雷达系统发射机和接收机分离,其收、发间的基线距离与等效作用距离同量级。双/多基地雷达主要有采用专用发射机的双基地雷达(T-R)和单基地雷达联合工作的复合式双基地雷达(T/R-R)两种。双基地雷达发射的辐射信号照射到目标上,由分置的接收机接收目标的散射波并形成检测与处理。由于其中每个双基地雷达都可能出现数据冗余,因此,通过对此冗余数据进行组合估计可以提高双/多基地雷达的定位精度。目前,典型的双/多基地雷达包括美国的“圣堂”(Sanctuary)防空双基地雷达系统、战术双基地雷达验证(TBIRD)系统、双基地报警和指示(BAC)系统、多基地测量系统(MMS),英国 Plessey 公司研制的近程警戒双基地雷达系统、伦敦大学工学院的双基地雷达试验系统,俄罗斯的 Barrier 雷达等。特别是美国,已将多个双/多基地雷达系统应用于国土防御体系中,担负远、中、近程的战略防御任务。多基地雷达可看成是由多个共发射站的双基地系统组合而成,每个双基地系统首先独立地进行定位处理,然后将处理结果传输到中心

站以便进行数据融合、跟踪等处理。双/多基地雷达要解决的关键问题是空间、时间和相位的“三大同步”问题和解算双基地和目标形成的三角形问题,构造比较复杂。双基地雷达的分辨能力和测量精度较单基地雷达要差,而且在收、发基线上双基地雷达几乎失去了分辨能力;由于双/多基地雷达的收、发分离,收、发天线的方向性只能分别单程利用,副瓣杂波影响较大。双/多基地雷达多采用 DOA 方向角定位,定位精度相对于有源雷达和无源时差定位有较大误差,而且双/多基地布站方式对探测区域有较大的影响,因此,在配置和战术使用上有较多限制。

无源雷达本质上就是雷达对抗侦察系统,它自身不辐射电磁波,通过接收目标辐射的电磁波来实时获得目标位置和属性的雷达系统。无源雷达的发展始于 20 世纪的 70 年代,比较著名的产品是捷克台斯拉公司(现在 ERA 公司)推出的“塔玛拉”(TSMSRA)系统和“维拉”(Vera-E)系统。此外,以色列在机载短时差定向系统的基础上派生了 EL/L-8300 和 EL/L-8388 地基防空电子情报系统,可通过对机载、舰载、地面的辐射源信号的截获,完成侦察分选,同时也具有实时跟踪空中多批目标的能力。俄罗斯、法国也有类似装备。我国先后装备了采用三站长基线时差定位体制的某型对空无源探测设备和四站长基线时差定位体制的某型无源雷达。无源雷达由于自身不辐射电磁信号,只接收目标自身电子设备的辐射信号,因此与有源雷达相比,具有作用距离远、隐蔽性强、不易被对方发现等优点。此外,由于无源雷达探测和定位系统的工作机理、定位方法均不同于有源雷达,敌方对施放的有源电子干扰,反而会成为无源雷达探测电子干扰源的信号,并对其定位;无源雷达对目标的探测是通过接收目标的辐射源来进行的,与目标的有效反射截面积无关,因此,对隐身飞机和对其他飞机没有本质区别。此外,无源雷达还可以通过截获辐射源信号参数,判别目标的类型和工作状态等,可通过对辐射源雷达“指纹特征”的识别,完成对目标的个体识别。然而,无源雷达存在的致命问题是对目标的探测完全依赖目标的电磁辐射,若目标保持无线电寂静时,无源雷达将无法正常工作;另外,无源雷达存在的其他问题包括:在探测、定位精度上与有源雷达相比尚有一定的差距,不同的布站形式对应不同的定位区域;对低空、远距离的目标定位精度较差,甚至不可定位。因此,无源雷达只能作为有源雷达工作的补充与有源雷达协调工作。

非合作无源探测雷达是通过测量空中的电视信号和调频广播信号的直射信号和目标反射信号的到达时间差(TDOA),到达方向(DOA)和 Doppler 频移上的变化来实现对目标的探测和定位。这种定位系统有四个优点:由于其类似于收发分置的双基地或多基地雷达系统,而且又工作在隐身目标的电波吸收材料对其作用较小的调频(FM)广播和电视(TV)信号的频段,能有效地对付隐身目标;由于系统本身不发射电磁能量,所以有很好的隐蔽性,能有效地抗反辐射导弹;由于利用商业的电视台或调频无线电台发射的信号,系统无需配置昂贵的发射设备,系统成本较低;工作于低频段,受天气变化影响小,工作可靠,系统兼容性好。但不足之处是,探测精度不够高,不能够为武器实施精确打击提供数据,并且对于箔条等被动干扰装置对系统性能的影响还有待进一步研究。非合作无源探测雷达的突出代表是美国洛克希德·马丁公司的“寂静哨兵”(Silent Sentry)系统以及英国防御研究局(DERA)正在研究的利用电视信号的无源探测定位系统。然而,利用外辐射信号对目标进行无源探测定位的系统在定位精度上离军事实战要求还有一定差距。

稀布阵综合脉冲孔径雷达(SIAR)是由法国国家航天局(ONERA)于20世纪70年代末提出的一种新型米波分布阵体制雷达,主要用于远程警戒与跟踪。SIAR的最主要的特点是天线采用了稀布阵,总体上的无方向性发射,其发射和接收方向图是在接收端通过数字信号处理而得到的,因此,它可同时形成多个波束以同时观测多个方向。由于它不使用传统的机械天线来进行空间波束扫描,而是通过计算形成波束能够长时间不间断地“盯住”目标而进行长时间的相干积累,提高了雷达的探测能力和雷达的抗威胁能力。SIAR采取全向发射方式,在空间没有主瓣和旁瓣之分,因此,雷达侦察接收机不能像侦察普通雷达那样从主波束那里获取雷达信息并对雷达概略定位;SIAR的体制决定了其发射、接收天线增益都比较低,要达到对目标回波的有效检测,必然采用长时间的相干积累,雷达的发射功率较小,故其隐蔽性较好,不易被侦察;SIAR为有源阵列雷达,各阵元发射的频率编码和相位编码都不同且能随机变化,属于复杂波形,因此,对方无法利用信号处理的手段来获取发射波束,难以对雷达进行定位。但SIAR一般采用水平布阵,不具有低空测角能力,并且天线阵列的体积较大,在应用中受到一定的限制。

组网雷达的基本原理是通过对多部不同体制、不同频段、不同工作模式、不同极化方式的雷达适当布站,借助通信手段链接成网,由网络中心站统一调配处理而形成的一个有机整体。网内各雷达获取的目标信息(目标点迹、航迹等)传输至网络中心站进行处理,形成雷达覆盖范围内的目标情报信息,并按照作战态势的变化调整网内雷达的工作状态,充分发挥各雷达的优势,从而完成整个覆盖范围内的探测、定位与跟踪等任务。雷达组网是目前国内外在防空、进攻作战中已被广泛采用的技术措施,具有全频段、多体制、多重叠等技术特性。俄罗斯部署的“橡皮套鞋”反弹道系统则是单基地雷达组网的典型。此外,组网雷达的典型应用还包括法国汤姆逊-CSF公司研制的CETAC防空指挥中心等。组网雷达受目前技术的限制,仍然以单基地雷达组网为主,因此,存在的主要问题就是对数据与信息的融合是建立在目标层,而难以达到信号处理与参数层融合,数据融合度受到很大限制,对目标的识别问题同单部雷达并无明显改变,单站雷达的作用对组网雷达的影响较大。

雷达对抗的发展依赖与雷达的发展。无论雷达的发展是处于功能扩展、性能改善还是生存需要,任何雷达体制与技术的改变都会对雷达对抗侦察和干扰,甚至反辐射攻击产生影响或挑战。从侦察来看,多功能组合波形、脉内编码调制、参数与波形捷变、短脉冲与波束捷变等均会给雷达侦察、信号分选与识别带来极大困难;从干扰来看,宽带脉冲、相参脉冲、参数捷变、波束捷变、收发分置、旁瓣抑制、低副旁瓣、多模式多功能兼容等使得传统雷达干扰措施难以奏效,单站干扰装备效果不佳;从直接摧毁攻击的反辐射来看,雷达对侦察和干扰带来的困难都会给反辐射带来挑战,另外,反辐射还存在辐射源诱饵的挑战,这些都直接影响反辐射武器的打击效果。然而,雷达带来的这些挑战也极大地推动了雷达对抗技术与装备的发展,有些体制的雷达可以找到相应的单站对抗措施技术与方法,有些则可以采用成系统或成体系的对抗装备来对付。可以预见的是,雷达对抗装备的发展方向必然是成系统、成体系的综合一体化,单站装备或单项对抗措施越来越难以奏效。

从信息获取角度来看,雷达探测是获取空间、空中、海面、地面目标的重要手段。然而,雷达探测获取的是目标的坐标、航迹和速度信息,难以满足信息作战对目标属性、所承载的武器系统和信息系统等相关信息的要求;而电子侦察不仅可获取目标所载辐射源的



相关信息,而且通过无源侦察定位也能获取目标的坐标、航迹和速度信息,通过电子“指纹”识别,还能获取关于目标平台和武器系统的相关信息。因此,实现雷达探测与电子侦察一体化,即有源、无源情报一体化,可以全面获取战场态势信息。

从优缺点互补角度来看,雷达系统面临反辐射武器、隐身目标、低空突防和电子干扰四大严峻挑战,尽管针对雷达暴露的问题,发展了组网雷达、双/多基地雷达、稀布阵雷达等,但任何单一体制雷达仍然存在着原理上难以克服的问题;而雷达对抗面临的问题是信息获取的被动性和非合作性,即其获取信息以及干扰对象的选择依赖于目标辐射源的工作。因此,实现主动发射和被动接收一体化,可以扬雷达之长,避电子侦察之短。

从目标攻击角度来看,雷达探测是实现导弹制导和武器控制的主要手段,是实现对目标精确“硬”打击的重要保证。而雷达对抗是实现对目标“软”攻击的主要手段,是取得制信息权、制空权、制海权的重要保证。因此,从目标攻击角度看,也必须实现雷达探测与雷达对抗一体化,即软、硬攻击一体化。

从武器装备发展趋势来看,体系对抗是高技术战争的特点,如信息化战争的情报获取与打击一体化特点显著。实现雷达探测与雷达对抗一体化,可以做到一旦发现实体目标或电子目标,就可以利用系统本身的电子干扰或引导火力对目标实施摧毁。

从网络化发展规律来看,雷达与雷达对抗的一体化是时代发展的必然。依托高度发展的网络信息技术,战场系统网络化是未来战争的基本形态,未来变革的方向是“以传感器为中心的战争”转化为“以网络为中心的战争”,依赖网络化的战场系统,通过多传感器融合为指挥员提供实时、透明的空间感知。

综上所述,雷达与雷达对抗是矛盾的两个方面,两者既相互对立,又相互依存、相互促进。然而,在网络时代的今天,雷达与雷达对抗的一体化却是现代战争与信息战的必然要求,同时也是信息时代电子战系统与雷达系统发展的必然趋势,网络时代使得这样的需求和趋势变为可能,这就是网络雷达对抗系统。

## 1.2 网络雷达对抗系统原理

网络雷达对抗系统,是指通过特定的网络协议与设备将异地分散部署的多部发射机、接收机及网络中心站连接成有机整体,实现在时域、频域、空域协同工作,完成对目标侦察探测、情报收集、识别跟踪、干扰压制、火力引导等功能的综合一体化电子信息系统。

### 1.2.1 网络雷达对抗系统工作原理

从网络雷达对抗系统的基本概念出发,系统的基本组成包括三大部分:一是起连接、通信和纽带作用的网络协议与网络设备;二是起发射信标、干扰信号、探测信号和敌我识别信号的干扰发射设备(干扰站);三是起截获、接收、检测、处理、融合、识别、跟踪、引导、控制作用的侦察接收设备(侦察站,含网络中心站),如图 1.1 所示。

系统的基本工作原理是各分散异地部署的发射站在网络中心站的控制下发射信号并搜索指定区域,各分散、异地部署的接收机截获、检测、接收、处理从目标发射、反射的电磁信号,形成关于目标的基本数据与信息,其中任一指定为网络中心站的接收机可以通过网络获取各接收机的目标数据与信息,并进行数据关联处理与信息融合,形成关于目标的完

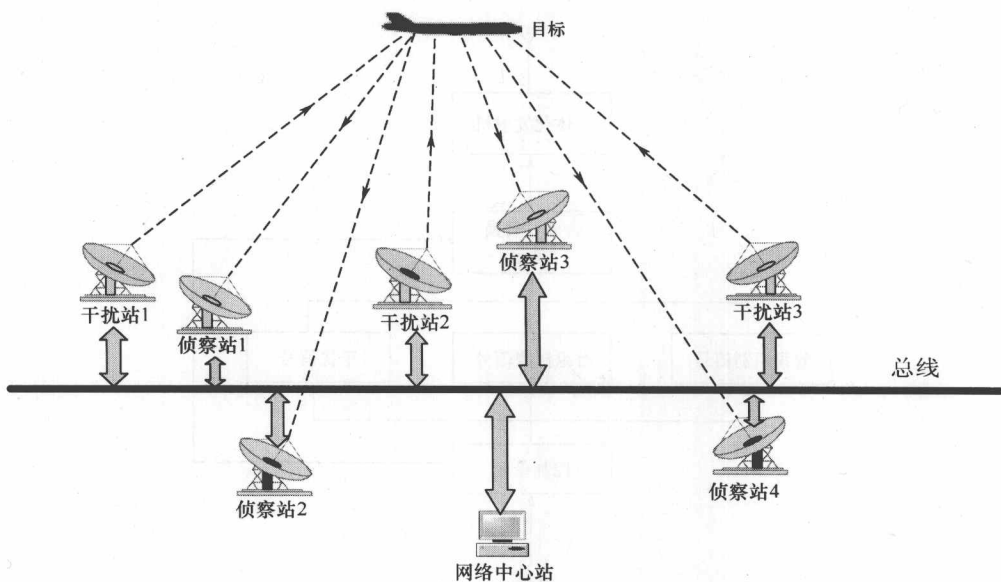


图 1.1 网络雷达对抗系统的基本组成

整信息与描述,并进而实现对目标的识别跟踪、干扰压制与火力引导。

干扰站可兼融三种功能:一是有源干扰的雷达干扰信号发射功能;二是有源雷达的信号发射功能;三是敌我识别的询问信号发射功能。各发射站根据预先编程或网络中心站的控制指令在指定空间进行扫描,以窄(宽)波束照射探测空域,为接收站提供空中照射源。

发射机的前端发射单元以及信号生成单元需兼容设计,一方面需要满足有源雷达发射信号波形的需要,同时也要在干扰信号波形和带宽上兼顾雷达干扰的需要,如图 1.2 所示。

侦察站的接收机截获接收由空中目标反射的回波信号或空中目标辐射源发射的雷达信号,网络中心站或其中任何一个接收站,根据接收的目标反射回波或目标辐射源信号,对目标进行探测、识别、定位和跟踪,并由此给出目标的坐标信息、航迹信息和速度信息和属性信息。

接收与信号处理分系统重点完成雷达回波信号、雷达辐射源信号的截获、检测、参数提取、目标数据录取、辐射源分选、分析、识别等工作,为网络雷达对抗系统数据融合与态势显示分系统提供数据支持。其中,无源侦察主要完成辐射源参数测量、信号分选、目标识别和粗略定位,主要提供关于目标的属性信息;有源探测主要完成目标的探测、定位和跟踪,主要提供目标的状态信息。

接收天线可采用搜索体制的有向天线,如果采用相控阵天线体制或多波束天线则可增加截获概率和目标数据率,但同时存在复杂度和带宽限制问题。

接收机体制选择必须解决无源侦察的宽带接收和有源探测时的窄带(相对窄带)匹配接收的兼容问题。综合射频的一体化设计技术是网络雷达对抗系统必须采用的关键技术,也是天线设计和接收机体制选择的主要困难。

信号处理部分必须按照有源探测处理方式和无源侦察处理方式相兼容设计的原则设



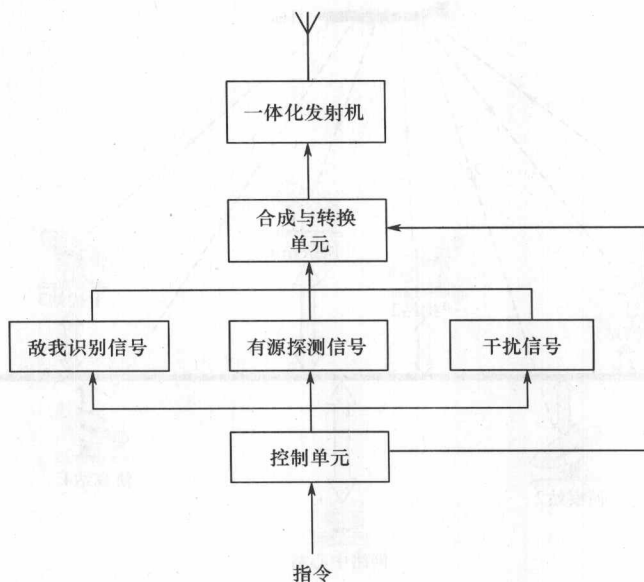


图 1.2 发射机原理组成框图

计。有源信号处理主要采用匹配滤波、Dopler 滤波、恒虚警检测等方式获取目标的方位信息和距离信息,同时对由不同侦察站所确定的目标位置信息进行融合处理;无源信号处理方式取决于接收机的体制,并分别针对不同的体制采用不同的处理算法和处理程序,其重点是全脉冲数据处理、信号分选与配对、信号目标识别、目标定位算法等。脉间信号分析与信号脉内分析有多种处理方法可供选择,雷达信号的“指纹”特征分析是实现雷达及平台个体识别的有效途径。雷达信号到达时间测量精度则直接影响对目标的定位精度。接收机及信号处理框图,如图 1.3 所示。

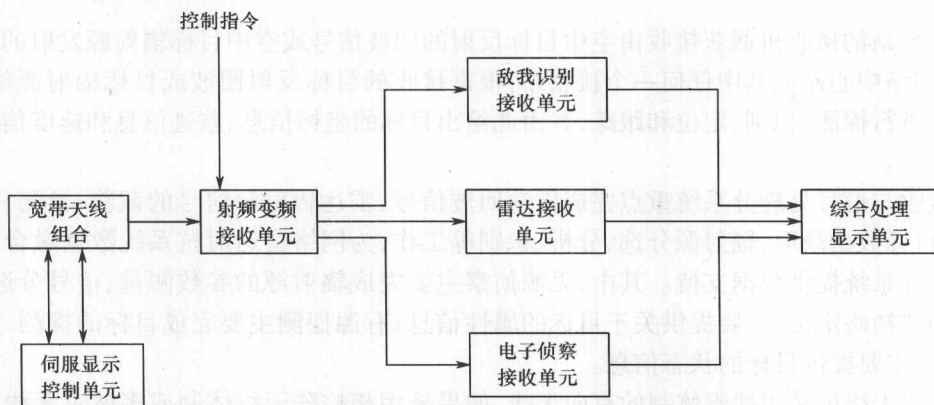


图 1.3 接收机及处理框图

网络中心站由接收机加装一套中心控制处理系统构成,除了具有侦察站的工作职能外,还具有对各个干扰站与侦察站的连接、数据传输(简称数传)、通信、管理、协调和控制功能,可根据战场电磁态势和任务分配,调整各个节点的工作模式、俯仰角、方位角、开关机状态等工作参数,完成多种工作模式的管理和控制。如系统工作在有源探测模式时,网

络中心站控制发射站的编号、工作状态、发射功率、发射触发等信息,并将信息传输给各侦察站;当系统处于强干扰或隐蔽工作状态时,网络中心站可控制网络雷达对抗系统工作在无源侦察模式,采用多站无源交叉定位或多站时差定位的方法对目标进行位置测量,同时完成目标技术参数的侦收、处理和识别功能。

数据与信息融合是网络中心站的核心功能,网络中心站通过对各个接收站获取的侦察、探测数据和信息的融合与处理,完成对目标的识别、定位、跟踪和航迹标绘,并给出目标数量、目标属性、地理位置、威胁等级、电子序列等军事情报和电子情报,实现探测区域的透明化,为指挥员提供直接情报。

网络中心站提供与其他防空单元与作战系统的接口,支持更为灵便的作战编制和配备,以便实施联合攻击。

系统以网络方式工作,允许用户在任何时间、任何地点接入和退出网络,同时也可以在任何时间、地点访问网络,共享网络各节点数据与信息。因此,系统具有良好的灵活性和可扩展性。

## 1.2.2 网络雷达对抗系统工作模式

从网络雷达对抗系统的工作原理可知,系统可分别工作在有源工作模式、无源工作模式和有源/无源一体化模式。

### 1.2.2.1 有源工作模式

有源工作模式分两种情况:一是敌我识别与电子干扰模式;二是有源探测模式。

敌我识别与电子干扰模式。系统发射站的工作方式和工作参数可以预先编程或受控于网络中心站的控制指令。当需要对辐射源目标实施干扰时,系统的发射站可工作在电子干扰模式,向辐射源目标发射干扰信号,其干扰参数的引导由网络中心站或接收站完成。此时,系统构成一个分布式干扰机网络,分布式干扰信号有可能从雷达天线主瓣进入,干扰信号不会受到低副瓣天线、副瓣匿隐或副瓣对消的抑制,因此,其干扰效率可比副瓣干扰高几个数量级;其次,分布式干扰机分布在不同的地域、空域,因此,可以形成多方向的干扰扇面,这种多方向干扰扇面的组合,便可形成大区域的压制性干扰。

同理,系统发射站受网络中心站的控制指令,也可以发射敌我询问信号,通过接收站接收目标应答信号,完成敌我识别功能,构成协作式敌我识别系统,如图 1.4 所示。

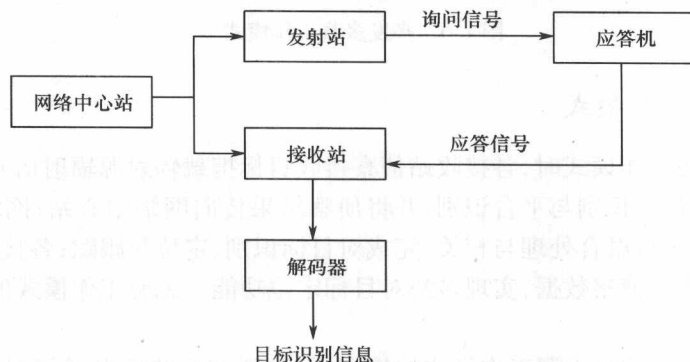


图 1.4 协作式敌我识别系统的工作框图